IV Всероссийская научно-практическая конференция
с международным участием

Защита от повышенного шума и вибрации

26-28 марта 2013 г.
Санкт-Петербург

Доклады

УДК 534; УДК 53.082; УДК 53.083; УДК 624.01; УДК 625
ББК30; ББК94

Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 26-28 марта 2013 г., СПб/ Под ред. Н.И. Иванова; СПб., 2013. 743 с. ISBN 978-5-98340-306-2

ISBN 978-5-98340-306-2

Содержание

Предисловие 11

Проблема шума в Российской Федерации: «кто виноват?» и «что делать?»
Иванов Н.И. 14

Современные методы расчёта шума транспортных потоков
Цукерников И.Е. 36

Проблемы конструирования акустических экранов и их применение для снижения шума железнодорожного и автомобильного транспорта
Иванов Н.И. , Семенов Н.Г. , Тюрина Н.В. 52

Практика снижения шума от работы инженерно-технологического оборудования
Кирпичников[1] В.Ю., Дроздова[2] Л.Ф. 89

Методическое обеспечение проектирования
Поспелов П.И.[1], Пуркин В.И.[1], Щит Б.А.[1], Пасулько Д.С.[1], Шубин И.Л.[2], Цукерников И.Е.[2] 105

Снижение шума железнодорожного транспорта
Иванов Н.И.[1], Куклин Д.А.[1] Матвеев П.В.[1] 116

Noise Mapping and Action Plans for transport noise reduction and control in cities
Sergio Luzzi 146

Оперативные карты шума для железнодорожного транспорта: назначение, общие требования и примеры применения
М.В. Буторина 163

Экологические, производственные и медицинские аспекты инфразвука 177
Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М. 177

Управление реальными организациями (эко-техническими, человеко-машинными)
Ширшов И.В. 199

Мониторинг уровней шума и опыт проведения шумозащитных мероприятий в городе Москве
Ефимова О.В.[1,2], Савинова Е.В.[1,2] 207

Современные подходы и технологии виброакустических испытаний и доводки оборудования
Панов С.Н. 217
Мониторинг шума урбанизированных территорий и особенности его осуществления в условиях Самарской области России
Васильев А.В. 223
Комплексное снижение шума от энергетического оборудования
Тупов В.Б. 233
Автоматизированная система измерений транспортных шумов
Чернов А.А. 249
Инструментальное определение специального характера шума
Курепин А.Д. 255
Особенности снижения шума выброса пара на объектах энергетики
Чугунков Д.В. 261
Система мониторинга вибрации с оперативной идентификацией обнаруживаемых изменений
Барков А.В., Баркова Н.А., Грищенко Д.В., Федорищев В.В. 272
Разработка многоканального online анализатора для исследования вибрации в широком диапазоне частот
Барков А. В., Борисов А. А., Грищенко Д. В., Киселев В. В. 279
Моделирование аналоговой системы активного шумоподавления
Балагуров А.В., Тюрин А.П. 285
Анализ акустики, виброакустики и аэроакустики с использованием системы Actran
Жарков А.В. 290
Практический опыт в снижении шума и вибрации сложных инженерных систем
Щеголев Д.В. 294
ГОСТ 31295.2-2005 как руководство для акустических расчетов
Комкин А.И. 299
Опыт 3D визуализации результатов акустических расчетов
Кошурников Д.Н. 306

Улучшение виброакустических характеристик технологического оборудования ресторанного хозяйства с использованием численного моделирования

Дахов А. Г., Заплетников И. Н. 310

Моделирование структурного шума внутри салона автомобиля УАЗ-3160 в связанной постановке

Санников В.А. 317

Расчет и проектирование защиты от шума

Гусев В.П., Лешко М.Ю. 323

Расчет шума стройплощадок

Иванов Н.И., Минина Н.Н. 331

Комбинированный метод расчета уровней шума в крупногабаритных газовоздушных каналах

Гусев В.П., Леденев В.И. 335

Исследование акустических экранов для снижения шума на строительно-дорожных машинах

Шашурин А.Е., Элькин Ю.И. 342

Западный скоростной диаметр

Ахматов А.А. 352

Методика испытаний акустических экранов на опытном стенде

[1]Семенов Н.Г., Корнилов В.А. 357

Расчет акустической эффективности экранов для снижения шума в жилой застройке

Иванов Н.И., Семенов Н.Г., Тюрина Н.В. 366

Влияние природных факторов на акустическую обстановку местности

Айрбабамян С.А., Наянов Е.А.[1], Радмановац Горан[2] 372

Особенности внутриквартального шума в г. Ижевске

Гагарин С.А., Кузнецова А.Ю. 380

Оценка шума сваебойных установок

Пименов И.К[1], Пальникова О.В[1], Ягло М.А.[2] 388

Опыт учёта акустических техногенных воздействий на особо охраняемую природную территорию при проектировании морского порта

Соловей Н.А., Жигульский В.А., Максимова Т.В. 395

Применение блоков несъемной опалубки Дюрисол для возведения шумозащитных конструкций для железных дорог и автотрасс
Поварешкин Г.В. 403
Сравнение результатов расчета автодорожного шума жилого района г. Москвы, полученных при использовании трех программных средств
Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А. 409
Варианты устранения однообразия, создаваемого акустическими экранами
Колмаков А.В. 420
Методология оценки риска здоровью населения от воздействия транспортного шума
Носков С.Н., Фридман К.Б. 426
АО «Литовские железные дороги» шумовой контроль: текущая ситуация и перспективы
Гуданавичюс Е. 431
Снижение шума и вибрации благодаря упругим опорам верхнего строения железнодорожных путей
Schemer (Шемер) N. (Н.) 436
Защита зданий от вибрации, вызванной воздействием рельсового транспорта, с помощью установки фундаментов на упругих эластомерных опорах
Марусев Ю.Я. 437
Опыт применения акустических экранов для снижения шума на Октябрьской железной дороге
Иванов Н.И., Тюрина Н.В., Кудаев А.В., Куклин Д.А., Матвеев П.В., Олейников А.Ю. 438
Высокоскоростной подвижной состав и проблема шума
Стручалин В.Г. 443
Результаты испытаний эффективности шумозащитных вкладышей в шейку рельса на железнодорожной станции Саблино Октябрьской железной дороги
Олейников А.Ю., Куклин Д.А. 446
Сравнение результатов расчета автодорожного шума жилого района г. Москвы, полученных при использовании трех программных средств
Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А. 453
Методология оценки риска здоровью населения от воздействия транспортного шума
Носков С.Н., Фридман К.Б. 464

Снижение уровня вибрации двигателей внутреннего сгорания совершенствованием конструкции цилиндропоршневой группы

Безюков О.К.[1], Афанасьева О.В.[2] 469

Детальное моделирование характеристики шума транспортного потока на автомагистралях

Бенов Д.М., Маждраков М.Г., Николов Н.Д., Тошков Й.Л. 477

Оценка негативного шумового воздействия и риска здоровью населения с помощью программы АРМ «Акустика» 3D

Иванов А.В., Кузьмицкий А.М., .Никифоров А.В. 483

Определение акустических характеристик волокнистых звукопоглощающих материалов

Воробьева Л.С., Комкин А.И., Надарейшвили Г.Г., Юдин С.И. 489

Оценка акустического воздействия авиационного шума на население на примере проведения мониторинга шума аэропорта "Пулково"

Светлов В.В. 495

Интегральная оценка акустической эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты от авиационного шума

Дроздов С.В., Драган С.П., Богомолов А.В.,
Солдатов С.К., Зинкин В.Н. 503

Методика измерений и основные критерии выбора расчетных точек при проведении мониторинга шума аэропортов

Светлов В.В. 516

Влияние портового шума на прилегающую территорию

Жигаев Д.С., Ананьев В.Ю., Кику П.Ф., Иванова И.Л. 520

Пути снижения влияния авиационного шума на территории жилых застроек

Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Драган С.П., Пирожков М.В. 522

Решение трехмерной обратной задачи по определению уровня шума на границе санитарно-защитной зоны промышленного предприятия

Комарова Е.Г., Пименов И.К. 535

Выбор параметров резонатора гельмгольца в глушителях газодинамического шума

Комкин А.И.[1], Юдин С.И.[2], Надарейшвили Г.Г.[2] 544

Роль вибропоглощения в снижении шума в источнике

Кришневский Б.А. 551

Мероприятия по снижению шума в аэропортах. Международный опыт
Крюкова Ю.В. 560
Проектирование различных видов индивидуальных защитных конструкций человека с высоким порогом шумозащиты в условиях техногенной и природной среды
Куренова С.В. 564
Об учете воздействия автотранспортных потоков при планировании размещения жилых зданий и территорий жилой застройки
Лёвкин А.В., Волкодаева М.В., Демина К.В. 572
Исследование вибрационного воздействия, обусловленного движением трамваев в городских условиях
Марков С. Б., Пименов И. К., Пшенин В.Н. 578
Расчет индекса изоляции воздушного шума перегородками из блоков
Мейнцер Н.В. 597
Обзор эффективности звукоподавляющих облегчённых структурированных панелей (ЗОСП)
Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В., Мурзинов Ю.В. 606
Ослабление звука, проходящего через вакуумированную перегородку
Парахин Д.В., Тюрин А.П. 617
Теоретические основы расчета шумозащитной конструкции с повышенными санитарно-гигиеническими свойствами
Пяткина С.А., Тюрин А.П., Савельев А.П. 623
Источники шума аварийного оборудования
Руднева Е.А., Калашникова Н.К., Клименкова О.И., Гончаренко И.А. . 631
Обоснование управленческих решений по снижению акустической нагрузки на население от автотранспорта
Смирнов Ю.Ю.[1], Дроздова Е.И.[2] 639
Современные звукоизоляционные материалы и аспекты звукоизоляции строительных конструкций при помощи материалов из вспененного полипропилена Пенотерм или вспененных полиэтиленов типа Изолон и Пенолон
Степура В.А., Апаликов А.В. 648
Исследования и оптимизация шумоизлучени воздухораспределителей на примере продукции завода «Арктос» с целью снижения шумообразования
Влияние шума на маркшейдера при работе в подземных горных выработках

Цаплев В.М. 668

Применение фрактального анализа для оценки психофизиологического состояния маркшейдера после шумового воздействия

Цаплев В.М. 674

Акустическое излучение в окружающую среду как проявление ВЧ-неустойчивости процессов в камерах ТД

Пинчук А.В. , Соколов А.В. 680

О влиянии резонансных явлений в стеклах на прохождение шума через окна

Кирпичников В.Ю. [1], Дроздова Л.Ф. [2], Ляпунов Д.В.[1] 687

Акустическое воздействие в закрытых надземных пешеходных переходах

Д.А. Князев, Ю.И. Элькин..... 698

Расчет внешнего шума строительно-дорожных машин, оборудованных звукоизолирующими капотами

Иванов Н.И., Кудаев А.В., Шашурин А.Е. 704

Снижение шума силовых установок звукоизолирующими капотами

Дроздова Л.Ф., Кудаев А.В., Шашурин А.Е. 709

Средства акустической обработки помещений

Ю. П. Щевьев, К. И. Волосенко..... 717

Исследования характера звукового поля в кабине

Шашурин А.Е. 724

Шумозащитные экраны. Обзор нормативной документации

Грибов С.А. 728

Снижение шума медицинского концентратора кислорода

Шарипов Х.А. Курцев Г.М..... 731

Проблемы совместимости шумоизоляции и обеспечения контролепригодности надземных трубопроводов компрессорных станций

Ангалёв А.М., Мартынов А.И., Соколинский Л.И. 735

Предисловие

Между первой Всероссийской конференцией (2002 г.) и четвертой (2013 г.) прошло более 10 лет. За это время среди научных и практических разработок в области защиты от повышенного шума и вибрации появилось много нового и интересного. Почти во всех субъектах Российской Федерации были приняты Законы о тишине в ночное время, а в г. Москве в 2007 г. было принято постановление «О концепции снижения шума и вибрации в г. Москва». В Санкт-Петербурге в 2006 г. создана уникальная карта шума города, выполненная в соответствии с основными положениями Директивы ЕС/149/2002. Появились новые программы расчетов шума. Внедрены в практику акустические экраны – эффективная конструкция защиты от шума автомобильного и железнодорожного транспорта в жилой застройке.

В последние годы обращают на себя внимание работы по борьбе с шумом проводимые в ОАО «Российские железные дороги». Здесь были созданы карты шума железных дорог, разработаны и внедрены Государственные стандарты по измерениям и расчетам шума железнодорожного транспорта, а также требования к основным конструкциям шумозащиты. Накопленный ОАО «РЖД» опыт очень ценен для народного хозяйства и будет широко обсуждаться на настоящей конференции. Большой интерес для отечественной практики представляет опыт наших зарубежных коллег из Италии, Австрии, Германии, Дании по составлению карт шума и разработке новых конструкций шумозащиты, который также представлен в докладах настоящей конференции.

В конференции принимает участие около 300 человек из 20 городов РФ, а, также из 6 стран (Италии, Австрии, Дании, Литвы, Украины, Германии). В сборник трудов конференции включено 85 (проверить) докладов, в программу конференции включены:

– 15 пленарных докладов;

– 70 секционных докладов;

– 8 лекций на обучающих семинарах.

Доклады и лекции будут заслушаны на 3-х пленарных, 7-ми секционных заседаниях и 8-ми обучающих семинарах.

Надеюсь, что материалы сборника докладов конференции будут полезны ее участникам

Н.И. Иванов

Пленарные доклады

Проблема шума в Российской Федерации: «кто виноват?» и «что делать?»

Иванов Н.И.
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

1.Введение

Проблема защиты от повышенного шума – серьезная проблема, решению которой уделяется внимание во всем мире. ЮНЕСКО сформулировала эту проблему так:

“Шум – бедствие современного мира и нежелательный продукт его технической цивилизации”.

Повышенный шум вызывает массу негативных последствий в т.ч.:

- нарушение сна;

-раздражение, стресс;

-повышенное кровяное давление, ведущее к проблемам сердечно-сосудистой системы (ишемия, стенокардия, инфаркт миокарда).

По данным комиссии ЕС для людей, живущих на шумных улицах (60-70 дБА) риск сердечных в среднем на 20% выше, чем для людей, живущих в тихих районах.

Главный санитарный врач Москвы в 2007 заявил, что за последние 2-3 раза увеличилось число сердечно-сосудистых заболеваний; по его данным повышенный шум сокращает продолжительность жизни на 10-12 лет.

По данным новейших исследований около 50 тыс. человек в 25 странах ЕС ежегодно преждевременно умирает от сердечных приступов, вызванных уличным шумом, а еще 200 тыс. страдает от сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с уличным шумом. Социальные издержки, связанные с транспортным шумом составляют около € 40 млрд. в год (порядка 0,4 % общего ВВП ЕС). Если учесть, что прямые расходы на шумозащиту в городах ЕС составляют еще около € 50 млрд. в год, то общие потери и расходы в связи с шумом в Европе составляют почти 1% ВВП.

Это неудивительно, если учесть, что сверхнормативному воздействию (более 55 дБА) шума автомобильного транспорта подвергается в год более 210 млн. граждан ЕС, а железнодорожного транспорта около 35 млн.

По данным официальных органов в РФ более 35 млн. человек проживает в условиях акустического дискомфорта. В связи с отсутствием в РФ карт шума – наиболее полным и объективным документом, показывающим степень неблагоприятного акустического воздействия на население – эта цифра очень приблизительна и явно занижена, но все равно выглядит тревожно. Повышенный шум входит в “тройку” экологических факторов ок-

ружающей среды, массово влияющих на заболеваемость: загрязнение атмосферного воздуха, акустическое загрязнение, загрязнение воды.

Несмотря на несомненное неблагоприятное влияние на заболеваемость населения, ощущаемый населением дискомфорт от повышенного шума, вибрации и инфразвука, эти компоненты окружающей среды не входят в систему учетно-отчетной документации природоохранных органов, за этот вид загрязнений не установлена плата, а значит отсутствуют экономические механизмы борьбы с шумом.

В отличие от стран ЕС, США, Японии и др. наша страна не имеет Федерального закона о шуме. Эта проблема не обозначается в крупных государственных документах, за повышенный шум в системе государственных органов вроде бы и есть ответственный – РОСПОТРЕБНАДЗОР, но это влияние post factum, ясной государственной политики в этой непростой области в нашей стране нет.

Достаточно посмотреть Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды РФ» в 2011 году – там этой проблеме уделено несколько слов.

Это не значит, что здесь у нас ничего нет: существуют очень передовые нормы шума, разработано немало нормативно-технической документации, установилась определенная система требований к проектной документации в части расчетов шума. На шумозащиту в нашей стране тратятся немалые суммы, которые с большой осторожностью можно оценить в несколько сотен млн. руб. в год.

И тем не менее в этой области деятельности существует масса недоработок, несуразностей, конфликтов. Попытаемся раскрыть эту тему, взяв самые общие и глобальные аспекты проблемы: шум в городе, транспортный шум (автомобильные дороги, железнодорожный транспорт, аэропорты).

2.Шумовое загрязнение в городах.

В 2002 г. Европейским парламентом была принята директива 49/2002 ЕС, согласно которой всем странам Содружества было предписано создать карты шума городов и других объектов (железные дороги, автомобильные дороги, аэропорты) и установить характер и степень воздействия шума на население стран ЕС. В 2012 г. был опубликован доклад Департамента экономической и научной политики Европарламента, посвященный анализу проблемы под названием “Стратегия проблемы шума” [1]. Этот доклад представляет большой интерес для более глубокого понимания этой проблемы.

Авторы доклада утверждают, что по полученным данным более половины населения ЕС регулярно находятся под воздействием уровней шума в окружающей среде, превышающих 55 дБА. Напомним, что эта норма

рекомендуется ВОЗ в качестве безопасного для населения акустического воздействия, шум выше этого значения может вызвать раздражение, нарушение сна, сердечно-сосудистые заболевания и даже преждевременные смерти. По оценке ВОЗ в ЕС от 1,0 до 1,6 млн. лет здоровой жизни отнимает у населения повышенный шум.

Обобщая жалобы населения, ВОЗ приходит к выводу, что из-за уличного шума один из трех жителей страдает днем, и один из пяти ночью, число жалоб на шум растет и более 44% жителей ЕС полагают, что повышенный шум влияет на здоровье человека в “значительной степени”. Транспортный шум – основной источник акустического загрязнения в ЕС. Основные источники шума автомобильного транспорта – легковые и грузовые автомобили, железнодорожного – грузовые поезда, авиационного – реактивные пассажирские самолеты.

На основании предварительных данных было определено, какая часть населения ЕС подвержена воздействию шума автомобильного, железнодорожного, авиационного транспорта и предприятий. Количество людей показано в табл. 1.

Таблица 1

Количество людей, подвергающихся воздействию шума ОС в ЕС (предварительные данные)

Источники акустического воздействия	**Количество людей, млн., подвергающихся сверхнормативному воздействию**	
	Днем (Норма 55 дБА)	**Ночью (Норма 50 дБА)**
Автомобильные дороги	56	40,2
Железные дороги	7,8	6,2
Аэропорты	3,4	1,9
Предприятия	0,8	0,5

Основной источник шума - автомобильный транспорт, на втором месте – железнодорожный.

Доклада отметим важную мысль в докладе Европарламента, к которой мы будем возвращаться:

ЕС вводит показатели шума для отчетности, но не устанавливает каких-либо юридически обязывающих предельных значений и целей картирования.

Рассмотрим как обстоит вопрос с шумом в городах РФ. В 2011 г. Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы подготовил очень интересный и обстоятельный доклад “Шумовое загрязнение в 2010 г”. В Москве уделяется серьезное внимание этой пробле-

ме (напомним, что в 2007 г. было принято Постановление №896-ПП от 16 октября “О концепции снижения уровней шума и вибрации в городе Москве”).

В упомянутом докладе говорится об актуальности этой проблемы для г. Москвы. По мнению экспертов (обратим внимание в Москве подробная карта шума отсутствует) до 70% территории города подвержены сверхнормативному шуму от разных источников. Величина превышений приведена в табл. 2.

Таблица 2

Превышения шума в г. Москве

Источники и место акустического воздействия	**Сверхнормативные превышение, дБА**
На территориях вблизи автотрасс (а/д)	20-25
В квартирах жилых домов, обращенных к КАД, без шумозащитного остекления	30-35
Вблизи железных дорог, при движении поездов	10-20
На территориях вблизи аэропортов	8-10
При проведении строительных работ в ночное время	30

Уровни шума в Москве сравнимы с другими столицами, например, в Лондоне в первой линии жилой застройки – 75 дБА.

По оценке НИИ и ПИ генплана Москвы сверхнормативному шуму транспорта подвергается 40 % населения Москвы. Тенденция последних лет – снижение разницы УЗ в дневное и ночное время на территории города. Кстати, аналогичные данные получены и в СПб, где отмечена разница эквивалентных УЗ до 5 дБА: меньше автотранспорта – больше скорость. Основные источники шума в Москве:

- автотранспортные потоки;
- железнодорожный транспорт;
- наземные линии метро;
-автотранспорт аэропортов Домодедово, Внуково, Шереметьево;
-промышленные предприятия;
-коммунально-складские объекты;
-объекты тепло- и энерго- энергетики
-строительная техника;
-инженерное оборудование зданий;
-музыка, стук и пр. бытового происхождения.

В Москве ведется серьезная работа по борьбе с шумом:

- только в 2007-2010 гг. в рамках капитального ремонта и строительства/реконструкции установлено шумозащитных окон – более 400 тыс.;

-подготовлен адресный перечень жилых домов, попадающих под сверхнормативное воздействие от железнодорожного транспорта;

-установлено придорожных шумозащитных экранов – 25 км;

-выявлено 470 социальных объектов сверхнормативного шумового воздействия;

-уложен опытный участок (300 м) с покрытием звукопоглощающим асфальтом;

-запрещено проведение строительных работ с 19.00 до 7.00 по выходным и праздникам днем, видеонаблюдением за строительством.

Выполнена работа по снижению шума железнодорожного транспорта:

- определены санитарные разрывы для линий Московского железнодорожного узла;

-составлен адресный перечень домов, где требуется замена окон – всего 1474 дома;

-предложены схемы размещения шумозащитных экранов – 22 км;

- для некоторых участков предложено перекрытие железной дороги.

Кстати, институтом акустических конструкций в СПб создана карта шума Малого кольца Московской железной дороги, результаты этой работы будут доложены на конференции.

Работы по снижению шума авиационного транспорта:

- запрещены (ограничены ночные авиаперелеты) ;

-разработан проект зоны санитарных разрывов аэропорта “Шереметьево” и схемы зонирования территории по авиационному шуму;

-разработаны и внесены предположения по контролю авиационного шума.

В докладе Департамента Природопользования г. Москвы обращается внимание на практику введения специальных нормативов в ЕС. В докладе сказано “В соответствии с федеральным законом от 27.12.2002 №184-ФЗ, о техническом регулировании установление нормативов шумовых характеристик находится в компетенции федеральных органов власти. Нормативы шумовых характеристик для отдельных видов техники (автотранспорта, железнодорожного транспорта и т.д.) в России установлены техническими регламентами и стандартами”. Здесь содержится очень важная идея о том, что создать необходимую нормативную базу по шуму в РФ можно путем разработки новых технических регламентов.

В Санкт-Петербурге также ведется определенная работа по снижению шума. Главное, на мой взгляд, достижение власти и ученых СПб – создание подробной карты шума города. К сожалению, в должной мере результаты работы за 6 лет после создания карты не были в должной мере

использованы для организационных и других мероприятий. Сейчас в Законодательном собрании СПб готовится закон “О зонировании СПб по шуму”, в основу которого будет положен актуализированный вариант карты шума.

Наш город, наряду с Москвой, одним из первых принял закон по ограничению шума в ночное время. Сейчас рамки законодательных ограничений шума расширены на утренние часы (с 7.00 до 12.00) в выходные и праздничные дни. Эта инициатива принадлежит депутату ЗАКС А.А. Тимофееву. Я надеюсь, что наш город вскоре станет первым в РФ, принявшим всеобъемлющий закон о шуме. Карта шума – очень серьезный документ, фиксирующий состояние картируемого объекта. Но нельзя забывать, что это только частичная картина среды обитания – шум у фасадов зданий. Это не квартира, где человек может подвергаться сложным акустическим воздействиям.

В Санкт-Петербурге нередко по TV проходят передачи, посвященные проблеме шума. В одной из таких передач было зафиксировано 36 обращений граждан по вопросу шума. Как распределились эти обращения можно увидеть в табл. 3.

Таблица 3

Обращения зрителей в передаче TV по вопросам шума

Характер обращения	Число
Ночной клуб, бар	3
Соседи (дети, музыка, животные, работа)	23
Коммунальные, уборочные машины, строительство)	3
Ж/д поезда	1
Чиллеры (снаружи)	1
Встроенные объекты (сауна, отопление, насосы, спортзал)	3
Лай собак во дворе	1

Основные источники жалоб – встроенные объекты, коммунальная техника и погрузочно-разгрузочные работы, вентиляция снаружи (примерно 30%) и главное, соседи (примерно 70%). В карту шума эти источники в основном не войдут, потому закон о шуме должен быть шире рамок карты. Я полагаю такой закон в СПб будет всеобъемлющим документом, первым в своем роде, направленным на все стороны борьбы с шумом, т.к. сегодня имеющиеся в стране законодательство ограничивается только борьбой с шумом в ночное время.

3.Шум автомобильного транспорта

Если по данным ЕС в Содружестве около 210 млн человек подвергаются действию автодорожного шума, то для РФ эта цифра составляет приблизительно 60-70 млн человек. В Государственном Докладе “О состоянии

и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году" эта проблема описана так:

"Возросло шумовое загрязнение. Значительная часть населения Российской Федерации проживает в зонах шумового дискомфорта. Особенно это сильно проявляется на федеральных дорогах, проходящих через населенные пункты (11,2 % от общей протяженности федеральных и 11,7% региональных автомобильных дорог).

Уровень шума превышает допустимые значения даже днем на 25 дБА, а ночью он возрастает еще больше в связи с увеличением скорости потока и передвижении в основном тяжелого транспорта.

Доля шумозащитных экранов от протяженности населенных пунктов составляет: по федеральным дорогам 1,3 % , по региональным дорогам 0, 07%, что крайне мало".

Хотя нельзя не подивиться невразумительности приводимых цифр (составители Доклада слабо владеют этой проблемой), но определенное понимание, что она существует, налицо.

Чтобы понять каким уровням звука подвергается население, воспользуемся классификацией приведенной в табл. 4 как видно, УЗ составляет от 55 до 80 дБА, в ночное время УЗ снижается от 5 до 10 дБА

Таблица 4

Классификация автомобильных дорог и улиц по шуму

Класс шумности	**Наименование класса шумности**	**Эквивалентный УЗ, дБА (на расстоянии 7,5 м)**	**Скорость движения км/ч**	**Категория автомобильных дорог и городских магистралей**
I	Малошумные	Свыше 55 до 60	До 40	Проезды, парковые дороги
I I	Повышенной шумности	Свыше 60 до 65	До 50	Улицы и дороги местного значения, магистральные улицы районного значения
I I I	Шумные	Свыше 65 до 70	До 60-70	Магистральные улицы транспортно-пешеходные
IV	Очень шумные	Свыше 70 до 75	До 80-90	Магистральные улицы непрерывного и регулярного движения
V	Сверхшумные	Свыше 75 до 80	До 100-110	Магистральные дороги
V I	Непереносимо шумные	Свыше 80	120	Скоростные дороги

Примечание. Шумозащищенные автомобильные дороги относятся к нулевому классу шумности.

Как снизить шум автотранспортных потоков? В первую очередь, снижение шума должно обеспечиваться в источнике, а затем уже снижается шум на пути его распространения до защищаемой от шума застройки. Отдельно стоит вопрос расчетов шума автотранспортных потоков при проектировании автомобильных дорог.

Нормы внешнего шума автомобилей ужесточались начиная с 1970-х годов и до середины 90-ых. Внешний шум автомобилей снизился за эим годы на 10-12 дБА. Но почти 20 последних лет этот процесс замедлился (последняя директива ЕС 92/97). Ожидается, что только с 2020 года должны быть установлены ужесточения на 3 дБА для легковых автомобилей и 4 дБА для грузовых и фургонов. Это означает, что пока на эти улучшения можно не ориентироваться.

Что касается других средств снижения шума в источнике, то отметим “мягкий” или пористый асфальт, уменьшающий уровни звука от шин, возникающие при движении. В Германии несколько лет назад была принята программа “Тихое движение”, согласно которой предпринимались меры по укладке “малошумного” асфальта. Это очень неплохое решение, но надо помнить, что реальное снижение шума не превышает 3 дБА, поэтому эту меру можно считать паллиативом. Заметим, что здесь существует очень яркая закономерность: разрыв между допустимыми нормами (около 70 дБА для легковых автомобилей) и обеспечением требований ВОЗ на шум в жилой застройке (50 дБА в ночное время) составляет 20 дБА. Приблизительно на это превышение надо ориентироваться, рассматривая проблему снижения шума от автомобильного транспорта. Ни “мягкий” асфальт (3 дБА), ни новые нормы в 2020г. (3-4 дБА) такое снижение не обеспечат.

При проектировании новых автомобильных дорог контролирующие органы требуют соблюдать принятые в нашей стране нормы для жилой застройки, которые касаются абсолютно любых источников шума (автомобильных и железных дорог, промышленных предприятий и пр.), эти нормы приведены в табл. 5.

Таблица 5

Нормы шума в РФ [4]

Место измерения шума	***Нормы шума***			
	Эквивалентные УЗ, дБА		***Максимальные УЗ, дБА***	
	День	***Ночь***	***День***	***Ночь***
Территории	55	45	70	60
Жилые комнаты	40	30	55	45

Заметим, что отечественные нормы даже строже рекомендуемых ВОЗ (45 дБА в ночное время, в последнее время ВОЗ рекомендует 50 дБА), нормы не дифференцированы по источникам шума, вопреки общепринятой в ЕС практике. Достижения норм по шуму в жилье, которые у нас действуют в ЕС поставлено целью на ближайшие десятилетия.

Для разработки шумозащиты проектировщик должен рассчитать ожидаемую шумность, а затем выбрать шумозащиту, обеспечивающую снижаемость шума в близрасположенной к проектируемой жилой застройке до требований норм. Еще до недавнего времени была проблема в расчетах, результаты которых давал разброс от 5 до 15 дБА при использовании различных методик. К настоящему времени проблема решена: в МАДИ под руководством проф. П.И. Поспелова разработан и утвержден документ «ОДМ 218.2.013-2011. Отраслевой дорожный методический документ УДК 625.7/8:628.517.2. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам» [5]. В современном арсенале проектировщиков строителей две основные конструкции шумозащиты:

- акустические экраны (АЭ),
- звукоизолирующее остекление.

На практике применение шумозащиты, в особенности АЭ, для снижения шума на автомобильных дорогах хотелось остановиться более подробно. Насколько эффективно снижается шум? Довольны ли жители? В начале 2000х в Санкт-Петербурге была сооружена кольцевая автомобильная дорога. Для снижения шума установлены АЭ и звукоизолирующее остекление. Жители близрасположенных жилых домов, расположенных в 3-м Рабфаковском переулке подали жалобу на повышенный шум. Территориальный отдел в Невском и Красногвардейском районах федеральной службы РОСПОТРЕБНАДЗОР провел измерения, выявив превышение в 3х квартирах в ночное время. На ФГУ “Дирекция по строительству транспортного обхода” был наложен штраф 15 тыс рублей. С этим не согласился суд первой инстанции, куда подал иск ДСТО. РОСПОТРЕБНАДЗОР подал апелляционную жалобу, т.к. управление считает выводы суда необоснованными. Правоприменительная практика показывает, что суды во многих случаях принимают сторону граждан. Федеральный арбитражный суд Северо-западного округа Постановлением от 18 мая 2011 г по делу №А56-49085/2010 оставил без изменений Постановление РОСПОТРЕБНАДЗОРА о наложении штрафа 10 тыс. руб. на РГУ “Федеральное управление автомобильных дорог” ”Северо-Запад” по иску о превышении шума в квартире расположенной по адресу: Выборг, пос. им Калинина, дом 8 вблизи шоссе М-10 “Скандинавия”.

Чем больше строится дорог, тем больше исков от жителей на сверхнормативные превышения шума. При этом строители, кажется, делают все, чтобы избежать этих неприятных ситуаций.В чем дело?

Основная шумозащита вновь строящихся автомобильных дорог осуществляется акустическими экранами. Выполненные исследования показали что большинство этих сооружений обладают небольшой эффективностью (табл. 6).

Таблица 6

Сравнительная средняя акустическая эффективность АЭ.

Место установки АЭ или страна	**Акустическая эффективность, дБА**
Московская кольцевая дорога (МКАД)	3-9
КАД, СПб	6-11
Италия (а/д)	12-15

Наша страна – единственная, где сооружение АЭ на а/д выполняется без нормативной документации (требования к конструкциям и монтажу). АЭ нередко конструируются с нарушениями, материал АЭ быстро приходит в негодность – экраны ржавеют и разрушаются. Кроме всего прочего АЭ не выполняют своей основной функции, они не снижают шум в защищаемых объектах до требований санитарных норм. Ведомство не контролирует этот процесс, непонятно вообще для чего АЭ сооружаются.

4. Шум железнодорожного транспорта

По данным Департамента экономики и науки Европарламента в ЕС действию железнодорожного шума подвергается примерно 35 млн. человек. Можно предполагать, что в нашей стране подвергаются сверхнормативному шуму от 8 до 10 млн. человек. Это очень приближенная оценка, но данных для ее уточнение (такие оценки дают карты шума) у нас пока нет. Чтобы понять каким уровням звука подвергается население, воспользуемся данными о шуме поездов, приведенными в табл. 7.

Таблица 7

Характеристики шума поездов [6]

Тип поезда	**Скорость, км/ч**	**Уровни звука, дБА**
Высокоскоростные “Сапсан”	100-220	68-86
Электропоезда	40-120	76-90
Пассажирские	40-130	78-88
Грузовые	30-90	78-88

Акустическое воздействие на население зависит от интенсивности и состава движения. Эквивалентные уровни звука, например, на главном ходу Октябрьской железной дороги составляют 65-70 дБА (превышения для дневного времени составляет от 10 до 15 дБА), ночью превышения могут быть больше.

Сегодня механизм образования шума поездов – основного источника шума железнодорожного транспорта - изучен хорошо, поэтому специалисты отчетливо представляют себе, как снизить шум в источнике шумообразования: акустическое шлифование рельсов, вибродемпфирующие накладки на рельс, вибродемпфирующие колеса. Отметим, что эти меры в отдельности или вместе дают эффект 3-4 дБА (В ЕС большие надежды на новые тормозные колодки, но их эффект преувеличен). Цифры 3-4 дБА очень похожие на пример с автомобилями, а разрыв между нормами шума (55 дБА) и эквивалентными УЗ движущихся железнодорожных потоков составляет не менее 15 дБА.

Арсенал шумозащиты жилой застройки от проходящих поездов: акустические экраны, земляные валы насыпи, выемки; при этом для действующих линий АЭ являются наиболее приемлемым распространенным средством защиты от шума. До недавнего времени проблемы с АЭ была очень похожа на а/д, но ОАО “Российские железные дороги” предприняли усилия по ее решению. Был разработан и предпринят пакет стандартов:

- ГОСТ Р 54931-2012 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования»;
- ГОСТ Р 54932-2012 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля технических требований»;
- ГОСТ Р 54933-2012 «Методы расчета уровней шума, излучаемого железнодорожным транспортом»;
- СТО РЖД «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Правила приемки, ввода в эксплуатацию и обслуживания в процессе жизненного цикла».

К производителям АЭ, организациями выполняющими монтаж предъявляются строгие требования по качеству и акустической эффективности. Это дало хорошие результаты: АЭ спроектированные, изготовленные и установленные в соответствии с разработанными требованиями показали высокую эффективность. В соответствии с действующей новой документацией сейчас проводятся испытания АЭ после их установки. В табл. 8 даны сравнительные характеристики акустической эффективности условно “старых” (I) и “новых” (II) установленных на Октябрьской ж/д.

Хотелось бы пожелать заказчику и проектировщикам использовать новые материалы (например, материал по технологии “Durisol”) и конструкции. Октябрьская железная дорога и БГТУ “Военмех” продолжают ис-

следования по разработке и экспериментальной проверке новых конструкций и систем шумозащиты.

Таблица 8

Акустическая эффективность АЭ

№№	Место установки (станция)	Материал	Высота, м	Длина, м	Акустическая эффективность, дБА
I	Чудово	Бетон	3,5	800	11
	Чудово	Металл	3,0	400	8
	Малая Вишера	Металл	3,0	700	7
II	Сосново-Петяярви	Металл	5,5	700	15-16
	Дибуны	Металл	5,0	300	14
	Сосново	Металл	6,0	500	13-15

Проблема железнодорожного шума имеет еще один аспект. На основании обращений префекта ВАО г. Москвы и жителей района Марфино Управлением в отношении ОАО “Российские железные дороги ” было возбуждено дело об административном правонарушении по статье 6.3 КОАП РФ по факту нарушения благоприятных условий для жизни и здоровья населения, выразившегося в превышении шума в жилых помещениях от движения поездов на участке Останкино-Петровско-Разумовское Московского региона Октябрьской железной дороги. Выполненными измерениями установлено, что уровень шума в жилых комнатах квартиры по ул. Б. Марфинская д.1 кв. 2 превышает допустимые величины до 5 дБ (ошибка, наверное 5 дБА) по максимальному и до 6 дБА по эквивалентному для дневного времени суток, до 15 дБ по максимальному значению в ночное время и т.д. 22.10 2012 г. Управлением выписано установление №739 о назначении административного наказания, в соответствии с которым ОАО “РЖД” признано виновным в совершении административного правонарушения, ответственность за которое предусмотрено ст. 6.3 КОАП РФ и назначено наказание в виде административного штрафа в размере 10 тыс. рублей. 18.12 2012 г. По заявлению ОАО “РЖД” в арбитражный суд последним было вынесено решение, в котором ОАО “РЖД” было отказано в удовлетворении требований; постановление управлением было признано законным.

Казалось бы, правда восторжествовала. Но это следствие вопиющего нарушения, когда застройщик без согласования с ОАО “РЖД” построил дом в заведомо шумной зоне, а затем предложил жителям подавать жалобы.

В последнее время возросло количество жалоб населения на повышенный шум железнодорожного транспорта. Затраты на шумозащиту растут и оказывают значительное влияние на стоимость объектов. Эти процессы имеют тенденции к нарастанию: строительство жилья ведется вблизи железной дороги без согласования с ОАО «РЖД». В рамках существующей в стране законодательной и нормативно-технической базы, а также в практике контролирующих органов, претензии на повышенный шум, а, следовательно, затраты на его снижение, предъявляются к железной дороге.

Подобная ситуация имела место за рубежом, например, в ЕС, до того как там был создан определенный набор документов, принятие которых позволило не только разрешить конфликтные ситуации, но и снизить воздействие шума на население. Центральным здесь является принятая в 2002 г Директива ЕС 49/2002, согласно которой городам Европы, автомобильным и железным дорогам, аэропортам было предписано создать карты шума. Эти карты, утвержденные в установленном порядке, являются основным документом, согласно которому фиксируется состояние акустической нагрузки на население. Директива не относится к бытовому шуму, шуму на рабочих местах и шуму внутри транспорта.

Карта шума, утвержденная соответствующим органом, является своего рода общественным договором между собственником источника шума, властями, администрацией и населением, обозначающим существующее положение вещей. Составители карты и органы власти, местная администрация предоставляют населению доступ к информации, тем самым знакомят его с фактическими уровнями шума. Карта – компромисс в непростой ситуации: город, дороги, аэропорт и пр. фиксирует значения акустической нагрузки. В соответствии с ней собственник источника шума и власти берут на себя обязательства не превышать зафиксированных в ней уровней и снижать повышенную шумовую нагрузку, а население принимает существующее положение вещей и свободно принимать решения в связи с полученной информацией (например, сменить место жительства, не предъявляя претензий к первой стороне и пр.).

Обязательства первой стороны усиливаются в ЕС необходимостью принятия планов действий по снижению шума, принимаемых на основании разработанных и утвержденных в установленном порядке оперативных шумовых карт. Например, для железной дороги это может быть реконструкция пути (бесстыковой путь), применение менее шумного подвижного состава, модернизация горочных замедлителей, устройство акустических экранов и др. мероприятия. Для местных органов власти –

повышение звукоизоляции обращенных к железной дороге фасадов жилых домов за счет установки стеклопакетов с воздушными клапанами, размещение между железной дорогой и жилыми домами административных зданий, выполняющих роль экранов.

Упомянутая Директива является нормативным законодательным актом на территории ЕС, предписывающим основные подлежащие фиксированию параметры шума, определяющим объекты, предназначенные для соответствующего технического регулирования, порядок проведения регулирования, состав информации и вид ее представления.

Помимо Директивы 49/2002 ЕС, являющейся обязательной для всех стран-членов ЕС, в странах ЕС действуют (условно назовем их) Законы о шуме. Каждая страна принимала свой Закон, поэтому их содержание является разнообразным. Представляют интерес два основных момента:

1. Нормирование шума осуществляется в зависимости от типа источников, т.е. нормы шума в жилой застройке для автомобильного, железнодорожного и др. видов транспорта различны. Во всех законодательствах наименее жестко нормируется железнодорожный шум (средний «бонус» от 5 до 7 дБА).

2. В некоторых странах, например в Швейцарии, законодательно установлено разделение ответственности сторон за производимый шум, а также введен запрет на строительство в зонах повышенного шума.

В России аналогичным Европейской директиве документами в соответствии с федеральным законом № 184-ФЗ «О техническом регулировании» являются технические регламенты, которые устанавливают обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации). В рассматриваемом случае **объектом технического регулирования являются железные дороги и примыкающие к ним территории жилой застройки, а фактором, подлежащим техническому регулированию, является воздействующий на население шум.**

На основании изложенного представляется необходимым разработать технический регламент «Обеспечение акустической безопасности на территории жилой застройки, примыкающей к линиям железнодорожного транспорта». Разработка такого документа соответствует установленным в гл.2 (статья 6) закона №184-ФЗ целям принятия технических регламентов, поскольку установлено вредное влияние повышенного шума на здоровье граждан.

Основная идея, которая должна содержаться в техническом регламенте, - шумовое картирование территории жилой застройки, примыкающей к линиям железнодорожного транспорта, и разделение сфер ответственности за повышенный шум между собственниками источников повышенного шума (железная дорога, автотранспорт, промышленное предприятие и пр.), властями, в чьей собственности находится территория и собственниками жилой застройки с целью разработки и реализации мер по снижению аку-

стической нагрузки на население до предписываемых санитарным законодательством норм.

Создание шумовых карт территорий жилой застройки, примыкающих к железным дорогам, юридический статус которых будет прописан в техническом регламенте, позволит железной дороге в случае исторически сложившейся застройки зафиксировать и объявить величину создаваемой ею акустической нагрузки на примыкающей территории и не нести ответственности за шум, превышающий документально зафиксированные уровни; а в случае проектируемого строительства – обоснованно установить зоны санитарного разрыва между железной дорогой и жилой застройкой с учетом степени шумозащиты жилых зданий. Этот документ явится юридически состоятельным для решения споров об ответственности. Без такой фиксации попытки введения других мер (например, бонусы на нормы) – являются паллиативом.

Естественно, что это положение в техническом регламенте должно быть подкреплено созданием методического документа ГОСТ Р «Шум. Оперативные шумовые карты для железнодорожного транспорта», чтобы все железные дороги создавали карты по единым требованиям.

Понятия о разделении ответственности должны включать: обязанность властей о выполнении шумового мониторинга территорий, примыкающих к железным дорогам, с учетом всех действующих источников шума на территории (автотранспорт, промышленные предприятия и пр.) и особенностей воздействия железнодорожного шума на население; возможность и экономическую целесообразность строительства первого эшелона шумозащитных типов жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий, обращенных в сторону железной дороги; полное запрещение жилого строительства в зоне санитарного разрыва железной дороги без согласования с ней, а при необходимости сокращения зоны санитарного разрыва за счет такого строительства или введения дополнительных к железной дороге посторонних источников шума; разработка и реализация вызванных таким сокращением мер шумозащиты за счет средств застройщика и собственника введенных источников шума.

В регламенте будут установлены технические нормы источников шума на железных дорогах с учетом мирового опыта развития железнодорожного транспорта и специфических особенностей воздействия железнодорожного шума на население. Бонус в нормы по шуму железнодорожного транспорта целесообразно вводить только для вновь строящихся железных дорог, это позволит не менее чем на 50% снизить расходы на шумозащиту. Заметим, что прецедент подобного бонуса в отечественной нормативно-технической литературе имеется (ГОСТ 22283-88 «Шум авиационный допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения»).

Предлагаемый технический регламент серьезный и объемный документ, который не может быть частью разработанных ранее для железной дороги регламентов:

– «Технический регламент о безопасности железнодорожного подвижного состава» (утв. постановлением правительства №524 от 15.07.2010)

– «Технический регламент о безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» (утв. постановлением правительства №525 от 15.07.2010)

5 Авиационный шум.*

По очень приблизительным оценкам в нашей стране сверхнормативному воздействию шума подвергаются 1-1,5 млн. человек – жители нескольких городов: Москвы, Санкт-Петербурга, Иркутск, Казань, Омск, Самара.

Какая величина этих воздействий? По данным карты шума Санкт-Петербурга максимальные УЗ в местах пролета самолетов составляют в основном от 80 до 85 дБА на расстоянии до 1 км, а превышение СН могут достигать 15-20 дБА. Правда встречаются и более серьезные воздействия. В г. Харькове, где новую взлетно-посадочную полосу построили вплотную к жилым домам, самолеты, пролетают над ними, создают шум более 100 дБА. Как пишет жительница села Федорцы “у нас шумно и страшно”. Власти предлагают жителям покрасить крыши в яркие цвета и установить (за свой счет) прожекторы – для безопасности полетов. Проблемы негативного воздействия авиационного шума на население возникла с появлением первых пассажирских самолетов. Но в нашей стране эта проблемы непрерывно обостряется в течение последних 20 лет. И причины этого, наверное, всем известны. Это можно рассматривать на примере а/п Внуково. Газета “Известия” 19 февраля 2013 г. пишет:

“За последние 20 лет сложилась повсеместная практика хаотичной и бесконтрольной застройки территории вблизи аэродрома Внуково без учета основных требований к строительству по экологии. В результате тысячи людей приобрели жилье на приаэродромной территории и проживают в заведомо вредных условиях, связанных с воздействием авиационного шума. В данной проблеме виноваты прежде всего муниципальные власти, которые в начале 1990-х годов грубо нарушали и продолжают нарушать Российское Законодательство”.

У многих объектов имеется согласованный землеотвод и разрешение на строительство, но нет разрешения а/п “Внуково”. Нарушения были выявлены в десятках населенных пунктов. Росавиация комментирует:

* Написано совместно с В.В. Светловым

“Если мы узнаем о нарушениях из документов, то обращаемся в суд. Но уже возведенные объекты не сносят … Никакой судья не примет решение снести целый коттеджный поселок”.

Кто виноват в этой ситуации. Все стороны. Нарушения муниципалитетов налицо, но а/п должен защищать себя документам зоны санитарного разрыва, а такие документы не создаются в т.ч. и по вине Росавиации.

Основными проблемами существующей нормативной документации является разрозненность и устаревание методик измерений и контроля, расчетов, нормирования и снижения АШ.

Разногласия в нормативной документации начинают встречаться в самых основных ее пунктах, например, при выборе значений предельно допустимых уровней шума вблизи аэропортов. Так значения приведенные в СН 2.2.4/2.1.8.562-96, которые являются основным документом устанавливающим ПДУ по фактору акустического воздействия, уровни шума на территории непосредственно прилегающей к жилым домам совершенно не совпадают с ПДУ, приведенными в ГОСТ 22283-88. В таблице 9 приводятся данные из этих документов.

Таблица 9

Время суток	Эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, дБА	Максимальный уровень звука при единичном воз-
Предельно допустимые значения уровней шума для территории прилегающей к жилой застройке согласно		
День (с 7.00 до 23.00 Ночь (с 23.00 до 7.00	65 55	85 75
Предельно допустимые значения уровней шума для территории прилегающей к жилой застройке согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96		
День (с 7.00 до 23.00	55	70
Ночь (с 23.00 до 7.00	45	60

Сравнение показывает, что в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 предельно допустимые эквивалентные уровни звука установлены на 10 дБА ниже допустимых значений ГОСТ 22283-88, а максимальные уровни звука – на 15 дБА. Следует отметить, что указанные значения санитарных норм распространяются на любую селитебную территорию, в то время как значения государственного стандарта применимы только к территории жилой застройки вблизи существующих и проектируемых аэродромов и аэропортов. Возникает справедливый вопрос: какой из стандартов можно применять при нормировании АШ и какие дома можно считать находящимися "вблизи существующих и проектируемых аэродромов и аэропортов"? К

сожалению, на этот вопрос не дает однозначного ответа даже главный санитарный врач страны Г.Г Онищенко.

Следующая проблема с которой можно столкнуться – это устаревшие методики расчета шума от ВС. В большей части документов указаны характеристики самолетов не используемых, устаревших, с довольно высокими на сегодняшний день акустическими характеристиками. Большинство из представленного списка ВС выведены или должны быть выведены из эксплуатации согласно нормам ИКАО. Кроме этого наблюдается отсутствие единого понимания критериев оценки АШ. К примеру, во многих переведенных с других языков и адаптированных государственных стандартов в России используют в качестве критериев оценки такой параметры как: EPNL – эффективный уровень воспринимаемого шума, SPL – мгновенный уровень давления. В отечественных методиках используются привычные нам эквивалентные ($L_{\text{Аэкв}}$) и максимальные ($L_{\text{Амакс}}$) уровни звука. Различие и малая корреляция нормативных документов в данном случае на позволяет получить полную ясность в способах определения и расчета АШ.

Одним из немногих документов, позволяющих произвести полный расчет уровней АШ, является "Руководство по рекомендуемому методу расчета контуров шума вокруг аэропортов" принятая ИКАО []. Данный документ позволяет произвести точный расчет шума с учетом большого числа факторов, таких как изменение траектории полета, мощности двигателя на разных участках пути, углов наклона ВС относительно земли, а также учесть тип ВС и месторасположение двигателей. К недостаткам этой методики является громоздкость и сложность расчетов ручным способом. К тому же реализация этой методики посредством ЭВМ требует от инженера больших знаний в области авиации, а также большого количества исходных данных.

Как уже говорилось, стандартные и распространенные способы снижения шума не применимы к авиации, но это не означает отсутствие возможностей к уменьшению АШ. Все существующие методы можно разделить на несколько типов:

1) Зонирование территории по фактору АШ;

2) Административные способы борьбы с АШ;

3) Технические способы борьбы с АШ.

Как и от многих других вредных факторов, от АШ защищаются удалив данный источник на значительное расстояние от нормируемых территорий.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [] аэропорты должны иметь установленные расчетным путем границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ), а проблемы методов расчета авиационного шума до сих пор не устранены. К сожалению, в разделе III данных санитарных правил и норм не учтена специфика такого фактора как АШ, аэропорт рассматривается с точки зрения

стационарных источников шума, упуская воздействия, оказываемое на многие километры трассы движения ВС.

Устанавливая границы СЗЗ аэропорта не следует забывать про зоны санитарного разрыва (ЗСР). В совокупности по результатам установления границ зон происходит зонирование территории вокруг аэропорта. Из них выделяют:

– ***зона застройки без ограничений*** – определяется допустимыми уровнями звука на прилегающей к застройке территории в зависимости от их функционального назначения без проведения дополнительных шумозащитных мероприятий;

– ***зона регулируемой застройки*** – определяющая пригодность территории в окрестностях аэропорта к застройке из условий шума – определяется значениями допустимых уровней звука на территории жилых, общественно-деловых и рекреационных зон и мест массового отдыха населения, на территориях размещения лечебно-профилактических учреждений и площадках детских дошкольных учреждений, школ и др. учебных заведений и условиями обеспечения санитарных и гигиенических нормативов внутри помещений за счет планировочных решений, разработки и применения проектов шумозащитных зданий или зданий с повышенной звукоизоляцией наружных ограждающих конструкций (например, окон, дверных проемов и пр.)

– ***зона запрещения жилой застройки*** – определяется сверхнормативными уровнями звука на территории жилых и других зон и невозможностью обеспечения допустимых уровней внутри помещений данной категории зданий за счет строительно-планировочных и других защитных мероприятий.

Предельно-допустимые значения максимальных и эквивалентных уровней звука для данных зон указаны в таблице 10.

Таблица 10

Время суток	**Допустимые уровни шума в зонах, дБА**			
	А	**Б**	**В**	**Г**
Пригодность территории для жилой застройки	Разрешается	Разрешается с повышенной звукоизоляцией наружных ограждений		Запрещается
День	$L_{Аэкв} \leq 60$ при пролетах	$61 \leq L_{Аэкв} \leq 65$	$61 \leq L_{Аэкв} \leq 65$	$L_{Аэкв} > 65$
	$L_{Амакс} \leq 80$	$81 \leq L_{Амакс} \leq 85$	$81 \leq L_{Амакс} \leq 85$	$L_{Амакс} > 85$
Ночь	$L_{Аэкв} \leq 50$ при пролетах	$51 \leq L_{Аэкв} \leq 55$	$56 \leq L_{Аэкв} \leq 60$	$L_{Аэкв} > 60$
	$L_{Амакс} \leq 70$	$71 \leq L_{Амакс} \leq 75$	$76 \leq L_{Амакс} \leq 80$	$L_{Амакс} > 80$

Таким образом, при проведении зонирования территории вокруг аэропорта появляется возможность принимать решения о строительстве новых зданий, необходимости расселения жилых домов особо подверженных негативному воздействию АШ и считающихся непригодными для проживания человека. Данная информация о зонах акустического воздействия должна отражаться в "Акустическом паспорте аэропорта", который согласно РД 152-001-94 и "Рекомендациям по установлению зон ограничения жилой застройки в окрестностях аэропортов гражданской авиации из условий шума" должен иметь каждый аэропорт России. Срок действия данного паспорта составляет 5 лет. К сожалению, не все аэропорты имеют такой паспорт, а у части из существующих аэропортов нет даже установленных границ СЗЗ по фактору акустического воздействия.

Таким образом, рост городов, связанный с расширением границ и застройкой новых земельных участков, ведет к тому, что строительство ведется в сторону аэропортов и все большее число населения подвергаются повышенному шуму. Описанной ситуации бы не существовало, если бы каждый аэропорт имел свой акустический паспорт, тем самым не допуская подобных проблем. Следует отметить, что в последние годы работы в данном направлении ведутся очень активно.

Административные меры, направленные на борьбу с АШ также могут оказывать существенное влияние на шумовую обстановку вблизи аэропортов. Такими мерами активно пользуется Международная организация гражданской авиации ИКАО, которая с помощью применения таких санкций успешно решает задачи по снижению АШ. Рассмотрим некоторые из них.

Запрет на использование ВС уровень шума которых выше установленных требований, позволил исключить из летного парка наиболее шумные виды ВС. ИКАО имеет документацию в которой указаны предельные уровни авиационного шума для ВС на конкретные временные периоды. Применение данных запретов в полной мере ощутили на себе Российские авиакомпании в 2001 году, кода был наложен запрет на полет в Европу на ВС, не отвечающим требованиям Гавы 2 ИКАО. И в настоящее время мы можем наблюдать снижение использования самолетов , к примеруТу154, с высокими акустическими характеристиками.

Ввод ограничений на количество операций взлета/посадки существенно влияет на шум, создаваемый ВС на приаэродромной территории. Данные ограничения практикуются в США и Европе, а в особенности распространены в Германии. В первую очередь ограничения касаются вечернего и ночного времени суток. В некоторых аэропортах мира имеется разрешенное, определенное расчетами число операций взлета/посадки, тем

самым аэропорты контролируют акустическую обстановку, не допуская увеличения вредного воздействия АШ на население.

Применение штрафов за несоблюдение стандартных трасс полета так же позволяет добиться положительного результата. Установление стандартных маршрутов полета сложная процедура нацеленная в первую очередь на безопасность. В современной практике при установлении и корректировки данных маршрутов руководствуются выбором оптимальных маршрутов не только с точки зрения безопасности, но и с точки зрения акустики. Не всегда данные маршруты просты для полета, поэтому для совершения полетов в аэропорты других стран пилоты вынуждены проходить дополнительное обучение.

Необходимо подчеркнуть, что несоблюдение стандартных трасс полета ситуация нередкая для России и это вносит определенные трудности и проблемы. Зачастую, экономя топливо, пилоты совершают более ранние развороты и "отступают" от установленных траекторий, это нередко приводит к пролетам ВС прямо над территорией жилой застройки. Все это вносит негативный вклад в уровни шума в жилой зоне и создает серьезные расхождения между расчетными и измеренными значениями уровней шума.

Таким образом, введение штрафов за отклонения позволяет контролировать акустическую обстановку вблизи аэропортов и соблюдать расчетные значений уровней АШ на границе зоны санитарного разрыва.

Запрет на проведение процедуры апробирования двигателей в ночное время – простая административная мера широко распространенная во все мире. Данная мера позволяет существенно снизить количество жалоб населения приложив наименьшее количество времени усилий. К сожалению в нашей стране этому вопросу уделено очень мало внимания, апробирование двигателей может проходить как в ночные, так и в утренние часы.

6 .Выводы и рекомендации

1. Необходимо принятие Федерального закона о шуме, в котором должно быть дано решение этой проблемы концептуально (Кто “отвечает” за шум в государстве, меры по снижению шума, учет шумового воздействия и т.д.).

2.Разрабатывать технические регламенты для отдельных отраслей народного хозяйства.

3.Разработка шумовых карт городов и населенных пунктов, автодорог, аэропортов.

4. Разработка нормативно-технической документации по расчетам шума и проектированию шумозащиты.

5.Мониторинг шумового загрязнения в городах.

Литература

1. Towards a Comprehensive Noise Strategy, Policy Departament Economic and Scientific Policy. Environment, Public, Health and Food Safety, 2012, 82 p.

2. Постановление Правительства Москвы “О Концепции снижения уровней шума и вибрации в г. Москве”, 16 октября 2007 г. № 896-ПП.

3. Государственный Доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году”.

4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

5. ОДМ 218.2.013-2011. Отраслевой дорожный методический документ УДК 625.7/8:628.517.2. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам

6. ГОСТ Р 54931-2012 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования»;

7. ГОСТ Р 54932-2012 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля технических требований»;

8. ГОСТ Р 54933-2012 «Методы расчета уровней шума, излучаемого железнодорожным транспортом»;

9. СТО РЖД «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Правила приемки, ввода в эксплуатацию и обслуживания в процессе жизненного цикла».

10. Federal Act on the Protection of the Environment of 7 October 1983 (status as at august 2010)/ The Federal assembly of the Swiss Confederation.

11. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002/

Современные методы расчёта шума транспортных потоков

Цукерников И.Е.
НИИСФ РААСН
3342488@mail.ru

1 ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем современности является обеспечение экологической безопасности населения. Среди различных вредных факторов окружающей среды особое место занимает транспортный шум, являясь превалирующим источником особенно в крупных городах.

Проводившиеся многочисленные исследования показали, что уровни транспортного шума, проникающие в жилые помещения зданий и на селитебные территории городов, во многих случаях значительно (на десятки децибел) превышают санитарные нормы. Так по данным ГБПУ «Мосэкомониторинг» [1] основными источниками шумового воздействия на территории города Москвы являются автотранспорт, железнодорожный транспорт и наземные линии метро. Превышения нормативов, обусловленные воздействием источников составили: для автотранспорта 15-25 дБА, для железнодорожного транспорта – 10-20 дБА. Площадь территории, подверженной сверхнормативному воздействию, равна соответственно 545,5 км^2 и 17,5 км^2 (в ЦАО), что составляет 60% и 26% от площади застроенной земли [2, 3]. При этом отмечается установленная в последние годы тенденция снижения различий между уровнями шума в дневное и ночное время на территориях города, прилегающих к автотрассам: «Шумовые характеристики большинства магистралей городского значения незначительно меняются в течение суток (за исключением периода с 3 до 5 часов утра) за счет того, что в ночное время снижение количества автотранспорта компенсируется ростом скорости транспортного потока». В результате транспортный шум в возрастающей степени оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье населения, что приводит к многочисленным жалобам.

При защите от транспортного шума большое значение имеют организационные меры: перераспределение потоков транспорта, ограничение грузового движения, ограничение скорости и др. Для обоснованного принятия решений по выбору мер ограничения шума необходимо знать существующую шумовую обстановку, иметь достоверные данные о ее распределении на городских территориях.

При мониторинге транспортного шума в России и за рубежом большую роль играют прогнозные расчеты шума, т.к. для измерения средних годовых уровней шума во всех точках его оценки или в репрезентативном числе таких точек, потребовалось бы практически неосуществимо большое количество долгосрочных измерений шума. Более того, поскольку прогнозирование эффекта предлагаемых мероприятий по снижению шума выполняется только методами расчета, то при составлении шумовых карт на основе измерений будет трудно полноценно рассчитать эффект предлагаемых планов мероприятий или прогнозировать новое строительство. В результате в Российском стандарте ГОСТ Р 53187 [4], регламентирующем правила проведения мониторинга на территориях городов, рекомендовано проводить составление оперативных шумовых карт, пользуясь по мере возможности методами вычислений [5]. В связи с этим важным фактором является повышение точности расчетов распространения транспортного шума на территории застройки.

Исходными данными для расчета являются шумовые характеристики транспортных потоков. В соответствии СП 51.13330 [5] шумовыми характеристиками транспортных потоков на улицах и дорогах являются эквивалентный $L_{A\text{экв}}$, дБA, и максимальный $L_{A\text{макс}}$ уровни звука, дБA, на расстоянии 7,5 м от оси первой полосы движения для автомобильного транспорта и 25м от оси ближнего к расчетной точке пути для железнодорожного транспорта.

При отсутствии результатов измерения шумовых характеристик расчет шума, создаваемого транспортными потоками включает два этапа: определение шумовых характеристик по параметрам движения потока и расчет уровней шума в заданных точках на территории застройки.

В настоящем докладе будут рассмотрены современные методы расчета шума потоков автомобильного и железнодорожного транспорта, начиная с определения шумовых характеристик и заканчивая процедурами расчета уровней шума на местности.

2. РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ШУМА ПОТОКОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В последние десять лет расчеты уровней шума, создаваемого на территории застройки потоками автотранспорта, выполняли с помощью следующих документов: рекомендации Минтранса России 1995 г. [6], пособие к МГСН 2.04-97 [7], включающее основные положения руководства по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума, разработанного НИИСФ РААСН в 1982 г. [8], руководство Минтранса России 2001 г. [9], методические рекомендации Росавтодора 2003 г. [10].

Положения документов [7, 8, 10], касающиеся методов расчета, отражены в учебном пособии [11], выпущенном НИИСФ РААСН в 2004 г.

В 2011 - 2012 г.г. Московским автомобильно-дорожным государственным техническим университетом (МАДИ) при участии Научно-исследовательского института строительной физики российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН) разработан отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.013-2011 [12]. Документ утвержден в декабре 2012 г. Как следует из предисловия, этот документ разработан в развитие методических рекомендаций [10], дополняет и развивает документы [8, 9].

2.1. Определение шумовых характеристик автотранспортного потока

В соответствии с рекомендациями [7, 8, 11] эквивалентный уровень звука *А* $L_{Аэкв7,5}$ рассчитывают с помощью выражения:

$$L_{Аэкв7,5} = 10\lg N + 13,3\lg V + 4\lg(1+\rho) + \Delta L_{Апок} + \Delta L_{Аукл} + 15, \quad (1)$$

где N – интенсивность движения в двух направлениях, авт/ч; V – средняя скорость движения, км/ч; ρ – относительная доля грузовых автомобилей (массой не менее 3500 кг) и автобусов в транспортном потоке, %; $\Delta L_{Апок}$ – поправка, учитывающая вид дорожного покрытия, дБ*А* (при асфальтобетоне и асфальте $\Delta L_{Апок} = 0$, при бетоне и неровном асфальтобетоне $\Delta L_{Апок} = +3$ дБА); $\Delta L_{Аукл}$ – поправка, учитывающая влияние продольного уклона дороги, дБ*А*, для которой дана таблица значений в зависимости от величин уклона в диапазоне от 2% до 10 % и структуры транспортного потока.

По результатам статистической обработки натурных измерений, выполненных НИИСФ РААСН в 2004-2005 г.г. на ряде московских улиц в работе [13] предложено модифицированное выражение, позволяющее уточнить результаты расчета до 4 дБ*А*:

$$L_{Аэкв7,5} = 9,5\lg N + 12,64\lg V + 7,98\lg(1+\rho) + \Delta L_{Апок} + \Delta L_{Аукл} + 11,39. \quad (2)$$

В методических рекомендациях [12] расширен перечень параметров дороги, влияющих на значение шумовой характеристики. Эквивалентный уровень звука *А* $L_{Аэкв7,5}$ рассчитывают с помощью выражения:

$$L_{Аэкв7,5} = 50 + 8,8\lg N + \Delta L_{Агруз} + \Delta L_{Аск} + \Delta L_{Аукл} + \\ + \Delta L_{А\,пок} + \Delta L_{А\,рп} + \Delta L_{А\,перес}, \quad (3)$$

где N, $\Delta L_{\text{Апок}}$, $\Delta L_{\text{Аукл}}$ – те же величины, что в выражениях (1), (2); $\Delta L_{A\text{груз}}$ - поправка, учитывающая отличие фактического количества грузовых автомобилей в транспортном потоке от исходного опорного значения (40%), дБA;

$\Delta L_{A\text{ск}}$ – поправка, учитывающая влияние средней скорости движения на шумность транспортного потока, дБA;

$\Delta L_{A\text{рп}}$ – поправка, учитывающая наличие центральной разделительной полосы на дороге, дБA;

$\Delta L_{A\text{перес}}$ – поправка, учитывающая наличие пересечения дорог на нерегулируемом перекрестке или на перекрестке со светофорным регулированием, дБA.

Интенсивность движения в дневной ($N = N_{\text{дн}}$) или ночной ($N = N_{\text{н}}$) периоды суток определяют из среднегодовой суточной интенсивности движения $N_{\text{сут}}$, авт/сутки, с помощью выражений:

$$N_{\text{дн}} = 0{,}076\, N_{\text{сут}}\ , N_{н} = 0{,}039\, N_{\text{сут}}\ . \qquad (4)$$

Для определения остальных величин приведен ряд таблиц и даны указания по их применению.

В табл. 1 приведены значения шумовой характеристики, рассчитанные с помощью выражений (1) – (3) для шести участков дорог, расположенных в северном округе города Москвы: два участка Дмитровского шоссе (ДМ-1 и ДМ-2), причем участок ДМ-2 с уклоном 2,7%, один участок 3-го Нижнелихоборского проезда (3НЛ), один участок Локомотивного проезда (ЛО), один участок линейного проезда (ЛП) и участок выезда на Дмитровское шоссе с Локомотивного проезда (ВДМ). В таблице приведены также результаты измерения эквивалентных уровней звука А в точках, расположенных на расстоянии 7,5 м от первой полосы движения рассматриваемых участков дорог, и параметры движения, зафиксированные во время измерений.

Вид дорожного покрытия для всех участков одинаков – асфальтобетон, что для выражений (1), (2) дает поправку $\Delta L_{\text{Апок}} = 0$ дБA, для выражения (3) $\Delta L_{\text{Апок}} = 1{,}5$ дБA.

$\Delta L_{\text{Аукл}} = 1$ дБA, для выражений (1) и (2) и 2 дБA для выражения (3) для участка ДМ-2;

$\Delta L_{A\text{груз}} = -2$ дБA;

$\Delta L_{A\text{ск}} = 1$ дБA, –2 дБA и – 3,5 дБA, соответственно для участков ДМ-1, ДМ-2 и 3НЛ, ЛО, ЛП, ВДМ. Все остальные поправки, входящие в выражение (3), равны нулю.

Таблица 1.
Пример сопоставления результатов определения шумовых характеристик с помощью выражений (1) – (3)

Обозначение участка дороги	*N*, авт/ч	*V*, км/ч	Доля грузовых автомобилей, %	$L_{Аэкв7,5}$, дБ*A*, рассчитанное по выражению			Измеренное значение $L_{Аэкв7,5}$, дБ*A*
				(1)	(2)	(3)	
ДМ-1	3390	70	15,4	79,7	77,9	81,6	72,2
ДМ-2	3390	70	15,4	80,7	78,9	83,6	80,0
3ЛН6	452	50	19,2	69,4	68,5	70,9	66,0
ВДМ	372	50	18,1	68,4	67,5	70,1	63,9
ЛОК	463	50	19,1	69,5	68,6	71,0	70,6
ЛП	72	30	16,6	58,2	57,6	62,3	60,4

Уточненная формула (2) дает меньшие на 0,6 – 1,8 дБ*A* значения шумовой характеристики $L_{Аэкв7,5}$, по сравнению с значениями, полученными с помощью выражения (1), в то время как выражение (3) дает большие на 1,5 – 4,1 дБ*A* значения. Для большинства участков дорог шумовые характеристики, определенные с помощью выражений (1) и (2) ближе к измеренным уровням, нежели значения, рассчитанные с помощью выражения (3). Поскольку для трети рассмотренных участков дорог расхождение между рассчитанными и измеренными значениями превышает 3 дБ*A* для окончательных выводов сопоставительный эксперимент целесообразно расширить.

Рекомендации для расчета шумовой характеристики автотранспортного потока в виде максимального уровня звука даны только в ОДМ 218.2.013-201 [12]. $L_{Амакс7,5}$ предлагается принимать в соответствии с ГОСТ Р 41-51 [14] при скорости движения потока v = 50 км/ч:

- для потока легковых автомобилей $L_{Амакс7,5}$ = 74 дБ*A;*
- при наличии в потоке грузовых автомобилей и/или автобусов $L_{Амакс7,5}$ = 80 дБ*A*.

При скорости движения *v*,отличной от 50 км/ч, максимальный уровень звука $L_{Амакс7,5}$ следует рассчитывать по формуле:

$$L_{Амакс7,5}(v) = L_{Амакс7,5}(v = 50 \text{ км/ч}) + 32\lg(\frac{v}{50}), \quad (5)$$

которая следует из данных справочника [15], табл. 17.

2.2. Расчет уровней шума, создаваемого автотранспортом на местности

Наиболее общее выражение для расчета ожидаемого эквивалентного уровня звука *A* $L_{Aэкв}(R)$ в расчетной точке (РТ) на территориях (например, в 2 м от фасадов зданий) с учетом влияния всех физических явлений при распространении звука и элементов застройки дано в методических рекомендациях [10]:

$$L_{Aэкв}(R) = L_{Aэкв7,5} - \Delta L_{Aрас} - \Delta L_{Aвоз} - \Delta L_{Aв/т} - \Delta L_{Aгр} - \Delta L_{Aз.н.} - \\ -\Delta L_{Aэкр} + \Delta L_{Aотр} - \Delta L_{Aγ}, \quad (6)$$

где $\Delta L_{Арас}$ – снижение уровня звука *A* в зависимости от расстояния *R* от оси ближней полосы движения транспортного потока и РТ, дБ*A*; $\Delta L_{Авоз}$ – снижение уровня звука *A* вследствие его поглощения воздухом, дБ*A*; $\Delta L_{Ав/т}$ – снижение уровня звука *A* за счет влияния турбулентности воздуха и ветра, дБ*A*; $\Delta L_{Агр}$ – изменение уровня звука *A* вследствие влияния поверхности территории, дБ*A*; $\Delta L_{Аз.н.}$ – снижение уровня звука *A* из-за наличия зеленых насаждений, дБ*A*; $\Delta L_{Аэкр}$ – снижение уровня звука *A* при наличии шумозащитных экранов, дБ*A*; $\Delta L_{Aотр}$ – изменение уровня звука *A*, учитывающее влияние отражений звука от ограждающих конструкций зданий, принимаемое равным 3 дБ*A*; $\Delta L_{Aγ}$ – снижение уровня звука *A* вследствие ограничения угла видимости γ из расчетной точки на дорогу, связанное с наличием препятствий на пути распространения звука, дБ*A*.

Для величин, входящих в выражение (6), в [10] приведены расчетные выражения.

Ожидаемый максимальный уровень звука *A* $L_{Aмакс}(R)$ в РТ с учетом влияния всех физических явлений и элементов застройки рассчитывают по формуле:

$$L_{Aмакс}(R) = L_{Aмакс7,5} - \Delta L_{Aрас} - \Delta L_{Aвоз} - \Delta L_{Aв/т} - \Delta L_{Aз.н.} - \Delta L_{Aэкр}. \quad (7)$$

В документах [7, 8, 11] используются лишь две величины, характеризующие изменение уровня звука на местности: $\Delta L_{Арас}$ и $\Delta L_{Аотр}$, что соответствует расчету уровней шума на прилегающей к дороге территории для фасадов первого эшелона зданий. При этом расчетное выражение для $\Delta L_{Арас}$ заменено графиком спадов уровня звука *A* с учетом возможности движения транспорта от двух до восьми полос; для $\Delta L_{Аотр}$ приведена таблица значений для односторонней и двухсторонней застройки вдоль дороги в зависимости от отношения высоты РТ $h_{РТ}$ к ширине улицы *B* (между фасадами зданий).

Необходимо отметить, что для расчета спада эквивалентного уровня звука *A* во всех указанных документах использовалось выражение:

$$\Delta L_{Аэкв\ рас} = 10\lg(R/7{,}5), \quad (8)$$

что соответствует гипотезе о цилиндрическом расширении звуковых волн, т.е. рассмотрению автомобильного потока как линейного источника бесконечной длины. Для расчета спада максимального уровня звука *A* в пособиях [7, 11] применяется выражение:

$$\Delta L_{Амакс\ рас} = 20\lg(R/7{,}5), \quad (9)$$

что соответствует сферическому расширению звука, т.е. предположению, что источник максимального шума локализован в какой-то конкретной точке потока и может быть моделирован точечным источником звука.

В методических рекомендациях ОДМ 218.2.013-201 [12] для расчета ожидаемого эквивалентного и максимального уровней звука *A* в РТ используется единое выражение (6). При этом для расчета $\Delta L_{Аотр}$ дается более дифференцированная таблица с учетом типа застройки, расстояний до односторонней застройки и между линиями двухсторонней застройки и усредненных разрывов между домами на линии застройки.

Для расчета спадов эквивалентного и максимального уровней звука *A* использована гипотеза квазицилиндрического расширения звуковых волн, т.е. автомобильный поток рассматривается как линейный источник конечной длины *l*, для которого справедливо выражение (см., например, справочник [16]):

$$\Delta L_{Арас} = 10\lg\left(arctg(l/15)\right) - 10\lg\left(arctg(l/2R)\right) + 10\lg\left((R/7{,}5)\right) \quad (10)$$

Для значений *R*, существенно меньших *l*, (РТ вблизи дороги) первым слагаемым в выражении (10) можно пренебречь, и это выражение переходит в выражение (8), если $R >> l$ оно приближается к (9), а при промежуточных значениях *R* более адекватно описывает снижение уровня звука с расстоянием.

Проведение расчетов непосредственно в уровнях звука *A* сопряжено с погрешностями, связанными с неучетом истинного спектрального характера шума, создаваемого транспортным потоком. Так, например, в работах [17, 18] показано, что звукоизоляция ограждения и эффективность акустического экрана, оцениваемые непосредственно по уровню звука *A*, существенно зависят от характера спектра падающего на ограждение и экран звука. В связи с этим более точные расчеты выполняют в октавных полосах частот в соответствии с методом, установленным в ГОСТ 31295.2 [19], являющимся введением в России международного стандарта ИСО 9613-2 [20]. Октавный уровень звукового давления *L* в РТ рассчитывают с помощью выражения:

$$L = L_W + D_c - A \tag{11}$$

где L_W – октавный уровень звуковой мощности точечного источника звука, набором которых моделируют рассматриваемые участки дорог, дБ; D_c – поправка, учитывающая направленность точечного источника шума; A - затухание в октавной полосе частот при распространении звука от точечного источника шума до РТ, дБ.

Поправка D_c равна сумме показателя направленности точечного источника D_I и поправки D_Ω, вводимой при распространении звука в пределах телесного угла Ω, меньшего 4π ср. В случае автодороги, принимается D_c = 3 дБ, т.к. излучение звука происходит в полупространство. Затухание A представляет собой сумму величин, характеризующих изменение уровня звукового давления в октавной полосе частот при распространении звука на местности, аналогичных входящим в выражение (6) величинам ΔL, дБ. Выражения и табличные и графические зависимости для определения составляющих затухания A в октавных полосах частот приведены стандартах [19, 20].

Важную роль при использовании выражения (10) играет алгоритм разбиения рассматриваемых участков дорог на элементарные отрезки и определения значений уровней звуковой мощности L_W точечных источников звука. В соответствии с рекомендациями раздела 4 указанных стандартов линейные источники шума, которыми являются автодороги, должны быть аппроксимированы набором точечных источников посредством разбиения на элементарные отрезки с точечным источником в центре. При этом длина каждого такого отрезка не должна превышать половины расстояния от него до заданной РТ. В соответствии с рекомендациями пособий [7, 11] шумовые характеристики транспортного потока пересчитывают в значения уровней звукового давления в октавных полосах частот с помощью выражения:

$$L = L_A + \Delta L_{\text{отн}}, \tag{12}$$

Где $\Delta L_{\text{отн}}$ – относительный спектр автомобильного транспорта, дБ, значения которого приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Относительный спектр шума автомобильного транспорта

$\Delta L_{\text{отн}}$, дБ, в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц					
125	250	500	1000	2000	4000
+2	-1	-4	-4	-7	-13

Для распространения относительного спектра на весь нормируемый диапазон можно воспользоваться значениями нормативного спектра L_i для автодорог, приведенными в европейском стандарте ЕН 17393-3 [21], и определить $\Delta L_{отн}$ как разность значений нормативного спектра L_i, и частотной коррекции A шумомера A_i, принимаемой в соответствии с ГОСТ Р 53188.1 [22]. Результаты расчета приведены в табл. 3. Для трех низших 1/3-октавных полос использованы данные из международного стандарта ИСО 717-1 [23], а значения $\Delta L_{отн.okt}$ получены энергетическим суммированием соответствующих значений $\Delta L_{отн.⅓\,okt}$ с учетом отрицательности суммируемых величин.

Таблица 3.

Относительный спектр $\Delta L_{отн}$ шума автотранспорта

$f_{сг}$, Гц	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500
L_i, дБ	-25,0	-23,0	-21,0	-20,0	-20,0	-18,0	-16,0	-15,0	-14,0	-13,0	-12,0
A_i, дБ	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	- 8,6	- 6,6	- 4,8	- 3,2
$\Delta L_{отн.⅓\,okt}$, дБ	+5,2	+3,2	+1,5	-0,9	-3,9	-4,6	-5,1	-6,4	-7,4	-8,2	-8,8
$\Delta L_{отн.okt}$, дБ	+8,4			+2,0			-1,0			-3,8	

$f_{сг}$, Гц	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L_i, дБ	-11,0	-9,0	-8,0	-9,0	-10,0	-11,0	-13,0	-15,0	-16,0	-18,0
A_i, дБ	- 1,9	- 0,8	0	+ 0,6	+ 1,0	+ 1,2	+ 1,3	+ 1,2	+ 1,0	+0,5
$\Delta L_{отн.⅓\,okt}$, дБ	-9,1	-8,2	-8,0	-9,6	-11,0	-12,2	-14,3	-16,2	-17,0	-18,5
$\Delta L_{отн.okt}$, дБ		-3,7			-7,4			-12,3		

По значениям L рассчитывают значения уровня удельной (на 1 м длины) звуковой мощности рассматриваемого участка дороги длиной l с помощью выражения:

$$L_w = L + 10\lg\frac{7{,}5}{R_0} - 10\lg\left(2arctg\frac{l}{15}\right) + 8\,. \qquad (13)$$

В результате уровень звуковой мощности L_w элементарного отрезка дороги длиной l_i (и аппроксимирующего его точечного источника звука) в октавной полосе частот определяют с помощью выражения:

$$L_W = L_w + 10\lg\frac{l_i}{l_0}\,. \qquad (14)$$

В выражениях (13) и (14) R_0 = 1 м и l_0 = 1 м.

Значения уровней звука A в РТ рассчитывают посредством энергетического суммирования определенных с помощью выражения (11) значений уровней звукового давления в октавных полосах частот, корректированных по характеристике A шумомера в соответствии с ГОСТ Р 53188.1 [22] (см. данные табл. 3).

Основанные на выражениях (1), (11) – (14) алгоритмы расчета с использованием табл. 2 для относительного спектра реализованы в программе АРМ «Акустика», разработанной и распространяемой российской компанией ООО «ТЕХНОПРОЕКТ» [24]. За рубежом широкое распространение получили программы «Predictor» и «Lima», разработанные совместной голландско-немецкой фирмой «SoftNoise» и распространяемые датской компанией "Bruel & Kjaer" [25]. В этих программах использована голландская методика [26], определяющая в качестве шумовой характеристики автомобильной дороги корректированный по характеристике шумомера A уровень звукового воздействия L_{EA} в октавных полосах частот и отличный от описанного выше алгоритм расчета значения удельной звуковой мощности участка дороги (описание использованного в этих программах алгоритма расчета дано в публикуемой в настоящем сборнике работе [27]).

3. РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ШУМА ПОТОКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В настоящее время методы расчета шума потоков железнодорожного транспорта регламентированы ГОСТ Р 54933 [28], разработанным Балтийским государственным техническим университетом «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова (БГТУ, «ВОЕНМЕХ») и НИИСФ РААСН, утвержденным Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) в 2012 г. с датой введения 1 марта 2013 г.

3.1. Определение шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта

В соответствии с ГОСТ Р 54933 [28] шумовыми характеристиками потоков железнодорожного транспорта наряду с эквивалентным $L_{Aэкв25}$ и максимальным $L_{Aмакс25}$ уровнями звука A являются также эквивалентные $L_{экв25}$ уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 63 до 8000 Гц на расстоянии 25 м от оси ближнего железнодорожного пути на высоте 1,5 м от поверхности земли. При этом выделяют часовые эквивалентные уровни и эквивалентные уровни за время оценки, под которым понимают 16 ч дневного времени с 7 ч до 23 ч и 8 ч ночного времени с 23 ч до 7 ч.

Шумовые характеристики отдельных поездов определяют в зависимости от категории и длины поезда, скорости его движения и характера пути.

В расчет принимают коррекции на тип пути, прохождение кривых участков пути и стрелок, тип тормозов, характер движения (торможение и ускорение), прохождение железнодорожных мостов. При определении максимальных значений шумовых характеристик учитывают звуковые сигналы, подаваемые поездами на рассматриваемом участке пути.

Выделяют четыре категории поездов в соответствии с табл. 4.

Таблица 4.

Классификация поездов

Категория	Тип поезда	Максимальная расчетная скорость, км/ч
1	Пассажирский поезд с локомотивной тягой	200
2	Грузовой поезд	90
3	Электропоезд	160
4	Высокоскоростной поезд	250

Эквивалентный уровень звука A $L^i_{Аэкв25}$, создаваемого отдельными поездами i-ой категории на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути, рассчитывают по формуле

$$L^i_{Аэкв25} = a_i \lg v_i + b_i + 10\lg\left\{arctg\left(\frac{l_i}{25}\right)\right\} + \Delta L_{Апуть} + \Delta L_{Акр} + \Delta L_{Ау} + \\ + \Delta L_{Ат} + \Delta L_{Амост}, \quad (15)$$

где значения v_i – скорость движения поезда i-ой категории, км/ч, l_i – длина поезда i-ой категории, м; $\Delta L_{Апуть}$ – коррекция на тип пути, наличие стыков и стрелок, дБA; $\Delta L_{Акр}$ – коррекция при наличии кривых участков пути, дБA; $\Delta L_{Ау}$ – коррекция на ускорение, дБA; $\Delta L_{Ат}$ – коррекция на торможение, дБA; $\Delta L_{Амост}$ – коррекция при прохождении поезда по мосту, дБA.

Для величин, входящих в выражение (15), в стандарте приведены расчетные выражения и таблицы значений. Значения коэффициентов a_i и b_i для поездов различной категории получены по расчетам линейной регрессии для измерений шума репрезентативной выборки поездов [29] и приведены в табл. 5.

Часовой эквивалентный уровень звука A $L^i_{Аэкв25,1h,l}$ потока поездов i-ой категории, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа, рассчитывают по формуле

$$L^{i}_{Аэкв25,1h,l} = 10\lg\frac{1}{3600}\sum_{j=1}^{n_l^i} t^i_{jl}\,10^{0,1L^i_{Аэкв25,jl}} \qquad (16)$$

Таблица 5.

Коэффициенты для определения шумовых характеристик поездов

Категория *i* поезда	Уровень звука, дБ*A*	a_i	b_i
1	Экв.	25,3	33,3
	Макс.	24,0	41,2
2	Экв.	20,4	46,0
	Макс.	15,0	59,9
3	Экв.	28,9	28,0
	Макс.	27,5	36,2
4	Экв.	41,1	-12,3
	Макс.	45,1	-19,7

где $L^i_{Аэкв25,jl}$ – эквивалентный уровень звука А, дБА, создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути j-м поездом i-ой категории, проходящим в течение l-го часа; n^i_l – число поездов i-ой категории, проходящих по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа; t^i_{jl} – время следования j-го поезда i-ой категории по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа, с.

Часовой эквивалентный уровень звука *A* $L_{Аэкв25,jl}$, создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути потоками поездов железнодорожного транспорта всех категорий, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение *l*-го часа, определяют по формуле

$$L_{Аээк25,1h,l} = 10\lg\sum_{i=1}^{n} 10^{0,1L^{i}_{Аээк25,1h,l}}. \qquad (17)$$

Эквивалентный уровень звука *A* $L_{Аэкв25,k}$ за время оценки рассчитывают по формуле

$$L_{Аээк25,k} = 10\lg\frac{1}{T_k}\sum_{l=1}^{n_k} t_l\,10^{0,1L_{Аээк25,1h,l}}, \qquad (18)$$

где T_k – время оценки, ч, принимаемое в соответствии с санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [30], равным 16 ч (n_k=16) для дня и 8 ч (n_k=8) для ночи; t_l = 1 ч.

Эквивалентные уровни звукового давления $L^{i}_{\text{экв25}}$, дБ, в октавных полосах частот на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути для поездов *i*-ой категории (*i* = 1, 2, 3, 4) определяют по формуле (12) с значениями относительных спектров, приведенными в табл. 6.

Часовые эквивалентные октавные уровни звукового давления $L^{i}_{\text{экв25,1h,l}}$, $L_{\text{экв25,1}h,l}$ потоков железнодорожного транспорта и эквивалентные уровни звукового давления $L_{\text{экв25,k}}$ за время оценки рассчитывают соответственно по формулам (16) - (18) с заменой в них эквивалентных уровней звука на соответствующие уровни звукового давления.

Таблица 6.

Относительные спектры шума железнодорожного транспорта

Источник шума	Относительная частотная характеристика, дБ, при среднегеометрических частотах октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Пассажирский поезд с локомотивной тягой	-12,6	-15,5	-18,4	-5,6	-3,7	-6,4	-11,5	-23,4
Грузовой поезд, (все типы)	+2,8	-5,8	-6,0	-2,5	-5,2	-7,0	-12,1	-21,8
Электропоезд	-15,1	-17,0	-17,3	-4,3	-3,3	-6,2	-13,5	-24,2
Высокоскоростной поезд	+1,0	-4,5	-13,9	-7,2	-4,6	-5,1	-10,8	-19,4

Максимальный уровень звука *A* $L^{i}_{\text{Амакс25}}$ шума, создаваемого поездами различных категорий на расстоянии 25 м от оси крайней полосы движения, рассчитывают по формуле:

$$L^{i}_{\text{Амакс25}} = a_i \lg v_i + 10\lg\left\{arctg\left(\frac{l_i}{50}\right)\right\} + b_i, \qquad (19)$$

где значения a_i и b_i даны в табл. 5.

За максимальный уровень звука *A* потока поездов, следующего по рассматриваемому участку пути за время оценки, принимают наибольшее из рассчитанных по формуле (19) значение для различных категорий поездов

$$L_{\text{Амакс25},k} = \max_i \left\{L^{i}_{\text{Амакс25}}\right\} \qquad (20)$$

где $L^{i}_{\text{Амакс25}}$ – максимальный уровень звука от поездов *i*-ой категории, дБ*A*.

3.2. Расчет уровней шума, создаваемого железнодорожным транспортом на местности

Ожидаемые часовые эквивалентный и максимальный уровни звука *A*, а также соответствующие уровни звука *A* за время оценки в РТ на территориях от потоков поездов различных категорий и от потоков поездов всех категорий с учетом всех физических явлений и элементов застройки определяют по формулам (6), (7) с использованием в них в качестве шумовых характеристик значений $L^{i}_{Аэкв25,1h,l}, L_{Аэкв25,1h,l}, L_{Аэкв25,k}$, $L^{i}_{Амакс25}$ и $L_{Амакс25,k}$. На небольших расстояниях от железной дороги можно учитывать лишь основные величины, характеризующие снижение уровней с расстоянием $\Delta L_{Арас}$ и отражение звука от ограждающих конструкций зданий $\Delta L_{Аотр}$. Аналогичные выражения следует использовать и в случае расчета ожидаемых эквивалентных уровней звукового давления в октавных полосах частот с использованием в качестве значений шумовых характеристик эквивалентных уровней звукового давления $L^{i}_{экв25,1h,l}, L_{экв25,1h,l}, L_{экв25,k}$ и в качестве величин, характеризующих изменения уровней шума при распространении звука от дороги до РТ, соответствующие величины в октавных полосах частот.

Снижение уровней шума в зависимости от расстояния $\Delta L_{Арас}$ рассчитывают по формулам: для эквивалентных уровней звука *A* и уровней звукового давления в октавных полосах частот

$$\left.\begin{matrix}\Delta L_{А} \\ \Delta L_{э}\end{matrix}\right\} = 10\lg\left[\frac{\arctg(\frac{\bar{l}}{2R})}{\pi}\right] - 10\lg\left[\frac{\arctg\frac{\bar{l}}{R}}{\pi} - \frac{1}{15}\arctg\left(1+\left(\frac{\bar{l}}{R}\right)^{2}\right)\right] + 10\lg\left(\frac{R}{2}\right), \quad (21)$$

для максимальных уровней звука *A*

$$\Delta L_{Амакс.рас} = 10\lg\left[arctg(\frac{\bar{l}}{50})\right] - 10\lg\left[arctg\frac{\bar{l}}{2R}\right] + 10\lg\left(\frac{R}{25}\right), \quad (22)$$

где $\bar{l}$ – средняя длина поездов, м, различных категорий, проходящих по рассматриваемому участку пути; *R* – минимальное расстояние до расчетной точки от оси ближнего пути движения, м.

Выполнение расчетов $\Delta L_{Арас}$ для потоков поездов различных категорий и общего потока поездов всех категорий показывает, что для расстояний, меньших 150 м, расчет снижения эквивалентных уровней можно проводить с помощью более простой формулы (22), аналогичной формуле (10) для автотранспортного шума.

Литература

1. Шум. Шумовое загрязнение// Мосэкомониторинг, 2001: сайт URL: http://www.mosecom.ru/noise (дата обращения: 21.01.2013).

2. Москва – площадь: Список (рейтинг) составлен на основе официальных данных Росстата: сайт URL: http://razmerov.ru/moskva.htm (дата обращения: 21.01.2013).
3. Характеристика Центрального административного округа города Москвы: Префектура Центрального административного округа г. Москвы, 2010: сайт URL: http://cao.mos.ru/doc.aspx?docid=73&treepath=13,73 (дата обращения: 21.01.2013).
4. ГОСТ Р 53187-2008. Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий. М.: Стандартинформ, 2009.
5. СП 51.13330-11. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. Минрегион России, М.: 2010.
6. Рекомендации по учету требований по охране ОС при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. М.: Минтранс России, 1995.
7. Проектирование защиты от шума и вибрации инженерного оборудования в жилых и общественных зданиях. Пособие к МГСН 2.04-97. М.: Москомархитектура, 1999.
8. Руководство по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума. М.: Стройиздат, 1982.
9. Руководство по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов дорожного хозяйства. М.: Минтранс России, 2001.
10. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения. М.: Росавтодор, 2003.
11. Звукоизоляция и звукопоглощение: Учеб. Пособие для студентов вузов/ Г.Л. Осипов, В.Н. Бобылев, Л.А. Борисов и др.; Под ред. Г.Л. Осипова, В.Н. Бобылева. – М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2004.
12. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.2.013-201. М.: Росавтодор, в печати.
13. В.А. Аистов. Усовершенствованные методы расчета шумовых характеристик автотранспортных потоков в современных условиях г. Москвы. Строительная физика в XXIвеке: Материалы научно-технической конференции / Под ред И.Л. Шубина. – М.: НИИСФ РААСН, 2006, с. 388-391.
14. ГОСТ Р 41.51-99. (Правила ЕЭК ООН № 51). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных

средств, имеющих не менее четырех колес, в связи с производимым ими шумом. М.: Стандартинформ, 1999.
15. Защита от шума в строительстве (Справочник проектировщика) // Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А Климухин. Под. общ. ред. Г.Л. Осипова. – М.: Стройиздат, 1993.
16. Handbook of noise and vibration control/ Edited by Malcolm J. Crocker. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2007, Chapter 5.
17. Tsukernikov I.E., Nevenchannaya T.O., Nekrasov I.A. A-weighted sound pressure level calculation for penetrating noise. Proceed. of 37th Intern. Congr. Inter-Noise 2008, Shanghai, China. 2008. Paper in 08 860.
18. И.Е. Цукерников, И.Л. Шубин, Т.О. Невенчанная. Оценка снижения уровня звука шумозащитным экраном. Жилищное строительство, 2012, № 6, с. 40-42.
19. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.
20. ISO 9613-2:1996 Noise. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2. General method of calculation.
21. EH 1793-3:1997. Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 3: Normalized traffic noise spectrum.
22. ГОСТ Р 53188.1-2008. Шумомеры. Часть 1. Технические требования.
23. ISO 717-1:1996. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.
24. АРМ «Акустика» // ООО «ТЕХНОПРОЕКТ»: сайт 2013. URL:http://www.noiseview.ru/ (дата обращения: 24.02.2013).
25. Predictor Analyst Type 7813 // Компания «Брюль и Къер»: Сайт, 2013. URL:http://www.bksv.com/products/environmentmanagementsolutions/noise%20mapping%20and%20prediction/predictor-analyst-7813.aspx (дата обращения: 24.02.2013).
26. RMV-SRM II Standaard rekenmethode 2 van het Reken en Meetvoorschrift Verkeerslawaai.
27. Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А. Сравнение результатов расчета автодорожного шума жилого района г. Москвы, полученных при использовании трех программных средств. – в печати.
28. ГОСТ Р 54933-2012. Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом.
29. И.Е Цукерников, Р. Хасс (ур. Карле). Расчет шумовых характеристик подвижного состава железнодорожного транспорта. Научно-технический журнал Вестник МГСУ, 2011, №3, т.1, с. 87-92.
30. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

Проблемы конструирования акустических экранов и их применение для снижения шума железнодорожного и автомобильного транспорта

Иванов Н.И.[1] , *Семенов Н.Г.*[2] , *Тюрина Н.В.*[3]
[1] Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова
[2] ООО «Дорметалл»
[3] Институт комплексного транспортного проектирования

Введение

На сегодняшний день акустические экраны (АЭ) или шумозащитные барьеры – одна из двух (наряду со звукоизолирующими системами для оконных проемов) эффективных конструкций защиты от шума в жилой застройке. Согласно накопленному опыту в мире и в нашей стране эти две конструкции составляют основу современной массовой технологии борьбы с железнодорожным и автомобильным шумом в городах и населенных пунктах.

Первые устройства-барьеры для защиты от шума железнодорожного транспорта появились в конце XIX в. в Лондоне и изготавливались из бетона. Массовое применение АЭ началось в Европе, США, Японии и некоторых других странах в начале 70-х годов XX в. Уже к концу прошлого столетия в Германии, Японии и некоторых др. странах было установлено до нескольких тысяч километров АЭ вдоль автомобильных и железных дорог.

В нашей стране первые АЭ были массово применены при строительстве Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) в середине 90-х годов прошлого века. На МКАД было установлено около 13 километров АЭ. В начале 2000-х гг. появились первые АЭ, установленные на железной дороге. Всего в России к настоящему времени установлено несколько сотен километров АЭ (порядка 0,5 млн. м^2) вдоль автомобильных и железных дорог. Обследования установленных АЭ показали, что многие из них обладают рядом конструктивных недостатков, спроектированы и смонтированы с ошибками и обладают невысокими шумозащитными свойствами. Одной из основных причин этого является недостаток информации об акустических экранах у проектировщиков и производителей.

Доклад направлен на то, чтобы дать представление о физических принципах снижения шума экранами, основах проектирования и опыте применения акустических экранов.

1. Физические принципы снижения шума

АЭ – звукоизолирующая конструкция. Основной принцип снижения шума экранами и назначение акустических экранов состоит в отражении звука. Часть звуковой энергии отражается АЭ, но часть проходит за экран, дифрагируя на его ребре, которое называется свободным ребром АЭ. Качественная сторона явления дифракции основывается на принципе Гюйгенса, который гласит: «каждая точка фронта бегущей волны является точечным источником новой элементарной волны, огибающая этих элементарных волн образует следующий фронт волны». В зоне тени наблюдается цилиндрическая волна, излучаемая кромкой протяженного свободного ребра экрана. (Напомним, что от точечных источников распространяется сферическая звуковая волна). По принципу действия АЭ делятся на отражающие и отражающе-поглощающие, в которых используется, помимо отражения, также и поглощение звука. Акустический экран (АЭ) – система, преобразующая звуковое поле по пути от источника шума (ИШ) к защищаемому от шума объекту (или расчетной точке, РТ).

Звук от ИШ к РТ в отсутствии АЭ в свободном звуковом поле распространяется прямым путем (рис. 1)

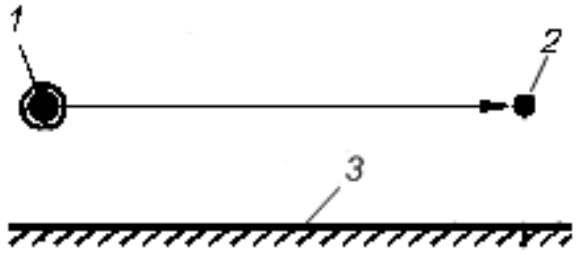


Рис. 1 Распространение звука в свободном звуковом поле: 1 – ИШ, 2 – РТ, 3 – поверхность, над которой распространяется звук.

Когда на пути звука установлен АЭ, то звук претерпевает ряд изменений (рис. 2).

Линия, которая соединяет ИШ и вершину АЭ (рис. 2) условно разделяет пространство на светлую зону и зону звуковой (акустической) тени. В зоне акустической тени шум от ИШ снижается АЭ.

Характер перераспределения звуковой энергии при наличии АЭ оценивается коэффициентами приведенными в табл. 1.

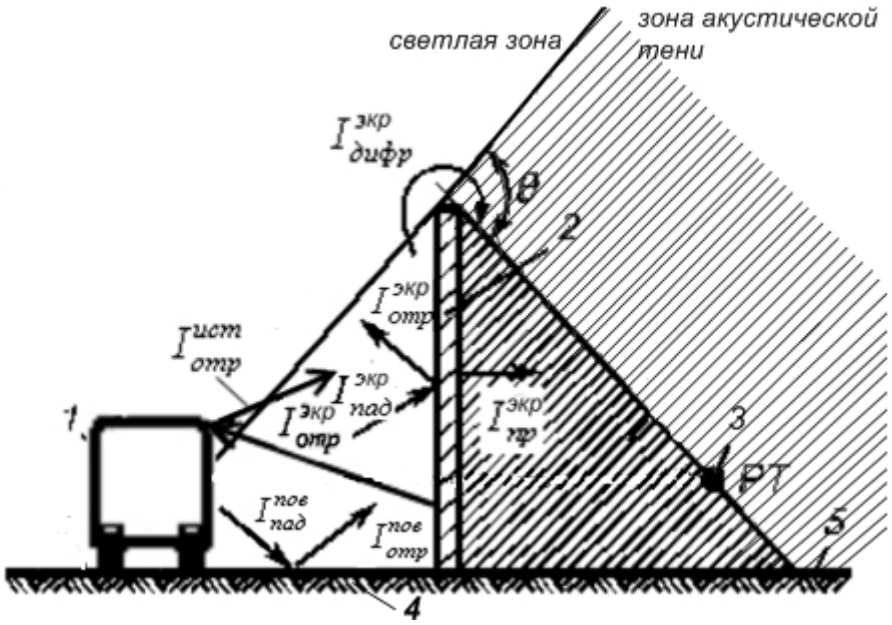


Рис. 2. Основные явления преобразования звука при наличии АЭ: 1–источник шума (ИШ); 2–акустический экран (АЭ); 3 - расчетная точка (РТ); 4 – близрасположенная к АЭ поверхность (отражающая или поглощающая), 5- опорная поверхность; $I^{пов}_{пад}$ – интенсивность звука, падающего на поверхность перед АЭ; $I^{пов}_{отр}$ – интенсивность звука, отраженного от поверхности; $I^{экр}_{пад}$ – интенсивность падающего на АЭ звука; $I^{экр}_{пр}$ – звук, прошедший через АЭ; $I^{экр}_{отр}$ - звук, отраженный от АЭ; $I^{ист}_{отр}$ - звук, переотраженный от источника шума; $I^{экр}_{дифр}$ – звук, дифрагирующий через свободное ребро АЭ; θ – угол дифракции АЭ.

Таблица 1

Коэффициенты и показатели преобразования звуковой энергии

Наименование коэффициента	**Аналитическое выражение (см. рис. 2)**	
Коэффициент звукопроводности АЭ ($\tau_{экр}$)	$\tau_{экр} = \frac{I^{экр}_{пр}}{I^{экр}_{пад}};$	$ЗИ_{экр} = 10\lg\frac{1}{\tau_{экр}}$
Коэффициент звукопоглощения АЭ ($\alpha_{экр}$)	$\alpha_{экр} = \frac{I^{экр}_{погл}}{I^{экр}_{пад}};$	–
Коэффициент дифракции АЭ ($\beta^{экр}_{дифр}$)	$\beta^{экр}_{дифр} = \frac{I^{экр}_{дифр}}{I^{экр}_{пад}}.$	$ПД = 10\lg\frac{1}{\beta^{экр}_{дифр}}$

Для оценки степени отражения звука АЭ применяется понятие звукоизоляции экрана $ЗИ_{экр} = 10\lg\frac{1}{\tau_{экр}}$. Для оценки снижения прохождения звука за свободное ребро АЭ – предлагается применять показатель дифракции (ПД) $ПД = 10\lg\frac{1}{\beta_{дифр}^{экр}}$

Чем глубже, т.е. дальше от границы, акустическая тень, тем более высокое снижение шума достигается АЭ. Следует отметить частотно-зависимый характер образования звуковой тени за экраном (рис. 3).

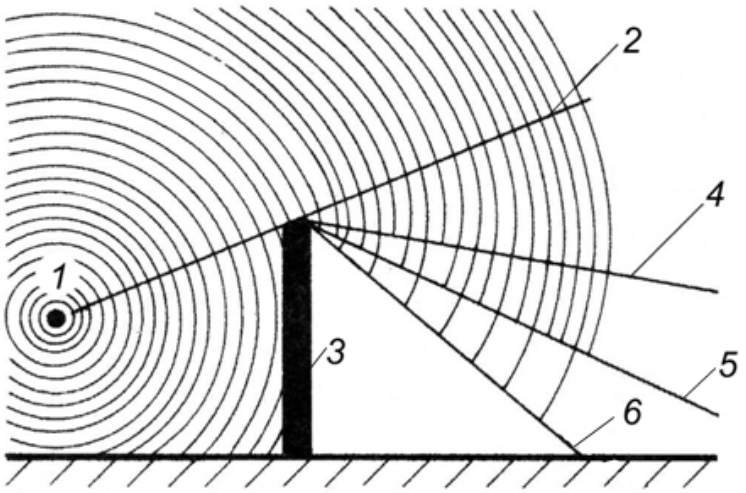


Рис. 3. Дифракция звука на свободном ребре АЭ: 1 – ИШ, 2 – граница между светлой зоной и зоной тени, 3 – АЭ, 4 – высокие частоты, 5 – средние частоты, 6 низкие частоты.

Как следует из анализа рисунка 3, чем выше частота звука ИШ, тем глубже звуковая тень, т.е. эффективность АЭ снижается с уменьшением частоты, а значит с увеличением длины звуковой волны. АЭ начинает эффективно снижать шум, когда его высота ($h_{экр}$) больше длины звуковой волны (λ), т.е. $h_{экр} > \lambda$. (Напомним, что зависимость между частотой звука и длиной звуковой волны выражается соотношением $\lambda = c/f$, где c – скорость звука в воздухе, c=340 м/с, например, для f=1000 Гц λ=0,34 м).

Универсальным показателем, показывающим степень глубины акустической тени, является угол дифракции (θ), образованный лучом от ИШ до вершины свободного ребра АЭ и от вершины свободного ребра АЭ до РТ (рис. 4,а).

Чем больше угол дифракции, тем эффективность АЭ выше.

По характеру дифракции звука на свободном ребре акустические экраны подразделяются на тонкие и широкие (рис. 4).

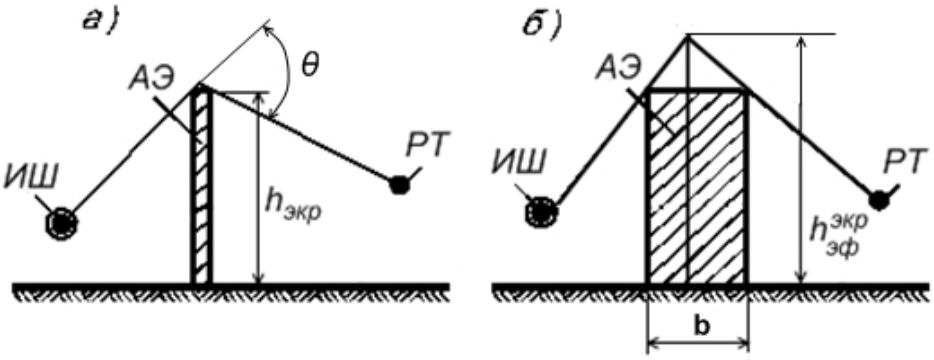


Рис. 4. Схемы тонкого (а) и широкого (б) АЭ: $h_{экр}$ – высота тонкого АЭ, $h_{эф}^{экр}$-условная высота широкого АЭ, b – ширина широкого АЭ.

Для тонких АЭ дифракция происходит на одной грани свободного ребра, для широких экранов (здания, насыпи) дифракция происходит на двух гранях. АЭ считается широким для всего расчетного частотного диапазона, если b > 3м. Если b < 3м, то широкий экран принимается для составляющей звукового поля ИШ при условии λ < b/5. Значение высот тонкого ($h_{экр}$) и широкого ($h_{эф}^{экр}$) АЭ можно увидеть на рис. 5. Широкие АЭ более эффективны, чем тонкие за счет двойной дифракции.

Ухудшение эффективности АЭ может происходить за счет множественных отражений звука, которые возникают при движении протяженных транспортных средств вдоль отражающего АЭ (рис. 5 (а)) или при установке параллельных отражающих АЭ (рис. 5 (б)).

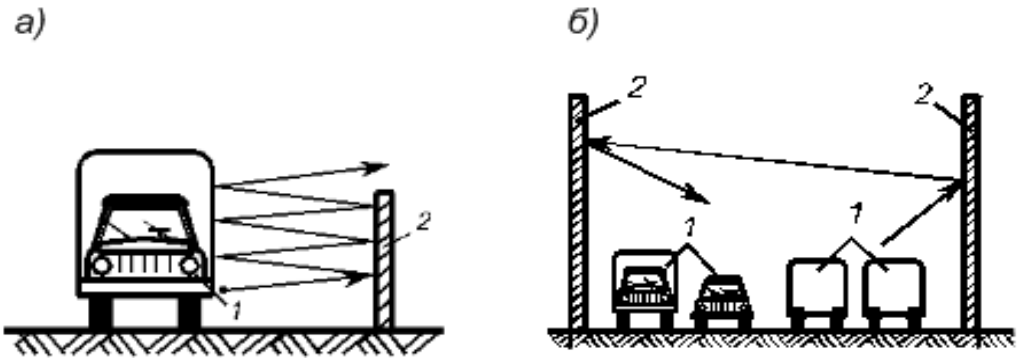


Рис. 5. Схема множественных отражений звука:
1-движущиеся протяженные ИШ, 2-отражающие АЭ:
а) отражения звука между ИШ и АЭ, б) отражения звука между двумя АЭ

2. Основные факторы, влияющие на акустическую эффективность

Акустическая эффективность АЭ

Под акустической эффективностью (уровнем снижения шума) АЭ подразумевается разность УЗ (УЗД) в РТ до ($L_{РТ}^{б/э}$) и после ($L_{РТ}^{с/э}$) установки АЭ.

$$\Delta L_{экр} = L_{РТ}^{б/э} - L_{РТ}^{с/э}, \text{ дБ} \quad (1)$$

На акустическую эффективность АЭ влияют:
- высота и длина АЭ;
- расстояние от ИШ до АЭ и (или) от АЭ до РТ;
- угол дифракции АЭ;
- звукопоглощающие (или отражающие) свойства АЭ;
- звукоизоляция АЭ.

Рассмотрим по отдельности влияние этих факторов.

Опытный стенд

Для установления зависимости эффективности акустического экрана от основных конструктивных факторов авторами были проведены исследования на специально созданном опытном стенде. Стенд представлял собой устройство, где монтировались АЭ, реально используемые в практике снижения железнодорожного и автомобильного шума в России (рис. 6).

Рис. 6 Общий вид стенда

АЭ сборно-разборные, устанавливались из деревянных и алюминиевых панелей. Длина опытных АЭ составила 48 м. В конструкции предусмотрены надстройки (перпендикулярные отгоны) для защиты боковых свободных ребер, которые позволяли снизить дифракцию и считать такой экран условно бесконечным для выбранных измерительных точек (7,5 м, 15 м, 25 м, 50 м, 100 м) см. рис. 7.

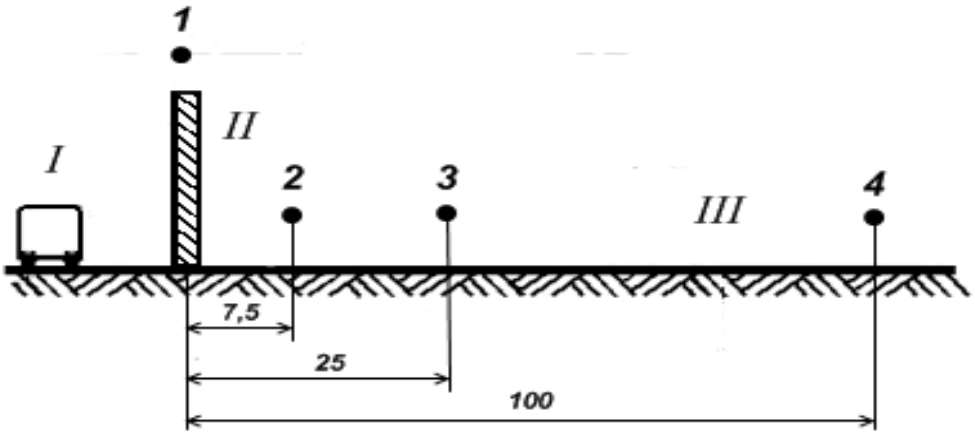


Рис. 7 Схема расположения измерительных точек: I – ИШ, II – АЭ, III – поверхность; 1-4 – ТИ.

Ниже изложены полученные на стенде результаты экспериментальных исследований, обосновывающие влияние основных конструктивных факторов на уровень снижения шума экраном.

Высота АЭ

Были выполнены испытания металлических и деревянных АЭ, высота которых изменялась от 1 до 6 м. Точка измерений находилась на расстоянии 25 м от АЭ. Данные акустической эффективности приведены в табл. 2.

Таблица 2

Акустическая эффективность отражающе-поглощающих АЭ в точке на расстоянии 25 м

Материал	Высота АЭ, м	Акустическая эффективность, дБ, в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц								Акустическая эффективность, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Металл	1	2	2	5	6	6	7	10	14	6
	2	2	4	6	9	9	12	17	20	11
	3	3	7	10	13	12	17	20	25	14

	4	7	10	13	16	15	20	23	29	16
	5	9	13	15	19	18	23	26	31	17
	6	10	14	17	20	20	25	29	32	18
Дерево	2	2	5	9	12	11	13	17	21	12
	3	4	10	14	15	14	17	22	26	16
	5	8	14	17	20	18	21	27	31	19
	6	11	15	20	21	19	22	28	33	20

Спектральные характеристики акустической эффективности в измерительной точке, расположенной на расстоянии 25 м металлического и деревянного АЭ показаны на рис. 8 и 9, соответственно. Закономерность изменения акустической эффективности металлического и деревянного АЭ в этой же точке (25 м) приведена на рис. 10.

Отметим общие закономерности в спектрах акустической эффективности: повышение акустической эффективности с увеличением частоты, но характер повышения различен для различных значений высоты. Так для металлического АЭ высотой 1 м увеличение эффективности составило приблизительно 1,9 дБ/октаву, а для АЭ высотой 6 м – приблизительно 2,5 дБ/октаву (рис. 8).

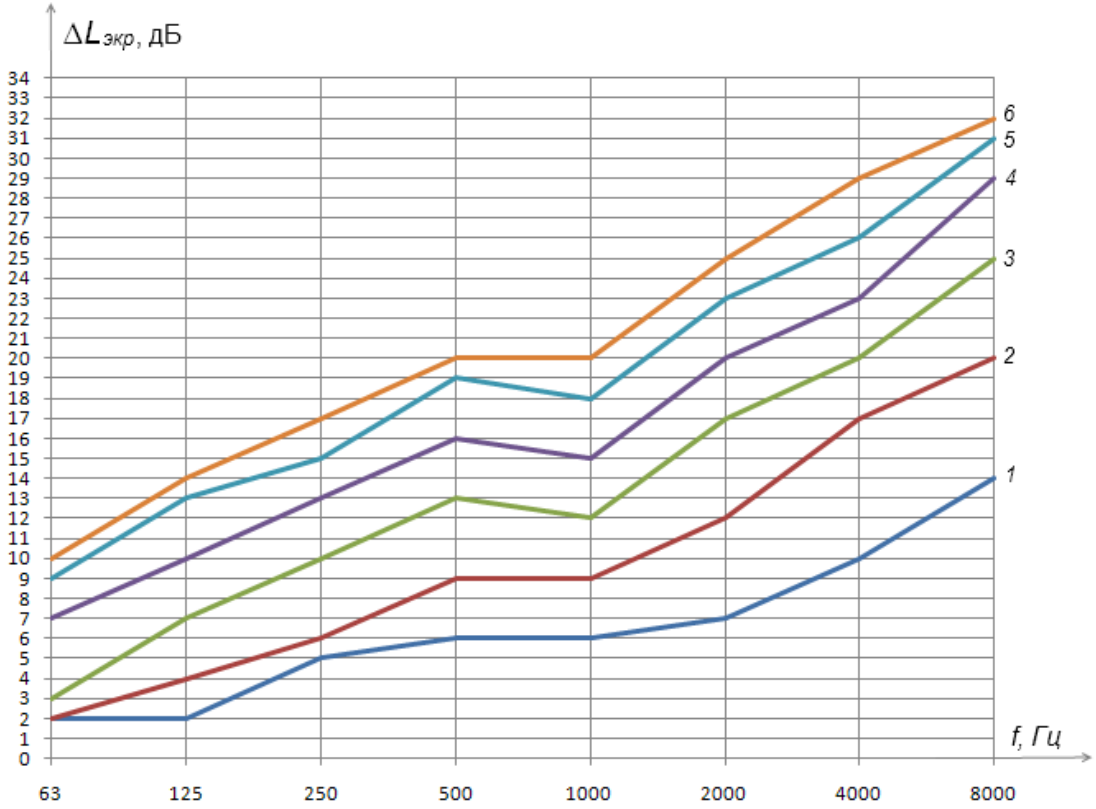


Рис. 8. Спектральные характеристики акустической эффективности отражающе-поглощающего металлического АЭ в точке на расстоянии 25 м при различных значениях высоты: 1 – высота АЭ 1м, 2 – 2м, 3 – 3м, 4 - 4м, 5 – 5м, 6 - 6м (по данным табл. 2).

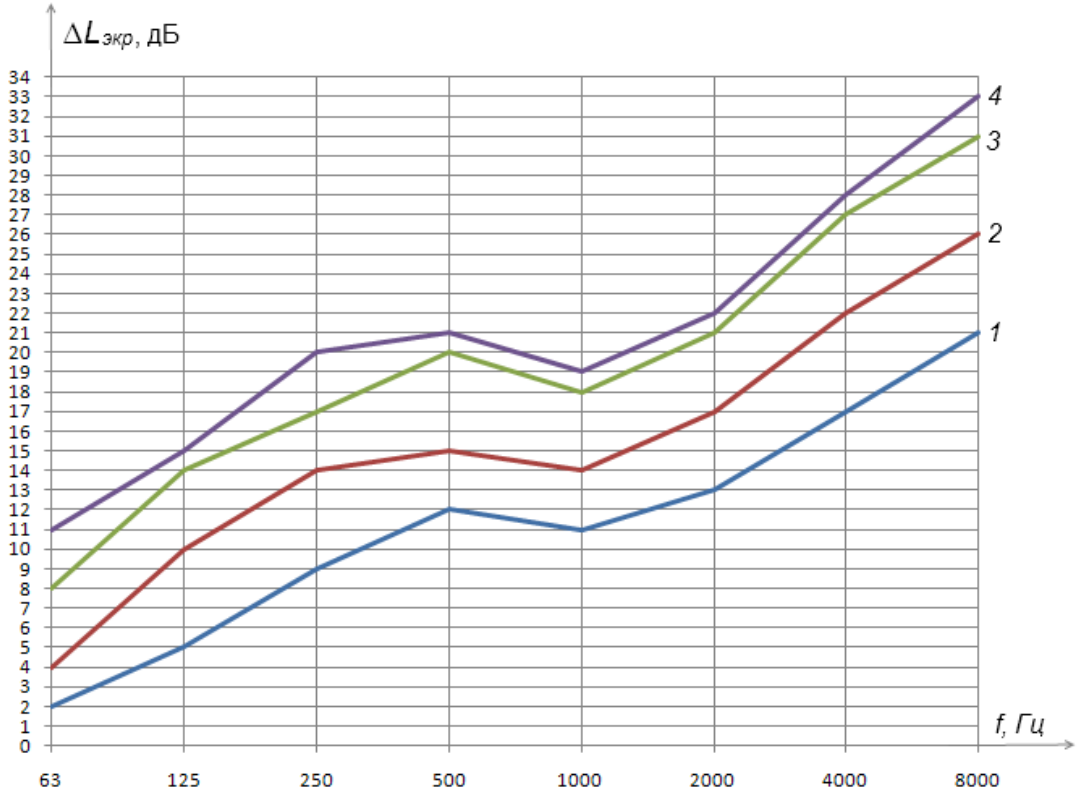


Рис. 9 Спектральная характеристика акустической эффективности отражающе-поглощающего деревянного АЭ в точке на расстоянии при различных значениях высоты: 1 – высота 2 м, 2- 3м, 3 – 5м, 4 – 6м.

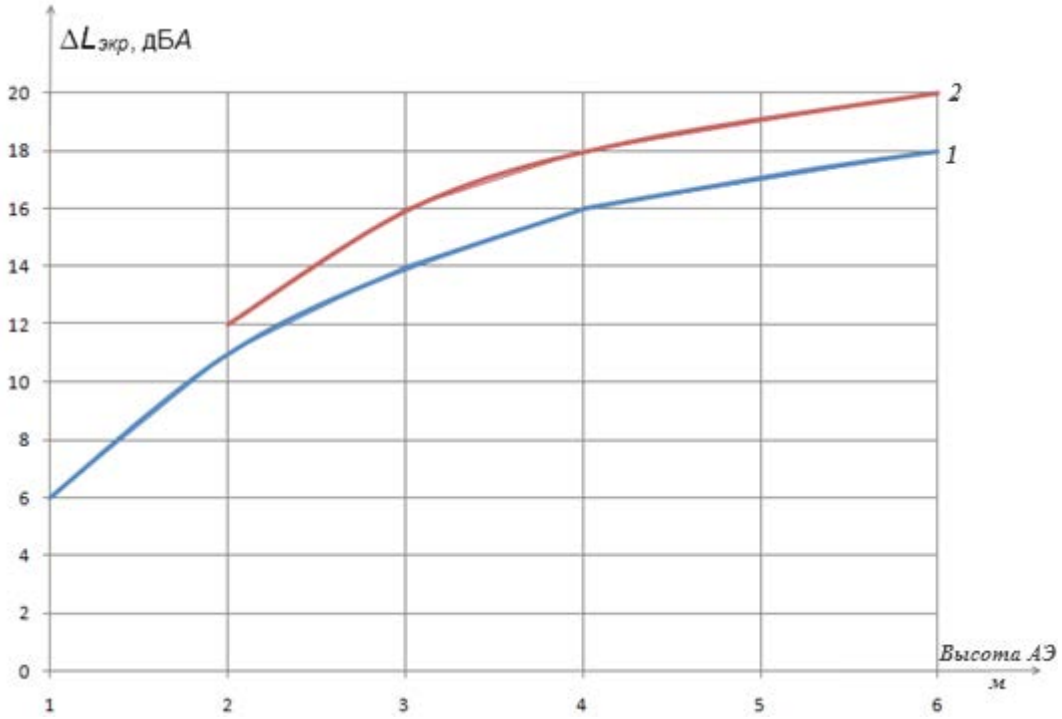


Рис. 10 Связь акустической эффективности, дБА, отражающе-поглощающих АЭ с изменением высоты (измерения на расстоянии 25 м): 1 – металлический, 2 - деревянный

Для обоих испытанных АЭ характерны особенности: чем больше высота АЭ, тем ниже сравнительная абсолютная эффективность (рис. 8, 9), т.е. увеличение высоты с 2 до 3 м дает приблизительно вдвое большую эффективность, чем увеличение высоты с 5 до 6 м почти во всем рассматриваемом диапазоне частот. Для обоих АЭ также характерно наличие некоторого «провала» эффективности в диапазоне со среднегеометрическими частотами 500-1000 Гц (рис. 8, 9).

При измерениях акустической эффективности испытанных АЭ в дБА (рис. 10) наблюдается резкое возрастание эффективности до высоты 3м, (рост до 8 дБА), а затем плавное увеличение: при изменении высоты с 3м до 6м, изменение акустической эффективности составляет всего 4 дБА. Это важная закономерность для практического использования АЭ. Отметим, что согласно проведенным экспериментальным исследованиям акустическая эффективность деревянного АЭ приблизительно на 2 дБА выше, чем металлического. Это можно объяснить более удачной конструкцией деревянного экрана со звукопоглощением (бóльшие звукопоглощающие и звукоизолирующие свойства).

Звукопоглощение

Вычисленные (по формуле (1)) значения акустической эффективности отражающих металлического и деревянного АЭ приведены в табл. 3. Сравнительные спектры акустической эффективности отражающего и отражающе-поглощающего металлических акустических экранов показаны на рис. 11 и 12.

Таблица 3

Акустическая эффективность отражающих АЭ в точке на расстоянии 25 м

Материал	Высота АЭ, м	Акустическая эффективность, дБ, в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц								Акустическая эффективность, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Металл	1	2	2	6	6	8	7	11	14	7
	2	1	4	7	10	10	12	17	20	12
	3	2	6	8	12	12	18	20	25	14
	4	5	6	8	10	10	13	19	21	11
	5	1	5	8	9	9	15	17	21	13
	6	3	7	10	12	13	16	20	23	14
Дерево	2	0	3	7	10	9	11	15	20	10
	3	3	9	12	14	13	15	19	23	14
	5	6	12	13	16	15	19	25	29	17
	6	10	13	18	17	17	20	25	30	18

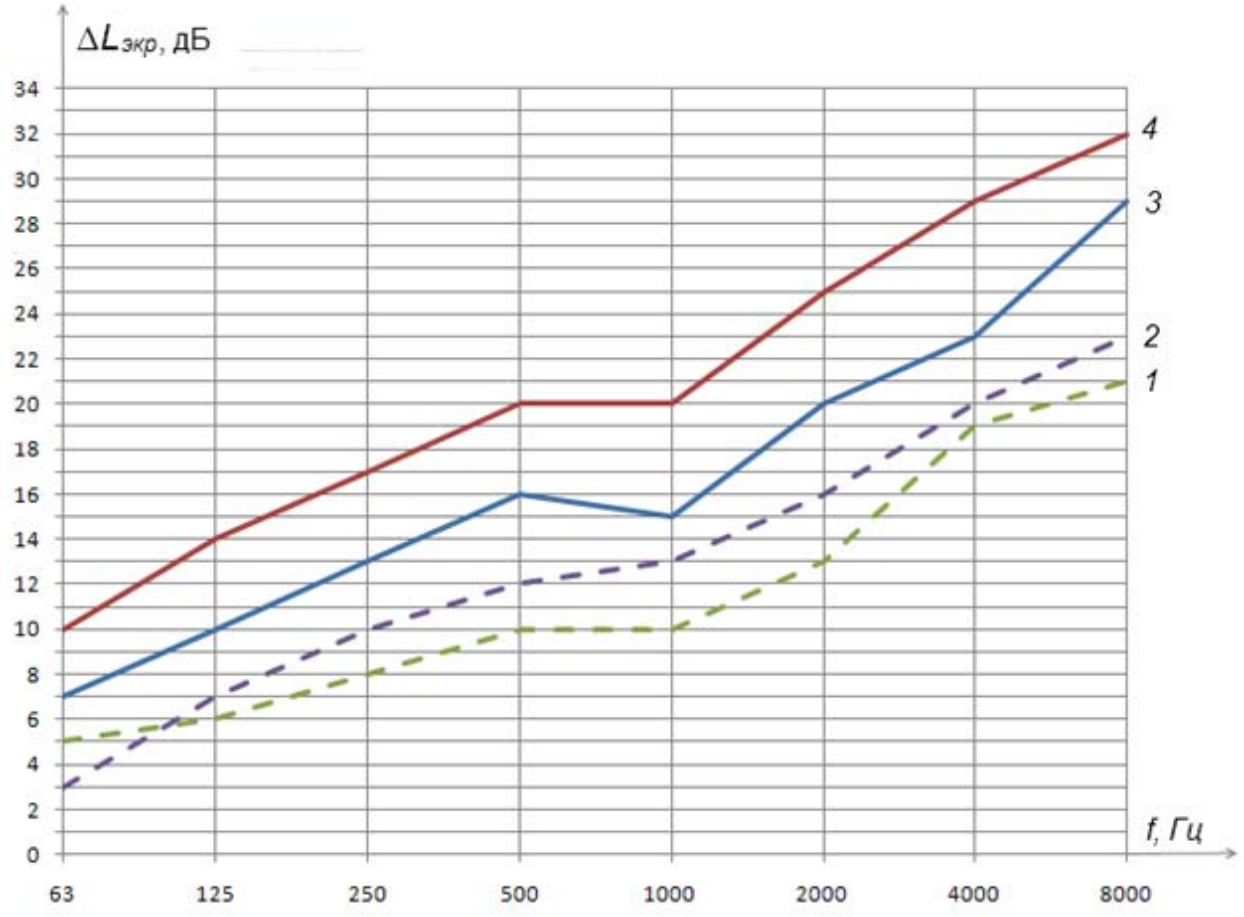


Рис. 11 Влияние звукопоглощения на акустическую эффективность металлических АЭ (измерения на 25 м): отражающий (1,2) и отражающе-поглощающий (3,4) высотой 4 м (1,3) и 6 м (2,4).

Для отражающего АЭ высотой 4м отмечено уменьшение акустической эффективности по сравнению с отражающе-поглощающими на 3-6 дБ в диапазоне частот 125 - 8000 Гц; для АЭ высотой 6м соответствующая разница составила 6-9 дБ в этом же частотном диапазоне. Снижение акустической эффективности АЭ высотой 4-6 м составляет в УЗ до 4-5 дБА.

Анализ полученных спектров деревянного АЭ показал, что разница в акустической эффективности отражающих и отражающе-поглощающих АЭ (рис. 12), не столь велика как между соответствующими металлическими АЭ. Для деревянных АЭ высотой 2м разница составила 1-2 дБ (2дБА), а для деревянных АЭ высотой 5м разница в исследуемом диапазоне частот составила 2-4 дБ (рис. 12) и 4 дБА. Это можно объяснить тем, что дерево обладает лучшими звукопоглощающими свойствами (по справочникам коэффициент звукопоглощения дерева 0,1 – 0,25) по сравнению с металлическим (коэффициент звукопоглощения 0,01).

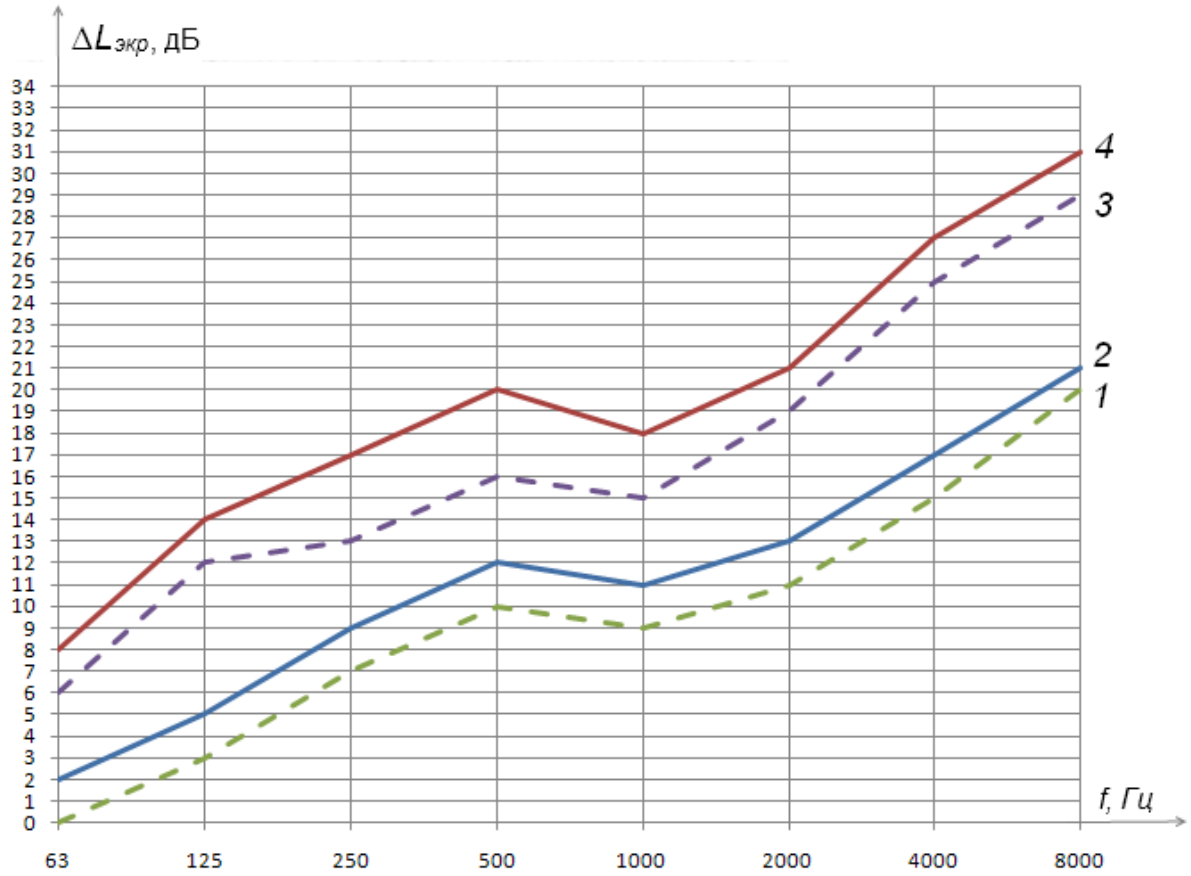


Рис. 12 Влияние звукопоглощения на акустическую эффективность деревянного АЭ (измерения на 25м), отражающий (1,3) и отражающе-поглощающий (2,4) высотой 2 м (1,2) и 5 м(3,4).

Расположение

Экспериментально установлено влияние изменения точки измерений на акустическую эффективность экранов. Данные снижения УЗ при установленном металлическом отражающе-поглощающем АЭ высотой 3 и 6м при изменении расположения точки измерений (7,5, 15, 25, 50 м) показаны на рис. 13.

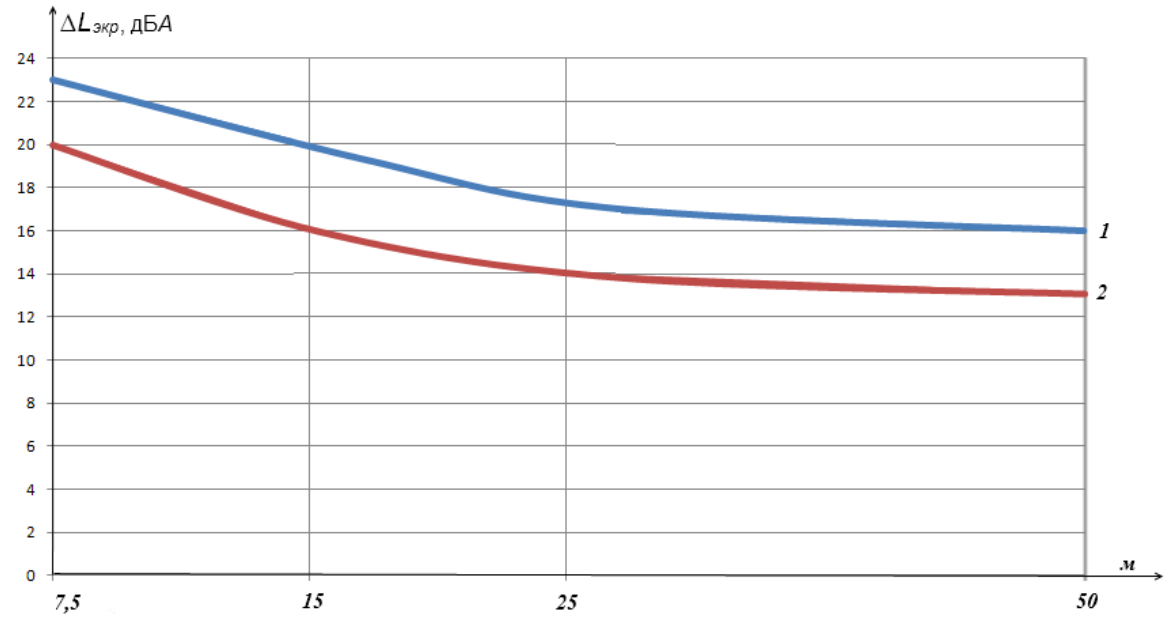


Рис.13 Снижение акустической эффективности металлического АЭ со ЗПМ различной высоты ($h_{экр}$) при увеличении расстояния: 1 – $h_{экр}$ =3м; 2 – $h_{экр}$ =6 м.

Из рисунка можно видеть достаточно резкое снижения акустической эффективности на расстояниях от 7,5 до 25 м (приблизительно 5-6 дБА). Это можно объяснить перемещением точки измерений из глубокой акустической тени. Далее наблюдается плавное уменьшение снижения акустической эффективности (2-3 дБА при каждом удвоении расстояния). На очень больших расстояниях акустическая эффективность АЭ ничтожна.

Звукоизоляция

Во всех приведенных методах расчета АЭ принимается как звуконепроницаемая конструкция. В реальных условиях любой АЭ обладает конечной звукоизоляцией ($ЗИ_{экр}$) и часть звука проходит через АЭ прямым путем. Если величина звукоизоляции АЭ сравнима с его эффективностью, то прохождение звука прямым путем заметно снижает акустическую эффективность экрана. Соотношение между эффективностью АЭ и его звукоизоляцией, влияющей на эффективность, показано на рис. 14. Например, если эффективность АЭ равна 15 дБА, а $ЗИ_{экр}$=15 дБА, то снижение эффективности составит 3 дБА.

Чтобы АЭ обладал малой звукопроводностью, он должен иметь достаточную поверхностную плотность. Во многих документах это значение принято не менее 10-20 кг/м^2.

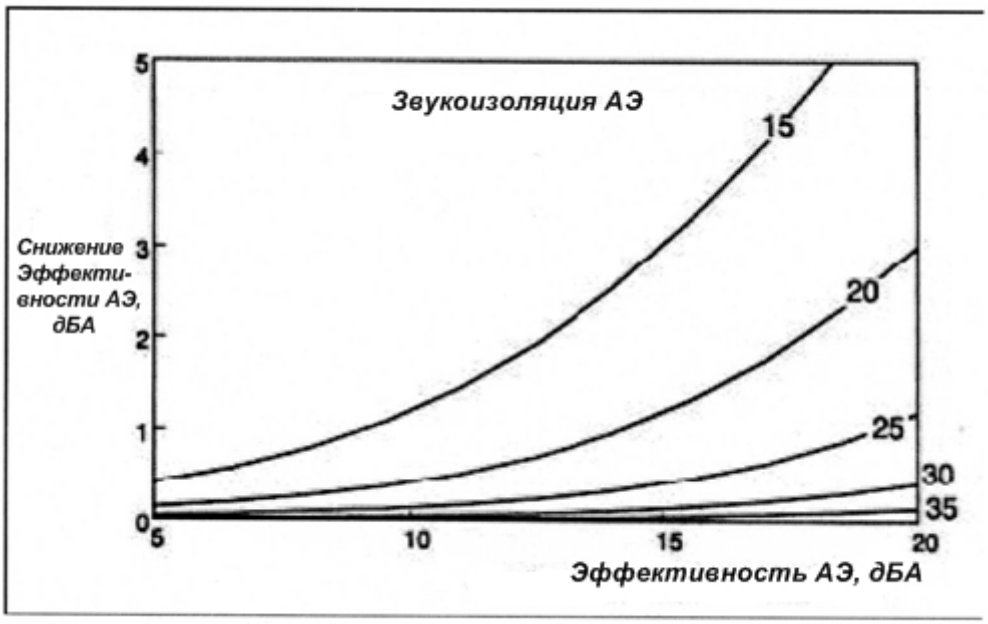


Рис. 14. Снижение эффективности АЭ при уменьшении его звукоизоляции.

Нами были проведены исследования звукоизоляции АЭ в натурных условиях, чтобы понять, как влияет звукоизоляция на эффективность. При этом сравнивались данные, полученные в натурных условиях на стенде с данными звукоизоляции в акустических камерах.

Были испытаны деревянные и металлические АЭ высотой 3 и 6 м. Усредненные значения звукоизоляции приведены в табл. 4 и показаны на рис. 15 и 16.

На рис. 15 и 16 показаны значения звукоизоляции АЭ в натурных условия по сравнению с данными измерений звукоизоляции, полученными в акустических камерах.

Таблица 4

Усредненные значения звукоизоляции (ЗИ) АЭ в натурных условиях по сравнению с данными испытаний панелей в акустических камерах.

Материал АЭ	Высота АЭ, м	ЗИ, дБ, в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц								ЗИ, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Металлический	НУ*	14	15	14	18	24	24	27	28	22
	АК**	–	18	23	31	36	41	42	–	30
Деревянный	НУ	17	18	19	19	22	22	28	34	23
	АК	–	20	24	22	33	36	40	–	29

* НУ – натурные условия.

** АК – акустическая камера.

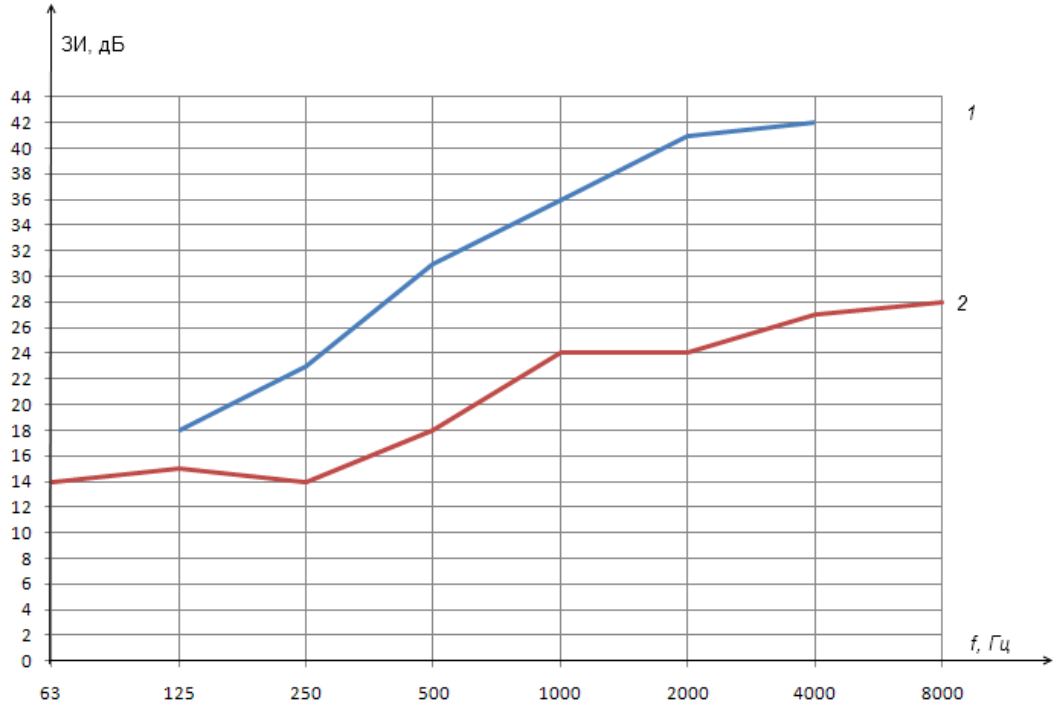


Рис. 15 Усредненные значения ЗИ металлического АЭ измеренные: 1 – в акустической камере, 2 – в натурных условиях.

Данные звукоизоляции акустических панелей, по результатам измерений в акустических камерах были получены из технических условий на соответствующие АЭ. Обратим внимание, что измерения звукоизоляции в камерах проводились в частотах в диапазоне 125-4000 Гц, т.е. на графиках рис. 15 и 16 (кривая 1) отсутствуют значения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63 и 8000 Гц.

Сравнения звукоизоляции металлического АЭ показало, что его звукоизоляции в натурных условиях на 9-17 дБ (в диапазоне 250-4000 Гц), то есть на 8 дБА ниже, чем звукоизоляция, полученная измерениями в камере (рис 15).

Для деревянного АЭ разница составила 5-14 дБ в том же частотном диапазоне (или 6 дБА) см. рис. 16.

На рис. 17 приведены данные сравнительной звукоизоляции деревянного и металлического АЭ, измеренные в натурных условиях. За исключением октавных полос со среднегеометрическими частотами 1000 и 2000 Гц, звукоизоляция деревянного АЭ выше на величину от 2 до 6 дБ (2дБА). Это может быть объяснено как несколько большей поверхностной массой деревянных панелей, так и более удачным конструктивным исполнением за счет уменьшения площади щелей в местах примыкания панелей к конструктивным элементам.

Анализ приведенных результатов позволяют утверждать, что полученные в экспериментах значения звукоизоляции для АЭ в натурных усло-

виях (22-23 дБА) являются предельным для отражающе-поглощающих АЭ. При проектировании АЭ высокой эффективности (свыше 20 дБА) недостаточная звукоизоляция будет сказываться на акустической эффективности АЭ, уменьшая ее на 1-3 дБА, за счет прохождения звука прямым путем, т.е. через панели АЭ. При еще больших заданных значениях акустической эффективности она может быть вообще не достигнута из-за описанного явления.

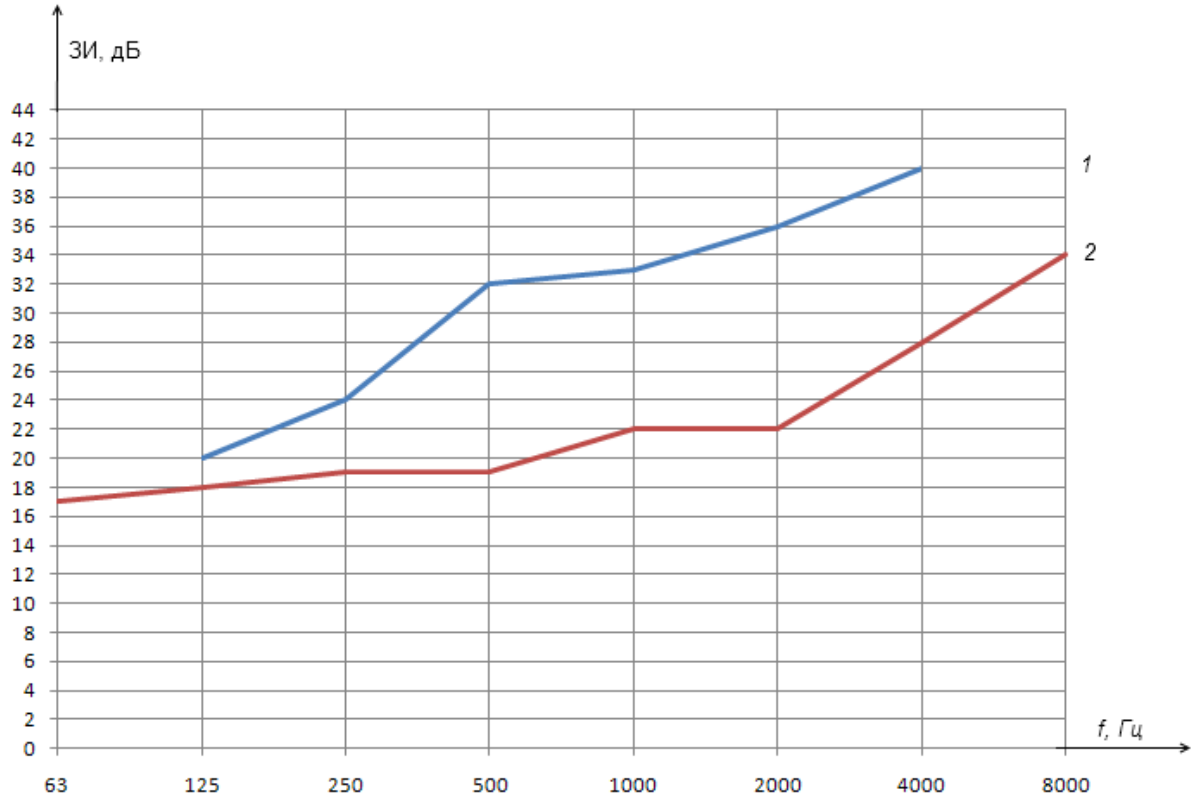


Рис. 16 Усредненные значения ЗИ деревянного АЭ измеренные: 1 – в акустической камере, 2 – в натурных условиях.

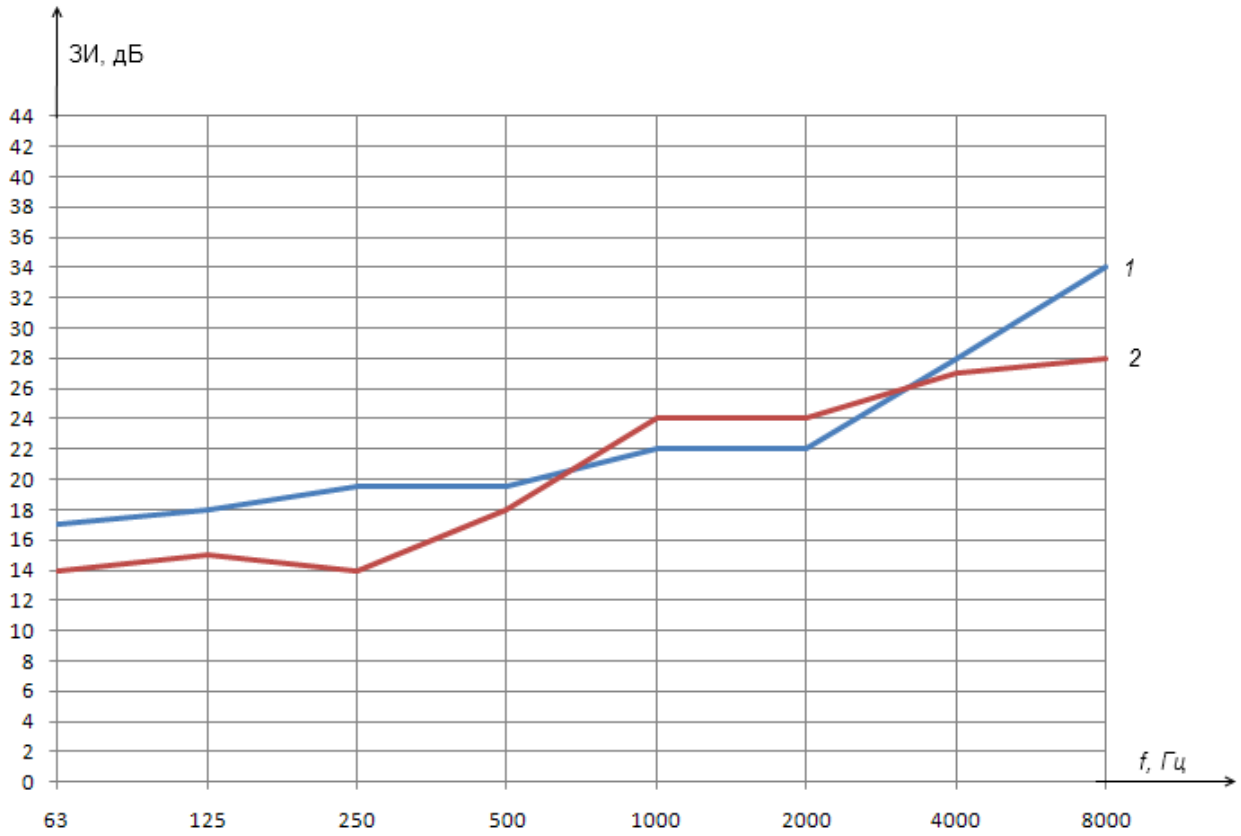


Рис. 17 Результаты сравнительных испытаний ЗИ акустических экранов из разных материалов в натурных условиях: 1 – деревянный, 2 – металлический.

3. Классификация АЭ

АЭ находят широкое применение для снижения шума и могут устанавливаться в следующих условиях:

- в офисах и производственных помещениях для защиты от шума рабочих мест (офисно-производственные);
- вдоль автомобильных и железных дорог для защиты от шума жилой застройки (транспортные);
- в аэропортах вдоль взлетной полосы или вдоль места стоянки самолетов, где производятся технологические операции «гонки двигателей»;
- вблизи строительных площадок;
- вокруг различных стационарных установок (чиллеры, котельные, компрессоры) для защиты жилой застройки (технологические);

В данной статье рассмотрено применение транспортных АЭ для снижения шума в жилой застройке.

Классификация акустических экранов по назначению приведена в таблице 5, классификация экранов в зависимости от принципа действия,

конструктивного исполнения, расположения в пространстве и пр., представлена в табл. 6.

Таблица 5

Классификация акустических экранов по их назначению

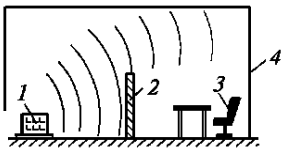
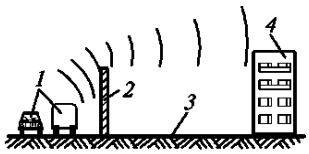
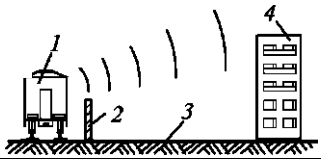
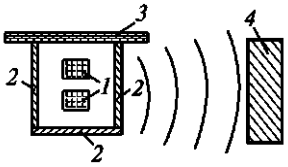
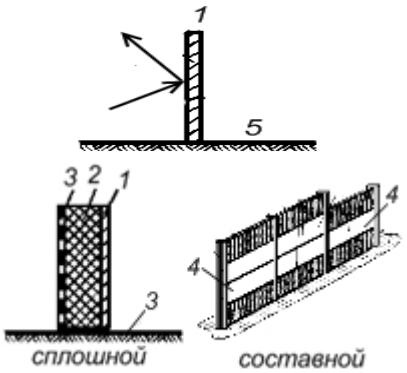
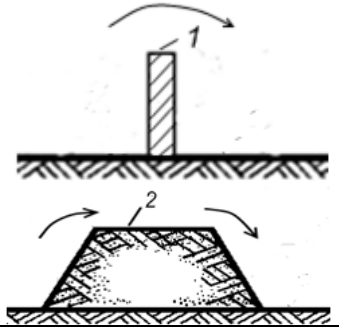
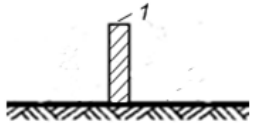
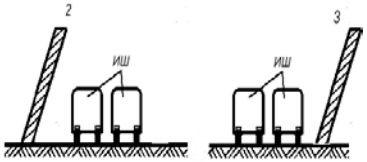
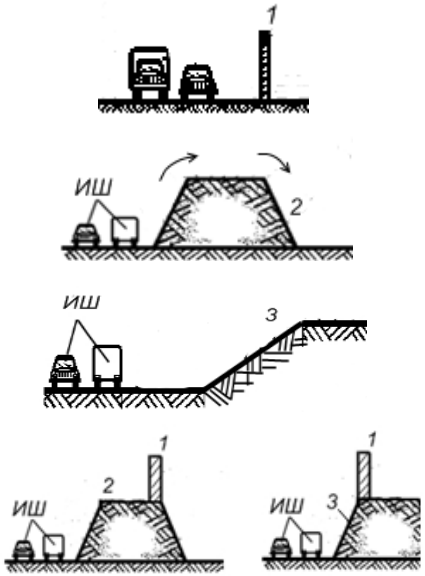
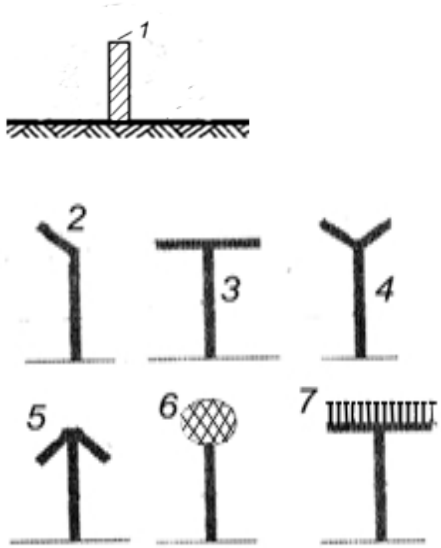
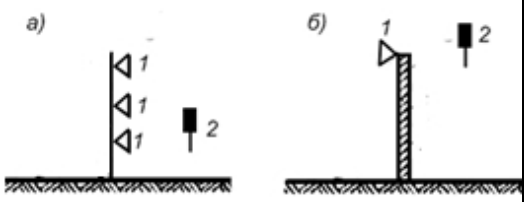
Тип АЭ	Схема	Обозначения на схеме	Место установки и применение
Офисно-производственные	а) 	*1* – источник шума; *2* – АЭ; *3* – рабочее место; *4* – помещение	В помещениях для снижения прямого звука
Транспортные		*1* – источник шума (автотранспортный поток); *2* – АЭ; 3 – отражающая поверхность; 4 – жилая застройка	Вдоль автомобильных дорог напротив жилой застройки
	б) 	1 – источник шума (подвижной состав ж.-д. транспорта); 2 – АЭ; 3 – опорная поверхность; 4 – жилая застройка	Между ж.-д. путями и жилой застройкой
Технологические		*1* – источник шума; *2* – АЭ; 3 – стена; 4 – здание	Со всех сторон источника шума

Таблица 6

Классификация акустических экранов

№ п/п	Классификационный признак	Тип АЭ	Схема	Обозначения на схеме	Применение и эффективность
1	2	3	4	5	6
1	Основной принцип действия	отражающие отражающе-поглощающие		1 – твердый отражающий, 2 – ЗПМ, 3 – перфорированный лист, 4 – стекло, 5 – опорная поверхность	Большинство АЭ, устанавливаемых на а/д и ж/д попадает под эти определения
2	Характер дифракции на свободном ребре	тонкий АЭ широкий АЭ		1 – тонкий АЭ – барьер 2 – широкий экран-насыпь → - дифракция	Наряду с АЭ – барьерами, широко применяются насыпи
3	Расположение в пространстве АЭ	прямые наклонные		1 – прямой АЭ, 2 – наклонный внутрь, 3 – наклонный наружу	Применение наклонных барьеров для уменьшения переотражения звука.

№ п/п	Классификационный признак	Тип АЭ	Схема	Обозначения на схеме	Применение и эффективность
1	2	3	4	5	6
					
4	Функциональное назначение	АЭ – барьеры АЭ – экранирующие сооружения: а) насыпь б) выемка в) комбинированные		1 - АЭ – барьер 2 - насыпь 3 - выемка	Широко применяются экранирующие сооружения (выемки, насыпи), также используются комбинированные АЭ
5	Материал акустических панелей	Бетонные и из др. строительных материалов, металлические, деревянные, пластиковые и др.			Широко используется бетон, асбоцемент, кирпич и др. строительные материалы; а также АЭ, панели которых изготавлива-

№ п/п	Классификационный признак	Тип АЭ	Схема	Обозначения на схеме	Применение и эффективность
1	2	3	4	5	6
					ются из металла, дерева и др.
6	Конструктивные решения и форма верхней части	Без надстройки С надстройкой		1 – без надстройки, 2 – Г-образный, 3 – Т-образный, 4 – Ү-образный, 5 – стреловидный, 6 – цилиндр с ЗПМ; 7 - резонаторные	Широко распространены АЭ с различными видами и формой надстройки (в основном Г – образные)
7	Используемый дополнительный источник	Пассивные Активные		1 – динамик 2 – микрофон а) динамики по поверхности АЭ б) динамики на свободном ребре	В активной системе микрофон улавливает звук, а динамик излучает звук в противофазе

По основному принципу действия АЭ подразделяются на следующие основные группы:

- отражающие;
- отражающе-поглощающие.

АЭ – звукоизолирующая конструкция, работающая на отражении звука. В отражающее-поглощающих дополнительно устанавливается звукопоглощающий материал (ЗПМ). В свою очередь, отражающе-поглощающие по конструктивному исполнению подразделяются на сплошные, где АЭ набраны из однородных панелей, и составные, где, наряду, например, с панелями со ЗПМ, установлены, например, светопрозрачные панели, работающие на отражение звука.

По характеру дифракции на свободном ребре АЭ подразделяются на:

- тонкие (одинарная дифракция);
- широкие (двойная дифракция).

Для большинства типов АЭ-стенок характерна одинарная дифракция. Примером АЭ и экранизирующих сооружений с двойной дифракцией могут служить насыпи, АЭ с Т-образной формой свободного ребра.

По расположению в пространстве АЭ подразделяются на:

- прямые;
- наклонные.

Большинство АЭ устанавливаются прямо, но некоторая часть устанавливается с наклоном, который или предназначен для увеличения угла дифракции (наклон в сторону дороги) или для снижения отражённого звука (наклон наружу).

По функциональному назначению АЭ подразделяются на:

- АЭ – барьеры;
- АЭ – экранирующие сооружения.

К экранирующим сооружениям относятся насыпи, выемки. В качестве экранирующих сооружений могут использоваться вспомогательные здания (например, гаражи) и некоторые другие искусственные сооружения – преграды. Если АЭ – барьер устанавливается на краю выемки или насыпи, то такие сооружения называются комбинированными. Комбинированные сооружения обладают высокой акустической эффективностью.

По материалам, из которых изготавливаются панели АЭ, последние подразделяются на:

- бетонные или из других плотных строительных материалов (асбоцемент, кирпич, строительный камень и др.);
- металлические (в основном изготавливаются из стали или алюминия, реже из нержавеющей стали);
- деревянные (изготавливаются из импрегнированной древесины);
- пластмассовые (например, прозрачные панели из плексигласа и др.).

Бетонные АЭ и АЭ из прочих строительных материалов, как правило, отражающие; металлические и деревянные АЭ применяются как отражающе-поглощающие, т.к. в их конструкции используется ЗПМ.

По конструктивному исполнению верхнего свободного ребра АЭ подразделяются на:

- АЭ без надстройки на свободном ребре;
- АЭ с надстройкой на свободном ребре.

В свою очередь, надстройка на верхнем ребре может быть различного конструктивного исполнения и с различным принципом действия.

В зависимости от используемого дополнительного источника АЭ делятся на:

- пассивные;
- активные.

В конструкции активных АЭ используются дополнительные устройства, создающие звуковую волну, направленную от АЭ навстречу звуковой волне от ИШ. Эти устройства работают на принципе деструктивной интерференции: звуковые волны в противофазе накладываются и гасят друг друга. Это совершенно другой принцип, чем рассматриваемый ранее АЭ, создающий звуковую тень. Для питания устройств, излучающих встречную волну, необходим посторонний источник питания, а для восприятия звуковой волны от ИШ необходим микрофон.

Динамики могут располагаться как на свободном ребре АЭ, чтобы усилить его эффективность, так и по всей площади воображаемого барьера, заменяя его набором из множества излучателей звука.

Измерения на опытных образцах показали, что активные АЭ эффективны в низкочастотной области и практически не снижают УЗД на высоких частотах. При расположении динамиков на свободном ребре АЭ получено дополнительное снижение УЗД на отдельных частотах от 6 до 13 дБ. При расположении динамиков по площади условного АЭ удалось на отдельных частотах снизить УЗД до 20 дБ. В то же время отметим, что это снижение на отдельных частотах не обеспечивает эффективного шумоглушения. Работы по активным АЭ пока не вышли из стадии экспериментов, но, возможно, за ними неплохие перспективы.

4. Материалы для изготовления экранов

Выбор материала экрана влияет на его стоимость и эффективность, а в ряде случаев и на возможность использования в конкретной ситуации. Основные конструктивные элементы АЭ: фундамент, стойки и акустические панели. Последние обеспечивают акустические свойства АЭ и могут изготавливаться из самых различных материалов.

Остановимся более подробно на достоинствах и недостатках материалов, которые используются для изготовления АЭ-стенок.

Бетон - довольно распространенный конструкционный материал. АЭ из бетона является долговечными. Этот материал способен противостоять высоким и низким температурам, влажности, соли. Бетонные конструкции обладают очень высокой звукоизоляцией (табл. 7), высокой прочностью и устойчивостью к разрушению при наезде транспортного средства. Звукопоглощение близко к 0,01 на всех частотах (табл. 8). В то же время, АЭ из бетона плохо смотрятся, со временем теряют товарный вид. Толщина бетонных панелей 100–200 мм, размеры 2×3 или 2×4 м. Панели из бетона – тяжелые (от сотен до нескольких тысяч кг.), поэтому такие АЭ требуют специальной техники для монтажа.

Таблица 7

Ориентировочная звукоизоляция акустических панелей из различных материалов

Материал акустической панели АЭ	Звукоизоляция, дБА
Бетон	Свыше 60
«Durisol»	Свыше 45
Сталь	31
Дерево	29
Алюминий	25

Материал «Durisol» - новый материал, основу которого составляет щепа деревьев хвойных пород (90%), обработанных минеральными солями, с добавками портландцемента. Этот материал легче бетона, имеет высокие звукоизолирующие свойства (см. табл. 7). Панели из этого материала обладают высоким звукопоглощением (табл. 8) и прочностью, окрашиваются в любые цвета и имеют хороший внешний вид.

Таблица 8

Коэффициенты звукопоглощения акустических панелей из различных материалов

Материал панели	Коэффициенты звукопоглощения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Бетон	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04
«Durisol»	0,35	0,40	0,45	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7
Дерево*	0,45	0,6	0,8	0,9	0,95	0,98	0,85	0,8
Сталь, алюминий*	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,65

* со ЗПМ

Сталь — дешевый и широко используемый при сооружении АЭ материал. Стальные панели представляют или оцинкованное изделие толщи-

ной 0,8–1,5 мм с покрытием полиэфирной краской или оцинкованную сталь с полимерным покрытием (например, полиуретановое покрытие «Pural»). Несмотря на такую обработку, АЭ подвержены со временем атмосферным воздействиям, а механические воздействия (песок, мелкие камешки) могут достаточно быстро испортить их внешний вид, а также сделать незащищенными от коррозии. Панели из стали имеют длину от 1 до 6 м, толщину 50–120 мм, ширину около 0,5 м, могут собираться практически вручную. Имеют высокие звукопоглощающие свойства (см. табл. 8).

Нержавеющая сталь — долговечный и неподдающийся коррозии сплав железа, углерода и хрома. Поверхность его не нуждается в защите. АЭ имеет приятный, но иногда чрезмерно техногенный вид, очень дороги.

Алюминий - легкий металл, покрываемый эмалевыми красками или анодированный. Панели из алюминия более долговечны, чем из стали. АЭ из алюминия широко применяются на автомобильных и железных дорогах.

Дерево - основной особенностью древесины, используемой для изготовления АЭ, является то, что она импрегнируется в специальных автоклавах в присутствии солей меди. Особенно хорошо пропитывается сосна. После такой обработки древесина становиться практически невосприимчивой к атмосферным и механическим воздействиям, и обладает хорошей биостойкостью. Панели из импрегнированной древесины (размеры: длина панели 3 м, толщина до 140 мм, ширина около 0,5–2 м) несколько тяжелее, металлических, но могут быть легко смонтированы с помощью простых приспособлений. Эти АЭ хорошо гармонируют с природными ландшафтами, а также жилой застройкой. Имеют высокие звукоизолирующие и звукопоглощающие свойства (см. табл. 8).

Прозрачные материалы. В конструкции составных АЭ могут быть использоваться закаленное стекло, оргстекло (или плексиглаз), а также поликарбонат. Закаленное стекло имеет нарядный внешний вид, но очень дорого и нестойко к ударам. Поликарбонат имеет хорошую ударостойкость, но со временем под действием ультрафиолета мутнеет (даже со специальными покрытиями срок службы не более 5 лет), горюч, очень чувствителен к механическим воздействиям (мелкие камни, песок) и быстро теряет товарный вид. Наиболее часто в составных АЭ используется материал, имеющий несколько названий (оргстекло, плексиглаз, акриловое стекло). Он стоек к атмосферным и механическим воздействиям, действию солнечных лучей, а его стоимость сравнима со стоимостью поликарбоната. Оргстекло легко окрашивается в различные цвета, что разнообразит составные АЭ. Размер панелей зависит от материала. Панели из акрилового стекла могут иметь длину до 5 м, а из закаленного стекла и поликарбоната – до 4 м. Толщина панелей составляет от 12 до 18 мм.

Пластмассы. Имеются несколько типов пластмасс используемых в качестве материала для АЭ: полиэтилен, стекловолокно, поливинилхлорид

и др. Панели из пластмассы окрашиваются в любые цвета по пожеланию заказчика, их универсальное качество – формуемость, что позволяет разнообразить внешний вид АЭ. Но панели из пластмассы подвержены горению в большей степени, чем другие материалы, а дым, выделяемый при горении, является ядовитым. Некоторые пластмассовые изделия имеют значительную усадку и могут разрушаться со временем, некоторые чувствительны к воздействиям ультрафиолетовых лучей, под воздействием которых быстро теряют внешний вид и прочность.

Существуют ли какие либо предпочтения при выборе материала АЭ? Ответ можно получить, анализируя опыт и масштабы применения АЭ из различных материалов в разных странах.

В США, например, на конец, XX столетия на автомобильных дорогах было построено более 2 тыс. км АЭ из бетона, кирпича, дерева, грунта, металла вдоль автодорог. Проценты использования материалов приведены в табл. 9.

Таблица 9

Материалы АЭ, установленных в США

Материал	**% применения АЭ из материала**
Бетон	44,5
Кирпич	25
Дерево	10
Комбинации материалов	12
Металл, грунт	6

Таким образом, в США отдано предпочтение отражающим, долговечным АЭ. В то же время, в Японии, Южной Корее, в основном, устанавливались отражающе-поглощающие АЭ, изготовленные из стали и алюминия. В станах Скандинавии широко применяются АЭ из дерева. В Италии широко применяются отражающе-поглощающие металлические АЭ, панели которых изготовлены из алюминия и из дерева; для высокоскоростных железных дорог применяются АЭ из бетона. В нашей стране АЭ изготавливаются из металла (сталь, алюминий), дерева и материала по технологии «Durisol».

5. Надстройки на свободном ребре АЭ

Учитывая, что эффективность экрана существенно снижается за счет дифракции, большое количество исследований посвящено изучению различных надстроек, позволяющих снизить долю дифрагирующего звука. Известно и изучено более 20 типов надстроек на свободном ребре различного конструктивного исполнения и различных принципов действия. В

табл. 10 приведена классификация надстроек (и частично АЭ по виду надстройки на свободном ребре) в зависимости от принципа действия.

Все надстройки могут быть сведены к четырем типам по принципу действия:

– увеличивающие угол дифракции (Г, Х, Y, Т – образные и др.) путем применения полок различного сочетания и расположения в пространстве;

– увеличивающие импеданс свободного ребра (ухудшающие прохождение дифрагированного звука) путем применения звукопоглощающих устройств и изменением профиля свободного ребра;

– использующие интерференцию звука в резонансных устройствах различных типов;

– комбинированные устройства в которых сочетается 2 и более из приведенных выше принципов (увеличение угла дифракции, звукопоглощение на ребре, резонансное устройство).

Увеличением угла дифракции АЭ путем применения надстроек различного типа может быть достигнуто заметное увеличение эффективности АЭ (табл. 11)

Таблица 10

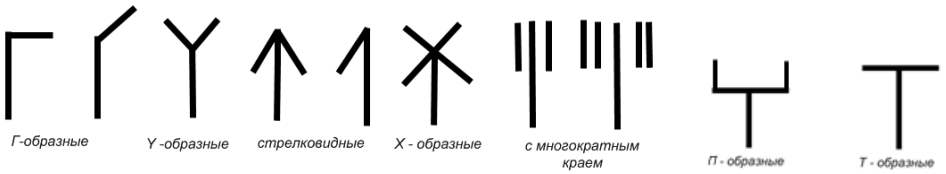
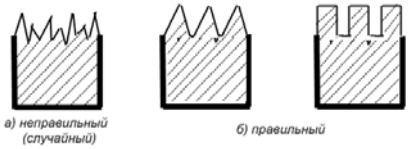
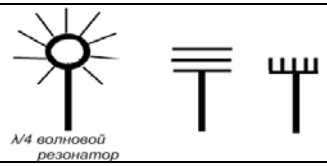
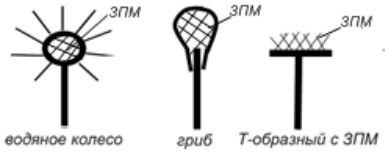
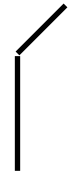
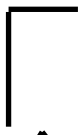
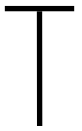
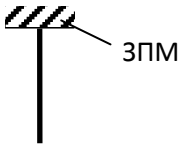
№ п/п	Основные принципы действия	Конструктивные схемы	Примечание
1	Увеличение угла дифракции		За счет различного расположения полок в разном сочетании
2	Увеличение импеданса свободного ребра а) Звукопоглощением б) Изменением профиля свободного ребра	а) б) 	Расположение устройств с ЗПМ на свободном ребре или с использованием сложного профиля (случайного или правильного) на свободном ребре
3	Использованием интерференции в резонаторах		Резонаторы Гельмгольца и др.
4	Комбинированный		Используются устройства, которые обеспечивают: звукопоглощение, увеличение угла дифракции, резонансное поглощение

Таблица 11

Добавочная акустическая эффективность АЭ различной формы относительно прямого АЭ без надстройки на свободном ребре.

Название	Условная схема	Дополнительная эффективность, дБА
Г-образный		1,5-2
		2,0-2,5
стреловидный		0-0,5
Т-образный		3-4
		4,5-5,5
Y-образный		4-5
X - образный		4,5-5,5
П-образный		3,5-4,5
Ломанный		1-2

АЭ с надстройкой в основном (кроме стреловидных) увеличивают эффективность в среднем от 2 до 5 дБА.

Отметим, что эти значения могут быть больше при увеличении, например, длины полки в Т-образном АЭ или при облицовки полки ЗПМ. Наибольшее применение на практике нашли Г-образные АЭ, как наиболее простые в конструктивном исполнении и в эксплуатации.

Достаточно широко распространены АЭ, в которых на свободном ребре устанавливается устройство с ЗПМ. В основном эта конструкция выполняется в виде перфорированного цилиндра, обычно диаметром 0,5 м, устанавливаемого по всей длине АЭ. Такое устройство носит название антидифрактор и показано на рис. 18.

Рис. 18 Акустический экран с антидифрактором

Эффективность антидифрактора по данным японских специалистов (устройство впервые было применено в Японии) достигает 3 дБА, что равнозначно увеличению высоты АЭ на 1,5 – 2 м.

6. Расположение и монтаж АЭ

Расположение. Рассмотрим три основных случая установки АЭ, оказывающие влияние на его эффективность (рис. 19):

- два экрана с обеих сторон дороги параллельно друг другу;
- экран на эстакаде;

– экран на краю выемки.

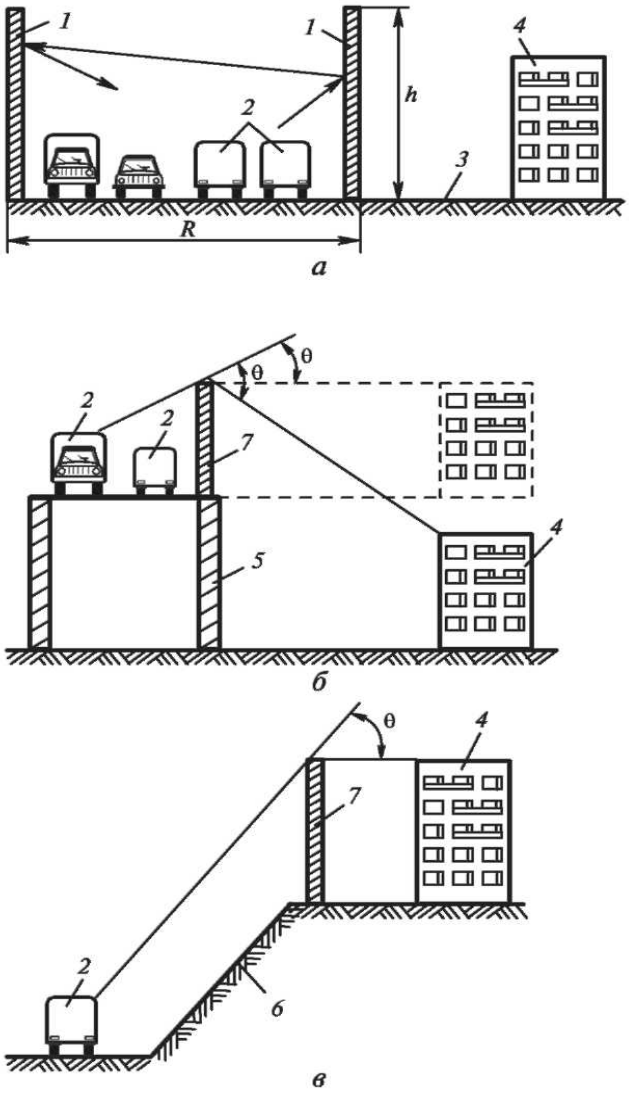


Рис. 19. Схемы расположения АЭ: *а* – параллельно друг другу; *б* – на эстакаде; *в* — на краю выемки; *1* – параллельные АЭ; *2* – источник шума; *3* – опорная поверхность; *4* – защищаемый объект; *5* – эстакада; *6* – выемка; *7* – АЭ

Отметим, что если параллельно установленные АЭ являются отражающими, то до определенного расстояния между ними существует процесс многократного отражения звука. Снижение эффективности АЭ за счет множественных отражений может достигать 2–6 дБА (табл. 12).

Таблица 12

Снижение эффективности АЭ при параллельной установке

Отношение расстояния между АЭ (R) к высоте АЭ (h)	Снижение эффективности, дБА
6	6
9	3
10–15	1,5
25	0

Как видно из табл. 12, при $R/h \geq 25$ ухудшения эффективности параллельно, установленных АЭ не наступает.

Расположение акустического экрана на эстакаде или на краю выемки значительно улучшает его эффективность за счет увеличения угла дифракции. При этом, чем больше глубина выемки или высота эстакады, тем выше эффективность АЭ. При высоте эстакады 5–10 м (или глубине выемки 4–5 м) эффективность может возрасти не менее чем на 4–5 дБА.

Монтаж. Как следует из опыта использования экранов, снижающих шум транспортных потоков, существенное влияние на их эффективность оказывает монтаж конструкции. При неправильном монтаже АЭ могут возникнуть щели, проемы, через которые проходит звук. Чаще всего встречается ситуация, когда образуется щель между бетонным основанием, на которое монтируются сборные панели АЭ, и нижним краем АЭ.

На рис. 20 приведены данные о влиянии большой щели (высота 500мм) в основании АЭ на всем его протяжении на акустическую эффективность.

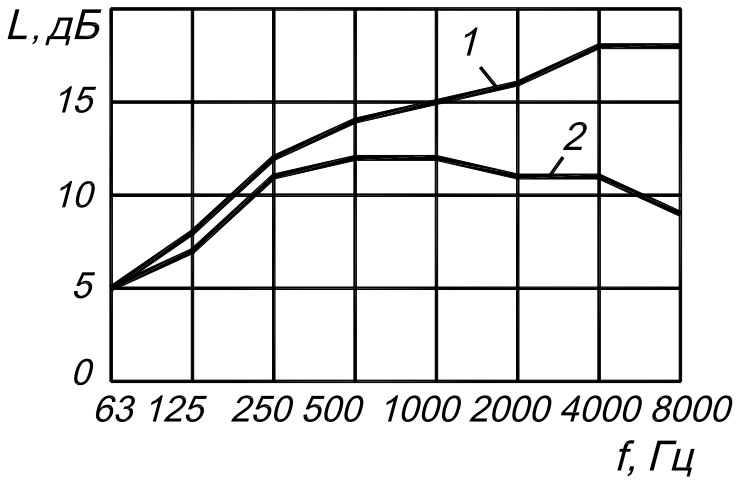


Рис. 20. Эффективность АЭ:
1 – без щели; 2 – со щелью высотой 500 мм

Щель заметно (на 3-9 дБ) в высокочастотном диапазоне снизила эффективность АЭ; снижение эффективности по УЗ составило 6 дБА.

Если экранирующие сооружения расположены вблизи жилой застройки, в них предусматриваются разрывы для прохода или проезда. В этом случае в местах разрыва для снижения интенсивности прямого звука устраиваются контрэкраны (рис. 21).

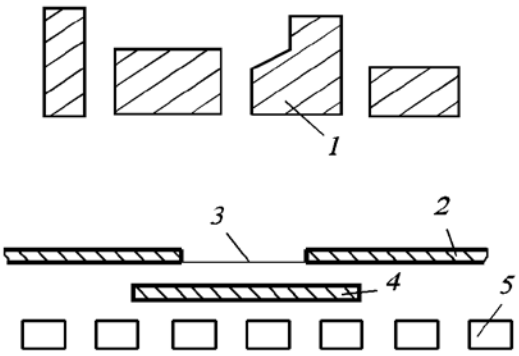


Рис. 21. Схемы установки дополнительного АЭ в местах разрыва: ***1*** – жилая застройка; ***2*** – АЭ; ***3*** – разрыв; ***4*** – контрэкран (дополнительный АЭ); ***5*** – транспортный поток

В случае, когда АЭ устанавливаются с обеих сторон автомобильной дороги, в их конструкции обязательно предусматривается звукопоглощение. Нередко ставится разделительный экран, значительно увеличивающий эффективность основных АЭ (рис. 23).

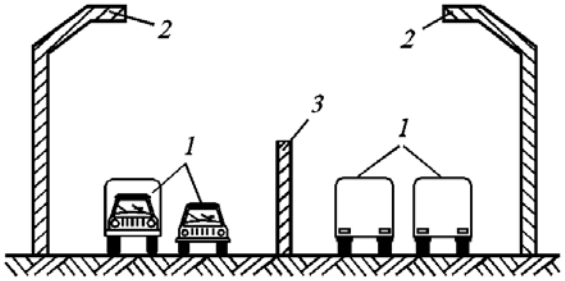


Рис. 22. Схема установки АЭ на эстакадах: ***1*** – источники шума; ***2*** – основные Г- образные АЭ; ***3*** – разделительный прямой АЭ

7. Применение АЭ для снижения шума

Снижение шума автотранспорта. Шум автотранспортных потоков имеет в основном низко- и среднечастотный характер. Если сравнивать общую длину АЭ вдоль различных объектов, то наибольшее число АЭ, установлено вдоль автомобильных дорог (а/д). АЭ на а/д отличаются разнообразным конструктивным исполнением. Высота АЭ находится, в основ-

ном, в пределах 3–6 м. Эффективность в среднем составляет 5–12 дБА. Приведем ряд следующих примеров. Как пример, в табл. 13 приведены обобщенные данные испытаний АЭ в Италии. Эффективность АЭ от 11,5 до 14 дБА.

Таблица 13

Обобщенные результаты испытаний АЭ в Италии

Время суток	Измеренные значения УЗ, дБА	
	до установки АЭ	после установки АЭ
Ночь	65	50,8
День	71,9	60,4

Выполненные в России испытания АЭ, установленных на Московской кольцевой автодороге, показали, что их эффективность колеблется от 3 до 10 дБА. На рис. 24 показаны спектры шума, измеренные в жилой застройке до и после установки АЭ на Кольцевой автодороге вокруг Санкт-Петербурга. Эффективность здесь выше: 8–12 дБА. Основные материалы, из которых изготовлены АЭ: металл, дерево, пластики.

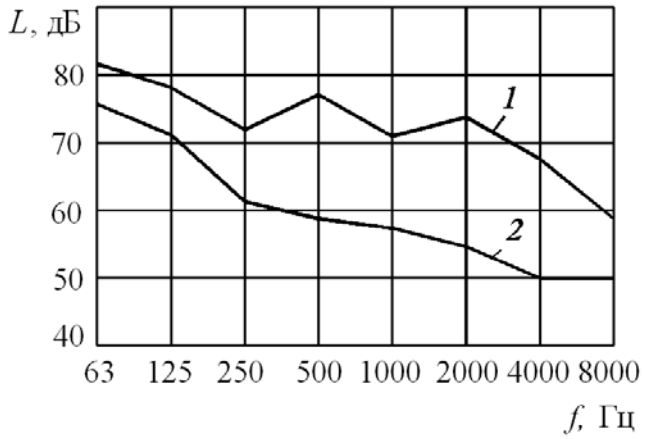


Рис. 24 Спектры шума: *1* – без АЭ; *2* – с АЭ

Отметим, что понятие акустическая эффективность АЭ в натурных условиях – понятие относительное. Один и тот же АЭ может показывать различные значения эффективности для различных измерительных (контрольных) точек в зависимости от расстояния до АЭ и высоты точки измерения, а также при различных конструкциях автодороги.

Наименее эффективны АЭ, когда автодорога имеет много полос движения (8–10), и защищаются здание с числом этажей более 3–4. Для дальних от АЭ полос движения его эффективность ниже, чем для ближних из-за разницы угла дифракции.

Снижение шума железнодорожного транспорта. Характер шумообразования поездов отличается от характера шумообразования автотранс-

портных потоков. Для взаимодействия пары «колесо-рельс» характерно излучение звука в средне- и высокочастотном диапазонах. Чем больше скорость, тем больше УЗД составляющих в высокочастотной части спектра. Другой особенностью шумообразования, влияющей на эффективность АЭ, является более интенсивное переотражение звука между АЭ и проходящим перед ним составом. Поэтому для железных дорог (ж/д) применение звукопоглощения в конструкции АЭ является еще более актуальным, чем для автодорог.

Высота АЭ на железной дороге несколько меньше чем на автодороге и находится, в основном, в пределах 2–5 м, хотя известны отражающие АЭ в Италии для высокоскоростных участков движения высотой 6–8 м. Основные материалы, из которых изготавливаются АЭ: бетон, сталь, алюминий, дерево. АЭ устанавливаются на расстоянии 4–5 м от оси пути в целях удобства обслуживания и безопасности. Эффективность отражающе-поглощающих АЭ в среднем 8–13 дБА. Применением высоких насыпей достигается снижение шума поездов на 10–11 дБА.

Обычно применяются АЭ на двухпутных участках. Ширина железной дороги меньше, чем автодороги с большим числом полос движения, поэтому АЭ на ж/д более эффективны. В табл. 14 приведены данные по эффективности отражающих и отражающе-поглощающих АЭ на двухпутном участке ж/д в зависимости от расстояния до точки измерений (контроля).

Таблица 14

Данные по эффективности АЭ на двухпутном участке ж/д

Тип АЭ	**Высота АЭ, м**	**Эффективность АЭ, дБА на различных расстояниях при прохождении поезда по:**					
		ближнему пути			**дальнему пути**		
		20	**40**	**80**	**20**	**40**	**80**
Отражающий	1,5	9,9	9,4	8,7	6,4	5,9	5,3
Отражающе-поглощающий	1,5	14,3	13,8	13,1	9,6	9,2	8,5
	2,0	16,3	15,7	14,9	11,9	11,2	10,4

Анализ данных показывает, что дополнительная эффективность звукопоглощения достигает 4 дБА, разница в эффективности АЭ для ближнего и дальнего пути около 3 дБА. С увеличением расстояния эффективность АЭ снижается на 0,5–1 дБА.

В табл. 15 приведены результаты натурных испытаний АЭ из алюминиевых панелей, установленных на ст. Тосно Октябрьской железной дороги. АЭ снижают шум поездов в близрасположенной жилой застройке до нормы и имеет эффективность 14–15 дБА.

Таблица 15

Снижение шума АЭ

Наличие АЭ	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
До установки АЭ	70	63	55	53	62	61	56	47	32	67
После установки АЭ	68	63	54	50	49	48	42	40	30	53
Допустимые уровни шума в дневное время	**90**	**75**	**66**	**59**	**54**	**50**	**47**	**45**	**44**	**55**

На железных дорогах некоторых Европейских стран (Швеции, Англии и др.) испытывались невысокие (малые) АЭ максимально приближенные к головке рельса. Типичные размеры: высота АЭ 0,8 м, расстояние до головки рельса 1 м. Эффективность таких АЭ до 6–8 дБ в высокочастотной части спектра. Малые АЭ, испытанные в Британии, высотой 0,25 м над головкой рельса имеет эффективность от 3 до 6 дБА. Малые АЭ дают неплохое снижение шума (до 5–6 дБА), но неудобны в эксплуатации.

Заключение

Дано описание акустических процессов при прохождении звука в присутствии АЭ. Разработана классификация экранов. На специальном стенде исследовано влияние расположения, высоты, звукопоглощающих и звукоизолирующих свойств экранов на их акустическую эффективность. Даны примеры применения акустических экранов для снижения шума автомобильного и железнодорожного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аистов В.А., Шубин И.Л. Исследование влияния формы шумозащитного экрана на его акустическую эффективность. Academia. Архитектура и строительство. М.: НИИСФ РААСН, 2009, стр. 200-208.

2. Иванов Н.И., Тюрина Н.В. Акустические экраны и экранирующие сооружения: в кн. Иванов Н.И. «Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом» -М.: Логос, 2010 с 213-238.

3. Маекава З. Акустические экраны: в кн. «Снижение шума в зданиях и жилых районах» / под ред. Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина, М.: Стройиздат, 1987, с 426-447.

4. Тюрина Н.В. Классификация акустических экранов. «Новое в теоретической и прикладной акустике», Труды семинара 17-18 октября 2002 г. / Под ред. Н.И. Иванова, СПб.: БГТУ, - с. 115-122.

5. 12. Шумозащитные стенки на железных дорогах. Железные дороги мира – 1997, N6, с 1-4.

6. Arenas Jorge P. Use of Barriers: Handbook Noise and Vibration Control/ Ed. Malcolm J. Crocker; John Willy, N/Y 2007. pp 714-724.

7. Daigle Grilles A. Report by the International Institute of Noise Control Engineering Working Party of the Effectiveness of Noise Walls, Noise/ News, vol. 7,N3, 1999, pp 139-160.

8. EkiciInan and Bougdah Hocine a Review of Research on Environmental Noise Barriers, Building Acoustics, vol. 10, N4, 2003, pp 289-323.

9. U.J. Kurze and Newman Inc.., Cambridge, Mass. (USA) «Sound Attenuation by barriers» Received: 1 august, 1970 pp. 35-53.

10. Kurze U.J. and Anderson G.S. Sound Attention by Barriers. Appl. Acoust. Vol. 4, 1971, pp 35-53

11. Maekawa Z. Noise Reduction by Screens. Appl. Acoust. Vol. 1, 1968, pp 35-53

Практика снижения шума от работы инженерно-технологического оборудования

Кирпичников[1] *В.Ю., Дроздова*[2] *Л.Ф.*
[1] ФГУП Крыловский Научный Центр
[2] Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Шумовая обстановка в производственных и жилых помещениях, а также на территории жилой застройки, прилегающей к предприятиям, во многих случаях оказывается неблагополучной. Основной причиной возникновения подобных ситуаций является, как правило, невыполнение известных положений акустики на стадиях проектирования и строительства зданий и монтажа размещаемого в них инженерно-технологического оборудования.

Накопленный специалистами-акустиками опыт показывает, что задачей снижения шума надо заниматься в период от самых ранних стадий проектирования зданий до завершения монтажа оборудования. К сожалению, заказчики и руководители проектных, строительных и монтажных организаций такую позицию часто не разделяют, и противошумовые мероприятия разрабатываются и внедряются сугубо формально. В результате акустическими вопросами приходится заниматься на введенных объектах.

Соответствующие работы, как правило, начинаются с осмотра зданий и проведения необходимых акустических измерений. Выявляются источники и причины повышенного шума. Далее разрабатываются противошумовые мероприятия, и начинается сложная, в условиях построенного и заселенного здания, процедура их внедрения. Кратко рассмотрим некоторые основные причины возникновения и пути устранения повышенных уровней шума в производственных и жилых помещениях, источниками которого являются вентиляторы, а также оборудование котельных и теплоцентров.

Возникновение повышенных уровней шума от работы вентиляторов часто связано с их установкой на конструкции с недопустимо малой жесткостью. При этом источниками шумоизлучения могут быть даже «миниатюрные» вентиляторы с малыми массой и производительностью, имеющие идеальную шумовую характеристику.

Цех сборки холодильников с уровнем звука на рабочих местах при выключенной системе воздухонагревания в пределах 55–60 дБА (рис,1).

При включении вентиляторов уровни шума возрастают до 80–82 дБА. Шум собственно вентиляторов, как показали измерения, не превышает 40 дБА.

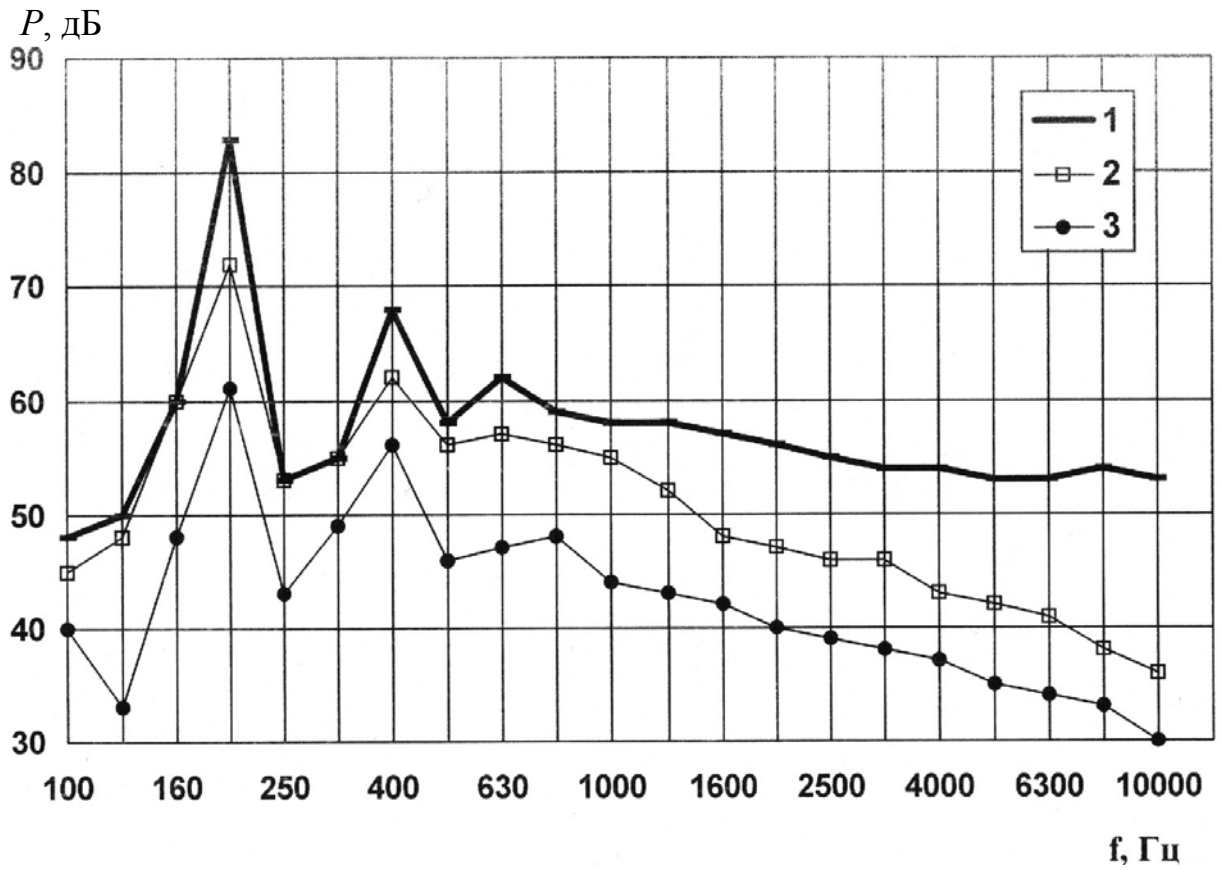


Рис. 1 Третьоктавные спектры шума на одном из рабочих мест в цехе сборки холодильников
1 – до начала работ по модернизации ВНУ;
2 – после модернизации части ВНУ (при работе всех ВНУ);
3 – при работе только модернизированных ВНУ.

Причиной увеличения шума являлась установка вентиляторов на пластины (рис.2), резонансные колебания которых искажали однородность потока воздуха, натекающего на лопатки.

Это приводило к росту шумоизлучения как собственно вентиляторов, так и связанных с пластинами других конструктивных элементов воздухонагревательной системы. Установка примерно половины вентиляторов на фундамент (рис.3) с собственной частотой изгибных колебаний опорной пластины, бóльшей, чем удвоенная лопаточная частота ($f_л = \frac{nz}{60}$, n – число оборотов в минуту, z – число лопаток), привела к уменьшению уровней шума при их работе до величины порядка 62 дБА.

Некачественное исполнение фундаментов под вентиляторами многократно регистрировалось и при выполнении работ по снижению шума в жилых зданиях.

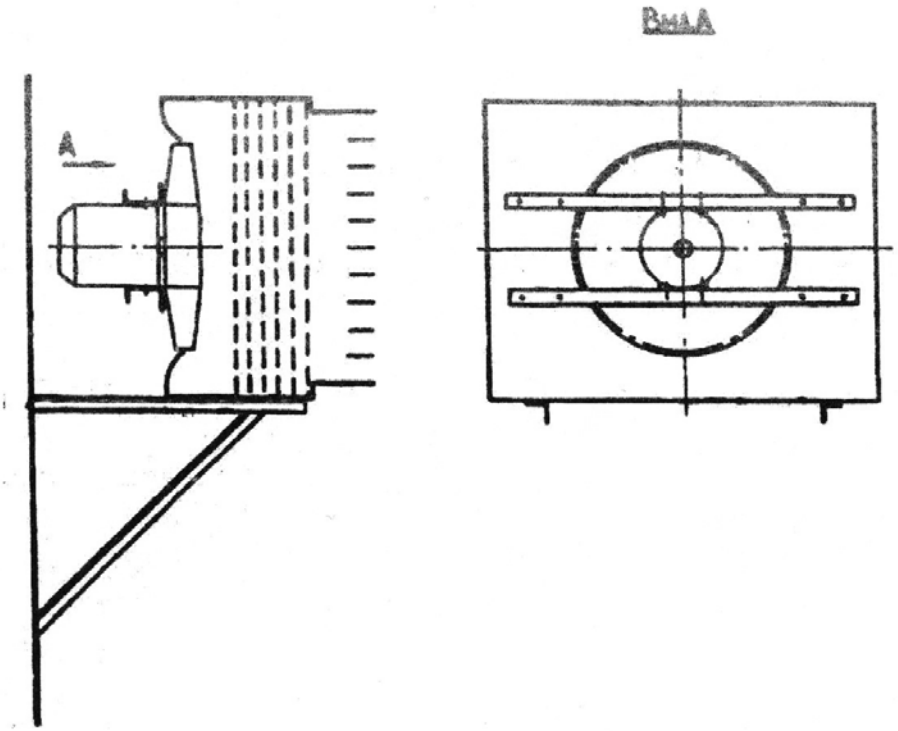


Рис. 2 Исходная схема крепления вентилятора ВНУ

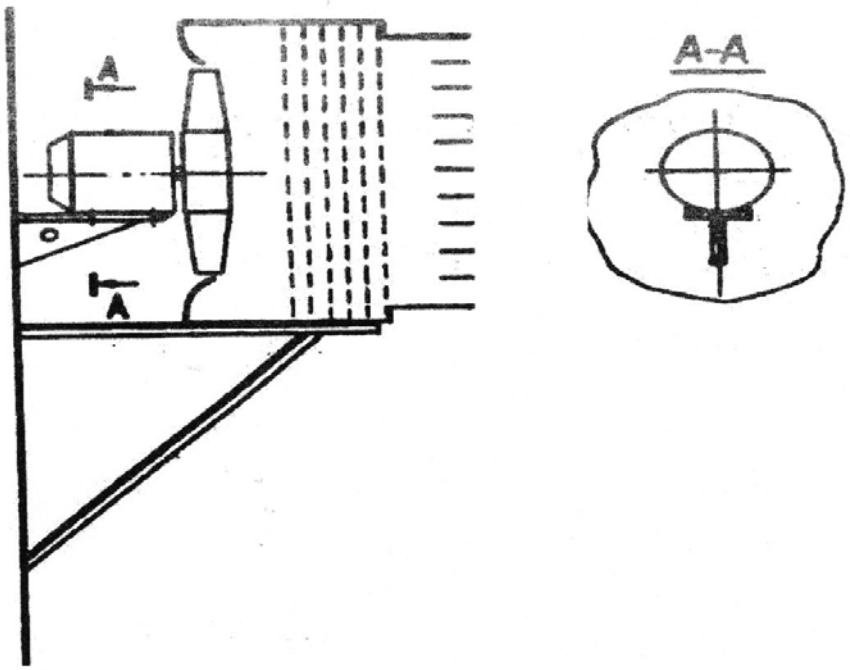


Рис. 3 Рекомендованная схема крепления вентилятора ВНУ

Обычно случаи неблагополучной шумовой обстановки связаны с возникновением структурного шума при размещении вентиляторов на чердачных и межэтажных перекрытиях здания.

В большинстве случаев вентиляторы были установлены на стержни или пластины, раскрепленные к перекрытию с использованием стержней. Каждый из элементов такого «фундамента» имел в нормируемом диапазоне множество собственных частот упругих колебаний, что способствовало возникновению в них резонансных явлений. Средства виброизоляции и вибропоглощения для уменьшения передачи колебательной энергии на перекрытие не использовались. Вентиляторы размещались, как правило, в средней части перекрытий, наиболее уязвимой для возникновения повышенной вибрации. Их крепление осуществлялось не к балкам перекрытия, а к их пояскам, имеющим в диапазоне средних и высоких частот существенно меньшее механическое сопротивление по отношению к возбуждающим усилиям, чем подкрепления. На рисунках 4 и 5 представлены третьоктавные и узкополосные спектры шума в жилой комнате от работы установленного под ней многорежимного вентилятора (n_{max} = 1372 об/мин; z = 38).

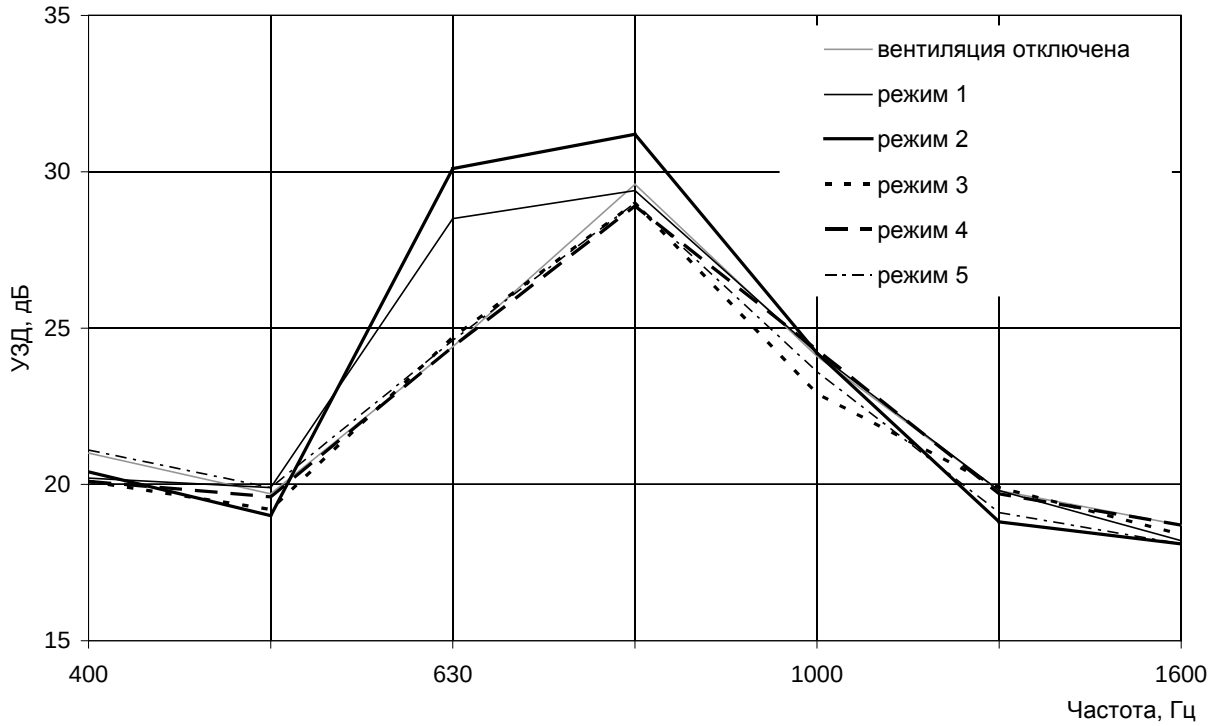


Рис. 4 Третьоктавные спектры шума в жилой комнате

Среди множества тональных составляющих с примерно одинаковыми уровнями на одном из режимов на частоте 693 Гц регистрировалась тональная составляющая более высокого уровня, оказывающая наиболее раздражающее воздействие на жильцов. Возникновение данной составляющей было связано с резонансными колебаниями в элементах фундамента.

В нескольких случаях негативное шумовое воздействие на жильцов оказывали вентиляторы, установленные на улице и раскрепленные к стене здания.

При нахождении таких вентиляторов в типичных для центра Санкт-Петербурга двориках они озвучивали десятки жилых квартир, в том числе и достаточно удаленных от места установки.

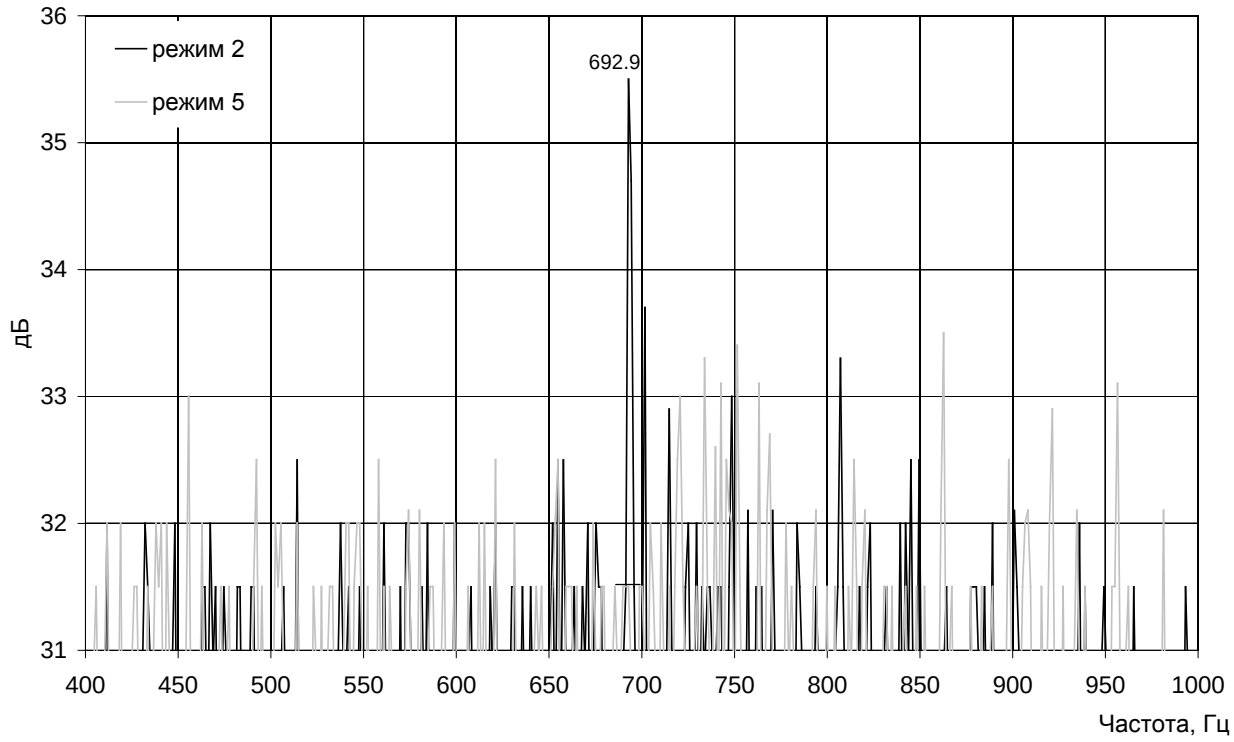


Рис. 5 Узкополосные спектры шума в жилой комнате

В узкополосных спектрах шума, создаваемого вентиляторами, обнаруживались четко выраженные тональные составляющие (рис.6).

Частоты этих составляющих совпадали либо с частотами звукоряда лопаточной частоты вентилятора, либо с резонансными частотами изгибных колебаний установочного элемента акустически несовершенного фундамента.

Возникновение резонансных явлений в фундаменте при установке вентиляторов даже средней производительности может привести не только к повышенному шумоизлучению, но и к таким уровням вибрации, при которой возникает опасность разрушения стен здания.

Два компрессора большой мощности одной из газонаполнительных станций оказались источниками вибрации второстепенной значимости в сравнении с вентилятором, имеющим на два порядка меньшую мощность,

но установленным на резонирующий «фундамент» в виде двух консольных балок, прикрепленных к стене здания станции.

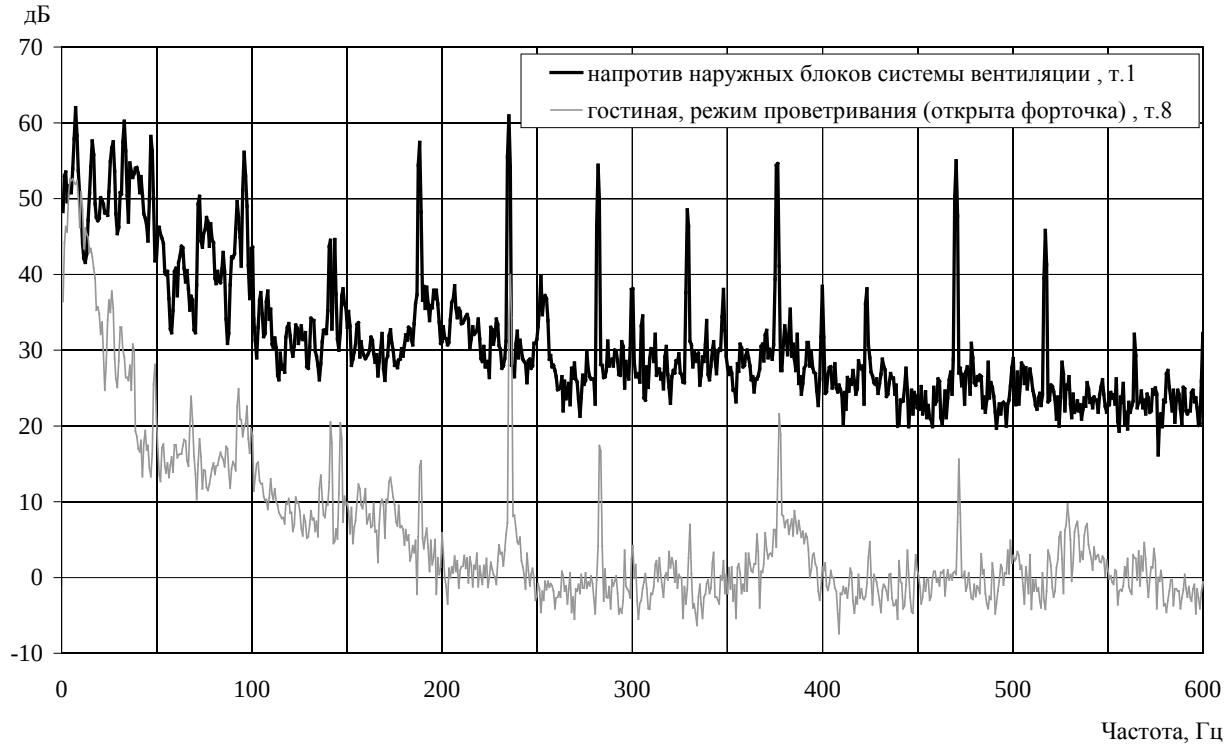


Рис. 6 Узкополосные спектры шума в квартире
и напротив наружных блоков системы вентиляции

Уровни вибрации были уменьшены путем установки вентилятора на несвязанный со стеной фундамент рекомендованной конструкции.

В последние годы в жилых кварталах Санкт-Петербурга устанавливается большое число автоматизированных котельных бытового назначения. Оборудование размещают либо в отдельном здании, либо на крыше жилого дома.

При работе отдельно стоящих котельных основными источниками шума на прилегающей к ним территории являются процессы горения и аэродинамического взаимодействия выходящих газов с трубами. Обычно возникает необходимость конкретизировать роль этих процессов в формировании суммарного сигнала. Суть соответствующего эксперимента заключается в измерении уровней шума на штатном режиме работы наиболее шумного котла и при вдувании в него такого же объема воздуха при выключенной горелке. Измерения проводятся внутри и вне помещения котельной. При отсутствии глушителя на газовыходе соотношение уровней шума обычно оказывается одинаковым. Типичная пара третьоктавных спектров шума при работе котла на полной мощности и при работе только вентилятора на том же режиме приведена на рисунке 7.

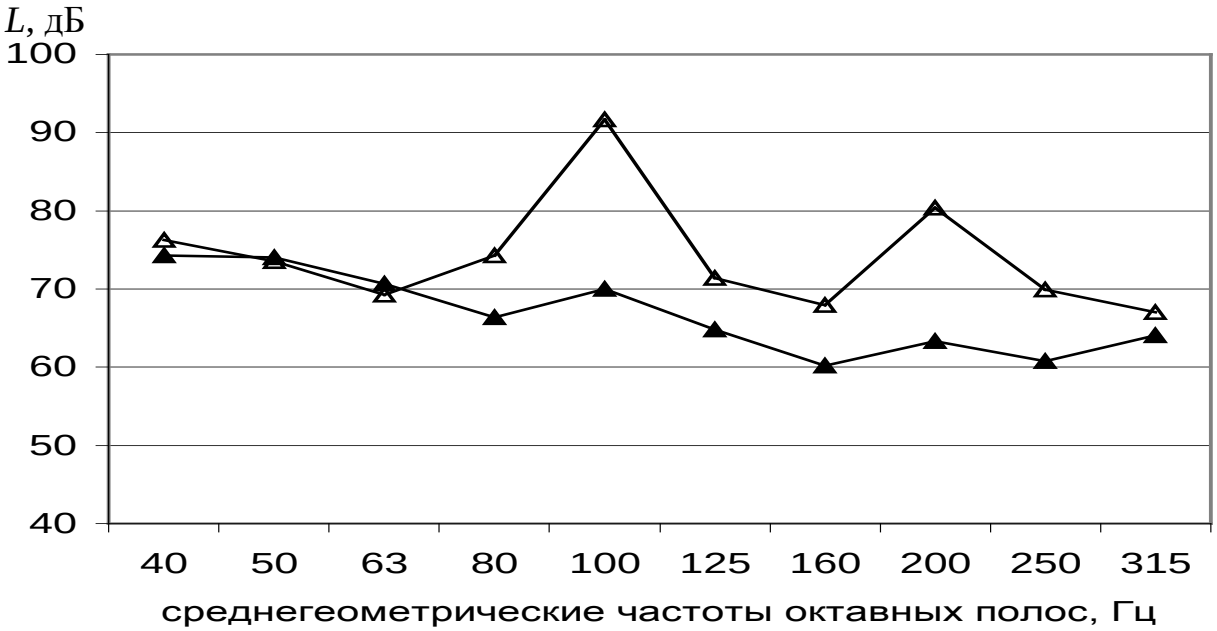


Рис. 7 Уровни шума в контрольной точке
при работе котла на штатном режиме (1г)
и при выключенной на этом режиме горелке,
работает только вентилятор (1в)

Из рисунка видно, что уровни шума в полосах со среднегеометрическими частотами 100 и 200 Гц при работе только вентилятора много меньше соответствующих уровней при штатной работе котла. В узкополосных спектрах шума были обнаружены ярко выраженные максимумы на частотах ~96 и ~192 Гц. С учетом результатов выполненной расчетной оценки появление максимумов связывалось с резонансами объема камеры сгорания. Максимумы на тех же частотах были обнаружены и в узкополосных спектрах вибраций дымовой трубы, т.е. на пути выхода возникшей в котле звуковой энергии на территорию, прилегающую к котельной.

Для уменьшения шума горения был рекомендован двухкамерный расширительный глушитель (рис.8).

При разработке глушителя учитывалось негативное влияние на его шумозаглушающую эффективность следующих сопутствующих факторов:

- прохождение акустической энергии из внутреннего объема во внешнюю среду через оболочку;
- излучение шума элементами глушителя, обусловленное передачей на них вибрационной энергии от газоотводного тракта;
- излучение шума элементами глушителя, колеблющимися под воздействием сил аэродинамического происхождения, создаваемых потоком отходящих газов.

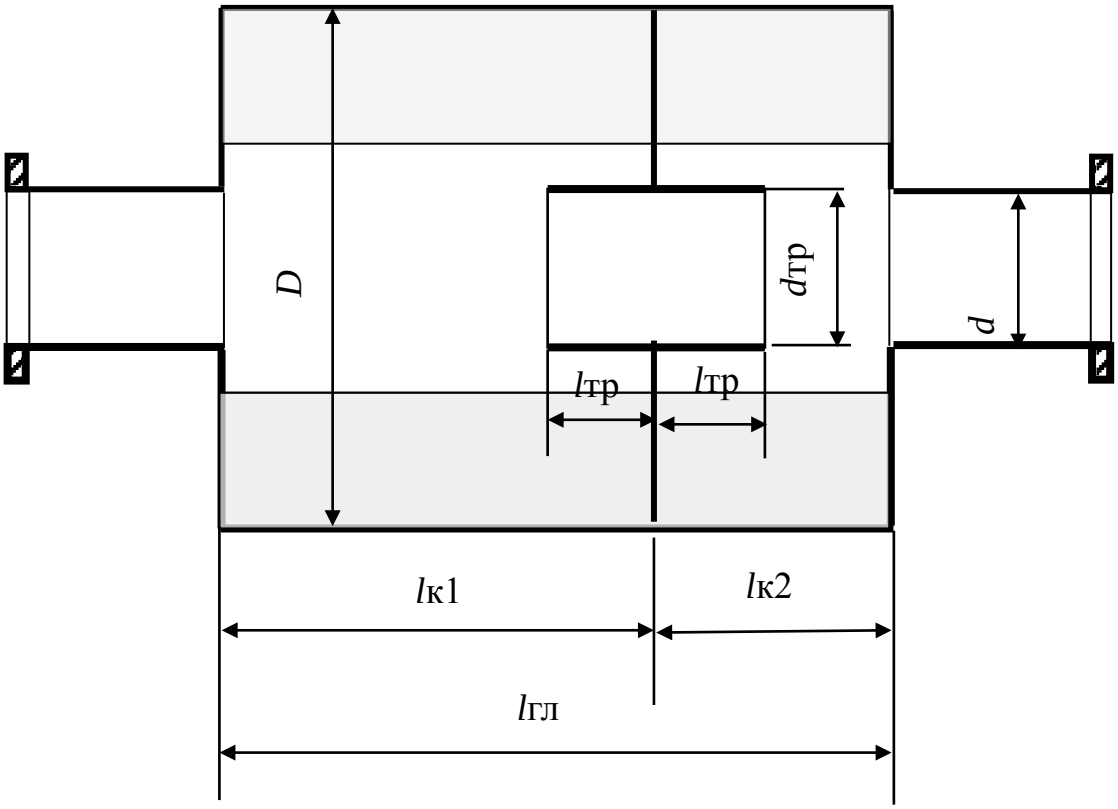


Рис. 8 Двухкамерный расширительный глушитель

D = 0,88м;	dтр = 0,356м;	d = 0,356м;
lгл = 1,74м;	lк1 = 1,16м;	lк2 = 0,58м;
lтр = 0,29м	t^o = 200°C и 50°C	

Был выполнен анализ роли этих факторов, а конструкция и параметры глушителя выбраны с учетом достижения от его установки снижения уровней звукового давления в третьоктавных частотных полосах 100 и 200 Гц на величину не менее 20 дБ.

Результаты расчетов эффективности конкретного глушителя выбранного типа изображены на рисунке 9.

Для повышения эффективности глушителя его внутренняя поверхность была облицована звукопоглощающим материалом с коэффициентом звукопоглощения α ~ 0,6. Расчетом было установлено, что установка такого материала увеличивает эффективность глушителя на частотах 100–200 Гц на величину около 5 дБ. Номинальная эффективность рекомендованного к установке глушителя при температуре выпускных газов 180°С составила на этих частотах величину ~20 дБ. Установка разработанного глушителя обеспечила выполнение действующих санитарных норм по шуму в квартирах нескольких близлежащих домов и на прилегающей к ним территории.

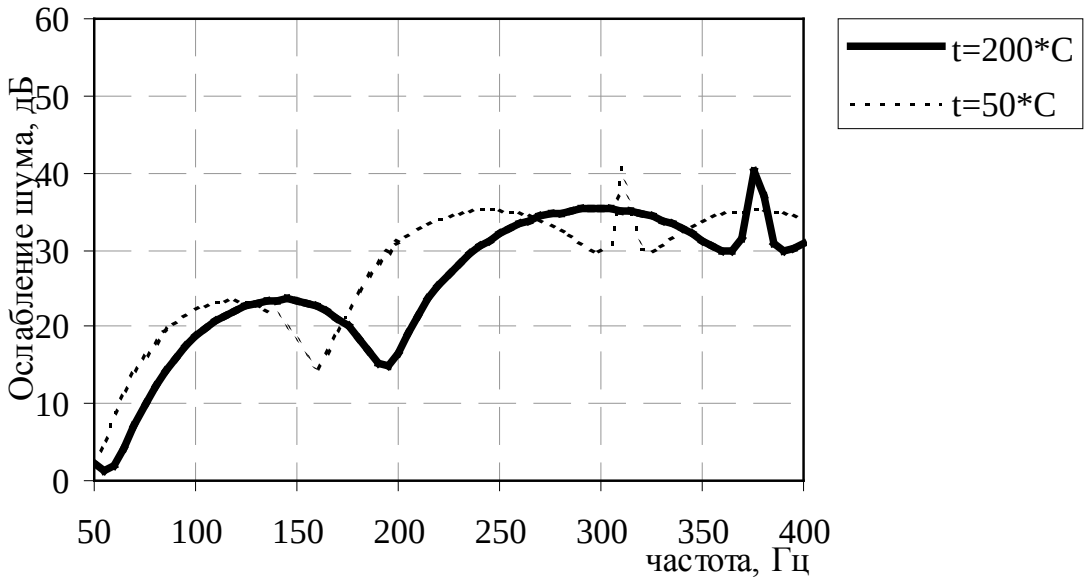


Рис. 9 Частотная характеристика ослабления шума двухкамерным глушителем при различной температуре газов

Известны случаи размещения котельных на крышах жилых зданий. При несоблюдении правил акустического проектирования такого рода котельные оказываются источниками повышенных уровней шума во многих жилых помещениях. Наиболее неблагополучная обстановка регистрируется в квартирах последнего этажа. В одной из таких квартир под котельной уровни шума составили 38–39 дБА (при норме 20 дБА).

В процессе акусто-визуального обследования котельной и здания были выявлены следующие основные причины возникновения повышенного шума:

- между перекрытием и цементно-песчаной стяжкой, на которой жестко установлены котлы и насосы, имеются звуковые мостики (вместо минваты);
- зазоры между стяжкой и стенами котельной отсутствуют;
- опоры трубопроводов закреплены на боковых стенах котельной, которые опираются на перекрытие;
- трубопровод (диаметром 200 мм) подачи теплой воды имеет жесткие связи со строительными конструкциями.

При измерении была обнаружена повышенная вибрация стены в помещении, смежном с котельной. В проекте стена отсутствовала и была сооружена по рекомендациям «специалистов» именно для снижения шума котельной. Демонтаж стены привел к снижению уровней шума в квартире, над которой она была установлена на 3 дБА.

Были выполнены многочисленные измерения шума в помещениях и вибрации оборудования и трубопроводов, в том числе при искусственном возбуждении шума и вибрации. На основании всей совокупности полученных данных был сделан вывод, что главной причиной шума в квартирах является вибрация трубопровода подачи теплой воды, распространяющаяся через жесткие связи трубопровода на строительные конструкции. Был разработан и внедрен комплекс следующих мероприятий:

- перенести опоры трубопровода со стен котельной на «плавающий» пол; отключить пол от стен, устранить, по возможности, другие звуковые мостики;
- создать кольцевой воздушный зазор вокруг трубопровода в местах прохода через стены;
- установить гибкие вставки в трубопровод у его выхода из помещения котельной.

После внедрения мероприятий общее снижение шума в квартире с неблагополучной шумовой обстановкой составило 7–8 дБА. На слух шум в квартире от работы котельной стал почти не заметен на фоне помех даже в ночное время. Видимо, по этой причине другие дополнительные мероприятия заказчиком не внедрялись.

При работе котельных с оборудованием и для электроснабжения (рис.10) возникают дополнительные трудности по выполнению требований к уровням шума на прилегающей территории.

Появляется новый интенсивный источник шума – турбины. На рисунке 11 для примера приведен спектр шума, создаваемого турбинами при неработающих котлах, на расстоянии 50 м от одного из обследованных объектов. В узкополосных спектрах шума присутствуют ярко выраженные тональные составляющие (рис.12). Для устранения недопустимого влияния турбин на шумовую обстановку было рекомендовано установить глушители на системы притока воздуха и газовыхлопа турбин с более высокой, чем у штатных, звукоизолирующей эффективностью, и звукоизолирующие экраны со стороны рядом расположенного жилого здания.

При расположении механизмов теплоснабжения в подвальных технических помещениях жилых зданий акустически «уязвимыми» оказываются помещения первого этажа.

Основными причинами неблагополучной шумовой обстановки являются следующие:

- неудачный выбор мест расположения технического помещения;
- нерациональное размещение и конструктивное оформление фундаментов под оборудование и опор под трубопроводы и воздуховоды;
- нерациональная прокладка и исполнение трубопроводов систем теплоснабжения;

Рис. 10 Внешний вид объекта с оборудованием
для теплоснабжения и электроснабжения

- наличие щелей между трубопроводами и перекрытием, отделяющим техническое помещение от находящейся над ним квартиры;
- отсутствие в технических помещениях средств звукопоглощения;
- установка в квартирах акустически недоработанных батарей системы отопления.

Под неудачным выбором места расположения технического помещения в жилом доме нами подразумевается их нахождение под жилыми комнатами

Во всех обследованных случаях фундаменты под оборудование и крепежные стойки под трубопроводы и воздуховоды размещались только с учетом удобства их монтажа. Как правило, они располагались или крепились на перекрытиях и (или) стенах, являющихся и ограждающими конструкциями жилых комнат. Отсоединение элементов фундаментов и крепежных стоек от этих конструкций приводило к уменьшению уровней переизлучаемого ими (структурного) шума в широком диапазоне низких и средних звуковых частот.

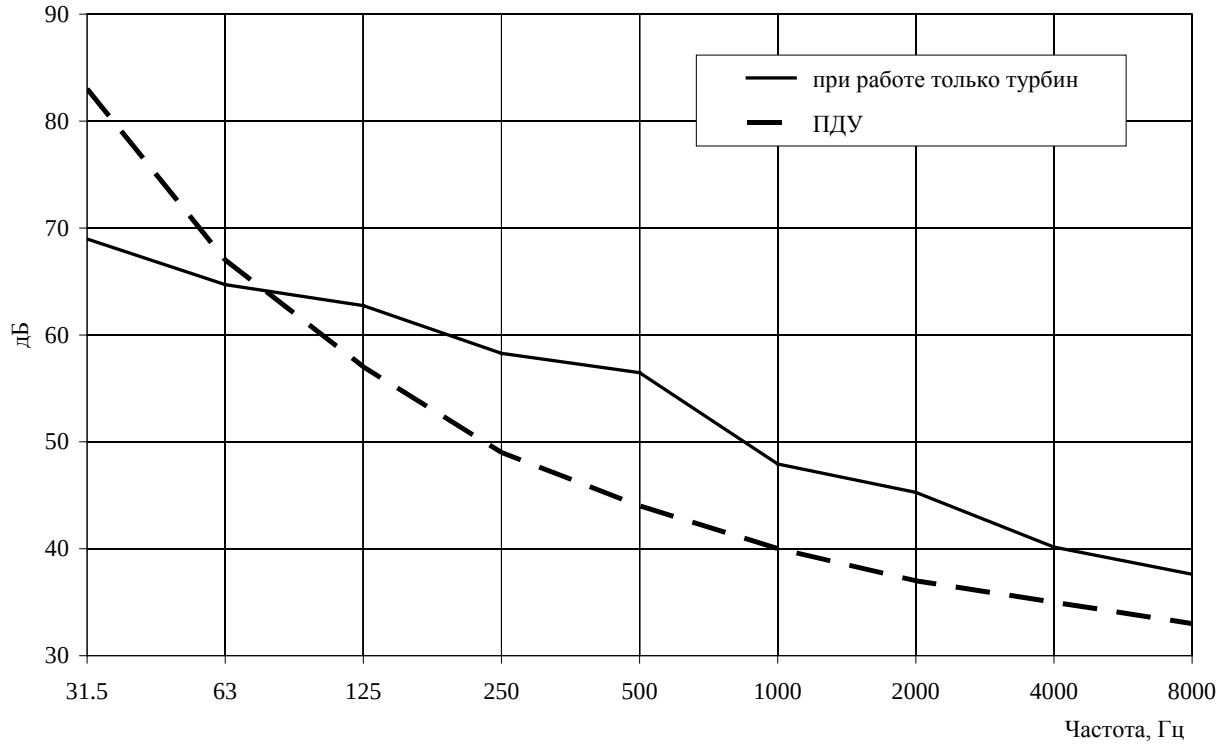


Рис. 11 Уровни шума у жилого дома при работе только турбин энергоблока

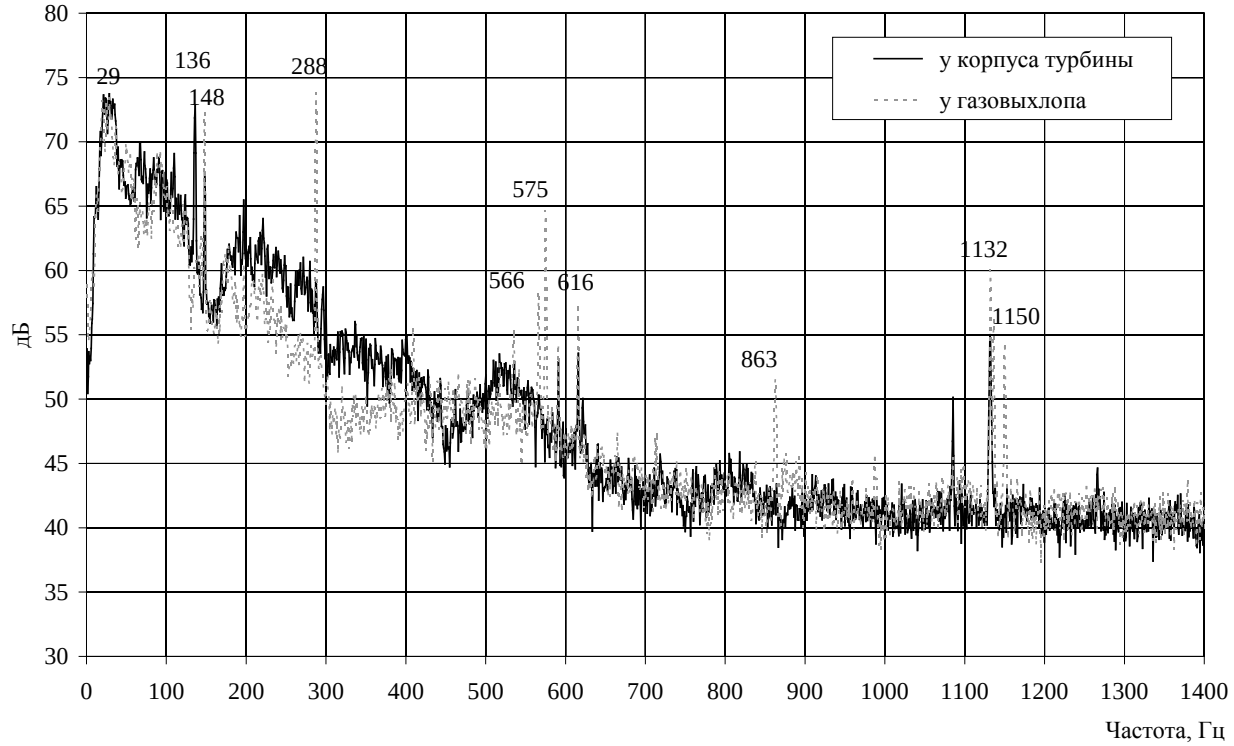


Рис. 12 Узкополосные спектры шума у турбины

Известное положение о минимизации вибрации путем установки фундаментов и крепежных стоек в местах наибольшей жесткости строительных конструкций не выполнялось. В большинстве случаев фундаменты и стойки были изготовлены из стальных пластин и стержней толщиной 2–3 мм. Средства виброизоляции и вибропоглощения ни в одном из теплоцентров не использовались.

Прокладка и исполнение трубопроводов систем снабжения водой и отоплением в большинстве случаев выполняется акустически нерационально. Магистральные трубы вводятся в здание непосредственно под жилыми комнатами; при неудачном выборе мест расположения технических помещений, на расстояниях до 20 м от этих вводов они имеют дублирующие участки с противоположным направлением движения воды. Отводы от распределительных трубопроводов выполняются без учета направления движения воды, как правило, под прямым углом; в некоторых случаях отводы имеют до шести поворотов вместо двух необходимых. Радиус поворотов, как правило, много меньше их радиуса, рекомендуемого для исключения условий возникновения повышенных уровней шума в трубопроводах и вибрации их стенок.

Трубопроводы обследованных систем преимущественно были металлическими.

Приведем в качестве примера некоторые предложения, внедрение которых привело к снижению уровней шума в жилых комнатах одного из обследованных зданий:

- осуществить ввод воды в горизонтальный распределительный (по квартирам здания) трубопровод системы отопления по ходу ее движения;
- заменить участок металлического вертикального трубопровода системы обратной воды на металлопластиковый;
- заменить участки металлических трубопроводов (с пятью поворотами) прямой и обратной воды системы отопления на металлопластиковые трубопроводы с одним плавным поворотом.

Реализация этих мероприятий с устранением щелей в местах прохода трубопроводов через общее с «неблагополучной» квартирой перекрытие, привела к уменьшению уровней шума в ней на величину 8 дБА. Уровни шума в жилых комнатах оказались меньше ПДУ для ночного времени суток.

Во всех обследованных технических помещениях уровни шума были достаточно высокими. Величина УЗ, дБА, достигала 66–74 дБА. Звукопоглощающий материал на ограждающих конструкциях этих помещений отсутствовал и основной составляющей, которая формировала поле звуковых давлений у конструкций, отделяющих технические помещения от жилых комнат, являлся реверберационный шум.

Для уменьшения уровней шума в жилых комнатах предлагалась облицовка стен, потолка и частично пола технических помещений теплозвукопоглощающим материалом типа Rockwool, Isover, Ursa толщиной не менее 50 мм.

В нескольких случаях повышение уровней шума в квартирах было связано с использованием акустически недоработанных батарей системы отопления.

Результаты измерений третьоктавных уровней шума в жилой комнате на различных расстояниях (0,1 0,5 и ~1,5 м) от батареи показаны на рисунке 13. Видим, что в большинстве третьоктавных полос наблюдается уменьшение уровней шума с удалением от батареи.

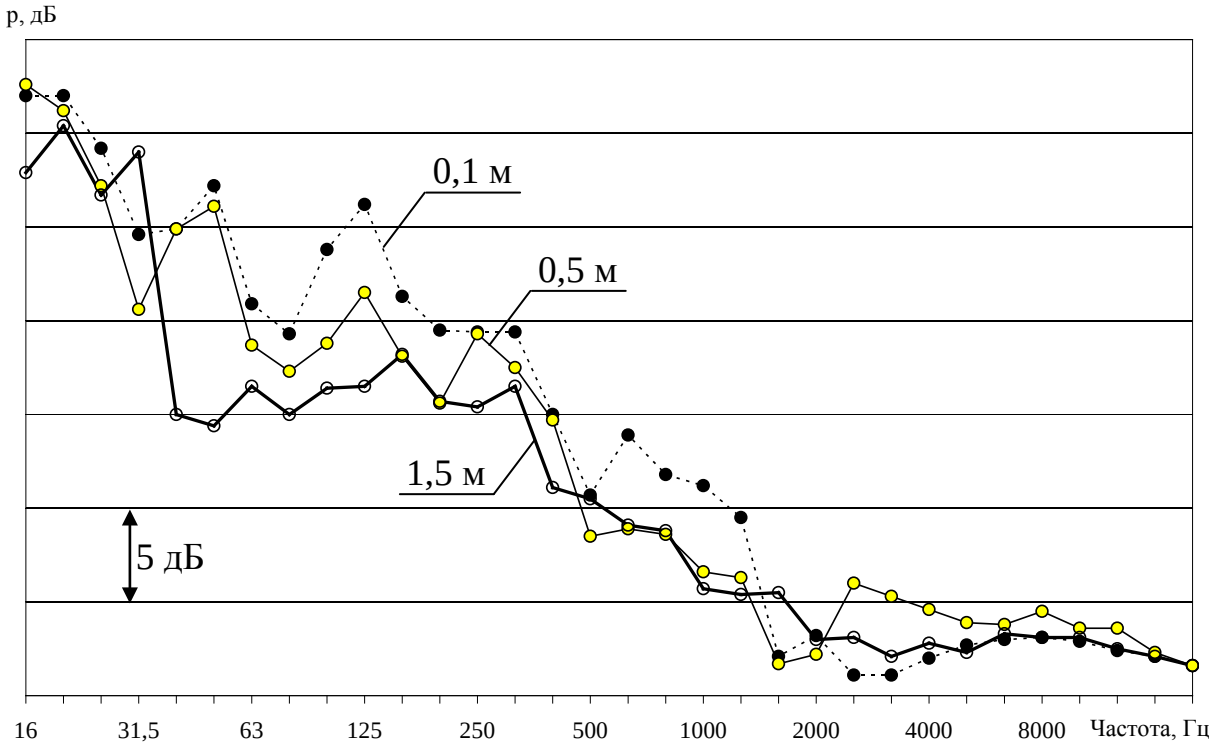


Рис. 13 Третьоктавные спектры шума в гостиной
на различных расстояниях от батареи

Узкополосные спектры шума (рисунок 14) содержат большое число тональных составляющих. Частоты некоторых наиболее выраженных составляющих шума, зарегистрированных в различных жилых комнатах с батареями одного типа, оказались одинаковыми и близкими, что свидетельствовало об одинаковой физической природе его возникновения (например, частоты: 630–643 Гц, 2327–2330 Гц, 4657–4667 Гц). Именно эти тональные составляющие и вызывали раздражающее действие на жильцов.

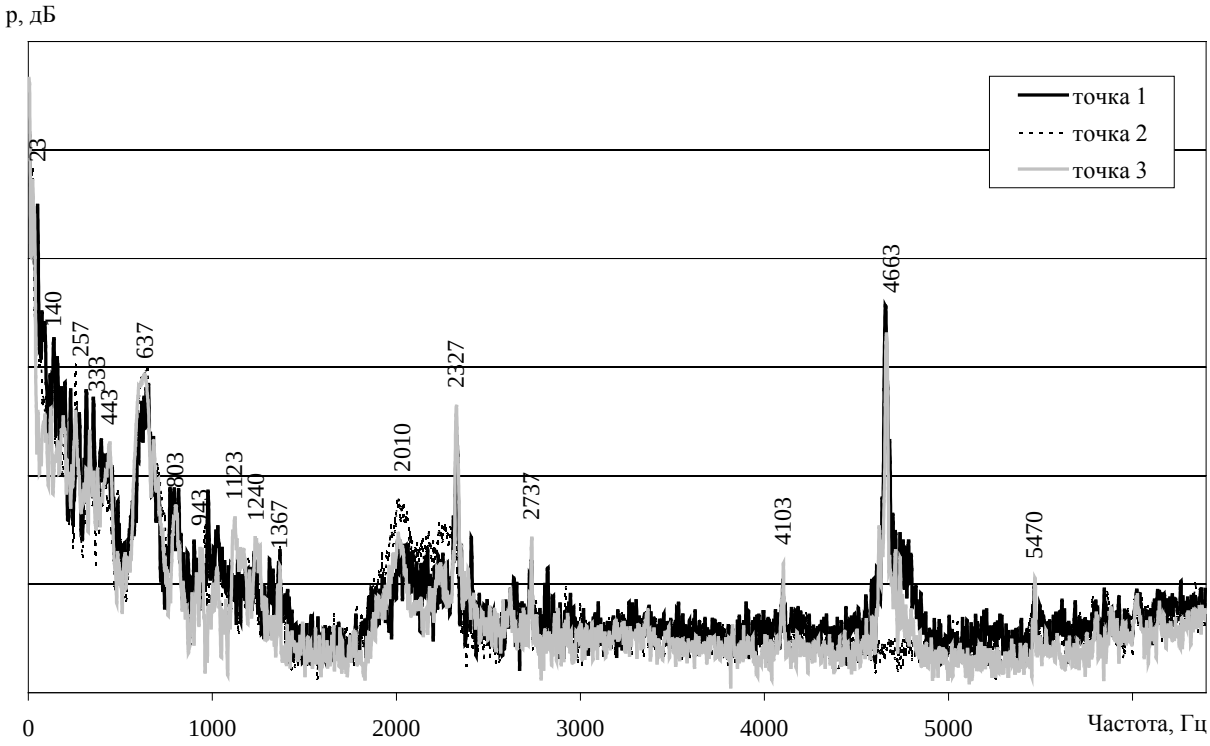


Рис. 14 Узкополосные спектры шума в гостиной

Аналогичную форму – с большим числом тональных составляющих – имели узкополосные спектры вибрации батарей. Типичные узкополосные спектры вибрации одной из батарей приведены на рисунке 15.

Совпадение частот наиболее выраженных тональных составляющих в спектрах шума и вибрации свидетельствовало о том, что эти составляющие имеют одинаковую природу возникновения, а причиной повышенных уровней шума в квартире является шумоизлучение металлической пластины батарей на ее резонансных частотах.

Замена батарей на секционные аналоги с большим числом малоразмерных пластинчатых элементов вместо одной пластины с существенно большими (чем у отдельных пластинчатых элементов) размерами в плане привела к улучшению шумовой обстановки в жилых комнатах.

В заключение отметим, что результаты проведенных работ еще раз подтвердили, что основной причиной повышенного шума и вибрации в производственных и жилых зданиях является пренебрежительное отношение проектировщиков, строителей и монтажников к вопросам акустики. Обычно это и приводит к превышению уровней шума над допустимыми значениями и к необходимости разработки и внедрения комплекса мероприятий по снижению шума. Как показал анализ выполненных экспериментальных исследований по оценке спектральных характеристик таких основных источников, как вентиляторы, котельное оборудование, турбины

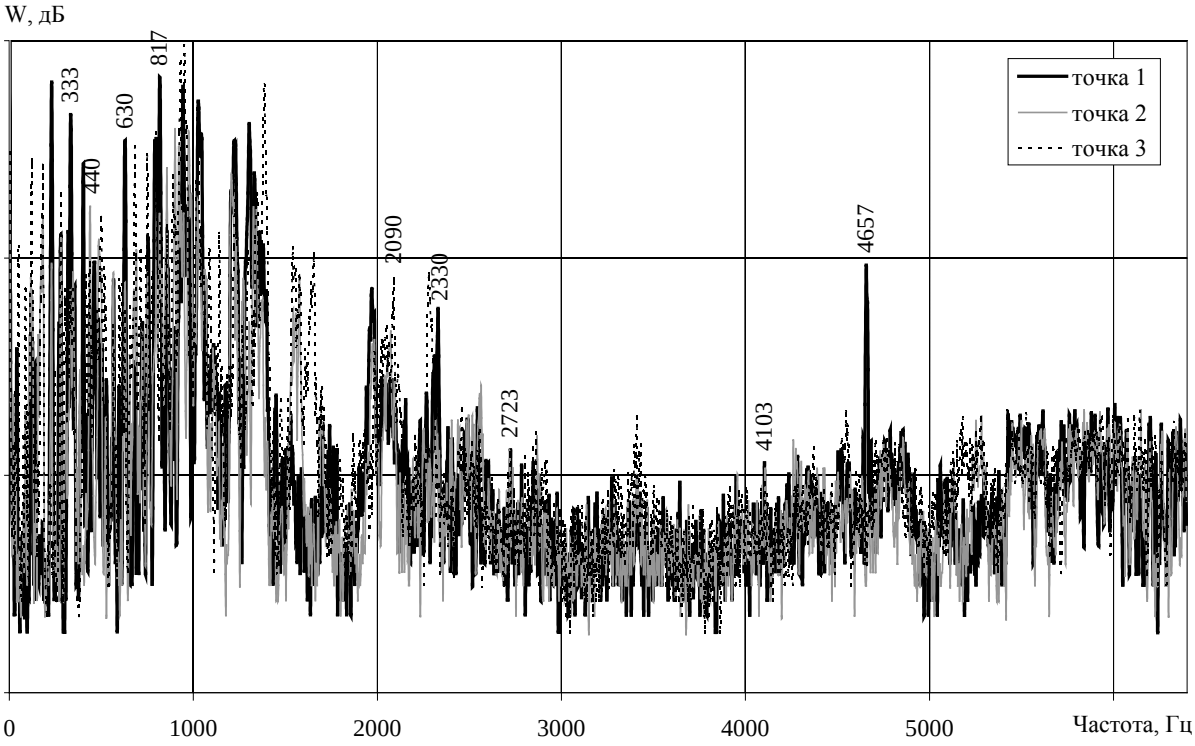


Рис. 15 Узкополосные спектры вибрации батареи в гостиной

и вторичные излучатели (батареи), наиболее приемлемыми для оценки шума и вибрации являются только третьоктавные спектры, а в большинстве случаев и узкополосные. Это позволит легче и эффективнее выявить причину возникновения шума и вибрации и разработать пути их устранения в производственных и жилых помещениях.

Методическое обеспечение проектирования

Поспелов П.И.[1], Пуркин В.И.[1], Щит Б.А.[1], Пасулько Д.С.[1], Шубин И.Л.[2], Цукерников И.Е.[2]
1 МАДИ
2 НИИСФ РААСН
bcht@mail.ru

Для осуществления целенаправленной политики борьбы с автотранспортным шумом в городах и иных поселениях муниципальные власти должны располагать достоверной информацией об уровне шумового загрязнения окружающей среды автотранспортными источниками и о возможных акустически рациональных и экономически приемлемых мерах по его снижению.

Для методологического обеспечения решения этой задачи научными подразделениями Московского автомобильно-дорожного технического университета (МАДИ) и Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН) по заказу Федерального дорожного агенства были разработаны «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам» (ОДМ 218.2.013-2011), далее по тексту «Методические рекомендации».

«Методические рекомендации» содержат методы оценки шумовых характеристик автотранспортных потоков, методы прогнозирования распределения уровней транспортного шума на прилегающих к автомобильным дорогам территориях и в жилой застройке, рекомендации по выбору и проектированию их шумозащиты. Особое внимание при этом уделено методике детального проектирования придорожных шумозащитных экранов различных типов как одного из наиболее доступных и эффективных средств снижения автотранспортного шума. Приведена также методика экономической оценки устройства шумозащитных сооружений на автомобильных дорогах.

«Методические рекомендации» отражают последние достижения в области борьбы с автотранспортным шумом, охватывают широкий круг вопросов и в то же время составлены так, чтобы дать проектировщикам и другим заинтересованным лицам материал, удобный для практического применения.

В настоящем докладе рассмотрены основные аспекты «Методических рекомендаций», отличающие их от ранее разработанных документов [1-3].

Как известно, основными факторами, определяющими уровень автотранспортного шума, являются:

- интенсивность, состав и скорость движения автотранспортного потока;
- дорожные условия, определяющие режим движения;
- характер придорожной территории и расположенной на ней застройки.

Влияние этих факторов учитывают с помощью шумовых характеристик транспортного потока (ШХТП), в качестве которых согласно ГОСТ 20444 [4] принимают эквивалентный и максимальный уровни звука, определенные для расстояния 7,5 м от оси ближней полосы движения автотранспорта на высоте 1,5 м над уровнем проезжей части.

При измерении шумовой характеристики транспортного потока вопросов не возникает, так как процедура таких измерений регламентирована ГОСТ 20444. Однако при расчетах шумовых характеристик имеется ряд затруднений, связанных с тем, какие параметры транспортного потока необходимо учитывать и каким образом. В «Методических рекомендациях» приведена детализированная методика, в соответствии с которой ШХТП в виде эквивалентного уровня звука $L_{Аэкв7,5\,дн/н}$ следует рассчитывать по формуле:

$$L_{A\ 7,5\,дн/н} = L_{A\,тр\,дн/н} + \Delta L_{Агруз} + \Delta L_{Аск} + \Delta L_{Аук} + \Delta L_{Апок} + \Delta L_{Апр} + \Delta L_{Азас} + \Delta L_{Апер}, \quad (1)$$

где $L_{A\ тр\ дн/н.}$ - эквивалентный уровень звука на расстоянии 7,5 м от оси ближней полосы движения на высоте 1,5 м для транспортного потока на прямом горизонтальном участке дороги с мелкозернистым асфальтобетонным покрытием при наличии в составе транспортного потока 40% грузовых автомобилей и автобусов, дБ*А*; $\Delta L_{Агруз}$ - коррекция, учитывающая отличие фактического количества грузовых автомобилей (массой не менее 3500 кг) и автобусов в транспортном потоке от исходного опорного значения (40%), дБ*А*; $\Delta L_{Аск}$ - коррекция, учитывающая влияние средней скорости движения на шумность транспортного потока, дБ*А*; $\Delta L_{Аук}$ - коррекция, учитывающая величину продольного уклона дороги, дБ*А*; $\Delta L_{Апок}$ - коррекция, учитывающая тип дорожного покрытия; $\Delta L_{Апр}$ - коррекция, учитывающая наличие центральной разделительной полосы на дороге, дБ*А*; $\Delta L_{Азас}$ - коррекция, учитывающая влияние придорожной застройки (одно- или двухсторонняя застройка, расстояние от дороги до красной линии застройки), дБ*А*; $\Delta L_{Аперес}$ - коррекция, учитывающая наличие пересечения дорог на

нерегулируемом перекрестке или на перекрестке со светофорным регулированием, дБ*А*.

Величину $L^{A\,mpn}$ в формуле (1) рассчитывают по формуле:

$$L_{A\,mpp\,дн/н} = 50 + 8{,}8 \times \lg N, \text{дБ}A\,, \qquad (2)$$

где N – расчетная интенсивность движения в дневной ($N = N_{дн}$) или ночной ($N = N_{н}$) периоды суток, определяемая по формулам (3) или (4) соответственно:

$$N_{дн} = 0{,}076\ N_{сут}\,, \text{авт/ч}, \qquad (3)$$

$$N_{н} = 0{,}039\ N_{сут}\,, \text{авт/ч}. \qquad (4)$$

$N_{сут}$ – среднегодовая суточная интенсивность движения, авт/сутки.

Для определения остальных величин, входящих в формулу (1), в «Методических рекомендациях» приведен ряд таблиц и даны указания по их применению.

ШХТП в виде максимального уровня звука $L_{Амакс7,5}$ следует принимать в соответствии с ГОСТ Р 41.51 [5] при скорости движения потока v=50 км/ч:

- для потока легковых автомобилей $L_{Амакс7,5}$ = 74 дБ*А;*
- при наличии в потоке грузовых автомобилей и/или автобусов $L_{Амакс7,5}$ = 80 дБ*А*.

При скорости движения *v*,отличной от 50 км/ч, максимальный уровень звука $L_{Амакс7,5}$ следует рассчитывать по формуле ([6], таблица 17):

$$L_{Аммак7,5}(v) = L_{Аммак7,5(v=50км/ч)} + 32\lg\left(\frac{v}{50}\right). \qquad (5)$$

После определения ШХТП необходимо установить степень шумового загрязнения селитебной территории или жилой застройки, прилегающих к автодороге. С этой целью для оценки распространения автотранспортного шума выбирают расчетные точки в наиболее характерных местах селитебной территории, а также на расстоянии 2 м от фасадов жилых домов, зданий больниц, санаториев, школ, детских дошкольных учреждений и других объектов с нормируемым шумовым режимом, и для каждой расчетной точки рассчитывают ожидаемый эквивалентный уровень звука как для дневного, так и для ночного времени суток $L_{A\,рт\,дн/н}$ по формуле:

$$L_{A\,рт\,дн/н} = L_{ШХТП\,дн/н} - (\Delta L_{A\,рас} + \Delta L_{A\,воз} + \Delta L_{B/T} + \Delta L_{A\,пок} +$$

$$+\Delta L_{A\,зел}+\Delta L_{A\,экр}+\Delta L_{A\,застр}+\Delta L_{A\,\alpha})+\Delta L_{Aотр}\text{, дБ}A, \qquad (6)$$

где $\Delta L_{A\,рас}$ - снижение уровня звука транспортного потока, в зависимости от расстояния до расчетной точки, дБA; $\Delta L_{A\,воз}$ - снижение уровня звука вследствие его затухания в воздухе, дБA; $\Delta L_{B/T}$ - снижение уровня звука за счет влияния турбулентности воздуха и ветра на процесс распространения звука, дБA; $\Delta L_{A\,пок}$ - снижение уровня звука, вследствие его поглощения поверхностью территории, дБA; $\Delta L_{A\,зел}$ - снижение уровня звука полосами зеленых насаждений, дБA; $\Delta L_{A\,экр}$ - снижение уровня звука проектируемыми шумозащитными сооружениями на пути звуковых лучей от автомобильной дороги к расчетной точке, дБA; $\Delta L_{A\,застр}$ – коррекция, учитывающая отражение звука существующими экранирующими препятствиями (зданиями, насыпями, холмами, выемками, и т.п.) на пути звуковых лучей от автомобильной дороги к расчетной точке, дБA; $\Delta L_{A\alpha}$ - коррекция, учитывающая ограничения угла видимости дороги из расчетной точки, дБA; $\Delta L_{A\,отр}$ - коррекция, учитывающая отражение звука от ограждающих конструкций зданий, дБA.

В «Методических рекомендациях» приведены уточненные формулы для расчета всех величин, входящих в формулу (6).

Требуемое снижение эквивалентного уровня звука в дневной $\Delta L_{A\,треб\,дн}$ и ночной $\Delta L_{A\,треб\,н}$ периоды суток вычисляют по формуле:

$$\Delta L_{A\,треб\,дн/н} = L_{A\,рт\,дн/н} - L_{A\,доп\,дн/н}\text{, дБ}A, \qquad (7)$$

где $L_{A\,рт\,дн/н}$ и $L_{A\,доп\,дн/н}$ - значения эквивалентного уровня звука (рассчитываются по формуле (6)) и его допустимого уровня (согласно СН 2.2.4/2.1.8.562) в расчетной точке в дневной и соответственно ночной период суток, дБA.

Аналогичные расчеты выполняются и для максимальных уровней звука.

Для дальнейших расчетов принимается наибольшее из значений, вычисленных по формуле (7) для эквивалентных уровней звука и по аналогичной формуле для максимальных уровней звука. Проектирование мероприятий по защите от транспортного шума осуществляется на основании использования этого наибольшего значения.

В «Методических рекомендациях» мероприятия по снижению шума подразделены на пассивные и активные. К пассивным отнесены мероприятия, осуществляемые при проектировании дороги, ее трассировании и организации на ней движения, направленные на снижение шума отдельных автомобилей и транспортного потока (применение малошумных покрытий, локальное снижение скорости движения, увеличение расстояния до застройки при проектировании плана, распределение интенсивности движе-

ния по улично-дорожной сети). К активным – мероприятия, направленные на снижение шума на участке его распространения от автомобильных дорог в жилую застройку (шумозащитные экраны, грунтовые валы и т.д.).

Для снижения воздействия транспортного шума на прилегающую территорию следует использовать весь комплекс проектных решений и мер организации движения. Применение тех или иных мероприятий определяется конкретными условиями с учетом технико-экономических требований. В табл. 1 приведена установленная «Методическими рекомендациями» классификация шумозащитных мероприятий в зависимости от категории дороги и характера жилой застройки.

В табл. 2 приведены данные, позволяющие проводить предварительную (ориентировочную) оценку эффективности выбранных шумозащитных мероприятий.

При превышении до 5 дБ*А* в ряде случаев можно ограничиться устройством специальных шумозащитных полос зеленых насаждений, а также изменить отдельные геометрические элементы дороги.

При превышении уровня звука на 10 дБ*А* и более для снижения транспортного шума целесообразно использовать специальные шумозащитные сооружения (например, экраны, выемки, валы). Возможна также дополнительная установка шумозащитных окон на фасадах зданий первого эшелона застройки, обращенных к дороге. Однако в этом случае остается открытым вопрос о защите от шума селитебной территории, прилегающей к зданиям.

Таблица 1.

Классификация мероприятий по защите от транспортного шума территорий и жилой застройки, прилегающих к автомобильным дорогам

Категория дороги	Характер застройки на прилегающей к дороге территории	Мероприятия по шумозащите прилегающей территории и застройки от транспортного шума
Загородные автомобильные дороги	Отдельные малоэтажные здания и строения	- создание буферных зон; - трассирование автодороги с использованием существующих форм рельефа; - устройство выемок мелкого заложения глубиной до 1-2 м традиционного очертания с пологими откосами, не круче 1:3 – 1:4; - устройство шумозащитных выемок мелкого заложения с крутым внешним откосом со стороны защищаемой территории, а при необходимости обеспечения устойчивости откоса и с дополнительным устройством подпорной стенки из недорогих, преиму-

Категория дороги	Характер застройки на прилегающей к дороге территории	Мероприятия по шумозащите прилегающей территории и застройки от транспортного шума
		щественно местных, материалов (дерево, каменная кладка, армированный грунт, габионы и т.п.); - шумозащитные валы; - шумозащитные экраны малой (до 2 м) высоты
Пригородные участки автомобильных дорог на подходах к крупным городам, а так-же в зоне небольших населенных пунктов	Малоэтажная застройка средней плотности	- устройство выемок традиционного очертания; - устройство шумозащитных выемок мелкого заложения без или с подпорной стенкой; - шумозащитные валы; - шумозащитные экраны малой (до 2 м) и средней (2 - 6 м) высоты; - в случае автомобильных дорог с высокой интенсивностью движения частичная или полная изоляция проезжей части за счет устройства тоннелей, галерей); - комбинация вышеуказанных мероприятий
Городские улицы и дороги	Плотная многоэтажная застройка	- организация движения грузовых автомобилей вне селитебных территорий (выделение городских дорог грузового движения); - полное или частичное (по времени) ограничение или запрещение движения грузовых автомобилей; - организация движения с ограничением скорости до 30 км/час (так называемое «успокоение движения»); - развитие общественного транспорта; - шумозащитные экраны средней (2-6 м) и большой (свыше 6 м) высоты; - полная или частичная изоляция проезжей части с помощью тоннелей или галерей; - комбинация вышеуказанных мероприятий
Городские дороги в центральной части крупных городов	Плотная многоэтажная застройка с малым расстоянием между фасадами зданий	- шумозащитные экраны большой высоты (свыше 6 м) при условии сохранения инсоляции жилых помещений; - полная изоляция проезжей части с помощью тоннелей или галерей; - комбинация вышеуказанных мероприятий

Таблица 2.

Ориентировочная оценка эффективности шумозащитных мероприятий

Мероприятия для снижения автотранспортного шума	Акустическая эффективность мероприятий (обеспечиваемое снижение уровня автотранспортного шума)
Частичное или полное перекрытие проезжей части (тоннели, шумозащитные галереи)	существенное, а в случае тоннелей, полное снижение шума
Строительство шумозащитных экранов	до 18 дБ*А*
Строительство малошумных покрытий по сравнению с плотными асфальтобетонами	до 3 дБ*А*
Создание в населенных пунктах зон с ограничением скорости движения транспортного потока	до 2 дБ*А*
Замена светофорного регулирования пересечений на кольцевые пересечения	до 4 дБ*А*
Запрещение движения грузовых автомобилей в ночное время	до 7 дБ*А* (в зависимости от состава транспортного потока и скорости движения)
«Успокоение» движения транспортного потока	до 4 дБ*А*
Ограничение скорости движения в комбинации с запрещением подачи звукового сигнала	1 - 4 дБ*А*

В «Методических рекомендациях» сформулированы общие требования, предъявляемые к шумозащитным сооружениям на автомобильных дорогах, которые должны:

- обеспечивать снижение уровней транспортного шума, проникающего на территорию прилегающей жилой застройки, до допустимых значений, регламентируемых санитарными нормами; либо в противном случае обеспечивать их максимально возможное снижение;
- иметь оптимальную строительную стоимость;

- обеспечивать безопасность дорожного движения (не допускать ограничения видимости и не создавать ситуаций, которые могут привести к возникновению дорожно-транспортных происшествий и увеличению их тяжести);
- не создавать препятствий для оказания помощи и эвакуации пострадавших при дорожно-транспортных происшествиях, а также для доступа работников дорожной полиции;
- не нарушать систему водоотвода с проезжей части;
- допускать подход населения к остановкам общественного транспорта и наземным пешеходным переходам;
- быть долговечными, т.е. быть устойчивыми к саморазрушению, к коррозии материалов, к атмосферным воздействиям, к вредному влиянию выхлопных газов и антигололедных реагентов;
- быть удобными и безопасными в эксплуатации (при производстве работ по ремонту сооружения, при очистке дороги от снега);
- быть пожаробезопасными и защищенными от вандализма;
- занимать, по возможности, меньшую ширину полосы отвода;
- не способствовать снегозаносимости проезжей части автомобильных дорог;
- конструкции составных элементов шумозащитных экранов должны обеспечивать плотное их примыкание друг к другу для создания акустически непрозрачного сооружения;
- не иметь щелей и отверстий между низом экрана и земным полотном или фундаментом экрана;
- отвечать эстетическим требованиям, удачно вписываться в ландшафт и не препятствовать обзору едущими окружающей местности;
- быть рассчитаны на устойчивость к снеговым, ветровым и сейсмическим нагрузкам.
- Для упрощения выбора типа сооружения в «Методических рекомендациях» разработана их классификация, согласно приведенным в табл. 3 критериям.

С целью повышения акустической эффективности шумозащитных экранов в «Методических рекомендациях» предложены конструкции с устройством выносной консоли или искривлением верхней части экрана в сторону автомобильной дороги, способствующие повышению акустической эффективности экрана. Подобные решения улучшают также условия видимости и упрощают условия эксплуатации автомобильной дороги и сооружения.

В «Методических рекомендациях» особое внимание уделяется вопросам проектирования шумозащитных грунтовых валов, предлагаются разработанные решения специальных шумозащитных выемок, а также рекомендации, посвященные эстетическим аспектам проектирования шумозащитных сооружений, рассматривается общий подход к экономической оценке устройства шумозащитных сооружений на автомобильных дорогах.

Таблица 3

Классификация шумозащитных сооружений

Критерий	Тип сооружения
Этап проектирования дороги	– сооружения на вновь проектируемой дороге; – сооружения на реконструируемом (с увеличением ширины полосы отвода) участке дороге; – сооружения на существующем участке дороги в пределах существующей полосы отвода
Тип сооружения	– шумозащитные валы; – шумозащитные экраны; – полосы зеленых насаждений; – шумозащитные выемки; – подпорные стенки (со стороны внешнего откоса выемки); – сооружения частично или полностью закрывающие проезжую часть (галереи, тоннели мелкого заложения); – экранирующие здания и постройки; – комбинированные сооружения, представляющие всевозможные комбинации вышеуказанных решений, например, комбинация шумозащитный вал + экран-стенка или выемка+ шумозащитный вал и др.
Акустические свойства	– сооружения в основном отражающие звук; – сооружения частично отражающие, частично поглощающие звук
Высота	– экраны малой высоты – до 2 м; – экраны средней высоты 2 – 6 м; – высокие экраны – высотой более 6 м
Материал	– грунт, грунтовые валы; – сборный и монолитный бетон (железобетон); – блоки искусственные и естественные из камня, габионы; – кирпич; – пластмасса (поликарбонат , акрил и т.п.); – древесина; – фанера; – металл (стальной или алюминиевый лист); – экраны с поверхностью из абсорбирующих материалов (например, абсорбирующие комбинированные панели из пленки полиэстера на металлическом листе)

Критерий	Тип сооружения
Положение сооружений в поперечном профиле	– на земляном полотне дороги в непосредственной близости от проезжей части; – вне земляного полотна дороги, но расположенные в непосредственной близости от земляного полотна дороги, например, у внешнего откоса выемки; – вне земляного полотна дороги, расположенные около защищаемого объекта или защищаемой территории; – подпорные стенки из местных строительных материалов при устройстве выемок с крутыми внешними откосами при новом проектировании и в случае реконструкции дорог без увеличения ширины полосы отвода
Характер застройки защищаемой территории	– экраны, защищающие территории свободные от близко расположенной застройки (отношение расстояния до застройки r к высоте сооружения h более 20); – экраны на участках односторонней жилой застройки; – экраны в случае двухсторонней жилой застройки
План сооружения	– прямолинейные; – криволинейные; – ступенчатые
Продольный профиль верха сооружения	– параллельные проектной линии проезжей части; – криволинейные, плавно изменяющиеся; – ступенчатые
Конструкция верхней части экрана	– вертикальный экран (традиционное решение); – «Г»-образная верхняя часть экрана (с наклоном козырька в сторону – дороги); – «Т» - образная верхняя часть экрана; – «Y» - образная верхняя часть экрана; – стрелообразная верхняя часть экрана; – цилиндрообразная верхняя часть экрана; – эллипсообразная верхняя часть экрана; – криволинейный экран; – пилообразная верхняя часть экрана
Шумозащитные сооружения, комбинированные с прочими элементами автомобильной дороги	Экраны, расположенные на искусственных сооружениях

При этом рекомендуется обратить внимание на возможное использование для сооружения экранов камня, кирпича и различных местных строительных материалов, что позволило бы снизить стоимость шумозащитных сооружений. Однако отечественная практика строительства шумозащитных сооружений показывает, что в отличие от ведущих европейских

и других стран в РФ за годы применения шумозащитных сооружений не построено ни одного километра экранов из таких материалов, чаще всего применяют дорогостоящие материалы.

Анализ отечественной практики строительства шумозащитных сооружений показывает, что можно встретить как удачные решения шумозащитных сооружений, так и решения, не отвечающие требованиям удобства и безопасности движения, провоцирующие водителей нарушать правила дорожного движения.

Использование при проектировании дорог «Методических рекомендаций» позволит избегать неудачных решений. Применение «Методических рекомендаций» в деятельности проектных и эксплуатационных организаций будет способствовать оптимизации мероприятий по защите от автотранспортного шума, улучшению условий жизни населения, возможному сокращению в ряде случаев строительных и эксплуатационных затрат.

Дальнейшие работы по совершенствованию методического и нормативно-технического обеспечения проектирования шумозащитных мероприятий на автодорогах должны быть направлены на разработку типовых решений конструкций шумозащитных сооружений из различных материалов и на их привязку к конкретным особенностям автомобильных дорогах на тех или иных участках.

Литература

1. Руководство по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума. М.: НИИСФ, 1982.

2. Руководство по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов дорожного хозяйства. М.: Минтранс России, 2001

3. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения. Отраслевой дорожный методический документ. М.: Минтранс России, 2003.

4. ГОСТ 20444-85 Шум. Транспортные потоки. Методы измерений шумовой характеристики.

5. ГОСТ Р 41.51-99. (Правила ЕЭК ООН № 51). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных средств, имеющих не менее четырех колес, в связи с производимым ими шумом.

6. Защита от шума в градостроительстве/ Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др.; Под ред. Г.Л. Осипова. – М.: Стройиздат, 1993 (Справочник проектировщика).

Снижение шума железнодорожного транспорта

Иванов Н.И.[1], *Куклин Д.А.*[1] *Матвеев П.В.*[1]
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова (1)

Введение

Наряду с более высокой безопасностью, железнодорожный транспорт имеет очевидные преимущества перед другими видами с точки зрения воздействия на окружающую среду (ОС):

- высокая эффективность использования энергоресурсов;
- меньшая потребность в занимаемых площадях;
- меньший объем выбросов вредных веществ.

В нашей стране железнодорожный транспорт все чаще становится причиной жалоб населения на повышенный шум. Сегодня повышенный шум входит в «тройку» наиболее вредных экологических факторов, вызывая сердечно-сосудистые заболевания, снижение работоспособности, нервно-психические заболевания и пр. Особенно заметна эта проблема в городах. В Постановлении Правительства Москвы [1] отмечается, что «…в настоящее время почти на всем протяжении железнодорожных линий нарушена 100-метровая ширина зоны санитарного разрыва. Проезд железнодорожного состава обуславливает возрастание уровня шума в среднем на 10-20 дБА над фоновыми значениями шума на прилегающей жилой территории, что вызывает большое количество обращений жителей с жалобами на повышенный шум. В России не существует технических норм, ограничивающих уровень шума, создаваемого поездом. Российские поезда в среднем на 7-10 дБА более шумные, чем европейские модели».

Проблема повышенного акустического воздействия на население от железнодорожного транспорта актуальна не только для Москвы, но и для многих других городов и населенных пунктов страны. Систематической работы в этом направлении у нас в стране пока не проводится, но важность этой проблемы осознается как руководством ОАО «РЖД», так и научным сообществом и местными властями.

1. Воздействие железнодорожного шума на население и нормы шума поездов

Повышенный шум – одна из основных причин жалоб населения на опасные и вредные факторы окружающей среды, поэтому решению этой

проблемы уделяется внимание во всем мире. ЮНЕСКО сформулировало современную шумовую ситуацию в мире так: «Шум – бедствие современного мира и нежелательный продукт его технической цивилизации». Из всех экологических факторов шум – самый массовый. Под его воздействием находится от 50 до 70% населения развитых и развивающихся стран.

Какие источники шума доставляют наибольшее беспокойство населению? Ответ на этот вопрос был получен в Австрии, где был проведен очень представительный опрос населения (таблица 1).

Таблица 1

Основные источники шума, воздействующие на население

Источники шума	**% населения, обеспокоенного повышенным шумом**			
	очень высокая степень беспокойства		**высокая степень беспокойства**	
	День	**Ночь**	**День**	**Ночь**
Транспорт – автомобильный – трамваи – железнодорожные поезда – авиация	84,8 70,5 2,5 6,2 5,6	83,1 66,7 2,1 13,2 1,2	78,3 65,3 2,2 5,7 5,0	76,8 63,0 2,5 9,0 2,3
Предприятия	8,1	5,7	10,2	8,8
Прочие	2,6	5,4	4,5	6,5

Основной источник акустического загрязнения – транспорт (от 75 до 85%), при этом на втором месте находится железнодорожный транспорт. Доля железнодорожного транспорта составляет от 6 до 13%, его вклад возрастает в ночное время почти в 2 раза.

Какие источники транспортного шума оказывают самое беспокоящее действие? На рис. 1 показано беспокоящее действие различных средств транспорта. Из графика видно, что железнодорожный шум вызывает меньшее беспокойство, чем например, шум автодорожный.

Выполненными в Европе исследованиями были установлены важные особенности воздействия железнодорожного шума на население, в отличие, например, от автодорожного:

– шум автодорожный непрерывный, а железнодорожный прерывисто регулярный, что позволяет слуховым рецепторам частично восстанавливаться от акустической нагрузки;
– шум железнодорожного транспорта медленно возрастает и убывает, что также легче воспринимается населением;

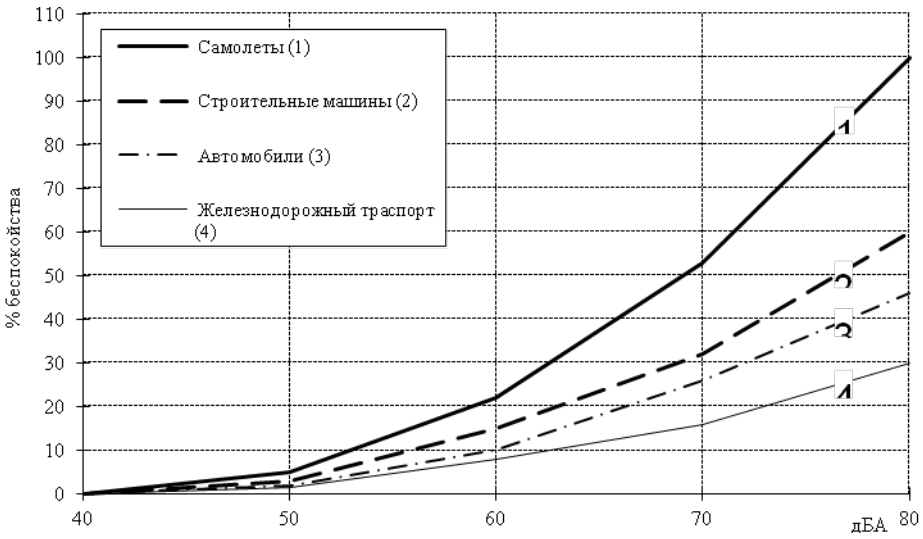


Рис. 1. Связь между беспокоящим действием шума (%) и уровнем звука, дБА

– шумовая нагрузка от железнодорожного транспорта распределена так, что способствует привыканию, в результате чего этот шум воспринимается легче;
– психологически железнодорожный шум с пониманием воспринимается жителями.

Это обстоятельство позволяет ввести в нормы шума железнодорожного транспорта т.н. «бонус», значение которого в разных странах колеблется от 5 до 7 дБА (табл. 2). Обоснованность такого подхода подтверждается опросами населения. Например, 80% жителей Германии, проживающих вблизи железных дорог, высказываются, что они привыкли к железнодорожному шуму.

Таблица 2

Нормы шума для железнодорожного транспорта в странах ЕС

Страны	**Швейцария**	**Германия**	**Нидерланды**	**Италия**	**Австрия**
Бонус	5	5	7	7	5
Норма ($L_{Аэкв}$)*					
–день	55 до 60	59	57	65	60
–ночь	45 до 50	49	47	55	50
Норма ($L_{Амах}$)**					
–день	63 до 68	67	60	–	68
–ночь	53 до 58	57	50	–	58

* $L_{Аэкв}$ – норма эквивалентного уровня звука, дБА

** $L_{Амах}$ – норма максимального уровня звука, дБА

Этот опыт был бы полезен и в нашей стране. Напомним, что принятые в нашей стране санитарно-гигиенические нормы шума [2] не привязаны к источникам шума, который нормируется, например, для помещений жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки в зависимости от назначения помещений и времени суток.

В странах ЕС уже много лет действуют нормы внешнего шума подвижного состава железнодорожного транспорта [3]. Следует отметить, что нормы шума подвижного состава железнодорожного транспорта принимаются для расстояния 7,5 м от оси пути; нормируемая характеристика – уровень звука (УЗ), дБА. Отдельные нормативные значения УЗ приняты для стационарного режима и движения с фиксированными скоростями. Действующие технические нормы шума железнодорожного транспорта для нескольких стран показаны на рис. 2 [3].

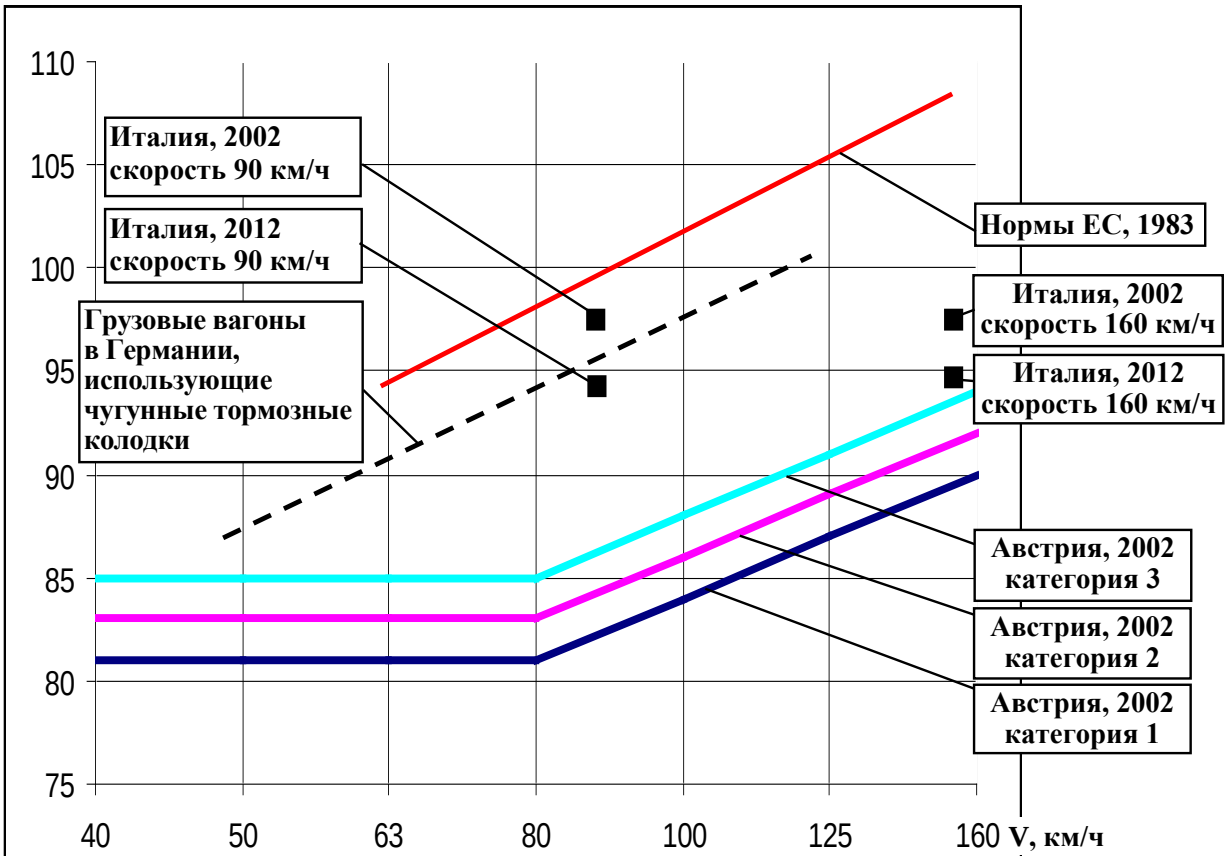


Рис. 2. Нормы шума железнодорожного транспорта в странах ЕС

Наличие специальных норм позволяет эксплуатировать подвижной состав без нареканий со стороны контролирующих органов.

2. Источники шума железнодорожного транспорта

Воздействие шума железнодорожного транспорта на окружающую среду и пассажиров чрезвычайно многообразно. По интенсивности этот шум занимает промежуточное положение между авиационным и автомобильным, но по числу источников шума различного происхождения ему нет равных.

Можно выделить три основных объекта, на которые воздействует шум от железнодорожного транспорта:

1) селитебная зона;

2) пассажиры и обслуживающий персонал на станциях;

3) пассажиры и обслуживающий персонал поездов.

На примагистральных территориях и в селитебной зоне основными источниками шума в окружающей среде являются (таблица 3):

Таблица 3

Источники шума железнодорожного транспорта [4]

Источник шума	**Расстояние, м**	**УЗ, дБА**
Движение поезда по мосту со скоростью 60–80 км/ч	25	80-90
Движение подвижного состава при скоростях 150…200 км/ч	25	85-95
Электровозы	25	75-80
Тепловозы	25	80-95
Путевые машины вибрационного действия, щебнеочистительные машины	25	80-95
Соударение вагонов	30	95-100
Звуковые сигналы локомотивов и электроподвижного состава	25	100-110
Тяговые подстанции	30	45-50
Сортировочные станции	100-150	70-85

Основные источники шума, действующие на людей, находящихся на перронах, в залах ожидания и других помещениях вокзалов, следующие:

– громкоговорящие системы оповещения;

– шум приближающегося (уходящего) поезда;

– шум вспомогательного оборудования (вентиляционные системы, эскалаторы, уборочные машины, кондиционеры, системы отопления и пр.).

Покажем какими акустическими параметрами характеризуются отечественные поезда. В период 2005-2012 г. Балтийский государственный тех-

нический университет «ВОЕНМЕХ» и Научно исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук выполнили измерения акустических характеристик нескольких сотен поездов различных типов. Полученные усредненные характеристики эквивалентных уровней звука (УЗ) поездов приведены на рис. 3. [5].

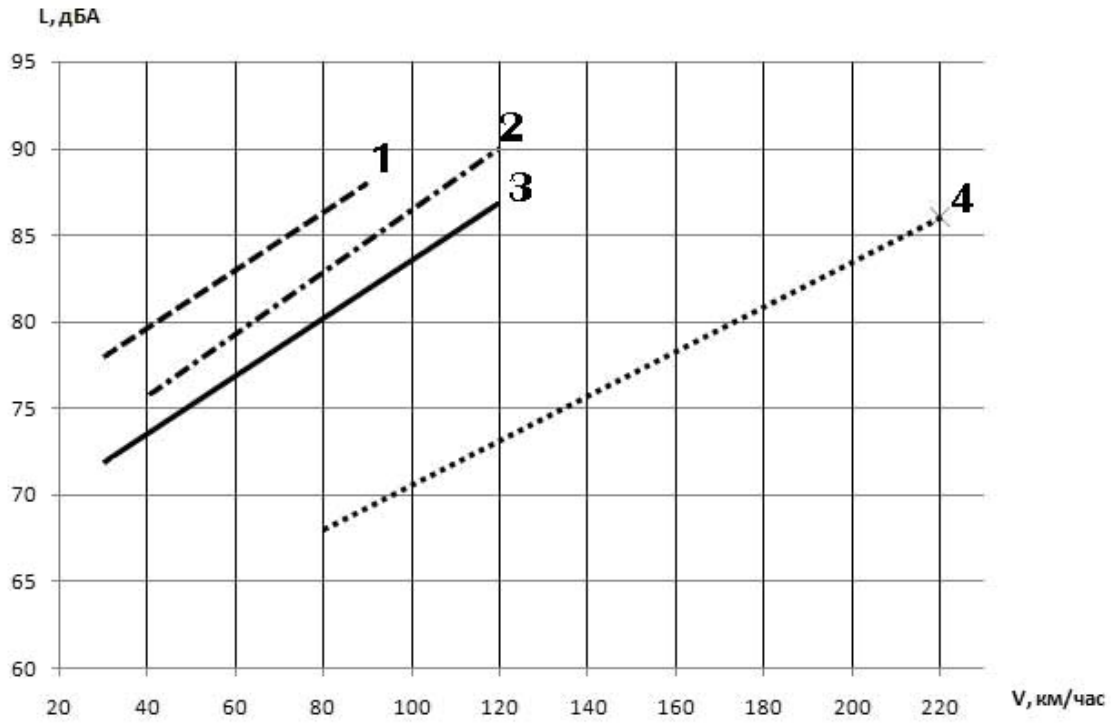


Рис. 3. Зависимость эквивалентных уровней шума различных категорий поездов от скорости
1 – грузовые; 2 – электропоезда; 3 – пассажирские; 4 – высокоскоростные

Шум поездов при различных скоростях находится в пределах, показанных в таблице 4:

Таблица 4

Характеристики шума поездов

Тип поезда	Скорость, км/час	Уровни звука, дБА
Грузовые	30-90	78-88
Электропоезда	40-120	76-90
Пассажирские	40-130	78-88
Высокоскоростные поезда «Сапсан»	100-220	68-86

Шум поезда зависит в основном от его типа и скорости движения. Так, например, на скорости 80 км/час на расстоянии 25 м от оси пути уровень шума грузового поезда составляет 87 дБА, электропоезда – 83 дБА, пассажирского поезда – 80 дБА, высокоскоростного поезда САПСАН – 68 дБА.

Воздействие шума на жителей зависит не только от типа поезда и его скорости, но и от числа пар поездов, а также от расстояния от железнодорожной линии до жилой застройки, подвергающейся акустическому воздействию. Для понимания этого приведем пример связанный с выделением вклада скоростного поезда «Сапсан» на характер акустического загрязнения окружающей среды. Измерения были выполнены на станции Саблино Октябрьской железной дороги (таблица 5).

Таблица 5

Эквивалентные характеристики шума поездов (данные БГТУ «ВОЕНМЕХ»)

Тип поезда	**Число поездов**	**Скорость км/ч**	**Эквивалентный УЗ, дБА за 16 часов**	**Максимальный УЗ, дБА**
Высокоскоростные поезда «Сапсан»	12	175-230	53,6	85,8
Пассажирские	20	67-108	57,2	89,2
Грузовые	6	42-76	61,8	90,4
Электропоезда	21	50-85	59,6	91,5
Суммарный УЗ*, $L_{сумм}$			65,8	

*УЗ – уровень звука, дБА.

Из приведенной таблицы следует, что превышения шума над нормативными значениями в дневное время (55 дБА) составляет немногим более 10 дБА. Разделен и вклад шума поездов: вклад грузовых поездов – 61,8 дБА, пассажирских – 57,2 дБА, скоростного «Сапсан» – 53,6 дБА. По максимальным УЗ, например, грузовые – 90,4 дБА, пассажирские – 89,2 дБА, высокоскоростные – 85,8 дБА. Это показывает, что, например, шум поездов «САПСАН» не вносит заметный добавочный вклад в шумовую экспозицию. [6].

Приведенный пример дан для стандартного расстояния 25 м. Для получения данных о воздействии на население необходима привязка этих цифр к местности, что с наибольшей полнотой позволяет осуществить создание карт шума. В Европейском Союзе основой для создания карт шума является Директива ЕС 2002/49/ЕС. Согласно этой Директиве карты шума должны содержать информацию о существующей или прогнозируемой акустической ситуации, превышении нормативных значений уровня шума,

количестве людей, подвергающихся повышенным уровням шума, а также количестве жилых домов, больниц и школ, расположенных на рассматриваемом участке.

3. Образование и распространение внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом

3.1 Общая характеристика процессов шумообразования

Анализируя процессы шумообразования поездов можно выделить три основные группы:

– шум оборудования;
– шум качения;
– аэродинамический шум.

Интенсивность шума зависит в основном от скорости и в общем виде представлена на рис. 4.

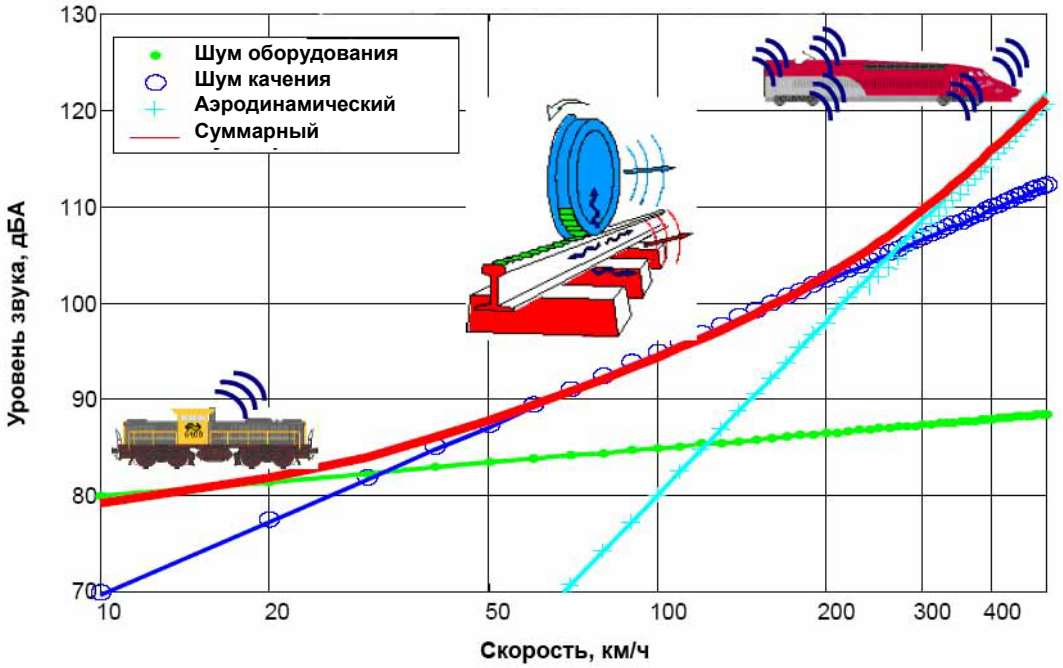


Рис. 4. Зависимость шума железнодорожного поезда от скорости

Шум оборудования (компрессоры, тяговые электродвигатели и др.) превалирует на скоростях до 50-60 км/ч. Шум качения – процесс соударения в системе «колесо – рельс» определяется зависимостью 30lgV (V – скорость движения, км/ч) и превалирует в диапазоне скоростей 60-300 км/час. Аэродинамический шум образованный обтеканием воздухом кор-

пуса подвижного состава, пантографа и др. определяется зависимостью 60lgV и превалирует на скоростях свыше 300 км/ч.

Определенный вклад в процессы шумообразования дают такие процессы как дребезжание корпуса подвижного состава (корпусной шум), «визг» колеса в кривых, звукоизлучение тормозных колодок и колеса при торможении (шум торможения), соударение вагонов (шум сцепки), отражение звука при установке рельсов на плитах, удары на стыках рельсов и др.

3.2 Шум качения

Шум взаимодействия колеса и рельса появляется в результате вибрации, вызванной их взаимодействием. Процесс образования шума качения описывается моделью, созданной Ремингтоном [12]. Графический вид этой модели показан на рис. 5.

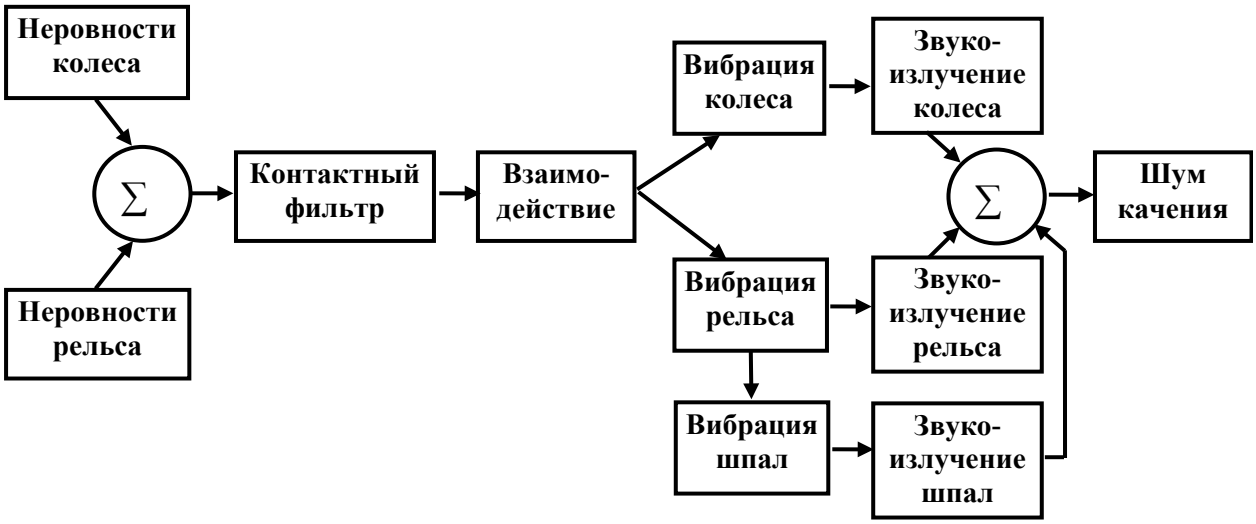


Рис. 5. Модель, описывающая возникновение шума качения

Для рельсов характерен волнообразный износ поверхности катания, характеризуемый периодическими неровностями длиной приблизительно 50-100 мкм и высотой в несколько десятков микрометров в зависимости от степени износа. Величина неровностей в значительной мере влияет на шум качения. На рис. 6 показано, что с увеличением неровностей от 15 до 50 мкм шум качения возрастает на 10 дБ.

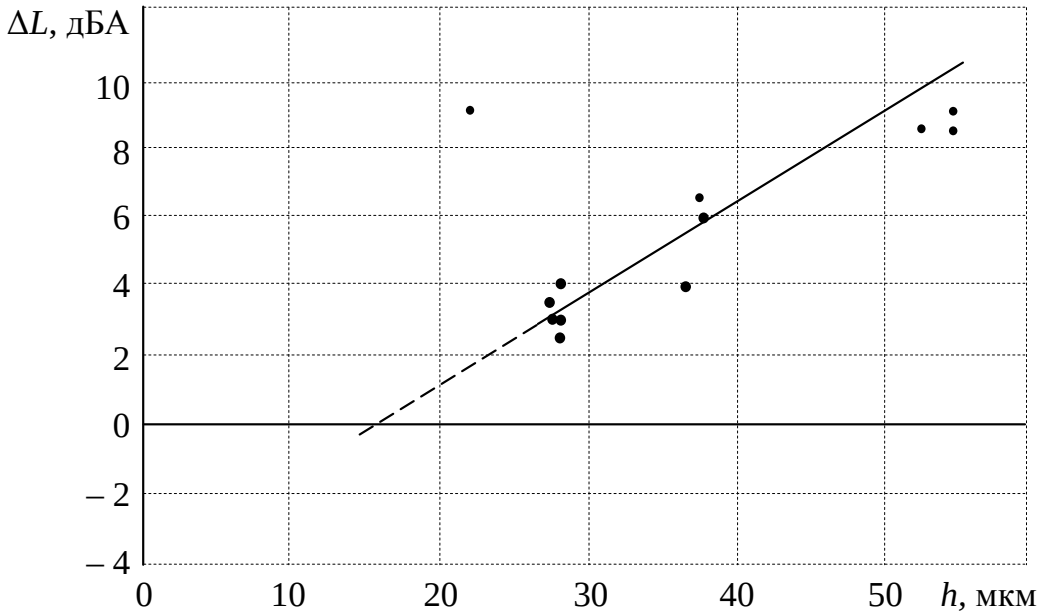


Рис. 6. Зависимость изменения уровня звука, излучаемого пассажирским поездом с дисковыми тормозами, от высоты неровностей поверхности катания рельсов: ΔL — уровень звука; h — высота неровностей рельса

Шум качения также возрастает, если на колесах возникают неровности от торможения, так называемые «ползуны».

На возникающие при контакте возмущающие силы влияют не только неровности, но весовая нагрузка на ось, скорость движения, а также площадь контакта между колесом и рельсом. Эти силы связаны с механическим импедансом как колеса, так и рельса, определяемые их конструкцией. В зоне контакта колеса и рельса возникает своего рода пятно, которое называют контактным. В зоне контактного пятна можно, помимо двух основных тел – колеса и рельса, выделить своего рода третье тело – промежуточный слой, состоящий из смеси оксида железа и продуктов износа колес и рельсов. Смесь этих материалов выполняет роль своеобразной прокладки, снижая возникающие силы и играет роль фильтра. Возникающая при взаимодействии возмущающих сил вибрация возбуждает колесо, рельс, а через последний шпалы. Все взаимодействующие тела излучают звук, который называется шумом качения.

На рис. 7 показан пример рассчитанных по модели Ремингтона спектров шума колеса, рельсов и шпал для пассажирского поезда движущегося со скоростью 160 км/ч. Шум качения имеет ярко выраженный высокочастотный характер. Вклад основных источников в процессы шумообразования по интегральному показателю (уровни звука, дБА) составил:

– рельсы – 98 дБА;
– колеса – 94 дБА;
– шпалы – 87 дБА.

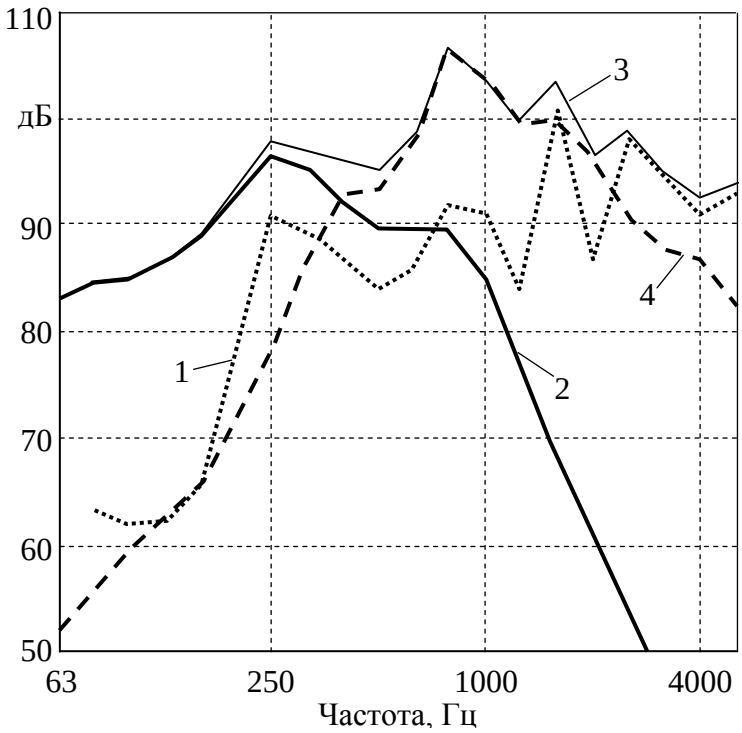


Рис. 7. Пример спектра шума от колес (*1*), рельсов (*2*), шпал (*3*) и суммарного (*4*)

При этом суммарный вклад составил около 100 дБА. В разных диапазонах частот преобладает шум разных компонентов взаимодействующей системы. Шум шпал – низкочастотный диапазон до 400 Гц. В диапазоне частот от 400 до 1600 Гц превалирует шум рельсов, а в частотном диапазоне выше 2000 Гц основным источником становятся колесные диски.

Под скрежетом от подвижного состава при прохождении кривых следует понимать шум, который возникает при прохождении подвижным составом кривых малого радиуса. Этот скрежет обусловлен взаимодействием гребня бандажа колеса с рельсом, где основной шум дает колесо. Этот шум может на 10 и более дБА превышать шум качения от того же состава на прямолинейном участке пути при тех же прочих условиях. Обычно в скрежете преобладают дискретные тона, а частотный состав при прохождении поезда в кривых 500-8000 Гц, т.е. шум имеет ярко выраженный высокочастотный характер [16].

Шум торможения различен для различных видов тормозов. Самые малошумные вагоны, оборудованные дисковыми тормозами. Наиболее шумные – вагоны, оборудованные колодочными тормозами с чугунными колодками. Здесь шум излучается колесом и системой торможения, но дополнительный эффект возникает из-за ползунов, образуемых на поверхности катания колеса. Если шум торможения носит кратковременный характер, то повреждения колеса приводят к увеличению шума качения. Шум поезда с

дисковыми тормозами на 5-10 дБА ниже, чем с колодочными в высокочастотном диапазоне (рис. 8).

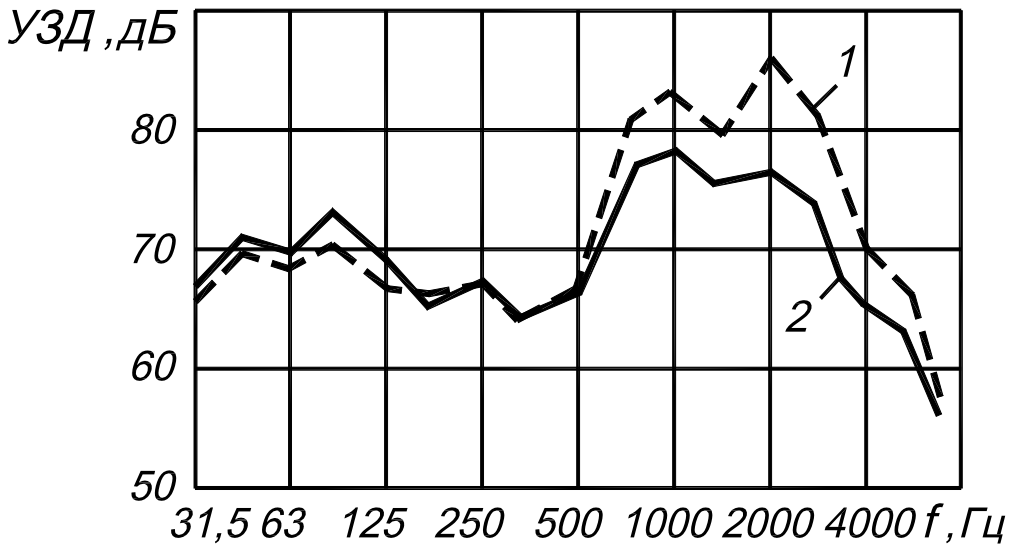


Рис. 8. Спектры шума (1/3) поезда (S = 25 м) при скорости движения 160 км/ч:
1 – вагоны с колодочными тормозами; 2 – вагоны с дисковыми тормозами

3.3 Распространение звука в пространстве

При распространении звука в пространстве от движущегося поезда в близрасположенную застройку происходит снижение уровней звука (УЗ) и уровней звукового давления (УЗД) с расстоянием, обусловленное явлением дивергенции, т.е. расхождения звукового поля во все больший объем пространства. Характер уменьшения УЗ и УЗД с расстоянием от поезда определяется его длиной. Протяженный поезд является источником цилиндрических звуковых волн, характерных для линейных излучателей. Для условно бесконечных линейных источников характерно снижение на 3 дБ (дБА) при каждом удвоении расстояния. Поезд имеет конечные размеры, поэтому указанная закономерность имеет ограничение, т.е. при увеличении расстояния цилиндрическая волна переходит в квазицилиндрическую (снижение 4-5 дБ), а затем в сферическую (снижение 6 дБ), когда поезд представляется точечным источником звука. Данные снижения УЗ от различных поездов с увеличением расстояния при прохождении поезда оп насыпи приведены в таблице 6.

Таблица 6

Снижение шума для различных типов поездов на участке с плоском рельефом

Расстояние, м	Тип поезда	Снижение УЗД, дБ, в полосах со среднегеометрическими частотами Гц									Снижение УЗ, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
25	электропоезд	-1,5	-2,0	-4,0	-6,0	-5,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6
	пассажирский	-2,0	-3,5	-5,0	-6,0	-4,0	-5,0	-5,0	-5,0	-7,0	-5
	скоростной	-3,0	-4,0	-6,0	-6,5	-4,0	-4,5	-5,0	-6,5	-7,5	-5
	грузовой	-2,5	-2,5	-4,5	-5,0	-3,5	-3,5	-4,0	-5,0	-6,0	-4
50	электропоезд	-2,0	-3,0	-5,0	-7,0	-4,0	-6,0	-5,0	-6,0	-6,0	-5
	пассажирский	-2,0	-3,0	-6,0	-7,0	-5,0	-5,0	-5,0	-6,0	-7,5	-5
	скоростной	-3,0	-4,5	-6,0	-7,0	-4,5	-5,0	-6,0	-7,0	-8,0	-6
	грузовой	-2,0	-3,5	-5,0	-5,5	-4,0	-4,0	-5,0	-5,5	-7,0	-4
100	электропоезд	-5,0	-6,0	-6,0	-7,0	-7,0	-2,0	-6,0	-7,0	-9,5	-4
	пассажирский	-2,0	-2,5	-3,0	-7,0	-5,0	-2,0	-4,0	-6,0	-9,0	-3
	скоростной	-2,0	-2,0	-2,5	-6,0	-5,0	-2,5	-4,0	-5,0	-7,0	-4
	грузовой	-3,0	-4,0	-3,0	-7,0	-3,5	-3,0	-3,5	-5,0	-9,0	-1,5

Разница уменьшения УЗ в свободном пространстве, например, для расстояния 100 м может достичь 4 дБА между грузовыми (длинный поезд) и электропоездами (короткий поезд). В существующих расчетных методиках эти особенности не учитываются.

Помимо дивергенции на процессы снижения шума может влиять рельеф местности (насыпи, выемки), зеленые насаждения. Ниже приведены полученные экспериментальные закономерности [17].

На рис. 9 показаны процессы образования звука при прохождении поезда по насыпи.

При прохождении поездов по насыпи кроме геометрического расширения фронта звуковой волны, действуют два противоположных механизма: создание верхней плоскостью насыпи экранирующего эффекта и образование звуковой тени вблизи насыпи и прямое излучение звука без звукопоглощения от источника в точку наблюдения (прямой звук). Это приводит к тому, что суммарное снижение (по сравнению с плоским участком) ока-

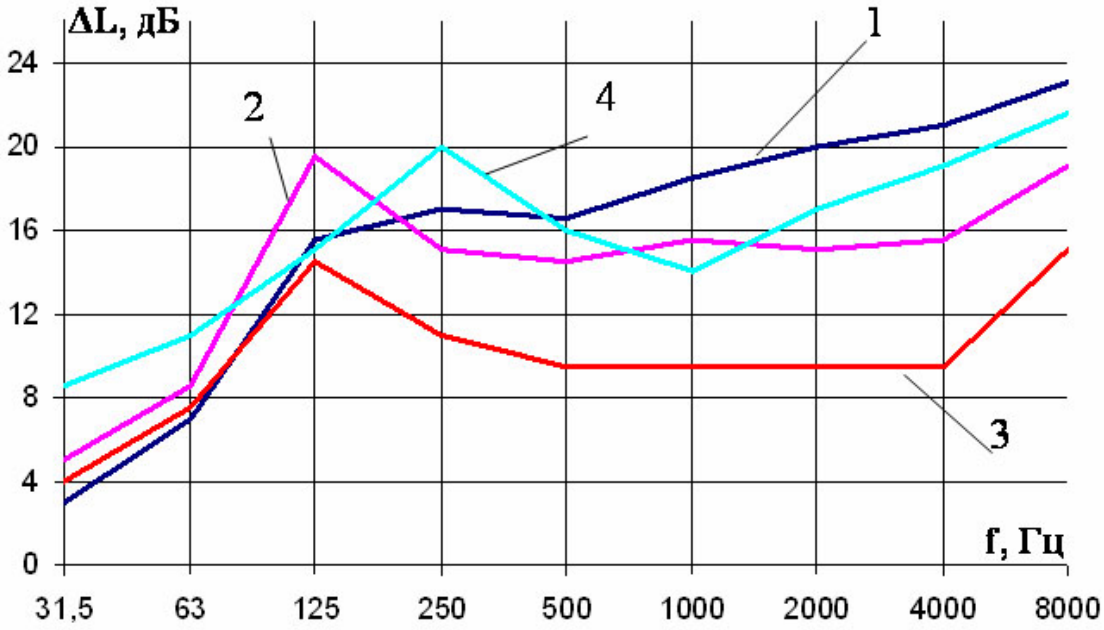


Рис. 9. Последовательное снижение (увеличение) УЗД при прохождении электропоезда по насыпи: 1 – 25м; 2 – 50м; 3 – 100м; для сравнения 4 – снижение УЗД от электропоезда на плоском участке на расстоянии 100 м

зывается меньше на 1-3 дБА. Эти закономерности в методической литературе также не учитываются, поэтому в расчетах должна быть введена поправка на прохождение поездов по насыпи. Таким образом, при прохождении поездов по насыпи суммарное снижение, которое составляет 11-12 дБА оказывается меньше, чем снижение на ровном участке, где последнее составляет для разных поездов 11,5-15 дБА. При нахождении поезда на насыпи увеличивается вклад шума от поезда. Механизм увеличения вклада прямого звука от линейного протяжённого источника (край насыпи становится вторичным излучением) объясняется отсутствием затухания звука на подстилающей поверхности. На определённых расстояниях вклад прямого звука может преобладать над вкладом звука проходящего по поверхности, что ведёт к увеличению звука в этих точках.

На рис. 10 показан эффект снижения шума выемкой: на низких частотах (31,5-125 Гц) эффект (по сравнению с плоским участком) составляет 4-5 дБ, в средне-высокочастотном диапазонах (500-4000 Гц) эффект достигает 12-18 Б; дополнительное снижение УЗ (по сравнению с плоским участком) достигает 15дБА.

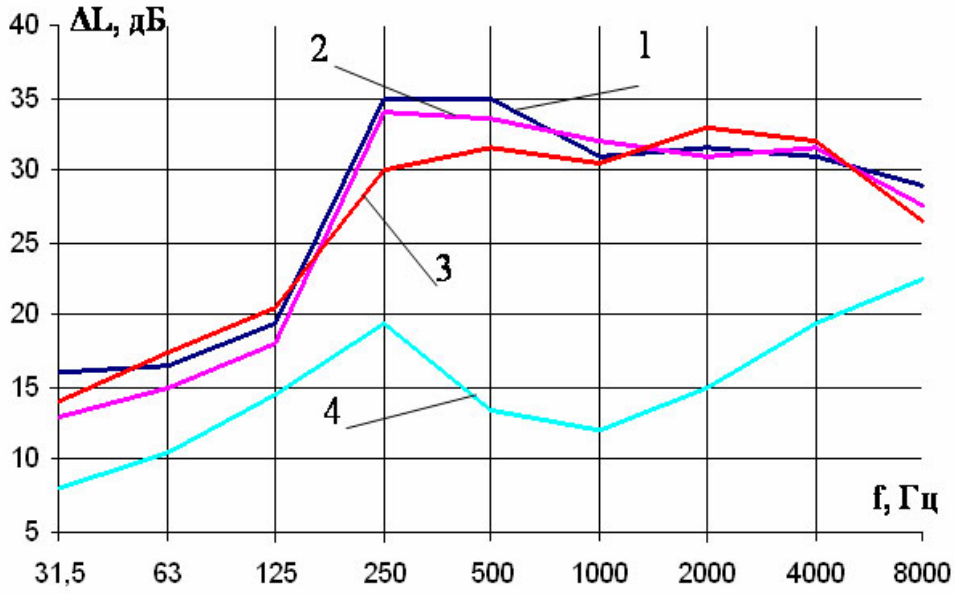


Рис. 10. Суммарное снижение УЗД, дБ, выемкой (с зелеными насаждениями) при увеличении расстояния от 7,5 до 100 м:
1 – электропоезда; 2 – пассажирские; 3 – скоростные; для сравнения: 4 – снижение УЗД на ровном участке при следовании скоростных поездов на расстоянии 100 м

На рис. 11 показано снижение УЗД зелёными насаждениями. Зелёные насаждения глубиной 50 м обеспечивают дополнительное снижение УЗД в диапазоне частот 31,5-2000 Гц на 2-5 дБ, на частотах 4000-8000 Гц на 8-12 дБ. Снижение УЗ достигает 5дБА, что значительно меньше, чем приводимые в литературе значения.

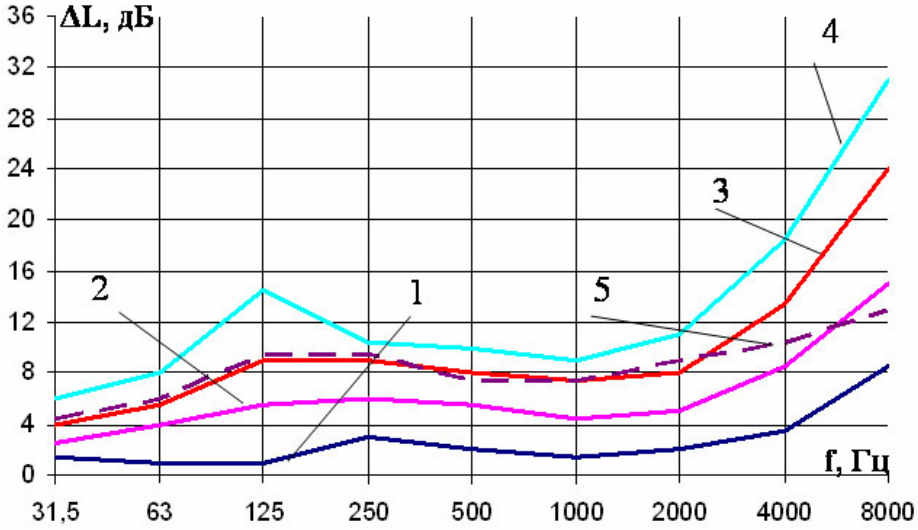


Рис. 11. Последовательное снижение УЗД в лесу с густым подлеском на примере грузовых составов на расстояниях: 1 – 7,5м; 2 – 15м; 3 – 25м; 4 – 50м; для сравнения 5 – снижение УЗД на плоском участке

4. Снижение шума железнодорожного транспорта

4.1 Основные методы и средства снижения шума поездов

Снижение шума осуществляется по следующим основным направлениям, показанным на рис. 12, а также в объекте защиты.

Рис. 12. Основные методы и средства снижения шума

Снижение шума в объекте защиты (защищаемом от шума здании) достигается конструктивно-строительными методами, обеспечивающими повышение звукоизоляции наружных конструкций зданий, например, установкой звукоизолирующего остекления оконных проемов.

Чтобы понять в какой степени та или иная мера уменьшает шум на территории жилой застройки, следует понимать, что соотношение вкладов во внешнее звуковое поле пути и колеса характеризуется соотношением в % – 70:30. Учитывая законы энергетического сложения источников, общее снижение определяется вкладом рельса и в меньшей степени колеса. При разнице двух источников 10 и более дБА вклад меньшего можно не учиты-

вать, при разнице 6 дБА суммарный вклад на 1 дБА больше чем вклад одного наиболее интенсивного источника, а при одинаковых уровнях источников суммарный уровень звука всего на 3 дБА больше одного из них.

В таблице 9 приведены ориентировочные значения снижения шума в источнике и на пути распространения. Так, например, вибродемпфированием колеса его шум может быть снижен на 5-10 дБА, а внешний шум поезда снижается всего на 1-2 дБА. С другой стороны при вибродемпфировании рельса его шум может быть снижен более чем на 4 дБА, а снижение внешнего шума поезда при этом составит до 3 дБА. Комбинация «тихого» колеса (–10 дбА) и рельса (–4 дБА) дает снижение внешнего шума поезда более чем на 5 дБА.

Таблица 9

Меры и конструкции снижения шума поездов

Место или способ снижения шума	**Меры и конструкции снижения шума**	**Величина снижения шума, дБА**		**Общее снижение, дБА**
		колесо	**рельс**	
Снижение возмущающих сил	1. Дисковые тормоза	-4	-7	-6
	2. Шлифование рельса	-6	-10	-9
	3. Замена чугунных колодок композитными	-6	-9	-8
	4. Бесстыковой путь	-2÷3	-2÷3	-2
Снижение шума колеса	1. Виброшлифование колеса	-5÷10	0	-1÷2
	2. Изменение формы и снижение размера колеса	-8	0	-1
Снижение шума рельса	1. Виброшлифование шейки рельса	0	-3÷4	-3
	2. Звукоизоляция шейки рельса	0	-2÷3	-2
	3. Прокладка под рельс	0	-1÷2	-1
Снижение шума на пути распространения	1. Установка юбок на тележки в районе колеса	-3÷6	0	-2
	2. АЭ вблизи головки рельса	0	-4÷6	-3÷5
	3. АЭ со звукопоглощением на расстоянии 3-5 м:	–	–	6÷8
	-2м	–	–	9÷11
	-3м	–	–	12÷15
	-4м	–	–	10÷12
	4. Насыпь 3-4 м	–	–	12÷20
	5. Выемка 10-15 м			
Комбинации	1. Тихое колесо и рельс	-10	-4	-5
	2. Снижение неровностей, тихое колесо и рельс	-18	-10	-11

В настоящее время эффективность мер по снижению шума на пути распространения (установка АЭ) в среднем составляет 10-15 дБА, что в 2-3 раза больше чем эффективность мер снижения шума в источнике образования (вибродемпфирование или звукоизоляция шейки рельса и др).

4.2 Снижение шума в источнике образования

4.2.1 Подвижной состав

Тормозная система. Основной недостаток тормозных систем – применение чугунных колодок, которые создают неравномерную поверхность катания колеса – ползуны. Основное направление снижения шума тормозных систем – ликвидация этой причины шумообразования путем ликвидации чугунных колодок и создания гладкой поверхности катания. Два основных направления решения этой проблемы:

– замена колодочных тормозов дисковыми;

– замена чугунных колодок композитными или металлокерамическими.

Замена колодочных тормозов дисковыми на пассажирских вагонах обеспечивает снижение шума, излучаемого колесом и системой торможения на 8-9 дБА.

Для грузовых вагонов применение дисковых тормозов невозможно. Для снижения шума идут по пути замены тормозных колодок из чугуна колодками из композитных материалов или металлокерамическими [25].

Эти колодки при торможении создают меньше неровностей на колесе. При создании новых типов колодок необходимо соблюдать следующие условия:

– должно быть приблизительное равенство коэффициентов трения заменяющих и заменяемых тормозных колодок;

– расходы при эксплуатации новых типов колодок не должны превышать расходы на чугунные колодки.

Для замены чугунных колодок были разработаны два вида колодок:

– типа К – из композитных материалов с увеличенным коэффициентом трения, предназначенные для нового подвижного состава;

– типа LL – из металлокерамического материала с таким же коэффициентом трения, как у чугунных колодок, для замены тормозных систем на эксплуатируемом подвижном составе, что позволяет обеспечит крупномасштабную замену чугунных колодок без существенного изменения в конструкции грузовых вагонов.

Испытания грузовых вагонов с новыми типами колодок показали, что шум качения может быть максимально снижен на величину до 8 дБА. При этом отмечается, что тормозные системы с К-блоками уменьшают шум на

5-6 дБА, а LL-блоками до 7-8 дБА. На рис. 13 приведены уровни шума грузовых вагонов с различными типами тормозных систем.

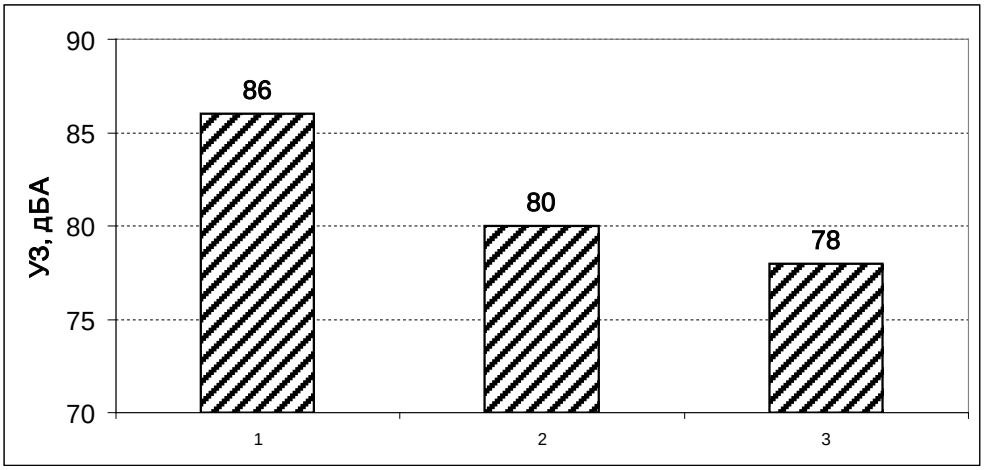


Рис. 13. Уровни звука грузовых вагонов, оборудованных различными тормозными системами на расстоянии 25 м и скорости 100 км/ч
1 – колодочные тормоза (чугунные колодки), 2 – колодочные тормоза (композитные колодки), 3 – дисковые тормоза

Колесо. Основные меры направлены на снижение звукоизолирующей способности колеса, которая достигается [26]:

– изменением формы колеса;

– снижением площади звукоизлучения за счет введения дополнительных отверстий в ступицу колеса (акустическое короткое замыкание);

– звукоизоляцией колеса;

– вибродемпфированием колеса, установкой абсорберов;

– подрессориванием колеса (прерывание пути распространения вибрации по колесу).

На рис. 14 изображено малошумное колесо, в котором применено несколько элементов шумозащиты: гладкая поверхность катания, звукоизоляция и вибродемпфирование, отверстия в диске и др.

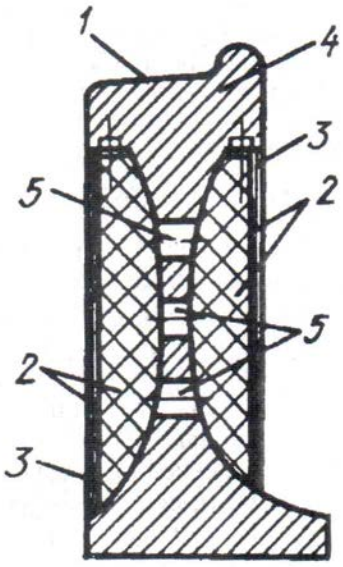


Рис. 14. Схема малошумного колеса
1 – гладкая поверхность катания, эффективность до 10 дБА; 2 – экранирование абсорбером и звукоизоляция, эффективность до 5 дБА; 3 – колесный абсорбер, эффективность до 8 дБА; 4 – оптимизированная по шуму форма колеса, эффективность до 6 дБА; 5 – отверстия в диске, эффективность до 3 дБА.

4.2.2 Железнодорожный путь

Шлифование рельсов. С помощью шлифования поверхности рельсов устраняются неровности в виде волнообразного износа, влияющие на интенсивность шума качения. На железных дорогах ЕС применяется комбинированный метод акустического шлифования, представляющий собой сочетание фрезерования, строгания и колебательно-статического шлифования [27]. Обработка рельсов, как правило, носит превентивный характер и ее необходимость определяется техническим состоянием рельсов (главным образом, высотой неровностей) и излучаемым шумом. Решение о проведении акустического шлифования принимается, если внешний шум от поездов превышает 70 дБА днем и 60 дБА ночью. Как правило периодичность повторного шлифования рельсов составляет не более 12 месяцев, а средняя величина снимаемого слоя 0,3 мм.

Превентивная обработка рельсов позволяет предотвращать усталостные явления на поверхности катания. Измерения до и после обработки рельсов показывают, что снижение шума после акустического шлифования достигает не менее 10-12 дБА.

Звукоизоляция, вибродемпфирование и виброизоляция рельса. Снижение звукоизлучения рельса достигается установкой вибродемпфи-

рующих накладок на шейку рельса [28], средством ближней звукоизоляции является акустический экран устанавливаемый там же [29]. Виброизоляция рельса достигается установкой прокладок под рельс.

На рис. 15 показана конструкция вибродемпфирующей резиновой накладки на рельс (резиновый профиль). В конструкции предусмотрено специальное крепление накладки к рельсу; резина имеет специальный состав(тяжелая резина).

Рис. 15. Вибродемпфирующая резиновая накладка на шейку рельса

На рис. 16 приведены спектры уровней звукового давления до и после установки накладок. Достигнуто снижение на 2-8 дБ в средне- высокочастотном диапазонах (4 дБА).

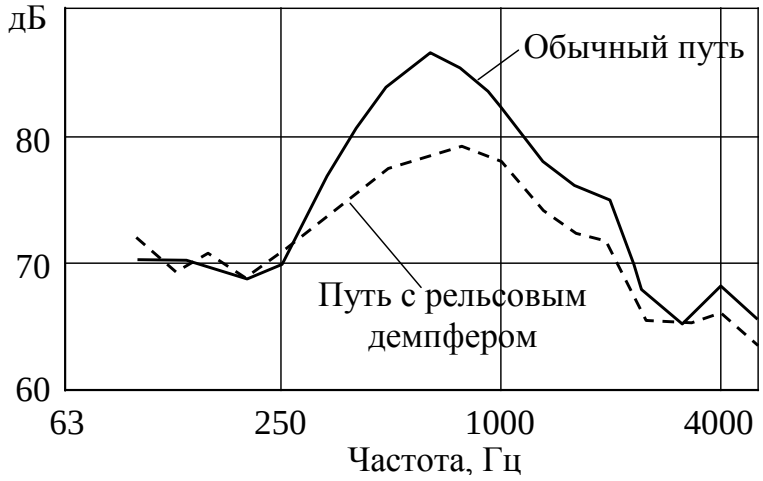


Рис. 16. Измеренное снижение УЗД на пути типа Silent Track с рельсовыми демпферами при проходе малошумного колеса со скоростью 100 км/ч

На рис. 17 показана конструкция звукоизолирующего экрана на шейке рельса (система «Calm Rail»). Эта мера направлена на снижение передачи излучаемого шейкой рельса шума. На стальной профиль наносится изнутри вибродемпфирующее покрытие и звукопоглощающий материал. Снижение уровней звукового давления в диапазонах частот 125-1000 Гц составляет 4-11 дБ (до 4 дБА) [29].

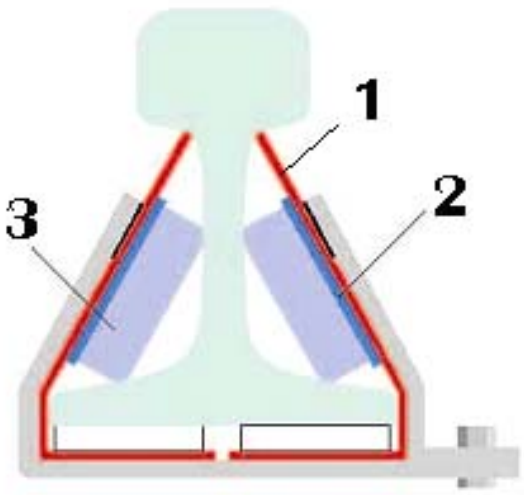


Рис. 17. Звукоизолирующий экран на шейке рельса: 1 – стальной профиль; 2 – вибродемпфирующее покрытие профиля; 3 – звукопоглощающий материал

Применение мягких прокладок под рельс взамен жестких незначительно (на 1 дБА) уменьшает излучаемый шум качения. Применение безбалластного пути (путь на плитном основании) увеличивает шум за счет отражения звука. Применением звукопоглощающих матов отраженный звук может быть снижен на 3-4 дБА.

4.3 Снижение шума на пути распространения

Основным средством снижения шума на пути распространения являются акустические экраны (АЭ). АЭ – звукоизолирующая конструкция. Основной принцип и назначение АЭ – отражение звука. Часть звука отражается от АЭ, но часть проходит за АЭ за счет явления дифракции, т.е. огибании звуком АЭ на свободных ребрах.

Универсальным показателем эффективности АЭ является угол дифракции, образованный лучом от источника шума к свободному ребру

(вершине АЭ и лучом между вершиной АЭ и точкой наблюдения (расчетной точкой). Угол дифракции АЭ показан на рис. 18.

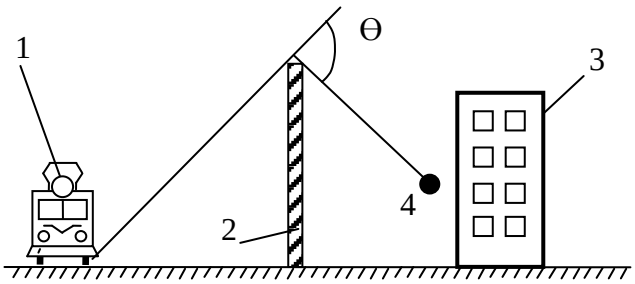


Рис. 18. Угол дифракции АЭ (θ):
1 – источник шума, 2 – АЭ, 3 – защищаемый объект, 4 – расчетная точка

Чем выше (и длиннее АЭ), тем меньше доля дифрагированной энергии и больше акустическая эффективность АЭ [30]. В то же время угол дифракции может возрастать при приближении АЭ к источнику шума. При близком расположении АЭ его высота может быть снижена (малые АЭ). По принципу действия АЭ делится на отражающие, (только отражают звук, например, АЭ из бетона) и отражающе-поглощающие (например, со звукопоглощающим материалом). Схематично панели таких экранов показаны на рис. 19.

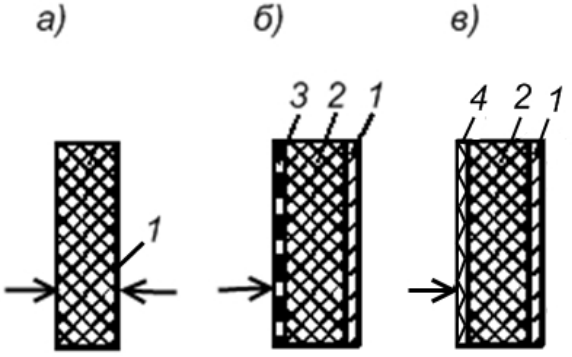


Рис. 19. Схемы панелей отражающего (а) и отражающе-поглощающего (б, в) АЭ:
1 – твердый звукоизолирующий слой, 2 – мягкий звукопоглощающий материал (ЗПМ), 3 – перфорированный лист, 4 – звукопроницаемая сетка,
→ - направление движения звука к АЭ.

АЭ второго типа более эффективны для снижения шума поездов, так как предотвращают многократное отражение звука (АЭ – стенки вагонов).

01.03.2013 введены в действие следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 54931. «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования» [31];

ГОСТ Р 54932. «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля» [32].

Данные испытаний экранов созданных с учетом требований вышеуказанных нормативных документов приведены в таблице 11.

Таблица 11

Снижение шума АЭ

Наличие АЭ	**Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.**									**Эквивалентные уровни звука, дБА**
	31,5	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	
До установки АЭ	70	73	67	62	70	61	59	54	43	68
После установки АЭ	68	70	62	55	53	45	42	33	22	53
Допустимые уровни шума в дневное время СН 2.2.4/2.1.8.562-96	**90**	**75**	**66**	**59**	**54**	**50**	**47**	**45**	**44**	**55**

Такие экраны снижают шум на 14-15 дБА и обеспечивают снижение шума в близрасположенной жилой застройке до требований норм.

Следует несколько слов сказать о малых АЭ максимально приближенных к головке рельса (например, на концах шпал). Такие АЭ высотой до 1 м обеспечивают снижение шума до 5-6 дБА. Интересен опыт Германии, где применены керамзитовые блоки, укладываемые с внешней стороны высотой до 0,5 м. Блоки установлены на 80 км пути участка Ганновер-Берлин. Их эффективность составила более 3 дБА. В нашей стране применяется новая технология «Durisol», блоки из этих материалов обладают высоким звукопоглощением, поэтому эффективность этой недорогой конструкции может составить не менее 4-5 дБА.

На Британских железных дорогах установка малых АЭ сочетается с установкой фартуков-экранов на тележках , что снижает шум до 8 дБА.

Проектирование АЭ для железнодорожного транспорта в РФ осуществляет специализированное конструкторское бюро ООО «Институт акустических конструкций» при кафедре «Экология и БЖД» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

5 Борьба с шумом на железных дорогах ЕС

В ЕС уделяется большое внимание борьбе с шумом, в том числе, с железнодорожным. Так в 1974 г. в Германии был принят «Закон о защите от шумового загрязнения окружающей среды», в разделе 38 которого определены нормы шума железнодорожного транспорта.

Проблема защиты населения от шума в ЕС достаточно остра: в 2002 г. была принята Директива Парламента (2002/49/ЕС), согласно которой предусматривается разработка карт шума городов, автомобильных и железных дорог, а также разработка планов действий для главных железнодорожных направлений и густонаселенных территорий.

В развитие этой директивы различными органами ЕС и Правительствами разрабатываются меры по борьбе с шумом. Ниже изложены основные положения сообщения Комиссии ЕС Европейскому парламенту и Совету «Шумозащитные мероприятия при существующем парке железнодорожного транспорта», подготовленные в 2008 г.

Комиссия отмечает, что на установку шумозащитных экранов в Европе ежегодно инвестируется до € 200 млн. Эти сооружения являются абсолютно действенным элементом программы по защите от шума. В докладе эти меры названы традиционными.

Наряду с этим, усилия должны быть направлены на основную причину шума – взаимодействие колеса с рельсом. Чтобы подойти вплотную к решению этой проблемы, Комиссия ЕС приняла в 2005 г. техническую спецификацию по совместимости (TSI) «Шум от трансъевропейской железной дороги». Были приняты нормы шума для новых и модернизированных, в том числе, грузовых вагонов, которые должны быть оборудованы малошумной тормозной системой. Цель сообщества снизить внешний шум вагонов путем их модернизации в части установки малошумных тормозов. Основная идея – замена чугунных тормозных колодок – композитными, так как первые являются основной причиной появления неровностей и шероховатостей на колесах и на рельсах.

Всего модернизации подлежат около 370 000 вагонов. Необходимые инвестиции на переоснащение вагонного парка составляет около € 2,5-3,0 млрд. до 2025 года. Главная цель модернизации – снижение наполовину шума от грузовых составов, а это уменьшит вредное воздействие шума на 16 млн. человек, проживающих в ЕС.

При этом следует понимать, что эффективность уменьшения воздействия шума на население зависит от числа вагонов, оборудованных новой системой (рис. 20). Так при доле переоборудованных вагонов 50% снижение не превышает 1 дБА, только при доле 80% это значение станет ощутимым (4 дБА).

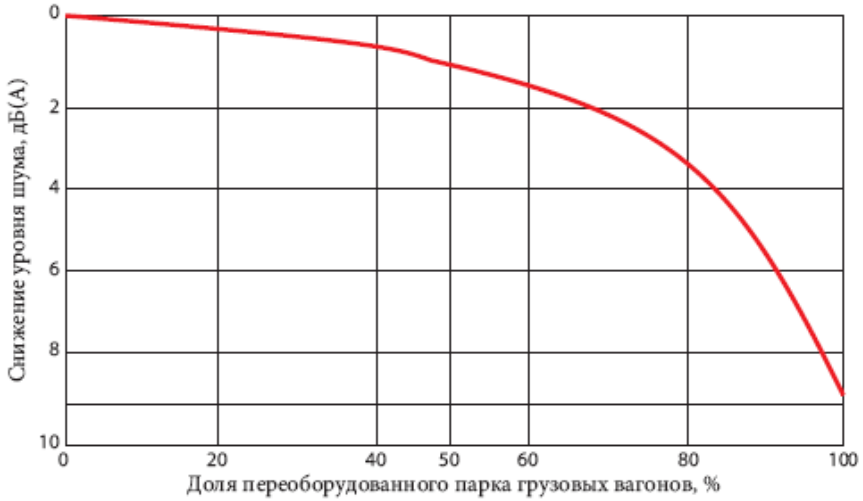


Рис. 20. Снижение уровня шума при замене на грузовых вагонах чугунных тормозных колодок композиционными

Источник финансирования – комбинация тарифных сборов, зависящих от уровня шума вагона. В докладе подробно описан механизм сборов за повышенный шум. Эта система напоминает широко применяемую во всем мире систему сборов за повышенный шум пассажирских самолетов в аэропортах.

Должно осуществляться наблюдение за модернизацией с привлечением данных карт шума, а также наблюдение группами экспертов.

Только указанными мерами комиссия решение проблемы не ограничивает, дополняя их:

– акустическим шлифованием рельсов и обработкой поверхности катания колес («гладкие колеса на гладких рельсах»);
– прочими технологиями по снижению шума, которые уже применяются странами ЕС.

В числе этих технологий и конструкций:

– малые экраны максимально приближенные к головке рельса;
– покрытие рельсов смазкой;
– вибродемпфирование или звукоизоляция шейки рельса;
– установка низких экранирующих шум фартуков в районе тележек на подвижном составе.

Эти меры получили название LNT (Low Noise Train).

Другой авторитетный орган – Европейский консультативный Совет по железнодорожному транспорту (ERRAC) несколько ранее (около 10 лет назад) постановил к 2020 г. снизить шум грузовых вагонов на 20 дБА, скоростных поездов на 5 дБА в источнике шума путем:

– замены чугунных колодок композитными;
– использованием рельсошлифовальных технологий;

– применением колес с пониженным шумом;
– снижением шума в кривых;
– укладкой малошумного пути.

На рис. 21 показана суммарная эффективность таких мероприятий, достигающая 15-20 дБ в средне-высокочастотном диапазонах.

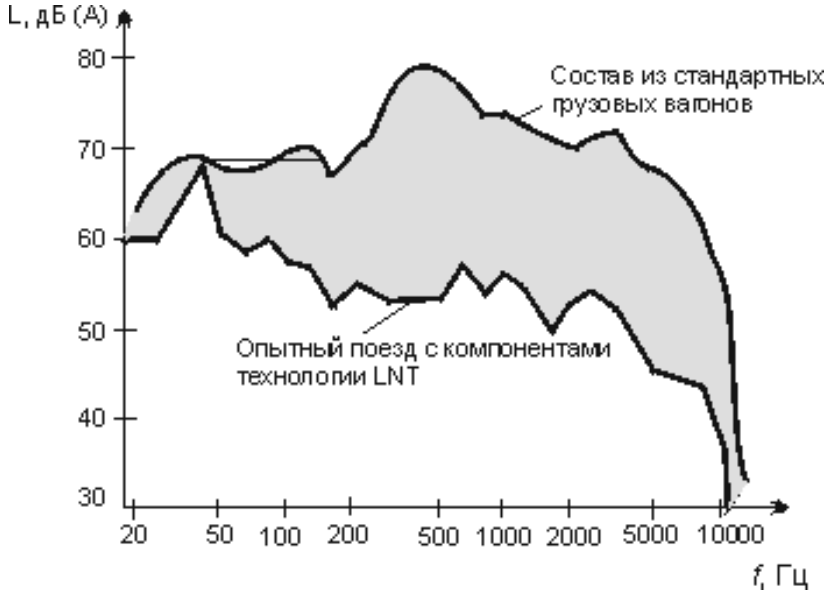


Рис. 21. Сравнение спектров шума, излучаемых обычным грузовым поездом и опытным с компонентами технологии LNT

Чтобы понять, как выглядят расходы на шумозащиту в Западной Европе в целом, обратимся к цифрам. В таблице 12 приведены сведения о длине железнодорожной сети по странам и требуемом снижении шума в км. по результатам обследований и анализа карт шума. Обобщенно: из 101 тыс. км. железных дорог шумозащита необходима на протяжении 11 тыс. км, т.е. 10%.

Таблица 12

Длина железнодорожных линий и длина железных дорог ЕС, требующих снижения шума

Страна, железная дорога	Требуемое снижение, км	Всего длина, км
ОВ, Германия	4121	38450
FS, Италия	1557	16031
NS, Нидерланды	600	3000
OsBB, Австрия	480	5627
SBB, Швейцария	576	2939
SNCB, Бельгия	330	3422
SNCF, Франция	3310	31821
Итого:	10974	101290

Например, установка АЭ высотой 4 м на 11 тысяч км. ~ 80 € млрд., вибродемпфирование рельсов ~ 20 € млрд., отдельные сочетания шумозащиты от 5 до 60 € млрд.

Реализация этих рекомендаций осуществляется с помощью специальных программ, принимаемых Правительствами стран ЕС, составлением кадастра шумовых нагрузок. Результаты представляются на картах шума масштабом 1:25000 или 1:10000.

В различных источниках приводятся цифры по масштабам применения традиционных методов защиты от шума на железнодорожном транспорте. Например, в Германии в начале 2000-х гг. в год устанавливалось до 115 км акустических экранов, 25 000 квартир оборудовали звукоизолирующими окнами (только за счет железных дорог, не считая расходов муниципалитетов), в Италии всего установлено около 800 км АЭ.

Чтобы понять о каких цифрах снижения шума идет речь на ближайшую перспективу и как выглядят различные виды транспорта, обратимся еще к одному официальному документу. Согласно научно-исследовательской программе Федеративного Правительства Германии на ближайшую перспективу предусмотрено снижение шума:

– автомобильного транспорта на 10 дБА;
– авиационного транспорта на 12 дБА;
– железнодорожного транспорта на 15 дБА.

Относительно большие требования к железнодорожному транспорту, на наш взгляд, это не столь уверенность в его большей вредности, а существенно большими резервами, которыми обладает железнодорожный транспорт в области снижения шума. Ведь продуманная политика в этой области на железнодорожном транспорте в ЕС на 15-20 лет моложе, чем, например, в авиации.

Литература

1. О концепции снижения уровней шума и вибрации в городе Москве. Постановление Правительства Москвы, 16 октября 2007 г., №896-ПП.
2. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, Минздрав России, Москва 1997.
3. Interoperability of the Trans-European high-speed rail system – Directive 96/48/EC

– Technical specification for interoperability (TSI) relating to high-speed rolling stock – Commission Decision 2002/735/EC;
– Technical specification for interoperability (TSI) relating to high-speed railway infrastructures – Commission Decision 2002/732/EC.

4. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник,– М.: Логос, 2010, – 424 с.
5. Куклин Д.А. Расчет шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта. Специальном выпуск "ELPIT-2012" научного издания «Известия Самарского научного центра РАН», г. Самара, 2012 г., т 14, с. 885-888.
6. Иванов Н.И., Куклин Д.А. Проблема шума железнодорожного транспорта и пути ее решения. Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», СПб, 22-24 марта, 2011 стр. 108-123.
7. Руководство по разработке карт шума улично-дорожной сети города. – М., 1980.
8. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума». М.: Госстрой, 2004.
9. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. – М., 1995.
10. Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика. М., Стройиздат, 1993.
11. Буторина М.В., Н.И. Иванов, А.В. Кудаев, Д.А. Куклин, Г.М. Курцев, А.Е. Шашурин. Результаты картирования шума Санкт-Петербурга. Журнал «Безопасность жизнедеятельности», август №8/2009, с. 9-12.
12. Remington P.J. Wheel/rail rolling noise/ Theoretical analysis. Journal of the Acoustical Society of America, 1987, 81, 1805-1823.
13. Шум на транспорте/Под ред. В.Е. Тольского, Г.В. Бутакова, Б.Н. Мельникова, М.: Транспорт, 1995.
14. Шум качения и методы борьбы с ним. «Железные дороги мира»/ Пер. T. Klimpel, K. Knothe. Glasers Annalen, 2002, № 10, S. 450 – 457.
15. D.J. Thompson and C.J.C.Jones. Resent Developments in Railway Noise Reduction Technology. Sixth International Congress on Sound and Vibration. 5-8 july,1999, Copenhagen, Denmark, p. 2613-2628/
16. Снижение шума в кривых. «Железные дороги мира» – 2009, № 6 с. 70-76.
17. Иванов Н.И., Прокудин И.В., Дариенко И.Н., Куклин Д.А., Буторина М.В., Тюрина Н.В. Проблема снижения шума и вибрации поездов. Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», СПб, 17-19 марта, 2009 с. 9-35.
18. ГОСТ Р 54933-2012. Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом.

19. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 с изменениями. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
20. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.
21. ГОСТ Р 53187-2008 Акустика Шумовой мониторинг городских территорий.
22. Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 43-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. «Руководство по выражению неопределенности измерений».
23. Свод правил по проектированию и строительству. СП 23-104-2004. Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена
24. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения. Утверждены распоряжением Минтранса России № ОС-362-р от 21.04.2003 г.
25. Применение малошумных тормозных накладок из композита и металлокерамики. «Железные дороги мира» –2008, № 9, с. 67-69.
26. Снижение уровней излучаемого колесом шума. «Железные дороги мира» – 1993, № 12, с. 34-37.
27. Превентивное шлифование рельсов для снижения уровня шума. «Железные дороги мира» – 2011, № 12, с. 63-66.
28. Малошумный путь. «Железные дороги мира»/ Пер D. Thompson, C. Jones. Railway Gazette Intemational. 2002, № 7, p. 363 – 366.
29. Звукоизолирующий экран на шейке рельса. «Железные дороги мира» – 2011, № 3, стр. 75-77.
30. Н.И. Иванов, Н.Г. Семенов, Н.В. Тюрина. Акустические экраны для снижения шума в жилой застройке. Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности», апрель №4/2012, 24 с.
31. ГОСТ Р 54931-2012. Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования.
32. ГОСТ Р 54932-2012. Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля.
33. Куклин Д.А., Тюрина Н.В. Исследования акустических экранов для снижения шума поездов. Безопасность жизнедеятельности: научно-практический и учебно-методический журнал – М.: Изд-во «Новые технологии», 2009. —№8. с. 9-12.

Noise Mapping and Action Plans for transport noise reduction and control in cities

Sergio Luzzi
University of Florence
Vie En.Ro.Se. Ingegneria

INTRODUCTION

Environmental noise can be defined as the complex of audible sounds that causes disturbance, impairment or health damage.

The study of environmental noise in cities is not an easy matter. There are many concurrent sources and noise assessment can be performed in various possible ways. Measurement campaign, monitoring and calculation can be addressed either to produce noise maps regarding the acoustic classification of territory or to protect residents and other citizens from exposure to noise levels higher to fixed limit values.

Sources and receivers are often combined in complex scenarios, making modeling of noise propagation and design of solutions a quite complicated job for acousticians and policy makers.

From the receivers point of view, it is well known that long lasting exposure to noise causes health effects that could be temporary or permanent. There are different effects of noise on people, and different degrees of severity depending on individuals experience. Noise can disturb human activities, by causing distraction or by physically interfering with it.

Typical effects of exposure to urban noise are annoyance, mental health effects, cardiovascular and other physiological effects, sleep disturbance and insomnia, cognitive effects on children, distraction, speech interference, disruption of work and mental activity.

Besides and linked to these harmful effects, there are social costs in workplaces and living places as well (healthcare, absence through illness, accidents caused by tiredness related to insomnia or sleep disturbance, depreciation of real estate, production loss).

The main cause of exposure to noise and its negative effects in cities is traffic and more in general transportation system.

In this paper some freshly produced data and some case experiences are reported, with a general reference to EU Legislation and the state of art of its application, in particular for what concerns Noise Mapping and Action Planning regarding noise from transport infrastructures.

TRANSPORT NOISE AND QUALITY OF LIFE IN CITIES

Recent results from the first round of application of Environmental Noise Directive 2002/49/EC (END) show that around 125 million people in EU27 are exposed to noise levels above 55 dB Lden and almost 90 million people to noise levels above 50 dB Lnight at night. These data are based on noise maps developed considering major roads, major railways and major airports, industrial settlements and larger agglomerations (above 250.000 inhabitants in 1st round and above 100.000 in 2nd round), as defined in END [1]. Data collection of 2nd round is in progress and it might be expected that the numbers mentioned above will increase until 180-210 million people exposed to levels above 55 dB Lden [2]

Traffic noise is the main contributor of noise, both in urban areas (agglomerations) and along major roads.

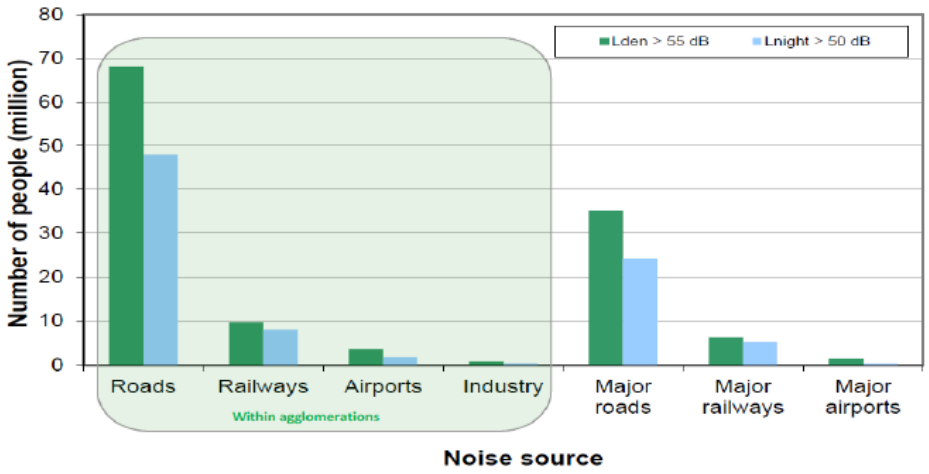


Figure 1 – Number of people exposed to Noise in Europe (2012 – 1st round END Directive)

The reduction of environmental noise in cities can be obtained by means of: regulations on noise sources, limits provided by noise reduction plans and/or strategic urban action plan, specific local actions on protected and quiet areas.

In EU, noise limits are set for quite all kinds of sources: cars, buses, scooters and motorbikes, tyres, railway vehicles, aircrafts (according to ICAO limits), airports (with operating restrictions on city airports), outdoor machinery. Limits are not, or not yet, set for road surfaces, railroad types, industries.

In the past decades (see figure 2) a constant increase in number of private vehicles (passengers cars and freight vans and lorries) determined a proportionally constant increase of traffic noise in EU countries. Despite economic crisis,

and increasing rate of public transport, a significant increase of private cars and motorcycles amounts is expected also in next years in EU cities (estimated around 20% in twenty years 2010-2030) and for freight vehicles (almost 40 % in the same period) [2].

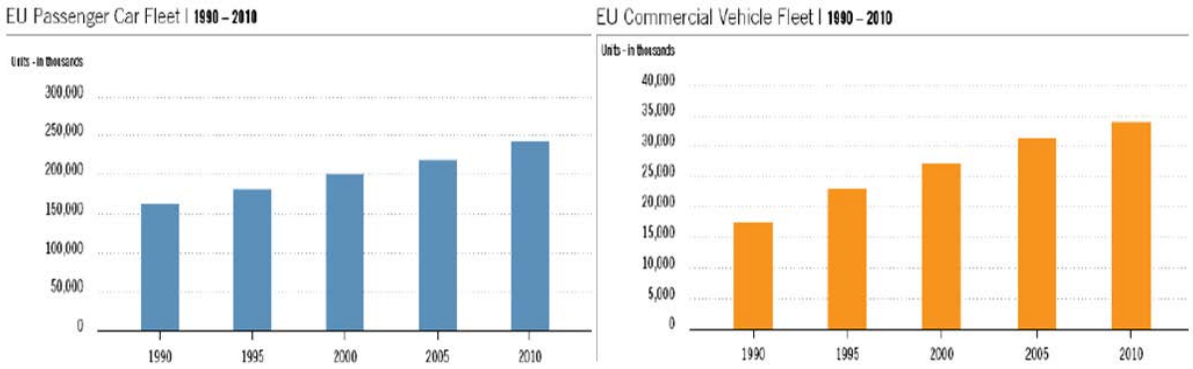


Figure 2 – Increase of passenger cars and commercial vehicles 1990–2010 in EU countries (Eurostat 2012)

For what regards passenger cars it is known that in “old member states” the car use rate is higher than in the so called “new member states” see figure 2. Once the reasons for it was found in the higher prosperity in the old member states; nowadays, due a sum of cultural and consumer oriented policies, the level is expected to increase almost everywhere, as cars seem to be everywhere one of the most desired goods. Of course another reason could be the increased number and improved quality of infrastructures.

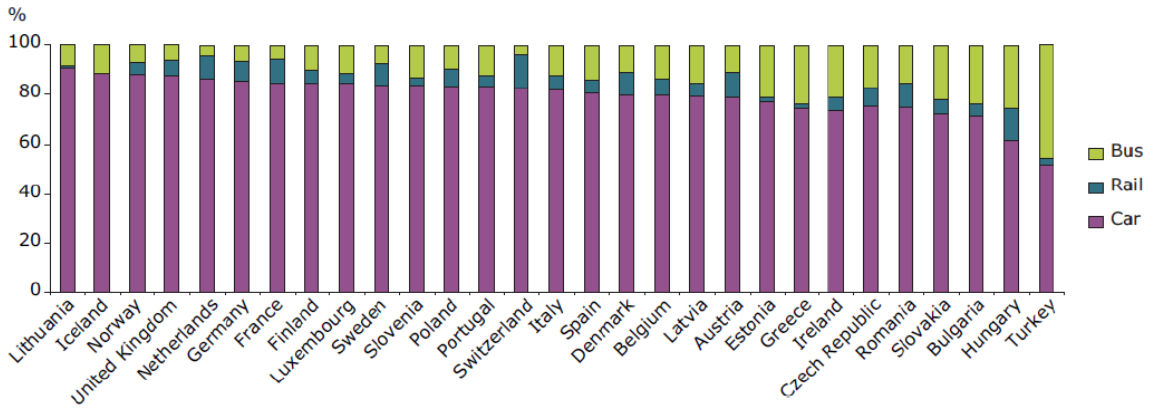


Figure 3 – Private cars use rate compared with public transport (2012)

In this situation, noise mapping is a crucial tool to know and communicate sound exposure, and is mandatory in Europe for main infrastructures and for ur-

ban agglomerations with more than 100,000 inhabitants. Each agglomeration is asked to produce a strategic noise map, including and integrating the noise relative amounts emitted by all the contributing and concurrent sources. The production of good maps is quite difficult for infrastructures that have complex development as part of a city network, and even more difficult, consequently is the task for agglomerations, responsible of integrating these maps in the strategic one. Many experiences can be found in various EU agglomerations[8]. In particular specific research projects have been developed for considering in noise emission models of urban roads the contribution of flow and driving condition, traffic load, speed. In figure 4 an example of model aggregating traffic situations, in terms of sound power emitted over driving cycles are statistically representative of real driving conditions, is shown. Four different driving conditions are included in the cycles, ranging from free-flowing to stop-and-go traffic conditions. The sound power levels estimated with this new approach are significantly different from the ones estimated with the mean speed approach generally used and recommended by noise mapping guidelines, especially when traffic is congested, suggesting that the method could prove relevant for improving noise map accuracy, in particular in urban context.

But mapping is only the first step, it must be followed by Noise Mitigation Plans and Strategic Action Plans, with higher expectations of good results as much these plans are integrated and harmonized.

The increasing urban population in Europe amplifies the need of quiet areas and comfortable places as a part of a more attention on the urban life quality and its assessment that is required by citizens. Quality of Life is a multidisciplinary concept involving environmental elements, social aspects, urban planning features and individual/subjective estimation. Therefore its optimization can be performed by a complex evaluation of a lot of conditions in various fields: urban policies should satisfy both social expectations and environmental quality needs, maximizing citizens' satisfaction.

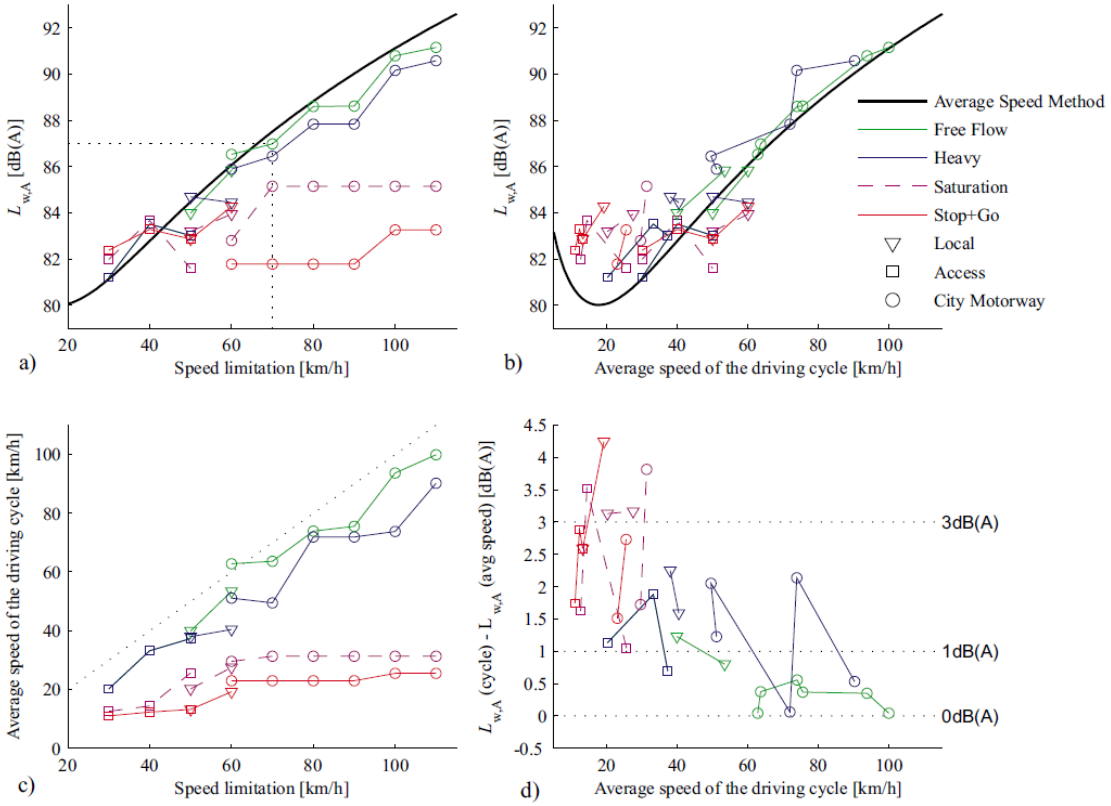


Figure 4 – Noise emission model aggregating traffic situation (2011)

Procedures for standardizing the evaluation of comfort and quality level in both urban plans and urban design projects, facilitate stakeholders and decision makers in selecting the right solution among projects' alternatives in order to maximize the quality of life in urban areas.

Some methods to perform a complete judgment of urban quality, considering various involved aspects, has been developed a global judgment should take into account an association of correctly weighted playing factors, like acoustical climate conditions, considering noise pollution, in terms of sources, noise equivalent levels, traffic intensity, etc. as well as soundscapes analysis, to obtain the Noise Quality Index (NQI).

This factor (and its index), combined with others like:

- outdoor air conditions, in terms of pollutant concentrations, etc., to obtain the Outdoor Quality Index (OQI),

- atmospheric conditions, in terms of temperature, relative humidity, solar radiation, wind speed, etc., to obtain the Atmospheric Quality Index (AQI),

- elements of quality in urban design in terms green spaces, sustainable buildings, public transportations/bike ways, etc., to obtain an urban Design Quality Index (DQI),

- have been utilised to define a Global Quality Index GQI that takes into account all the previous ones and that can be calculated to obtain information on the quality of the urban environment.

Case studies implementation of indicators and indices methodology for the evaluation of urban quality has been proposed, based on numerical simulations. The methodology might be a useful tool for the evaluation of urban quality and design strategies for noise mitigation [9][10].

Considering the other sources that influence urban noise, Rail is generally supposed to be one of the most environmentally friendly transport modes. However, the contribution of rail transport to noise pollution (with freight trains as the largest source) is considerable, with about 10% of the population exposed to significant noise levels [2]. Today, about 50% of rail freight transport is international with a large number of wagons running across national networks. Action at international level is therefore required.

The European Community has already acted on this issue by introducing noise limit values for new and renewed vehicles (rolling stock). However, given the long lifetime of rolling stock, it will take several years before overall noise emissions can be reduced significantly if no additional measures addressing the existing fleet are introduced.

And one more aspect to be considered is perception of annoyance. In figure 5 the percentage of people annoyed as a function of noise exposure of dwellings is shown, derived by Miedema curves, where levels corresponding to transportation noise sources (road, rail, aviation) are related to the percentage of annoyed people [11]

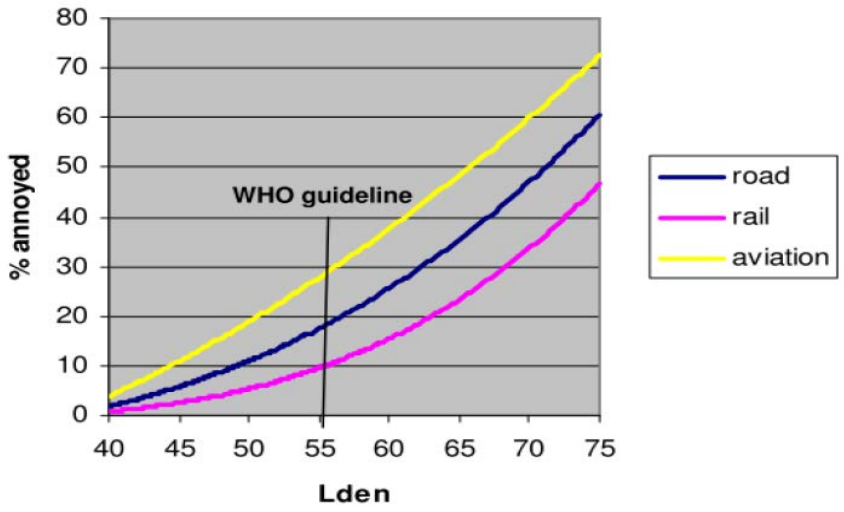


Figure 5 – Level of noise and percentage of annoyed people

Most of the recent projects referred to noise strategies and noise action plans for cities consider perception of annoyance as a part of analysis and general comfort and quality of life indicators in the definition of solutions.

Methods like questionnaires, surveys, soundscape analysis are frequently used in combination with traditional mapping, adding information and preferences of residents to measured data.

In figure 6 tag clouds of mentioned terms, typical of statistical surveys based on questions regarding pleasantness (a) or unpleasantness (b) of a urban place, are reported. Very often traffic is indicated as the main source of discomfort.

(a)

(b)

Figure 6 – Tag clouds of pleasantness surveys in urban areas

As a confirmation, in figure 7 the influence of reported annoyance by traffic noise related to global living quality in the neighborhood is shown.

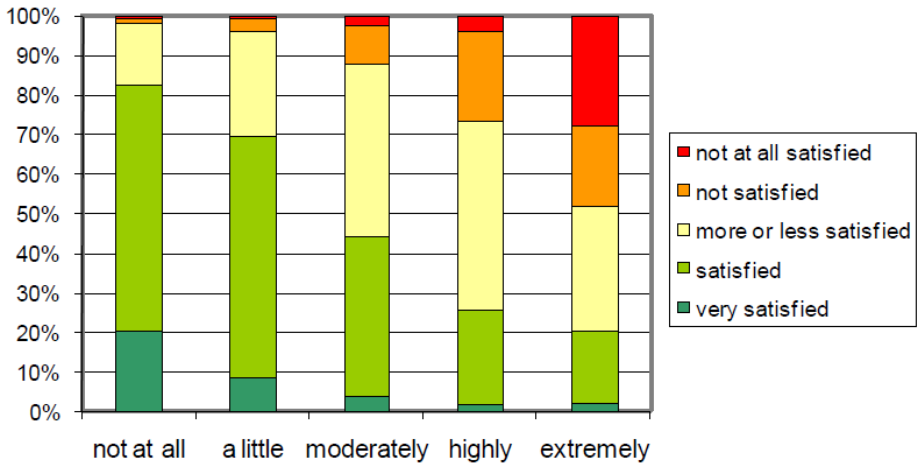


Figure 7 – Annoyance by traffic noise and quality of life

EU LEGISLATION, POLICY AND PROJECTS ON URBAN NOISE

Since 25 June 2002, when Directive 2002/49/EC of the European Parliament and the Council relating to the assessment and management of environ-

ment noise (Environmental Noise Directive, END) [1] was adopted, in the European Union a system composed of various responsible bodies working on Urban Noise, was established. The Commission provides regulations at EU level, EU policy, EU action plans, EU limits, and the European Environment Agency (EAA) acts as data collector and evaluator.

Besides them there are World Health Organization (Europe office) that perform epidemiological studies and produce guidelines.

Ministries of Member States, supported by Regional & Local environmental agencies, are responsible in the implementation of EU regulation concerning maps and plans, with consideration of both European and National objectives and limits.

Municipalities (named as responsible authorities for agglomerations) and Infrastructure owner are asked to producing noise mapping, proposing and implementing action plans.

Member States have a number of obligations under the END and must collect and report information to the European Commission, following a periodic updating cycle. Requirements, relative deadlines and updates are summarized in table 1.

Table 1 – Implementation of END Directive

Implementation deadline	Issue	Reference	Updates
30 June 2005	Information on major roads, major railways, major airports and agglomerations according to the upper thresholds, designated by MS and concerned by 1st round of mapping	Art. 7-1	Mandatory every 5 years
18 July 2005	Establishment of competent bodies for strategic noise maps, action plans and data collection	Art. 4-2	Possible at any time
18 July 2005	Noise limit values in force or planned and associated information	Art. 5-4	Possible at any time
30 June 2007	Strategic noise maps for major roads, railways, airports and agglomerations according to the upper thresholds,	Art. 7-1	
18 July 2008	Action plans for major roads, railways, airports and agglomerations	Art. 8-1	Mandatory every 5 years
31 December 2008	Information on major roads, major railways, major airports and agglomerations according to the lower thresholds, designated by MS and concerned by 2nd round of mapping	Art. 7-2	Possible at any time
30 June 2012	Strategic noise maps for major roads, railways, airports and agglomerations according to the lower thresholds,	Art. 7-2	Mandatory every 5 years

Strategic noise maps are to be used by the competent authorities to identify priorities for

action planning and by the Commission to assess the number of people exposed to noise.

The need of common or harmonized assessment methods for mapping, as established by article 6 of the END, was initially solved indicating interim methods to be used, but leaving Member States also the possibility to use their own methods.

The degree of comparability of the results generated by the different methods was evaluated in 2008 and since the national assessment methods differ from the interim methods for many Member States, the Commission started the development of harmonized assessment methods to be collected in CNOSSOS-EU, a common methodological framework for strategic noise mapping under the END Directive. In the core of the CNOSSOS-EU methodology there are parts describing road traffic, railway traffic, industrial noise source emission and sound propagation and specific methods to assign population data to the receiver points at the façades of buildings.

The CNOSSOS report, published in 2012 [12], closes the development phase of the CNOSSOS-EU process (2010-2012) and represents the technical basis for the amendment of END Directive, in connection with the implementation phase of CNOSSOS-EU (2012-2015). The ultimate goal is to have the common noise assessment methodology operational for the next round of strategic noise mapping in the European Union, foreseen for 2017.

Also for Action Plans and Quiet Areas the question of methods is open: according to END, competent authorities for agglomerations and transport infrastructures are drawing up action plans designed to manage noise pollution and effects, including noise reduction, if and where necessary. But since the measures within the plans are at the discretion of the competent authorities as long as they fulfill the minimum requirements of Annex V, as a result, information provided till now by the Member States are diverse, and data are scattered.

Consequently, a comprehensive analysis of the received action plans is still ongoing at EU level and methodological discussion are open in Member States and International Networks of cities.

As part of the action plans, Member States are required to introduce specific measures and draw up action to protect quiet areas in agglomerations against an increase in noise. However, the END left it largely to the discretion of the Member States to give definition and delimitation to these areas. The consequence of this discretion led to very divergent approaches across the EU. While the majority of Member States designated quiet areas in agglomerations, many have not yet done so in open country [5]. Some quiet areas have been delimited by means of noise measured, other by different, more qualitative, criteria [7].

Specific attention is also devoted to noise indicators: In the current Directive, Member States are required to use specified noise indicators of Lden and Lnight and report the noise exposure of the population of 55 dB and 50 dB or more, respectively (cf. 4.2.). However, the current reporting neglects the fact that there is a considerable share of EU population exposed to noise pollution at lower levels which are still likely to cause harmful effects on health (cf. 2). According to the latest WHO recommendations, reporting bands of the indicator values of Lnight should be lowered to 40 dB, Lnight in order to achieve a much more realistic assessment of noise pollution impacts across the EU.

Beside the implementation of the END a number of other EU directives came into force or have been revised recently. These directives and regulations are addressing the allowed noise levels for admitting the European market and regard different kind of noise sources present in the urban environment, from airplanes (and airports) to outdoor machinery noise.

In the first months of 2013 great attention has been paid on the Motor Vehicle Noise Regulation since the current vehicle noise standards date from almost twenty years ago. In February the EU Parliament watered down a Commission's proposal to address the issue of noise emitted by cars, vans, trucks and buses, voting for emission limit values that don't result in a real reduction of vehicle noise: there is a new test method that makes possible for car manufacturers to test with worn tyres instead of new tyres, classification of vehicles has changed and a new category was introduced: vehicles that make no more than 1 dB noise than the noise limits will also be allowed to enter the European market.

These choices are generating unsatisfaction in policy makers of some Member States, that are working on a strategy to avoid approval of the proposed regulation by the European Council and to try to get in with amendments.

European Parliament voted also for a noise label and for a classification of quiet road surfaces, we do hope that this will help to reduce the road traffic noise. Electric and hybrid vehicles should be applied with the Acoustic Vehicle Alert System (AVAS) to avoid collisions with vulnerable pedestrians (e.g. pedestrians, visual impaired people). It was also decided that more research should be done into health effects caused by road traffic noise.

Also the evaluation of the regulation on tyres is scheduled for 2013, the limit values for tyres are still liberal and the State of the art tyre is almost 6 dB quieter than the limit values EU.
Besides the Legislation and the Regulation, EU give financial support to various projects with research and demonstrative goals considering noise reduction at source, along the propagation, at the receiver.

In the EU, there is a great trend to consider noise reduction at source at first. The EU has financed numerous research projects to reduce noise at source (e.g. development of new asphalts, new tyres, electric vehicles, railway wheel and rail vibration dampers, new brake blocks of freight trains, high bypass ratio

aircraft engines). A non exhaustive list of these projects include STAIRRS, PERSUADE, RATIN, QCITY, SILENCE, X-NOISE.

Also projects for noise reduction in the propagation path, by means of traditional noise barriers has been funded (e.g. project QUIESST improved efficient noise barriers), as well as research projects on the management of noise in urban areas (e.g. best management of noise in the city, recommendations for local authorities, quiet areas within cities). A non exhaustive list of these projects include HUSH, QUADMAP, NADIA, HARMONICA, SMILE, CITYHUSH, EffNOISE.

Brief summaries of four running projects regarding significant contributions to noise mapping and action planning methodologies are given in the following of this paragraph, more detailed information can be found in the respective websites and published reports.

Project HUSH (Harmonization of Urban noise reduction Strategies for Homogeneous action plans) moves from the evidence that harmonization of noise action planning methods is needed in all the European countries where a former Legislation about noise planning was present at the moment of END Directive adoption.The general objective is harmonizing national noise management standards with European Directive 49/2002 to obtain homogeneous noise Action Plans, contributing to the more general need of transposing, implementing and enforcing a common or harmonized environmental legislation among EU countries. Specific objectives of the project

Project NADIA (Noise Abatement Demostrative and Innovative Actions and infromation to the public) project aims to demonstrate economic and technical feasibility of effective practices for reducing environmental noise, also focusing on the involvement and participation of stakeholders.

Urban areas and provincial roads will be mapped in order to define the critical areas with particular attention to sensitive sites (schools, nursing homes and rest, etc.). and an innovative action plan which includes the participation of the population and key stakeholders will be implemented. In particular the project wants to increase awareness in citizen exposed to traffic noise, involving young people and students in project activities.

Project QUADMAP (QUiet Areas Definition and Management in Action Plans) project, is proposed as a solution to the policy implementation deficit described above. In fact, the main objective of the QUADMAP project is to develop a harmonized methodology for selection, assessment (combining quantitative and qualitative parameters) and management (noise mitigation, increasing of usability of areas and user’s satisfaction) of Qiet Areas.

These objectives will be attained leaving each responsible body free to produce its own Action Plan, assessing and addressing both specific territorial features and political priorities.

One significant part of the project is devoted to develop and test methods for the determination of the relative weight of concurrent sources of discomfort, considering different acoustic factors and indicators.

Another important topic is the systematic use of soundscapes analysis in the qualitative acoustic analysis and in the collection of general stakeholders' opinions on present and desired features of selected Quiet Areas.

Project HARMONICA (HARMOnised Noise Information for Citizens and Authorities) aims to reinforce the assimilation of the sound environment issues by the general public and public authorities in order to increase the effectiveness of environmental noise abatement policies at National and European level.

This activity is performed by facilitating the access to the information on sound environment and possible actions, making this information understandable, harmonizing methods and means to compare the different territories and evaluate noise abatement actions.

This will be done with the creation of an innovative common noise index, easy-to-understand by the general public. The index will take into account both information from the strategic noise maps and measurement data from the monitoring networks. It will be usable both at a very local scale related to the installation of each measurement station and at a very large scale for the agglomeration.

The index will be displayed on a web portal in order to improve the access to the information and the understanding of the general public and public authorities.

CASE STUDIES FROM ITALIAN ACTION PLANS

Some original solutions to the problem of Traffic noise, derived by Italian Noise Reduction Plans and Strategic Action Plans are shortly reported in this paragraph.

In Florence Action plan 8 macroareas have been considered with the presence of hotspots due to traffic noise, quiet areas to be preserved and sensitive receivers that requires combined action, all including low-noise paving.

A new procedure for evaluating Asphalt performance in Urban scenarios has been developed, as an extension of SPB method. This method, called Urban Statistical Pass-By (USPB), makes possible Pass-By measurements in urban scenarios, where the presence of buildings makes the sites not conform to those provided by the standard and speed of transit is particularly low.

This method provides two types of tests: measurements of SPB in adjacent sections of the road, presenting similar conditions for reflection, although not fully meeting the requirements of ISO 11819-1, and measurements of Pass-By using the same vehicle sample (or a number of representative samples, each of a different class of vehicles) in adjacent sections of the same road: the conditions

of use of the source sample must be congruent, in terms of speed and acceleration - deceleration, with one or more passages of predetermined values. A classification of urban scenarios, considering one-side or two-sides reflecting buildings with their distance and height, has been developed, finding correction factors to adapt ISO 11819-1 method to catalogued urban scenarios. Tests have demonstrated that a low noise pavements can lead approximately to a reduction of up to 6 dB for speed > 90 km/h and up to 4 dB for speed between 50 and 90 km/h, in comparison with traditional asphalt.

The solution has been tested in several sites with a quite robust collection of results.

In particular a specific acoustical performance study has been performed for Asphalt Rubber (recycled tires rubber mixture) with a very significant noise reduction.

In figure 8 the two tested mixtures (open graded and gap graded) are shown.

Figure 8 – Open Graded and Gap Graded asphalt rubber

In the test scenario (see figure 9) three different asphalts have been implemented on three consecutive sectors of the same straight road, using traditional asphalt (green), open graded rubber asphalt (blue) and gap graded rubber asphalt (red) respectively.

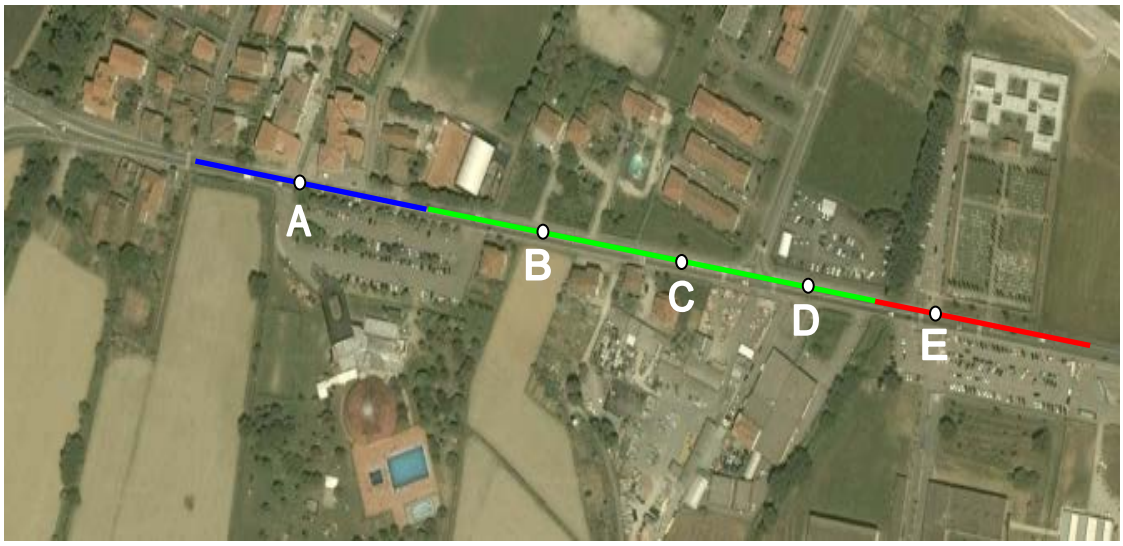


Figure 9 – Test scenario for Open Graded and Gap Graded asphalt rubber

Acoustic measurement were made using the SPB method in 5 locations, indicated in figure with letters from A to E. Acoustic data were reported on a LAFmax vs Speed graph, and the interpolation of these data has been carried out, in order to obtain distinct straight lines for speeds below and above 45 km/h, as shown in figure 10.

The blue lines refer to the noise emissions of vehicles on the open graded pavement, the green line to those passing on the traditional pavement, the red line to those related to the gap graded pavement.

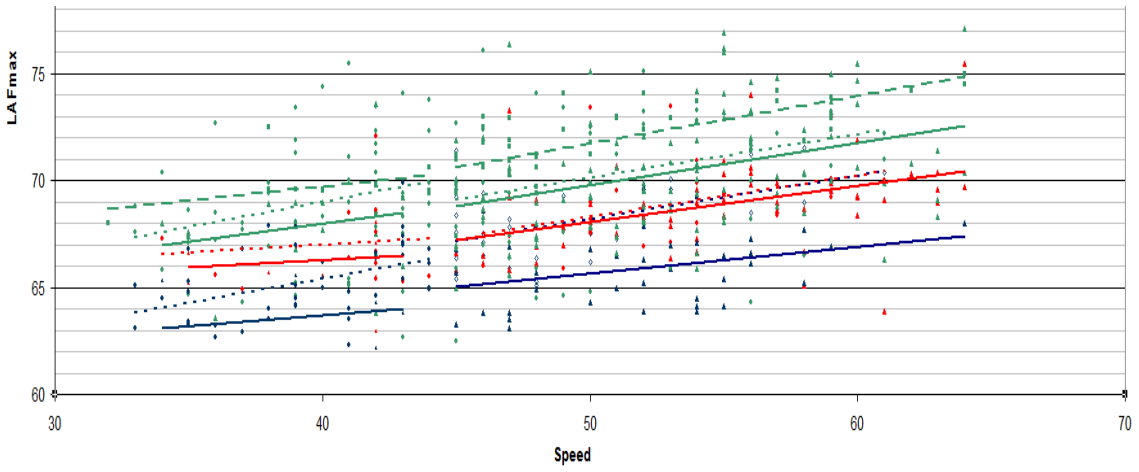


Figure 10 – Vehicle noise emission below and above 45 km/h with SPB method

It is possible to see that the trend of the slopes shows a substantial similarity between the upper and the lower transit speed, which means a not significant variance under the speed of 45 km/h: the straight lines are represented almost as a natural continuation of each other.

Other examples derived by Italian experiences are concisely mentioned here. In the frame of HUSH project the courtyard areas of heavily noise exposed

schools have been designed with reference to objective and subjective parameters, derived by soundscapes analysis and participative design methods, assembling acoustics indicators with other parameters representing the global comfort as defined by the philosophic approach of Temporal Design in Architecture [7]. Among the several elements of spatial design, the “bench-barrier” represents a tipical example of application of the theory: it is a “friendly and usable” barrier that shows its effectiveness from source side without being a wall from the receiver side, where the seats are a part of the new outdoor educational space. It is important to notice that cost is almost the same of a common noise barrier, and the added value is great in terms of social acceptance. Same kind of positive secondary effects are given by multi-functional systems like photovoltaic barriers, that shows a double-feature operation of noise reduction and production of energy, significantly reducing the costs of installation, and being, in particular sunny locations where energy can be sold or added to the distribution network, a sustainable solution and a good business. In figure 11 the two described solution are shown.

Figure 11 – Examples of “bench-barrier” in a school of Florence and of “photovoltaic barrier” on A22 highway

Other double-features barrier are under experimentation: they include in the barrier structure monitoring systems, lighting, reduction of other pollutants.

CONCLUSIONS

Infrastructures and transportation systems are basic elements and landmarks for cities and territories, sometimes they play the role of symbols, representing and characterizing places, in terms of aesthetic, functionality, governance.

Urban noise, as well as other factors, is an important element for the definition of the quality of life. Its influence should be properly evaluated, consider-

ing also the inter-relationships among noise and other factors of global environmental comfort.

Recent data demonstrate that road traffic and, more in general, transportation infrastructures, are the most significant sources of noise and annoyance in cities.

In EU Countries the application of Environmental Noise Directive is not an easy task, especially for what related to noise mapping and action planning in urban areas where differences in National legislations and policies from political side, and contribution of concurrent sources from technical side, make difficult the implementation of common strategies and common methods, respectively.

Nevertheless several original experiences and solutions have been produced in the 1st round of implementation of END Directive and in the frame of EU funded research projects, allowing EU bodies to start the process of definition of common noise assessment methods to be used for strategic noise mapping and, in a second time, for strategic action planning.

In this paper starting from panoramic views of END implementation and of EU projects regarding urban noise and transport noise in particular, some of these solutions have been reported.

REFERENCES

1. Directive 2002/49/EC of the European Parliament relating to the assessment and management of environmental noise. Official Journal of the European Communities L 189/12, 2002

2. Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of the environmental noise directive in accordance with article 11 of directive 2002/49/E, Brussels 2011

3. M. Paviotti “The problem of noise management in Cities: State of application and new features in the EU legislations”, Proceedings of EAA Symposium Urban Noise Management in Europe, Florence, 2012

4. B. Gergely et al. “The state of art of environmental noise in the European Union”, EU DG Environment 2012

5. H. Wolfert, “What can be learnt from Dutch Noise Act approach on Rural Quiet Areas?”, Proceedings of InterNoise congress, Lisbon 2010

6. S. Luzzi, F. Borchi, I. Antunes, “Methods for testing Asphalt performance in urban areas” Proceedings of ICSV19, Vilnius 2012

7. S. Luzzi, R. Natale, “Elements of temporal design in soundscape planning of urban quiet areas”, Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment, n.11, 2011

8. A. Can, D. Botteldooren, “Towards Traffic Situation Noise Emission Models”, Acta Acustica United with Acustica Vol. 97, 2011

9. A. Magrini, P. Ricciardi,, P. F. Soares “Application of acoustical indicators and index for urban quality evaluation”. Proceedings International Institute of Acoustics and Vibration, Rio de Janeiro, Brazil, 18°ICSV. 10-14 July 2011, Rio de Janeiro, Brazil, 2011

10. A.Magrini, F.R.D'Ambrosio Alfano, “Acoustical indicators and index for urban quality evaluation”, Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, Sydney, Australia, August 23-27 (2010).

11. H.M. Miedema, C.G. Oudsoorn, “Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals” in Envirn Health Perspect 109 (4), 2001

12. S. Kephalopoulos, M. Paviotti, F. Anfosso-Lédée, “Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU) To be used by the EU Member States for strategic noise mapping following adoption as specified in the Environmental Noise Directive”, JRC Reference Reports, 2012

Оперативные карты шума для железнодорожного транспорта: назначение, общие требования и примеры применения

М.В. Буторина
ООО «Институт комлексного транспортного проектирования»

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт – один из основных источников шума в жилой застройке. Исторически так сложилось, что железнодорожные вокзалы строились в центре города либо города вырастали вокруг вокзалов, поэтому железнодорожные ветки зачастую проходят через районы с плотной жилой застройкой.

Наиболее полное представление акустической обстановки вблизи железнодорожных магистралей представляют карты шума, которые разрабатываются на основании действующих в стране стандартов и расчетных методик по оценке уровней шума. В Европе законодательная база для составления карт шума представлена Директивой Европейского парламента 2002/49/ЕС по шуму в окружающей среде. Согласно данной Директиве предусматривается разработка карт шума городов, автомобильных и железных дорог, а также разработка планов действий для нагруженных железнодорожных направлений, проходящих вблизи территорий жилой застройки.

В нашей стране первые карты шума появились в начале 70-х годов прошлого столетия. Они выполнялись по результатам натурных измерений. На основании полученных измерений рассчитывались эквивалентные уровни звука, полученные значения наносились на карту в соответствующих точках замеров.

При помощи таких карт шума невозможно объективно оценить размер городских территорий, подвергающихся воздействию повышенных уровней шума. Для разработки шумовых карт города необходимо применять новые подходы и методы, разработанные с учетом мирового опыта оценки и мониторинга шума.

1. Источники шума железнодорожного транспорта

По статистике воздействию железнодорожного шума подвергается порядка 10 % городских территорий.

Основными источниками шума, создающими повышенные уровни воздействия на селитебной территории, являются:

– шум локомотива;

– звуковые сигналы;

– аэродинамические взаимодействия подвижного состава с окружающей средой (при скорости более 200 км/ч);

– взаимодействие пути и подвижного состава при движении (излучение шума системой колесо-рельс) – или шум качения;

– вентиляционные системы;

– структурный шум, возникающий от передачи вибрации в системе колесо-рельс в близко расположенные здания;

– машины и механизмы для производства работ по текущему содержанию и ремонту путей (путевые машины и механизмы);

– вспомогательное оборудование;

– производственные предприятия железнодорожного транспорта (сортировочные и грузовые станции, локомотивные и вагонные депо);

– тяговые подстанции;

– железнодорожные мосты (при движении по ним подвижного состава).

Уровни шума российских поездов высоки. В России не существует технических норм, которые бы ограничивали шум поездов. В таких станах Европы, как Италия и Финляндия, они есть. В таблице 1 приводится сравнение данных об уровнях шума российских поездов с европейскими нормами. Как показывает сравнение, уровни шума российских поездов на 5-10 дБА превышают нормы, установленные в Европе.

Таблица 1. Уровни шума российских поездов в сравнении с западными нормами

Тип поезда	**УЗ на 25 м, дБА**		**Превышение норм, дБА**
	Европа	**Россия**	
Электропоезд	83	90	7
Грузовой локомотив	84	89	5
Дизельный локомотив	88	95	7
Пассажирский поезд	90	95	5
Ремонтные составы	83-85	95	10-12

На уровень шума потока железнодорожного транспорта влияют также такие факторы, как интенсивность движения, скорость и длина поездов. Для оценки уровней шума на прилегающей территории применяются расчетные методики, основанные на действующих нормативных документах, и принимающие во внимание все вышеперечисленные факторы.

2. Расчетные методики по оценке шума железнодорожного транспорта

Большинство национальных расчетных методик предполагают расчет эквивалентного уровня звука, создаваемого потоком железнодорожных поездов на базовом расстоянии, за которое обычно принимается 25 м. Российская и скандинавская методики позволяют также оценить максимальные уровни шума. Австрийская методика предполагает расчет уровней звукового давления в октавных полосах частот.

Исходные данные для расчетных моделей также различны. Скандинавская и российская методики полагают, что все поезда одного типа при одинаковой скорости и длине создают равные уровни шума. Немецкая методика в качестве поправки вводит процент дисковых тормозов. Кроме того, в немецкой методике принимается бонус в -5 дБА при оценке железнодорожного шума, поскольку, согласно исследованиям, железнодорожный шум вызывает меньшее беспокойство, чем шум автотранспорта. В британской методике шум поезда составляется из шума локомотивов и отдельных вагонов. При этом также вводится поправка на количество осей.

Все расчетные методики можно условно разделить на расчет шумовой характеристики и расчет распространения шума на территории. Для оценки уровней шума железной дороги были выбраны следующие методики:

- Schall 03 / DIN 18005 (Германия);
- Calculation of Railway Traffic Noise – CoRN (Англия);
- Nordic Rail Prediction Method (Скандинавские страны);
- Nord 2000 (Скандинавские страны);
- Российская расчетная модель (НИИСФ, 1993 г.).

На рис. 1 показано сравнение расчетных шумовых характеристик, полученных по различным методикам. Уровни рассчитаны для поездов одинакового типа и длины, двигающихся с равной скоростью при одинаковой интенсивности движения.

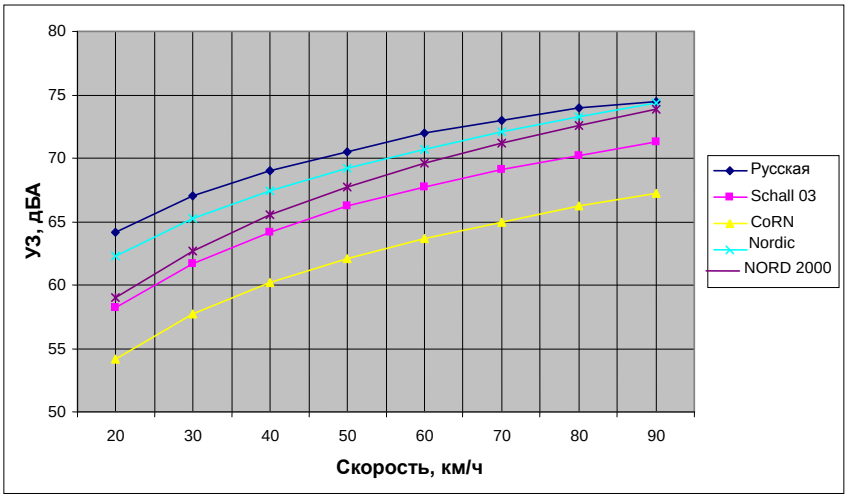


Рис. 1. Сравнение расчетных шумовых характеристик

Как показывает сравнение, результаты расчетов отличаются на величину до 10 дБА. Наиболее близкие значения к российской методике дает скандинавский метод расчета. Максимальные уровни шума получены при использовании российской расчетной методики, что соответствует полученному ранее выводу о более высоких уровнях российских поездов по сравнению с западными.

На рис. 2 показано сравнение результатов расчета уровней шума в расчетных точках с результатами измерений.

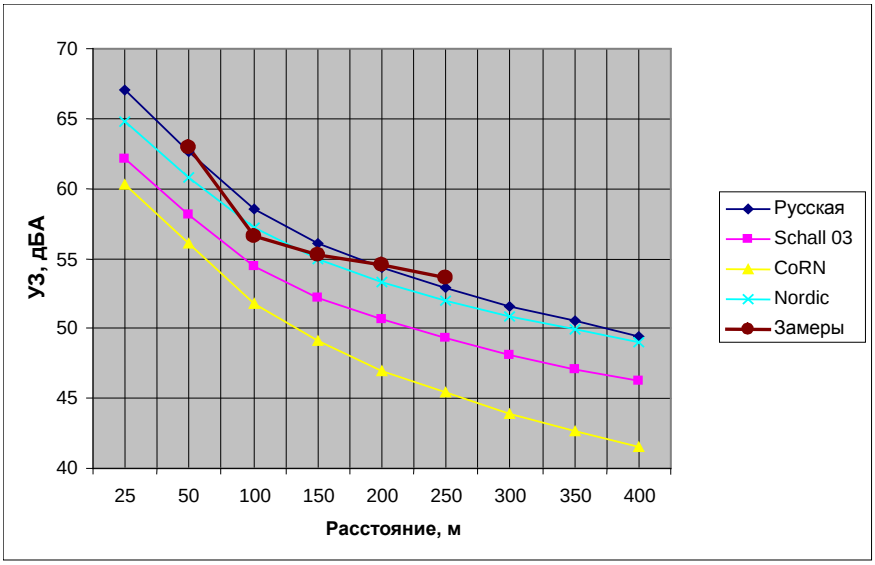


Рис. 2. Сравнение результатов расчета уровней шума в расчетной точке

Как показывает сравнение, наиболее близкие результаты к измеренным дают российская, а также скандинавская методики. Однако с увеличением расстояния наблюдается расхождение данных расчета и замеров.

Анализ показывает, что в этом случае необходимо более точно учитывать влияние поглощения поверхности и метеорологических факторов. Исследования скандинавских ученых, произведенные при помощи методики Nord2000, показывают, что влияние данных факторов может достигать 7 дБА. На рис. 3 а) и б) представлены вертикальные карты шума, построенные в программе SoundPLAN с использованием старой и новой скандинавских методик расчета. При этом вторая методика (рис. 4) учитывает влияние погодных факторов.

а)

б)

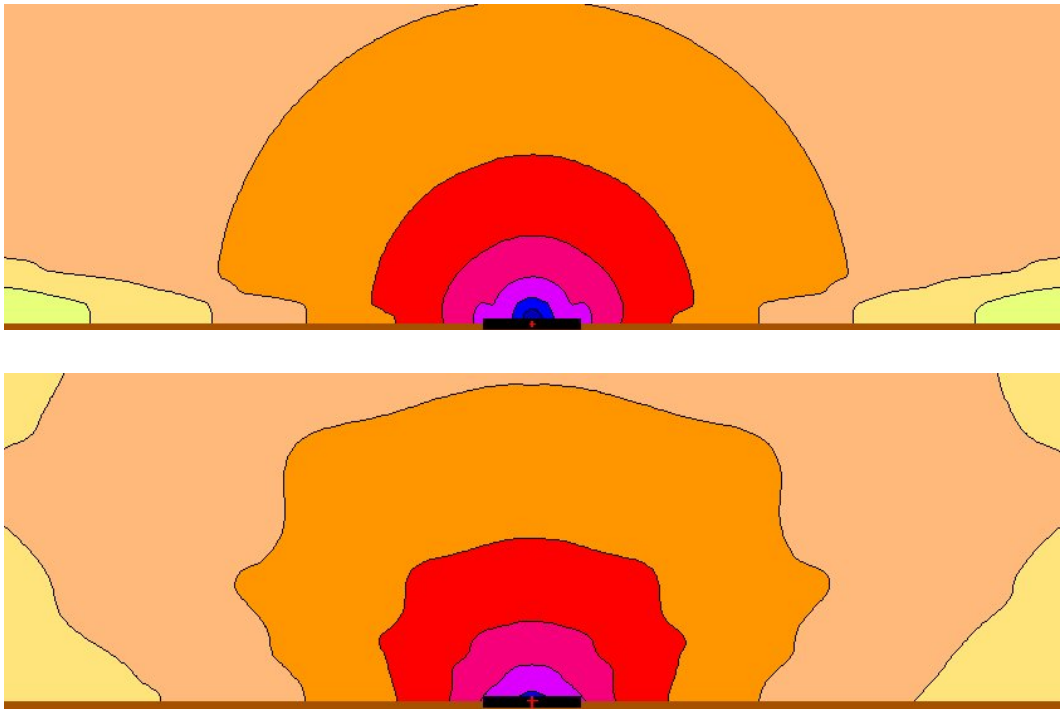


Рис. 3. Вертикальные карты шума, построенные по:
а) скандинавской методике, б) Nord2000

2 Современные методы построения карт шума

Основой для создания карт шума является Директива ЕС 2002/49/ЕС. Согласно этой Директиве карты шума должны содержать информацию о существующей или прогнозируемой акустической ситуации, превышении нормативных значений уровня шума, количестве людей, подвергающихся повышенным уровням шума, а также количестве жилых домов, больниц и школ, расположенных на рассматриваемом участке. Карты составляются расчетным путем. Карты шума представляются в графическом виде, в табличном виде или как численные значения в электронном виде. Карты строятся для шума авто-, железнодорожного и авиатранспорта, а также для

промышленных предприятий. На карте должны быть представлены уровни звука в дневное или ночное время с шагом в 5 дБА на высоте 4 м. Карты, представляющие прогнозируемые уровни звука, создаются расчетным методом при помощи компьютерных расчетных программ в соответствии с приведенными в Директиве формулами.

Согласно европейскому законодательству карты шума должны быть составлены для всех:

– населенных пунктов с населением более 100 тыс. жителей,

– автомагистралей с интенсивностью движения более 3 млн. автомобилей в год,

– железных дорог с интенсивностью движения более 30 тыс. поездов в год,

– аэропортов с интенсивностью движения более 50 тыс. операций в год.

Процесс составления карты шума можно подразделить на следующие этапы:

1) сбор данных об источниках шума (транспорт, промышленные источники);

2) составление модели местности (здания, рельеф и т.п.);

3) выполнение расчетов;

4) анализ полученных данных и разработка рекомендаций.

Собранные на первом этапе данные используются для расчета эквивалентного уровня шума на определенном стандартом расстоянии и по стандартизованной методике. При моделировании распространения звука в застройке используется двумерная модель зданий, если известна высота здания, эта модель становится трехмерной. Далее производятся расчеты распространения звука по установленным стандартам. Результаты расчетов накладываются на электронную карту города.

В Директиве ЕС говорится, что карты шума должны представлять уровни шума на рассматриваемой территории. Для оценки влияния шума на население в качестве индикаторов выбираются эквивалентные уровни звука ($L_{\text{Аэкв}}$) в дневное и ночное время, определяемые в соответствии с действующей нормативной документацией. Карты шума должны пересматриваться и обновляться не реже, чем один раз в пять лет после даты их составления, и предоставляться в службы мониторинга. В России составление карт шума в составе проектов строительства и реконструкции объектов является одним из основных требований, действующих строительных норм и правил.

Целью шумовой картографии является предоставление информации администрации и населению о шумовом режиме территорий. Шумовые карты используются для разработки стратегических планов в области борьбы с шумом.

Следует отметить, что применение западных расчетных методов в России требует значительной адаптации к местным условиям (действующим нормативам, шумовым характеристикам отечественных автомобилей, поездов и т.п.), т.к. расчетные уровни шума, полученные по российским методикам, значительно отличаются от западных.

Кроме того, принятое в некоторых моделях допущение о точечном типе источника сильно упрощает расчетные модели и не соответствует российским стандартам. Расчетные методики, применяемые при разработке карт шума, также должны быть адаптированы к стандартам РФ, что является необходимым требованием оценки и согласования проекта в контрольных органах.

Новое направление в разработке карт шума – это применение программного обеспечения для расчета уровней шума в любой точке городской застройки. В качестве исходных данных для построения карты шума применяются цифровые карты местности, а также результаты инструментальных измерений и расчетов шума транспорта и стационарных источников. Калибровка карт шума производится при помощи замеров уровней шума на территории городской застройки.

На основании западного опыта борьбы с шумом специалистами Германии была разработана расчетная компьютерная программа SoundPlan, основанная на стандартах по шуму Австрии, Англии, Германии, Скандинавии, Швейцарии, США, а также на стандартах ISO, которая в настоящее время является одним из мировых лидеров программных продуктов для построения карт шумового и прочего загрязнения воздушной среды и проектирования средств защиты от шума. Программный пакет работает под современными операционными системами, включает удобную двух- и трехмерную графику, а также расчетные методики, позволяющие проводить картографирование акустического загрязнения, как малой территории, так и таких комплексных объектов со многими источниками шума, как мегаполис. Математические модели, лежащие в основе расчетов, основаны на государственных стандартах европейских стран и США. В настоящее время специалистами БГТУ «ВОЕНМЕХ» произведен перевод программы на русский язык и адаптация ее к российским расчетным методикам.

Исходные данные для построения карт шума в программе SoundPLAN могут быть получены как путем измерений, так и расчетным путем. Исходная информация о местности и защищаемых объектах вводится из геоинформационных систем, файлов AutoCAD либо путем сканирования и оцифровки карт в программе SoundPLAN. В программе также имеется возможность импортировать файлы из форматов программ MapInfo и ArcView. Программа дает возможность проектировщикам оценить акустическое загрязнение окружающей среды, выбрать и оптимизировать методы борьбы с шумом, а также построить наглядные карты шума как для малых проектов, так и для

больших агломераций. Пример представления результатов картирования представлен на рис. 4.

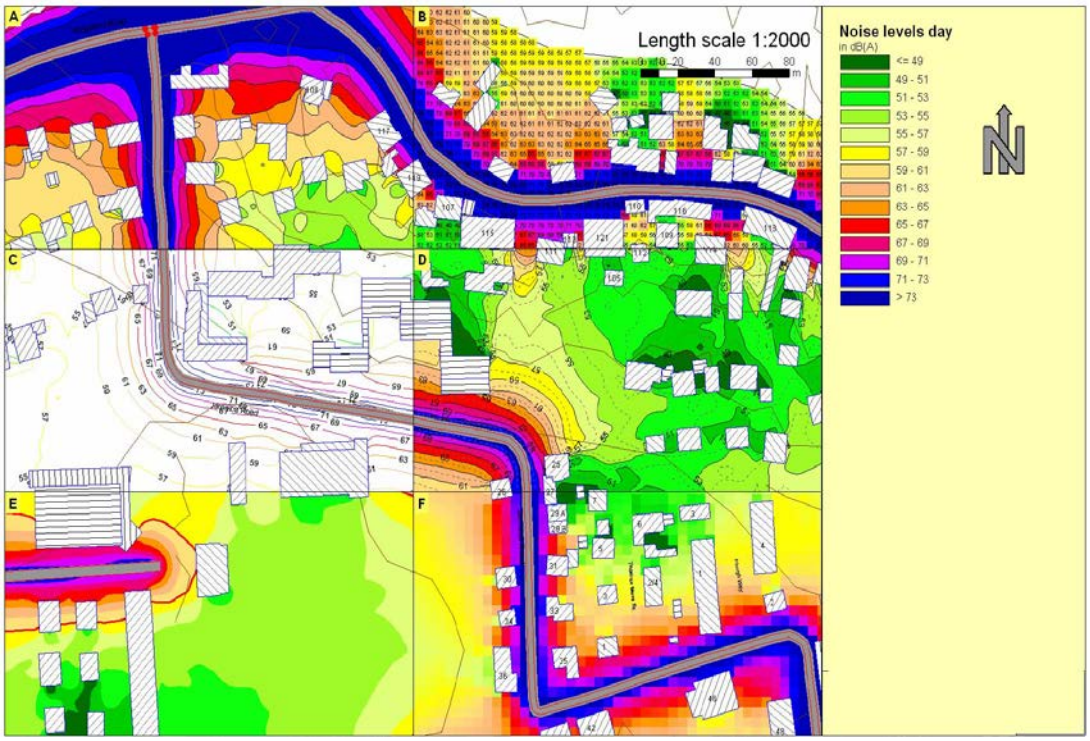


Рис. 4. Карта шума в жилой застройке,
разработанная с помощью программы SoundPLAN

Таким образом, карты шума являются действенным инструментом при разработке и внедрении шумозащитных мероприятий, поскольку они позволяют:

1. Осуществлять выбор точек для акустического мониторинга и проводить акустический мониторинг.
2. Оценивать фоновые уровни шума в любой точке города при проектировании новой застройки.
3. Обосновывать оценку высвобождения отдельных территорий под новое строительство.
4. Оценвать перечень необходимых шумозащитных мероприятий при проектировании различных объектов.
5. Проводить акустическую оценку территории жилой застройки и экономическое обоснование стоимости жилья с учетом акустического комфорта.
6. Моделировать изменение акустического воздействия на население при изменении характеристик транспортных узлов и потоков.

3 Карты шума железных дорог

Карта шума участка железной дороги строится с использованием программного комплекса. Результатом является плоская 2-х мерная карта шума, фасадная 3-хмерная карта шума, а также трехмерные разрезы характерных участков дороги с учетом акустических экранов.

Для разработки комплекса шумозащитных мероприятий строится карта шума территории, прилегающей к железной дороге.

При построении карты шума с учетом экранов вся территория также разбивалась на расчетные точки по сетке с шагом 10 м. После определения уровней шума в расчетных точках, точки с равными уровнями звука соединялись изолиниями, в результате чего получились линии равного уровня звука на территории с шагом в 5 дБА, что соответствует условиям нормирования шума. На карте голубым цветом выделяются дома, попадающие в область повышенного шумового воздействия (рис. 5).

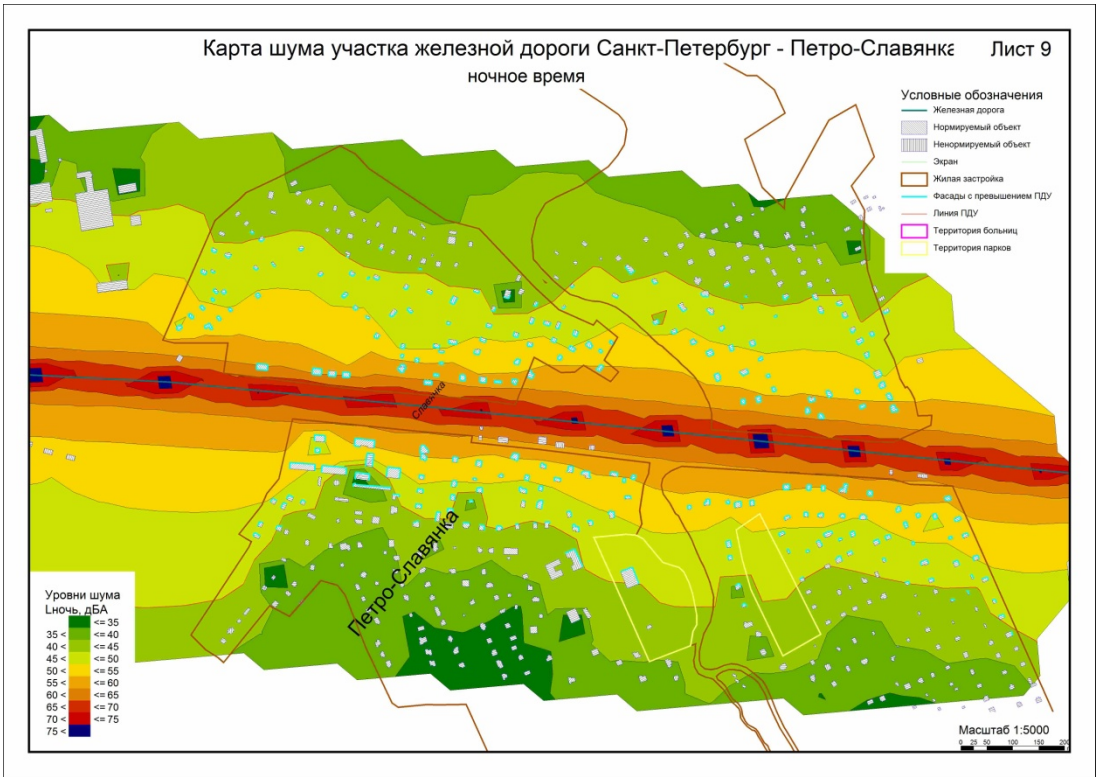


Рис. 5. Карта шума вблизи железной дороги без мероприятий шумозащиты

Следует отметить, что произведенные измерения на данном участке показывают, что измеренные уровни шума отличаются от расчетных не более, чем на 2 дБА. Следовательно, карта представляет объективную информацию об акустической нагрузке.

После построения карты производится выбор оптимальных мероприятий шумозащиты.

При проектировании высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург-Москва были оценены уровни шума в 96 населенных пунктах и разработаны мероприятия шумозащиты, которые включают следующие мероприятия:

– расселение домов (57 зданий);
– шумозащитное остекление (286 зданий);
– акустические экраны (280 км высотой 4 м и выше).

Кроме того, предполагается использование малошумных высокоскоростных поездов, а также применение специального вибропоглощающего основания путей.

После применения мероприятий шумозащиты вновь строится карта шума (рис. 6). Не ней получены размеры санитарного разрыва для ночного времени после применения шумозащиты, который соответствует изодецибелу 45 дБА, при применении шумозащитного остекления зона санитарного разрыва пройдет по изодецибелу 55 дБА, так как согласно санитарным нормам эквивалентные и максимальные уровни звука в дБА для шума, создаваемого на территории средствами транспорта в 2 м от ограждающих конструкций первого эшелона шумозащитных типов жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий, обращенных в сторону магистральных улиц общегородского и районного значения, допускается принимать на 10 дБА выше.

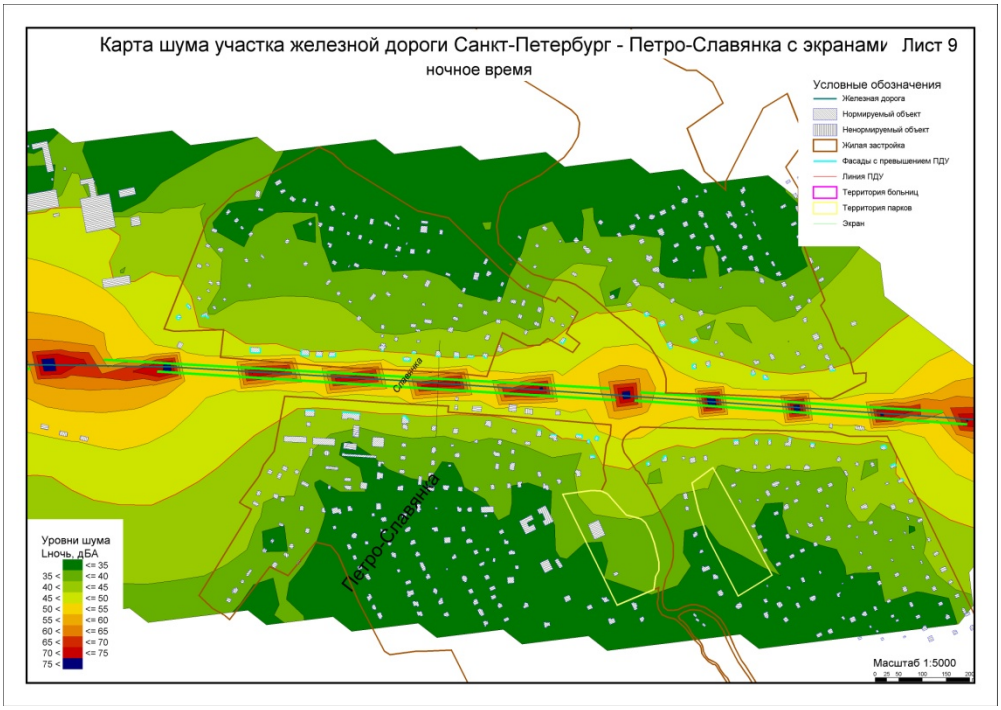


Рис. 6. Карта шума вблизи железной дороги после применения мероприятий шумозащиты

Как показывают расчеты, после применения комплекса шумозащитных экранов и шумозащитного остекления предельно допустимые уровни шума в жилой застройке будут обеспечены, а в зону санитарного разрыва от железной дороги нормируемые объекты не попадут.

Для оценки эффекта экранирования и выбора высоты экрана строятся трехмерные карты шума (рис. 7). Карты позволяют оценить необходимую высоту экрана и определить этажи зданий, которые подлежат шумозащитному остеклению.

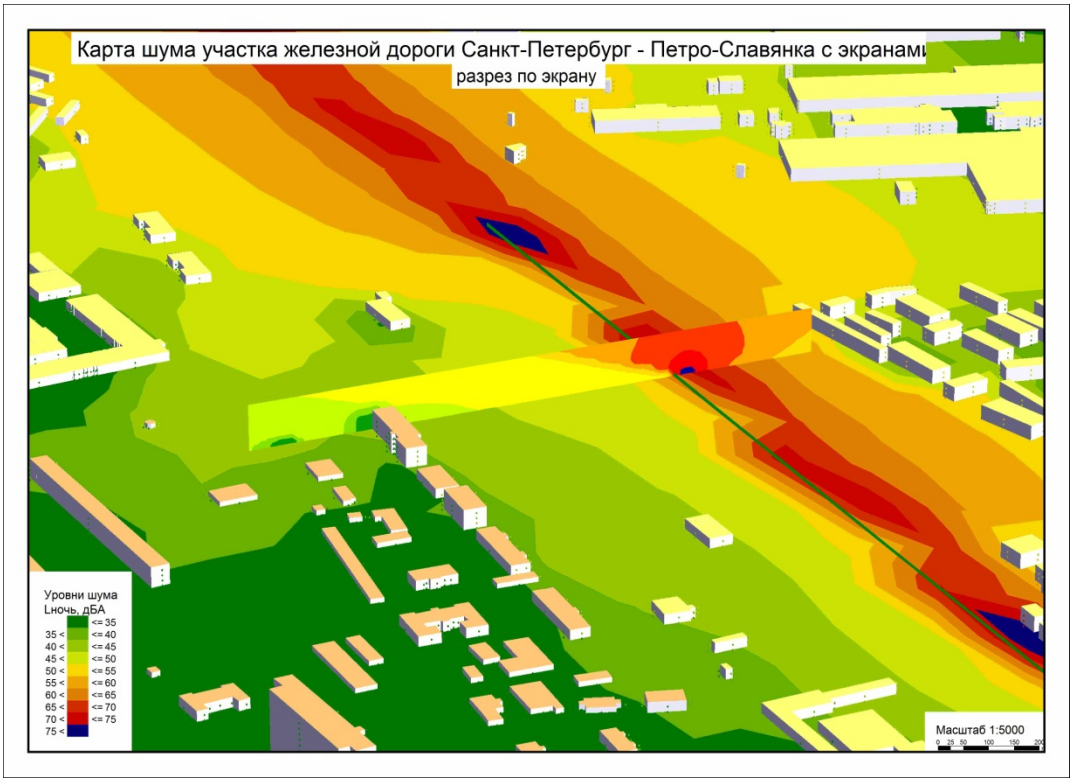


Рис. 7. Трехмерная карта шума железной дороги с учетом акустического экрана

5. Выделение фоновых источников шума

Карты шума позволяют также выработать комплексный подход к назначению шумозащитных мероприятий. Так, например, в городской застройке часты случаи, когда помимо железной дороги на жилую застройку оказывают влияние автомобильные дороги.

Именно для такого случая при помощи программы SoundPLAN была построена карта шума участка железной дороги с учетом фоновых уровней шума (рис. 8 а и б). Для картирования был выбран участок с жилыми зда-

ниями высотой 5-9 этажей, расположенными на расстоянии 50 и более метров от железной дороги.

Разработанная карта шума помогла определить вклад железной дороги в акустическое загрязнение данной территории, а также разработать мероприятия по шумозащите. Поскольку на данном участке высок вклад автотранспортного шума, наиболее целесообразным мероприятием шумозащиты является специальное шумозащитное остекление.

А)

Б)

Рис. 8. Карта шума участка железной дороги: а) с учетом вклада автотранспорта, б) без учета вклада автотранспорта

Разработанные карты шума помогли также выработать решение вопроса об учете фоновых уровней шума. Эксперты сходятся во мнении, что при строительстве или реконструкции железной дороги защищать следует только те дома, на которые она оказывает влияние, но при оценке требуемой звукоизоляции учитывать фоновые уровни шума, создаваемые прилегающими автомобильными дорогами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Железнодорожный транспорт является одним из основных источников шума в жилой застройке. Шум поезда складывается из шума качения, шума двигателя и аэродинамического шума. Российские поезда на 7-10 дБА более шумные, чем западные. Для расчета железнодорожного шума российских дорог более целесообразно использовать расчетные методы, адаптированные к российским условиям. Карта шума является важным инструментом, помогающим оценить уровни шума и разработать мероприятия шумозащиты. Мероприятия по снижению шума железных дорог включают расселение, шумозащитное остекление, установку акустических экранов и применение вибропоглощающего основания путей. При выборе шумоза-

щитных мероприятий необходимо оценивать фоновые уровни шума в жилой застройке.

Литература

1. М.В. Буторина. Оценка уровней шума железнодорожного транспорта, Труды конгресса ELPIT, Тольятти, 2007.

2. Буторина М.В. Составление карт шума территории Санкт-Петербурга, Известия Самарского научного центра РАН, 2007.

3. Буторина М.В., Иванов Н.И., Куклин Д.А. Распространение шума поездов в окружающей среде. Труды конгресса ELPIT, Тольятти, 2009.

4. Иванов Н.И., Прокудин И.В., Дариенко И.Н., Куклин Д.А., Буторина М.В., Тюрина Н.В. Проблема снижения шума и вибрации поездов. Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», СПб, 17-19 марта, 2009 с. 9-35.

5. Иванов Н.И., Куклин Д.А. Проблема шума железнодорожного транспорта и пути ее решения. Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», СПб, 22-24 марта, 2011 стр. 108-123.

Экологические, производственные и медицинские аспекты инфразвука

Зинкин В.Н.[1], Ахметзянов И.М. [2]
[1]Научно-исследовательский испытательный центр (авиакосмическая медицина и военная эргономика) ЦНИИ МО РФ, г. Москва
[2]ООО «Инновационный Центр «Эдиция», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: инфразвук, вредный фактор, заболевания

Введение

Инфразвук (ИЗ) относится к вредным и опасным производственным факторам, длительное воздействие которых может приводить к профессиональным заболеваниям, таким как двусторонняя нейросенсорная тугоухость, вестибулярный синдром и выраженные расстройства вегетативной нервной системы [1]. Признание этого факта официальной медициной – большой шаг вперед в медицине труда, который стал возможен в результате широкомасштабных лабораторных и клинических исследований, проведенных в нашей стране.

Несмотря на то, что физические характеристики ИЗ хорошо и давно изучены акустиками, гигиенисты и профпатологи длительное время были ограничены в своих исследованиях отсутствием надежной и доступной измерительной аппараты. Поэтому история изучения ИЗ как фактора окружающей и производственной среды относительно непродолжительная – например, в нашей стране первые научные публикации на эту тему появились лишь в 70-х годах XX века. Наиболее значимые фундаментальные медико-биологические исследования были проведены в научных учреждениях Санкт-Петербурга (Ленинградский санитарно-гигиенический медицинский институт им. И.И. Мечникова, Институт инженеров железнодорожного транспорта, Военно-медицинская академии им. С.М. Кирова), Москвы (НИИ медицины труда РАМН, Федеральный медицинский биофизический центр им А.И.Бурназяна) и Воронежа (Государственный медицинский институт им. Н.Н. Бурденко), что позволило сформировать концепцию об ИЗ как вредном производственном факторе. Большой вклад в изучение медико-биологического действия ИЗ внесли такие ученые, как Е.Ц. Андреева-Галанина, Н.И. Карпова, Г.А. Суворов, В.И. Свидовый, Д.В. Гусаров и др.

Физические характеристики

В зависимости от частоты акустические колебания подразделяют на инфразвуковые, звуковые и ультразвуковые. Данная классификация носит несколько условный характер, так как в ее основе лежит субъективное восприятие ухом человека акустических колебаний.

Под ИЗ принято понимать акустические колебания с частотой ниже 16—20 Гц. Считается, что акустические колебания в этом частотном диапазоне человек не способен воспринимать (слышать) как звук.

К физическим особенностям ИЗ относят большую длину волны и малое поглощение в атмосфере, и обусловленную этим способность ИЗ распространяется на большие расстояния от источника без значительной потери энергии. Из-за этого борьба с ИЗ на производстве с помощью традиционных методов защиты от шума затруднена и мало эффективна.

Экологические аспекты инфразвука

Естественными источниками ИЗ являются ураганы и штормы, грозы, извержения вулканов, сейсмические и другие природные явления [2]. Уровни ИЗ в окружающей среде могут составлять вблизи водопадов 100…120 дБ, при извержении вулкана и землетрясениях – 150…160 дБ, штормах в море – 140—145 дБ. Инфразвуковым колебаниям частотой 5…7 Гц, являющимся предвестниками морских штормов, дано образное название «голос моря» [3].

Низкая частота колебаний и большая длина инфразвуковых волн (в воздухе — от 17 м до 34 км, в воде – от 75 м до 150 км, по поверхности земли – от 150 м до 300 км) обусловливают легкость их распространения на очень большие расстояния с незначительной потерей энергии. Ослабление инфразвуковых волн в атмосфере не превышает 0,1 дБ/км в дополнение к общему для всех волн снижению уровня на 6 дБ с удвоением расстояния [4].

Способность таких волн преодолевать огромные расстояния в атмосфере и водной среде имеет большое значение для живой природы, поскольку различные виды животных (голуби, киты, слоны, жирафы, тигры, носороги и др.) используют ИЗ в качестве средства биокоммуникации [5, 6, 7].

Это же свойство обусловливает неблагоприятное действие инфразвуковых колебаний от техногенных источников на фауну, обитающую на больших территориях (акваториях). Несмотря на некоторое привыкание животных к техногенным источникам шума и ИЗ, отмечается нарушение

их физиологических, поведенческих и репродуктивных функций, в том числе сокращение времени питания животных [8].

Между тем в последние годы отмечается увеличение количества и мощности антропогенных источников ИЗ, к которым можно отнести наземный, воздушный и водный транспорт, шахтные вентиляторы, газо- и нефтепроводы [9]. В частности, пользующаяся государственной поддержкой во многих странах кампания по внедрению ветряных электрогенераторов столкнулась с неожиданной проблемой отказа населения приобретать жилье рядом с такими, казалось бы, экологически чистыми, источниками электроэнергии. Причиной этого является развитие у лиц, проживающих в радиусе до 2 км от ветроэлектрических установок, заболевания, описанного в зарубежной литературе как «синдром ветряных генераторов» (*wind turbine syndrome, WTS*) [10]. Люди, страдающие этим заболеванием, предъявляют жалобы на нарушение сна, головную боль, шум в ушах, головокружение, тошноту, тахикардию, раздражительность, проблемы с концентрацией внимания и памятью, вибрацию грудной и брюшной стенок, что может быть причиной необоснованного чувства страха, и др. Как будет показано ниже, эти жалобы соответствуют клинической картине инфразвуковой патологии.

В некоторых районах Мирового океана уровень шума каждые 10 лет увеличивается в среднем на 3 дБ [11]. Анализ спектральных характеристик шумов, зарегистрированных в водной среде и действующих непосредственно на обитателей моря, показывает, что существуют серьезные различия в спектре шума в зависимости от водоизмещения судна. Для траулеров, балкеров и танкеров максимум спектра отмечается на низких частотах (60—100 Гц) при диапазоне частот от 50 Гц до 1 кГц, а супертанкеры создают в воде интенсивный ИЗ с максимум на частоте 6,8 Гц [12]. Шельфовые платформы, осуществляющие добычу углеводородного топлива, генерируют широкополосный звук в диапазоне частот от 10 до 10 000 Гц уровнем 130—180 дБ (на расстоянии 1 м) [13].

Между тем акустические колебания, в том числе в низкочастотном диапазоне, играют большую роль в коммуникации морских животных, многие представители океанической биоты используют звуки при ориентации и поиске пищи. Поэтому интенсивный шум и ИЗ от судов и добычных платформ, распространяющийся на большие расстояния, может оказать отрицательное влияние на морскую фауну, привести к нарушению экологического баланса в акваториях, изменению путей миграции морских животных и промысловой рыбы. Это чревато, к тому же, серьезным экономическим ущербом. Данные обстоятельства послужили основанием для стран-участниц Боннской Конвенции по сохранению мигрирующих видов диких животных (*The Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild*

Animals) идентифицировать океанский техногенный шум как потенциальную угрозу морской флоре и фауне [14].

Экологические аспекты воздействия акустических колебаний, в том числе и ИЗ, на окружающую природную среду исследовались, в основном, в связи с учебно-боевой деятельностью войск, расширением сети автомагистралей, увеличением аэропортов и скорости полетов самолетов (звуковой удар). Тем не менее, влияние шумового загрязнения на фауну при многих экологически опасных видах производственной деятельности, в том числе при транспортировке и добыче углеводородного сырья в водной среде, изучено недостаточно. Во многом именно этим объясняется отсутствие федеральных экологических нормативов и стандартов допустимого акустического загрязнения окружающей среды. Между тем снижение уровней шума и ИЗ, возникающих при эксплуатации крупных и протяженных технологических объектов, до природных (фоновых) значений следует рассматривать как одно из важных направлений природоохранной деятельности.

Таким образом, новая проблема акустического, а точнее – инфразвукового загрязнения окружающей среды выходит в число приоритетных экологических проблем.

Производственные аспекты

Источники. Шум, создаваемый при работе современного производственного оборудования, эксплуатации техники и транспортных средств, представляет собой акустические колебания с широким частотным спектром – от инфразвукового до ультразвукового диапазонов.

Использование в производственной деятельности разнообразных механизмов и машин, увеличение их мощности и габаритов привело к изменению в худшую сторону акустической обстановки на рабочих местах. Прослеживается четкая тенденция увеличения вклада низкочастотных составляющих, в том числе ИЗ, в спектр производственного шума. Производственный ИЗ генерируется при циклическом перемещении больших поверхностей, при ударном возбуждении конструкций, возвратно-поступательном и вращательном движении больших масс с повторением циклов не более 20 в секунду, при быстром перемещении больших объемов жидкости и воздуха. В «чистом» виде в производственной среде ИЗ не встречается, как правило, его «спутниками» являются высокоинтенсивный шум и общая вибрация.

Спектры большинства производственных шумов содержат низкочастотные и инфразвуковые составляющие высоких уровней. Результаты измерений на производстве показывают, что если уровни воздушного шума составляют около 90—100 дБА, то можно ожидать присутствие ИЗ с уровнем звукового давления (УЗД) 100—107 дБ [15–17].

Установлено присутствие ИЗ в спектрах производственных и транспортных шумов. Измерения на предприятиях металлургической промышленности вблизи доменных и сталеплавильных печей показали наличие ИЗ с УЗД 115—118 дБ на частотах 6—12 Гц. Воздушные и поршневые компрессоры в угольной, газо- и нефтедобывающей промышленности являются источником ИЗ с УЗД от 92 до 123 дБ в октавных полосах 8—16 Гц. В спектре шумов виброплощадок с высокой грузоподъемностью УЗД в октавных полосах 2—16 Гц составляют около 100 дБ. Максимальные УЗД в октавах 4—32 Гц при работе вентиляционных установок и систем кондиционирования воздуха составляют 98—100 дБ [15].

Мощными источниками ИЗ являются реактивные двигатели ракет и самолетов. При запуске ракет некоторых типов наибольшие уровни звукового давления (150 дБ и более) определяются на частотах 10—12,5 Гц. При взлете турбореактивных самолетов типа ТУ-154 при общем шуме в салонах около 100 дБА уровни ИЗ составляют 80 дБ на частоте 4 Гц и 90 дБ на частоте 20 Гц. В кабинах вертолетов наибольшие УЗД составляют 110—120 дБ на частоте 28 Гц, что соответствует частоте вращения лопастей винта. При обслуживании летательных аппаратов с работающими основными и вспомогательными двигателями и наземным оборудованием авиационные специалисты подвергаются действию ИЗ с УЗД 100—120 дБ в октавных полосах от 2 до 31,5 Гц [18].

Наземные средства транспорта также являются значимыми источниками ИЗ. Так, акустические колебания с уровнем до 100 дБ в диапазоне 9—16 Гц являются характерными для кабин большинства автомобилей, особенно тяжелых грузовых автомобилей и автобусов. При полностью открытых окнах отмечается повышение уровней звукового давления до 110—120 дБ на частотах 2—6 Гц [17].

К типичным факторам труда на железнодорожном транспорте также относится ИЗ. Источником его являются силовые установки тепловозов и электровозов, компрессорные и вентиляционные установки, аэродинамические потоки на высоких скоростях. Наличие открытых окон ухудшает акустическую обстановку. В наиболее неблагоприятных условиях находятся локомотивные бригады, на рабочих местах которых ИЗ достигает УЗД от 100 до 120 дБ [15].

Источниками ИЗ на морских и речных судах являются энергетические установки, дизель-генераторы, гребные винты, системы судовой вентиляции и кондиционирования воздуха и др. Металлические корпусные конструкции обладают большой звукопроводимостью, поэтому шум хорошо распространяется по всем помещениям. В энергетических отделениях судов отмечается шум уровнем до 100 дБА, что, как правило, выше на 30—40 дБ, чем в других обитаемых помещениях. На судах на подводных

крыльях и воздушной подушке УЗД в области 6—10 Гц достигают 100—130 дБ [19].

Средства измерения. Для ориентировочной оценки выраженности ИЗ используют общий уровень звука (УЗ), измеренный по шкале «Лин» ($L_{Лин}$), и экспресс-показатель (Δ) – разность уровней звука, измеренных по шкалам «Лин» и «А» (LA), т.е. $\Delta = L_{Лин} - L_A$. Чем больше разность, тем весомее вклад низкочастотных и инфразвуковых составляющих в спектре исследуемого шума. При значениях показателя от 6 до 10 дБ считают, что имеются признаки наличия инфразвука, при 11–20 дБ – ИЗ умеренно выражен; 21–30 дБ – выражен; более 30 дБ – значительный ИЗ.

Из образцов отечественной аппаратуры для измерения инфразвука рекомендуется использовать такие шумомеры, как ВШВ-003-М3 и «Октава-110А», имеющие частотную характеристику от 2 Гц (таблица 1).

Таблица 1

Аппаратура, используемая для измерения инфразвука*

Название прибора	**Модель**	**Изготовитель**
Анализатор шума и вибрации	Ассистент	НТМ-Защита (Россия)
Шумомер интегрирующий – виброметр	ШИ-01В	
Измеритель шума и вибрации	ВШВ-003-М3	«Измеритель» (Россия)
Шумомер, анализатор спектра, виброметр портативный	Октава-110А, Октава-101АМ	ПКФ «Цифровые приборы» (Россия)
Измеритель акустический многофункциональный	Экофизика	
Шумомер, анализатор спектра, виброметр	Алгоритм-03	Svantek Sp. z o. o. (Польша)
Шумомер, анализатор спектра	2250	Brűel & Kjær (Дания)
Комплект акустической аппаратуры	Микрофоны 40AF, 40AC, 40BF (микрофоны поля), 40AP, 40AG, 40AO (микрофоны давления), 40AR, 40AN, 40AQ, 40EN (специальные микрофоны) с блоком питания 12AB, 12AD, 12AL	G.R.A.S. (Дания)

* Все приборы включены в «Государственный реестр средств измерений допущенных к использованию в Российской Федерации».

Следует подчеркнуть, что при измерениях низкочастотных составляющих с помощью шумомера ВШВ-003-М3 могут возникнуть флуктуации (колебания) стрелки измерителя. Тогда следует перевести переключатель «РОД РАБОТЫ» из положения «F» в положение «S».

Допускается использование шумомеров, имеющих частотную характеристику от 5 Гц и выше, вводя поправку к показаниям в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2 и 4 Гц. Для репрезентативного частотного анализа ИЗ время реализации одного измерения должно быть не менее 160 с при измерении на частоте 2 Гц, 80 с – на 4 Гц, 40 с – на 8 Гц и 20 с – на частоте 16 Гц.

Дополнительно могут применяться самописцы уровней, цифровые самописцы, анализаторы в реальном масштабе времени и др. При определении эквивалентных уровней непостоянного инфразвука допускается использовать систему из шумомера и измерительного магнитофона с последующей обработкой сигналов на анализаторах, имеющих линейную частотную характеристику от 2 Гц и выше. При использовании фильтров с более узкими полосами частот полученные уровни в этих полосах должны быть пересчитаны в октавные уровни. При определении эквивалентных уровней ИЗ дополнительно применяют интегрирующий шумомер или дозиметр шума.

Гигиеническое нормирование. Под гигиеническим нормативом понимают установленные исследованиями количественные и качественные значения показателей, характеризующих факторы окружающей среды с позиций их безопасного влияния на здоровье человека. При регламентации ИЗ определяют предельно допустимые уровни (ПДУ) на рабочих местах, допустимые уровни в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки.

На основании обобщенных результатов полученных данных о механизмах биологического действия ИЗ на организм в 1996 году были приняты санитарные нормы [20], в соответствии с которыми регламентируется инфразвуковое воздействие на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки.

По характеру спектра ИЗ подразделяют на широкополосный (в случае превышения ширины частотного спектра одной октавы) и тональный, в спектре которого имеются дискретные составляющие, превышающие уровни в других полосах не менее чем на 10 дБ. По временным характеристикам различают инфразвук постоянный, УЗД которого изменяется в течение 1 мин не более чем на 10 дБ (при измерении по шкале «Лин»), и непостоянный, УЗД которого изменяется более чем на 10 дБ при тех же условиях.

Нормируемыми характеристиками постоянного ИЗ являются УЗД в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 6 и 16 Гц, а непостоянного – эквивалентные по энергии УЗД в октавных полосах и эквивалентный общий УЗД. Последний может быть установлен при непосредственном инструментальном измерении или путем расчета по измеренному уровню и продолжительности в соответствии с таблицей поправок. При гигиенической оценке шумов, спектр которых охватывает инфразвуковой и слышимый диапазоны, также необходимо осуществлять измерение и оценку ИЗ [20, 21].

ПДУ ИЗ на рабочих местах, дифференцированные для различных видов работ, а также допустимые уровни в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки приведены в таблице 2.

ПДУ колеблющегося во времени и прерывистого ИЗ составляют 120 дБ Лин.

Считается, что воздействие ИЗ при уровнях, не превышающих ПДУ, не приводит к развитию специфических и неспецифических заболеваний или отклонению в состоянии здоровья в процессе работы (до 40 лет стажа) или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Таблица 2

Предельно допустимые уровни ИЗ

№ п/п	Назначение помещений	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами (Гц)				Общий уровень звукового давления (дБ Лин)
		2	4	8	16	
1.	Работа с различной степенью тяжести и напряженности трудового процесса в производственных помещениях и на территории предприятий:					
	- работа различной степени тяжести;	100	95	90	85	100
	- работа различной степени интеллектуально- эмоциональной напряженности	95	90	85	80	95
2.	Территория жилой застройки	90	85	80	75	90

№ п/п	Назначение помещений	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами (Гц)				Общий уровень звукового давления (дБ Лин)
		2	4	8	16	
3.	Помещения жилых и общественных зданий	75	70	65	60	75
4.	Международный рекомендуемый нормативный уровень для селитебных территорий 85 дБG	113	101	89	77	114

ПДУ устанавливают для рабочих мест, при этом оговаривается, что рабочее время не превышает 40 ч в неделю, имеются выходные дни, и не гарантируется безопасность сверхчувствительных к шуму лиц. Допустимый уровень акустических колебаний – это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений функционального состояния организма. Такие нормативы разрабатываются для жилых помещений и зон жилой застройки.

Из приведенных определений видно, что при разработке гигиенических нормативов ведущая роль принадлежит выбору критериев нормирования, т.е. адекватных действующему фактору реакций организма. Для иллюстрации можно сравнить отечественные нормативы с рекомендуемым европейскими исследователями нормативным уровнем ИЗ для зоны жилой застройки (п. 4 таблицы 2), измеренным в соответствии с международным стандартом [22]. Частотная коррекция G, введенная стандартом ISO 7196 для интегральной оценки ИЗ, учитывает, в основном, прямое (слышимое) восприятие ИЗ. Между тем характер частотной зависимости (коррекции), используемой в отечественных санитарных нормах, учитывает и непрямое действие ИЗ, поэтому существенно отличается от характеристики G. Наклон кривой, характеризующей уменьшение весомости частот при сдвиге от 16 Гц до 2 Гц, в санитарных нормах [20] составляет 5 дБ на октаву, а в международном стандарте – 12 дБ на октаву. Еще более крутой наклон кривой частотного взвешивания в низкочастотной области предложен немецким стандартом «Измерение и оценка низкочастотного шума на местности» – более 20 дБ на октаву [23].

Приведенные примеры наглядно демонстрируют, насколько далеки гигиенисты от завершения исследований по обоснованию значений взвешивающих коэффициентов, позволяющих прогнозировать равный биоло-

гический эффект при воздействии низкочастотных акустических и инфразвуковых колебаний разных частот и уровней [24].

Условия труда. Условия труда – это совокупность факторов трудового процесса (тяжесть и напряженность труда) и рабочей среды (физические, химические и биологические факторы), в которой осуществляется деятельность человека. Классификация условий труда основана на принципе градации отклонения параметров этих факторов от действующих гигиенических нормативов (см. таблицу 2). В соответствии с Руководством 2.2.2006-05 [25] выделяют 4 класса условий труда: оптимальные, допустимые, вредные и опасные, градации которых применительно к ИЗ представлены в табл. 3.

Таблица 3

Классы условий труда в зависимости от превышения ПДУ ИЗ на рабочем месте, дБ (включительно)

Показатель, единица измерения	Классы условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Общий УЗД, дБ Лин	≤ ПДУ	5	10	15	20	>20

При воздействии на работников постоянного ИЗ оценка условий труда проводится по результатам измерения уровней ИЗ по шкале шумомера «Лин» (в дБ Лин), при непостоянном ИЗ – эквивалентного (по энергии) общего УЗД (также в дБ Лин).

Порядок аттестации рабочих мест по условиям труда. Порядок аттестации рабочих мест по условиям труда при воздействии ИЗ должен проводиться в соответствии с приказом Минздравсоцразвития № 342н от 26.04.2011 г. [26].

Цель аттестации состоит в том, чтобы дать оценку соответствия условий труда государственным нормативным требованиям охраны труда, которая включает в себя:

– оценку соответствия условий труда гигиеническим нормативам;

– оценку травмоопасности рабочих мест;

– оценку обеспеченности работников специальной одеждой, специальной обувью и другими СИЗ;

– комплексную оценку состояния условий труда на рабочем месте.

Оценку обеспеченности работников СИЗ следует проводить после гигиенической оценки условий труда и травмоопасности рабочего места путем сопоставления фактически выданных средств с нормами бесплатной выдачи и проверкой соблюдения установленного порядка [27] и правил обеспечения СИЗ (наличие личной карточки учета). Одновременно произ-

водится оценка соответствия выданных СИЗ фактическому состоянию условий труда на рабочем месте и проверка наличия сертификата соответствия при условии включения СИЗ в единые перечни продукции, подлежащей обязательной сертификации [28].

Для организации и проведения аттестации создается аттестационная комиссия, в состав которой включаются представители работодателя, специалист по охране труда, представители от первичной профсоюзной организации или иного представительного органа работников, представители аттестующей организации. Аттестации подлежат все рабочие места.

Сроки проведения аттестации устанавливаются работодателем исходя из того, что каждое рабочее место должно аттестовываться не реже одного раза в пять лет. Предусмотрено проведение внеплановой аттестации.

Результаты работы аттестационной комиссии оформляются в виде отчета об аттестации.

Медицинские аспекты

Механические колебания (вибрация, звук, инфразвук, ультразвук) являются постоянно действующими экологическими физическими факторами и неизбежными спутниками научно-технического прогресса . В условиях этих природных физических явлений шла эволюция жизни на нашей планете, поэтому механические колебания необходимо рассматривать как составную часть жизни. Доказательством является наличие механорецепторной системы, появившейся в процессе эволюции в живых организмах. Механические колебания могут вызывать двоякую реакцию: биологически полезную и вредную. Однако чаще они служат сигналом опасности, так как могут стать причиной неблагоприятного действия на организм вплоть до гибели его. Близкая физическая природа и биологическая значимость механических колебаний и хорошая теоретическая обоснованность механизмов действия на организм шума, вибрации, ударных волн и ультразвука является основанием для экстраполяции общих положений механизма их действия и на ИЗ [16, 17].

В настоящее время существует нескольких патогенетических механизмов действия ИЗ на организм человека [15, 16, 19]. По аналогии с шумом наиболее часто приводят факты в поддержку нервно-рефлекторного действия ИЗ. Важное место здесь отводится слуховому пути восприятия. Долгое время существовало мнение, что акустические колебания в инфразвуковой части спектра лежат за пределами слухового восприятия. Тем не менее, установлено, что они воспринимаются не как чистые тоны, а как сочетание слуховых и тактильных ощущений, что проявляется чувством пульсации в области барабанной перепонки и среднего уха. Установлены пороги слышимости ИЗ: для 100 Гц они составляет около 40 дБ, а для 1 Гц – 140 дБ. Длительное действие низкочастотного шума и ИЗ приводит к

увеличению порога слышимости преимущественно в диапазонах низких и средних частот. Учитывая, что максимум речевых частот находится в этих областях, эти нарушения являются прогностически неблагоприятными в социальном плане.

Близкое анатомическое расположение вестибулярного аппарата к органу слуха является причиной того, что при воздействии ИЗ отмечается головокружение, тошнота, нарушение равновесия, а также снижение статокинетической устойчивости, сочетающееся с нистагмом. Объяснить это можно тем, что низкочастотные изменения давления перилимфы улитки являются причиной смещения жидкости в полукружных каналах, вызывая механическую стимуляцию рецепторов полукружных каналов.

По аналогии с шумом высокой интенсивности и вибрацией в восприятии ИЗ существенную роль отводится механорецепторам. Воздействие ИЗ на слуховой и вестибулярный анализаторы, а также механорецепторы сопровождается возникновением нервной импульсации, которая поступает в различные отделы головного мозга, приводя к нарушению корково-подкорковых взаимоотношений и активации ретикулярной формации, таламических отделов головного мозга и центров вегетативной регуляции. В результате гормональной перестройки в ответ на воздействие ИЗ в организме может происходить изменение белкового метаболизма, окислительно-восстановительных процессов, соотношения биологически активных веществ. Общее и местное действие катехоламинов, серотонина и гистамина приводит к нарушению гемодинамики и микроциркуляции в органах и тканях.

Широкое распространение в свое время получила резонансная теория действия ИЗ, первоначально нашедшая свое применение при патогенетическом обосновании механизмов действия общей вибрации. «Резонансный эффект» основан на совпадении частот ИЗ с собственной частотой колебаний некоторых органов человека. Наиболее неблагоприятными считаются колебания с частотой от 2 до 15 Гц, при действии которых у испытуемых отмечено наибольшее число неприятных субъективных ощущений за счет «резонансных» колебаний внутренних органов (желудка, печени, сердца, легких). При воздействии на человека динамической механической силы тело его необходимо рассматривать как механическую трансмиссивную систему, что сопровождается смещением различных частей тела, органов и деформацией их. Это напряжение трансформируется в энергию биоэлектрических или биомеханических процессов, вызывая усиление афферентной импульсации из-за механической стимуляции механо-, интеро- и проприорецепторов, а также болевых рецепторов.

Повреждающее действие ИЗ объясняют прямым действием его на органы и ткани в результате высокой проводимостью акустических волн через тело. Известно, что при распространении звуковых волн в среде

возникают феномены сжатия и разряжения с той же частотой, которые образуют переменное давление, действующее на объект (структуру) со всех сторон. Компрессионно-декомпрессионный эффект приводит к нарушению департментализации (пространственной разобщенности) биологических структур разного уровня, приводя к конформационным изменениям на уровне клеточных и субклеточных структур. Надо учитывать, что данный феномен зависит от таких факторов как гетерогенность объекта, анизотропия, разнообразия геометрические параметры, наличие множества релаксационных процессов различной физической природы.

Патофизиологические эффекты, возникающие при воздействии ИЗ на организм, принято рассматривать в двух аспектах – информационном и энергетическом. В первом случае вредное действие фактора объясняют нервно–рефлекторным воздействием. Результатом информационного воздействия НЧАК являются вегетативные реакции, повышение частота сердечных сокращений и артериального давления и т.п.. Эти эффекты обычно появляются при уровнях, не превышающих 90–100 дБ, то есть соответствуют порогу воздействия на слуховые и механические рецепторы. Энергетический эффект обычно связывают с прямым действием высоких уровней ИЗ (свыше 100 дБ) на органы и ткани за счет силовых и амплитудных характеристик прохождения акустических волн.

Кроме того, при рассмотрении клинических проявлений ИЗ используется такое понятие как кохлеарное (слуховое) и экстракохлеарное (внеслуховое) действие на организм человека. К кохлерным эффектам принято относить симптомы, которые связаны с воздействием ИЗ на орган слуха и вестибулярный анализатор. Все остальные неблагоприятные проявления действия ИЗ, как правило, объясняют экстракохлерным действием на организм человека.

Жалобы, предъявляемые лицами при воздействии ИЗ, связаны с воздействием:

– на слуховой анализатор (звон в ушах, чувство заложенности, давления, пульсации и боли в ушах);

– на вестибулярный анализатор (тошнота, головокружение, нарушение равновесия);

– на центральную и вегетативную нервную системы (усталость, общее недомогание, раздражительность, тревога, сонливость и нарушения сна, проблемы с концентрацией внимания и памятью, необоснованное чувство страха, головная боль, головокружение, снижение аппетита, тахикардия, колебание артериального давления);

– на органы и ткани (вибрация грудной и брюшной стенок, мягкого неба, внутренних органов, затруднение дыхания).

Несомненно, что на рабочих местах в реальных ситуациях (на предприятиях, в транспорте, на селитебной территории), работающие не под-

вергаются воздействию «чистого» ИЗ. Как правило, для акустической обстановки на производстве характерно наличие широкополосных акустических колебаний с инфразвуковой составляющей. Сочетанное действие шума и ИЗ вызывает у работающих заболевания, характерные как для шума, так для ИЗ, а слуховой анализатор, сердечно-сосудистую и нервную систему следует рассматривать в качестве ведущих критических систем и органов. Патологическим проявлением сочетанного шумо-инфразвукового воздействия со стороны целостного организма является акустический синдром в виде нейросенсорной тугоухости, артериальной гипертензии и дисциркуляторной энцефалопатии [29].

К настоящему времени в нашей стране сформировалось четкое понимание того, что длительное инфразвуковое воздействие может привести к развитию в организме профессионально обусловленных патологических морфофункциональных изменений. Эта позиция нашла отражение в новом «Перечне профессиональных заболеваний» [30], в п. 2.4.2 раздела II которого указаны заболевания, связанные с воздействием ИЗ: нейросенсорная тугоухость двусторонняя, вестибулярный синдром, выраженные расстройства вегетативной (автономной) нервной системы. В соответствии с международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем десятого пересмотра (МКБ-10) инфразвуковой патологии соответствует код заболевания Т75.8 (Другие уточненные эффекты воздействия внешних причин) и код внешней причины Y96 (Факторы, имеющие отношение к работе) [31].

Кроме того, в настоящее время имеются сведения, которые расширяют представление о неблагоприятном действии ИЗ на человека в производственных условия, но они пока не нашли отображения в перечне профессиональных заболеваний. Установлено, что длительное действие ИЗ приводит к структурным повреждениям паренхимы и нарушению воздушности легких, ухудшению проходимости бронхов и метаболической функции легких, поэтому органы дыхания необходимо рассматривать в качестве критического органа [32].

Некоторые авторы на основании полученных собственных данных о неблагоприятном действии НЧАК на человека предложили использовать термин «виброакустическая болезнь», ведущее место в патогенезе которой они отводят повреждению органов дыхания [33].

В РФ создана система медицинского обеспечения лиц, подвергающихся воздействию на рабочих местах воздействию вредных факторов. Основные положения ее регламентированы приказом Минздравсоцразвития РФ № 302н от 12.04.2011 г. [1]. Основой комплекса медицинских мероприятий являются проведение предварительных медицинских осмотров (обследований) при приеме на работу и периодических медицинских осмотров. Пунктом 3.7 раздела 3 Приложения № 1 ИЗ предусмотрено прохо-

ждение лицами, подвергающихся воздействию ИЗ на производстве, периодических медосмотров 1 раз в два года с обязательным участием врача оториноларинголога и невролога, проведением лабораторных исследований слухового и вестибулярного анализаторов. Здесь же приведены дополнительные медицинские противопоказания для работы в подобных условиях. При этом основной целью профилактических мероприятий является определение состояния здоровья и выявление заболеваний, препятствующих работе с источниками ИЗ. По показаниям проводится обследование и проведение экспертизы связи заболевания с профессией в условиях специализированной уполномоченной медицинской организации.

Для определения степени нарушения здоровья у работающих на различных видах производств широко используют методы установления профессионального риска: априорный (по гигиеническим критериям согласно руководству Р 2.2.2006-05) и апостериорный (по медико-биологическим критериям – показателям здоровья в соответствии с руководством Р 2.2.1766-03). Данные периодических медосмотров можно использовать для расчета статистических показателей профессионального риска в соответствии с рекомендациями [34].

Для подтверждения вышеизложенного ниже приводятся результаты анализа заболеваемости инженерно-технического состава авиации (ИТС). На ИТС, обслуживающего летательные аппараты, воздействует комплекс вредных производственных факторов – физические (шум, ИЗ, микроклимат), химические (керосин) и факторы трудового процесса (тяжесть и напряженность труда). Степень отклонения фактических значений факторов рабочей среды и трудового процесса от гигиенических нормативов условий труда (по степени вредности и опасности) находится в диапазоне от допустимой до опасной. Среди вредных производственных факторов на рабочих мест ИТС шум и ИЗ имеют наибольшую степень отклонения фактических уровней от нормативных величин, которая соответствует вредному или опасному классам в зависимости от типа ЛА (таблица 4).

Таблица 4

Усредненные характеристики акустических колебаний на рабочих местах ИТС при обеспечении полетов

Показатели	Тип летательных аппаратов				
	Дальняя авиации	Бомбардировщики	Истребители	Транспортная авиация	Вертолеты
Эквивалентный общий УЗД, дБ Лин	95	97	106	101	102

Показатели	Тип летательных аппаратов				
	Даль-няя авиации	Бомбар-ди-ровщики	Истребите-ли	Транспорт-ная авиация	Вертоле-ты
Класс условий труда	2	2	3.2	3.1	3.1
Эквивалент-ный уровень шума, дБА	129	110	123	120	117
Класс условий труда	4	3.4	4	4	4

Анализ заболеваемости ИТС позволил выявить увеличение общей заболеваемости и заболеваемости по ряду классов болезней, таких как органов слуха, дыхания, органов пищеварения, глаз, кровообращения, нервной системы, кожи и подкожной клетчатки [35].

В таблице 5 представлены показатели, позволяющие дать количественную оценку степени связи заболеваний ИТС с их профессиональной деятельностью.

Самую высокую степень связи с условиями работы ИТС имели болезни уха – «почти полная», что характерно для профессиональных заболеваний. Подтверждают это и результаты углубленного медицинского обследования данной категории авиационных специалистов. НСТ выявлена у 28 % обследуемых, что соответствует категории связи с работой ($К_Р$) 1, а начальные явления НСТ – у 20 % ($К_Р$=2).

Таблица 5

Оценка степени связи заболеваний ИТС, подвергающихся воздействию высокоинтенсивного авиационного шума

Класс болезней	Группа	Показатели риска			
		OR	RR	EF	Степень связи с работой
Болезни нерв-ной системы	ИТС Контрольная	3,1	2,9	65 %	Высокая
Болезни глаз	ИТС Контрольная	1,5	1,5	34 %	Средняя
Болезни уха	ИТС Контрольная	6,1	5,7	82 %	Почти полная

Болезни органов кровообращения	ИТС Контрольная	5,0	4,2	76 %	Очень высокая
Болезни органов дыхания	ИТС Контрольная	1,9	1,4	32 %	Малая
Болезни органов пищеварения	ИТС Контрольная	1,6	1,5	35 %	Средняя
Болезни кожи	ИТС Контрольная	3,6	3,3	69 %	Очень высокая

Примечание: OR - отношение шансов; RR - относительный риск; EF - этиологическая доля [34].

Среди всех заболеваний ИТС болезни органов дыхания имеют «малую» связь с работой, болезни глаз и органов пищеварения – «среднюю», болезни нервной системы – «высокую», болезни органов кровообращения и кожи – «очень высокую». Полученные результаты позволяют утверждать, что перечисленные болезни являются профессионально (производственно) обусловленными.

Следовательно, длительное действие высокоинтенсивного шума и ИЗ на рабочих местах ИТС создает профессиональный риск. Повышенный уровень заболеваемости ИТС является следствием совместного действия высокоинтенсивного шума и ИЗ. В структуре заболеваний преобладают болезни, характерные как для действия шума – болезни органов уха, кровообращения, нервной системы, пищеварения, так и ИЗ – кожи, глаз, болезни органов дыхания [36].

Таким образом, высокие уровни ИЗ оказывают неблагоприятное действие практически на все органы и системы организма человека. В качестве критической системы можно рассматривать ЦНС, ССС, дыхательную, слуховую и вестибулярную систему, а органами-мишенями для данного фактора являются головной мозг, сердце, легкие. Длительное воздействие ИЗ на рабочих местах, превышающего ПДУ, будет способствовать развитию у обслуживающего персонала профессиональной патологии, увеличению производственно обусловленных болезней, хронических заболеваний и уровня общей заболеваемости с временной утратой работоспособности, а значит снижению профессионального долголетия и увеличению экономических потерь на производстве.

Способы и средства защиты

При рассмотрении вопроса о выборе средств и способов защиты от ИЗ необходимо иметь в виду:

– что специализированных средств защиты от ИЗ нет;

– в большинстве случаев в производственных условиях ИЗ сочетается с интенсивным шумом.

Выбор средств защиты от ИЗ следует производить применительно к характеру его спектра и уровня на рабочих местах.

Ведущая роль при организации защиты от ИЗ на рабочем месте по аналогии с шумом должна отводиться архитектурно-планировочным и организационно-техническим мероприятиям, в том числе сокращению продолжительности пребывания в неблагоприятных акустических условиях и предоставление возможности отдыха в малошумном помещении в рабочее время [37].

Для повышения акустической эффективности средств коллективной защиты в области ИЗ и низких частот необходимо соблюдать следующие требования. Средство защиты должно быть массивным, герметичным, овальным. Стенки его должны быть многослойными из материалов, обладающих достаточно высокими звукоотражающими и звукопоглащающими свойствами и расположенных в определенной последовательности.

При выборе средств индивидуальной защиты (СИЗ) от ИЗ надо руководствоваться акустическими параметрами на рабочем месте.

1. При действии ИЗ с уровнем, не превышающим ПДУ, и шума, в спектре которого преобладают средние и высокие частоты выше ПДУ, надо использовать противошумы (наушники, вкладыши и шлем) [38], предназначенные для защиты органа слуха и ориентироваться на уровень шума [39]:

до 100 дБА – наушники или вкладыши;

100—110 дБА – комбинацию наушников с вкладышами;

110—125 дБА – противошумные шлемы.

2. При воздействии ИЗ с уровнями, превышающими ПДУ, и интенсивного шума необходимо обеспечить защиту не только органа слуха, но и других критических органов и систем организма (центральная и вегетативная нервная, сердечно-сосудистая системы, органы дыхания). Это можно достичь с помощью специальных средств индивидуальной защиты (ССИЗ) от шума.

ССИЗ от шума – это новый класс технических средств индивидуальной защиты, предназначенный для защиты человека от экстракохлерного действия ИЗ и низких частот звукового диапазона. К ним нужно относить противошумный шлем, противошумный жилет и противошумный костюм [29].

Проведенные в России в последние годы научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по названным направлениям привели к формулированию новых технических решений, защищенных патентами РФ [40], что позволило разработать экспериментальные образцы наушников, противошумных шлемов и противошумных жилетов, которые сущест-

венно снижают уровень акустической (в том числе инфразвуковой) энергии, воздействующий на человека [18].

Перспективным направлением защиты от ИЗ является использование фармакологических препаратов [19].

Таким образом, на рабочих местах, где уровни ИЗ превышают ПДУ, необходимо в обязательном порядке проведение защитных мероприятий. Это будет способствовать профилактике профессиональной патологии, снижению хронических заболеваний и уровня общей заболеваемости, а значит и уменьшению экономических потерь на производстве.

Заключение

Процесс исследования ИЗ как производственного фактора к настоящему времени далек от завершения. ИЗ обладает широким спектром неблагоприятного действия на организм человека: его «мишенями» являются центральная нервная и вегетативная нервная система, слуховой и вестибулярный анализаторы, органы дыхания и др. При длительном воздействии ИЗ способствует развитию ряда профессиональных заболеваний. Одновременное действие ИЗ и интенсивного шума (именно такая ситуация является типичной для производственных условиях и транспортных средств) приводит к усугублению инфразвуковой патологии, что требует более тщательного наблюдения за лицами, работающими в таких условиях [41]. При общей гигиенической оценке условий труда при сочетании этих двух факторов классов 3.1–3.4, на наш взгляд, следует внести дополнение в руководящие документы [25] и условия труда квалифицировать на одну степень выше.

Защита работников от ИЗ в производственных условиях и на транспорте на сегодняшний день является сложной проблемой. Учитывая, что ИЗ часто сочетается с интенсивным шумом, при выборе СИЗ от акустических колебаний предпочтение надо отдавать эффективным противошумным наушникам, а также использовать их в сочетании с другими типами СИЗ. Перспективным направлением является совершенствование и создание новых образцов противошумных шлемов и научно-практическое обоснование подходов к разработке нового типа ССИЗ от шума – шумозащитной одежды, позволяющей обеспечить существенное снижение уровня шума и ИЗ, непосредственно воздействующего на орган слуха и другие органы-«мишени».

В РФ создана государственная система за оценкой условий труда при наличии вредных и опасных производственных факторов, в том числе и ИЗ, но она требует дальнейшего развития и совершенствования. В течение 2013 года будет разработан проект федерального закона «Об оценке условий труда», направленного на внедрение в нашей стране новой системы

оценки условий труда, основанной на учете рисков здоровью при различных условиях труда (в том числе при использовании СИЗ).

Список литературы

1. Приказ Минздравсоцразвития РФ от 12 апреля 2011 года № 302н «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда».

2. Le Pichon A., Blanc E., Hauchecorne A. Infrasound monitoring for atmospheric studies. – London: Springer, 2009. – 754 p.

3. Шулейкин В.В. Физика моря // Техника – молодежи. – 1937. – Т. 5, № 11—12. – С. 17—20.

4. Leventhall G. A review of published research on low frequency noise and its effects: Report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs. – London: DEFRA, 2003. – 88 p.

5. Schermuly L. Klinke R. Infrasound sensitive neurones in the pigeon cochlear ganglion // Journal of Comparative Physiology A. – 1990. – Vol. 166, N. 3 – P. 355—363.

6. Langbauer W.R. Jr. Elephant communication // Zoo Biology. – 2000. – Vol. 19, N. 5. – P. 425—445.

7. Von Muggenthaler E., Baes C., Hill D. et al. Infrasound and low frequency vocalizations from the giraffe; Helmholtz resonance in biology // Proc. of Riverbanks Consortium on biology and behavior. – 1999. – P. 92—97.

8. Larkin R.P. Effects of military noise on wildlife: a literature review: Final Report to US Army Construction Engineering Research Laboratory. – Champaign, 1994. – 83 p.

9. Krylov V.V. Generation of low-frequency ground vibrations by sound waves propagating in underground gas pipes // Journal of Low Frequency Noise and Vibration. – 1995. – Vol. 14, N. 3. – P. 143—150.

10. Pierpont N. Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment. – Santa-Fe: K-Selected Books, 2009. – 294 p.

11. Minimizing the introduction of incidental noise from commercial shipping operations into the marine environment to reduce potential adverse impacts on marine life: Work programme of the committee and subsidiary bodies / Marine Environment Protection Committee 58/19. – IMO: USA, 2008. – 15 p.

12. Richardson W.J., Greene C.R., Malme C.I. et al. Marine mammals and noise. – San-Diego: Academic Press, 1995. – 576 p.

13. Gales R.S. Effects of noise of offshore oil and gas operations on marine mammals, an introductory assessment: Technical report 844 / Naval Ocean System Center. – San Diego, 1981. – Vol. 1. – 80 p.

14. Report of the sixteenth meeting of the subsidiary body on scientific, technical and technological advice. UNEP/CBD/COP/11/3: Conference of the parties to the Convention on biological diversity eleventh meeting. – Hyderabad: CBD, 2012. – 106 p.

15. Карпова Н.И., Малышев Э.Н. Низкочастотные акустические колебания на производстве. – М.: Медицина, 1981. – 192 с.

16. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Куралесин Н.А. и др. Инфразвук как фактор риска здоровью человека (гигиенические, медико-биологические и патогенетические механизмы). – Воронеж, 1998. – 275 с.

17. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Прокопенко Л.В. Человек и шум. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2001. – 384 с.

18. Солдатов С.К., Богомолов А.В., Зинкин В.Н., Кукушкин Ю.А. Человек и авиационный шума // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 9. – Приложение. – 25 с.

19. Ахметзянов И.М., Гребеньков С.В., Ломов О.П. Шум и инфразвук. Гигиенические аспекты. – СПб.: Бип, 2002. – 100 с.

20. СН 2.2.4/2.1.8.583–96 «Инфразвук на рабочих местах, допустимые уровни в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки».

21. ГОСТ 12.1.003 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

22. ISO 7196:1995. Acoustics – Frequency-Weighting Characteristic for Infrasound Measurements.

23. DIN 45680. Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen.

24. Свидовый В.И., Ахметзянов И.М., Зинкин В.Н. и др. Актуальные вопросы регламентирования акустического воздействия // Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова. – 2008. – № 4. – С. 71—74.

25. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

26. Приказ Минздравсоцразвития РФ от 26.04.2011 г. № 342н «Об утверждении порядка аттестации рабочих мест по условиям труда».

27. Приказ Минздравсоцразвития РФ от 01.06.2009 г. № 290н «Об утверждении Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты».

28. Постановление Правительства РФ от 01.12.2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной серти-

фикации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии».

29. Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М., Драган С.П. и др. Особенности сочетанного действия шума и инфразвука на организм // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 9. – С.2-10.

30. Приказ Минздравсоцразвития РФ от 27.04.2012 г. № 417н «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний».

31. Международная классификация болезней МКБ-10.

32. Зинкин В.Н., Свидовый В.И., АхметзяновИ.М. Неблагоприятное влияние низкочастотных акустических корлебаний на органы дыхания // Профилактическая и клиническая медицина. – 2011. – № 3. – С.280-284.

33. Branco N. Clinical stages of vibroacoustic disease for health professional continuous research // Mat. 12th int. sym. – Lisbon, 2005. – P. 145-151.

34. Методические рекомендации по оценке профессионального риска по данным периодических медицинских осмотров. – М.: Минздравсоцразвития РФ, 2006. – 21 с.

35. Солдатов С.К., Бухтияров И.В., Зинкин В.Н., Свидовый В.И., Палишкина Е.Е. Профессионально обусловленная заболеваемость авиационных специалистов // Медицина труда и промышленная экология. – 2010. – №9. – С.35-40.

36. Свидовый В.И., Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Кукушкин Ю.А. Особенности условий труда и заболеваемости инженерно-технического состава авиации // Вест. Санкт-Петербургской гос. мед. академии. – 2006. - № 2. – С.46-49.

37. ГОСТ 12.1.029–80 «Средства и методы защиты от шума. Классификация».

38. ГОСТ Р 12.4.255–2011 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования. Механические методы испытаний».

39. Зинкин В.Н., Свидовый В.И., Ахметзянов И.М. и др. Обоснование выбора средств защиты для профилактики шумовой патологии у авиационных специалистов // Актуальные проблемы защиты и безопасности / Труды X научно-практической конференции. – СПб., 2007. – Т.6. – С.172-177.

40. Пат. №118189 Рос. Федерация; МПК A61F 11/06. Шумозащитные наушники / Аверьянов А.А., Россельс А.В., Твердохлеб В.А. и др.; ЗАО «Научно-производственное объединение «Динафорс». – №2012111726; заявл.28.03.2012; опубл. 20.07.2012; Бюл. №20. – 3 с.: ил.

41. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М. и др. Авиационный шум: специфические особенности биологического действия и защиты // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2012. – Т.46, № 9. – С.9-16.

Управление реальными организациями (эко-техническими, человеко-машинными)

Ширшов И.В. *DMS, QMS/IRCA*
Институт «СИС», г. Санкт-Петербург,
e-mail: sissystems@mail.ru, shiigor@yandex.ru

Цель моего доклада - обратить внимание на **существенные** изменения, происходящие на рынке, на то, как они влияют на роль, свойства людей и на функционирование реальных организаций, обозначить пути повышения устойчивости организаций и качества жизни **людей.**

Реальные организации – это организации, качество существования которых зависит от природных, человеческих и технических факторов. Очевидно, что если мы исключаем из рассмотрения природу, человека или технику, то тогда мы имеем дело лишь с идеальной организацией, возможно удобной для рассмотрения, но не имеющей места в реальной жизни.

Развитие информационных и коммуникационных технологий, доступность ресурсов, контакты в сетях интернет и с использованием мобильных устройств, миграция населения, развитие транспорта и т.п. – в разы ускорили процессы технического совершенствования, что привело к ускоренному росту количества и разнообразия продукции, потребностей и объёма информации.

Следствие этого – ускоренное насыщение рынка и непредсказуемое падение спроса. В таких условиях любые организации экономически предрасположены (вынуждены):

1) постепенно переходить от массового к мелкосерийному и индивидуальному выпуску продукции (товаров, услуг), для того, чтобы снизить риск от резкого падения цен и отсутствия спроса;

2) повышать качество, учитывая индивидуальные требования потребителей, обновлять и расширять ассортимент продукции, для того, чтобы не потерять рынок и сохранить объём продаж.

И первое, и второе решения приводят к тому, что в любой области деятельности организации находятся в состоянии постепенных улучшений и **постоянных изменений** - как бы в ситуации непрерывного строительства.

Поскольку проводником изменений является человек, то и эффективность, качество, бюджет, сроки и успех дела всё больше определяют люди, которые думают, принимают решения и действуют каждый на своём уровне.

Таким образом, уже начиная с 50-х годов прошлого века, наблюдается кардинальное изменение внутреннего устройства организаций - постепенно происходит переход от «машинной» к «человеко-машинной» организации труда.

При «машинной» организации труда, лежащей в основе **массового** выпуска продукции (товаров, услуг), ритм работы по преимуществу задаёт **техника** – конвейер, станки, линии и тому подобное.

При «человеко-машинной» организации труда, лежащей в основе **индивидуального** выпуска продукции, ритм работы по преимуществу определяет **человек**. Очевидно, что структура (объекты, связи) и свойства «машинных» («технических») и «человеко-машинных» («человеко-технических») организаций значительно отличаются.

В первом случае **люди нужны на время**, пока машины не смогут выполнять оставшиеся операции: «нет людей – нет проблем в управлении; в первую очередь нужно решать технические вопросы, а управление приложится само собой». В связи с этим, поражают своей наивной простотой предложения по повышению производительности труда – «модернизировать технику и/или убрать людей из процесса». Куда можно убрать людей? Кто будет покупать? Кто будет платить налоги? Отчасти выполнение таких рекомендаций и послужило причиной продолжающегося до сих пор кризиса 2008 года.

Во втором случае **машины нужны на время**, пока новая, более совершенная техника, созданная людьми, не сможет ещё более усилить их физические возможности, повысить восприимчивость их органов чувств, развить их интеллектуальные и творческие способности, предложить лучшую систему индивидуального жизнеобеспечения **человека**.

Первый путь – это повышение качества жизни **«людей, как машин»,** когда внешняя среда формируется как техническая система, обеспечивающая необходимый минимум для поддержания физического существования.

Второй путь – это повышение качества жизни **«людей как людей»,** когда внешняя среда формируется как природно-техническая (эко-техническая) система. В этом случае улучшение, в частности, экологической ситуации не вынужденная мера, а цель и неизбежное средство улучшения здоровья и качества жизни человека.

В случае «машинной» организации труда люди и техника взаимно дополняют, но существуют как бы независимо друг от друга. Человек совершенствует технику, но не факт, что при этом совершенствуется сам, и не факт, что после этого его жизнь улучшится. В условиях «машинной» организации есть не связанные между собой технические и социальные вопросы, соответственно технические и гуманитарные специалисты.

В случае реальных «человеко-машинных» организаций люди и техника, не просто взаимно дополняют друг друга, они **взаимосвязаны, собраны в единый постоянно совершенствуемый организм. Человек без техники, также как и техника без человека, имеет ограниченные возможности для своего развития.**

В связи с постоянными изменениями реальные «человеко-машинные» организации характеризуются непостоянством количества и разнообразия объектов и связей, следствием чего является потенциально бесконечное количество и разнообразие состояний такой системы. Это свойство «человеко-машинных» систем,

которые находятся в процессе становления, приводит к тому, что к ним не применимы классическая логика, теория вероятностей и перебор вариантов.

Например, если задаться целью построить классическую математическую модель «человеко-машинной» системы, оставленной «на произвол судьбы», например, в условиях свободного рынка, чтобы затем на основе этой модели прогнозировать её поведение, то мы столкнёмся с известной проблемой «комбинаторного взрыва». Чем больше объектов – тем больше признаков. Чем больше признаков – тем больше возможных сочетаний этих признаков и тем больше возможных связей.

Два года «статистических испытаний» (перебора вариантов) в условиях корпорации «RAND» (США) не выдержали проверку в реальной жизни - «практика» отличалась от «теории» в 30 раз! В комментариях к отчёту, подготовленному по итогу анализа причин такого несоответствия, было записано - «… цифры имели очень большое значение, они были всем, человеческий фактор – лишь небольшим приложением».[1)]

Вывод: прогнозирование поведения реальной «человеко-машинной» системы бесполезно и может быть дезориентирующим. Для получения нужного результата систему необходимо конструировать. В противном случае мы движемся методом «проб и ошибок», а это крайне расточительно.

Проблема в том, что методы, которым по преимуществу обучают сегодня, это как раз те самые классические дедуктивные методы, которые, строго говоря, НЕ ПРИМЕНИМЫ к реальным организациям в условиях многообразия реальной жизни.

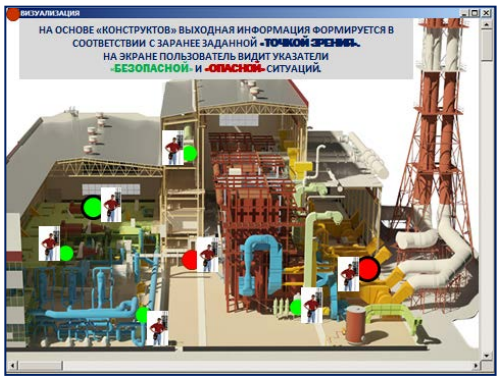
Использование этих методов при принятии решений без учёта граничных условий может приводить и приводит к серьёзным ошибкам, за которые часто приходится расплачиваться не только авторам предлагаемых решений.

Путь «человеко-машинных» (в более широком смысле – «эко-технических») организаций предопределён экономически, и совершенно очевидно, что он более предпочтителен с точки зрения человека, природы и общества.

Но для того, чтобы двигаться этим путём не на словах, а на деле необходимо начать действовать: учить инженеров систем, начиная подго-

товку в области общесистемного подхода уже со школы; внедрять современные общепризнанные локальные технологии конструирования (ни в коем случае не реинжиниринга!) и автоматизации управления, а не учёта и отчётности; постепенно формировать инфраструктуру на основе создания площадок для обмена знаниями и системной интеграции этих локальных технологий.

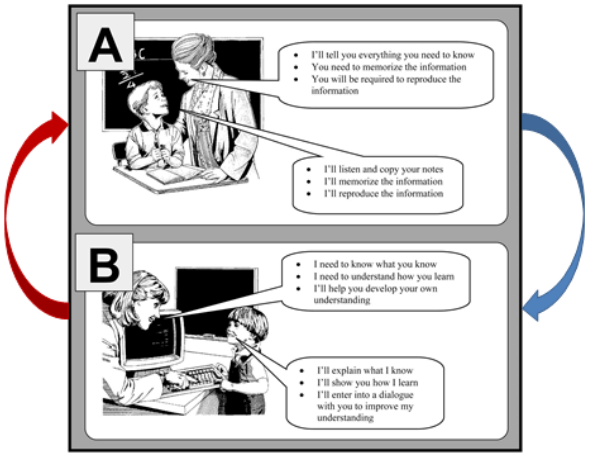
Для описания, постановки и автоматизации управления реальными сложными организациями используются так называемые «конструкты», которые позволяют структурировать данные и в дальнейшем используются для оценки ситуаций с различных точек зрения. Конструкт – это необходимая, достаточная и упорядоченная совокупность требований/свойств/признаков, обладающих устойчивым значением (образом действительности) и позволяющих сделать убедительное заключение о соответствии (принадлежности к группе/классу). Различают «простые конструкты» (ключевые, базовые) и «сложные конструкты», являющиеся производными от «простых».



Если количество и разнообразие ситуаций в реальной человеко-технической системе может быть **огромным (потенциально бесконечным)**, то количество и разнообразие конструктов для поддержки управления может быть **значительно ограничено** методологией, использованной при их разработке. Пример – ограниченное количество слов в словаре и практически неограниченное количество фраз.

В основе повышения качества, обновления и расширения ассортимента, перехода к позаказному выпуску продукции - внедрение новшеств, то есть обучение, изучение, освоение и применение. Соответственно, в новых условиях человеко-машинных систем обучение интегрируется в деятельность организаций и становится их важнейшей органической составляющей, гарантирующей устойчивое развитие и улучшение качества жизни людей. Не случайно некоторые страны размещают символы образования даже на денежных знаках.

На практике проблема перехода к непрерывному обучению в основном заключается в ожидаемых значительных затратах рабочего времени, которые напрямую зависят от формы представления знаний и способа мышления - интеллектуальной модели, используемой учащимися при освоении нового материала и привитой им ранее уже во время обучения в школе и ВУЗе.



На этом рисунке представлены два способа обучения – две интеллектуальные модели освоения нового материала – «А» и «В»:

Модель «А»: Учитель: «я скажу всё, что тебе нужно знать» (я знаю всё); «тебе необходимо запомнить информацию»; «от тебя потребуется повторить информацию» (от тебя требуется исполнение). Ученик: «я слушаю, я копирую, я повторяю».

В этом случае мы готовим «исполнителей», не имеющих собственного мнения, не готовых вести диалог, которым будет необходим начальник, знающий всё. Нет ничего необычного в том, что такие «всё знающие» находятся.

К сожалению, в образовании под воздействием различных рекомендаций доброжелателей мы часто идём именно этим путём. Отсюда применение давно изживших себя «кейсов», «адаптированных программ», методов «тестирования» и т.п.

Модель «В»: Учитель: «мне необходимо знать, что ты знаешь»; «мне необходимо понимать, как ты учишься»; «я буду помогать тебе развивать собственное понимание». Ученик: «я объясню, что я знаю»; «я покажу тебе, как я учусь»; «в диалоге с тобой я продвину своё собственное понимание».

В этом случае мы готовим «исследователей», активных творческих личностей, готовых и умеющих вести диалог, имеющих своё собственное мнение и рассматривающих начальника как партнёра-учителя, помогающего методологически.**В дальнейшем способ взаимодействия с учителем, внедрённый на уровень интеллектуальных моделей, переносится на практику работы на предприятии и жизни в обществе.**

Проблема в том, что качество и творчество, то есть то, что требуется от человека в сегодняшних условиях, - это не какое-то конкретное задание, не инструкция, которую необходимо запомнить, а затем повторить. **В результате реальная жизнь приходит в противоречие с «машинной» интеллектуальной моделью поведения.**

Без применения особой междисциплинарной технологии представления знаний и их передачи затраты на внедрение новшеств с участием различных специалистов, говорящих на разных профессиональных языках, становятся критическими.

Отсутствие в обучении общесистемного подхода в области управления реальными организациями приводит к тому, что большинство людей не способны конструктивно думать, не готовы работать в группе и бесконфликтно решать реальные жизненные проблемы. Все учатся на своих ошибках, и это было бы не так страшно, если бы за эти ошибки не расплачивались другие…

Скорость обработки информации людьми, (v3) и (v1), много меньше скорости обработки информации компьютером (v2).

Следовательно, пропускная способность механизма управления, а значит устойчивость и конкурентоспособность реальной (человеко-машинной) организации в наибольшей степени зависит от скорости обработки информации людьми.

И эта скорость может быть повышена только за счёт сокращения количества и разнообразия исходных данных, которое может быть выполнено на основе признанной технологии системного конструирования, на основе «конструктов».

15 человек, работающих «по-старинке», составят полнофункциональное описание названной системы (600 000 операций), «замороженной» на время такого описания примерно за 15, 5 лет.

Применение современных конструктивных методов позволяет:

- в разы сократить бесполезный объём данных;
- повысить надёжность работы программного обеспечения и системы автоматизированного управления;
- снизить риски и непроизводительные затраты;
- улучшить взаимоотношения в коллективе;
- повысить результативность и эффективность работы сотрудников и принимаемых управленческих решений;
- значительно повысить устойчивость и конкурентоспособность организаций.

Оценка эффекта от внедрения конструктивных технологий в военно-промышленном комплексе США за период 6 лет, выполненная независимой корпорацией RAND (публикация 2001г. на англ.) по заказу Правительства, свидетельствует о возможности снижения [2)]:

- затрат до 20% - 60%;
- затрат на контроль качества до 25%.

- времени на решения до 25%;
- материальных запасов – до 50%;
- перемещений людей до 60%;
- рисков – от 12% до 50%.

ВЫВОД:

Развитые страны уже давно включили в международный оборот такой термин как «критические технологии». Выражение «критические технологии» определяет, что некоторые технологии настолько фундаментальны по отношению к национальной безопасности или настолько явно определяют возможность экономического роста, что возможность создания таких технологий должна широко поддерживаться или развиваться. **Для России к таким критическим технологиям уверенно можно отнести технологию управления знаниями, улучшениями и изменениями и макротехнологию исследований, разработки, создания и менеджмента сложных систем**.

Для решения проблем управления сложными системами, к которым относятся все компании, с применением общепризнанных конструктивных методов требуются команды поддержки Лидеров, сформированные из профессионалов - «инженеров систем» («инженеров бизнес-систем», «инженеров эко-технических, человеко-машинных систем»), обученных по междисциплинарной методике и прошедших всестороннюю практическую подготовку, снабжённых соответствующей технологией и поддержанных инфраструктурой.

Для перехода от слов к делу в настоящее время создан Институт межотраслевых, междисциплинарных инициатив в науке и образовании «Структурированные Информационные Системы» - «СИС».

Предмет деятельности Института - технологии управления знаниями, улучшениями, изменениями и исследований, разработки, создания и менеджмента сложных систем. Направления деятельности Института: формирование группы поддержки Лидера на основе подготовки «инженеров систем»; передача локальных технологий, консалтинг и инжиниринг; создание инфраструктуры на основе аудиторных и электронных площадок, обеспечивающих доступ к знаниям, лучшей практике, и системной интеграции локальных технологий.

Литература

1) Абелла А. Солдаты разума – М.: АСТ: АСТ МОСКВА, 2009 - с. 71.
2) Cook C. & Graser J. «Military Airframe Acquisition Costs: The Effects of Lean Manufacturing», Santa Monica, RAND Corporation, 2001.

Мониторинг уровней шума и опыт проведения шумозащитных мероприятий в городе Москве

Ефимова О.В.[1,2], *Савинова Е.В.*[1,2]
[1] ГПБУ "Мосэкомониторинг"
[2] Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы
o.v.efimova@gmail.com

Уполномоченным государственным органом для проведения мониторинга в городе Москве является Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы (согласно законам «Об охране окружающей среды в городе Москве, «Об экологическом мониторинге в городе Москве»). По поручению Департамента природопользования непосредственно шумовым мониторингом на территории города Москвы занимается подведомственное Департаменту природоохранное бюджетное учреждение «Мосэкомониторинг». Измерения уровней шума в квартирах жителей города проводится Управлением Роспотребнадзоар по городу Москве и его подведомственными учреждениями.

Мониторинг уровней шума в настоящее время проводится по жалобам жителей города, обращениям управ, префектур и других государственных органов города Москвы.

Как показывает анализ обращений жителей Москвы по экологическим вопросам, шум входит в тройку приоритетных проблем загрязнения окружающей среды в городе. В 2012 году в Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы поступило 391 жалоба на сверхнормативное шумовое воздействие различных источников. Результаты экологического мониторинга подтверждают обоснованность подавляющего большинства обращений.

Основными источниками шума на территории города Москвы являются:

- автотранспортные потоки улично-дорожной сети города;
- железнодорожный транспорт и наземные участки линий метро;
- авиатранспорт аэропортов Московского авиаузла;
-строительная техника (особенно в случае ведения работ в ночное время);
- промышленные предприятия;
- инженерное оборудование зданий, сооружений
- - шумы «бытового происхождения».

При этом анализ структуры поступивших в Департамент природопользования жалоб жителей показывает, что основным источником шума, беспокоящем жителей в 2012 году, являлись строительные работы (62% от всех обращений), также беспокоили жителей шумы от ведения ремонтно-дорожных работ (9% от всех обращений), 9% обращений были связаны с работой промышленных предприятий, 6 % - с шумом автотранспортных потоков, 4% – вентиляционных установок, 1% – железнодорожного транспорта, 5% – другие источники (уборочная техника, авиашум, погрузо-разгрузочные работы).

Автотранспорт и железнодорожный транспорт.

При наблюдаемой интенсивности движения автотранспорта на общегородских магистралях 10000–15000 АТС/час шумовые характеристики транспортного потока составляют порядка 78-85 дБА по эквивалентному уровню звука. Высокие значения шумовых характеристик автотрасс обуславливают превышения санитарных нормативов на 20-25 дБА на территориях, прилегающих к жилым домам, расположенным в непосредственной близости от автотрасс.

Измерения уровней шума от автотранспорта проводятся в настоящее время только по жалобам жителей (постоянный мониторинг на всей территории города не проводится). Масштабные измерения уровней шума от автотранспорта на территориях города проведены в рамках работы по составлению адресного перечня жилых домов, находящихся в зоне шумового дискомфорта. Также проводятся измерения вблизи реконструируемых магистралей городского значения (магистраль, соединяющая Звенигородский проспект с ТТК и др.).

Шумовое воздействие автотранспорта носит постоянный характер. По данным мониторинга в связи с достижением предела пропускной способности улично-дорожной сети уровни шума на большинстве территорий города в дневные часы в течение последних 3-х лет стабилизировались. В последние годы наблюдается тенденция снижения различий между уровнями шума в дневное и ночное время на территориях города, прилегающих к автотрассам. Шумовые характеристики большинства магистралей городского значения незначительно меняются в течение суток (за исключением периода с 3 до 5 часов утра) за счет того, что в ночное время снижение количества автотранспорта компенсируется ростом скорости транспортного потока.

Основные изменения уровней шума на примагистральных территориях, как правило, связаны с реализацией проектов модернизации улично-дорожной сети города.

Уровни шума от железнодорожного транспорта зависят как от интенсивности и скорости движения составов, так и от характеристик поездов, а также состояния железнодорожных путей. Шумовая характеристика же-

лезнодорожного транспорта при интенсивности движения 3-4 пары/час составляет 71-82 дБА в зависимости от состава потока (пассажирские или грузовые поезда). Проезд железнодорожного состава обуславливает возрастание уровня шума в среднем на 10-20 дБА над фоновыми значениями шума на прилегающей жилой территории.

Шумозащитные мероприятия

1. Установка шумозащитных экранов при строительстве/реконструкции магистралей

В настоящее время в Москве, по данным Департамента жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства города Москвы, установлено порядка 52,87 км шумозащитных придорожных экранов (данные Департамента жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства города Москвы придорожных шумозащитных экранов (включая участки трасс, граничащие с Московской областью). Генеральным планом города Москвы запланирована установка к 2015 году 44 км придорожных шумозащитных сооружений. При проектировании автомобильных дорог также предусматриваются архитектурно-градостроительные решения, направленные на снижение шума (например, при строительстве трассы Четвертого транспортного кольца в районе Измайловского парка культуры и отдыха запланировано прохождение участка дороги внутри многоэтажного гаражного комплекса).

2. Шумозащитное остекление жилых домов

Обеспечение соблюдения нормативов по шуму в квартирах жилых домов может быть достигнуто за счет установки шумозащитного остекления. Практика обязательного выполнения шумозащитных мероприятий уже сейчас существует во вновь проектируемых районах и для отдельных объектов строительства. Меры по защите от шума должны быть предусмотрены проектными решениями, проходящими государственную экологическую экспертизу.

По данным префектур административных округов города Москвы, в соответствии с Законом города Москвы от 19.12.2007 № 52 «О городской целевой программе по капитальному ремонту многоквартирных домов на 2008-2014 годы» в 2007-2010 в рамках капитального ремонта многоквартирных жилых домов произведена замена 356442 оконных блоков. При реконструкции/строительстве автомагистралей за тот же период произведена установка 54084 шумозащитных оконных блоков. (В 2011 году замена окон была исключена из перечня работ, проводимых при капитальном ремонте (постановление Правительства Москвы от 12 апреля 2011 г. № 126-ПП «О порядке предоставления субсидий на капитальный ремонт общего имущества собственников помещений в многоквартирных домах в 2011 году»)).

В 2012 году префектурами административных округов города в рамках реконструкции проводились работы по шумозащитному остеклению в

жилых домах, расположенных вдоль Щелковского шоссе, Ярославского шоссе, Каширского шоссе, Варшавского шоссе, Ленинградского шоссе, ул. Б.Академической и Дмитровского шоссе, Звенигородского шоссе и др.

В 2012 году в рамках реализуемого постановления Правительства Москвы от 16.10.2007 № 896-ПП «О Концепции снижения уровней шума и вибрации в городе Москве» НИиПИ Генплана Москвы сформирован адресный перечень жилых домов, находящихся в зоне шумового дискомфорта. Данный адресный перечень пройдет согласование в Департаменте природопользования, префектурах административных округов города, Управлении Роспотребнадзора по г. Москве.

Последующая разработка мероприятий по снижению шумового воздействия для жилых домов, вошедших в адресный перечень, предусмотрена постановлением Правительства Москвы от 03.10.2011 № 460-ПП «Об утверждении государственной программы города Москвы «Градостроительная политика» на 2012-2016 гг.».

3. Снижение уровня шума в источнике за счет контроля за соблюдением нормативов внешнего шума находящихся в эксплуатации автотранспортных средств.

Данный вопрос актуален в свете обеспечения акустического благополучия спальных районов, в том числе в ночное время. Об этом говорит поступление обращений жителей, связанных с проездом мотоциклов и автомобилей с измененной системой выхлопа отработавших газов (повышение мощности двигателей за счет снижения эффективности шумоглушения).

С 2008 года Департаментом природопользования и охраны окружающей среды города Москвы направлялись неоднократные обращения в адрес УГИБДД ГУ МВД России по г. Москве, ГИБДД МВД России и МВД России о необходимости утверждения нормативной базы для организации инструментального контроля уровней внешнего шума при техническом осмотре автотранспортных средств (ранее контроль за соответствием внешнего шума автотранспорта установленным требованиям был предусмотрен только путем проверки исправности и герметичности систем выпуска отработавших газов). В конце 2011 года утверждены нормативные правовые документы по вопросам технического осмотра (далее – ТО), в которых учтены все необходимые положения, обеспечивающие осуществление контроля внешнего шума автотранспорта при ТО.

К указанным документам относятся: Федеральный закон от 01.07.2011 № 170-ФЗ «О техническом осмотре транспортных средств и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», постановление Правительства Российской Федерации от 05.12.2011 № 1008 «О проведении технического осмотра транспортных средств», приказ Минпромторга России от 06.12.2011 № 1677 «Об утверждении основных технических характеристик средств технического диаг-

ностирования и их перечня», приказ Минэкономразвития России от 28.11.2011 № 697 «Об утверждении правил аккредитации операторов технического осмотра».

При этом, требования к уровням шума мототранспортных средств и к средствам к осуществлению контроля их внешнего шума при ТО отсутствуют. Между тем мототранспорт (особенно с измененной системой шумоглушения) вносит заметный вклад в проблему сверхнормативного шума на территории города в ночное время. В связи с этим Департаментом природопользования направлено обращение в адрес УГИБДД ГУ МВД России по городу Москве по вопросу утверждения нормативов внешнего шума для мотоциклов, находящихся в эксплуатации, и организации контроля их внешнего шума при ТО.

При этом вступающим в силу с 1 января 2015 года техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011) вводится требование о недопустимости внесения изменений в конструкцию системы выпуска отработавших газов. (В настоящее время в соответствии с Федеральным законом «О безопасности дорожного движения» (п.4 статьи 15) внесение изменений в конструкцию ТС допускается, но при этом необходимо проведение повторной сертификации или повторного декларирования соответствия). Эта норма должна исключить случаи внесения изменений в конструкцию шумоглушения, приводящие к повышению уровней шума по сравнению с измеренными при получении одобрения типа.

В компетенции Управления Государственной инспекции безопасности дорожного движения ГУ МВД России по г. Москве (далее – УГИБДД ГУ МВД России по г. Москве) находится рассмотрение дел по административным правонарушениям, предусмотренным частью 1 статьи 12.5 (управление транспортным средством при наличии неисправностей или условий, при которых в соответствии с Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанностями должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения эксплуатация транспортного средства запрещена), статьями 8.22 (выпуск в эксплуатацию механических транспортных средств с превышением нормативов содержания загрязняющих веществ в выбросах либо нормативов уровня шума) и 8.23 (эксплуатация механических транспортных средств с превышением нормативов содержания загрязняющих веществ в выбросах либо нормативов уровня шума) Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях.

По информации УГИБДД ГУ МВД России по г. Москве, с апреля 2012 года в рамках проводимой профилактической работы к ответственности за нарушения по части 1 статьи 12.5 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях привлечено более 700 водителей мо-

тотранспортных средств. В 2011 году за нарушения по той же статье привлечено к ответственности 13220 водителей транспортных средств, с 1 января по 31 октября 2012 года – 19146 водителей.

По статье 8.22 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях за 2011 год привлечено к ответственности 47 водителей, в 2012 году (10 мес.) – 92 водителя.

Аналогичная статистика привлечения к ответственности по статье 8.23 составляет 347 случаев в 2011 году и 1157 случаев в 2012 году (10 мес.).

Промышленные предприятия.

Промышленные объекты при соблюдении требований к организации санитарно-защитных зон по фактору шума, как правило, не оказывают сверхнормативного шумового воздействия на прилегающие жилые территории. В случае выявления превышений допустимого уровня шума от работы промышленных предприятий информация направляется в Управление Роспотребнадзора по городу Москве для проведения проверок в рамках компетенции.

Авиатранспорт

Запретная зона для полетов над Москвой ограничена МКАД, при этом в границах запретной зоны возможны при наличии соответствующих разрешений. Разрешены полеты воздушных судов над микрорайонами Ясенево и Теплый стан на удалении не более 3,5 км от МКАД (высота не ниже 400 м), районами Чертаново, Бирюлево и Орехово-Борисово на удалении не более 2,5 км от МКАД (высота – не менее 1200 м). Над районами Москвы, расположенными за пределами МКАД, полеты не ограничены.

Проблема приобретает большую актуальность в связи с присоединением новых территорий на юго-западе города. На данных территориях наибольшее воздействие оказывает аэропорт Внуково, но также возможно влияние аэропортов Домодедово и Остафьево. И еще более актуальной в связи с обсуждением вопроса о расширении границ запретных зон.

Превышения нормативов допустимого уровня шума, наблюдаемые при пролете авиасудов над жилой территорией, достигают 10-15 дБА. Согласно справочной информации при пролете авиасудов аэропорта Шереметьево на высоте 800-1500 м над Зеленоградским административным округом города Москвы максимальные уровни звука достигают 71-83 дБА (по данным стационарной автоматической станции мониторинга уровней шума).

Пути снижения шума от авиатранспорта.

Снижение негативного воздействия шума авиатранспорта возможно путем установления требований к шумовым характеристикам воздушных

судов, ограничением времени полетов (запрет/ограничение полетов в ночное время), установлением запретных зон над жилыми территориями.

Требования к шуму авиасудов установлены и периодически ужесточаются Международной организацией гражданской авиации (ИКАО), однако Российской Федерацией эти требования не ратифицированы, поэтому им точно соответствуют только авиасуда, совершающие международные рейсы в страны, ратифицировавшие требования.

В Москве, по информации филиала «Московский центр автоматизированного управления воздушным движением» ФГУП «Госкорпорация по Организации воздушного движения», в связи с ростом интенсивности авиаперевозок, совершаемых аэропортами Московского авиаузла, исключение пролетов авиасудов над территорией города Москвы, в том числе в ночное время, невозможно из-за высокой плотности маршрутной сети.

Федеральным законодательством не предусмотрены широко применяемые за рубежом меры экономического характера, например, компенсация ущерба здоровью жителям, проживающим в районах аэропортов. В сложившейся ситуации для защиты населения от сверхнормативного шума авиатранспорта необходимо утверждение санитарно-защитных зон аэропортов Московского авиаузла (вопрос находится в компетенции Роспотребнадзора).

В 2010 году Управлениями Роспотребнадзора по городу Москве и Московской области согласован проект обоснования санитарно-защитной зоны в районе аэропорта Шереметьево.

По информации аэропорта «Внуково» (гарантийное письмо, направленное в Роспотребнадзор) в 2011 году в целях снижения шумового воздействия на прилегающие жилые территории в аэропорте установлен запрет на прием в ночное время суток воздушных судов, не соответствующих требованиям по шуму, установленным в главе 3 стандарта ИКАО, а также принято решение о полном запрете с 15.04.2011 полетов воздушных судов наиболее шумных типов (Ту-134, Ту-154Б и Ил-86).

Однако, при нарушении авиасудами установленных маршрутов полетов, под сверхнормативное шумовой воздействие могут попадать жилые дома, распложенные в других районах.

Выявить все случаи сверхнормативного воздействия авиационного шума, с последующим определением, чем они были вызваны (метеоситуацией или отклонением от установленной траектории полета) возможно только путем создания системы мониторинга авиационного шума, состоящей из сети стационарных автоматических станций контроля.

В настоящее время начато создание такой системы. Первая станция автоматизированного контроля авиашума (АСКША) установлена в микрорайоне 5А Зеленограда и проходит тестовые испытания.

Основной сложностью при оценке результатов ведения шумового мониторинга является тот факт, что нормативы ГОСТ 22283-88 для жилой застройки вокруг аэропортов выше аналогичных нормативов СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» на 10 дБА по эквивалентному уровню звука и на 15 дБА по максимальному уровню звука. Данная проблема широко обсуждалась на различных конференциях однако до сих пор нормативы в соответствие не приведены.

Строительные площадки.

Превышения допустимого уровня шума, создаваемые на прилегающей жилой территории от производства строительных работ, составляют порядка 20-30 дБА, что вызывает справедливое недовольство жителей, особенно, когда стройка ведется в ночные часы.

Меры снижения шума от строительных работ:

1. Запрет ведения строительных работ с 19.00 до 7.00, по выходным и праздничным дням.
2. Ограничение длительности производства шумных работ в дневное время
3. Применение малошумной техники.

В целях снижения негативного воздействия шума от строительных работ в мировой практике применяются такие методы, как запрет проведения строительных работ с 19:00 до 7:00, по выходным и праздничным дням, ведение видеонаблюдения за строительными работами, ограничение длительности производства шумных работ в дневное время и требования к применению малошумной техники.

В соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации строительные работы в ночное время могут осуществляться при наличии трехсменного режима работ в согласованной в установленном порядке проектной документации на строящийся объект при ряде ограничений на шумность работ. При этом постановлением Правительства Москвы от 07.12.2004 № 857-ПП «Об утверждении правил подготовки и производства земляных работ, обустройства и содержания строительных площадок в городе Москве» установлены следующие ограничения на шумность работ:

- обеспечивать глушение двигателя автотранспорта в период нахождения на площадке;
- исключать громкоговорящую связь;
- исключать забивку фундаментных свай и производство прочих работ, сопровождаемых шумами с превышением допустимой нормы;
- исключать работу оборудования, имеющего уровни шума и вибрации, превышающие допустимые нормы.

Тем не менее строительные организации трактуют разрешение на ведение строительных работ в ночное время как возможность проведения работ без ограничения шума.

С 2006 года ГПБУ «Мосэкомониторинг», подведомственного Департаменту природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, проводится мониторинг уровней шума от строительных площадок в ночное время. В 2012 году по жалобам на строительные объекты проведено около 270 измерений уровней шума на жилых территориях, прилегающих к строительным площадкам. При этом, в 13 % случаев выявлено нарушение условий производства строительных работ, повлекших превышения нормативов допустимого уровня шума в ночное время. Информация о фактах нарушений в установленном порядке направлялась в Управление государственного экологического контроля Департамента и ОАТИ.

Перспектива развития системы мониторинга. Мобильные станции контроля.

Опыт работы ГПБУ «Мосэкомониторинг» по жалобам жителей на шум от различных источников показывает, что работы, производимые с превышением нормативов, часто носят периодический характер. Примером могут служить пролеты самолетов, работа некоторых видов строительной техники, а также оборудование промышленных предприятий.

В таких ситуациях бывает сложно «поймать» нарушения требований, установленных санитарно-гигиеническим законодательством, при помощи передвижной лаборатории. Чтобы решить данную проблему Департаментом природопользования принято решение о создании системы автоматического мониторинга уровней шума.

Создание системы автоматического мониторинга уровней шума включает в себя работы по созданию четырех станций мониторинга уровней шума, которые позволяют в непрерывном круглосуточном режиме проводить измерения уровней шума на жилых территориях, прилегающих к промышленным предприятиям и строительным площадкам, а также на территориях, прилегающих к аэропортам.

В целях поступления результатов измерений от станций контроля шума по электронным каналам связи в режиме реального времени предусмотрены работы по автоматизации передачи данных.

Предусмотрена видеорегистрация. Камеры будут оборудованы ИК - подсветкой для работы в ночное время и иметь возможность автоматического поворота в диапазоне 0-360 градусов по команде от видеорегистратора и будет обеспечена возможность использования видеорегистратора в любую погоду.

Видеоинформация будет использоваться в качестве дополнительного подтверждающего факта того, что превышения по шуму были вызваны подконтрольным объектом, а не иными причинами (голоса прохожих, лай собак, сигналы машин и т.п.).

Станции планируется размещать на период от нескольких дней до нескольких месяцев в зависимости от особенностей контролируемого источника шума, а также особенностей территории, на которой предлагается производить мониторинг шума.

Адреса размещения станций мониторинга шума будут выбираться на основе анализа результатов мониторинга шума, проводимого по обращениям органов власти и жителей города Москвы. В настоящее время с префектурами административных округов проводится согласование мест размещения мобильных станций.

Информация по всем фактам превышений уровней шума будет направляться в уполномоченный орган власти (Управление Роспотребнадзора по г. Москве) для принятия мер в соответствии с компетенцией. В части строительных объектов также информация о нарушениях требований к организации строительных работ в ночное время будет передаваться в ОАТИ и Управление инспекционного контроля Департамента природопользования.

Современные подходы и технологии виброакустических испытаний и доводки оборудования

Панов С.Н.
ООО «Компания ОКТАВА+», Москва
spanov@octava.ru

В докладе приводится обзор современных подходов и технологии экспериментальной доводки оборудования с целью снижения шума и вибрации.

Общий подход к процессу разработке новой машины описывается V –образной диаграммой. Проектирование предполагает каскадирование целевых параметров подсистем и отдельных узлов (нисходящая ветвь) с последующей (восходящая ветвь) разработкой виртуальных моделей узлов и подсистем до их интегрирования в модель машины, которые уточняются по результатам физических испытаний прототипов. Модели применяются для виброакустической доводки изделия с использованием многопараметрической оптимизации.

В настоящее время при акустическом проектировании используются модели МКЭ, МГЭ, реализованные в таких программных комплексах, таких как LMS Vitrual.Lab Acoustics (SYSNOISE).

Для испытаний на шум и вибрацию разработаны и широко используются различные технологии, которые рассмотрены ниже.

Основными областями являются - акустические испытания, структурные вибрационные испытания, исследования шума и вибрации роторного оборудования, испытания на эксплуатационных режимах в реальных условиях.

Акустическая локализация шума

Акустическая локализация источников выполняется путем использования средств измерения характеристик акустического поля в одной точке и во многих точках. Первые предполагают использование зондов акустической интенсивности (p-p, p-v) и розетки микрофонов. При этом визуализация звуковых полей осуществляется путем сканирования и предполагает стационарность звукового поля . Вторые включают микрофонные решетки различных конфигураций, которые обеспечивают локализацию внешнего шума и используют различные алгоритмы обработки сигналов, полученных в точках ближнем и дальнего поля и их комбинации (Beamforming

(B)+Focalization(F)+NAH). Так применение в традиционной системе акустической голографии NAH дополнительного алгоритма фокализации расширяет частотный диапазон (рис.3).

Для локализации источников внутреннего шума используются микрофонные решетки в виде акустических сфер.

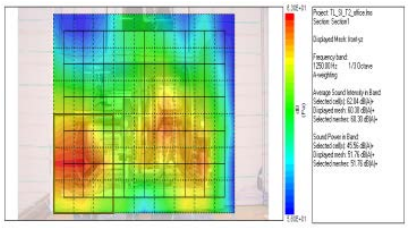


Рис.3 Расширение пространственного разрешения и частотного локализации источников шума за счет комбинации алгоритмов локализации.

Анализ путей передачи (TPA)

Определение путей распространения структурного и воздушного шума от источников до приемников и их количественная оценка выполняется технологией анализа путей передачи (Transfer Path Analysis (TPA) (рис.4).

TPA использует передаточные функции между приемником и действующими силами на всех рассматриваемых путях передачи и комбинирует их с оценками сил, действующими на рассматриваемые пути в рабочих условиях. Эти рабочие силы получают экспериментально или определяют непрямыми методами в случае невозможности использования традиционных датчиков.

TPA дает ответы на вопросы: какова проблема - структурного или воздушного шума, - в источнике или в системе, какой источник является доминирующим, какое соединение и путь передачи дает наибольший энергетический вклад, как разные пути передачи взаимодействуют друг с другом и др.

Результаты TPA дают понимание корневых причин повышенного шума и вибрации и снижают время на поиск источников шума и вибрации. TPA может быть использован на разных этапах процесса разработки изделия, например, как инструмент для установки целевых значений.

TPA также дает данные о рабочих нагрузках, которые могут быть использованы при моделировании. Примером является применение TPA для определения сил, действующих на подшипники редуктора или двигателя, которые могут применяться для предсказания вибрационного отклика поверхности и для визуализации рабочих форм колебаний (ODS) или для расчета акустического излучения.

Модальный анализ колебаний

Применяется для определения вибрационных модальных параметров (собственных частот, форм колебаний и демпфирования) конструкций с использованием экспериментального модального анализа (МА) (рис.5) при искусственном возбуждении вибраторами (при синусоидальном, широкополосном и др. сигналах возбуждения) или динамометрическими молотками и модельного анализа в рабочих условиях (ОМА) при реальных эксплуатационных нагрузках и граничных условиях.

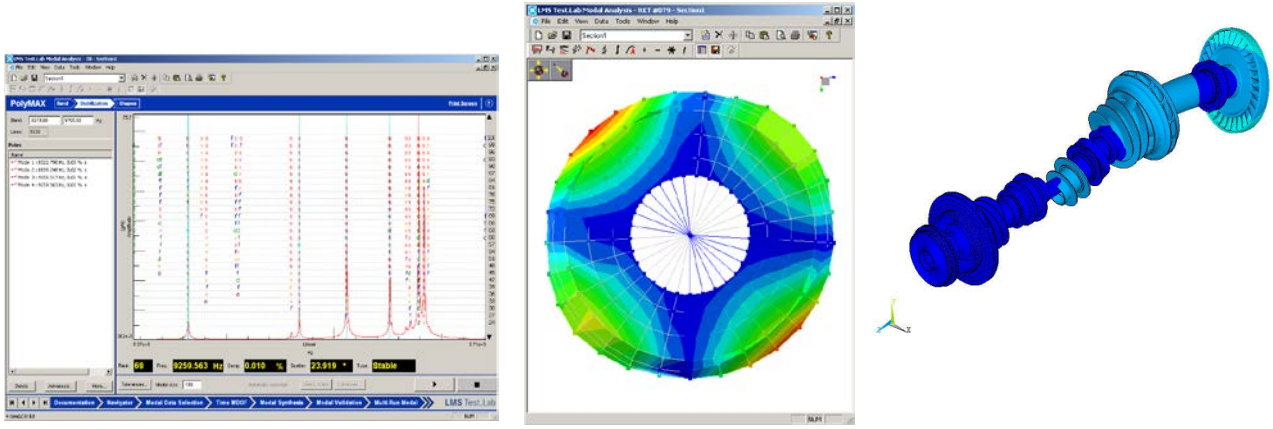


Рис.5. Модальный анализ диска и ротора турбины

Гибридное моделирование

Гибридное моделирование – направление инженерных расчетов, предполагающее создание гибридной численной модели машины, конструкции (рис.6.) на основе комбинации моделей узлов и подсистем, полученных расчетными методами (МКЭ, МГЭ и др.) и моделей основанных на экспериментальны данных (МА, передаточные характеристики), при этом нагрузки рассчитываются численно или получаются измерением из эксперимента.

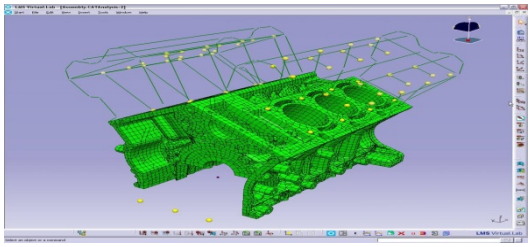


Рис.6. Гибридное моделирование

Оптические методы измерения колебаний конструкций

Применяются для бесконтактного определения форм колебаний конструкций, совершающих резонансные колебания.

Существуют точечные измерения и по всей поверхности структуры. Для измерения форм колебаний конструкции в случае стационарного случайной вибрации используется сканирующий лазерный допплеровский виброметр, обеспечивающий последовательное измерение вибрации в токах излучающей конструкции.

Одновременная регистрация всего вибрационного поля достигается – системами основанными на методе электронной спекл - интерферометрии (ESPI) (микро перемещения) или на методе цифровой корреляции изображений (DIC) (рис.7). Применение высокоскоростных камер позволяет получить пространственно-временную реализацию вибрационного поля конструкции. Полученные данные используются для модального анализа колебаний.

Рис.7. Оптическая система цифровой корреляции изображений

Оптические методы исследования шумообразования на основе визуализации потоков жидкости и газа

Для изучения шумообразования в воздухе и жидкости применяют различные оптические методы и технологии: велосиметрию образов частиц (PIV - Particle Image Velocimetry) для получения3-х мерных векторных полей скоростей потока (рис.8), лазерная допплеровская анемометрия для измерения величины и спектрального состава скоростей потока в точке. Технология PIV с разрешением во времени (TR-PIV) позволяет получить визуализацию (анимацию) изменения полей скоростей потока во времени.

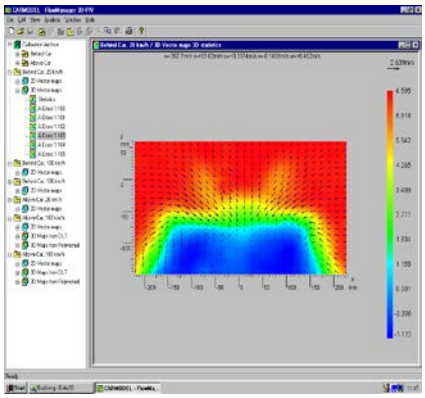


Рис.8. Векторное поле скоростей воздушного потока полученное методом PIV

Следящий анализ роторного оборудования

Применяется для идентификации роторных гармоник и резонансов в шуме и вибрации, полученных в стационарных рабочих условиях и на разгоне и выбеге. Современные системы сбора данных обеспечивают сбор данных с фиксированной частотой дискретизации и порядковое слежение, когда частота дискретизации меняется пропорционально частоте вращения ротора (рис.9.).

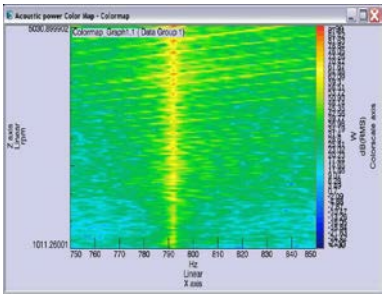


Рис.9. Следящий анализ шума и вибрации

Частотно-временной анализ шума и вибрации

Применяется для анализа шума и вибрации имеющих переменный характер, позволяя отслеживать изменение частотного состава во времени (от оборотов) (рис.10).

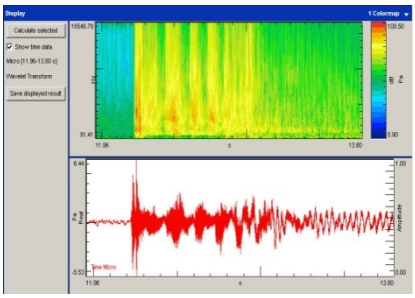


Рис.10. Частотно-временной анализ

Проездные испытания на шум транспортных средств

Методы испытания на шум при проезде (Pass-By) транспортного средства с заданными скоростными характеристиками с регистрацией режимов и шумовых характеристик снаружи и внутри транспортного средства позволяют определить в реальных рабочих условиях режимы, имеющие повышенный шум и выявить его источники.

Современные системы сбора данных шума и вибрации

Основой реализации описанных технологий испытаний на шум и вибрацию являются современные программно-аппаратные комплексы на основе многоканальных систем сбора данных, имеющих следующие характеристики: большой динамический диапазон измерений до 24 Бит, параллельность сбора данных по каналам, частотный диапазон до 200 кГц,

количество каналов от 8 до 2000, наличие на каждый канал цифрового согласующего усилителя и ∑Δ АЦП, управление от компьютера, возможность параллельной регистрации временных сигналов, спектров, данных порядкового анализа и др., вход тахосигнала с возможностью следящего анализа, выход генератора сигналов для модального анализа, наличие обратной связи синала возбуждения от сигналов с измерительных каналов, встроенной CompactFlash – памяти, возможность дистанционного управления от портативного PDA компьютера, и др. .

Описанные технологии испытаний иллюстрированы конкретными аппаратно-программными комплексами производства фирм LMS (Бельгия), Dantec Dynamics (Дания), Microflown Technologies (Голандия) и др., внедренными в практику доводки изделий.

Мониторинг шума урбанизированных территорий и особенности его осуществления в условиях Самарской области России

Васильев А.В.
Тольяттинский государственный университет
avassil62@mail.ru

1. ВВЕДЕНИЕ

В условиях современного города значительно возросло воздействие акустических и других физических загрязнений окружающей среды. Их воздействие становится всё более интенсивным. Так, воздействию повышенных уровней шума подвергается каждый второй житель планеты. Эквивалентные уровни звука в таких городах как Париж, Рим, Нью-Йорк, Мехико, Москва, достигают 75-80 дБА. При этом городской шум имеет тенденцию к росту. Уровень шума в городах возрастает ежегодно в среднем на 0,5-1,0 дБА в год [1]. Можно утверждать, что акустическое загрязнение окружающей среды в настоящее время представляет собой одну из глобальных проблем современной экологии [2, 3].

Для своевременного принятия мер по снижению негативного воздействия повышенных уровней шума становится необходимым осуществление качественного мониторинга. При этом использование существующих методов мониторинга шума является не всегда достаточным для эффективного анализа и прогнозирования.

В настоящей статье обсуждаются современные подходы к мониторингу шума урбанизированных территорий и результаты их апробации в условиях Самарской области.

2. ОСОБЕННОСТИ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МОНИТОРИНГА ШУМА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Степень воздействия источников шума на городских жителей зависит от целого ряда факторов: взаимного расположения источников шума и жилой застройки, интенсивности и состава движущихся транспортных потоков, расположения промышленных предприятий от жилых массивов, наличия других источников негативного воздействия и пр. Степень негативного воздействия шума для каждой территории различна. Основным ис-

точником шума в условиях жилой застройки в подавляющем большинстве случаев является автомобильный транспорт.

В ряде городов России, в том числе в городских округах Самарской области, имеется большое количество жилых участков, на которых дома расположены очень близко к транспортным магистралям. Требования к санитарно-защитным зонам для них не выдерживаются, и жители домов подвергаются воздействию интенсивных источников шума, зачастую значительно превышающих гигиенические требования. Крайне серьезной является также проблема воздействия низкочастотного звука, распространяющегося на большие расстояния.

В целом мониторинг шума носит многоэтапный характер. Можно выделить следующие основные этапы:

1. Анализ источников шума, создаваемых на данной территории. Выявление зон урбанизированной территории, потенциально наиболее опасных с точки зрения воздействия шума.

2. Отработка методики проведения натурных измерений акустического загрязнения на основе действующих нормативных документов и других подходов.

3. Натурные измерения. Обработка экспериментальных данных. Выдача заключений о соответствии нормативным требованиям.

4. Моделирование и расчет распространения шума на территории жилой застройки или производственного участка.

5. Построение карт шума урбанизированной территории.

6. Прогнозирование воздействия шума.

7. Разработка мероприятий по снижению воздействия шума.

3. МЕТОДИКА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ШУМА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Традиционные подходы к мониторингу шума имеют ряд недостатков. В частности, это касается таких существенных моментов, как непрерывность и долгосрочность измерений. Использование результатов измерений, выполненных в течение лишь одного дня, приводит к появлению постоянной погрешности, связанной с нетипичностью атмосферных условий, состояния земного покрова, маскирующих помех других источников загрязнений и пр. В результате величина погрешности измерений может становиться весьма существенной. Другим недостатком существующих методик является неавтоматизированный сбор и обработка данных измерений. Большую проблему при неавтоматизированном сборе данных представляет обеспечение качества входных данных, так как именно от них во многом зависит точность конечного результата.

Можно выделить следующие проблемы, возникающие при осуществлении традиционного мониторинга шума:
1. Зависимость результатов измерений от условий окружающей среды: метеоусловий (ветер, температура и температурные отклонения, влажность, давление), препятствий в виде барьеров и зданий, поглощения и отражения почвой и атмосферой.
2. Зависимость от расстояния от источника шума.
3. Зависимость конечного результата мониторинга от квалификации персонала, проводящего измерения.
4. На результаты измерений оказывают влияние и создают погрешности другие источники физических загрязнений.
5. Значительная трудоемкость заключительной обработки результатов измерений.
6. Высокая погрешность при неавтоматизированной обработке данных измерений.

Очевидно, что проведение долгосрочного автоматизированного мониторинга позволяет значительно повысить точность результатов измерений и качество обработки измерений шума [4, 5].

Для того, чтобы достичь более глубоких знаний об измеряемых параметрах и обследуемой урбанизированной территории, необходимо собрать большое количество детализированных данных, которые сложно структурировать и анализировать с помощью традиционных методов и систем мониторинга. Благодаря GPRS (или ADSL) –технологиям и сети Интернет, в настоящее время возможны автоматизированный сбор, хранение и публикация результатов измерений в сети Интернет в реальном времени, а также публикация обновляющихся карт шума в соответствии с их измеренными уровнями.

Автором предлагается система непрерывного мониторинга шума, с помощью которой можно распознавать различные виды событий и устанавливать зависимости параметров измеренных уровней звука с другими собранными параметрами, такими, как вид урбанизированной территории, количество и высота зданий и сооружений, виды промышленных предприятий и строительных площадок, находящихся на урбанизированной территории, плотность потока автомагистралей, примыкающих к урбанизированной территории, вид и характер распространения шума, параметры окружающей среды (температура, влажность, давление, скорость движения ветра) и др.

Особенность предлагаемой системы - обеспечение автоматизированную круглосуточной регистрации данных измерений уровней физических загрязнений и других соответствующих параметров окружающей среды возможность проведения измерений в полевых условиях в отсутствии оператора. В состав системы входят:

- Одна или несколько станций мониторинга – измерительные приборы, система электропитания, маршрутизатор и др.;
- Центральный модуль (север для хранения, обработки и анализа данных);
- Канал передачи данных (GPRS/ADSL и Internet);
- Станции пользователей (персональные компьютеры с установленным специализированным программным обеспечением и др.).

При помощи измерительных приборов измеряется широкий спектр параметров шума, включая текущие уровни загрязнений, и выявляются значимые события (например, внезапное возрастание тех или иных параметров). Посредством сети Интернет все станции системы непрерывного мониторинга соединены с центральной, в которой осуществляются хранение, обработка и анализ полученных данных.

Описанная система имеет множество преимуществ как с точки зрения качества проводимых исследований шума, так и для информирования жителей, подверженных воздействию шума и других физических загрязнений. Благодаря способности системы к осуществлению детального долгосрочного мониторинга в отсутствии оператора возможно увеличить эффективность мероприятий по исследованию и снижению негативного воздействия шума. Более того, детализированные данные, которые могут быть собраны, позволяют идентифицировать различные виды источников шума и особенностей урбанизированной территории для того, чтобы достичь лучшего понимания исследуемой среды. Очевидные преимущества такой системы также заключаются и в доступности данных исследований в реальном времени из любой точки, где есть Интернет, и в визуализации результатов измерений. Операторы избавляются от рутинной информации (скачивание информации, ее сохранение, составление отчетов и т.д.), что позволяет значительно повысить точность измерений и производительность труда.

4. МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ КАРТ ШУМА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Составление карт шума в селитебной территории является весьма эффективным для последующего прогнозирования и оценки загрязнений. Карта шума характеризует состояние загрязнений в населенном пункте (городе) в период ее составления и на перспективу. Она констатирует уровень шума в заданных точках селитебной территории города, определяет наиболее загрязненные участки в жилой зоне, позволяет рассчитать ожидаемые уровни шума на территории. Большим достоинством

карт шума является их наглядность при оценке величин загрязнений в любой из заданных точек селитебной зоны.

Анализ существующих карт шума показывает, что они отражают лишь текущее положение, существующую в данный момент (а то и в прошедшие периоды) картину загрязнений. Они в основном лишь констатируют уровень шума в заданных точках селитебной территории и показывают наиболее загрязненные участки, но не позволяют осуществлять эффективное прогнозирование.

Предлагается создание карт нового типа, разрабатываемых следующим образом: в определенных точках, расположенных в некоторой опасной с точки зрения уровня шума зоне (зонах), накапливаются результаты всех предыдущих измерений уровней загрязнений и выдается заключение о динамике изменения уровней. При этом метод представления результатов может быть различным – видеоуровни, табличное представление, графики и др. (возможно и спектральное представление результатов измерений). Для карт данного типа предложено название: динамические карты шума [1].

Под руководством автора осуществлена разработка программного обеспечения «Sound-City-Test» по расчету шума внешних источников и составлению динамических карт с использованием принципов объектно-ориентированного визуального программирования на языке C++ Builder [4]. На программу «Sound City Test» получено свидетельство №206611861 об официальной регистрации. Данный программный продукт предназначен для визуализации и наглядного графического представления данных измерений. Разработаны различные версии программного обеспечения. В целом программное обеспечение, разработанное в научно-исследовательской лаборатории "Виброакустика, экология и безопасность жизнедеятельности", представляет собой сложный комплекс, который состоит из следующих основных модулей:

1. Модуль ввода и автоматизированной обработки результатов измерений шума. Позволяет осуществлять ввод исходных данных (результатов измерений) и их предварительную обработку.
2. Модуль оценки соответствия проведенных измерений нормам экологического законодательства. Предназначен для выявления точек показатели в которых не соответствуют экологическим нормам.
3. Модуль мониторинга шума. Необходим для выполнения визуальной работы с картографическим материалом системы. Позволяет просмотреть все точки и результаты измерений. Основной особенностью является возможность построения динамических карт шума.
4. Учебный модуль. Используется в образовательных целях для подготовки специалистов – экологов.

Программа строится по модульному принципу.

5. АПРОБАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДИК МОНИТОРИНГА ШУМА В УСЛОВИЯХ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

С использованием разработанной системы непрерывного мониторинга, под руководством автора проведен ряд исследований шума в условиях Самарской области. Измерения проводились на основе как российских, так и европейских методик.

В качестве примера рассмотрим проведенные исследования уровней автотранспортного шума на территории городского округа Тольятти. Для измерений использовались шумомер, снабженный внешним микрофоном, и специально спроектированный маршрутизатор, который обеспечивает настройку шумомера и позволяет осуществлять в реальном времени сбор данных от шумомера и отправку их в центральный сервер по выбранному каналу передачи. Все результаты измерений, накапливаемые и временно хранящиеся в памяти станции мониторинга, периодически сбрасывались в центральный сервер для обработки и длительного хранения.

Работа станции мониторинга постоянно синхронизировалась при помощи NTP-сервера, благодаря чему стало возможным сравнение данных, полученных с разных станций, установленных в одном районе. Опционально собирались и передавались в центральный сервер и другие параметры, например, положение GPS, метеоусловия или плотность потока. Все данные, переданные станциями мониторинга, постоянно собирались центральным сервером на базе Linux и сохраняются в системе управления базой данных. Данные измерений в виде графиков и таблиц доступны на странице веб-сайта.

На рисунке 1 показана страница веб-сайта системы мониторинга, установленной в городском округе Тольятти, совместно с видеокамерой, что позволяет осуществлять также передачу аудио- и видеоданных. Слева сверху на веб-странице показано местоположение станции, видеоизображение – в центре сверху, а справа сверху публикуется автоматически обновляемая карта шума. Внизу на странице показана сонограмма уровней шума за последние 5 минут. Эти данные отображают шум от главного источника, ближайшего к станции мониторинга (в нашем случае – автомагистраль по улице Баныкина на расстоянии 25 метров).

Установив связь системы с соответствующим программным обеспечением для прогнозирования уровней шума, можно частично изменять рассчитанные ранее карты шума, а также публиковать через заданный временной интервал обновленные шумовые карты территории мониторинга, в соответствии с измеренными уровнями шума. Для этого необходимо выбрать расположение станций мониторинга таким образом, чтобы получать данные, являющиеся характерными для каждого источника шума, присутствующего на исследуемой территории.

Рисунок 1. Страница веб-сайта системы мониторинга, установленной в г.о. Тольятти

Все загруженные с центрального сервера данные обрабатывались при помощи специально разработанного программного обеспечения для составления графиков и диаграммы спектра шума, временных диаграмм звука для каждой полосы частот, сонограмм, а также вычисления почасовых эквивалентных уровней шума. Данные измерений и вычисленные параметры можно вывести на печать или представить в виде текстовых или графических форм.

В течение месяца выполнялись круглосуточные измерения автотранспортного шума при помощи станции мониторинга, установленной на доме по ул. Баныкина со стороны автомагистрали. Результаты исследований позволили сделать ряд выводов. Так, было установлено, что наименьший зафиксированный уровень шума наблюдался в ночное время суток в период с 3 до 4 часов. Он составил 49,5 дБА. Наибольший зафиксированный уровень шума наблюдался в дневное время суток в период с 9 до 10 часов. Он составил 65 дБА. Также были определены диапазоны колебаний уровней шума для различных периодов измерений и другие параметры. На основе полученных данных измерений также были произведены вычисления уровней шума во всех точках обследуемого жилого квартала в соответствии с построенной ранее трехмерной моделью, построены карты шума для различных периодов суток (рисунок 2).

С использованием программного обеспечения «Sound-City-Test» были составлены карты шума. В качестве примера на рис. 3. показана карта уровней звука селитебной территории Автозаводского района г.о. Тольятти.

Следует отметить, что результаты проведенных исследований с использованием системы непрерывного мониторинга не только позволяют получить достоверную долгосрочную информацию о характере шума, но и раз-

работать эффективные мероприятия по его снижению. В частности, для снижения воздействия шума автомобильного транспорта на обследуемый жилой квартал была предложена установка звукопоглощающих экранов высотой 6 и 7 метров.

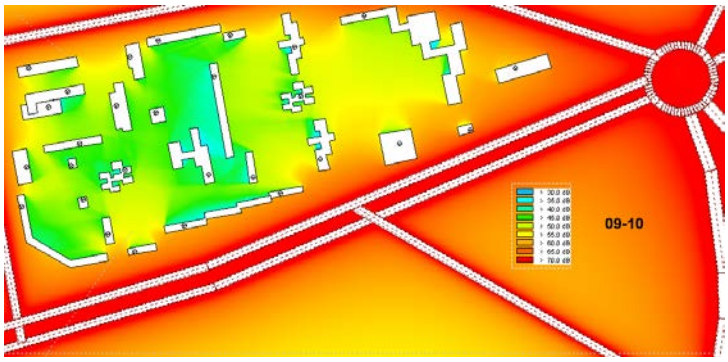


Рисунок 2. Шумовые карты жилого квартала по ул. Баныкина г.о. Тольятти в наиболее тихое время суток (с 03.00 до 04.00 ночи), составленные по результатам измерений с помощью станции непрерывного мониторинга

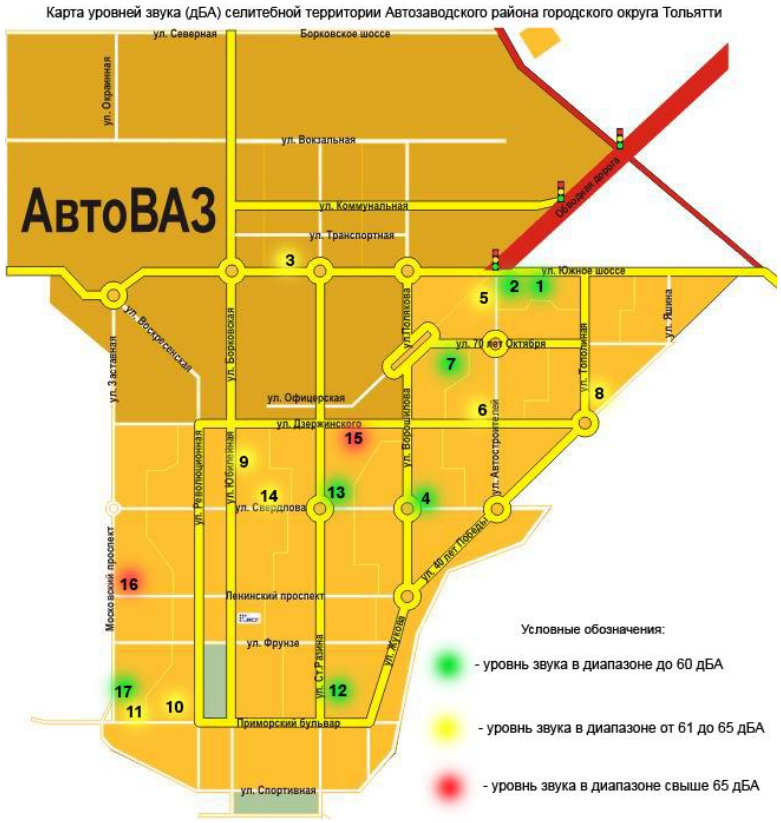


Рисунок 3. Карта уровней звука селитебной территории Автозаводского района г.о. Тольятти

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования по мониторингу шума урбанизированных территорий проводились сотрудниками аккредитованной научно-исследовательской лаборатории НИЛ-9 "Виброакустика, экология и безопасность жизнедеятельности" Тольяттинского государственного университета.

Результаты исследований позволяет сделать следующие выводы:

– для ряда участков территории Самарской области наблюдается значительное превышение санитарно-гигиенических норм по шуму, особенно в ночное время;

– Реализация разработанной системы непрерывного мониторинга шума позволяет достичь существенного улучшения качества мониторинга и обеспечить непрерывность процесса мониторинга;

– Полученные результаты могут быть внедрены в природоохранных службах административных учреждений; в научно-исследовательских организациях; в органах экологического надзора, в муниципальных службах и др.;

– Наличие учебного модуля позволяет использовать предлагаемую систему мониторинга в учебном процессе для обучения студентов вузов, аспирантов и др.

Результаты работы могут быть применены не только в условиях Самарской области, но и любой урбанизированной территории для анализа и прогнозирования уровней шума.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ вузам, тема № 091240

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.В. Снижение шума транспортных потоков в условиях современного города. В ежемесячном научно-техническом журнале "Экология и промышленность России", №6 июнь 2004 г., с. 37-41.

2. Васильев А.В., Розенберг Г.С. Мониторинг акустического загрязнения селитебной территории г. Тольятти и оценка его влияния на здоровье населения. В журнале "Безопасность в техносфере", №3, 2007, с. 9-12.

3. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для вузов - СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.: ил.

4. Шевченко Д.П., Васильев А.В. Программное обеспечение для автоматизированной системы экологического мониторинга физических загрязнений урбанизированных территорий. В специальном выпуске "ELPIT-

2005" научного издания «Известия Самарского научного центра РАН», г. Самара, 2005 г., т.2, с. 292-295.

5. Cherniglia A., Vasilyev A., Alekseeva N. Monitoring of Transport Noise in Large Cities: Comparison and Results of European and Russian Experience. Proc. of the 37th International Congress on Noise Control Engineering “Inter-Noise 2008”, Shanghai, China, 26-29 October 2008, P: 17.

Комплексное снижение шума от энергетического оборудования

Тупов В.Б.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Tupovvb@mpei.ru

Работа энергетического оборудования часто связана с шумоизлучением, которое может оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Законы «Об охране атмосферного воздуха» и «Об охране окружающей природной среды» обязывают снижение его негативного воздействия. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 устанавливают допустимые уровни шума на рабочих местах и территории жилой застройки, а СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-01– создание санитарно-защитных зон вокруг предприятий.

Разработка мер по снижения шума энергетического оборудования идет во всем мире. За рубежом используются разработки по шумоглушению энергетического оборудования таких компаний как Industrial acoustic company (IAC), BBM-Acustic, и других, а в нашей стране – разработки ЮжВТИ, НПО ЦКТИ, ОРГРЭС, ВЗПИ (Открытый Университет), НИИСФ, Балтийский университет (Военмех), ВНИАМ др.

В Национальном исследовательском университете МЭИ НОЦ «Снижение шума энергетического оборудования» в течение последних тридцати лет проводит комплекс работ по снижению шума от энергетического оборудования: аварийных сбросов пара в атмосферу; газовых турбин; парогазовых установок; тягодутьевых машин; ГРП; РОУ; градирен; трансформаторов; насосов; компрессоров.

Базой для указанных работ являются теоретические и практические исследования [1—11], наиболее интересными, выполненными за последние два года:

– разработанная методика, позволяющая на основе нахождения минимума дисконтированных затрат определять геометрические размеры многоступенчатых глушителей;

– широкое использование результатов математического 3D моделирования, прежде всего, для обеспечения минимального аэродинамического сопротивления глушителей;

– новые высокоэффективные глушители по снижению шума. За последние полтора года получено два патента и еще один находится в оформлении;

– влияния климатических факторов (температуры, влажности) на значение требуемого снижения уровня шума.

В [12] дан обзор выполненных НОЦ «Снижение шума энергетического оборудования» НИУ МЭИ на 2011 г. работ по источникам шума, которые отмечены выше. С этого времени наиболее интересные комплексные работы были осуществлены на Северском трубном заводе (СТЗ), ТЭЦ-23 ОАО Мосэнерго. Кроме этого были установлены паровые глушители на ТЭЦ-ЗИЛ в Москве, разработаны рекомендации для снижения паровых выбросов на ТЭЦ-6 и ТЭЦ-9 ОАО Мосэнерго и Казанской ТЭЦ. Кроме этого разработаны оригинальные рекомендации по снижению шума от газовых трактов энергетических котлов №№6,7,8 и воздушного тракта пиковой водогрейной котельной для ТЭЦ-9 филиала ОАО Мосэнерго, разработан проект по снижению шума воздухозабора котла № для ТЭЦ-26 филиала ОАО Мосэнерго. Для газоперекачивающих станций «Газпрома» разработан глушитель газовых свечей.

В табл.1 приведены превышения санитарных норм от энергетического оборудования и возможные меры по шумоглушению. Наиболее часто для снижения шума от энергетического оборудования применяются глушители и экраны.

На превышение санитарных норм в окружающем от энергетического оборудования районе влияют, в основном, следующие факторы:

расстояние до источника шума и их количество;

размещение источников (внутри помещений или на открытом воздухе);

уровень излучаемой звуковой мощности;

характер шума (тональный или широкополосный);

временная характеристика излучаемого шума (постоянный, импульсный или прерывистый);

характер направленности шума от источника;

расположение над уровнем земли для источников находящихся на открытом воздухе;

устройства по шумоглушению, их эффективность и состояние работоспособности.

Как правило, от предприятия, где размещается энергетическое оборудование, излучается шум от целой группы источников, величина которого на расстоянии от него, дБ, определяется по известной формуле:

$$L_c = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{n} 10^{0.1L_i}\right) \qquad (1)$$

где L_i — уровень звукового давления от *i*—ого источника, дБ.

Особенность логарифмического сложения шума (формула 1) определяет стратегию осуществления мер по шумоглушению. Шум от всех источников в определенной точке не должен превышать допустимый уровень $L_{доп}$,

дБ. Для успешного осуществления мероприятий по шумоглушению ТЭС является начало осуществления мер по шумоглушению от наиболее интенсивных источников. Такими являются источниками, шум от которых больше, чем на 5 дБ превышает уровни звукового давления в расчетной точке от других источников. Мероприятия по шумоглушению от источников, разница уровней звукового давления которых меньше, чем 5 дБ должен проводиться одновременно. В самом деле, если полностью заглушить источник создающие уровни звукового давления меньше, чем на десять дБ (см.(1)), суммарное значение практически не изменится. Порядок осуществления мероприятий по шумоглушению определяется на основе акустических расчетов и обследования предприятия. Примерами комплексных работ являются мероприятия по снижению шума от Северского трубного завода (СТЗ) и ТЭЦ-23 филиала ОАО Мосэнерго. На первом предприятии выполнен весь цикл работ, а на ТЭЦ-23 филиале ОАО Мосэнерго — только часть.

Правильный порядок осуществления мер по шумоглушению дает положительный результат, как это случилось на Северском трубном заводе. Здесь за последние годы проведена крупная модернизация производства. Установка современного оборудования с одной стороны позволила, уменьшить вредные выбросы в атмосферу, но с другой стороны появилась проблема шума на окружающий район от работающего оборудования. Для решения этой проблемы НИУ МЭИ в процессе обследования определил основные источники шума, создающие превышение санитарных норм в окружающем районе, разработал рекомендации и рабочие проекты по снижению шума от них до санитарных норм и провел контрольных акустических измерения в окружающем районе после их изготовления и монтажа.

Акустическое обследование завода показало, что основными источниками постоянного шума, из многих десятков источников, которые имеются на заводе, являются системы газоочистки дуговой электросталеплавильной печи (ДСП) и печи ковша ОАО «СТЗ». Излучение шума от систем газоочисток связано с работой дымососов, шум от которых распространятся в окружающий жилой район от устья дымовых труб.

Для снижения шума систем газоочисток ДСП и печи ковша НИУ МЭИ были разработаны рекомендации и выполнены рабочие проекты шумоглушителей. Шумоглушители устанавливаются в дымовых трубах, что позволяет снижать шум сразу от всех дымососов. Глушители шума состоят из нескольких цилиндров, размещённых равномерно по сечению дымовой трубы. Внутри каждого цилиндра находится негорючий, негигроскопичный звукопоглощающий материал, который защищается от выдувания стеклотканью и перфорированными металлическими листами. На рис. 1 дан общий вид цилиндрических глушителей шума, устанавливаемых в дымовых трубах систем газоочисток дуговой сталеплавильной печи и печи-ковша.

Глушитель шума для системы газоочистки ДСП отличается от системы газоочистки печи ковша габаритными размерами цилиндрических глушителей.

Для уменьшения аэродинамического сопротивления глушителя шума на его цилиндры со стороны входа и выхода потока дымовых газов установлены обтекатели. Аэродинамическое сопротивление глушителей шума составило меньше 50 Па в обоих случаях.

Особенностью глушителей являются их относительно большие габаритные размеры. Это предъявляет особые требования к каркасу глушителей. Для удобства глушитель выполняется из отдельных небольших элементов, что позволяет осуществлять транспортировку и монтаж глушителей отдельными частями. На рис.2 показано установка глушителя шума в дымовую трубу системы газоочистки с помощью мобильного крана.

Глушитель шума системы газоочистки ДСП был смонтирован осенью 2011 г., а глушитель системы газоочистки печи-ковша— в 2012 г. Акустические измерения по определению акустической эффективности глушителей и в окружающем завод районе проводились частотным анализатором «Soundbook» фирмы «Sinus», которым измерялись уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125,250,500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, а также уровни звука. Акустическая эффективность глушителя шума в системе газоочистке печи-ковша определялась как разность уровней звукового давления по результатам измерений в дымовой трубе до и после глушителя. Акустические измерения проводились из специальных штуцеров, сделанных в дымовой трубе до и после глушителя специальным микрофоном фирмы G.R.A.S. Такой микрофон позволяет проводить акустические измерения в высокотемпературном потоке в условиях реально действующего оборудования. Акустическая эффективность глушителя шума в системе газоочистке ДСП определялась как разность уровней звукового давления по результатам измерений в контрольной точке на крыше ДСП до и после глушителя. Следует отметить, что метод измерения в контрольной точке ограничен фоновым шумом от других источников, поэтому является менее точным, чем измерения непосредственно в дымовой трубе с помощью специального микрофона.

Акустическая эффективность глушителей по результатам измерений приведена на рис.3. Акустическая эффективность глушителя шума печи-ковша составила 15,5-33,8 дБ в диапазоне октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5 – 8000 Гц (рис.3) или по уровню звука 20,6 дБА. Акустическая эффективность глушителей газоочисток печи – ковша и ДСП превышает требуемое снижение уровня.

Кроме этого были выполнены комплексные акустические измерения в окружающем районе. На рис.4 показаны типичные результаты в одной из контрольных точек в жилом районе по результатам трех серий измерений:

до установки глушителей, после установки глушителя только на системе газоочистки ДСП и после установки глушителей на системах газоочистки ДСП и печи ковша. Акустические измерения в окружающем жилом районе, в зоне наиболее характеризующем воздействие шума от системы газоочистки ДСП показали максимальное снижение уровня звукового давления до 14,8 дБ, а после установки глушителя в системе газоочистки печи-ковша до 19,6 дБ. Из рис.4 видно, что установка глушителей шума на системах газоочистки обеспечила выполнение ночных санитарных норм. Следует отметить, что даже в дневное время шум от постоянных источников шума завода не превышает ночные санитарные нормы.

В случае, когда осуществление мероприятий по шумоглушению начинается с источников шума, которые не являются наиболее интенсивными, то результаты этих работ практически не заметны. Для ТЭЦ-23 филиала ОАО Мосэнерго источниками шума для окружающего района являются шум от осевых дымососов, трансформаторов, градирен и ГРП. В настоящее время установлены экраны для снижения шума градирен, трансформаторов и ГРП. Звукопоглощающие экраны для градирни №№5,6 устанавливается на расстоянии 2-3 м от воздухозаборных окон, их высота составляет 5 м, а длина каждого экрана — 100 м. Высота звукопоглощающего экрана ГРП составляет 7 м, а длина—104 м. Звукопоглощающий экран установлен около автотрансформаторов АТ-91 и АТ-92. Расстояние между автотрансформаторами и звукопоглощающим экраном составляет 3 м. Высота звукопоглощающего экрана — 5 м, а длина — 64 м. На рис.5 показаны источники шума окружающего района: срезы дымовых труб и градирни. Шум, излучаемый градирней, снижается экраном. Расчетная акустическая эффективность экрана составляет около 20 дБ для большинства среднегеометрических частот. Внедрение шумоглушителей для газовых трактов осевых дымососов энергетических котлов ТГМП-314П ст. №№5-8, которые являются основным источником шума в окружающем районе, перенесено на следующие годы. Результаты измерений в окружающем ТЭЦ-23 жилом районе, проведённые осенью 2012 г., показывают, что уровень шума остался приблизительно на уровне прошлых лет.

Продолжилось внедрение различных модификаций парового глушителя МЭИ на энергетических объектах страны. Сбросы пара энергетических котлов в атмосферу является наиболее интенсивным, хотя и кратковременным, источником шума, как для территории предприятия, так и для окружающего района, превышение санитарных норм при которых, как показано выше имеет максимальное значение по сравнению с другими источниками.

Для снижения шума выброса пара при срабатывании ГПК котлов БКЗ-320-140 ст.№№5,6 ОАО «ТЭЦ-ЗИЛ» в МЭИ разработан многоступенчатый комбинированный глушитель шума (рис.6)

Общая масса глушителя составляет 1125 кг. Акустическая эффективность –29 дБА. Расход пара через глушитель до 143 т/ч. Разработанный глушитель (рис.6) содержит многоступенчатый корпус, состоящий из нескольких ступеней шумоглушения и камеры расширения. Первая ступень шумоглушения предназначена для плавного снижения скорости и давления сбрасываемого пара. Для снижения скорости пара до расчётной величины на выходе второй ступени расположена камера расширения. Снижение шума до требуемой величины осуществляется в третьей ступени шумоглушения, состоящей из концентрических кассет и облицовки внутренней поверхности корпуса глушителя звукопоглощающим материалом. Внутри ступеней шумоглушения расположен негигроскопичный звукопоглощающий материал, который удерживается от выдувания с помощью стеклоткани и перфорированных цилиндрических металлических перфорированных обечаек.

На основе, разработанной в МЭИ новой методики, определены линейные размеры двухступенчатого диссипативного глушителя шума пластинчатого типа для снижения шума газовых трактов котлов БКЗ-320-140ГМ ст.№№6, 7, 8. Первая по ходу газа ступень глушителя состоит из 4-х пластин толщиной 400 мм и длиной 1500 мм, размещенных равномерно в газоходе размерами 2300х5500 мм. Расстояние между пластинами составляет 975 мм, расстояние между крайними пластинами и стенкой газохода – 488 мм (рис.7). При таком размещении пластин относительное проходное сечение составляет 71%. Вторая по ходу газа ступень глушителя состоит из 8-ми пластин толщиной 200 мм и длиной 3000 мм, размещенных равномерно в газоходе размерами 2300х5500 мм.

Для определения места размещения ступеней глушителя проводилось математическое моделирование. Из рис.8 видно, что полное давление среды в случае (*а)* несколько выше, чем в случае (*б)*. В случае (*б)* происходит более равномерное снижение полного давления среды, особенно хорошо это видно после первой ступени глушителя, где в случае (*а)* преобладают зоны повышенного давления.

Уменьшение шума газовых трактов за дымососами котлов БКЗ-320-140ГМ ст. №№6, 7, 8 ТЭЦ-9 с помощью пластинчатых глушителей без расширения существующих газоходов позволяет обеспечить необходимую акустическую эффективность (рис.9) при умеренном дополнительном аэродинамическом сопротивлении (42,7 Па) и массе конструкции 3,6 т.

При разработке мер по шумоглушению важную роль играют климатические факторы. Анализ изменение уровня звука в течение года в расчетной точке от парового выброса на расстоянии 500 м показан на рис.10 , из которого видно, что уровень звука сильно зависит от месяца года и это изменение составляет до 5 дБА.

Таким образом, комплексное снижение уровня шума от энергетического оборудования, включающее использование оптимальных технических ре-

шений для снижения шума интенсивных источников шума с учетом, как технических характеристик, так и природных данных позволяет получать гарантированно требуемое снижение с минимальными затратами. Для снижения шума энергетического оборудования рекомендуются глушители МЭИ, которые прошли практическое опробование и учитывают требования и специфику работы на объектах энергетики. В настоящее время всего эксплуатируются более 300 глушителей.

Таблица 1

Превышение ночных санитарных норм на расстоянии 500 м от энергетического оборудования

Источник шума	Превышение в дБА	Возможный путь снижения шума
1.Сбросы пара в атмосферу	30 — 45	Установка глушителя
2. Газовая турбина (100 МВт)		
а) От воздухозабора (без глушителя)	до 35	Установка глушителя
б) От среза дымовой трубы (без глушителя)	до 20	Установка глушителя
3. Тягодутьевые машины		
а) Кожух	2 — 17	Звукоизоляция, установка кожуха
б) Воздухозабор дутьевого вентилятора	8 — 14	Установка глушителя или экрана
с) От среза дымовой трубы		
Дымовая труба, футерованная внутри кирпичом	0– 4	Облицовка звукопоглощающим материалом поворотов, установка глушителя
Дымовая труба с металлическим газоотводящим стволом	10 — 24	Установка глушителя, облицовка звукопоглощающим материалом поворотов
4. Оборудование угольного хозяйства	10–15	Комплекс мероприятий по шумоглушению
5.Градирни	1 — 3	Установка экранов, специальных устройств
6.Трансформаторы	1 — 6	Установка экранов
7. Водогрейные котлы		
Типа ПТВМ -50	4 — 6	Установка глушителя
Типа ПТВМ-100	6 — 9	Установка глушителя
8. Шум излучающий из помещений		

Источник шума	Превышение в дБА	Возможный путь снижения шума
а) Котельного и турбинных цехов	4 — 7	Звукоизоляция оконных и дверных проёмов, реализация комплекса мер по шумоглушению внутри котельного и турбинных цехов
б) ГРП	12 — 17	Установка глушителя
в) Компрессорной	5 — 10	Установка глушителя
г) Насосной	3 — 5	Звукоизоляция, установка кожухов

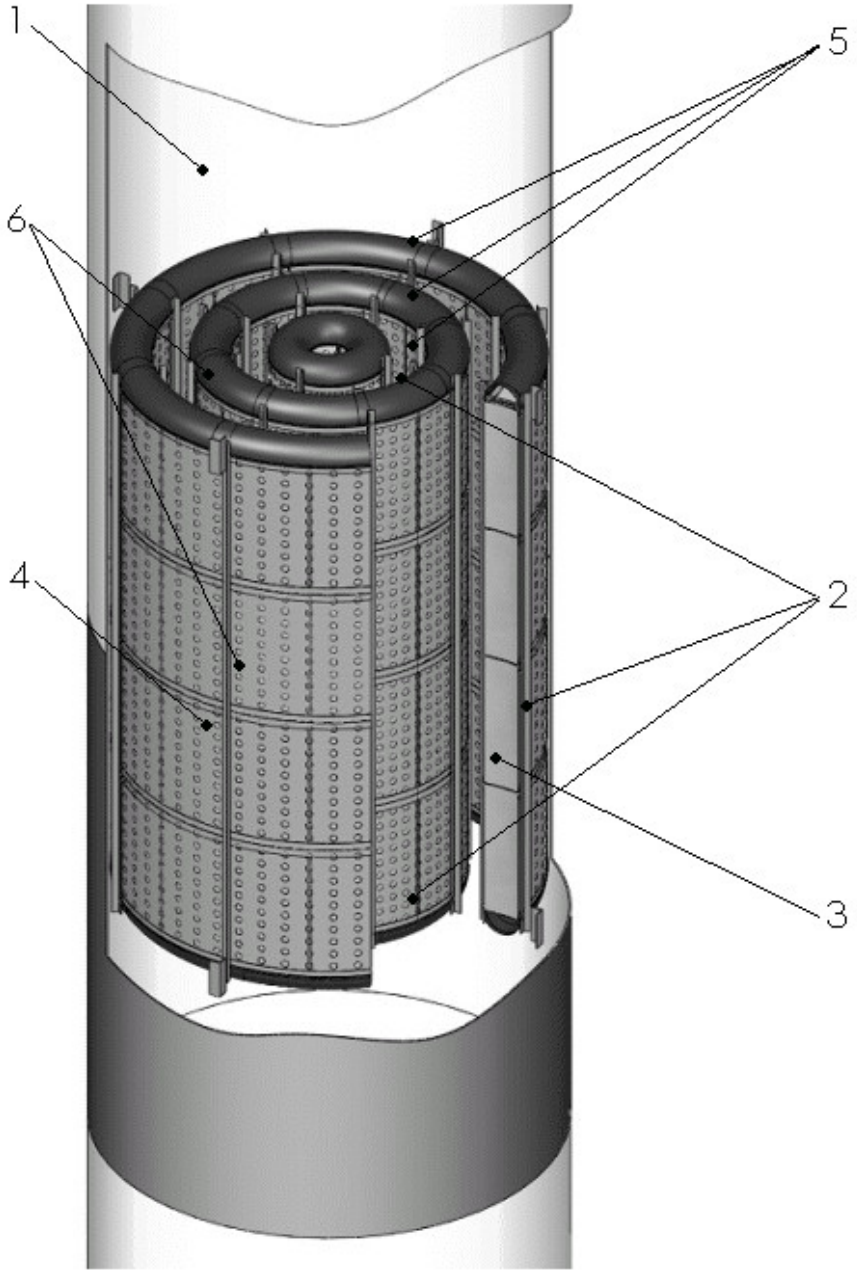


Рис.1. Общий вид цилиндрических глушителей шума, устанавливаемых в дымовых трубах систем газоочисток дуговой сталеплавильной печи и печи-ковша: *1* – дымовая труба; *2* – цилиндры шумоглушителя; *3* – звукопоглощающий материал; *4* – перфорированные металлические листы; *5* – круглые обтекатели; *6* – каркас шумоглушителя

Рис.2. Установка глушителя шума в дымовую трубу системы газоочистки с помощью мобильного крана

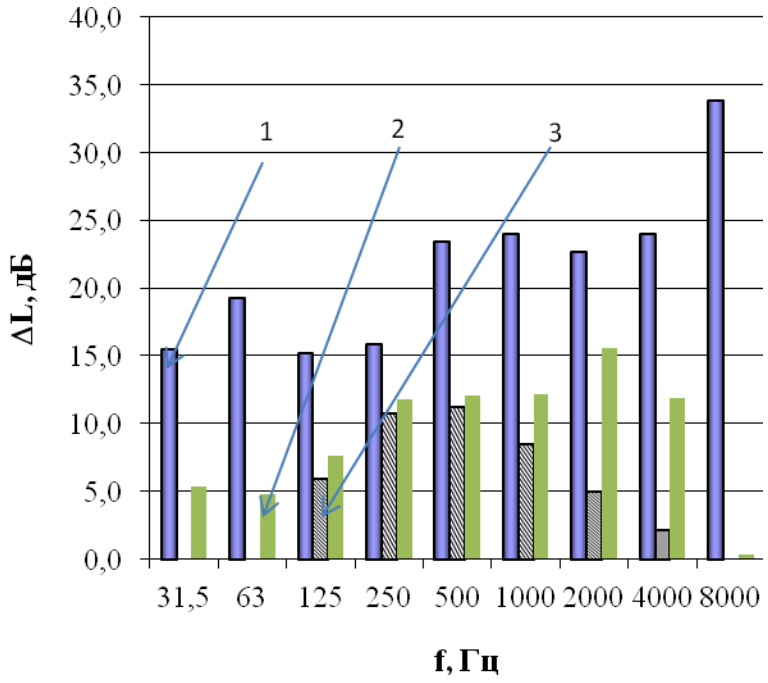


Рис. 3. Акустическая эффективность, дБ глушителей шума систем газоочистки: *1*– печи-ковша; *2*– ДСП; *3*– требуемое снижение

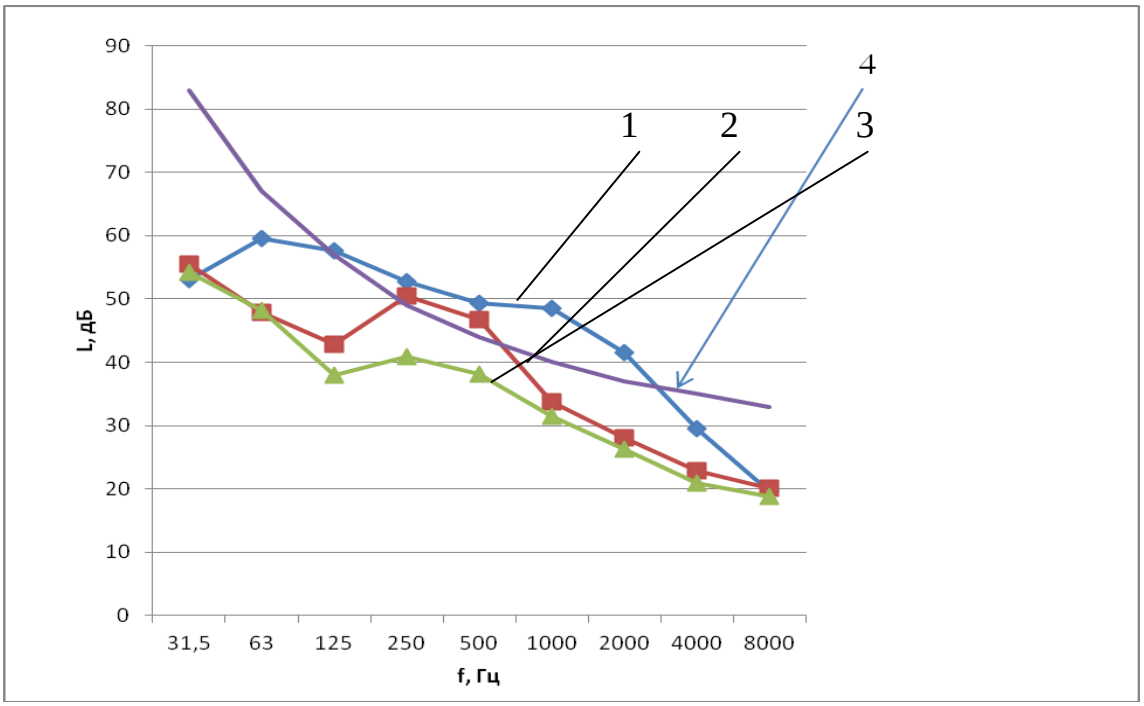


Рис.4. Уровни звукового давления в окружающем жилом районе: *1* – до установки глушителей шума; *2* – после установки глушителя шума на системе газоочистки ДСП; *3*– после установки глушителей шума на системах газоочистки ДСП и печи ковша; *4* – допустимые нормы для территории жилой застройки в ночное время суток (с 23 до 7 ч)

Рис.5. Окружающий ТЭЦ-23 филиала ОАО Мосэнерго район: *1*—градирни; *2*— срезы дымовых труб; *3*—экран

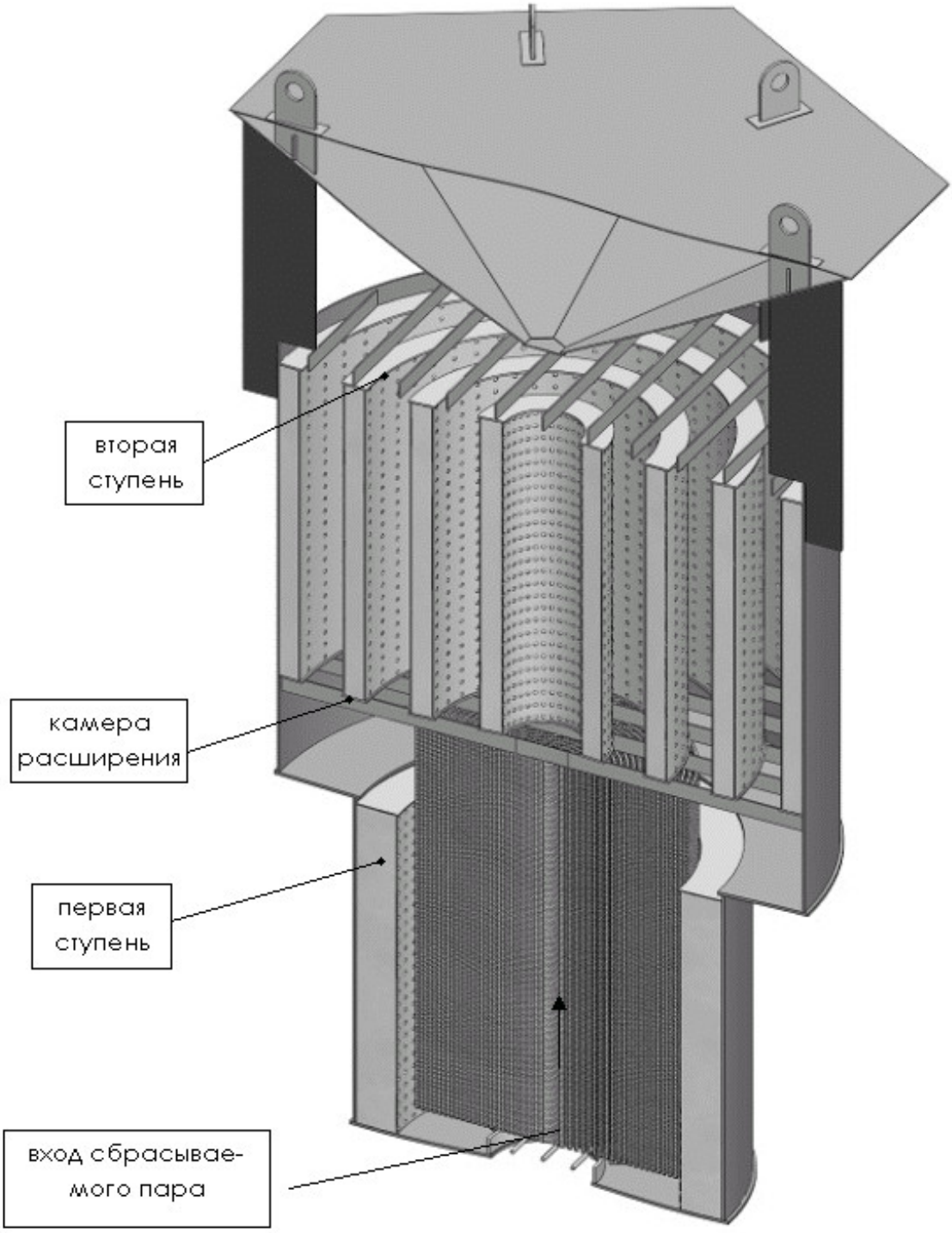


Рис.6. Глушитель шума выброса пара для выхлопных трубопроводов после ГПК котлов БКЗ-320-140 ст.№№5,6 ОАО «ТЭЦ-ЗИЛ»

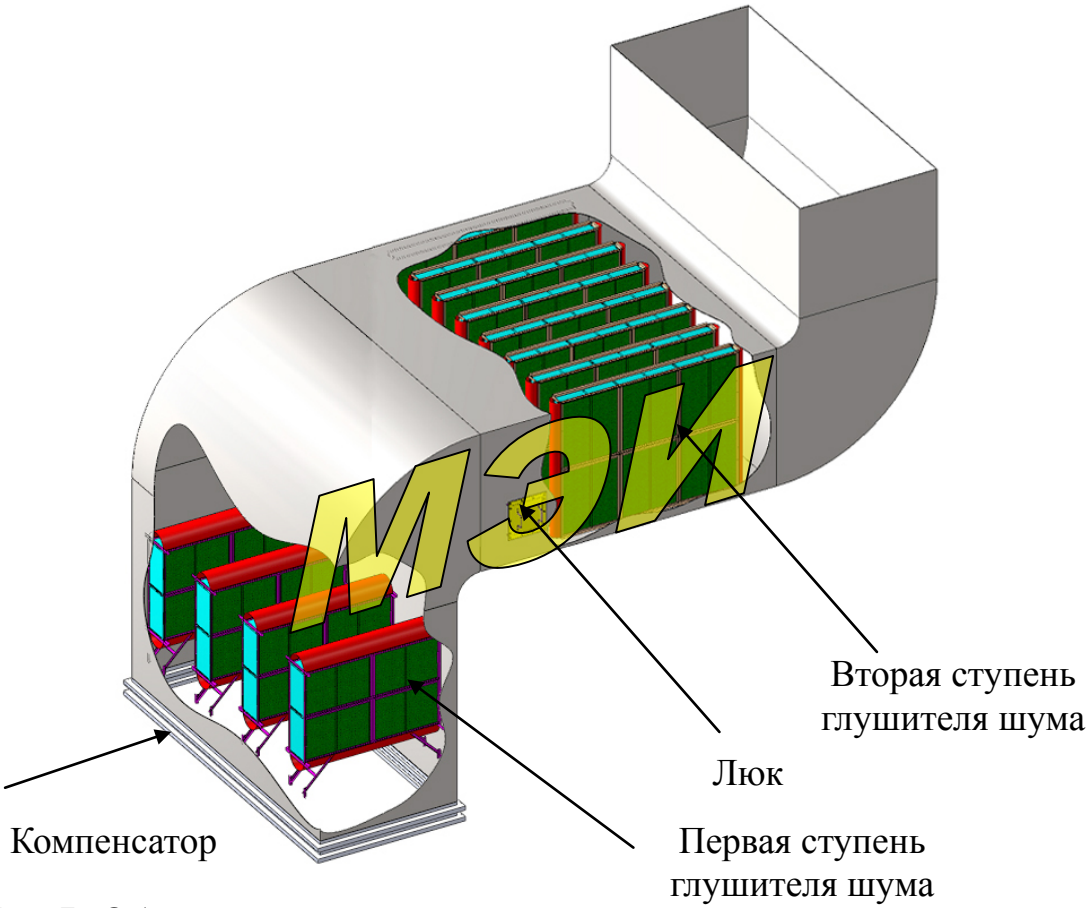
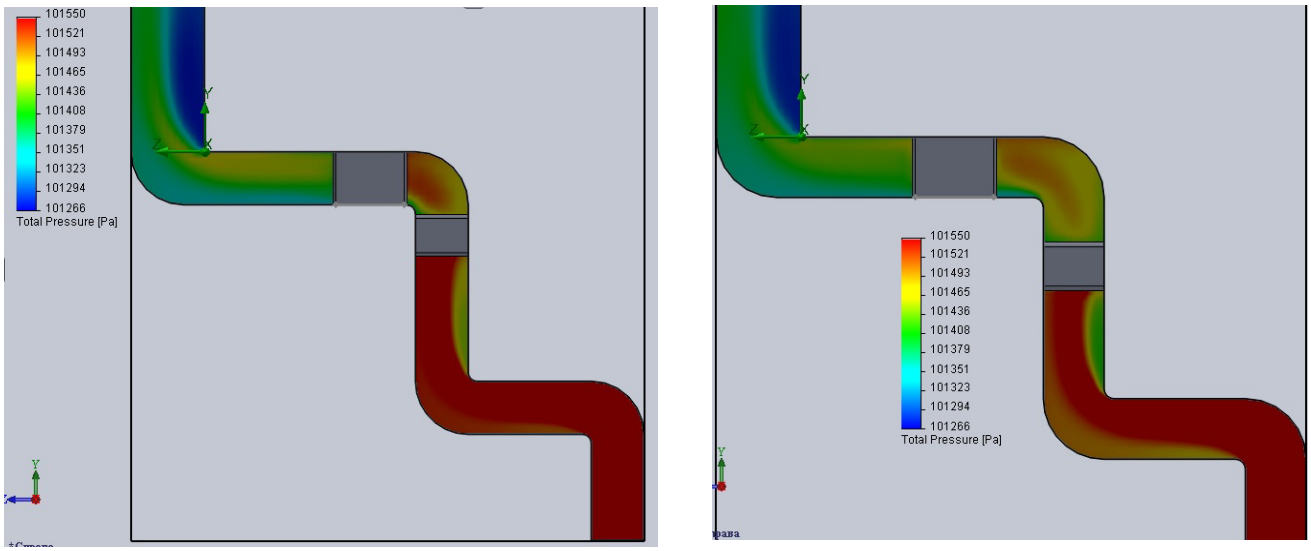


Рис.7. Общий вид двухступенчатого глушителя шума для газоходов котлов БКЗ-320-140ГМ ст.№№6, 7, 8 ТЭЦ-9



б)

Рис.8. Результаты математического моделирования полного давления среды внутри газового тракта БКЗ-320-140ГМ при минимальном расстоянии от ступеней глушителя до поворота (*а*) и при расстоянии 1,5 м от каждой из ступеней (*б*)

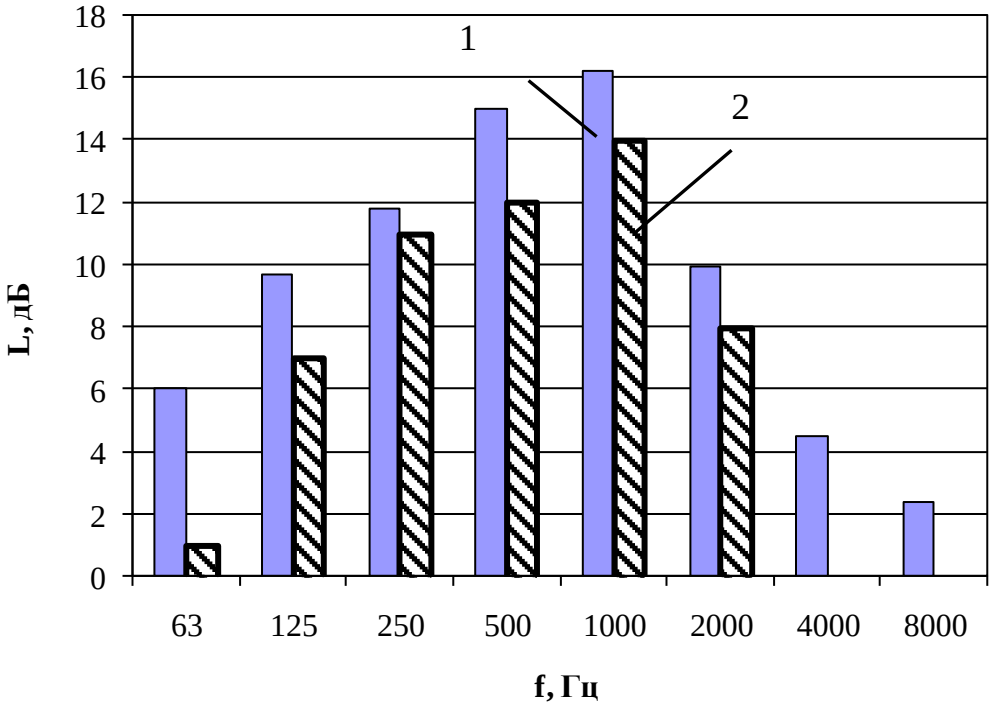


Рис.9. Акустическая эффективность: *1* – снижение УЗМ в глушителе шума; *2* – требуемое снижение УЗМ

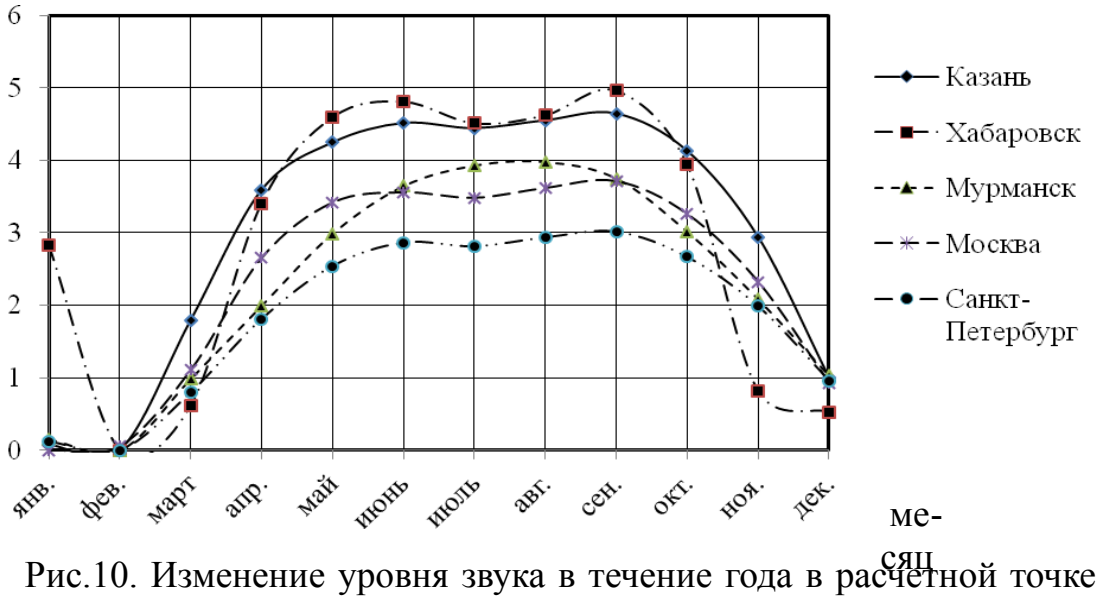


Рис.10. Изменение уровня звука в течение года в расчетной точке от парового выброса на расстоянии 500 м

Доклады

Автоматизированная система измерений транспортных шумов

Чернов А.А.
Федеральное государственное унитарное предприятие
Государственный научно-исследовательский институт
гражданской авиации
gosniiga-ecology@yandex.ru

Общеизвестным и доказанным многочисленными исследованиями является тот факт, что авиационный шум оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека. В связи с этим уже более 15 лет Международная организация гражданской авиации (ИКАО) и другие международные организации устанавливают ограничения по шумам для воздушных судов (ВС) гражданской авиации как на законодательном уровне (принятие законодательных актов и введение штрафных санкций), так и на техническом, используя системы мониторинга.

Так, например, в государствах Европейского Союза несколькими директивами (Директива 2001/43/ЕС; Директива 97/24/ЕС; Директива 70/157/ЕС; Директива 2002/735/ЕС; Директива 80/51/ЕС; Директива 89/629/ЕС; Директива 92/14/ЕС; Директива 2000/14/ЕС; Директива 74/151/ЕС; Директива 2003/44/ЕС) были введены нормы, ограничивающие уровни шумов по октавным и третьоктавным полосам частот в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц.

В марте 2002 года Европарламент и Совет ЕС директивой № 2002/30/ЕС установили порядок введения с 2002 года на территории стран - членов Евросоюза ограничений на эксплуатацию так называемых «самолетов с малым запасом по соответствию». Речь идет о самолетах, уровень шума которых соответствует требованиям норм Главы III ИКАО с запасом не более 5 EPN дБ* (а разрабатываемый новый стандарт ИКАО Глава IV ужесточает нормы по шуму уже на 10 EPN дБ). В список «шумных» самолетов попали Ил-62М и Ту-154М. Поэтому российские авиакомпании, во избежание штрафных санкций, были вынуждены снять эти лайнеры с выгодных рейсов в Европу.

В результате ввода вышеперечисленных ограничений в Европу прекратили полеты практически все самолеты российского производства, даже оснащенные европейскими и американскими двигателями, поскольку штрафы за превышение уровней авиационного шума сделали авиаперевозки на этих типах воздушных судов убыточными.

Уровень штрафов определяется директивами ЕС и нормативными актами каждого государства Европы в отдельности. Штраф исчисляется исходя из базовой стоимости одной единицы превышения уровня звука, умножаемой на

количество единиц превышения. Средняя базовая стоимость составляет 3,74 евро (около 150 рублей).

Эти штрафы взимаются с авиакомпаний, чьи самолеты превысили уровни шума, установленные инструкциями по полетам в районе аэропортов и нормативными документами государств.

На техническом уровне наиболее эффективным способом контроля за авиационными шумами является использование различных систем мониторинга, которые позволяют не только снизить уровень авиационного шума (АШ), но и выбросов загрязняющих веществ вблизи аэродрома. Внедрение систем мониторинга позволяет успешно решать следующие задачи:

- добиться реального уменьшения раздражающего воздействия АШ на население, проживающее в зоне ответственности аэродрома;
- организовать контроль за выдерживанием установленных схем выхода из района аэродрома и захода на посадку ВС;
- инструментально определить сравнительные характеристики АШ парка эксплуатируемых в аэропорту ВС различных авиакомпаний;
- получить исходную информацию, необходимую для разработки системы штрафных санкций за превышение установленных пределов шума;
- разработать по аналогии со сборами, введенными во многих аэропортах различных регионов мира и ввести систему аэропортовых сборов, учитывающую показатели акустического совершенства эксплуатируемых в аэропорту самолетов и нарушения установленных «Инструкцией по производству полетов в районе аэродрома» рекомендаций и ограничений по шуму.

Система мониторинга также позволяет задокументировать нарушения, как того требуют различные директивы ЕС.

В России в данном направлении делаются только первые шаги. В частности, в 2012 году в международном аэропорту Домодедово начато формирование системы мониторинга авиационных шумов и выбросов загрязняющих веществ.

В основу данной системы положены технологии, аппаратура и программное обеспечение известного мирового производителя соответствующего оборудования фирмы Bruel&Kjaer (Дания).

Система контроля авиационного шума представляет собой набор компонентов, позволяющих оперативно отследить превышения установленных лимитов уровней звука на территории, подверженной повышенному звуковому воздействию ВС.

Датчики системы – станции контроля шума устанавливаются в пределах периметра аэродрома в местах наиболее типичных нарушений стандартных маршрутов движения воздушных судов и в ряде точек на приаэродромной территории, над которыми воздушные суда в соответствии с инструкциями по производству полетов должны выполнять мероприятия по снижению шумности.

Принцип работы системы основывается на фиксировании датчиком шумового события, превышающего определенный, пороговый уровень и сопряжения данного события с информацией о нахождении воздушного судна в зоне чувствительности данного датчика.

Средством сбора данных служит выносной микрофон, который располагается в сборе с предусилителем на штанге. На этой же штанге размещается станция контроля метеопараметров и антенна GSM передатчика. От микрофона, метеостанции и антенны прокладываются соответствующие кабели.

Передача информации со станции контроля шума осуществляется посредством беспроводной передачи данных за счет существующих каналов сотовой связи.

Следует отметить, что именно анализ соблюдения ВС установленного уровня шума является конечными результатом, отражающим необходимость внедрения автоматизированной системы измерений транспортных шумов (что также возможно и в отношении других транспортных средств: аэроэкспрессов, автомобилей, поездов и т.д.).

Вместе с тем, система мониторинга авиационных шумов аэропорта Домодедово не свободна от ряда недостатков.

В первую очередь это относится к тому, что комплексом контроля АШ не предусмотрено документирование, которое должно быть оформлено в соответствии с требованиями ИКАО и других международных организаций гражданской авиации. В рассматриваемом комплексе информация выводится на пульт монитора диспетчера для принятия им решения о факте нарушения установленных ограничений. Это вносит субъективность в оформлении документов, что позволяет оспорить в судебном порядке налагаемые штрафные санкции.

Системам энергоснабжения привязана к существующим линиям энергоснабжения, особенно за пределами аэропорта. Если вокруг аэропортов Московского аэроузла вопросы энергоснабжения и живучести станций контроля уровней АШ в целом решены, то в районах многих российских международных аэропортов эти вопросы потребуют достаточно больших капиталовложений. Поэтому необходимо усовершенствовать не только архитектуру комплекса, но и его техническое решение. Если будет рассматриваться вопросы локального энергоснабжения, целесообразно отказаться также от использования каналов сотовой связи и воспользоваться возможностями подключения станций контроля к оптоволоконным линиям или применить выделенные релейные средства связи.

В связи с изложенным представляется целесообразным рассмотреть другие варианты формирования автоматизированной системы мониторинга авиационных шумов с учетом последних технологических разработок отечественных или зарубежных компаний.

При этом представляется целесообразным при разработке и технической реализации комплекса средств автоматизированного мониторинга АШ реализовать следующий алгоритм работы:

Выбор всепогодного (для рабочих температур от -40 до + 60 градусов Цельсия) ограничить многоканальными анализаторами с возможностями определения вектора излучения шума, которые должны стать платформой для всех вариантов реализации систем анализа шума и вибрации. Данный анализатор должен работать в режиме реального времени, то есть, не должно быть значимого промежутка времени между измеряемым параметром и реакцией анализатора на него. При этом программное обеспечение должно автоматически отсекать результаты замеров, которые укладываются в параметры предустановленного допустимого уровня шумов в месте дислокации датчика.

В процессе измерения результаты выявленных нарушений установленных пороговых значений должны автоматически регистрироваться с фиксацией времени пролета ВС над местом дислокации датчика, а также азимутальные сведения о начале и окончании регистрации нарушения. В передаваемой информации должно быть отображены данные, предусмотренные нормативными документами ИКАО, ИАТА или других международных организаций гражданской авиации, включая время начала и окончания передачи данных.

Многоканальность обеспечивает одновременное выполнение FFT (БПФ), 1/n-октавный (Constant Percentage Bandwidth, CPB – с постоянной относительной шириной полосы фильтров), порядковый, а также общий анализ уровня шума в одном и том же канале или для различных каналов и сигналов.

Данные от всех средств наблюдения обрабатываются системой обработки данных (информационным сервером) и при необходимости выводятся на рабочее место диспетчера, отображая последовательность зарегистрированных нарушений вдоль посадочного или взлетного курса.

В качестве такого информационного сервера может выступать автоматизированное рабочее место диспетчера, оснащенное персональным компьютером, что позволяет использовать производительность ПК в целом для документирования результатов обработки сигналов в реальном времени.

Пакет ПО обеспечивает выполнение общих акустических и вибрационных испытаний с использованием многоканального анализа в реальном времени, общего анализа при исследованиях и разработках, а также анализа шума и вибрации с одновременным использованием нескольких каналов анализаторов и наборов частотных полос;

В интегрированную систему управления аэропортом поступают формализованные в соответствии со стандартами результаты обработки данных системы контроля АШ, позволяющие практически сразу после приземления ВС направить представителю авиакомпании информационное сообщение о величине налагаемых на авиакомпанию штрафом, а также описание имевшегося нарушения с приложением данных средств объективного независимого контроля.

Система мониторинга шума аэропортов может быть была разработана в течении очень короткого времени, используя программное обеспечение, разработанное в ГосНИИ ГА.

Схематично реализация автоматизированного мониторинга, например, на базе мобильного оборудования немецкого производителя портативных и универсальных многоканальных анализаторов шума и вибрации SINUS Messtechnik GmbH, может выглядеть следующим образом. (слайд)

С целью определения уровней АШ на больших территориях в полевых условиях с минимальным усилиями может быть создана измерительная система из нескольких пунктов типа NoiseLOG_mobil с многоканальными микрофонами и ведущей станцией. Ключевыми требованиями, предъявляемыми этой системе, являются высокая степень мобильности и гибкости, безукоризненная целостность данных и надежность конструкции.

Эти требования исключают наличие кабельных соединений между отдельными точками измерения. Ведущая станция необходима для обеспечения отображения в реальном времени уровней шума и третьоктавных спектров всех микрофонов, а так же для гарантирования синхронной записи звука. Эта высокая степень целостности данных совместно с синхронным разрешением времени для всех измеренных величин, формируют наиболее важные предварительные условия для этого проекта. Ведущая станция используется для удаленного управления и мониторинга каждого канала.

Представляется, что данное решение является экономически оправданным при использовании современных технологии передачи данных типа WLAN, GPRS и GPS.

Еще одним преимуществом предлагаемой системы является ее модульность, которая позволяет «наращивать» возможности, например, для формирования комплекса мониторинга орнитологической обстановки на летном поле аэропорта.

Кроме того, аппаратные решения позволяют совместить мониторинг АШ с решением задач контроля орнитологической обстановки в аэропорту. Известно, что птицы семейства врановых, как наиболее часто гнездящиеся в районах дислокации аэропортов, и большинство перелетных птиц имеют характерные особенности радиолокационного эха:

- относительно низкая мощность. Коэффициент отражаемости ($Z < 30$ dBZ);
- максимальные амплитудные флюктуации находятся в области низких частот (до 10 dB в частотном диапазоне 2–50 Hz;
- радиоэхо, измеренное на длине волны 10 см, больше, чем на длине волны 3 см.

Построенные на основе разработанных алгоритмов могут формироваться радиолокационные карты орнитологической обстановки для района аэропорта в радиусе до 60 км относительно места размещения радиолокатора и содержать при этом следующую информацию:

1. общее количество птиц,
2. распределение их по высотам,
3. спектр скоростей и направлений полёта, в том числе вектор суммарного направления,

4. векторные поля движения птиц на фоне метеорологической обстановки и с привязкой к местности,

5. распределение видов птиц по характеру их движения (степени прямолинейности и равномерности),

6. об облаках, осадках, невидимых визуально атмосферных образованиях и их параметрах.

При этом, если совмещать посты контроля АШ с радиолокационными устройствами, например, типа МРЛ 5, то возможно использовать имеющиеся резервы вычислительных мощностей и средств передачи данных в интересах создания автоматизированной подсистемы орнитологического мониторинга и орнитологического обеспечения полетов гражданской авиации. При этом, если в качестве инструмента отпугивания птиц использовать гиперзвуковые пушки типа LRAD (Long Range Acoustic Device), направленные вдоль периметра, то возможно создать комплекс, обеспечивающий отсутствие птиц на летном поле аэропорта.

Практическая реализация проекта внедрения комплекса (слайды)

В настоящее время специалистами ФГУП ГосНИИ ГА были проанализированы стандартные маршруты на примере аэропорта «Внуково». В ходе анализа были выявлены зоны, где возможны нарушения экипажами ВС установленных путей маршрута. После проведения натурных измерений выводы подтвердились.

Сегодня специалистами Института разработана предварительная схема размещения средств контроля за авиационными шумами в районе аэропорта. Было установлено, что целесообразнее установить средства контроля и мониторинга в районах, указанных на рисунке зеленым цветом.

Инструментальное определение специального характера шума

Курепин А.Д.
ООО "НТМ-Защита", Москва, Россия
sound@ntm.ru

В действующем отечественном нормировании существует классификация шума по временным и частотным характеристикам. Она определяет две практически важные вещи. Первая – набор параметров шума, по которым осуществляется санитарно гигиеническая оценка. Вторая – применение поправки при выполнении оценки. Величина поправки 5 дБ достаточна для принципиального изменения результата санитарно-гигиенической экспертизы. В то же время ресурсы современных цифровых приборов позволяют вести разнообразную обработку результатов непосредственно в ходе измерения. Например, анализировать выполнение критериев специального вида шума. Поэтому инструментальное обоснование применения поправки заслуживает внимательного рассмотрения.

Классификация шума содержится в [1] – [6]. К сожалению, приведенные в них определения и критерии не согласуются между собой. В этой ситуации за основу принимаем определения [1] и [2]. По двум причинам. Первая. Классификация шума в них идентична. Вторая. При всех известных недостатках этих документов они пока незаменимы для практики. Они содержат ДУ и ПДУ, с которыми приходится сравнивать результаты измерений.

Тональный шум. По [1], [2] «…для практических целей устанавливают измерением в третьоктавных полосах частот по превышению уровня звукового давления в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ». При кажущейся ясности критерий не однозначен: не указана временная характеристика, применяемая для определения УЗД в полосах. Тот же недостаток в определении [6]. Только в [5] уточняется, что сравниваются усредненные (или эквивалентные) значения. И это логично, т.к. именно эквивалентные УЗД накапливают информацию за все время измерения. Тон, наблюдавшийся значительную часть времени, в спектре эквивалентных УЗД проявится, а кратковременные тоны, не существенные относительно времени измерения (оценки), - нет. Там же в [5] описан другой объективный метод оценки слышимости тонов в шуме. Метод основан на результатах БПФ и включает учет маскировочных шумов для расчета поправки на тональность. Поправка может достигать 6-ти дБ и быть не целой. Реализацию метода можно найти в некоторых зарубежных приборах. Не составляет большой проблемы реализовать его и у нас. Однако практическое применение требует изменения действующих норм. С учетом сказанного, индикатор тональности приборов АССИСТЕНТ сравнивает эквивалентные УЗД в третьоктавных полосах частот.

Практика применения индикатора тональности выявила две ситуации, которые критерием не были предусмотрены.

Первая, тон постоянной частоты находится на границе двух третьоктавных полос. В этом случае спектр имеет вид, представленный на рисунке 1.

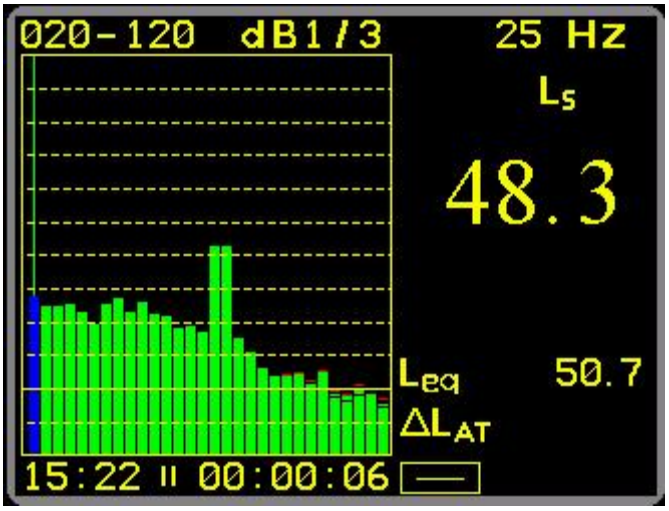
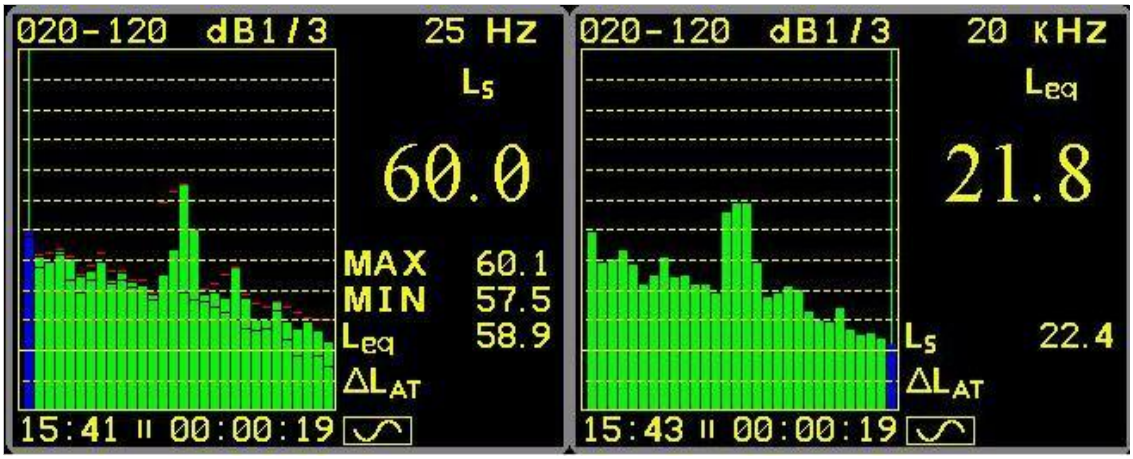


Рисунок 1. Частота тона между третьоктавными полосами.

Формально в нем нет полосы, превышающей обе соседние на 10 дБ, несмотря на чисто тональный измеряемый сигнал. Понятно, что это недостаток критерия тональности, а не его реализации в приборе. Путь для преодоления данной ситуации тоже понятен и для современных приборов не сложен. Это переход в определении тональности к более узкополосным спектрам. Сложность только в изменении действующих норм.

Вторая ситуация. Частота тона непрерывно изменяется, пример – сирена. В каждый момент времени в третьоктавном спектре есть полоса, превышающая соседние на 10 дБ или больше. Рисунок 2.1. Но на усредненном за время измерения спектре такой полосы может не оказаться, т.к. при усреднении тон «размазывается» по интервалу частот его изменения. Рисунок 2.2.



1. 2.

Рисунок 2. Спектры УЗД «медленно» и «эквивалент».

Для данной ситуации [5] рекомендует. Если частота слышимых тонов в спектре изменяется более чем на 10 % ширины критической полосы в течение времени усреднения, то может потребоваться разделить период длительного усреднения на некоторое число коротких периодов усреднения. Способ применим и для рассмотренных третьоктавных спектров. Другое дело, что трудно ожидать следования этой рекомендации на практике, особенно в массовых измерениях. Практически более удобным может быть другой подход. Сравнивать не эквивалентные УЗД, а УЗД текущих значений с небольшим временем усреднения. Это могут быть «быстро», «медленно» или эквивалентные значения за секунду. Если фиксировать время, в течение которого для них наблюдается превышение на 10 дБ в любой из полос, то по окончанию измерения в приборе определится время, в течение которого шум имел тональный характер. После чего можно вводить поправку на тональность с учетом времени ее действия. Аналогично тому, как это делается при определении, например, эквивалентного уровня за смену. Максимальной поправке будет соответствовать выполнение критерия тональности в течение 100% времени измерения. Так можно действовать и для узкополосных спектров. Технически, время выполнения заданного условия на интервале измерения определяется легко и мало занимает ресурсы современного прибора.

Практика показала и другое. При всех указанных недостатках, индикатор неоднократно определял тональность там, где она не ожидалась. Проверка по спектру, в том числе приборами других изготовителей, однозначно подтверждала наличие тональности в полном соответствии с действующим критерием. Далее в статье приведен один из таких примеров.

Импульсный шум. В [1] и [2] определяется, как шум, составленный импульсами, продолжительностью менее секунды, притом, что $L_{AI} > L_{AS}+7$. Критерий опять неоднозначный. Оба уровня постоянно изменяются, рисунок 3, изменяется и их разность. Часть времени условие выполняется, часть времени - нет. Значит один и тот же шум может оказаться импульсным или нет, в зависимости от момента остановки измерения и снятия показаний прибора. Это недопустимо. Индикатор импульсного шума приборов АССИСТЕНТ построен следующим образом. Непрерывно в течение измерения сравниваются значения L_{AI} и L_{AS}. Индикатор импульсного шума включается в момент выполнения условия и выключается, когда условие перестает выполняться. Одновременно с индикацией включается и выключается счетчик времени. В результате в счетчике накапливается время выполнения критерия, которое выводится на дисплей в процентах от времени измерения. После чего, также, как и в случае плавающего тона, можно определять поправку, пропорционально времени выполнения критерия импульсного шума. Общепринятая методика учета времени действия, таким образом, использована и для тонального и для импульсного шума. Можно определять в приборе не только время действия, но и итоговые уровни с поправками.

Опыт эксплуатации индикатора импульсного шума также показал несколько примечательных особенностей.

Например, обычная речь дает около 30% времени выполнения критерия импульсного шума. Представленный в верхней половине рисунка 3 образец записи речи соответствует первой части определения: «… состоящий из одного или нескольких звуковых импульсов длительностью меньше секунды».

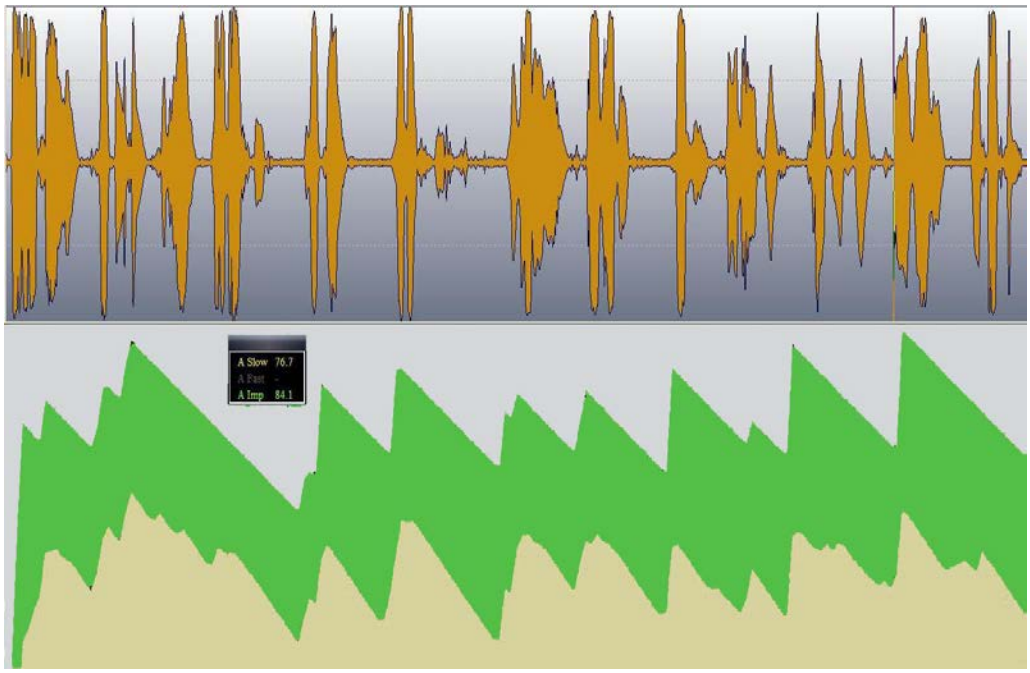


Рисунок 3. Вверху – запись речи; внизу - хронограмма L_{AI} и L_{AS} при ее измерении, 35% времени $L_{AI} > L_{AS} +7$.

Хронограмма L_{AI} и L_{AS} на нижней половине рисунка демонстрирует участки выполнения и второго условия.

Интересный пример представлен на рисунке 4. Это одна из задач, рассылаемых ФЦГСЭН для контроля квалификации сотрудников лабораторий Роспотребнадзора. На первый взгляд, это импульсный шум. Он состоит из звуковых импульсов длительностью меньше секунды в соответствие с 1-й частью определения импульсного шума. При прослушивании слышны удары по наковальне. А вот вторая часть определения, Li >Ls+7, при этом не выполняется. Именно это показал индикатор прибора. Зато сработали индикаторы постоянного и тонального шума, что было неочевидно и по виду записи сигнала и по его звучанию. «Ручная» проверка диапазона изменения L_{AS} подтвердила постоянный характер шума. Эквивалентные УЗД третьоктавного спектра показали наличие тона собственной частоты наковальни.

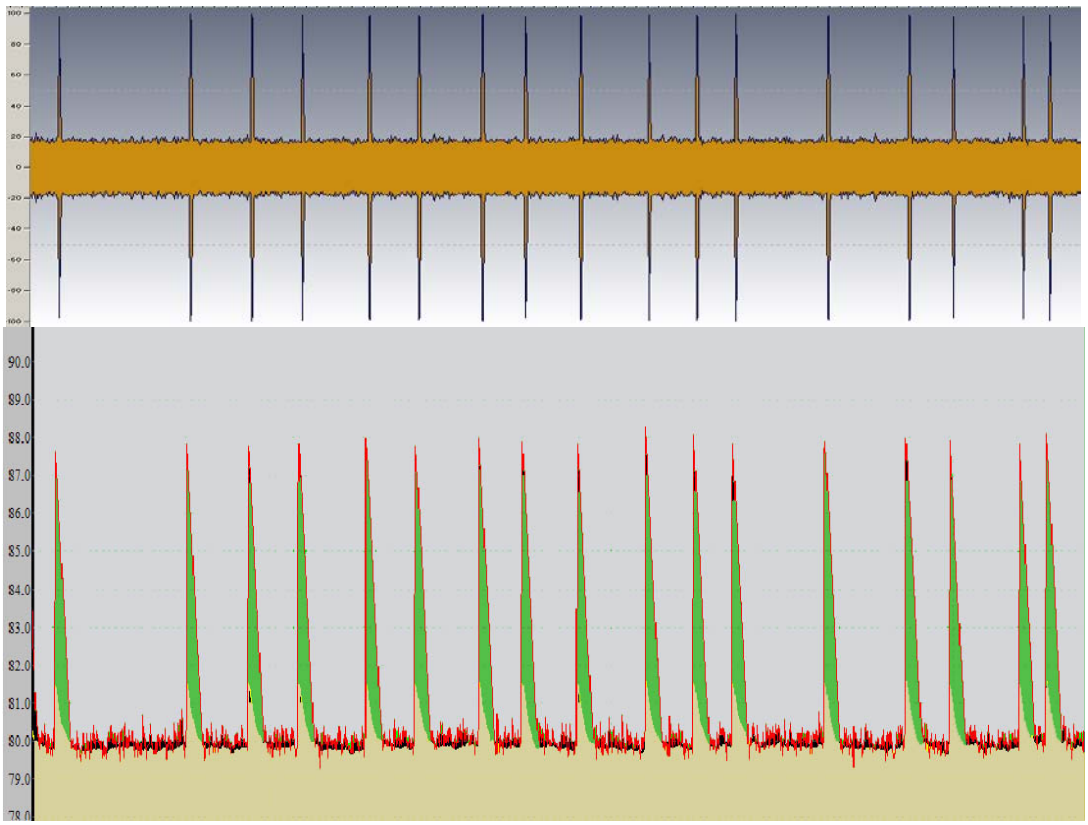


Рисунок 4. Вверху - запись звука. внизу - хронограмма L_{AI} и $L_{AS,}$ LAS - LAI < 7 дБА 100% времени.

Как позднее выяснилось, тональный характер сигнала оказался неожиданностью и для его создателей. При измерении другого проверочного сигнала, созданного, как пример импульсного шума, индикатор показал 100% времени выполнения критерия импульсного шума.

В докладе сознательно не рассматривалась «правильность» сформулированных критериев с точки зрения медицины. Во-первых, это в большей степени вопрос гигиенистов. Во-вторых, во время своего создания критерии опирались на доступный в то время уровень приборов. Сейчас ситуация качественно изменилась. Приборы с цифровой обработкой сигнала способны обеспечить проверку технически гораздо более сложных, но «физиологически» гораздо более точных критериев. Например, для импульсов можно определять градиент нарастания, абсолютную величину перепада, энергию в импульсе и т.п. Реализовать это можно оперативно, отечественные компании обладают полным циклом создания высококлассных приборов. Внести изменения можно и в действующий парк, поскольку при цифровой обработке сигнала это требует лишь модернизации программного обеспечения.

Есть и еще один аспект инструментального определения специального характера шума. Это получение окончательного результата, учитывающего особые требования нормирования некоторых типов шума, в самом приборе. Тем самым, создается необходимое условие интеграции в автоматизированные системы, все шире применяемые в настоящее время.

Заключение

Инструментальное определение специальных видов шума обеспечит:

- объективное обоснование применения поправок, величина которых существенна для результатов экспертизы;

- формирования в процессе измерения исчерпывающего набора параметров измеряемого шума в приборе для интеграции в автоматизированные системы.

В том виде, в котором классификация шума изложена в действующих нормативных документах (НД), она не обеспечивает однозначной инструментальной доказательности. Независимо от того применяется она прибором или человеком.

Даже при несовершенной классификации, введение в прибор индикаторов характера шума показало несомненную практическую пользу.

Опыт применения индикаторов указал возможные пути доработки критериев, которые можно сделать при ближайшем пересмотре соответствующих НД. В частности, использование методики учета времени действия при определении поправок и для тонального и для импульсного шума

Современные отечественные приборы высокого класса с применением цифровой обработки сигнала, предоставляет гигиенистам возможность формулировать объективные критерии специальных свойств шума необходимой степени сложности. Обеспечивают быстрое введение новых критериев в практику.

Литература

1. ГОСТ 12.1.003 «Шум. Общие требования безопасности».

2. СН 2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

3. ГОСТ Р 53187-2008 « Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий».

4. ГОСТ 31296.1-2005 (ISO 1996-1:2003). «Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 1. Основные величины и процедуры оценки».

5. ГОСТ 31296.2-2006 (ИСО 1996 - 2:2007) «Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2. Определение уровней звукового давления».

6. ГОСТ 31301—2005(ISO 15664:2001). «Шум. Планирование мероприятий по управлению шумом установок и производств, работающих под открытым небом».

Особенности снижения шума выброса пара на объектах энергетики

Чугунков Д.В.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
chugunkovdv@mpei.ru

1. Введение

Как известно, на объектах энергетики основным рабочим телом для обеспечения технологии выработки электроэнергии и тепла является водяной пар, поэтому выбросы пара в атмосферу на этих объектах являются неотъемлемой частью. Выбросы пара по праву можно считать самыми мощными источниками шумового воздействия на окружающие жилые районы и производственные территории, шум от которых имеет негативное воздействие на значительные расстояния, существенно превышая допустимые нормы. Нахождение человека вблизи выхлопной трубы во время сброса пара может привести к значительному ущербу здоровью, т.к. уровни шума могут составлять более 137 дБА. Сбрасываемый пар в атмосферу на энергетических объектах, особенно для блоков парогазовых установок, характеризуется широким диапазоном параметров и расходов, различными механизмами генерации шума, продолжительностью воздействия и другими важными факторами, которые необходимо учитывать при разработке мероприятий по шумоглушению.

2. Выбросы пара в истории развития технологического прогресса

Выбросы пара в атмосферу, создающие сильный шум, появились ещё с момента создания первых паровых машин и предназначались, в основном, для защиты оборудования от чрезмерного повышения давления.

Частым шумом выброса пара сопровождалась работа паровозов, особенно во время посадки пассажиров в готовый к отправлению поезд, когда в растопленном котле паровоза при отсутствии работы парового двигателя происходило стравливание пара в атмосферу для исключения превышения давления.

Негативное воздействие шума выброса пара также имело место, например, в известной катастрофе британского парохода «Титаник», случившейся более 100 лет назад. Здесь шум значительно осложнял действия экипажа корабля по организации спасения пассажиров, а сами пассажиры из-за шума не желали выходить из своих кают.

С развитием научно-технического прогресса, приводящему к увеличению параметров пара на энергетических котлах с целью увеличения экономичности работы турбоустановок, увеличивается и звуковая мощность паровых выбросов, а это обуславливает проведение всё более новых исследований по снижению шума в этой области.

3. Нормирование шума выбросов пара

Выбросы пара в атмосферу на энергетических объектах являются, в основном, временными источникам шума, продолжительность их шумового воздействия может составлять от нескольких десятков секунд, например, при срабатывании главных предохранительных клапанов (ГПК) котлов (рис.1) и до 2-3 часов во время проведений операций по растопке энергетических котлов или пусковых режимах на энергоблоках, при этом данные выбросы пара являются, как правило, не частыми.

Рис.1. Выброс пара в атмосферу при срабатывании ГПК на ТЭЦ.

Существуют кратковременные, но частые выбросы пара, которые связаны с работой предприятий в неотопительный период. Эти выбросы пара относятся, в основном, к металлургическим и химическим объектам. Примером таких выбросов может служить продувка котлов охладителей конверторных газов на металлургическом комбинате в летнее время, когда отсутствует нагрузка по теплоснабжению.

В соответствии с [1] характеристикой непостоянного шума является интегральный критерий – эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА. Дополнительно для колеблющегося во времени и прерывистого шума ограничивают максимальные уровни звука в дБА, при этом максимальный уровень звука на рабочих местах не должен превышать 110 дБА.

На некоторых объектах энергетики выбросы пара могут продолжаться в течение нескольких суток и даже недель. Подобные выбросы пара происходят в настоящее время на одной из ТЭЦ в крупной энергосистеме. Данная ТЭЦ была построена ещё в 30-е годы 20 века и предназначалась для снабжения электроэнергией и паром промышленных предприятий, а также для теплоснабжения городских районов.

В состав оборудования ТЭЦ входит противодавленческая турбина *Р6*, у которой отсутствует конденсатор, а её работа обеспечивается при отпуске пара промышленному потребителю с противодавлением.

В настоящее время предприятие, потребляющее пар от ТЭЦ, перестало нуждаться в паре (рис.2). В результате на ТЭЦ при покрытии необходимой электрической нагрузки для обеспечения работы турбины часть пара сбрасывается в атмосферу, что приводит к превышению норм по шуму в окружающем жилом районе на 20-30 дБА в течение очень продолжительного времени – несколько суток. В этом случае выбросы пара необходимо относить к постоянным источникам шума с соответствующим нормированием шума.

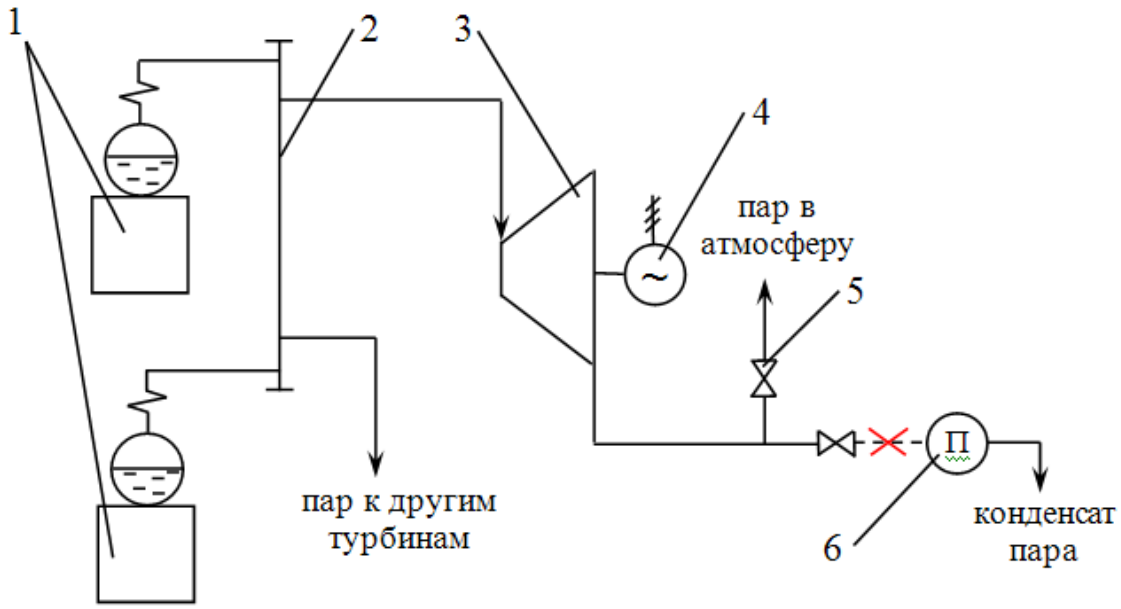


Рис.2. Часть тепловой схемы ТЭЦ с потребителем пара: 1 – паровые котлы, 2 – общая паровая магистраль, 3 – противодавленческая турбина *Р6*, 4 – электрогенератор, 5 – сбросная задвижка, 6 – потребитель пара.

4. Различия в механизме генерации шума выбросов пара

Особенностями выбросов пара в атмосферу на мощных энергетических котлах большой паропроизводительности (расходы сбрасываемого пара через выхлопные трубопроводы Gп > 30 т/ч) является образование недорасширенных, неизотермических и трансзвуковых струй пара, которые являются основными источниками шума [2]. Такие струи характеризуются степенью нерасчётности n > 2, высокими температурами (до 450 °С). В этом случае шум возникает в результате турбулентных пульсаций давления, связанных с флуктуациями скорости на границе смешения струи с окружающим воздухом, взаимодействием между скачками уплотнения и турбулентными пульсациями с генерацией ударного шума. При этом скорости пара в изобарическом сечении струи значительно превышают сверхзвуковые значения. Такие сбросы пара происходят при срабатывании ГПК котлов, продувках пароперегревателей котлов, пусковых операциях на котлах и характерны для большинства существующих тепловых электрических станций (ТЭС) нашей страны. Здесь также следует отметить, что шум при срабатывании ГПК котлов является внезапным, поскольку

предохранительные клапаны имеют мгновенное открытие, обеспечивая максимальный расход сбрасываемого пара. Подобный шум может сильно испугать человека, по сравнению, например, с растопкой котлов, когда уровни шума нарастают постепенно по мере увеличения параметров пара.

Шум выброса пара на котлах малой паропроизводительности (Gп < 30 т/ч) определяется двумя источниками:

– дозвуковой струей пара на выходе из выхлопного трубопровода;

– турбулентным потоком пара, возникающим за клапаном или задвижкой с наличием больших перепадов давлений – более 1,8 и образованием критической скорости течения.

Шум дозвуковой струи, в основном, зависит от скорости её течения, а шум турбулентного потока пара за клапаном или задвижкой, излучаемый от среза выхлопного трубопровода в окружающий район, зависит от организации движения потока пара в клапане или задвижке, перепада давления, а также степени снижения шума в выхлопном трубопроводе. Подобные выбросы характерны для ТЭС небольшой мощности.

Для котлов-утилизаторов (КУ) блоков ПГУ, строительство которых активно ведется в настоящее время в нашей стране, характерны все рассмотренные выше механизмы генерации шума из-за наличия различий параметров пара в контурах низкого, среднего и высокого давлений КУ.

5. Характеристики шума выбросов пара

Спектральные характеристики шума выбросов пара на объектах энергетики относятся к высокочастотному шума с наличием максимумов в диапазоне октавных полос со среднегеометрическими частотами 1000 – 4000 Гц.

Для мощных энергетических котлов общий уровень звуковой мощности выбросов пара может достигать свыше 167 дБ, а для котлов малой паропроизводительности, характеризующимися на порядки меньшими расходами сбрасываемого пара, общий уровень звуковой мощности составляет свыше 130 дБ.

На рис.3 представлены результаты измерений УЗД вблизи выбросов пара при срабатывании ГПК энергетического котла БКЗ-320-140 с расходом сбрасываемого пара около 143 т/ч и при расходе сбрасываемого пара около 2 т/ч для выхлопного трубопровода отбора противодавленческой турбины *Р6*. Представленные результаты на рис.3 с наибольшим расходом сбрасываемого пара характеризуются шумом недорасширенной струи, а с наименьшим расходом – шумом турбулентного потока пара за сбросной задвижкой.

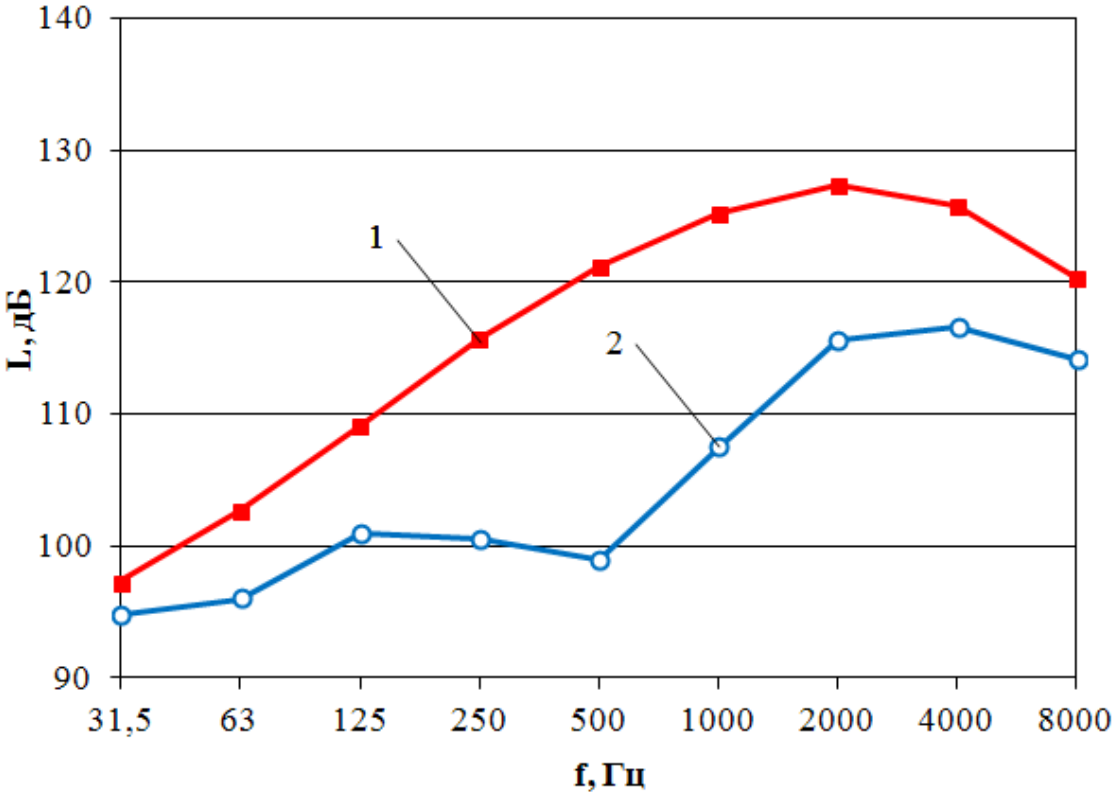


Рис.3. Результаты измерений УЗД: 1 – в 17 м от выхлопного трубопровода при срабатывании ГПК энергетического котла БКЗ-320-140 (расход сбрасываемого пара – 143 т/ч, 2 – в 1 м от выхлопного трубопровода отбора противодавленческой турбины Р6 (расход сбрасываемого пара – 2 т/ч)

6. Особенности разработок мероприятий по снижению шума выбросов пара

Для снижения шума выбросов пара на энергетических объектах необходимо применять глушители шума.

Общим принципом снижения шума в глушителях шума выброса пара является снижение статического давления пара до атмосферного давления, а также снижение скорости за счёт последовательного увеличения проходного сечения.

Активное внедрение глушителей шума выбросов пара на ТЭС в нашей стране началось в конце 80-х годов. В настоящее время большая часть установленных глушителей (рис.4) выработала свой ресурс эксплуатации и не обеспечивает требуемое снижение шума, что обуславливает необходимость их замены на новые, более эффективные конструкции. Кроме этого, большое количество котлов на ТЭС не имеет глушителей шума выброса пара на выхлопных трубопроводах, что нарушает требования ГОСТа [3].

Рис.4. Глушители шума конструкции СКБТ ВКТ

Существующие и строящиеся объекты энергетики характеризуются различными параметрами пара на котлах (начальные параметры, паропроизводительность и др.), отличительными особенностями выхлопных трубопроводов и местом их вывода из котельного цеха ТЭС (на крышу, из стены и др.), это обуславливает различные характеристики сбрасываемого пара в атмосферу и, соответственно, различные уровни шума. Требуемое снижение уровня шума выбросов пара рассчитывается из условий близости расположения территории жилой застройки и соблюдения норм на производственной территории. Применение одного типоразмера глушителя шума на различных котлах может привести к работе глушителей в нерасчётном режиме при низкой акустической эффективности, а также высоком гидравлическом сопротивлении, которое будет препятствовать необходимому расходу сбрасываемого пара, что особенно опасно, т.к. это может способствовать развитию аварийной ситуации, например, выводу котла из строя при срабатывании ГПК. Всё это говорит о необходимости разработок мероприятий по шумоглушению индивидуально для каждого котла с учётом территориального расположения энергетических объектов относительно жилого района.

Для снижения шума выбросов пара до нормативных значений в МЭИ разработаны высокоэффективные конструкции глушителей шума (далее глушители шума конструкции МЭИ). Глушители проектируются под определенные параметры сбрасываемого пара, требуемое снижение уровня шума и учитывают особенности генерации шума.

Глушитель конструкции МЭИ для расходов сбрасываемого пара свыше 30 т/ч (рис.5) содержит корпус, состоящий из нескольких ступеней шумоглушения

и камеры расширения [4]. Такая компоновка глушителя позволяет разделить изготовление по нескольким модулям, что снижает трудоёмкость и сроки его изготовления.

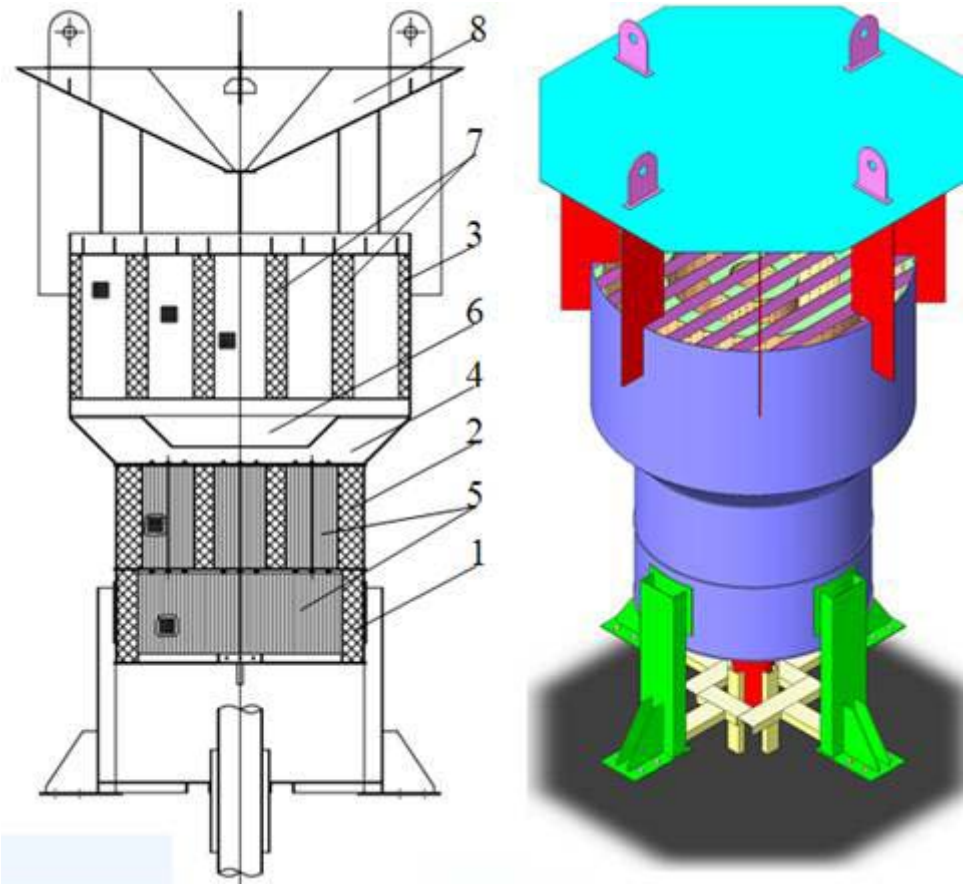


Рис.5. Глушитель шума выброса пара конструкции МЭИ для котлов большой паропроизводительности: 1, 2, 3 – соответственно первая, вторая и третья ступени шумоглушения, 4 – камера расширения, 5 – спирали сеток, 6 – коническая обечайка, 7 – цилиндрические кассеты со ЗПМ, 8 – крыша.

Снижение шума в глушителях конструкции МЭИ для расходов сбрасываемого пара менее 30 т/ч (рис.6) [5] осуществляется путём снижения шума дозвуковой струи пара и шума, который генерируется за предохранительным клапаном. В данной конструкции на выходе второй ступени глушителя может устанавливаться отвод 90°, в случае необходимости направления выходного потока пара из глушителя шума в боковую строну, которая может быть обусловлена требованиями эксплуатации, например, для исключения образования наледей и сосулек в зимнее время на металлоконструкциях крыши.

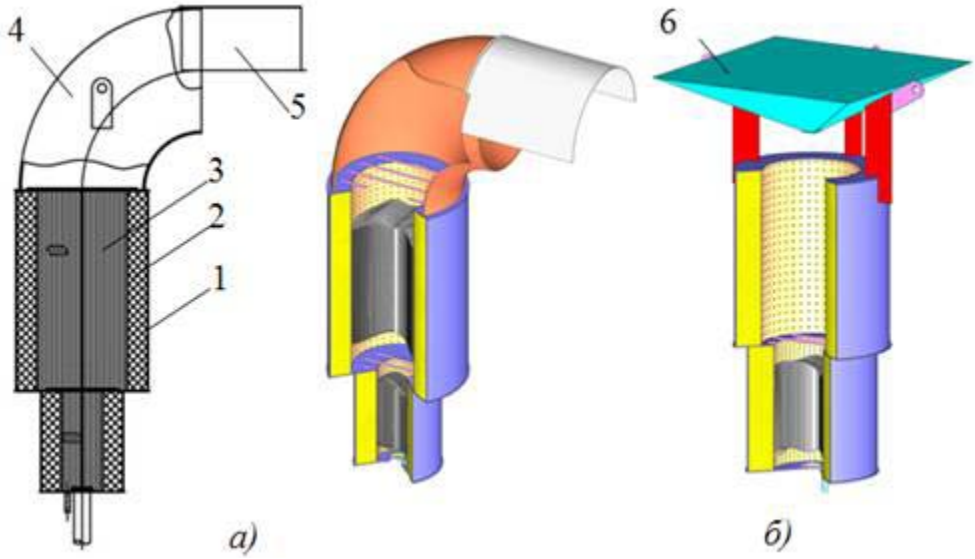


Рис.6. Глушитель шума выброса пара конструкции МЭИ с а) – горизонтальным выхлопом и б) – вертикальным выхлопом для котлов малой паропроизводительности: 1 – цилиндрический корпус, 2 – ЗПМ, 3 – спирали сеток, 4 – отвод 90°, 5 – козырёк, 6 – крыша

Для более эффективного снижения шума аварийного выброса пара при срабатывании ГПК котлов возможно применение систем шумоглушения выброса пара, представляющих собой два глушителя МЭИ, объединенных между собой коллектором и устанавливаемых на двух выхлопных трубопроводах после ГПК рис.7.

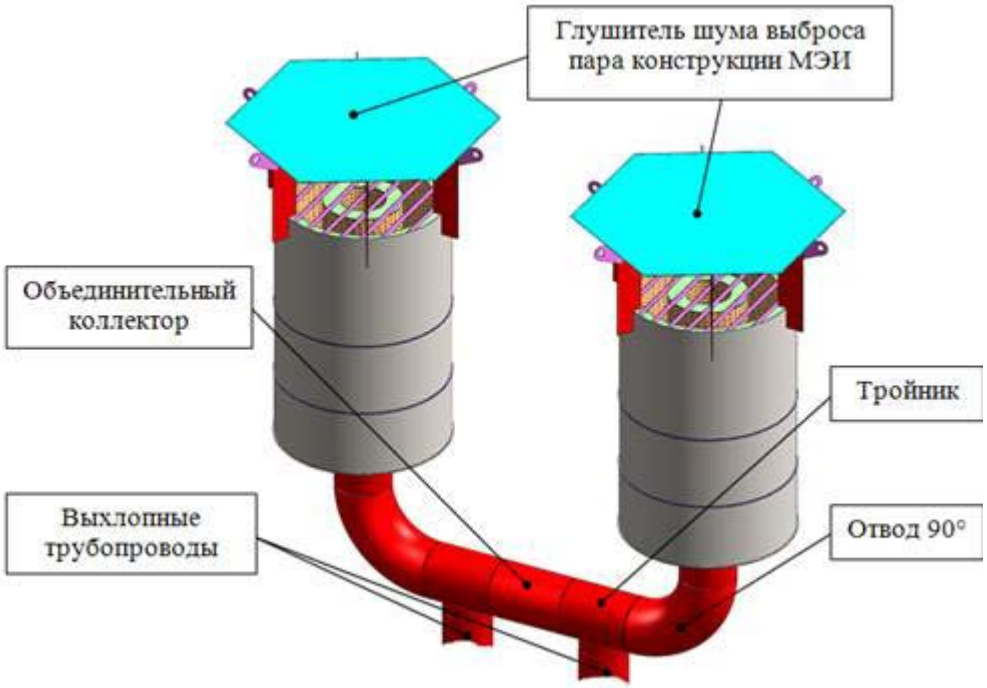


Рис.7. Система шумоглушения выброса пара после ГПК котлов

Вероятность одновременного подрыва нескольких ГПК на котле, как правило, является незначительной. При такой схеме включения глушителей сбрасываемый пар в момент открытия одного ГПК равномерно распределяется в объединительном коллекторе на два глушителя, что позволяет снизить расход

пара через глушитель в два раза, а вместе с тем и уровень шума по сравнению с индивидуальной установкой глушителей на выхлопных трубопроводах. Такая компоновка позволяет применять глушители с меньшими массогабаритными размерами.

В частных случаях, когда основная генерация шума происходит за счёт турбулентного потока пара за сбросной задвижкой или клапаном, а скорости пара в выхлопном трубопроводе значительно ниже критических значений, возможно размещение элементов шумоглушения в выхлопном трубопроводе, это позволяет существенно снизить массогабаритные характеристики шумоглушителя.

На рис.8 представлен глушитель шума, конструкция которого разработана на базе [5] с применением цилиндрической кассеты со звукопоглощающим материалом, частично заходящей внутрь выхлопного трубопровода.

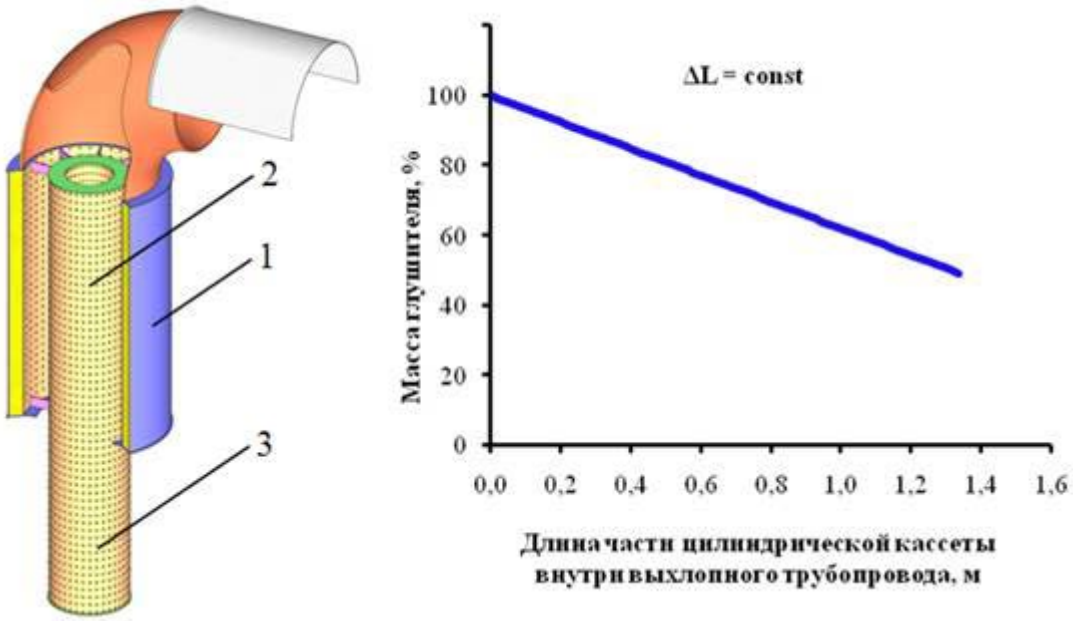


Рис.8. Конструкция глушителя шума с цилиндрической кассетой, выступающей в выхлопной трубопровод: 1 – корпус, 2 – часть цилиндрической кассеты внутри корпуса глушителя, 3 – часть цилиндрической кассеты внутри выхлопного трубопровода.

На графике, представленном на рис.8., видно существенное снижение массы шумоглушителя с увеличением длины элементов шумоглушения, размещаемых внутри выхлопного трубопровода.

При низких скоростях потока пара в выхлопных трубопроводах возможно применение совместно с конструкцией глушителя, изображенного на рис.8, реактивного типа глушителя. В этом случае комбинированная схема позволяет получить два компактных шумоглушителя. Применение данной схемы может быть целесообразным для удобства монтажа и в том случае, когда установка одного глушителя с большими массогабаритными характеристиками затруднительна или невозможна.

При разработке мероприятий по снижению шума выброса пара, также необходимо учитывать множество других факторов – возможность крепления глушителей шума на выхлопных трубопроводах или опорных рамах, наличий экранирования шума зданиями энергетических объектов, исключение разрушительного воздействия выхлопного потока пара на конструкции в местах установки и др.

Для объектов энергетики и ряда объектов металлургической и химической промышленностей поставлено более 100 глушителей шума выброса пара конструкции МЭИ, в том числе и для блоков ПГУ (рис.9)

Установленные глушители на действующих объектах обеспечивают комфортное проживание больших групп населения вблизи расположения энергетических объектов в соответствии с санитарными нормами.

Рис.9. Глушители шума выброса пара конструкции МЭИ, установленные на крыше блока ПГУ-800 Киришской ГРЭС ОАО «ОГК-6» (всего 22 шт.)

Выводы

- Выбросы пара на объектах энергетики сопровождаются высокочастотным шумом, значительно превышающим допустимые нормы.
- Механизм генерации шума выбросов пара различен и зависит от многих факторов – параметров сбрасываемого пара, характеристик выхлопных трубопроводов, сбросной арматурой и др.
- Выбросы пара в основном являются временными источниками шума, однако существуют примеры, когда шум выбросов пара является постоянным источником.

- Учёт наибольшего количества условий и особенностей выбросов пара применительно для рассматриваемого объекта позволит создать наиболее оптимальные и рациональные решения по его снижению.
- Для снижения шума выбросов пара до нормативных значений в МЭИ разработаны высокоэффективные конструкции глушителей шума, которые проектируются под требуемое снижение уровня шума, определенные параметры сбрасываемого пара с учётом особенностей генерации шума, продолжительности выбросов и других важных факторов.

Литература

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав России, 1997.

2. Чугунков Д.В. Разработка методов расчёта и снижение шума от недорасширенных струй паровых выбросов энергетических комплексов: Дис. кан. тех. наук.– М., 2007. 118 с.

3. ГОСТ 26279-84. Блоки энергетические для ТЭС на органическом топливе. – М.: Изд-во стандартов. 1984. – 9 с.

4. Глушитель шума выхлопной струи пара (варианты): Патент на изобретение. Заявка №2012110869. Заявл. 22.03.2012 / Д.В. Чугунков, В.Б. Тупов.

5. Глушитель шума выхлопа пара (варианты): Патент на полезную модель 120711 РФ, Заявка №2012112126. Заявл. 29.03.2012 / Д.В. Чугунков, В.Б. Тупов. – 7 с.: ил.

Система мониторинга вибрации с оперативной идентификацией обнаруживаемых изменений

Барков А.В., Баркова Н.А., Грищенко Д.В., Федорищев В.В.
Северо-Западный учебный центр, Санкт-Петербург
barkov@vast.spb.ru

Введение

Одним из основных источников повышенного шума и вибрации является работающее промышленное оборудование, а их уровень может многократно расти по мере ухудшения технического состояния оборудования. Учет связи параметров шума и, особенно, вибрации оборудования с его техническим состоянием может объединить решение многих проблем по защите населения и окружающей среды как от шума и вибрации, так и от последствий аварий. Необходимо только совместить во внедряемых системах виброакустического контроля решение двух задач – мониторинга и диагностики. Даже если это потребует дополнительного контроля и других процессов, протекающих в аварийно-опасном промышленном оборудовании.

Многолетние исследования вибрации различных машин и оборудования показывают, что именно в ней происходят наиболее сильные изменения при развитии аварийно-опасных дефектов, а наиболее быстрое развитие опасных дефектов имеет место в процессах смены режимов работы оборудования. Таким образом, создавая системы непрерывного виброакустического мониторинга для промышленности, необходимо предусматривать возможность быстрого решения диагностических задач с выявлением причин регистрируемого изменения виброакустического состояния объекта. От современной системы вибрационного мониторинга и диагностики требуется принимать быстрые решения без участия человека, как в установившихся режимах работы, так и при смене режима работы машин и оборудования.

Перед разработчиками предсавляемойк системы была поставлена задача создания экономически оправданной многоканальной системы и мониторинга, и диагностики, и прогноза, как вибрации, так и технического состояния машин и оборудования путем последовательного расширения количества и номенклатуры используемых измерительных преобразователей и увеличения возможностей используемого программного обеспечения. Анализ основных технических решений, позволивших создать такую систему, приводится в докладе.

Общие решения

Одно из основных требований к многоканальным системам вибрационного мониторинга - параллельные измерение и анализ вибрации - реализовано путем наращивания количества идентичных средств измерения, работаю-

щих на единую измерительную сеть. А для того, чтобы не перегружать измерительную сеть и средства мониторинга потоками оцифрованных сигналов, решено все необходимые виды анализа сигналов вести параллельно, непосредственно в средстве измерения (блоке анализа электрических сигналов БАЭС).

Количество и сложность используемых видов параллельного анализа сигналов вибрации, как правило, растут при переходе от задачи мониторинга к решению задач идентификации причин изменения состояния (оперативной диагностики) и, далее, к глубокой диагностике с долгосрочным прогнозом состояния объекта. Да и задачи вибрационного мониторинга решаются с применением разных по сложности видов анализа сигналов вибрации и алгоритмов принятия решений, зависящих от требуемой скорости обнаружения изменений. При оптимизации технических характеристик БАЭС, обеспечивающих непрерывный прием сигналов с группы измерительных преобразователей, их параллельный анализ и передачу по сети полученных результатов, в разрабатываемой системе ограничено количество используемых видов непрерывного анализа для мониторинга и оперативной диагностики объектов. Что касается глубокой диагностики с долгосрочным прогнозом состояния контролируемых объектов, то с учетом больших интервалов между их периодическим проведением принято решение накапливать отрезки сигналов в памяти БАЭС, передавая их по той же измерительной сети во внешние средства глубокой диагностики.

Основные решения по расширению программы мониторинга и диагностики относятся к возможности дополнения базовой программы вибрационного мониторинга различными дополнительными программами, в том числе:

- мониторинга невибрационных процессов в объекте контроля,
- автоматического построения и адаптации пороговых значений,
- оперативной диагностики объекта по результатам вибрационного мониторинга,
- оперативной диагностики объекта по результатам совместного мониторинга вибрации и других процессов,
- записи сигналов (периодической и по событиям) в память измерительных приборов и их передачи во внешнюю программу глубокой диагностики и долгосрочного прогноза

Собственно программа глубокой диагностики и долгосрочного прогноза различных объектов, включающая в себя и модули необходимых видов анализа сигналов, не является составной частью системы мониторинга и разрабатывается по отдельным техническим требованиям.

Средства измерения и анализа сигналов.

Основным из контролируемых системой процессов является вибрация, однако разработанные средства измерения и анализа сигналов рассчитаны на прием и анализ электрических сигналов не только с вибропреобразователей, измеряющих как звуковую, так и ультразвуковую вибрацию, но и с преобра-

зователей других, в частности низкочастотных процессов, таких как термопреобразователи и т.п.

В качестве используемых видов непрерывного измерения и анализа сигналов вибрации были выбраны узкополосный спектральный анализ (до частоты 10кГц), широкополосный спектральный анализ (1/3октавный), измерение уровня низкочастотной вибрации в стандартной полосе частот (10-1000Гц) и величины импульсных высокочастотных (до 20-60кГц) составляющих вибрации. Интервал обновления результатов анализа вибрации обычно определяется максимальной разрешающей способностью в узкополосном спектре вибрации. В базовой системе мониторинга этот интервал составляет 1,6 секунды. Для реализации указанных измерений был разработан соответствующий электронный блок (БАЭС), см.рис.1.

*Рис.1. Блок анализа электрических сигналов, рассчитанный на непрерывное измерение и анализ до 9 сигналов с различных измерительных преобразователей, в том числе до 4 широкополосных (вибрация, шум или ток, до 60кГц) и одного датчика оборотов. Размеры БАЭС: 120*100*50мм, масса 0,4кг, потребляемая мощность – 5Вт. Обеспечено питание до 4 ICP – преобразователей вибрации (шума) и оптического датчика оборотов. Выходные данные БАЭС передаются во внешние устройства по измерительной сети Ethernet.*

Для того, чтобы обеспечить измерения и детальный анализ вибрации многорежимных объектов с изменяющимся уровнем вибрации до 1000 и более раз, обеспечен высокий динамический диапазон измерений – более 100дБ. На рис.2 представлены результаты текущего анализа сигнала вибрации.

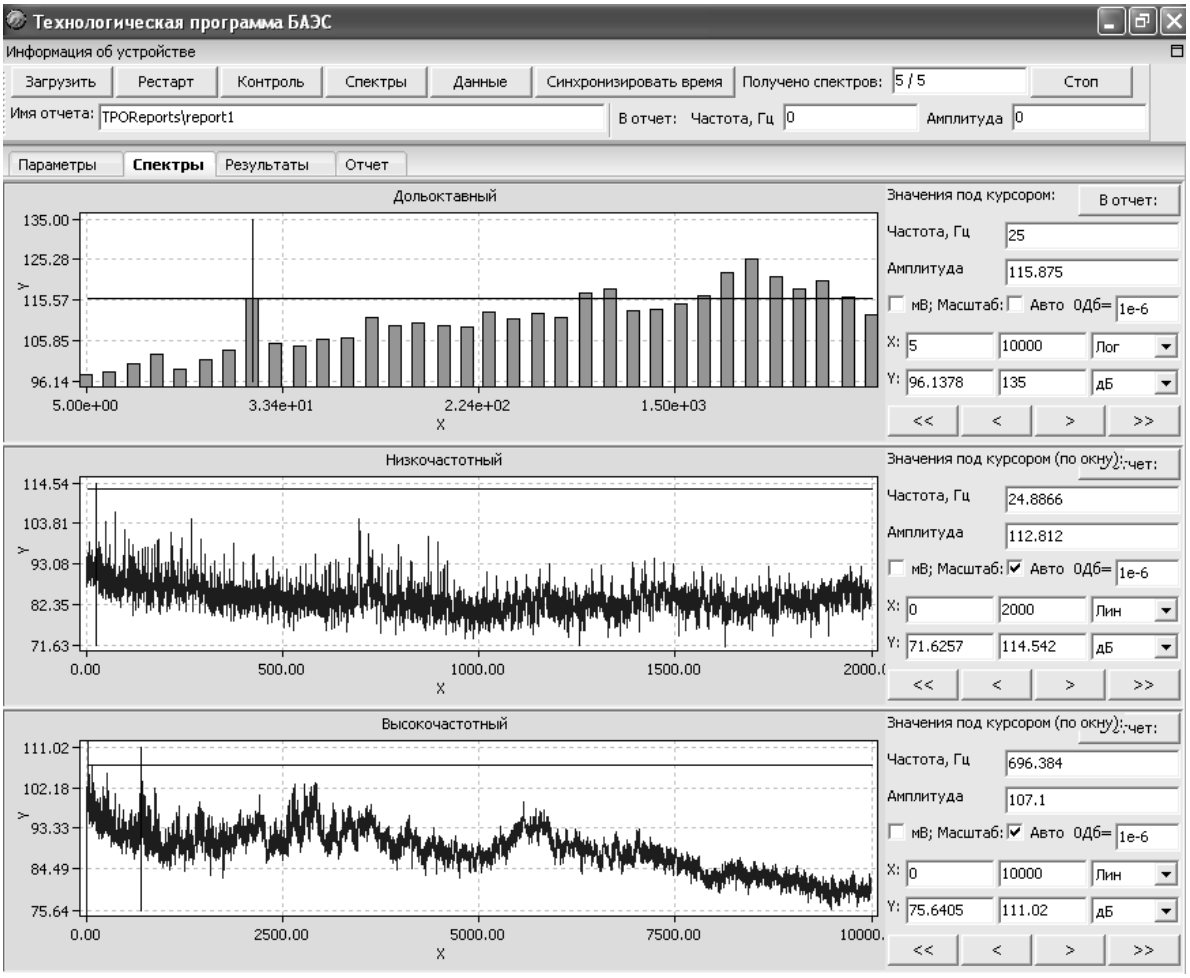


Рис.2. Результаты текущих измерений вибрации в одном из параллельных измерительных каналов – третьоктавный и узкополосные спектры.

По внешней команде БАЭС обеспечивает запись отрезков сигнала в собственную энергонезависимую память (до 32 гигабайт), в том числе и ту их часть, которая уже находится в буферной памяти на момент прихода внешней команды. По отдельной команде информация, находящаяся в энергонезависимой памяти БАЭС, может быть передана во внешние устройства по сети Ethernet.

Программа мониторинга.

Программу мониторинга контролируемых параметров вибрации было решено оптимизировать под обнаружение и анализ как быстрых, так и медленных изменений, Задачами программы мониторинга является обнаружение скачков контролируемых параметров, анализ их монотонных изменений с разными скоростями развития, определение зоны состояния для каждого из более 50 параметров и прогноз развития опасных ситуаций. Часть этих параметров является общей для всех видов объектов контроля, часть определяется специфическими особенностями объекта и формализуется в программе при конфигурировании объекта. Для всех контролируемых параметров используется несколько последовательных скользящих накопителей с прореживанием

данных между ними и конечный накопитель без прореживания (база данных), см. рис.3.

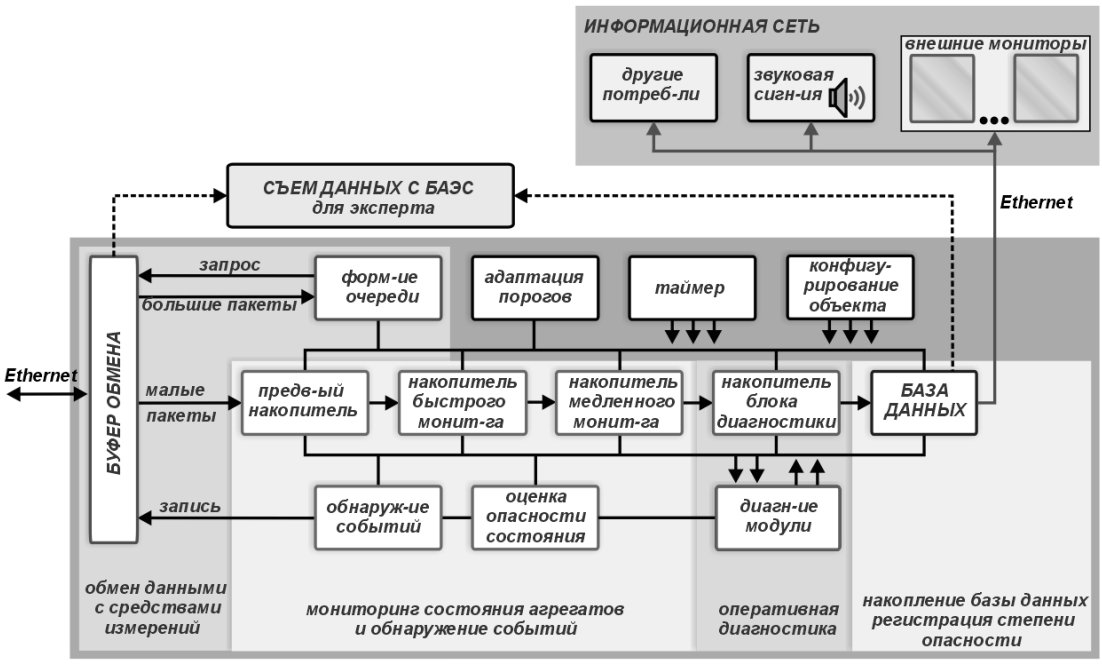


Рис.3. Блок-схема программного обеспечения системы вибрационного мониторинга с возможностью оперативной диагностики и съема сигналов для глубокой диагностики.

Тренды изменения контролируемых параметров строятся по данным всех накопителей, т.е. для интервалов порядка 12 секунд, 7 минут, 7 часов и 10 суток. По данным, накапливаемым в основной базе, можно строить и более длинные тренды с возможностью прогноза медленных изменений параметров до нескольких недель. Пороги обнаружения быстрых изменений параметров могут адаптироваться с учетом их медленных изменений.

Аналогичные накопители организованы и для мониторинга параметров невибрационных сигналов. Эти сигналы (с последующим определением требуемых параметров) могут измеряться преобразователями, подключенными к БАЭС, либо передаваться в компьютер с программой мониторинга по информационной сети.

Важнейшей составной частью программы мониторинга является обеспечение режима обнаружения «событий», под которыми понимаются важные для последующего подробного изучения изменения контролируемых параметров, как вибрации, так и других процессов. Эта задача решается в режиме online с одновременным формированием команды, по которой система мониторинга может записать отрезок первичных сигналов в энергонезависимую память соответствующего БАЭС. А режим работы БАЭС с предварительной записью сигналов позволяет запомнить и накопленный в буфере отрезок сигнала перед событием.

Запись сигнала в память БАЭС может производиться и периодически, при отсутствии событий, что дает возможность построить «эталоны» для мо-

делей глубокой диагностики объектов контроля внешними программами глубокой диагностики.

Оперативная диагностика.

Диагностика, т.е. идентификация вида и степени опасности обнаруживаемых изменений вибрационного (или технического) состояния объекта выполняется по регистрируемым превышениям каждым из контролируемых параметров соответствующих пороговых значений и анализа трендов изменения этих параметров (прогнозируемого времени достижения ближайшего порога). Для каждого параметра в каждой точке контроля определяется до 4 зон его состояния, и задача идентификации сводится к определению наиболее вероятного состояния объекта в целом из множества возможных. Это множество возможных состояний предварительно составляется и закладывается в диагностический модуль, являющийся составной частью программы оперативной диагностики. В модуль заносятся необходимые данные об объекте диагностики (часть из них берется их данных, внесенных в программу при конфигурировании объекта мониторинга), список идентифицируемых изменений состояния и признаки изменения состояния с коэффициентами влияния на каждую из точек контроля, в которых такое влияние имеет место. Составление (или адаптация) такого модуля – задача эксперта, имеющего специальную подготовку.

По данным анализа трендов изменения параметров, характеризующих обнаруженный вид изменения состояния, составляется оперативный прогноз, а в случае обнаружения быстрых монотонных изменений – оценивается время достижения предаварийной ситуации (остаточный ресурс технического объекта).

Для каждого из возможных состояний могут формироваться определенные рекомендации по устранению опасных изменений, или по уточнению вида и степени опасности, которые входят в предоставляемое описание обнаруженных изменений.

Оперативная диагностика объекта при отсутствии регистрируемых в процессе мониторинга опасных изменений состояния выполняется периодически. Минимальный интервал между плановыми операциями диагностики – 7 минут, соответствующий полной смене данных измерений в накопителе быстрого мониторинга. При регистрации изменений состояния программой мониторинга производится внеочередная диагностика. По мере смены данных в следующих накопителях результаты диагностики корректируются с учетом информации, получаемой из расширенных трендов изменения контролируемых параметров.

Вибрационная диагностика проводится по узкополосным и третьоктавным спектрам вибрации, а также по статистическому распределению пиковых значений ее импульсных высокочастотных компонент. У используемых невибрационных процессов количество контролируемых диагностических параметров существенно ниже. Все контролируемые параметры по каждому используемому в диагностическом модуле виду дефекта делятся на три груп-

пы – основные, дополнительные и несущественные, что позволяет идентифицировать большую группу возможных причин регистрируемого изменения состояния объекта.

Одной из основных областей применения разрабатываемой системы мониторинга и оперативной диагностики, которой разработчики уделяют максимальное внимание, является диагностика ответственных машин роторного типа. Основными процессами, по которым ведется диагностика, являются вибрация и ток приводного электродвигателя. С целью эффективного построения диагностических модулей для разных типов машин разработаны методики их диагностирования по вибрации и току.

Выводы.

Разрабатываемая система вибрационного мониторинга и диагностики рассчитана на оперативное получение данных, необходимых для одновременного решения двух задач – защиты от персонала технических объектов от повышенной вибрации и предупреждения аварийных ситуаций.

Выполняемый системой параллельный контроль и анализ вибрации и других процессов в большой группе машин и оборудования позволяет оптимизировать режимы работы крупных технических объектов оборудования по минимуму вибрационного воздействия на персонал и окружающую среду, сохраняя при этом надежность и производительность таких объектов.

Система не требует обслуживания и может быть использована для мониторинга виброакустических процессов в удаленных объектах, функционирующих без присутствия персонала.

Литература.

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7т. Под общей редакцией В.В.Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика, - М.: Машиностроение, 2005. – 829с.

2. НОУ «Северо-Западный учебный центр»**:** [Электронный ресурс]. СПб, URL: http://www.vibro-expert.ru.

Разработка многоканального online анализатора для исследования вибрации в широком диапазоне частот

Барков А. В., Борисов А. А., Грищенко Д. В., Киселев В. В.
Северо-Западный учебный центр, Санкт-Петербург
barkov@vast.spb.ru

Современные средства изучения вибрации различных объектов - это, как правило, многоканальные системы измерения вибрации и других параллельных процессов, а также их анализа с последующим выделением и мониторингом контролируемых параметров. Большинство таких систем рассчитано на решение трех типов задач разной сложности – текущего анализа сигналов с контролем измеряемых параметров, принятия оперативных решений и записи первичных сигналов в память для последующего более глубокого изучения.

Самой сложной задачей можно считать принятие оперативных решений, для которых измерение и анализ вибрации должны проводиться в режиме online непрерывно и параллельно. И если эти решения должен принимать оператор, производящий измерения или наблюдающий за ними, результаты online анализа должны быть представлены в удобной для принятия быстрых решений форме.

Многоканальные online анализаторы сигналов с их параллельной записью выпускаются разными производителями, но лишь немногие из них рассчитаны на принятие оперативных решений по совокупности всех измерений и удобны для работы в полевых условиях. Поэтому главной задачей при создании переносного многоканального анализатора стало обеспечение не только параллельного анализа измеряемых сигналов, но и online обработка результатов по всем (или части) измерительным каналам и видам анализа. Результатом такой обработки является мгновенное построение функции всех измерений, отображающей вибрационное (или техническое) состояние объекта в целом, и ее мгновенное визуальное и/или звуковое отображение. Параметры этой функции могут сравниваться с различными порогами, а моменты их выхода за пределы зон допустимых значений (события) регистрироваться и записываться параллельно записи первичных сигналов. Дополнительно решаемой задачей в этом случае становится запись сигналов не непрерывно, а по происходящим «событиям», что резко уменьшает объем хранимой информации и упрощает ее последующий анализ. Ниже рассматриваются особенности полученных при разработке технических решений и возможные области их использования.

Структура анализатора.

Анализатор состоит из нескольких (от одного до четырех) одинаковых измерительных приборов (сетевых измерителей СИ), см. рис.1, передающих данные в сервер по Ethernet –интерфейсу 100BASE-T, а также устанавливаемой на компьютер программы динамического анализа (рис.1).

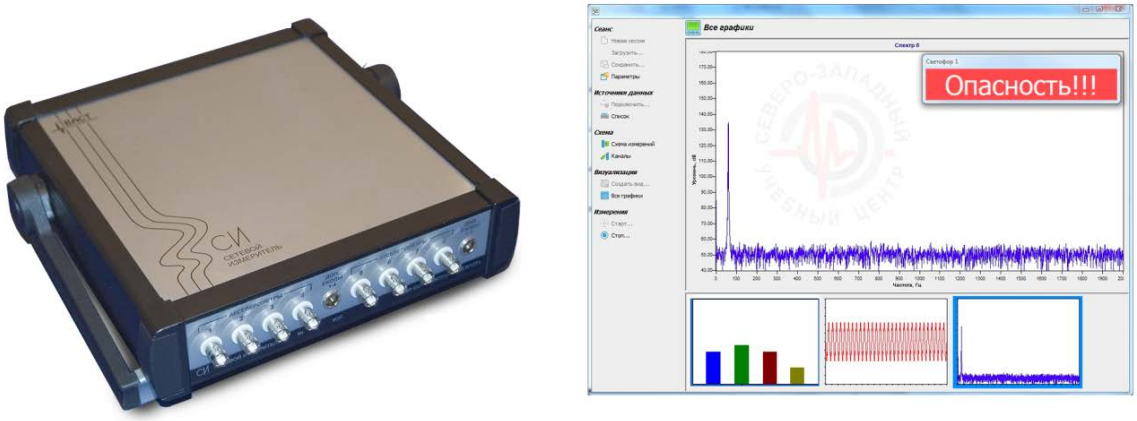


Рис.1. Составные части анализатора - многоканальный прибор для измерения и анализа вибрации и других процессов и программа динамического анализа.

Каждый прибор имеет 18 параллельных измерительных каналов, из которых 8 рассчитаны на измерение и анализ переменных электрических сигналов в выбираемом частотном диапазоне (вплоть до 60кГц), в частности сигналов с датчиков вибрации. Еще 8 каналов - на измерение постоянного электрического сигнала, в частности с датчиков температуры, и последние два - на прием синхронизирующих импульсов, в частности с датчика частоты вращения. Первые (основные) 8 каналов имеют переключаемые линейный и ICP входы и обеспечивают питание измерительных ICP преобразователей.

Жесткие требования предъявлены к техническим характеристикам основных измерительных каналов СИ, в частности к их динамическому и частотному диапазонам. Так, максимальная частота дискретизации сигналов составляет 128кГц, т.е. анализ сигналов возможен до частоты порядка 60кГц. В каждом канале независимо сигнал может быть прорежен до частот 51,2; 25,6; 12,8; 5,12; и 2,56кГц. Динамический диапазон измерений составляет не менее 110дБ, для чего в составе СИ используются 24-разрядные аналого-цифровые преобразователи и приняты специальные меры по снижению собственных шумов измерительных каналов.

Каждый из подключенных к сети анализатора СИ формирует свой поток оцифрованных сигналов. Одновременно на сервер могут передаваться сигналы с нескольких (от одного до четырех) СИ. При этом дополнительно каждый СИ непрерывно выполняет необходимые для формирования аварийной сигнализации простейшие виды анализа оцифрованных сигналов, результаты которого также передаются на сервер в том же или отдельном цифровом потоке. Таких видов анализа – два: один, в частотной области - это формирование текущего значения уровня низкочастотной вибрации в стандартной полосе частот, другой, во временной области – формирование теку-

щего значения пиковой мощности импульсной высокочастотной вибрации. Стандартная полоса частот выбирается из следующих возможных: 0,5-250Гц; 2-1000Гц, 10-1000Гц или 10-2000Гц. Высокочастотная импульсная составляющая выделяется из сигнала вибрации стандартным октавным или третьоктавным фильтром.

Программное обеспечение online анализатора обеспечивает несколько функций. Первая - формирование схемы измерений и анализа сигналов, определяющая задействованные измерительные каналы, виды измерений и анализа принимаемых сигналов, обнаруживаемые события, порядок записи данных в память и форму представляемых результатов. В процессе измерения принимаемый сервером цифровой поток распараллеливается на два, один подается в буфер и далее по команде записывается в память компьютера, другой – в программу текущего анализа, результаты которого визуализируются на экране и, при необходимости, также записываются в память компьютера. Программа текущего анализа разбита на три модуля - подготовки данных для анализа по каждому каналу, поканального анализа и параллельного графического отображения и анализа результатов на мониторе. Кроме указанных модулей, могут быть подключены еще два. Первый – сравнения результатов анализа с заданными пороговыми значениями, второй – модуль совместной обработки результатов анализа в выбранной группе каналов.

Программа кроме первичных сигналов позволяет параллельно записывать обнаруженные в модуле сравнения с порогами события, а, при необходимости, и результаты текущего анализа сигналов. При воспроизведении записанных сигналов поиск необходимого отрезка сигнала может вестись по событиям. Более того, для сокращения объема записываемой информации сигналы могут записываться по событиям, с выбором длительности записи до события (из буфера) и после его обнаружения.

Библиотека видов анализа разделяется на две части – модули online и offline анализа сигналов. По мере развития возможностей анализатора расширению подлежит, в первую очередь, библиотека модулей offline анализа, доступного для исследования предварительно записанных сигналов.

Возможности анализатора.

Анализатор рассчитан, прежде всего, на исследование вибрации и других процессов в управляемых объектах повышенной сложности и опасности, т.е. на совместное решение задач исследований и оптимального управления объектом во время их проведения.

Возможность оптимального управления объектом при проведении исследований обеспечивается следующими факторами:

- online анализом вибрации и других сигналов с выводом на монитор текущих значений контролируемых параметров по объекту в целом и по каждой точке контроля в отдельности,

- параллельным непрерывным контролем вибрационного состояния объекта и сигнализацией при появлении опасных изменений,

- возможностью online регистрации опасных изменений в других протекающих в объекте процессах.

Возможность проведения глубоких исследований вибрации и других процессов определяется следующими факторами:

- большим количеством параллельных измерительных каналов вибрации (и других процессов) с возможностью длительной записи сигналов для последующего анализа,

- широкими частотным и динамическим диапазонами измерительных каналов,

- возможностью регистрации различных «событий» в процессе записи сигналов с последующей навигацией «по событиям».

Возможность проведения исследований и испытаний сложных объектов определяется следующими дополнительными факторами:

- реализацией анализатора в виде группы приборов в общей измерительной сети с синхронным измерением вибрации удаленных друг от друга объектов,

- записью сигналов по редким событиям при проведении длительных испытаний,

- возможностью организации автономного питания анализатора и беспроводной измерительной сети.

В качестве примера реализации части из указанных возможностей на рис 2 приведена типовая форма представления результатов анализа вибрации при выборе оптимального режима работы агрегата в процессе его виброналадки.

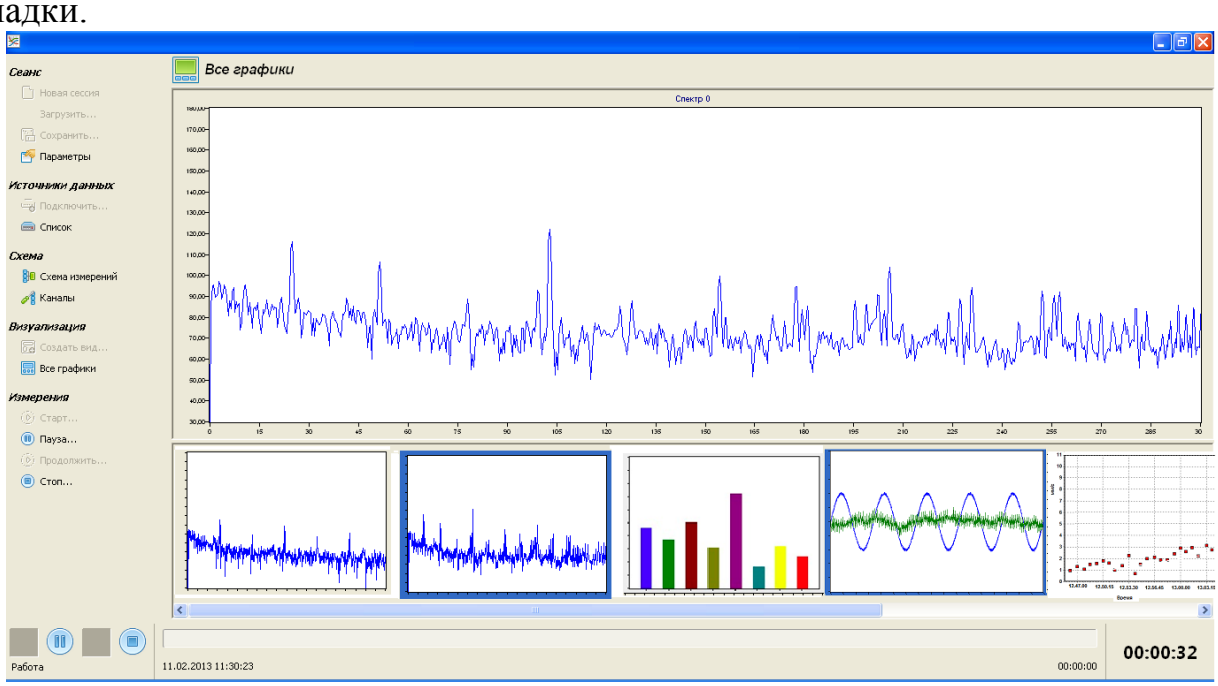


Рис 2. Результаты online анализа сигналов по 16 параллельным каналам с построением «обобщенного» спектра вибрации объекта в целом.

В верхнем окне монитора отображается спектр вибрации, но не в конкретной точке контроля, а сформированный из 16 параллельно измеряемых спектров таким образом, что в каждой его частотной полосе отображается

максимальная по всем точкам контроля амплитуда составляющей вибрации. В окнах нижнего ряда приводятся спектры вибрации в одной из 16 точек с возможностью переключения, уровни вибрации во всех точках в стандартной полосе частот и зависимость частоты вращения от времени, получаемой с датчика частоты вращения.

Время реакции анализатора на изменение состояния агрегата определяется частотным разрешением измеряемого спектра, начиная с нижней границы в 1/4 секунды, позволяющей оператору реагировать на обнаруживаемое изменение

Другой пример определяется возможностями многоканальных синхронных измерений сигналов, в разной области частот. Так, на рис. 3 приведены форма одновременно измеряемых сигналов низкочастотной вибрации и огибающей ультразвуковой вибрации (акустической эмиссии). Их сопоставление позволяет связать процессы силового воздействия на контролируемую колебательную систему и формирования сигналов акустической эмиссии, существенно увеличивая помехоустойчивость измерений эмиссии путем их синхронного накопления. При этом следует особо отметить, что измерения и низкочастотной, и ультразвуковой вибрации выполнялись одними и теми же измерительными преобразователями. Такая возможность определяется широким частотным и динамическим диапазонами, как измерительных преобразователей, так и сетевых измерителей.

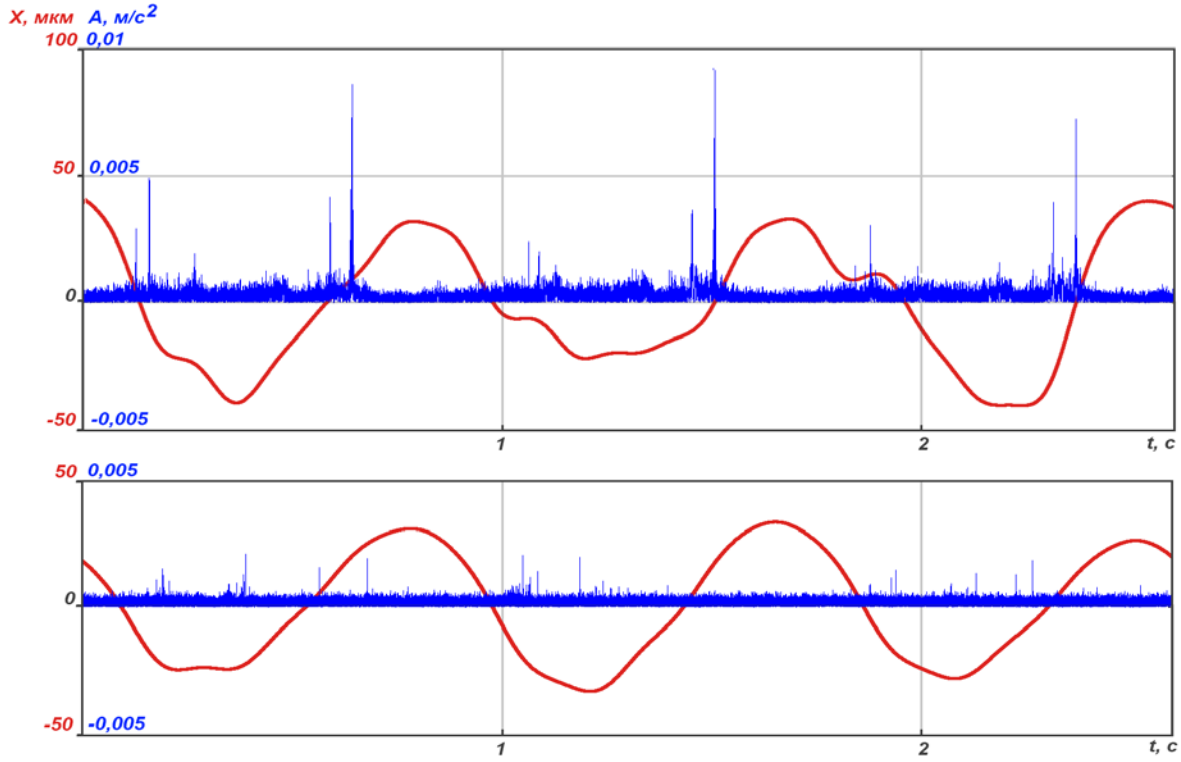


Рис.3. Форма низкочастотной вибрации (виброперемещения) металлической конструкции под действием внешней колебательной силы и огибающей виброускорения на ультразвуковых частотах около 50кГц (акустической эмиссии), измеряемых в двух разных точках, характеризующихся разным старением металла. В зоне повышенного старения отчетливо видны синхронные с виброперемещением компоненты импульсного виброускорения.

Подобный достаточно сложный анализ выполнен с использованием режима предварительной многоканальной записи сигналов и последующей их обработки в режиме offline. Кроме использования входящей в состав анализатора и развивающейся библиотеки видов offline анализа сигналов, имеется возможность использования внешних анализирующих программ. Для этого при предоставлении формата входных данных могут быть разработаны соответствующие конверторы записываемых анализатором данных.

Важнейшим направлением изучения сигналов вибрации с использованием разрабатываемого анализатора является анализ нелинейных моделей их формирования. Такие модели определяются, как правило, нелинейными процессами формирования колебательных сил, а не нелинейностью среды, в которой распространяется вибрация, и чаще всего представляют собой аддитивно-мультипликативную смесь составляющих разной частоты. Соответственно часть алгоритмов анализа сигналов вибрации, используемых в анализаторе, включают операции разделения и демодуляции составляющих разной физической природы.

Выводы

1. Разрабатываемый многоканальный анализатор обеспечивает параллельный анализ сигналов вибрации с возможностью online оценки вибрационного состояния объекта в целом, обнаружения «событий», запись сигналов по событиям и последующий offline анализ записанных сигналов.

2. Анализатор может быть использован и для исследования сигналов другой физической природы, а также для обеспечения независимой аварийной сигнализации по вибрации и другим процессам во время проведения исследований и испытаний объекта.

3. Анализ сигналов в режиме offline анализа может выполняться с помощью любых внешних анализаторов сигналов, собственная библиотека таких программ в анализаторе расширяется по мере совершенствования его функций.

Литература

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7т. Под общей редакцией В.В.Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика, - М.: Машиностроение, 2005. – 829с.

2. НОУ «Северо-Западный учебный центр»**:** [Электронный ресурс]. СПб, URL: http://www.vibro-expert.ru.

3. Системы сбора и обработки информации серии PULSE»**:** [Электронный ресурс]. М.,

URL: http://bruel.ru/UserFiles/File/What_is_PULSE_clear_vers.pdf

Моделирование аналоговой системы активного шумоподавления

Балагуров А.В., Тюрин А.П.
ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»
asd1978@mail.ru

Максимальное использование результатов моделирования и современных технологий цифровой обработки сигналов обусловлено необходимостью расширения области применения систем активной шумозащиты и повышения их эффективности. Львиная доля исследований по активному управлению акустическими полями приходиться на зарубежные страны. В России подобными проблемами занимались, например, С.Г. Семенцов (2009), Мокринский А.В. (2003), Васильев А.В. (2004), затрагивая проблему борьбы с низкочастотным шумом в разных областях науки и техники. Исследования затрагивают как процессы шумообразования, так и разработку адаптивных алгоритмов управления гасимой волной. Существуют отдельные публикации, посвященные использованию генетических алгоритмов и генетического програмирования для проектирования системы активного шумового контроля в вентиляционных каналах (J.Werner и др., 2002). Ученые F.Jiang и др. (1995) исследовали общую структуру адаптивной системы активного контроля шума, предложив устойчивый адаптивный алгоритм, реализованный в частотной и временной областях. В их исследованиях численное моделирование и экспериментальные результаты подтверждают устойчивость работы разработанных адаптивных алгоритмов по сравнению с известными. Целью данного исследования является моделирование шумопоглощения активных наушников программными средствами.

Использование средств индивидуальной защиты слуха – шумозащитных наушников является одним из эффективных способов снижения вредного воздействия шума на человека в рабочей зоне, когда применение других средств защиты, например, коллективного типа, экономически нецелесообразно или технически недостижимо. В соответствии с [1] обеспечение в установленном порядке работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда средствами индивидуальной защиты относится к мероприятиям, ежегодно реализуемым работодателем по улучшению условий и охраны труда и снижению уровней профессиональных рисков. Существующие на рынке средства индивидуальной защиты конкурируют между собой по техническим характеристикам, прямо пропорционально влияющим на их стоимость.

Проблема защиты слуха достаточно сложна, хотя бы потому, что чрезмерная изоляция рабочего от внешних шумов может привести к самым нежелательным последствиям. Например, работник может оказаться не в состоя-

нии услышать речевой сигнал, передаваемый коллегой по работе или звук работы двигателя малошумного автопогрузчика. Поэтому работник не должен быть полностью изолирован от производственной акустической среды.

В наушниках активного типа шум гасится методом синтеза гасящей волны, то есть такие наушники имеют специальным образом встроенные электроакустические датчики (микрофоны) и излучатели гасящей волны. Подавление шума обеспечивается за счет интерференции звуковых волн.

В современном мире нет необходимости строить тестовый образец для проверки и подтверждения расчетов. Модели устройств, сделанные на компьютере, являются менее затратными, а точностью едва ли уступают своим «материальным» аналогам. Повсеместно распространены 3D модели деталей машин и механизмов, которые могут дать представление не только о внешнем виде, но и об изменении характеристик материала в ходе эксплуатации.

Программы для полноценного моделирования электронных цепей и устройств, такие как National Instruments Multisim, теперь позволяют тестировать не только работоспособность, но и эффективность работы проектируемого устройства.

С помощью тестовой версии Программы Multisim была смоделирована и проверена аналоговая система активного шумоподавления, реализованная в рамках [2]. Задачей данной проверки являлось определение работоспособности системы активного шумоподавления с использованием сигналов разных типов и частот.

Схема устройства была реализована в системе автоматизированного проектирования Multisim (рис. 1). Вместо микрофона использовался генератор сигнала, к выходу был подключен один из каналов виртуального осциллографа. Для большей наглядности эксперимента еще один канал подключен к входу схемы.

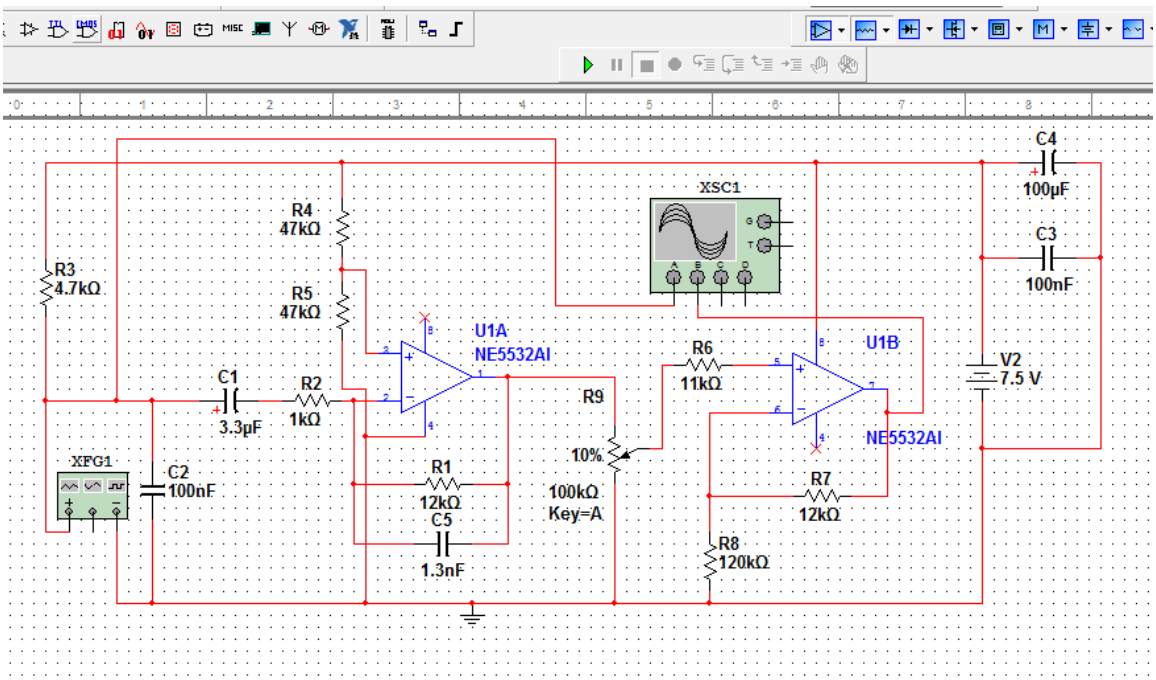


Рис 1. Рабочий экран программы Multisim

Через схему пропускалось три вида сигналов: синусоидальный, пилообразный и прямой. Ценность для данного исследования представляют только синусоидальные волны и любая звуковая волна имеет синусоидальную форму. Тем не менее воздействие элементов схемы на другие виды сигнала также представляет интерес.

Испытания проводились для волн частотой 50, 100, 250, 400, 600, 800, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 и 8000 Гц.

Настройки схемы оставались неизменными, изменялись только настройки шкал осциллографа и параметры генератора сигналов.

Согласно полученным данным, при данных параметрах схемы, опережение по фазе полученного сигнала от сигнала 50 Гц равно приблизительно 0,25 периода, от сигнала 100 Гц 0,1периода. Тем не менее, такие данные характерны только для периодических волн, при воздействии единичного сигнала, соответственно, данные изменятся.

На частотах от 100 Гц до 2 кГц фазы исходного и полученного сигнала не отличаются, на этих частотах должна быть обеспечена максимально эффективная работа схемы. На частоте 3 кГц и выше полученный сигнал начинает отставать по фазе от исходного и на частоте 8 кГц отставание по фазе будет равно приблизительно 0,15 периода.

При пропускании через схему пилообразных и прямых волн было замечено, что на низких частотах форма полученной волны сильно отличается от формы исходного сигнала. Это связано с тем, что конденсаторы, стоящие на входе и выходе схемы не могут зарядиться и разрядиться мгновенно. На более высоких частотах формы сигналов становятся сходными, однако, самой схеме нужно время, чтобы войти в рабочий режим: изначально наблюдается сильное, порядка 0,2−2 В отклонение осей исходного и полученного сигналов.

Полученные в ходе исследования данные можно увидеть в таблице. В ней представлена амплитудно-частотная характеристика процесса шумоглушения с помощью спроектированной схемы. Амплитуды исходного и результирующего сигналов даны в децибелах.

Согласно полученным данным, акустическая эффективность полученного устройства равна примерно 32 дБ, что подтверждает работоспособность спроектированной схемы.

Таблица **Результаты испытаний аналоговых шумозащитных наушников**

Частота, Гц	Исходный сигнал	Результирующий сигнал
63	77,0	59,8
80	77,0	62,0
100	77,3	68,5
125	79,8	80,0
160	88,3	86,3
200	92,5	85,2

250	91,4	82,0
315	89,5	80,6
400	92,3	79,6
500	91,4	80,4
630	93,2	80,9
800	92,6	78,6
1000	99,0	79,0
1250	100,4	80,8
1600	100,4	82,0
2000	102,5	89,1
2500	106,1	93,7
3150	111,1	90,4
4000	113,4	88,3
5000	105,3	82,2
6300	108,1	74,6
8000	100,6	71,8

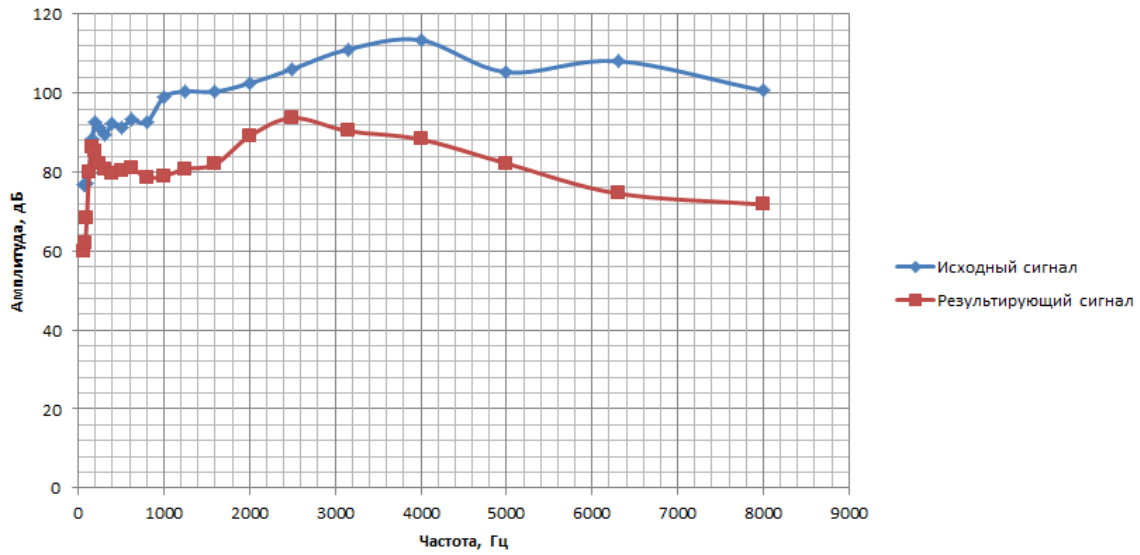


Рис 2. График амплитудно-частотной характеристики процесса активного шумоглушения.

Для большей наглядности, согласно полученным результатам, составлена диаграмма процесса, отображенная на рис. 2, где можно увидеть значительное уменьшение интенсивности сигнала по сравнению с исходным.

Таким образом, с помощью моделирования можно провести все работы по испытанию работоспособности и эффективности работы устройства перед созданием опытного образца.

Список использованных источников

1. Приказ Минздравсоцразвития России №181н от 1 марта 2012 г. «Об утверждении Типового перечня ежегодно реализуемых работодателем мероприя-

тий по улучшению условий и охраны труда и снижению уровней профессиональных рисков».
2. *Тюрин А.П.* Заявка на патент на изобретение № 2011152417 от 21.12.2011 «Активные наушники и способ обработки сигнала в них» / Тюрин А.П., Балагуров А.В., Пигалев С.А.

Анализ акустики, виброакустики и аэроакустики с использованием системы Actran

Жарков А.В.
MSC Software, Московский офис
alexander.zharkov@mscsoftware.com

Actran – программный комплекс для анализа акустики.

Разработка мер по снижению шума – одна из важнейших задач при создании новых технических систем. Производители используют для этого как экспериментальные, так и расчетные методы. Проведение расчетов с применением систем инженерного анализа акустики позволяет существенно удешевить и ускорить процесс разработки инновационных изделий.

Одним из лидеров компьютерного моделирования акустических процессов является программный комплекс Actran бельгийской компании Free Field Technologies (с 2011 г. – структурное подразделение компании MSC Software). Ниже предлагается краткий обзор некоторых практически важных задач акустики и подходов к их решению с помощью системы Actran.

Система Actran основана на методах конечных элементов и граничных («бесконечных») элементов. Имеются возможности задания характеристик акустической среды (газа или жидкости), а также конструктивных элементов. Широкий спектр нагрузок и граничных условий делает Actran полнофункциональным средством анализа акустики и виброакустики.

В Actran внедрены методы точного и быстрого моделирования шумоизоляционных материалов с помощью универсальной модели так называемого пористого звукопоглощающего материала. Эта модель может быть легко адаптирована под характеристики конкретного материала. Например, можно использовать допущение об абсолютно жестком пористом наполнителе, или об абсолютно податливом наполнителе. Также могут быть заданы промежуточные величины упругих свойств наполнителя.

Моделирование частичной акустической проводимости и частичного отражения звука от преграды, актуальное для многих задач, реализовано в Actran в виде специальных граничных условий.

Компания FFT неоднократно проводила валидацию результатов счета в системе Actran по экспериментальным данным, подтверждая корректность методик счета и высокую надежность вычислительных алгоритмов.

Анализ аэроакустики – возникновения и распространения звука в потоке жидкости или газа.

Во многих случаях возникновение шума обусловлено явлением турбулентности в потоке воздуха (газа). Такие явления как шум газотурбинных и ракетных двигателей, шум от движения транспортных средств, шум в системах вентиляции и кондиционирования, и т.д. широко распространены и оказывают негативное влияние на жизнедеятельность человека. Анализ подобных явлений предполагает наличие информации о характеристиках потока газа – скоростях, давлениях, плотностях, температурах и их изменении во времени. Базируясь на этой информации, Actran позволяет рассчитать источники шума в потоке, перенести их на акустическую расчетную модель и провести расчет распространения шума с учетом движения акустической среды.

Расчет источников шума в потоке среды производится в Actran на основе т.н. акустических аналогий. Используются аналогии Лайтхилла и Мёринга. Эти методы позволяют использовать данные о турбулентности потока среды, полученные с бОльшим шагом по времени и менее подробной пространственной дискретизацией по сравнению с распространенными в других системах методами прямого расчета акустики в газовой среде. Это позволяет существенно сократить затраты на предварительный расчет газовой динамики в соответствующих системах анализа. Точность этих акустических аналогий проверена путем сравнения результатов с многочисленными экспериментальными данными и достаточна для решения широкого круга практических инженерных задач.

Учет особенностей распространения звука в потоке газа, в частности эффекта изменения частоты колебаний вследствие наличия скорости потока реализуется путем задания т.н. среднего течения. Среднее течение задается пользователем в виде поля (распределения) скоростей акустической среды и может быть неравномерным. Поле среднего течения может быть получено как из газодинамического расчета, так и из эксперимента или задано аналитически. Наряду с источниками шума, среднее течение является одним из ключевых исходных параметров в анализе аэроакустики в Actran.

В ряде случаев характеристики потока сложно рассчитать или получить экспериментально. Это характерно, например, для вентиляторов (в т.ч. ГТД). Существенные вычислительные сложности возникают при расчете источников шума на базе газодинамического расчета для подобных устройств. В Actran имеется возможность заменить описание трехмерного потока вблизи сложных устройств в канале (газоводе) на специально сформированный источник акустического воздействия, моделирующий формы свободных колебаний акустической среды в продольном по каналу направлении. Вычисляемые формы характеризуются продольными и поперечными волновыми числами. Для круглых и прямоугольных сечений подобные формы вычисляются по аналитическим зависимостям, а для других сечений произвольной формы – численными методами. Комбинация форм колебаний среды в канале позво-

ляет смоделировать воздействия сложной природы при эффективном использовании машинных ресурсов. Кроме приложения внешних воздействий моды колебания среды в канале также могут играть роль граничных условий неотражения волн в заданном поперечном сечении канала. Это позволяет, например, ограничиться исследованием отдельных секций трубопроводов, моделируя отброшенные части условиями неотражения волн. Типичное применение этого метода – моделирование глушителей, вентиляторов, трубопроводов и т.д.

Анализ акустики турбомашин

Турбомашины – ГТД, насосы и пр. – мощные источники шума, и на борьбу с ним разработчики затрачивают большие ресурсы. Актуальным является как снижение шума, так и сужение зоны высокоинтенсивного акустического воздействия вокруг турбомашины. Для этого в конструкцию включают специальные шумопоглощающие элементы.

Анализ акустики турбомашин предполагает моделирование распространения звука в движущейся акустической среде, т.е. расчет аэроакустики. Течение в зоне входных устройств и проточных частей для целей исследования акустики принимается потенциальным, с однородным полем температур. Анализ проводится в частотной области.

В Actran для этого вида расчетов предусмотрен специализированный модуль Actran/TM (TM – Турбо Машины).

Другая важная задача акустики при разработке и модификации ГТД – снижение шума выходного устройства (сопла). В зоне реактивной струи поток характеризуется неравномерным полем скоростей, скачками уплотнения и высокими градиентами температур. Для анализа акустики в этой зоне применяется специальный модуль Actran/DGM (DGM - Discontinuous Galerkin Method - решатель на базе метода Галёркина с использованием неструктурных сеток). Расчет производится во временной области с последующим переходом в частотную область. Высокая вычислительная эффективность указанного модуля позволяет проводить решение сложных задач акустики на рабочих станциях, а также задействовать ресурсы кластеров с существенным ускорением счета.

Система Actran позволяет проводить анализ акустики широкого круга технических систем и устройств, от двигателей внутреннего сгорания до салонов транспортных средств и газотурбинных двигателей. Разработчик продукта – компания Free Field Technologies (структурное подразделение MSC Software) – специализируется в области вычислительной акустики и является одним из лидеров среди компаний своего профиля. Специалисты компании, совместно с Московским офисом MSC Software готовы оказать предприятиям квалифицированные консультации по вопросам внедрения системы Actran и

решения задач акустики, предоставить дополнительные материалы по использованию Actran в различных отраслях промышленности.

С момента основания компании Free Field Technologies в 1998 году пользователями ее основного продукта Actran стали многие (около 300) зарубежные компании и передовые предприятия России. Компания FFT совместно с Московским офисом MSC Software осуществляет техническую поддержку и обучение системе Actran в России, СНГ и странах Балтии. Приглашаем все заинтересованные предприятия к взаимовыгодному сотрудничеству в области акустического анализа.

За более подробной информацией обращайтесь в Московский офис MSC Software:
123056, Москва, ул. Зоологическая, 26, стр.2. Тел: (495) 363-06-83, (495) 254-57-10, Факс: (495) 787-76-06,
www.mscsoftware.ru marketing.russia@mscsoftware.com
Ресурсы на английском языке: www.mscsoftware.com, www.fft.be

Практический опыт в снижении шума и вибрации сложных инженерных систем

Щеголев Д.В.
ООО "Стандартпласт"
vai@stplus.ru

Научно-производственная компания «Стандартпласт» более шестнадцати лет является разработчиком акустических решений в области машиностроения, а также производителем широкого спектра материалов и технологий для борьбы с шумом и вибрацией.

Компания широко представлена в автомобильном производстве и поставляет вибродемпфирующие, звукоизолирующие и звукопоглощающие материалы и покрытия на автозаводы. Для компании Ford мы являемся поставщиком первого уровня акустических материалов на все сборочные предприятия.

Кроме того компания имеет положительный опыт в вагоностроении, авиастроении и судостроении.

В состав компании входит аккредитованная лаборатория виброакустических испытаний, проектная служба для разработки материалов и технологий их производства и четыре производственные площадки. На данный момент численность компании составляет 600 человек.

Мы являемся инновационной компанией, и в этом случае спех базируется на непрерывном развитии. Компания позиционирует себя как акустического интегратора. Реальный рост объемов реализации продукции составляет 40% в год.

Знать про опасность и ничего не предпринимать – что это? Привычная лень, радужный авось.

А как быть с опасностями, про которые мы пока еще особо и не задумывались? Оглянитесь: вы с трудом найдете вещи, возможные в обиходе столетней давности. Новые материалы, новые технологии, новая среда обитания, скорость изменения которой намного превышает возможности человека к адаптации. Во-первых, к техногенным воздействиям организм человека биологически не приспособлен. А во-вторых, мы просто не осознаем, что от некоторых последствий прогресса пора уже активно защищаться.

Из всего спектра современных «негативов» самым всеобъемлющим является шум, и ему же уделяется меньше всего внимания. Общественность всерьез озабочена консервантами в продуктах питания, новыми штаммами гриппа, загрязнением воды и воздуха, а проблема токсичного шума пока остается за кадром. К шуму привыкаешь, перестаешь его замечать, но воздействие на слух и нервную систему идет постоянно. Нагрузка колоссальная, и без последствий она не обходится: усталость, раздражительность, ослабление

внимания стали уже постоянными спутниками городской жизни. Миллионы механизмов гудят, скрипят, стучат. Визг тормозов на перекрестке, отбойный молоток на соседней стройке, грохот автомагистрали, гул стиральной машины, громкая музыка – это ежедневные атрибуты цивилизации. Мы считаем их неизбежными и, не задумываясь, миримся с их существованием.

А почему, собственно? В кипяток, например, по доброй воле никто руку не сунет. Между прочим, к перепадам температуры человечество привыкало тысячелетия – к врожденному механизму терморегуляции постепенно добавились навыки строить и отапливать жилье, шить одежду по сезону. А как от шума защищаемся? Да никак, просто игнорируем.

Поэтому мы считаем, что постоянное воздействие вредного шума происходит круглосуточно, каждый день, всю жизнь и в связи с этим необходимо защищать себя от шума надо не только на работе, но и дома в транспорте и на отдыхе вне зависимости от пола, возраста, образа жизни и национальности.

Рассмотрим подход компании к снижению шума на примере автомобиля Toyota Camry.

Общеизвестно, что основными источниками шума и вибрации в автомобиле являются двигатель и подвеска, которые непосредственно крепятся к кузову автомобиля и передают ему основную энергию.

Частотный диапазон уровней внутреннего шума условно можно разбить на три части.

Диапазон частот 1-150Гц определяется общей жесткостью кузова и его восприимчивостью к передаваемым вибрационным нагрузкам. В этом диапазоне частот находится максимальная энергия, которая воздействует на водителя и пассажиров в виде вибраций и инфразвука. Снижение энергетики в этом диапазоне возможно только за счет увеличения жесткости кузова. Для этого компанией разработана специальная вспенивающаяся двухкомпонентная эпоксидная система, которая применяется в порогах и поперечных элементах жесткости кузова. На рисунке 1 показана эффективность применения системы. Уровень вибрации на месте водителя уменьшился в шесть раз.

Рисунок 1. Снижение вибрации на месте водителя.

Увеличение жесткости кузова позволяет сместить частотный спектр в сторону более высоких частот, значительно снизить уровни инфразвука и вибрации.

В диапазоне частот 150-1500 Гц наиболее эффективным является применение вибродемпфирующих покрытий разных по массе и коэффициенту внутренних потерь.

В диапазоне частот 1500Гц и более эффективным является применение звукоизолирующих материалов сочетающих в себе пористый и тяжелый мастичный слой.

В отдельный класс акустических материалов можно выделить специальные пены из полиуретана с высокой плотностью, вялым скелетом и обладающие высокими внутренними потерями. Такие материалы используются для демпфирования совместных колебаний металлической крыши автомобиля и декоративной формованной крыши.

Таким образом, комплекс мероприятий по усилению жесткости кузова, применению эффективных вибропоглощающих и звукоизолирующих материалов позволяют снизить уровень вибрации в разы, а общий уровень шума в салоне автомобиля на 3-5дБ.

Для железнодорожного транспорта разработан и успешно применяется трудногорючий, вибродемпфирующий материал VDF. Это листовой самоклеящийся материал, который применяется на отдельных элементах кузова вагона и интерьера и позволяет значительно снизить уровни внутреннего шума в купе. На рисунке 2 представлены результаты ходовых испытаний вагона с применением материала VDF. Материал наносится элементами размером $4м^2$ в зоне шкворней и по центру вагона с последующим армированием стальным листом толщиной 1.2мм. Таким образом, получается эффективная

вибропоглощающая конструкция позволившая снизить уровни шума в купе на 3-5дБ.

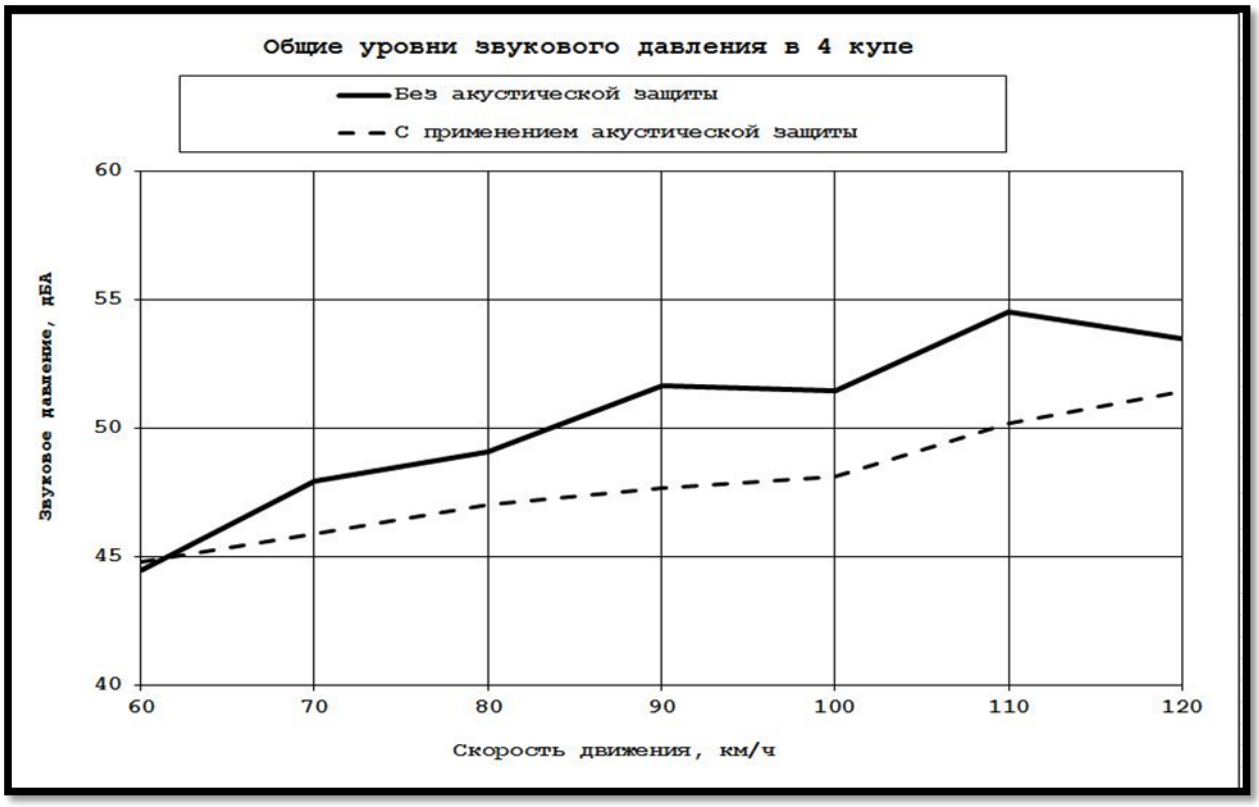


Рис.2. Снижение уровней шума в купе вагона.

Материал VDF нашел свое применение в вертолетостроении наряду с легкими негорючими пенами плотностью 6 кг/м^3 и легкими звукоизолирующими, конструкционными материалами «металл-полимер-металл».

На рисунке 3 показана эффективность звукоизолирующего комплекта.

Разработанный комплект звукоизоляции для вертолета МИ-8 позволил достичь требований предельного спектра 80дБ, снизить уровень шума в салоне вертолета на 5дБ и снизить массу комплекта на 240кг.

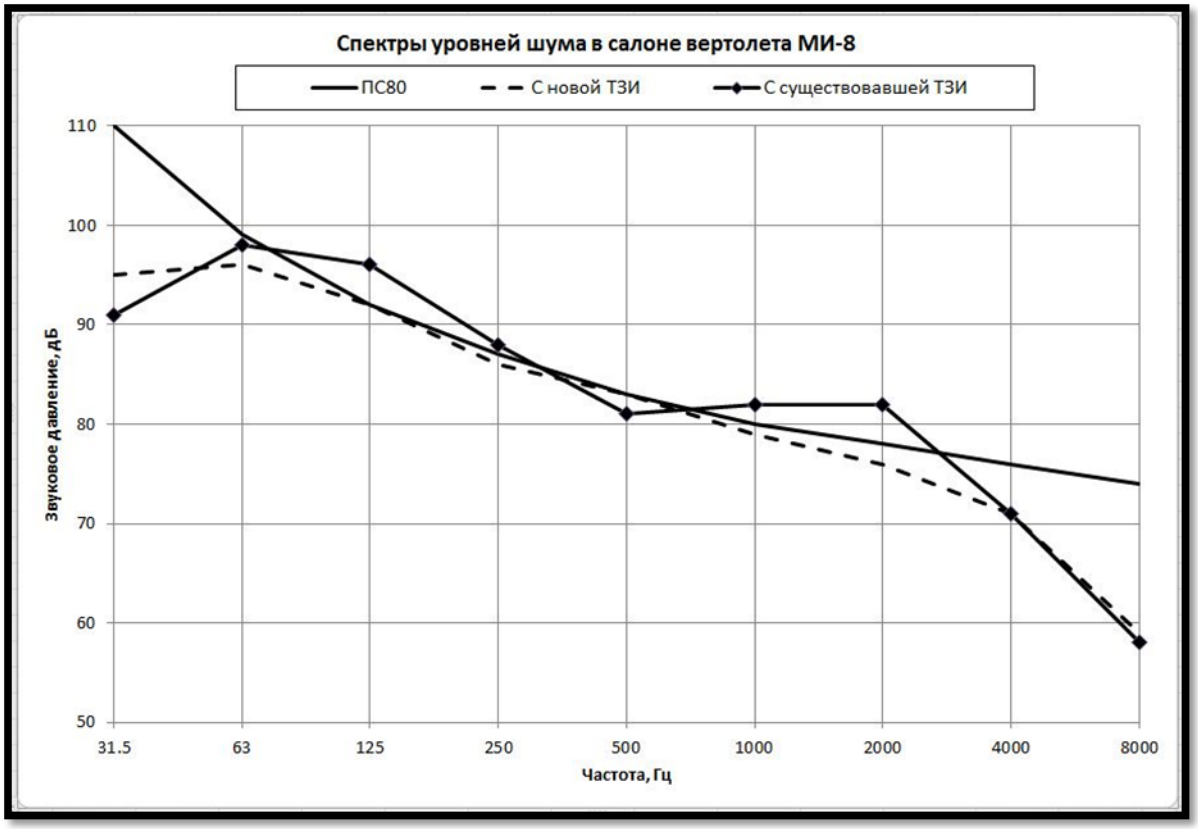


Рис.3. Уровни шума в салоне вертолета МИ-8.

Накопленный опыт по снижению шума на транспорте и широкие возможности для разработки и производства акустических материалов позволяет компании эффективно работать в области архитектурной акустики и звукоизоляции зданий.

ГОСТ 31295.2-2005 как руководство для акустических расчетов

Комкин А.И.
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
akomkin@mail.ru

По-видимому, большинство отечественных разработчиков программного обеспечения для расчетов шума свои алгоритмы расчета основывают на формулах, рекомендованных ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета» [1]. Наличие нормативного документа, дающего научно обоснованные и проверенные практикой рекомендации к проведению акустических расчетов, безусловно, необходимо. Вот только отвечает ли этим критериям данный ГОСТ?

Следует отметить, что указанный выше отечественный, а в равной степени и международный, стандарты стремятся по возможности охватить все вопросы, связанные оценкой затухания звука при его распространении на местности. Сюда входят: ослабление звука с расстоянием, поглощение звука в атмосфере, его отражение от земли, ослабление звука экранами, поправки на метеорологические условия и прочие факторы. Действие всех этих факторов описывается с помощью довольно простых математических формул и использования ряда поправок. При этом не всегда логически и интуитивно понятно их появление, что в свою очередь может проводить ошибочным толкованиям их применения в тех или иных ситуациях и как следствие к ошибочным результатам расчетов. Об этих недостатках стандарта указывалось еще в [2]. Рассмотрим этот вопрос более детально.

Раздел 3 рассматриваемого стандарта касается терминов и обозначений, связанных, по сути, только с измерениями шума и напрямую к расчетам шума не имеющих отношения. Так формулой (1) определяется эквивалентный уровень звука.

$$L_{AT} = 10\lg\left\{\frac{1}{T}\int_0^T \frac{p_A^2}{p_0^2}dt\right\},$$

где $p_A(t)$ – мгновенное корректированное по шкале A шумомера звуковое давление; p_0 – опорное звуковое давление; T –временной интервал.

Однако, в действительности эта формула определяет просто уровень звука. Так, например, определенные интервалы времени используются при измерениях шумомером в режимах «медленно», «быстро», «импульс». В частном случае формулу (1) можно использовать и для непостоянных во вре-

мени шумов, вычисляя эквивалентный уровень, но время усреднения T при этом должно быть больше характерных временных интервалов изменения параметров шума, что осуществляется в интегрирующими шумомерами. В стандарте отмечается, что это время может быть «коротким» или «долгосрочным», но конкретно о каких значениях этого времени идет речь не указывается. Правда в последующем, в разделе 8, говорится об усреднении на «долгосрочном временном интервале, составляющем несколько месяцев или год», но совершенно понятно, что использование формулы (1) для усреднения по таким гигантским интервалам не реально. С этой целью должны использоваться другие хорошо известные формулы, вычисляющие эквивалентный уровень через значения уровней звука в дискретные интервалы времени и, кстати говоря, более пригодные для определения эквивалентного звука.

Далее в разделе 3 формулой (2) определяется эквивалентный октавный уровень звукового давлении с подветренной стороны. Заметим, что по виду эта формула совпадает с формулой (1), только под интегралом вместо величины $p_A(t)$ используется мгновенное октавное звуковое давление $p_f(t)$. Между тем остается непонятным, почему в первом случаем говорится просто об эквивалентном уровне, а во втором об эквивалентном уровне с подветренной стороны.

Еще большее изумление, вызывает формула (3) из раздела 6, устанавливающего основные расчетные формулы. Формула (3) определяет эквивалентный октавный уровень звукового давления опять же с подветренной стороны L_{ft}(DW) следующим образом:

$$L_{ft}(\mathrm{DW}) = L_W + D_C - A\,,$$

где L_W – октавный уровень звуковой мощности точечного источника шума;
D_C – поправка, учитывающая направленность точечного источника шума;
A – затухание в октавной полосе частот при распространении звука от точечного источника шума к приемнику.

Относительно приведенной формулы надо отметить, во-первых, что входящие туда звуковая мощность и поправка на направленность источника тоже должны относиться к октавной полосе частот. А, во-вторых, что более существенно, каким образом из этой формулы вытекает необходимость применения понятия эквивалентный уровень, ведь очевидно, что излучение точечного источника является стационарным во времени, и по какой причине в ней появляется эта декларируемая и здесь «подветренная сторона»? Формула (3) является расчетной, и ее вид не зависит от того в какую сторону дует ветер! Другое дело, что от направления ветра может зависеть входящая в эту формулу величина затухания A.

Входящее в формулу (3) затухание в октавной полосе частот A в данном стандарте определяют формулой (4):

$$A = A_{\mathrm{div}} + A_{\mathrm{atm}} + A_{\mathrm{gr}} + A_{\mathrm{bar}} + A_{\mathrm{misc}},$$

где слагаемые в правой части этой формулы определяют затухание звука, обусловленное соответственно геометрической дивергенцией (A_{div}), поглощением в атмосфере (A_{atm}), влиянием земли (A_{gr}), наличием акустического экрана (A_{bar}) и прочими факторами (A_{misc}), к числу которых относятся случаи распространения звука через листву, в промышленных зонах и жилых массивах.

Далее в разделе 6, используя уровни в октавных полосах частот, определяемые формулой (2), и суммируя их по правилу логарифмического сложения, предварительно скорректировав с использованием коррекции А, получают величину, называемую, как и ранее методически не совсем правильно, эквивалентным уровнем звука с подветренной стороны L_{AT}(DW), дБА. Представленная в стандарте соответствующая формула написана в более общем виде, на случай наличия нескольких точечных источников шума, в том числе и мнимых. Введение последних обуславливается наличием в окрестности действительных источников звукоотражающих поверхностей.

Кроме того, в заключении раздела 6 вводится еще одна величина

$$L_{AT}(\mathrm{LT}) = L_{AT}(\mathrm{DW}) - C_{\mathrm{met}},$$

где C_{met} – поправка на метеорологические условия.

В данном случае при обозначении этой величины уже забывают про эквивалентный уровень и подветренную сторону и называют ее как усредненный на долгосрочном временном интервале уровень звука. Хотя в действительности никакого усреднения, тем более долговременного, здесь нет, и правильнее было бы назвать эту величину просто скорректированным на метеорологические условия уровнем звука. Так что в данном случае, как и ранее, с названием вводимой в рассмотрение величины происходит смысловая путаница. Вообще вызывает сомнение целесообразность введения параметра L_{AT}(LT). Определяющая его поправка C_{met}, как указывается ниже в разделе 8, должна оцениваться из анализа местных метеорологических статистических данных на длительном интервале от нескольких месяцев до года, которые как отмечается в стандарте, могут быть предоставлены компетентными органами. Не совсем ясно, что это за органы, а самое главное, в чем смысл введения поправки C_{met}, тем более, что в стандарте четко не прописана методика ее оценки на основе имеющихся метеорологических данных. Наконец, если учесть, что согласно стандарту с одной стороны значение этой поправки исключительно редко превышает 2 дБА, а точность ее оценки ±1 дБА (раздел 8), а с другой стороны точность самих расчетов шума составляет ±3 дБА (раздел 9), то отсюда заключаем, сама эта поправка «утонет» в погрешности расчета, что еще раз подтверждает ее нецелесообразность.

Раздел 7 данного стандарта посвящен непосредственно оценке затухания звука вследствие перечисленных выше факторов. Из всех факторов затухания, определяемых формулой (4), наибольший интерес вызывают состав-

ляющие, обусловленные влиянием земли A_{gr} и наличием акустического экрана A_{bar}.

Как отмечается в стандарте, затухание из-за влияния земли A_{gr} есть результат интерференции прямой и отраженной от поверхности земли звуковых волн. Акустические характеристики поверхности земли предлагается учитывать коэффициентом отражения G. При этом рассматривают три категории поверхностей земли: твердую поверхность с G=0, пористую поверхность с G=1 и смешанную поверхность, имеющую твердые и пористые участки, когда G принимает значения от 0 до 1 пропорционально площади поверхности пористых участков. Здесь опять произошла путаница! Для твердой поверхности коэффициент отражения стремиться к 1, а для пористой – к нулю, но не наоборот. Поэтому под G здесь, по-видимому, следует понимать все-таки коэффициент звукопоглощения. Обращение к оригиналу (ИСО 9613-2:1996) показало, что путаница в данном случае связана с погрешностями перевода.

Далее, используя данный параметр, в стандарте вводятся разнообразные эмпирические формулы для описания затухания A_{gr} в октавных полосах частот. Не вдаваясь в подробный анализ этих эмпирических формул, отметим лишь, что при G=1 весь падающий звук должен поглощаться пористой поверхностью, так что должно выполняться условие A_{gr}=0. Однако приведенные эмпирические формулы обеспечивают выполнение этого условия далеко не во всех октавах. При G=0, наоборот, происходит полное отражение звука, так что должна наблюдаться чисто интерференционная картина сложения звуковых полей действительного и мнимого точечных источников. Тогда, согласно приведенным формулам, во всех октавных полосах частот затухание A_{gr}=−1,5. Но в чем физический смысл этого результата остается неясным.

Заметим, что в случае, когда точечный источник звука переносится с открытого пространства на открытую жесткую поверхность, то это приводит к повышению уровня звукового давления на в расчетной точке на 3 дБ, просто из-за уменьшения в два раза телесного угла, в котором производится излучение звука. Переводя это в термин затухания от земли, получим A_{gr}=−3 дБ, что в два раза больше значения, получаемого по данному стандарту! Вообще сам применяемый здесь термин затухание из-за влияния земли неудачен. Как мы видим, наличие земной поверхности скорее приводит к усилению звука, чем к его затуханию. В общем же случае в явлении интерференции есть то и другое, и вряд ли для ее описания применим столь упрошенный подход, как в данном стандарте. Тем более в настоящее время разработаны довольно простые аналитические модели, позволяющие учитывать влияние земной поверхности на шум в расчетной точке с подробным описанием характеристик самой поверхности [3], современная вычислительная техника может легко справляться с такими расчетами в рамках разрабатываемого программного обеспечения для акустических расчетов.

Затухание звука, обусловленное наличием акустического экрана A_{bar}, в стандарте рассчитывается по формуле (12):

$$A_{\text{bar}} = D_{\text{z}} - A_{\text{gr}},$$

где D_{z} – затухание с учетом дифракции на верхней кромке экрана.

Предложенная в этой формуле форма записи затухания A_{bar} приводит к тому, что при подстановке последнего выражение в формулу (4) слагаемые A_{gr} взаимно уничтожаются. Таким образом, при этом предполагается, что затухание из-за влияния земли учитывается теперь в величине D_{z}. Такой подход представляется несколько искусственным и говорит о том, что запись затухания в виде составляющих, отраженных формулой (4), не совсем корректно. Более правильным, наверное, было бы использовать разложение затухания на компоненты, рассмотренное в [4].

В свою очередь, входящая в формулу (12) величина D_{z} для тонкого экрана с одной верхней кромкой определяется формулой (14):

$$D_z = 10\lg\left[3 + C_2\left(z/\ \right)K_{\text{met}}\right],$$

где C_2 – константа, учитывающая эффект отражение звука от земли; как правило C_2=20, но в особых случаях, для очень твердого скального грунта, когда наличие грунта следует учитывать мнимыми источниками, C_2=40;
z – разность длин путей при распространения звука через верхнюю кромку экрана и прямого пути; λ – длина звуковой волны; K_{met} – коэффициент, учитывающий влияния метеорологических условий.

Заметим, что при C_2=40 и K_{met}=1 формула (14) по сути, совпадает с формулой Тэджа [5], аппраксимирущей экспериментальные результаты Маекавы и имеющий вид

$$D_z = 10\lg(3 + 20N),$$

где N=2z/λ – Френеля.

Так как формула Тэджа описывает эффективность экрана, без учета отражений от земли, то, следовательно, и в формуле (14) при C_2=40 отражения не учитываются. Таким образом, влияние отражений от земли при использовании формулы (14) состоит просто в уменьшении значения коэффициента C_2 в два раза. Но это, по меньшей мере, неправдоподобно, что такие сложные процессы, связанные с отражением звуковых волн от земли, и в данном стандарте выше описываемые довольно сложными эмпирическими формулами, можно учесть простым изменением значения одного коэффициента в формуле (14). Представляется, что для учета влияния на эффективность экрана могут быть использованы и более точные, а главное физически обоснованные формулы [6], теоретические основы, для получения которых к настоящему времени хорошо разработаны, и вычисления по которым не представляет трудностей.

Отчасти, тоже самое можно сказать и об использовании в формуле (14) коэффициента K_{met}, учитывающей метеоусловия. Конечно, наличие коэффициента K_{met} в этой формуле позволяет уменьшить эффективность экрана на больших расстояниях. Однако, можно согласится с мнением, изложенным в [2], что очень сомнительно, чтобы такой простой способ учета метеоусловий, смог адекватно описывать снижение эффективности экрана в зависимости заданных метеоусловий. Как показывают исследования [7], это очень сложные процессы, для их описания аналитическими методами.

Косвенные подтверждения несовершенства расчетных алгоритмов имеются и в самом стандарте, например, когда в разделе 7 отмечается, что при больших расстояниях и высоких экранах затухание из-за экранирования, рассчитанное по формуле (14) не подтверждается измерениями в достаточной мере. Еще в большей мере несовершенство расчетных формул подтверждается имеющейся в стандарте рекомендацией, что если при расчетах затухание на тонком экране получилось более 20 дБ, то следует ограничивать этой цифрой. Для толстых экранов величину затухания предлагается ограничить величиной 25 дБ.

Заметим, что один из способов совершенствования расчетных алгоритмов мог бы состоять в замене при расчетах действительной высоты экрана на эффективную высоту с использованием метода базовой дуги радиусом 5000 м, как это предлагается в [4].

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать однозначный вывод, что ГОСТ 31295.2-2005 нуждается в существенной переработке. В первую очередь это касается необходимости редактирования текста, обусловленной некорректным определением некоторых используемых в стандарте терминов, а также с необходимостью устранением ряда неточностей, связанных с погрешностями перевода на русский язык исходного международного стандарта ИСО 9613-2:1996. Но самое главное требуется кардинальная переработка расчетных формул, которые бы не приводили к парадоксальным рекомендациям об уменьшении расчетной величины затухания на экране, если она превысила определенный уровень.

А пока, в настоящем виде, данный стандарт, как руководство при проведении акустических расчетов, следует использовать с большой осторожностью, чтобы избежать возможных ошибок.

Литература

1. Афанасьев Д.Н., Александрова Е.В. Софт в помощь: выбираем помощника для расчета акустического воздействия // Экология производства. 2013, №1. С.31-37.
2. Parzych D. Handling of barriers in ISO 9613-2 // Proceeding of NOISECON 2004.-Baltimore, Maryland, 12-14 July, 2004.
3. Stinson M. R. A note on the use of an approximate formula to predict sound fields above an impedance plane due to a point source // Journal of the Acoustical Society of America. − 1995. − V.98, No. 3. − P. 1810–1812.

4. Справочник по технической акустики: Пер. с нем./ Под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера. − Л.: Судостроение, 1980. – 440 с.
5. Tatge R.B. Barrier-wall attenuation with a finite-sized source // Journal of the Acoustical Society of America. 1973. V. 53, № 3. P. 1317–1319.
6. Lam Y.W., Roberts S.C. A simple method for accurate prediction of finite barrier insertion loss// Journal of the Acoustical Society of America. 1993. V. 93, № 3. P. 1445–1452.
7. Salomons E. M. Diffraction by a screen in downwind propagation: a parabolic equation approach // Journal of the Acoustical Society of America. − 1994. − V.95, No. 6. − P. 3109–3177.

Опыт 3D визуализации результатов акустических расчетов

Кошурников Д.Н.
Федеральное бюджетное учреждение науки
«Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
kdn@fcrisk.ru

Развитие процессов моделирования и визуализации отдельных процессов и систем позволило перешагнуть рубеж однообразного двухмерного представления, ограничивающего поиск решения сложных задач, оставляя скрытую его часть в подсознании ученых. На сегодняшний день практически во всех отраслях промышленности и направлениях науки существуют опытные образцы математических моделей по воплощению реальных процессов в трехмерном пространстве. Не обошло стороной развитие технического прогресса и практическую экологию в части шумового загрязнения окружающей среды.

Следует отметить, что программные продукты по моделированию акустической ситуации позволяют не только рассчитывать уровень шума, но и характеризовать имеющуюся территорию оценки, а именно:

- описывать рельеф местности в виде возвышенностей, низменностей, холмов, гор и других естественных преград;
- интегрировать имеющиеся инженерные сооружения в существующую картину рельефа (мосты, тоннели, виадуки и др.);
- описывать имеющиеся инженерные сети, часто способствующие ряду ограничений по хозяйственной деятельности (ЛЭП, дороги, железные дороги, водопроводы, газопроводы и др.);
- огромную роль играет визуализация зданий и сооружений, играющих главную роль при распространении шума на местности, что позволяет учитывать процессы звукопоглощения, отражения звуковых волн, дифракцию звука.
- оценка высотной отметки расположения источников шумового воздействия (что было невозможно визуально оценить в двухмерной модели).

На рисунке 1 представлен отдельный фрагмент промузла «Беляевский» в м/р Балатово г. Перми, в котором оцифрована часть зданий с указанием их реальной высотной отметки.

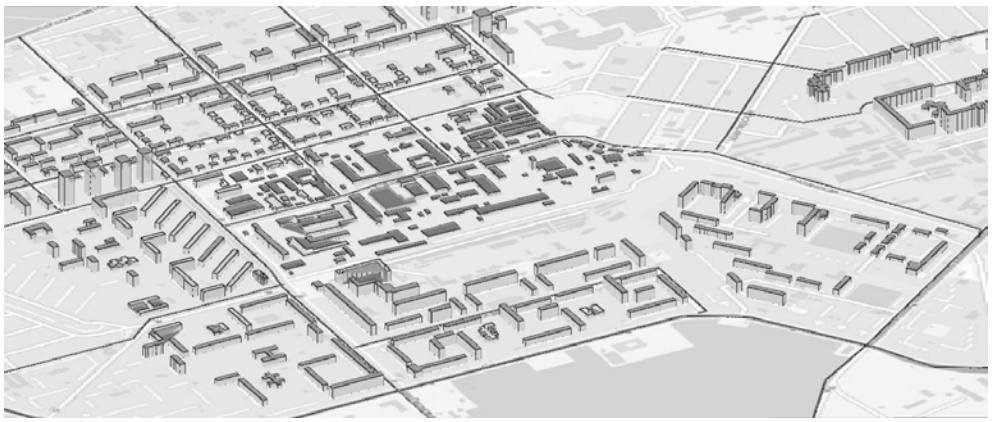


Рис.1. 3D-модель визуализации застройки м/р Балатово в г. Перми

Общая структура входных данных для программных продуктов, реализующих трехмерное представление результатов расчетов, практически не изменилась. Особую сложность создания представляют собой объекты, чья конфигурация изменяется в вертикальном направлении. Остальные объекты, по-прежнему возможно наносить в двухмерных моделях с указанием вертикальных размеров и применив затем 3D визуализацию объекта.

Для полноценной картины трехмерного представления обязательным стал ввод высотных отметок зданий, характеризующийся отдельным полем в атрибутивных данных электронного слоя зданий и сооружений, интегрированного в специальные программные продукты по расчету шума из ГИС (геоинформационные системы).

В процессе акустического моделирования на территории г. Перми был проведен акустический расчет, результаты которого представлены на рисунке 2 в виде плоскости распределения шума.

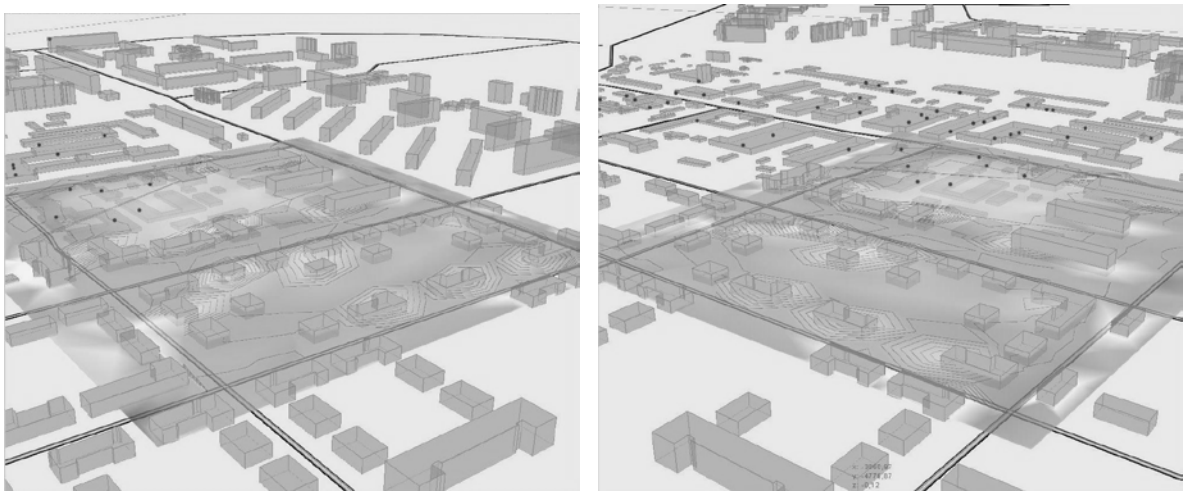


Рис. 2 Двухмерная визуализация результатов акустического расчета в промузле «Беляевский» на территории г. Перми

Распространение шума выполняется по тем же математическим методам, что и в программных инструментах двухмерного представления, в соот-

ветствии с действующей нормативно-методической документацией на территории Российской Федерации.

Однако результат в моделях трехмерного представления дает возможность в полной мере оценить акустическую ситуацию на территории, с выявлением закономерностей, принятием персонифицированных мер по ограничению или снижению шумового воздействия. На рисунке 3 продемонстрирован отдельный фрагмент представления результатов в виде трехмерной модели.

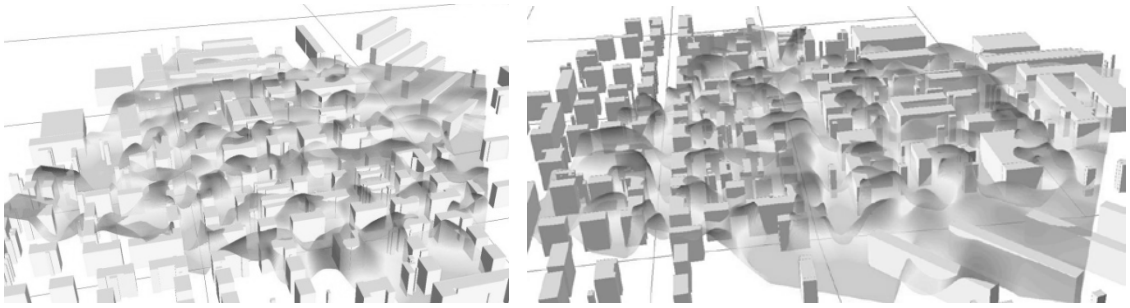


Рис. 3 3D-модель представления результатов акустических результатов в промузле «Беляевский» на территории г. Перми

На сегодняшний день оценка шумового воздействия в крупном мегаполисе и промышленно развитом регионе невозможна без применения 3D-моделей с последующим целенаправленным внедрением природоохранных мероприятий. Трехмерное представление позволяет облегчить работу ученым, инженерам и проектировщикам, имея качественную исходную информацию, а также позволяет формировать максимально реалистичную картину в электронном виде.

Список литературы

1. http://www.noiseview.ru/content/3d .

2. Европейская комиссия по ресурсосберегающим путям роста [Электронный ресурс] // Директива по оценке и управлению шумом в окружающей среде. - http://ec.europa.eu/environment/noise/directive.htm (дата обращения: 02.03.2012).

3. Международный центр по сертификации качества [Электронный ресурс] // Сертификация оборудования Сертификация CE машин и оборудования в Европейском Союзе. Директива Шум в окружающей среде - http://www.icqc.eu/ru/directive_2000_14_EC.php (дата обращения: 12.03.2012).

4. Общероссийское объединение профсоюзов [Электронный ресурс] // Международные нормативы. Директивы ЕС об охране труда - http://www.rost-prof.ru/documents/international/es/page_2.html (дата обращения: 14.03.2012).

5. Защита от шума в градостроительстве // Справочник проектировщика, Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др.; Под ред. Г.Л. Осипова. – М. Стройиздат, 1993.

6. СП 51.13330.2011, Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 "Защита от шума".

7. ГОСТ 31295.1-2005. Затухание звука при распространении на местности.

8. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения / М. Минтранс, 2003.

9. ГОСТ 31287-2005 Руководство по снижению шума в рабочих помещениях акустическими экранами.

10. ГОСТ 30690-2000 «Экраны акустические передвижные. Методы определения ослабления звука в условиях эксплуатации».

11. ГОСТ 51943-2002 «Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности».

Улучшение виброакустических характеристик технологического оборудования ресторанного хозяйства с использованием численного моделирования

Дахов А. Г., Заплетников И. Н.
Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского
obladn@kaf.donduet.edu.ua

Одним из наиболее неблагоприятных экологических факторов на предприятиях ресторанного хозяйства является шумовое загрязнение рабочих мест производственных помещений. Каждый второй житель платеты испытывает дискомфорт, болеет или теряет слух в связи с высоким шумовым воздействием. [1]. Уровень шума в производственном помещении зависит от виброакустических характеристик (ВАХ) оборудования, которые являются комплексным показателем качества конструкции и изготовления, степени безопасности и санитарно-гигиенических условий его применения. ВАХ влияют на размещение оборудования в производственных цехах и его конкурентоспособность на внешнем рынке. На значимость этих характеристик указывает и тот факт, что согласно европейским и международным стандартам шумовая характеристика (ШХ) оборудования должна быть указана на товарном знаке машины. Эти характеристики используются при проектировании оборудования, контролируются при приемо-сдаточных испытаниях заводами изготовителями, стандартизации и сертификации продукции.

Кафедрой оборудования пищевых производств ДонНУЭТ проведен ряд испытаний, подтверждающих, что ВАХ ряда оборудования ресторанных хозяйств не отвечают санитарным нормам, либо отвечают, но только на холостом ходу[2]. Поэтому проблема улучшения ВАХ оборудования является актуальной.

Задачей данного исследования является исследование ВАХ оборудования ресторанного хозяйства с целью его улучшения.

Одним из наиболее «шумных» видов оборудования ресторанного хозяйства является измельчительное оборудование. Поэтому рассмотрим решение поставленной задачи на примере овощерезки Robotcoupe CL30, широко распространённой на территории Украины и стран СНГ. Следует отметить, что ШХ этой машины при работе с продуктом превышают допустимые нормы [3].

В настоящий момент попытки создать общую теорию, описывающую виброакустические процессы в технологическом оборудовании не увенчались успехом, хотя для отдельных элементов получены корректные модели. Реше-

ние задачи комплексного взаимодействия нескольких элементов, зачастую имеющих сложную геометрическую форму, аналитическими методами затруднительно. Поэтому предлагается описывать процесс формирования ВАХ овощеррезательной машины методами численного моделирования [4].

Для решения поставленной задачи воспользуемся специальной программой (СП), основанной на методе конечных элементов.

Геометрическая модель овощерезки представлена на рис. 1.

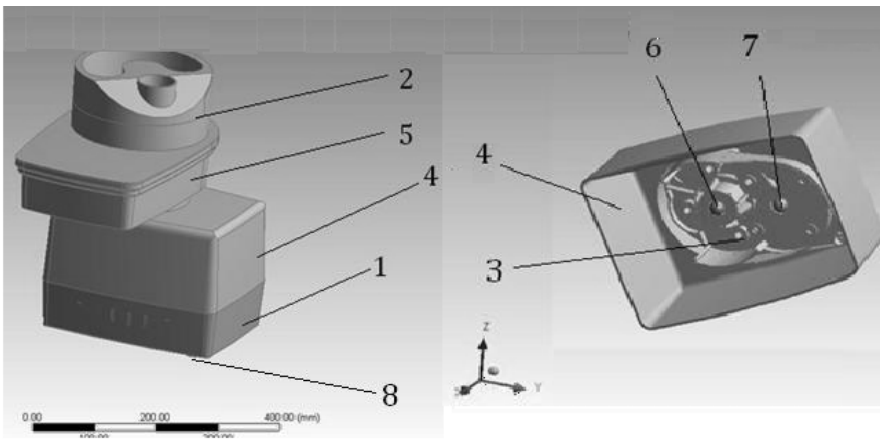


Рис. 1. Геометрическая модель овощерезки CL30

Овощерезка состоит из корпуса, в котором на кронштейне установлен двигатель, рабочий орган, и рабочей камеры. Корпус имеет форму параллелепипеда и состоит из верхней части и днища. Рабочая камера установлена на корпусе сверху, она состоит из загрузочного и выгрузного бункеров. Машина устанавливается на стол на резиновых амортизаторах. Днище 1, загрузочный бункер 2 и кронштейн крепления двигателя 3 изготовлены из пластика, верхняя часть корпуса 4 – из алюминия, а выгрузочный бункер 5 – из нержавеющий стали. Овощерезка установлена на резиновых амортизаторах 8. Анализ работы рабочего органа и двигателя позволяет заменить их точечными массами 6 и 7 соответственно. Все детали жестко соединены друг с другом.

Для построения конечноэлементной модели деталей корпуса овощерезательной машины типа Robotcoupe CL30 был применен конечный элемент SOLID 187, который представляет собой гексаедр и характеризуется тремя степенями свободы (перемещениями U_X, U_Y, U_Z) в каждом с 10 узлов. Этот конечный элемент характеризуется такими реальными константами: модуль Юнга EX, коэффициент Пуассона и плотность, значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Константы материалов модели.

Материал детали	Модуль Юнга, Па×10^6	Коэфициент Пуассона	Плотность, кг/ м ^{3}
Пластик	1,1	0,42	950
Нержавеющая сталь	193	0,31	7750

Алюминий	71	0,33	2770
Резина	0,07	0,45	2400

Точечные массы моделировались с помощью конечного элемента MASS 21. Для этого было задано константы массы (1,4 кг для узла рабочей орган-вал-подшипники и 2,3кг – для ротора электродвигателя).

Конечно-элементная модель овощерезки представлена на рис. 2. Модель имеет 45867 элементов.

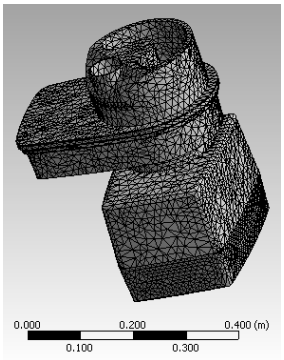


Рис. 2. Конечно-элементная модель овощерезки Robotcoupe CL30.

Проведен модальный анализ машины в диапазоне частот 1-8000 Гц.

В результате расчетов получены значения собственных частот и модальные формы модели овощерезки. Эти данные являются исходными для рассчёта вибрации машины.

Для моделирования вибрационных характеристик овощерезки на холостом ходу к точечным массам были приложены возмущающие силы, имитирующие неуравновешенность вала и рабочего органа. После чего был проведен гармонический анализ в октавных полосах частот. В результате получены значения амплитуд колебаний корпуса овощерезки.

На основании полученных данных установлено, что наиболее виброактивными частями оборудования на всех исследуемых частотах являются днище корпуса овощерезки и верхняя часть загрузочного бункера. С увеличением частоты уменьшаются значения амплитуд колебаний и увеличивается число «волн» на поверхностях деталей.

Численные средние значения амплитуд по корпусу овощерезки представлены в таблице 2.

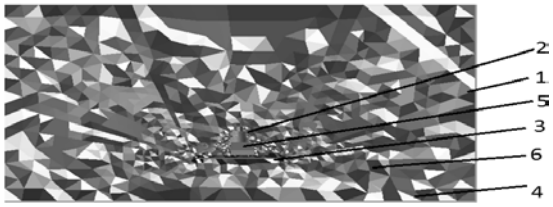
Таблица 2

Средние значения амплитуд колебаний корпуса овощерезки, полученные в результате расчёта.

Октавные полосы частот	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Амплитуда колебаний, м	2.3e-3	5e-4	3e-5	8e-06	1.77e-07	6.40e-08	2.23e-7	7.1e-10

Рассчитанные значения амплитудно-частотных характеристик служат исходными данными для проведения акустического анализа и определения уровня шума, излучаемого оборудованием.

Проведено моделирование распределения звукового давления по производственному помещению при работе овощерезки. Создана конечноэлементная модель воздушной среды помещения в котором находится овощерезка (рис. 3). Поскольку при эксплуатации машина устанавливается на технологический стол, было проведено моделирование комнаты с овощерезкой и столом. Для моделирования воздушной среды в производственном помещении использован акустический конечный элемент FLUID30. Он представляет собой тетраэдр с четырьмя узлами, имеющим по три степени свободы в каждом узле (перемещение UX, UY, UZ). Данному типу конечных элементов присвоены свойства воздушной среды – плотность и скорость распространения звуковой волны в пространстве.



1, 2, 3, 4 – конечные элементы, контактирующие с стенами, машиной, полом; 5 – машина; 6 – конечные элементы, контактирующие с твёрдыми телами

Рис. 3 - Сечение конечноэлементной модели комнаты с овощерезкой горизонтальной плоскостью.

При попадании звуковых волн на стены, пол и потолок помещения, а так же на оборудование, происходит частичное поглощение их энергии. Конечным элементам, которые прилегают к оборудованию или частям комнаты присвоены коэффициенты поглощения колебательной энергии. Значения средневзвешенных коэффициентов звукопоглощения согласно EN ISO 11654 представлены в таблице 3.

Таблица 3. Значения средневзвешенных коэффициентов звукопоглощения

Тип отражающей поверхности	Гипсовое перекрытие	Поливинил с войлочным покрытием	Прессованая минеральная вата	Пластик
Значение коэффициента	0,3	0,38	0,65	0,14

После создания модели помещения к поверхностям корпуса овощерезки приложены амплитуды, полученные в результате проведения гармонического анализа. После этого проведен акустический анализ в октавных диапазонах частот. В результате получены значения давления и уровня звукового давления для всех элементов рассчитываемой системы.

Для анализа результатов расчёта модели была создана измерительная поверхность, на которой согласно ISO 11202:1995 располагались точки измерения.

В качестве целевых функций принимались математические ожидания средних значений звукового давления и уровней звукового давления в этих точках. Полученные результаты в графическом виде представлены на рис. 4.
Поскольку в непосредственной близости от машины расчётные значения звукового давления достигают максимума, а согласно ISO 11202:1995 точки измерения не могут находится ближе расстояния 0,25м. от источника шума, на рис. 4 представлено распределение звукового давления по комнате на октавной частоте 1000 Гц в сечении комнаты плоскостью XOZ без объёма, охватываемого измерительной поверхностью.

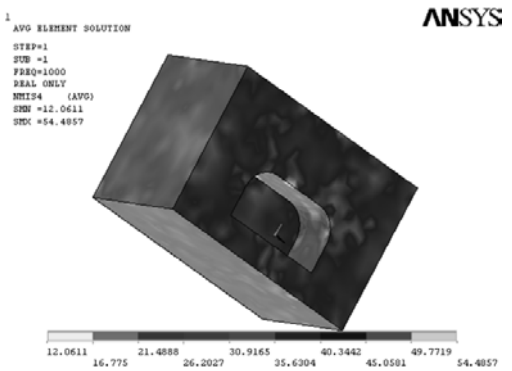


Рис. 4. Распределение звукового давления по сечению комнаты без объёма, охватываемого измерительной поверхностью на частоте 1000 Гц

Внизу рисунка имеется цветовая шкала, указывающая значения уровня звукового давления в дБ. При этом значения увеличиваются при изменении цветов от желтого к голубому.
Для проверки адекватности модели проведены экспериментальные испытания оборудования. Расчётные и экспериментальные значения среднего уровня звукового давления в полосах частот на измерительной поверхности представлены в таблице 4.

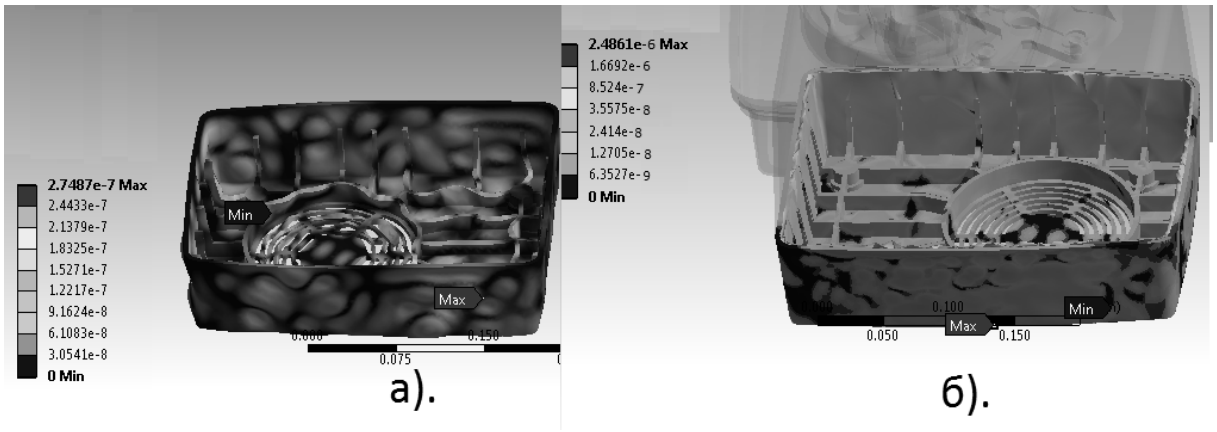
Таблица 4. Расчётные значения среднего уровня звукового давления в октавных полосах частот

Октавные полосы частот	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A
Расчётный уровень звукового давления, дБ	55,6	64,7	65,8	60,5	59,6	50,6	43,2	37,8	68,3
Фактический уровень звукового давления, дБ	57.6	67.5	66.3	65.4	65.7	54.8	44.3	40.3	70,5

Погрешность расчёта, %	3.47	4.15	0.75	4.43	9.81	7.66	2.48	8.68	3,12

Анализ полученных результатов показывает, что фактический уровень звукового давления на всех частотах выше расчётного. Это объясняется тем, что при моделировании были сделаны допущения: уровень шума подшипников, уровень шума издаваемый поверхностью рабочего органа не учитывались. Максимальная погрешность находится в пределах точности инженерных расчётов. Это позволяет сделать вывод, что методика может использоваться для расчёта уровня звукового давления оборудования с учётом акустических свойств помещения.

Так как практически на всех исследуемых частотах одной из самых виброактивных деталей оборудования являлось днище корпуса, то одним из вариантов уменьшения шума и вибрации, издаваемыми машиной являлось нанесение на стенки днища вибропоглощающего материала. Для расчёта эффективности этой модернизации было проведено конечноэлементное моделирование конструкции с нанесенным на внутреннюю часть днища вибропоглотителя. Амплитуда колебаний днища корпуса до и после усовершенствования представлена на рис. 5.



а – до модернизации; б – после модернизации

Рис. 5. – Амплитуда колебаний днища корпуса

Как видно из рис. 5 после нанесения материала распределение амплитуд по корпусу происходит более равномерно. Среднее значение амплитуды колебаний на поверхности днища в октавных полосах частот представлены в таблице 5.

Таблица 5. Средние значение амплитуды колебаний днища овощерезки.

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Амплитуда без виброфола	1,5e-4	6,9e-5	1,4e -6	4,8e -6	2,1e -7	5,1e-7	2,7e -8	6,6 e -9
Оригинал	1,5e-4	6,9e-	1,4e -	4,8e -	2,1e -	5,1e-7	2,7e -8	6,6 e -9

		5	6	6	7			
Прототип	1,7e-4	8,5e-5	1,69e-6	5,2e-6	1,3e-7	3,1e-7	1,6e-8	3,76e-9
Изменение амплитуды %	12	18	14	8	-35	-39	-41	-43

Анализируя данные, приведенные в таблице 5, можно сделать вывод, что нанесение виброизоляции повышает амплитуду колебаний корпуса на низких частотах и снижает её на высоких. На высоких частотах происходит более существенное снижение амплитуд, что, как следствие, приведёт к снижению уровня звукового давления на этих частотах. При этом ШХ от машины в целом в моделируемом помещении на низких и средних частотах до 500 Гц увеличился на 3-9 дБ, на более высоких частотах уменьшился на 3-5 дБ, при пересчёте в дБА произошло уменьшение шума на 2,16 дБА.
Для проверки расчётов создан экспериментальный образец. Экспериментальные измерения образца подтвердили адекватность расчётным значениям. На изменение конструкции овощерезки получен патент Украины.

Выводы:

Созданная конечноэлементная модель машины позволила численно рассчитать собственные частоты колебаний модели, амплитуд колебаний корпуса, и значения виброскоростей корпуса машины, которые в основном соответствует экспериментальным данным.

Полученные значения уровней звукового давления работе машины в производственном помещении близки к экспериментальным, погрешность расчетов составила 3,47-9,81%. Это подтверждает адекватность выбранной модели и возможность использования этой методики для инженерных расчетов

С помощью численного моделирования определена деталь, существенно влияющая на ВАХ машины. Рассчитаны варианты нанесения вибропоглощающего материала на эти детали, при котором происходит снижение амплитуд колебаний корпуса и улучшает ВАХ овощерезательной машины.

Литература

1. Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.

2. Заплетников И. Н. Виброакустические характеристики оборудования передприятий питания и методы их улучшения: Моногр. Донецк : ДонНУЭТ, 2005. стр. - 265 с.

3. 4. Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно-методологичких документов – СПб, компания «Интеграл», 2008. 1 том – 822 стр.

5. Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications. : Acoustical Society of America, 1989. 678 p.

Моделирование структурного шума внутри салона автомобиля УАЗ-3160 в связанной постановке

Санников В.А.
БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова
k3mdtt@mail.ru

В работе на примере расчёта структурного шума в обитаемом отсеке транспортной машины тестируется новая методика решения связанных виброакустических задач в низкочастотной области. Полученные результаты показывают соответствие расчётной картины напряжённо-деформированного состояния экспериментально измеренным уровням звукового давления на рабочем месте водителя, в большей степени, чем распределения перемещений. Показано, что широко применяющейся в современной инженерной практике и САПР способ моделирования по поршневой аналогии пригоден только для описания высокочастотных квазидиффузных полей.

Введение

Задачи технической акустики транспортных машин относятся к классу сопряжённых задач. Подвижные панели ограждения сжимают ограниченный ими воздушный объём, который сопротивляется данному воздействию. Таким образом, задача сводится к определению напряжённо-деформированного состояния системы взаимосвязанных контактирующих упругих сред воздух-оболочка. Твердотельные отражатели имеют как симметричные, так и косо-симметричные формы колебаний. Поэтому газовый объём, ограниченный ими, может либо расширяться (сжиматься) одинаково по всем направлениям, либо перемещаться в одну сторону. Т.е. в нём возможно возникновение как продольной, так и сдвиговой деформации, а, следовательно, как нормальных, так и касательных напряжений. Данная особенность энергии деформирования ограниченного упругими панелями ограждения замкнутого объёма, как показывают результаты экспериментальных исследований [1], наиболее сильно проявляется на низких частотах внешнего возбуждения f, Гц.

С повышением f число возбуждаемых форм колебаний резко возрастает, и, начиная с некоторой определённой частоты $f_д$, результирующее движение становится хаотичным, а поле звуковой энергии – близким к изотропному, или квазидиффузным. Близость к изотропии означает преобладание упругих волн всестороннего разрежения-сжатия (как шарового тензора) над волнами сдвига (как девиатора), т.е. в данном частотном диапазоне свойства воздуха как сплошной среды существенно не влияют на характер её деформирования.

Реализованная в САПР типа ANSYS методика расчёта связанных виброакустических задач методом конечных элементов (МКЭ) является полуаналитической и основывается на поршневой аналогии. При решении вначале

определяются перемещения узлов конечномерной модели совокупности поверхностей ограждения, затем, элементы последних, представляются акустическими поршнями – источниками звука, образующими поршневую группу. В каждой точке воздушного объёма находится звуковое давление, создаваемое элементарными источниками, а полное определяется формулами логарифмического суммирования [2]. Эти формулы являются статистическими и хорошо работают только при сравнительно большом числе длин волн λ на длине свободного пробега, т.е. выше частоты $f_д$. Последняя связана с объёмом замкнутого пространства V известным соотношением Майера [3].

В области же низких частот $f < f_н$, где $f_н$ – граница зоны вынужденных колебаний, или единичных резонансов механической системы, возбуждаемых внешним воздействием одной частоты [2], расчёты с использованием поршневой аналогии приводят к большой погрешности.

1. Постановка задачи и метод её решения

Целью исследования является сравнение с экспериментальными данными [1] результатов расчёта уровней звукового давления (УЗД) на рабочем месте водителя автомобиля УАЗ-3160 различными методами: по формулам статистической акустики и путём определения напряжённо-деформированного состояния в расчётной точке. Конечномерная модель объекта исследования представлена на рис. 1. В расчётной схеме были учтены: панели ограждения из стали 08КПЮ (модуль продольной упругости $E = 210$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}3$, плотность $\rho = 7800$ кг/м^3, скорость звука $c = 5020$ м/с^2), стёкла ($E = 30$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}25$, плотность $\rho = 2500$ кг/м^3, скорость звука $c = 3000$ м/с^2), колесо на задней двери в виде сплошного цилиндра ($E = 210$ ГПа, $\nu = 0{,}3$, $\rho = 1000$ кг/м^3, $c = 5020$ м/с^2), играющее роль динамической опоры, воздушный объём ($\rho = 1$ кг/м^3, $c = 340$ м/с^2). Расчёт производился методом конечных элементов МКЭ в программном комплексе ANSYS Multiphysics версии 14.5 в двух постановках: на сетках акустических КЭ с линейными функциями формы FLUID 30 и твердотельных SOLID 95 воздушного объёма соответственно. Расчётный объект сложной геометрической формы разбивался на тетраэдрические и треугольные КЭ (для FLUID 30 – вырожденная форма). Таким образом, был выделен главный параметр – свойства материала и тип элемента, а все второстепенные оставались неизменными, для корректности сопоставления.

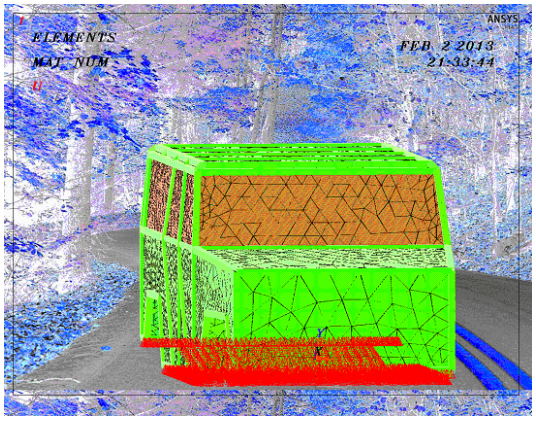


Рис. 1. Конечномерное представление расчётной схемы автомобиля УАЗ-3160 и граничные условия

Нагружение обитаемого отсека моделировалось перегрузками, создаваемыми при движении автомобиля по неровной дороге. В качестве исходных прини-

мались экспериментально измеренные данные по виброускорениям рамы (1) и пола (2) кузова, [1, 4], рис. 2. Виброускорения замерялись в конкретных точках (1 – на раме, 2 – на полу кузова), но в расчётах они принимаются равномерно распределёнными на указанных частях поверхностей. Так как целью исследования является проверка и отработка предлагаемой методики, такого рода упрощающее исходную постанову задачи допущение априори качественно не нарушает корректности математического описания физической картины процесса. К указанным элементам конструкции прикладывались виброперемещения по вертикали, рис. 1

$$u = \frac{\ddot{u}}{\omega^2} = \frac{a}{\omega^2}, \qquad (1)$$

В формуле (1) $\omega = 2\pi f$, где f -частота внешнего гармонического воздействия. Расчёт проводился для экспериментально найденных резонансных частот (рис. 2). Значения виброперемещений на них приведены в табл. 1. Поскольку жёсткость рамно-оболочечного кузова – выше, то он и воспринимает большую долю силового воздействия от кинематического возмущения.

Ограничение максимального шага сетки [5] выполнялось по формуле (2)

$$h \le h_{\max} = \frac{\lambda_{\min}}{n} = \frac{c_{\min}}{n \cdot f_{\max}} = \frac{340}{6 \cdot 2000} = 0{,}028 \text{ м}, \qquad (2)$$

где $f_{\max}$ - наибольшая частота из расчётного интервала. Её выбор в качестве граничной частоты из диапазона экспериментальных значений учитывается в коэффициенте запаса по точности.

Известно, что звукоизоляция (ЗИ) эффективно подавляет воздушную компоненту шума на частотах внешнего возбуждения $f > f_{\text{д}}$. Однако, при исследовании структурного шума, ЗИ не вносит существенных корректив в физический смысл процесса, поэтому в расчёте ею пренебрегалось. Затухание материалов учитывалось, так коэффициент конструкционного демпфирования принимался равным 0.01, в отличие от поглощения на границе раздела твёрдой и газообразной сред.

Эффективные упругие постоянные воздушного объёма определялись исходя из общих положений механики сплошных сред и эксперимента согласно [6], а соответствие между интенсивностью напряжений в объёме и звуковым давлением устанавливалось из условия равенства энергий деформирования.

$$\frac{p^2}{2\rho c} = \frac{\sigma_{\text{инт}}^2}{2 \cdot 3G}. \qquad (3)$$

В выражении (3) $3G$ - арктангенс угла наклона обобщённой диаграммы деформирования [7], для близких к несжимаемым материалам, практически совпадает с модулем продольной упругости *E*. Очевидно, что соотношение (3) справедливо и для пороговых значений p_0 и $\sigma_{\text{инт}0}$. Таким образом, можно найти $\sigma_{\text{инт}0}$ и определять УЗД стандартным способом по состоянию напряжённо деформированного поля:

$$L = L_\sigma = 20\lg\left(\frac{\sigma_{и\ н}}{\sigma_{и\ 0}}\right), \qquad (4)$$

Помимо расчёта по формуле (3), УЗД определялись по значениям виброперемещений в воздушном объёме при моделировании его объёмными КЭ:

$$L = L_u = 20\lg\left(\frac{u}{u_0}\right), \qquad (5)$$

где пороговое значение $u_0 = 8$ пм [8].

2. результаты расчётов и их анализ

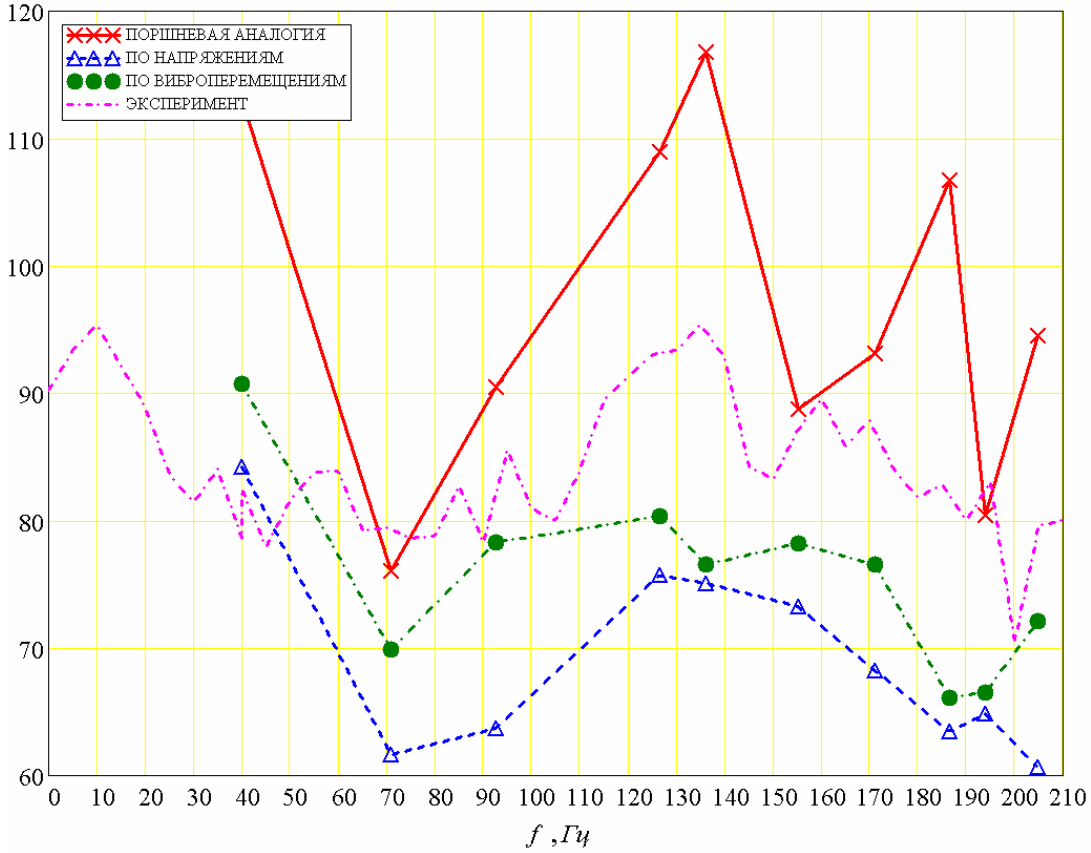


Рис. 3. Экспериментальные данные и расчётные: по поршневой аналогии, по интенсивности напряжений и виброперемещениям твердотельной модели резонансные кривые.

На рис. 3 представлены результаты расчётов уровней звукового давления (УЗД) L, Дб, на рабочем месте водителя, рассмотренными в работе методами, для сопоставления с экспериментальными данными. Как наглядно показывает сопоставление графиков зависимостей на рис. 3, обнаружить наибольшее число резонансов связанной виброакустической среды, проявляющихся в эксперименте, позволяет расчёт через напряжения на сетке объёмных КЭ сплошной среды. Расчёт по виброперемещениям лучше повторяет форму экспериментальной резонансной характеристики, чем по поршневой аналогии. Замеченная корреляция резонансов движущихся панелей и ограниченного ими воздушного объёма свидетельствует об определяющей роли резонанс-

ных свойств связанных упругих ограниченных сред в формировании результирующего волнового процесса.

Заключение

Предложенная методика способна решить проблему точного описания низкочастотного шума в обитаемых отсеках кабин транспортных и строительно-дорожных машин, кают кораблей и других конструкций. Представляет интерес дальнейшая её отработка на уточнённых физических моделях, с учётом ЗИ и экспериментально обоснованных моделей трения, с целью выявления не только качественного, но и количественного согласия с экспериментом в диапазоне низких частот внешнего нагружения, в отличие от существующей статистической, приемлемой и дающей удовлетворительные результаты только в области выше частоты $f_д$ - границы квазидиффузного поля звуковой энергии. Введение в неё эмпирических поправок [3] не позволяет решить проблему: коэффициенты эти для каждого конкретного случая принимают свои значения, и распределение УЗД может существенно деформироваться при наличии априори пренебрежимо малого концентратора. Поэтому более рациональным представляется рассмотрение физической природы явления взаимодействия сред на низких частотах, чем проведение серий экспериментов.

Определение границы области применимости статистической акустики $f_д$ является важной практической задачей, решённой только для прямолинейных форм отражателей. Подход к её расчёту при наличии ненулевой кривизны поверхностей ограждения изложен в [9].

Литература

1. Санников В.А., Иванов И.Н., Курцев Г.М., Кайдалова М.Н. Разработка методики расчета структурной составляющей шума внутри салона автомобиля УАЗ-3160 (III). -С.Пб.: БГТУ. Отчет по НИР М11–47–4046, инв. №ОТ 1251, 1995г.— 78с.

2. Санников, В.А. Численное моделирование физических процессов в ограниченных средах: учебное пособие / В.А. Санников; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2008. – 175 с.

3. Иванов Н.И. (ред.) Техническая акустика транспортных машин. - Справочник, СПб. Политехника 1992,-365 с.

4. Санников, В.А. Разработка алгоритмов решения задач технологической механики: практическое пособие / В.А. Санников; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2008. – 178 с.

5. http://www.aist.aaanet.ru/lection.htm (дата обращения: 22.08.2012)

6. Санников В.А., Яковлев С.П. Расчёт виброакустики замкнутых объёмов транспортных и строительно-дорожных машин как колебаний связанных континуальных сред. [Электронный ресурс] // Техническая акустика. – Электрон. журн. – 2013. – 3. Режим доступа: http://www. ejta.org, свободный

7. Макаров Е.Г. Теория пластичности для инженеров. СПб, БГТУ, 2011

8. Смирнов С.Г. Методы защиты от вибраций: методические указания по выполнению лабораторной работы № 5 по курсу «Безопасность жизнедеятельности». М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008 г.

9. Санников В. А., Яковлев С. П. Условия начала диффузности в объёме, ограниченном криволинейными подвижными отражателями: сб. трудов V ОМНТК «Молодёжь. Техника. Космос». – СПб.: БГТУ, 2013. – С. – 136.

Расчет и проектирование защиты от шума

Гусев В.П., Лешко М.Ю.
НИИСФ РААСН
niisf@niisf.ru

Основные элементы систем воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: вентиляторы, вентиляционные установки, путевая арматура, фасонные элементы и др. являются источниками повышенного широкополосного аэродинамического шума, который распространяется по воздуховодам с некоторым затуханием по сети на значительные расстояния и достигает обслуживаемого системой помещения. Для обеспечения нормативных акустических условий в таком помещении за источником шума предусматривается установка глушителя (пластинчатого, трубчатого, канального, камерного в зависимости от мощности оборудования). Его эффективность подбирается по требуемому снижению октавных уровней шума, равному разности рассчитанных уровней звукового давления (УЗД) в указанном помещении и их допустимых значений [1], чем больше это снижение, тем менее эффективный требуется глушитель. Разумеется, при этом учитывается суммарное снижение уровней звуковой мощности по пути распространения звука от источника.

В длинной сети суммарное снижение звуковой мощности ($\Delta L_{W\,сум}$), как правило, значительное, соответственно эффективность упомянутого глушителя низкая, поэтому в ее начальных участках (за источником и глушителем) уровни шума могут быть недопустимо высокими. В результате, когда такие шумные участки воздуховодов транзитом проходят через закрытые или открытые пространства, к акустическим условиям в которых предъявляются достаточно жесткие требования, в них возникает повышенный воздушный шум, следовательно, требуются соответствующие защитные меры.

Исходными данными для разработки защитных мер в подобных ситуациях на проектируемых объектах является зависимое от частоты требуемое снижение ожидаемых (рассчитанных) уровней шума, проникающего через стенки транзитных воздуховодов. Ожидаемые УЗД при прохождении такого воздуховода через офисное или любое другое помещение, определяются по формуле, приведенной в стандарте НИИСФ РААСН [2]:

$$L = L_W - \Delta L_{W\,c} + 1\,\lg \frac{S_{н}}{S_{п}} - R_{в} - 1\,\lg B_{и} + 3, \qquad (1)$$

где L_W - октавный уровень звуковой мощности источника шума, излучаемой в воздуховод, дБ;

$\Delta L_{W\,сум}$ - суммарное снижение уровней звуковой мощности источника, дБ, по пути распространения звука до начала участка воздуховода, излучающего шум в помещение;

$S_{нп}$ - площадь наружной поверхности участка воздуховода, через которую поступает шум в помещение, м^2;

$S_{пс}$ - площадь поперечного сечения воздуховода, м^2;

$R_в$ - звукоизолирующая способность стенок воздуховода, дБ;

$B_и$ - постоянная изолируемого помещения, м^2.

Указанное суммарное снижение звуковой мощности по пути распространения в обычных сетях в воздушных каналах, имеющих относительно небольшие поперечные сечения, определяется в соответствии с основополагающим документом в области защиты от шума [3] и стандартом [2] по формулам, основанным на принципах волновой акустики. В мощных вентиляционных системах, в крупногабаритных каналах, применение этих формул ограничивается диапазоном низких частот. В области средних и высоких частот для оценки уровней звукового давления и снижения звуковой мощности предпочтительнее так называемый комбинированный метод [4]. Суть его заключается в раздельном рассмотрении распространения прямой и отраженной составляющих уровней шума с последующим их суммированием. Для реализации этого инновационного метода оценки звуковых полей в крупногабаритных воздушных каналах разработана и успешно апробирована компьютерная программа.

Существуют ситуации, когда воздуховод транзитом проходит через шумное помещение, а шум через стенки проникает в воздуховод и далее по нему в тихое обслуживаемое системой помещение. В таких ситуациях требуется знание ожидаемых УЗД в тихом помещении, которые определяются по формуле [2]:

$$L = L_ш + 1 \; l \; S_{нп} - R_в - 1 \; l \; B_и - \Delta L_W, \qquad (2)$$

где $L_ш$ - октавный уровень звукового давления в шумном помещении, дБ;

$S_{нп}$ - площадь поверхности участка воздуховода в пределах помещения, м^2;

$R_в$ - звукоизолирующая способность стенок воздуховода, дБ;

$B_и$ - постоянная изолируемого от шума тихого помещения, м^2;

ΔL_W - снижение уровней звуковой мощности, дБ, по пути распространения звука от шумного до тихого помещений.

Практика показывает, что требуемую защиту окружающей среды от воздушного шума, излучаемого стенками транзитных воздуховодов, можно добиться за счет установки на них покрытий, изначально известных как теплоизолирующих, но обладающих звукоизолирующими свойствами [5]. В последние годы на строительном рынке появилось множество однослойных и многослойных (комбинированных) покрытий на базе эластичных (упругих), волокнистых и жестких материалов, различающихся по толщине, плотности, способу изготовления и закрепления на воздуховоде. На начальном этапе они часто применялись без достаточного на то обоснования, например, упругий вспененный пористый материал, известный как «К-флекс», преподносится в качестве панацеи для снижения вибрации и излучаемого шума труб систем холодоснабжения (между насосами, холодильными машинами и воздушными охладителями). Однако экспериментально установленная эффективность та-

кого покрытия весьма далека от того, чтобы рекомендовать его для повсеместного использования. Основанием для применения того или иного материала, покрытия могут служить только достоверные данные о звукоизолирующих свойствах – об акустическом эффекте их установки на трубы вообще и металлические воздуховоды, в частности.

Для получения названных данных в лаборатории НИИСФ РААСН была создана экспериментальная установка, отработана методика и организованы испытания, отвечающие требованиям действующих стандартов [6,7], на основе измерений в реверберационном поле в измерительной камере аэроакустического стенда.

Испытано множество материалов и комбинированных покрытий на круглые и прямоугольные трубы различного назначения. Полученные результаты внесены в их технические паспорта и позволяют сделать некоторые обобщения, сравнить акустические возможности и звукоизолирующие свойства этих средств шумоглушения.

Сначала испытывались легкие покрытия из вспененных и волокнистых материалов: сегменты из пеноплэкса толщиной 40 мм и плотностью 35 кг/м^3 - ПП; листовой пенофол (40 мм, 40 кг/м^3) - ПФ; листовой вспененный полиэтилен типа «Блэк Стар ДАКТ-Ал» (10 мм, 25 кг/м^3) - ПЭ; волокнистый материал «ISOVER» (100 мм, 22 кг/м^3) – ИЗ1 и «ISOVER» (30 мм, 30 кг/м^3) – ИЗ2 (названия материалов определены изготовителями). Эффекты их установки на круглую трубу диаметром 200 мм представлены на рис. 1 в наглядной графической форме.

Если невысокие эффекты установки покрытий из вспененных и волокнистых материалов в диапазоне низких частот отнести к недостаткам, то таковые отсутствуют у комбинированных покрытий из пористых упругих материалов типа K-FONIK с плотностью от 160 до 240 кг/м^3. Испытано четыре варианта комбинированных и два однослойных покрытий:

- вариант 1: K-FLEX IGO (19 мм);
- вариант 2: K-FLEX IGO (19 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + IN CLAD;
- вариант 3: K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм) + IN CLAD;
- вариант 4: K- FONIK 240 (25 мм);
- вариант 5: K- FONIK 240 (25 мм) + K-FONIK ST GK 072 (12 мм);
- вариант 6: K-FLEX ST (25 мм) + K-FLEX ST (25 мм) + K-FLEX GK (2 мм) + K-FLEX ST (25 мм) + K-FLEX GK (2 мм) + K-FLEX ST (25 мм) + IN CLAD.

Эффекты установки перечисленных покрытий на упомянутую круглую трубу или изменение за счет них звукоизолирующей способности ее стенок представлены на рис. 2.

ΔL, дБ

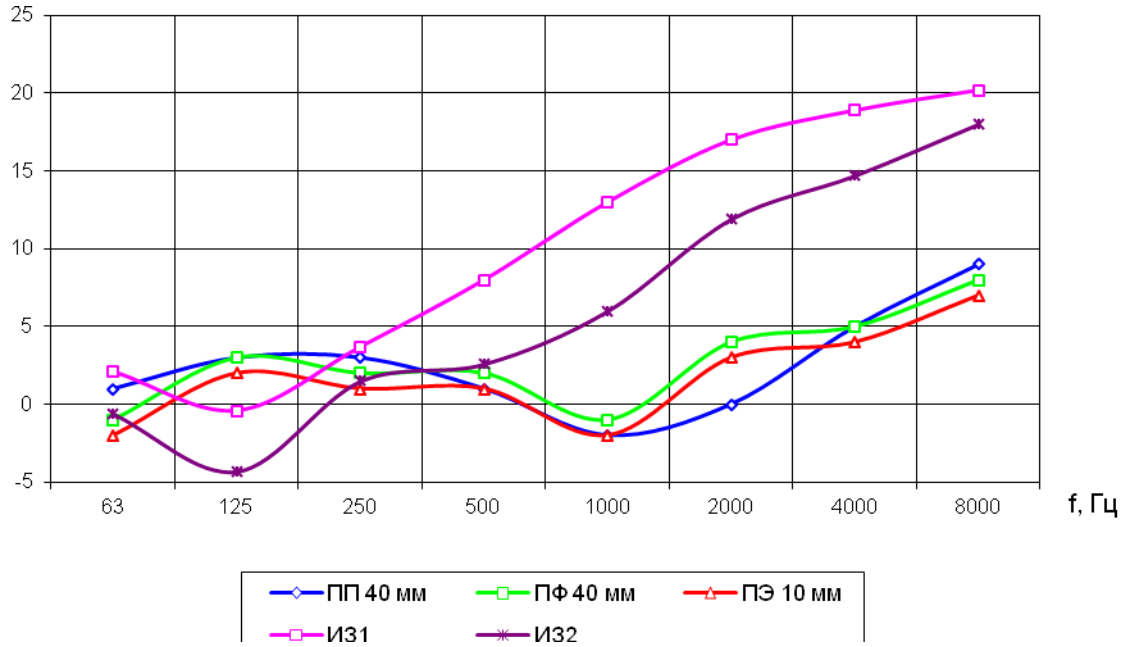


Рис. 1 - Эффективность покрытий из вспененных и *волокнистых материалов*

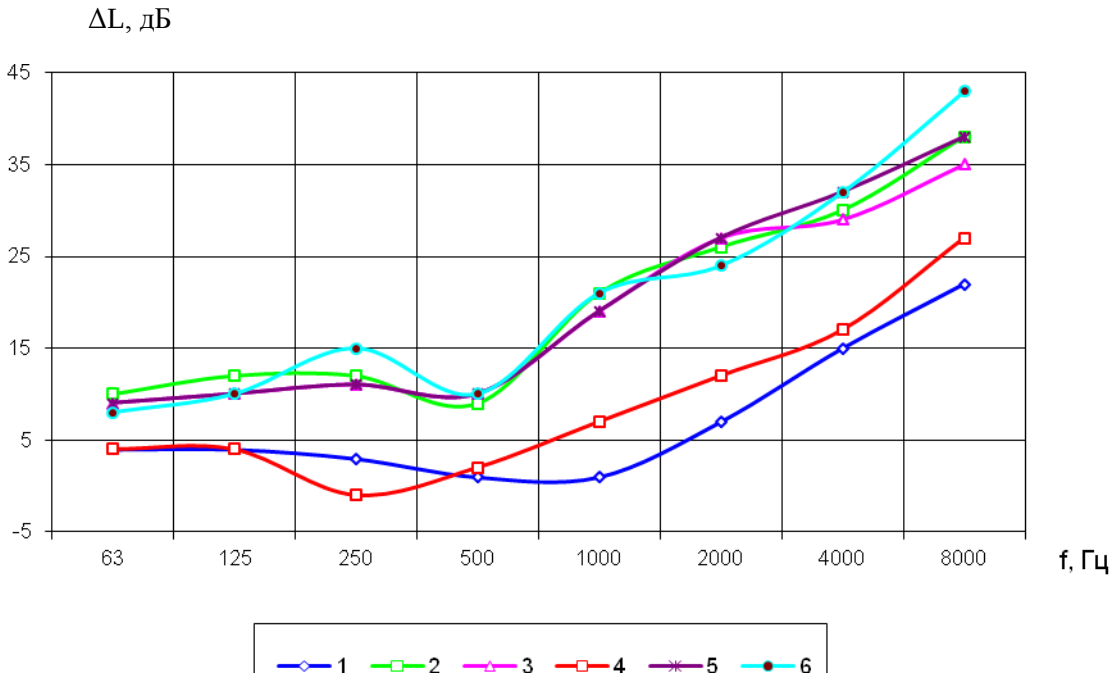


Рис. 2 – Эффективность покрытий из материалов типа K- FONIK

1 – вариант 1; 2 – вариант 2; 3 – вариант 3; 4 - вариант 4;

5 - вариант 5; 6 - вариант 6.

По результатам данных испытаний можно отметить следующее:

1. Покрытия на основе пористых упругих материалов типа K-FONIK обеспечивают значительное снижение уровня шума, излучаемого трубой, в широком диапазоне частот (рис. 3). Максимальное его снижение достигается за счет четырех комбинированных покрытий (см. варианты 2, 3, 5, 6).

2. В диапазоне низких частот (до 500 Гц) их эффективность существенно выше, чем у покрытий из вспененных и волокнистых материалов (см. рис. 2) и составляет 9-12 дБ. С ростом частоты она существенно повышается и достигает 38-43 дБ на среднегеометрических частотах октавных полос 4000, 8000 Гц.

3. Минимальный акустический и даже отрицательный эффект, как ожидалось, получен при установке двух однослойных покрытий (варианты 1, 4). Вариант под первым номером по своим, физико-техническим свойствам практически идентичен упомянутому пористому материалу типа «К-флекс», от которого так же не следует ожидать большого эффекта, а применять в проектах только с учетом конкретных акустических ситуаций (зависимого от частоты требуемого снижения шума, соответствующего невысокой эффективности).

Когда требуются покрытия для эксплуатации преимущественно в сложных условиях, например, в открытом пространстве при воздействии атмосферных осадков и низкой температуры воздуха, пожалуй, более пригодны покрытия с использованием пеностекла, минеральной ваты и металлического листа.

Одна из отечественных фирм производит такие покрытия на трубы диаметром от 100 до 1000 мм с использованием теплошумоизоляционных изделий (блоков) из пеностекла производства ОАО «Гомельстекло» и цилиндров теплоизоляционных из минеральной базальтовой ваты производства ООО «КАТВУЛ». Материалы в этих покрытиях имеют существенные отличия по физико-техническим параметрам от представленных двух типов пористых упругих и волокнистых материалов.

Для акустических испытаний было представлено пять вариантов однослойных и комбинированных покрытий на трубу диаметром 325 мм:

Вариант 1: пеностекло (толщина 50 мм, плотность 170 кг/м^3), минеральная вата (толщина 50 мм, плотность 120 кг/м^3), сталь оцинкованная (толщина 1 мм);

Вариант 2: минеральная вата (50 мм, 120 кг/м^3), пеностекло (50 мм, 170 кг/м^3), сталь оцинкованная (1 мм);

Вариант 3: пеностекло (50 мм, 170 кг/м^3), минеральная вата (80 мм, 120 кг/м^3), сталь оцинкованная (1 мм);

Вариант 4: пеностекло (50 мм, 170 кг/м^3);

Вариант 5: пеностекло (80 мм, 170 кг/м^3).

Результаты испытаний перечисленных покрытий представлены в той же наиболее наглядной графической форме на рис. 3.

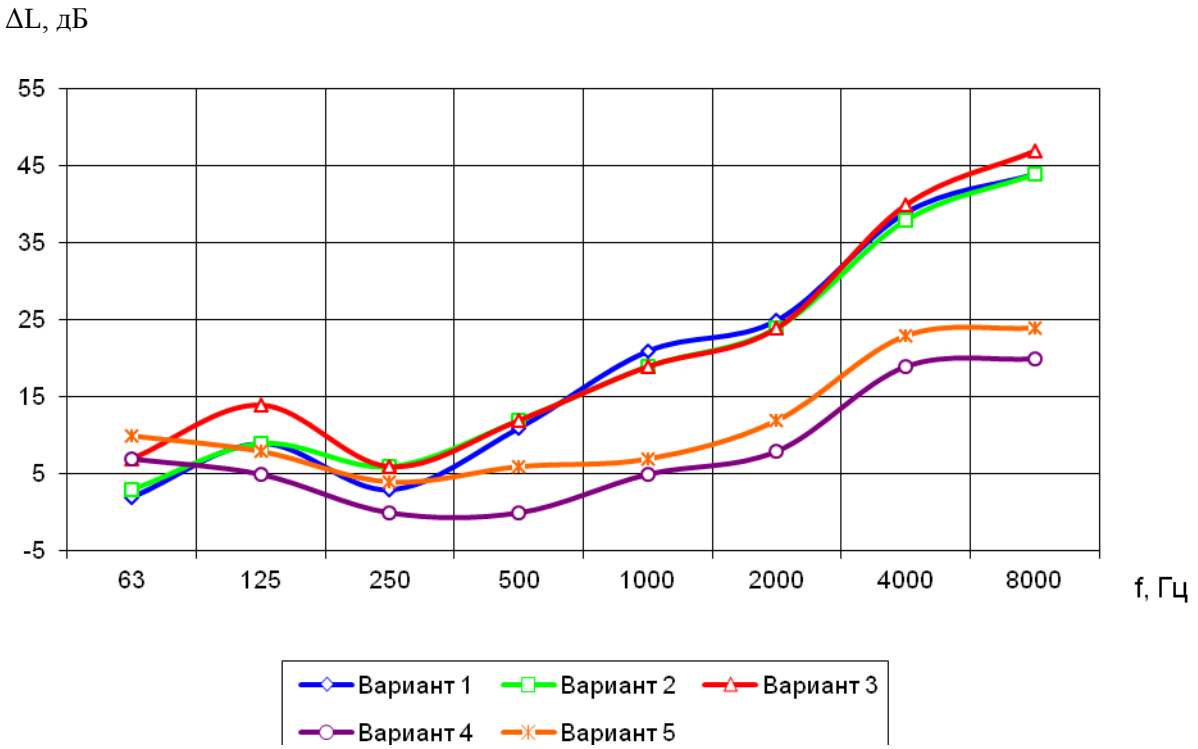


Рис. 3 - Эффект установки на трубу комбинированных и однослойных покрытий с использованием пеностекла и минеральной ваты
1 – вариант 1; 2 – вариант 2; 3 – вариант 3; 4 – вариант 4; 5 – вариант 5

Как видно на рис. 4, в диапазоне низких частот эффективности комбинированных покрытий сравнимы или ниже, чем у подобных покрытий на основе пористых упругих материалов типа K-FONIK, а на средних и высоких частотах они несколько выше. Однослойные покрытия в диапазоне низких и средних частот имеют отрицательную звукоизолирующую способность. К недостатку, думается, следует отнести относительную сложность крепления этих покрытий на трубах и потребность в более квалифицированных специалистах для проведения монтажных работ.
Существующие покрытия на круглые трубы диаметром до 1000 мм на основе испытаний при необходимости могут быть классифицированы по звукоизолирующей способности, как устанавливает стандарт [6]. В нем предлагаются три класса (А, Б, С), в каждом из которых в трех подклассах приводятся значения минимальной звукоизолирующей способности покрытий в зависимости от диаметров труб: А1, А2, А3 (до 300 мм), Б1, Б2, Б3 (от 300 до 650 мм), С1, С2, С3 (от 650 до1000 мм).
Пользуясь такой классификацией и сравнивая полученные результаты измерений с нормативными данными можно отметить, что звукоизолирующая способность (эффект установки) первого варианта покрытия выше минимальной требуемой изоляции воздушного шума по классу А2, и соответствует с некоторым запасом классу В2, но ниже минимальной требуемой изоляции по классу С2 (рис. 4).

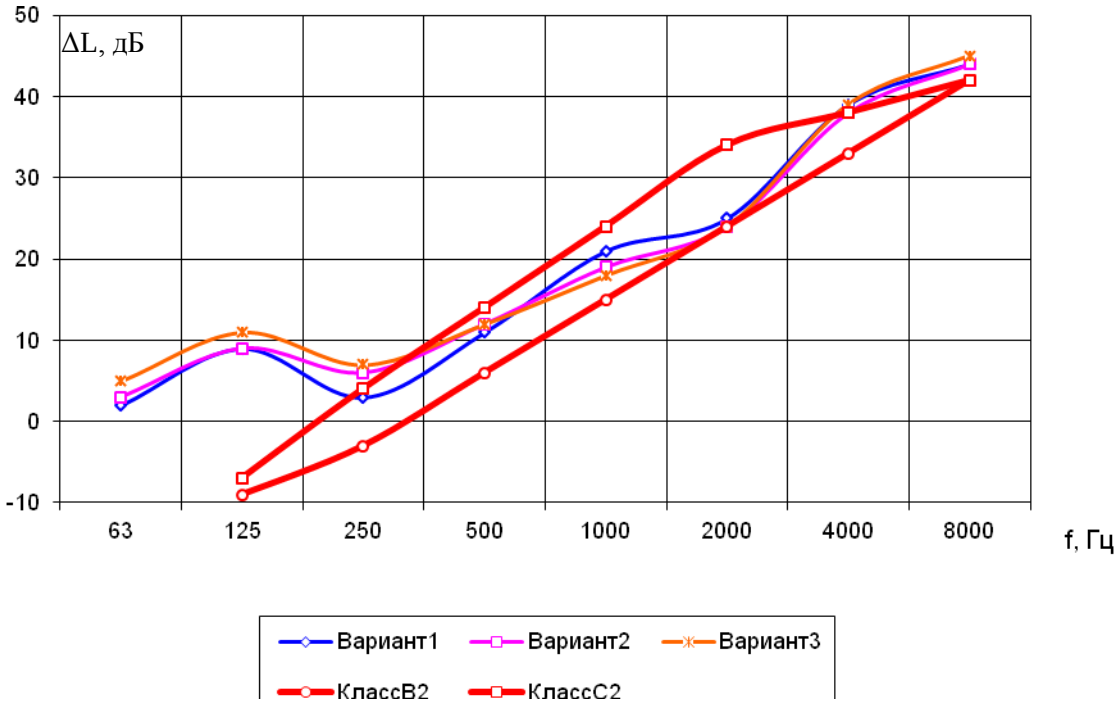


Рис. 4 – Сравнение эффективностей комбинированных с использованием *пеностекла и минеральной ваты с нормативными значениями*

1 – Вариант 1; 2 – Вариант 2; 3 – Вариант 3;

4 – Норма для класса В2; 5 - Норма для класса С2.

По поводу целесообразности введения этих классов звукоизоляции у нас есть сомнения. Во-первых, существование классов побуждает (или принуждает) разработчиков (изготовителей) добиваться повышения звукоизолирующей способности покрытий, чтобы они соответствовали более высокому классу, а значит, усложнять их конструкции и повышать стоимость и без того весьма дорогостоящих покрытий, хотя необходимости в этом, вообще говоря, нет. Многолетний опыт работы в области защиты от шума различных источников, включая трубопроводные системы, дает основание утверждать, что максимальная эффективность (по классу С) требуется в единичных случаях. Массовое применение находят покрытия по классу А и В (к ним относятся покрытия на основе материалов типа К-FONIK, пеностекла и минваты). В тех редких случаях, когда эффективности предлагаемых вариантов покрытий недостаточно, ее можно повысить за счет увеличения толщины слоев применяемых материалов. Кстати, стандарт не исключат и повышение излучаемой звуковой мощности трубой в области низких частот (см. рис. 4), т.е. ухудшение звукоизолирующей способности стенок труб, за счет устанавливаемого покрытия. Во-вторых, класс сам по себе мало о чем говорит. В него может быть включен широкий спектр покрытий на множество разных труб, а в реальных условиях требуется подобрать одно на конкретную трубу, излучающую повышенный шум, в конкретную защищаемую от него среду. Следовательно, требуется не знание класса, которому может удовлетворять ряд покрытий, а только то, оптимальное, определить которое можно на основе анализа, прежде всего, их акустических характеристик (эффектов установки), а затем учесть конструктивные параметры и стоимость.

Рассмотренные в статье акустические характеристики однослойных и комбинированных покрытий на транзитные воздуховоды систем ОВК (и любые другие излучающие шум трубы), являются их важными акустическими характеристиками и необходимыми данными для проектирования защиты от шума названных источников. Они дают возможность

подбора оптимальных с точки зрения акустики и экономики вариантов покрытий в зависимости от требуемого снижения шума, излучаемого трубопроводными системами в открытые или замкнутые пространства.

Литература

1. Санитарные нормы СН 2.2.4./2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1997.
2. СТО 02495359-6.001-2011 Расчет и проектирование шумоглушения систем вентиляции, кондиционирования воздуха, холодоснабжения и воздушного отопления», М.: НИИСФ РААСН, 2011.
3. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума», М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.
4. Гусев В.П., Леденев В.И. Комбинированный метод расчета уровней шума в крупногабаритных газовоздушных каналах. // Дни Российской строительной науки в Германии. Инновационные решения. Контакты. Связи: Материалы научно-технической конференции, ноябрь 2012.
5. Гусев В.П. Из опыта борьбы с шумом оборудования инженерных систем. // АВОК, №2 - 2012 – С.38-42
6. ГОСТ Р ИСО 15665-2007 «Шум. Руководство по акустической изоляции труб и арматуры трубопроводов».
7. ГОСТ 31274-2004 (ИСО 3741:1999) «Шум машин. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер».

Расчет шума стройплощадок

Иванов Н.И.[1], *Минина Н.Н.*[2]
[1] Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова
[2] Институт комплексного транспортного проектирования

Шум, возникающий при строительстве, вызывает дискомфорт у населения, проживающего вблизи строительной площадки. При проведении строительных работ используются самосвалы, краны, погрузчики, автогрейдеры, бульдозеры, виброкатки, передвижные компрессорные станции и другое оборудование с дизельными двигателями. Шум этих машин на расстоянии 7,5 м достигает 75–85 дБА, шум сваебойного оборудования — 100 дБА. Это означает, что дискомфорт и негативные последствия повышенного шума мешают жителям домов, расположенных даже в сотнях метров от строительных площадок.

Шум стройплощадок зависит в первую очередь от характера выполняемых работ (погрузочные, земляные, подготовительные работы, уплотнение грунта и т.д.), т.е. от набора строительных машин в технологической цепочке. На рис. 1 приведены экспериментальные спектры шума для основных видов строительных работ. Для полученных спектров отмечен низкочастотный характер; основная составляющая в спектре или в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц — шум выпуска и 125 Гц — шум рабочих органов.

В первом приближении все строительные работы по характеру излучаемого шума и виду полученных спектров можно разделить на две большие группы. Первая группа, к которой относятся машины, выполняющие различные земляные и подготовительные работы, имеет значительно меньшие уровни звукового давления, чем вторая, к которой относятся уплотнительные машины, техника, выполняющие асфальтоукладочные и др. виды работ.

Разница в усредненных УЗД в диапазоне со среднегеометрическими частотами от 125 до 8000 Гц составляет 4–6 дБ. Большие УЗД во второй группе определяются применением более шумных машин с виброактивными рабочими органами (виброкатки, асфальтофрезерные машины и др.).

Спектр шума первой группы имеет ярко выраженный низкочастотный характер; основная составляющая в спектре, определяемая выпуском ДВС, расположена в октавной полосе со среднегеометрической частотой 63 Гц, спад составляющей этой частоты к высоким частотам равномерный и в среднем составляет 5–8 дБ на октаву.

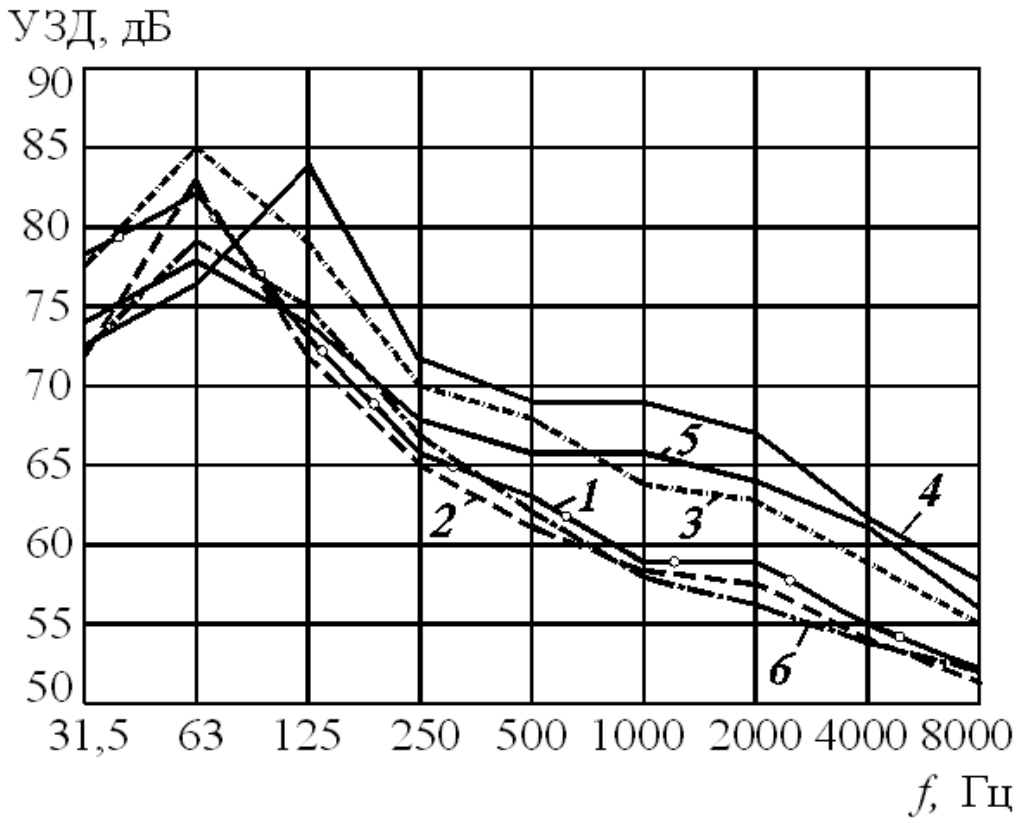


Рис. 1. Изменение спектров шума в зависимости от вида работ на расстоянии 30 м от границы стройплощадки: *1* – земляные работы (67 дБА); *2* – земляные работы (66 дБА) (другой состав машин); *3* –асфальтоукладочные работы (71 дБА); *4* – асфальтофрезерные работы (74 дБА); *5* – земляные работы с уплотнением виброкатками (72 дБА); *6* – погрузочно- разгрузочные работы (66 дБА)

Спектр шума во второй группе определяется шумом рабочих органов; основные составляющие спектра расположены в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63 и 125 Гц, спад составляющих в спектре, начиная со среднегеометрической частоты 250 Гц, в среднем не превышает 2–5 дБ на октаву.

Экспериментальные значения УЗ стройплощадок от вида строительных работ представлены в табл. 18.5. На расстоянии 30 м погрузочные и земляные работы характеризуются шумом от 63 до 69 дБА (наименее шумные виды строительных работ). Асфальтофрезерные работы, строительство искусственных сооружений, асфальтоукладочные работы характеризуются шумом от 72 до 85 дБА. Данные, приведенные в табл. 1, могут быть использованы при расчетах шума в строительстве.

Таблица 1

Изменение УЗ, дБА, от стройплощадки в зависимости от вида строительных работ и расстояния

Характер выполняемых строительных работ	Эквивалентные уровни звука. ДБА, на расстоянии от стройплощадок, м	
	15	30
Погрузочные работы	67	63
Земляные и подготовительные работы	71	66
Земляные работы	73	69
Асфальтоукладочные работы	76	72
Асфальтоукладочные работы	80	75
Уплотнение грунта	85	81
Установка свай	90	85

На основании обширного экспериментального материала была разработана классификация строительных площадок по шуму.

По уровню шума строительные площадки могут быть разделены на 5 классов (табл.2):

Таблица 2

Классификация строительных площадок по шуму

Класс шумности	Наименование класса шумности	Показатель шумности, эквивалентный УЗ, дБА (15 м)	Характер выполняемых строительных работ
I	Относительно малошумные	Свыше 65 до 70	Погрузочные работы
II	Повышенной шумности	Св. 70 до 75	Земляные и подготовительные работы
III	Шумные	Св. 75 до 80	Асфальтоукладочные работы
IV	Очень шумные	Св. 80 до 85	Уплотнительные работы
V	Сверхшумные	Св. 85	Сваебойные работы

Примечание. Шумозащитные стройплощадки относятся к нулевому классу шумности

Спектры шума строительных площадок зависят от класса шумности, для которых в спектрах имеются закономерности. Это позволяет ввести экспериментальные поправки, пользуясь которыми можно, зная УЗ, получить спектр шума характерный для данного класса шумности (табл. 3).

Таблица 3

Значение поправок к эквивалентному уровню звука
для спектральной оценки стройплощадок

Класс шумности строительных площадок	Поправки, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
I–III	+13	+8	0	–4	–7	–10	–12	–15
IV–V	+13	+8	–2	–5	–5	–7	–9	–15

Пользуясь этими данными по характеру выполняемых работ можно получить УЗ и УЗД строительства.

Литература

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика: Теория и практика борьбы с шумом: учебник. -М.: Университетская книга, Логос, 2008.-424с.

Комбинированный метод расчета уровней шума в крупногабаритных газовоздушных каналах

Гусев В.П.[1], *Леденев В.И.*[2]
1 НИИСФ РААСН
2 ТГТУ
niisf@niisf.ru

Крупногабаритные каналы широко применяются в газовоздушных системах тяги и дутья водогрейных и паровых котлов городских энергетических объектов, а также в крупных системах вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха общественных и административных зданий. Оборудование таких систем создает, как правило, повышенный шум, распространяющийся от источников (тягодутьевых машин, вентиляторов, дросселирующих устройств, фасонных элементов и др.) по каналам в помещения и открытое пространство (в окружающую среду). Для оптимальной с точки зрения акустики и экономики защиты от негативного воздействия шума этих источников требуется достаточно точное представление о процессе распространения звуковой энергии в названных каналах и ее снижении.

При оценке распространения звуковой энергии в обычных (малых и средних) каналах, имеющих относительно небольшие поперечные сечения, применяются приближенные формулы, основанные на принципах волновой акустики. Газовоздушный канал при этом рассматривается как волновод определенного размера. При больших габаритах каналов применение этих формул ограничивается диапазоном низких частот. Для оценки уровней звукового давления в области средних и высоких частот нами предлагается использовать новый метод расчета. Суть его заключается в отдельном рассмотрении распространения прямой и отраженной составляющих уровней шума с последующим их суммированием.

Источниками шума внутри каналов может быть отдельное точечное оборудование, а также входные отверстия каналов. В первом случае плотность прямой энергии может определяться как

, (1)

где r_i - расстояние от источника шума со звуковой мощностью P до i-ой расчетной точки канала; Ω (омега) - пространственный угол излучения звуковой энергии источником шума в канале; c – скорость звука.

Во втором случае расчет плотности прямой звуковой энергии производится по формуле

$$\varepsilon_{n\,p\,i} = P\ /\ c_i \qquad (2)$$

где S_i – площадь воображаемой поверхности в виде параллелепипеда со скругленными ребрами, опирающегося на сечение в месте излучения энергии в канал и проходящего через расчетное сечение,

$$S_i = a + b + r_i(a + b + 2)\pi_i^2; \qquad (3)$$

a,b – размеры сечения канала; r_i – расстояние от сечения в месте ввода энергии до i-ого расчетного сечения канала.

Распространение отраженной звуковой энергии в каналах имеет свои характерные особенности и зависит от формы, сечения канала, соотношения его размеров, звукопоглощения ограждений, а также от характера отражения звука от них.

Характер отражения звука от поверхностей существенно влияет на выбор методов расчета отраженной звуковой энергии. Ранее установлено [1], что отражение звука от поверхностей ограждений, в том числе и каналов, имеет смешанный характер, при котором часть звуковой энергии отражается по закону зеркального отражения, а другая часть отражается диффузно.

Данное обстоятельство привело к необходимости использовать при расчете отраженной звуковой энергии комбинированный метод. В этом случае распределение зеркально отраженной энергии определяется с использованием метода прослеживания звуковых лучей [2], а распределение плотности диффузно отраженной энергии оценивается численным методом, основанным на статистическом энергетическом подходе к распространению отраженной звуковой энергии [3]. Суммарная плотность отраженной звуковой энергии в любой i-ой точке канала определяется плотностью зеркально отраженной энергии $\varepsilon_{лi}$ и плотностью диффузно отраженной энергии $\varepsilon_{дi}$

$$\varepsilon_{отр\,i} = \varepsilon_{лi} + \varepsilon_{дi}. \qquad (4)$$

При этом суммарный уровень звукового давления вычисляется как

$$L_i = 10\,\lg[(\varepsilon_{пр\,i} + \varepsilon_{лi} + \varepsilon_{дi})/I_0], \qquad (5)$$

где I_0 – интенсивность звука на пороге слышимости; $\varepsilon_{прi}$, –плотность прямой звуковой энергии в i-ой точке канала.

Выполненные нами экспериментальные исследования [4] показывают, что плотность отраженной звуковой энергии в поперечном сечении каналов изменяется незначительно в сравнении с ее изменениями по длине канала. Подобное распределение энергии позволяет считать отраженное звуковое поле в них одномерным $\varepsilon_{отр} = f(x)$ и тем самым существенно упростить методику расчета уровней звукового давления комбинированным методом. Методика в этом случае включает следующие основные операции:

- канал разбивается поперечными сечениями на элементарные объемы со стороны a, b и h (рис.1) и определяются узловые точки одномерной сетки;
- для каждой точки определяются плотность энергии прямого звука $\varepsilon_{прi}$ и плотность лучевой энергии $\varepsilon_{лi}$;
- находится величина диффузно отраженной энергии в объемах, вносимая в них лучами, падающими на ограждения канала в пределах элементарного объема, и для всех объемов записываются уравнения балансов диффузной отраженной энергии с учетом граничных условий;
- путем выражения через значения сеточной функции аппроксимируются все члены, входящие в уравнение баланса диффузно отраженной звуковой энер-

гии, и производится решение полученной системы алгебраических уравнений;

- после решения системы находится суммарная плотность энергии равная сумме плотностей прямой, лучевой и диффузно отраженной энергий.

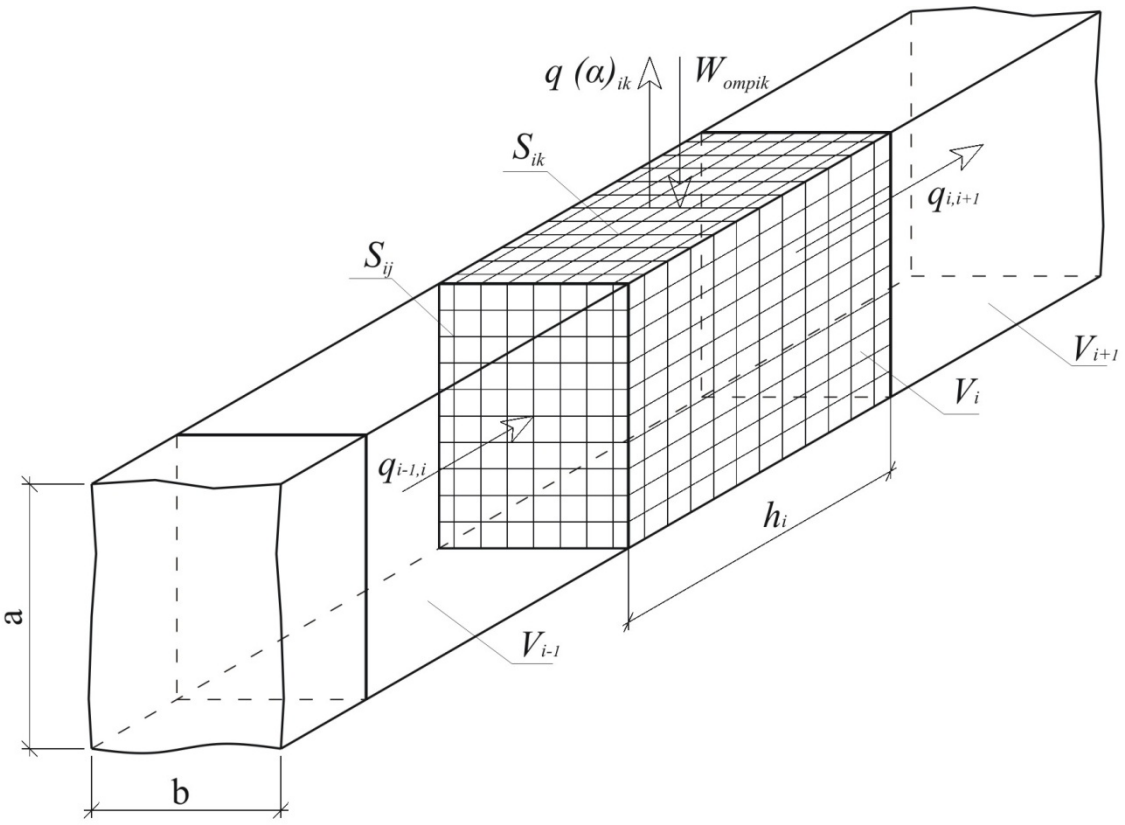


Рис. 1. Схема разбиения канала на элементарные объемы

Для определения плотности энергии зеркально отраженных звуковых лучей $\varepsilon_{лi}$ в комбинированном методе используется метод прослеживания лучей, основанный на подходе, при котором рассматриваются лучи, имеющие бесконечно малые пространственные углы распространения. Энергия каждого луча после его прохождения на расстояние R_i от места излучения определяется как

$$W_{л\ i} = \frac{P}{N} \mathrm{e}^{(-m_в R_i)} \prod_{p=1}^{n} \rho_p \xi^n, \qquad (6)$$

где P – звуковая мощность источника; N – количество лучей, исходящих из источника; $\rho_p = 1-\alpha_p$; α_p(альфа) – коэффициент звукопоглощения p-ой поверхности ограждения, на которую падал прослеживаемый луч; n – количество актов падения луча на p-е поверхности в процессе распространения его на расстояние R_i до i-го элементарного объема; ξ(кси) – доля энергии, направляемая по лучу после его отражения от поверхности ограждения; $m_в$ - пространственный показатель затухания звуковой энергии в воздухе.

Количество энергии в i-ом объеме канала равна сумме энергий лучей m, прошедших через него, и ее плотность определяется как

$$\varepsilon_{л\,i} = \sum_{a=1}^{m} W_{л\,i} \Big/ c\,I, \tag{7}$$

где F – приведенная площадь сечения элементарного объема.

Для оценки распределения плотности диффузно отраженной энергии $\varepsilon_{\partial i}$ используется метод энергетических балансов [3]. Суть метода заключается в составлении уравнений баланса диффузно отраженной энергии для каждого элементарного объема канала. Распределение энергии находится из решения системы уравнений.

Для каждого элементарного объема баланс отраженной энергии записываются как

$$(q_{i-1,i} - q_{i,i+1})_i + \sum_{j=1}^{6-M} W_{o\,j} - \sum_{k=1}^{6-M} q(\alpha)_{ik} S_{ik} - c\,\varepsilon_{\partial i} V_i = 0. \tag{8}$$

Здесь $(q_{-1,i} - q_{i,i+1})$ – разность потоков энергии, входящих в i-й объем и выходящих из него по поперечному сечению $S_i = a \cdot b$; $q(\alpha)_{ik}$ – поток диффузно отраженной энергии, поглощаемый на k-ой поверхности i-го объема, являющейся поверхностью канала с площадью S_{ik}; W_{ompik} – диффузная энергия, приходящая в i-й объем после отражения луча от k-ой поверхности и перехода части энергии луча в диффузную энергию; M – количество объемов, контактирующих с i-м объемом; 6-M – количество граней i-го объема, являющихся поверхностями ограждений канала; $V_i = a \cdot b \cdot h$ - объем i-го элементарного параллелепипеда; $\varepsilon_{\partial i}$ – плотность диффузно отраженной энергий в i-м объеме.

Потоки энергии $q_{i-1,i}$ и $q_{i,i+1}$ определяются как

$$q_{i-1,i} = \eta\,(\varepsilon_{\partial,i-1} - \varepsilon_{\partial,i})/l_i; \quad q_{i,i+1} = \eta\,(\varepsilon_{\partial,i} - \varepsilon_{\partial,i+1})/l_i, \tag{9}$$

где $\eta = 0{,}5c\,l_{cp}$ – коэффициент связи потока и градиента плотности в квазидиффузном звуковом поле [3]; l_{cp} –длина среднего свободного пробега звуковых волн в канале.

Величина потоков $q(\alpha)_{ik}$ вычисляется по формуле

$$q(\alpha)_{ik} = \frac{\alpha_{ik} \cdot c\varepsilon_{\partial i}}{2(2 - \alpha_{ik})}, \tag{10}$$

где α_{ik} – коэффициент звукопоглощения k-ой поверхности i-го объема.

Величина W_{ompik} определяется как

$$W_{o\,m} = \sum_{d=1}^{b} \left[\frac{P}{N} e^{(-m_{ik} x R_{kd})} \prod_{p=1}^{n} \rho_{pd}\, \xi^{n} (1 - \alpha_{pd})(1 - \xi) \right], \tag{11}$$

где b – количество лучей, упавших на k-ю поверхность i-го объема; R_{kd} – расстояние, прошедшее d-м лучом от излучения до k-ой поверхности i-го объема; n – количество актов падения d-го луча на p-е поверхности до встречи с k-ой поверхностью; $\rho_{pd} = (1-\alpha_{pd})$; α_{pd} – коэффициент звукопоглощения p-ой поверхности ограждения, на которую падал d-й луч до встречи с k-ой поверхностью i-го объема.

Для реализации метода нами разработана компьютерная программа. Сравнение результатов расчетов в каналах со стенами из различных материалов с экспериментальными данными показало на необходимость установления реальных соотношений между зеркально и диффузно отраженными частями энергии при смешанной модели отражения звука от поверхностей. В дальнейшем нами было установлено, что доля энергии, отражаемой зеркально, для каналов из бетона составляет в зависимости от качества поверхности 85-70%, для металлических каналов 95-90%.

В качестве примера приводим результаты исследования распространения шума в натурных условиях – в готовом для эксплуатации участке (элементе) воздушного канала, изготовленного из листовой стали, протяженностью 15,0 м с поперечными размерами 1,0х1,0 м. Один торец канала закрыт звукоизолирующей стенкой (у нее устанавливался источник шума). Противоположный его торец открыт.

В качестве излучателя шума использовался источник звука (додекаэдр) типа OED-SP-012-600. Измерения уровней звукового давления производились шумомером-анализатором типа ОКТАВА-101АМ.

Схема этого элемента натурного воздушного канала, а также результаты расчетов, приведены на рис. 2. Как видно, расчетные и экспериментальные данные хорошо согласуются.

Полученные результаты исследований дают основания подчеркнуть следующее:

1. Для оценки распространения шума в крупногабаритных каналах системах дутья водогрейных и паровых котлов городских энергетических объектов и в магистральных каналах систем вентиляции гражданских зданий следует использовать комбинированный метод расчета уровней звукового давления, объективно оценивающий реальный характер отражения звука от поверхностей стен канала.

2. В случае каналов со стенами из металла в расчетном методе следует принимать смешанную модель отражения, в которой 95% энергии отражается зеркально. В каналах с бетонными стенами долю зеркально отраженной энергии следует принимать в пределах от 70 до 85% с учетом качества поверхности.

Для реализации инновационного метода оценки звуковых полей в крупногабаритных воздушных каналах разработана и апробирована компьютерная программа. Методика, реализуемая в программе, состоит из следующих основных операций:

1. Канал разбивается на отдельные объемы в виде кубов или параллелепипедов. Размеры элементарных объемов принимаются исходя из условия, чтобы в их пределах изменение плотности отраженной энергии было близким к линейному закону. Границы объемов устанавливаются по границам помещения и по границам крупногабаритного оборудования.

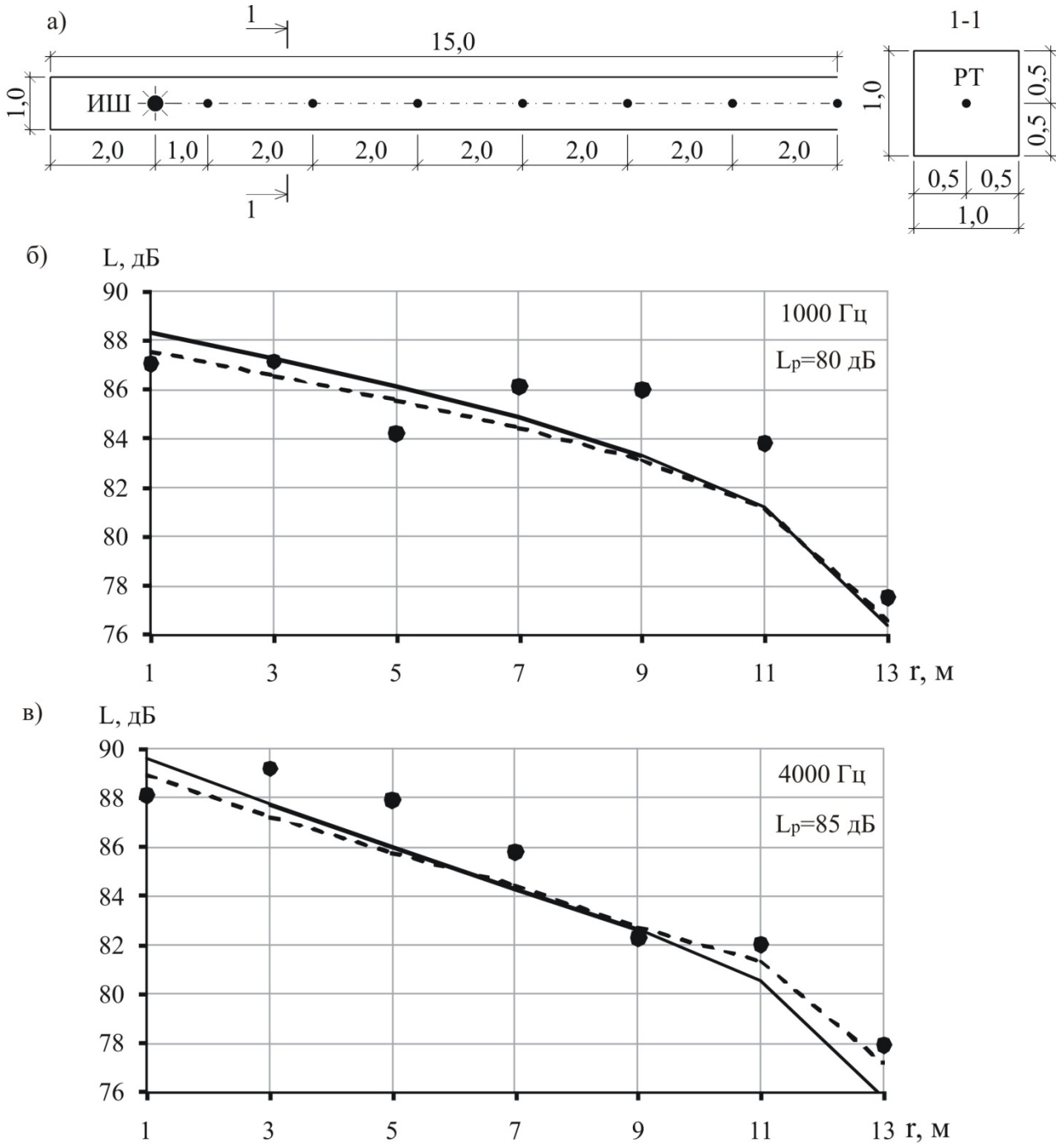


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные данные, полученные для металлического канала: а) схема канала; б) данные для октавной полосы частот с fср = 1000Гц; в) тоже для октавной полосы с fср = 4000Гц; ● - экспериментальные уровни; — — - расчетные уровни при 95% зеркальной составляющей от общей отражаемой энергии; —— - тоже при 90%

2. Для составления расчетной модели определяются узловые точки сетки. При этом каждому элементарному объему соответствует узловая точка сетки.
3. Производится расчет плотности энергии прямого звука для каждой точки сетки. Расчет прямого звука от крупногабаритного источника выполняется по разработанным нами методикам, учитывающим особенности и характеристики источников шума энергетических объектов.

4. Методом прослеживания для каждой расчетной точки определяются величины энергий лучей, проходящих через элементарный объем.
5. Для элементарных объемов, расположенных у границ, находятся величины диффузно отраженной энергии, появляющейся в них при смешанном характере отражения лучей от поверхностей ограждений.
6. Для всех внутренних и граничных элементарных объемов записываются уравнения балансов отраженной диффузной энергии. Для граничных объемов при записи уравнений используются граничные условия.
7. Члены уравнений баланса отраженной энергии для каждого элементарного объема аппроксимируются через значения сеточной функции. При этом получается полная система алгебраических уравнений, реализация которой позволяет получить разностное решение.

8. Суммарная плотность звуковой энергии, равная сумме плотностей прямой, лучевой и диффузно отраженной энергий, находится для каждого элементарного объема и производится вычисление суммарных уровней звукового давления.

Для решения системы линейных уравнений в программе использован метод простой итерации Зейделя.

Использование программы для решения практических задач показало, что для обеспечения требуемой точности расчетов необходимо решение системы из 1000 и более разностных уравнений. В программе максимально возможное количество неизвестных заложено быть равным 12000.
Предлагаемый расчетный метод не имеет аналогов в мировой практике и, как показали расчеты, обеспечивает достаточную точность определения в крупногабаритных газовоздушных каналах уровней шума и их снижение по пути распространения. Он включен в стандарт НИИСФ РААСН СТО 02495359-6.001-2011 «Расчет и проектирование шумоглушения систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха» и использован для определения требуемого снижения шума оборудования и разработки средств шумоглушения при строительстве и реконструкции ряда объектов Москвы.

Литература

1. Леденев В.И., Макаров А.М. Расчет энергетических параметров шумовых полей в производственных помещениях сложной формы с технологическим оборудованием // Научный вестник ВГАСУ. 2008. №2 (10). С. 94-101.
2. Schroeder M. R. Computer models for concert hall acoustics // Amer. J. Phys. 1973. vol. 41. P. 461 – 471.
3. Леденев В.И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий. Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. техн. университета, 2000. 156 с.
4. Гусев В.П., Солодова М.А. К вопросу о распространении шума в крупногабаритных газовоздушных каналах // Academia. Архитектура и строительство. 2010. С. 211-219.

Исследование акустических экранов для снижения шума на строительно-дорожных машинах

Шашурин А.Е.[1], Элькин Ю.И.[2]
1 – БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова, 2 – МАДИ

1.Введение

Шум строительно-дорожных машин зависит от назначения, мощности двигателя и шумовиброактивности источников. Шум в кабинах большего числа машин находится в пределах 70-80 дБА, внешний шум (7,5 м) лежит в диапазоне 65-75 дБА, а шум на открытых рабочих местах достигает 80-90 дБА, превышая допустимые нормы.

Основным средством снижения шума являются звукоизолирующие кабины и капоты, но в немалом числе случаев их эффективность из-за ряда конструктивных соображений является предельной. Дополнительным средством звукоизоляции, существенно усиливающим действие основных, являются акустические экраны (АЭ). АЭ на строительно-дорожных машинах могут устанавливаться:

- вблизи некоторых не основных источников шума (гидравлика, редукторы и др).
- на открытых рабочих местах
- вблизи звукоизолирующих кабин со стороны основных источников шума
- в звукоизолирующих капотах вблизи открытых проемов

Схематично примеры установки АЭ на СДМ приведены на рис 1.

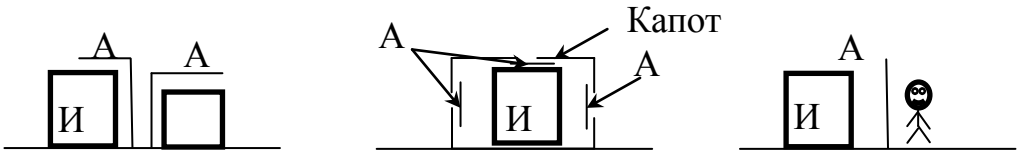


Рис. 1. Пример установки акустического экрана
АЭ – акустический экран, ИШ – источник шума

В настоящее время по вопросу применения АЭ для снижения шума СДМ имеются отдельные публикации [1-3], но этот вопрос недостаточно изучен.

2. Методика измерения акустической эффективности АЭ

Для изучения акустической эффективности АЭ из различных материалов и различного конструктивного использования был создан опытный стенд (рис. 2), выполненный в виде металлического каркаса из уголка. Размеры в

плане 1х1 м, высота 4 м. На каркас навешивались плоские АЭ из различных материалов таким образом, что могла быть составлена фронтальная (I) конструкция (плоские листы различной высоты), Г-образная, П-образная и замкнутая( ) конструкция. Измерительные точки располагались на расстояниях 2 и 7,5 м. Их расположение показано на рис. 3.

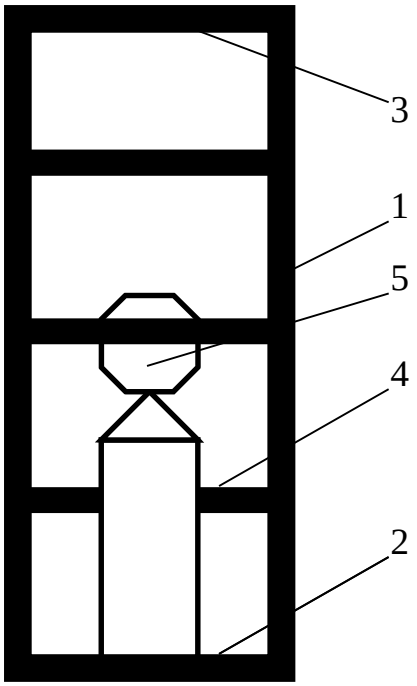


Рис. 2 Схема стенда для исследования эффективности звукоизолирующих конструкций (вид сбоку)
1 – боковые стойки,
2 – нижний уголок,
3 – верхний уголок,
4 – поперечины,
5 – источник шума

Акустическая эффективности АЭ - разность между измеренными УЗД и УЗ в точке измерений без установленного АЭ и с установленным АЭ.

Измерения на расстоянии 2м (точки 1-8) показывают эффективность АЭ на рабочем месте, а на расстоянии 7,5 м (точки 9-12) во внешнем звуковом поле (внешний шум).

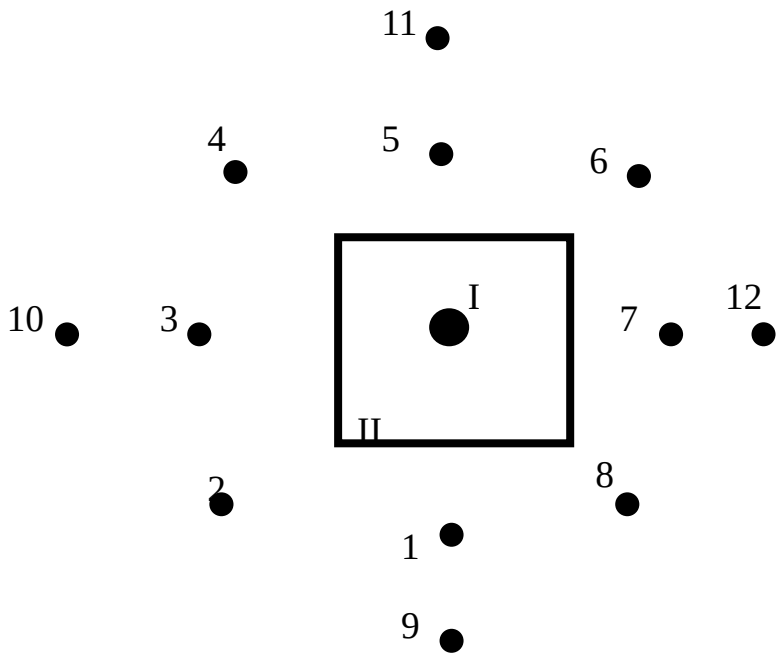


Рис. 3 Схема размещения измерительных точек

3. Акустическая эффективность АЭ, изготовленных из различных материалов

Данные измерений без установленного АЭ, усредненные по точкам 1-8 (2 м) и 9-12 (7.5 м) приведены в табл.1. Здесь же приведены данные УЗД и УЗ на расстоянии 2м для замкнутых АЭ, изготовленных из брезента без ЗПМ, матов АТИМС (звукопоглощающие маты), металлических АЭ как со звукопоглощающими материалами (ЗПМ) так и без ЗПМ. Рассчитанные значения акустической эффективности даны в табл.2 и показаны на рис.3.

Измерение значения УЗ и УЗД на экспериментальном стенде в зависимости от материала и формы.

Таблица 1

Материал	Форма	Точки измерений	Измеренные УЗД, дБ , в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Измеренные УЗ, дБА
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Без АЭ	-	1 – 8	66	65	69	72	70	70	71	67	78
	-	9 - 12	63	60	61	65	63	64	66	59	71
Брезент без ЗПМ	Замкнутый	1 - 8	68	63	65	67	63	61	61	56	59
Маты АТИМС	Замкнутый	1 - 8	59	60	61	64	60	57	56	52	65
Металл с ЗПМ	Замкнутый	1 - 8	71	63	62	62	54	53	53	50	62

Материал	Форма	Точки измерений	Измеренные УЗД, дБ , в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Измеренные УЗ, дБА
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Металл без ЗПМ	Замкнутый	1 - 8	73	67	65	65	58	59	59	53	66
Металл с ЗПМ – 1м	Фронталь-ный	1	67	65	66	66	62	61	63	57	69
Металл с ЗПМ – 1м	Г-образный	1 - 3	68	64	63	63	59	58	59	54	67
Металл с ЗПМ – 1м	П-образный	2 - 4	69	63	61	60	55	55	57	52	65

Таблица 2

Акустическая эффективность экранов

Материал	Форма	Точки измерений	Акустическая эффективность, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическим частотами, Гц								Эффективность, дБА
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Брезент без ЗПМ	Замкнутый	1 - 8	-2	2	4	5	7	9	10	11	9
Маты АТИМСС	Замкнутый	1 - 8	-3	5	8	8	10	13	14	15	13
Металл с ЗПМ	Замкнутый	1 - 8	-5	2	7	10	16	17	18	17	16
Металл без ЗПМ	Замкнутый	1 - 8	-7	-2	4	7	12	11	12	13	12
Металл с ЗПМ – 1м	Фронталь-ный	1	-1	0	3	6	8	9	8	10	9
Металл с ЗПМ – 1м	Г-образный	1 - 3	-2	1	6	9	11	12	12	13	11
Металл с ЗПМ – 1м	П-образный	2 - 4	-3	2	8	12	15	15	14	15	13

f, Гц

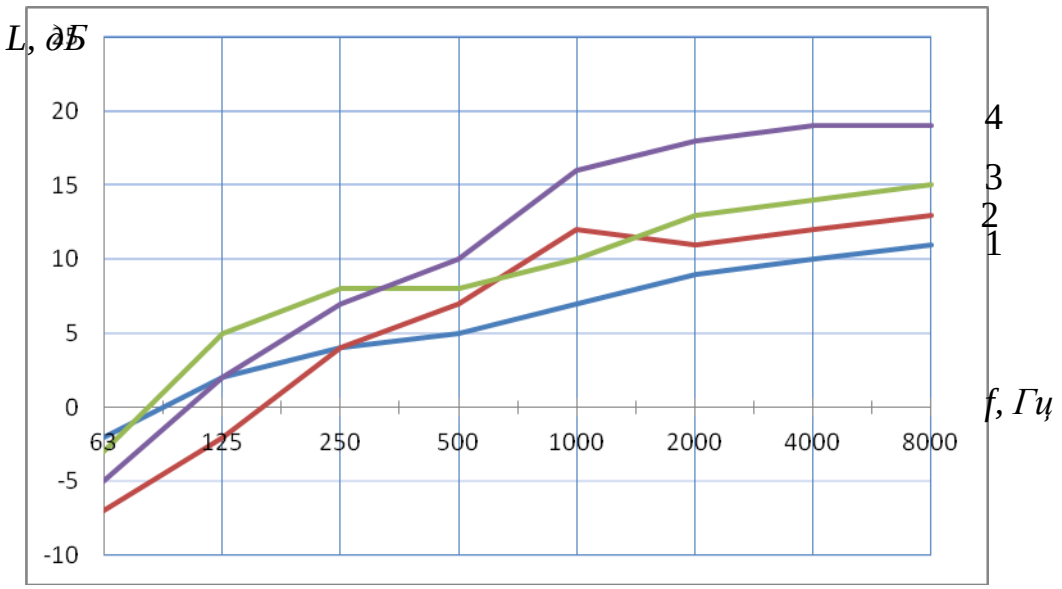


Рис. 4 Сравнительная акустическая эффективность АЭ, изготовленных из различных материалов, измеренная на расстроянии 2 м.
1 – брезент, 2 – металлический лист без ЗПМ, 3 – маты АТИМС, 4 – металл с ЗПМ.

Из анализа данных можно видеть, что АЭ, изготовленный из брезента обеспечивает акустическую эффективность до 9 дБА (4-11 дБ в диапазоне со среднегеометрическими частотами 250-8000 Гц, на более низких частотах АЭ неэффективен)

АЭ из брезента могут найти применения на СДМ, например, как съемная конструкция, устанавливаемая снаружи гусениц. Из полученных данных видно, что звукопоглощение играет большую роль для увеличения акустической эффективности АЭ. Разница между облицованным и необлицованным АЭ достигает 3-6 дБ в диапазоне частот 250-8000 Гц. Облицованный АЭ на 4 дБА эффективнее необлицованного (рис. 4), такая же закономерность обнаружена при сравнении эффективности АЭ из брезента и матов АТИМС.

Акустическая эффективность АЭ из металла с ЗПМ достигает 16 дБА / 7-18 дБ в диапазоне частот 250-8000 Гц.

В табл. 3 приведены результаты измерений УЗД и УЗ во внешнем звуковом поле. Данные об акустической эффективности приведены в таблице 4 и показаны на рис. 5.

Таблица 3

Измеренные на расстоянии 7.5 м УЗ и УЗД на экспериментальном стенде в зависимости от материала.

Материал	Форма	Точки измерений	Измеренные УЗД, дБ , в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука, дБА
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Без АЭ	-	9 - 12	63	60	61	65	63	64	66	59	71
Брезент	Замкнутый	9 – 12	65	58	58	60	55	55	56	48	62
Маты АТИМСС	Замкнутый	9 – 12	64	56	55	56	53	51	52	45	58
Металл с ЗПМ	Замкнутый	9 – 12	66	55	54	55	50	49	49	42	56
Металл без ЗПМ	Замкнутый	9 - 12	68	59	58	61	56	54	54	45	61

Таблица 4

Акустическая эффективность экранов

Материал	Форма	Точки измерений	Акустическая эффективность, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическим частотами, Гц								Эффективность, дБА
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Брезент без ЗПМ	Замкнутый	9 - 12	-2	2	3	5	8	9	10	11	9
Маты АТИМСС	Замкнутый	9 - 12	-1	4	6	9	10	13	14	14	13
Металл с ЗПМ	Замкнутый	9 - 12	-3	5	7	10	13	15	17	17	15
Металл без ЗПМ	Замкнутый	9 - 12	-5	1	3	4	7	10	12	13	10
Стекло 2м	Фронтальный	1	-1	0	2	5	8	8	9	10	8
Стекло 2 м	Г-образный	1 – 3	-2	2	5	9	10	10	12	12	12
Стекло 2 м	П-образный	1 – 5	-3	3	9	12	13	12	14	14	12
Стекло 1 м	П-образный	1 – 5	-1	0	5	7	8	10	10	11	9
Стекло 4 м	П-образный	1 – 5	-4	3	10	14	15	14	15	15	13

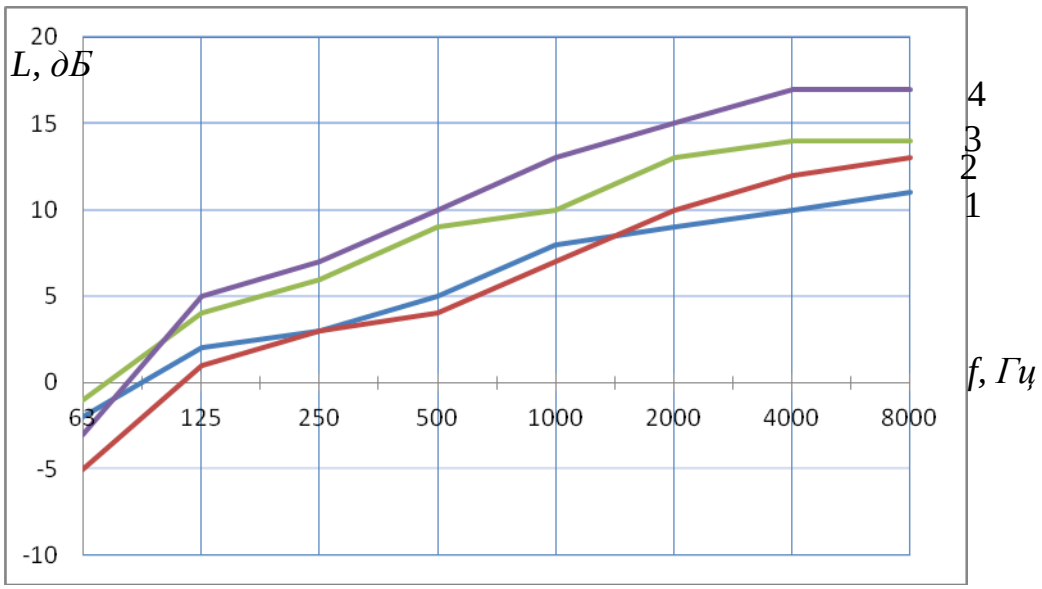


Рис. 5 Сравнительная эффективность АЭ из различных материалов, измеренная на расстоянии 7.5 м : 1 – брезент , 2 – металл без ЗПМ, 3 – маты АТИМСС, 4 – металл с ЗПМ

Для внешнего звукового поля зависимость акустической эффективности АЭ от материала практически идентична полученному выше. Брезентовый АЭ снижает УЗ на 9 дБА (3-11 дБ в частотном диапазоне 250-8000 Гц), металлический с ЗПМ на 15 дБА (7-17 дБ в том же частотном диапазоне). Разница в акустической эффективности между этими АЭ составляет 6 дБА (4-7 дБ в том же частотном диапазоне).

Полученные результаты позволяют утверждать, что применение АЭ из легких материалов перспективно, отметим, что эта эффективность обеспечивается, если АЭ закрывает источник шума со всех сторон, что не всегда возможно выполнить.

4. Акустические экраны различного конструктивного исполнения.

В табл. 1 приведены измеренные УЗД и УЗ АЭ различной формы. В табл. 2 приведены вычисленные значения акустической эффективности, показанные на рис. 6. Акустическая эффективность АЭ существенно зависит от формы и составляет:

– 9 дБА (3-9 дБ в диапазоне 250-8000Гц) для фронтального АЭ

– 11 дБА (6-13 дБ в том же частотном диапазоне) для Г-образного АЭ)

– 13дБА(8-15дБ в том же частотном диапазоне) для П-образного АЭ.

Во многих случаях применить АЭ с ЗПМ не представляется возможным, особенно, когда необходимо осуществлять наблюдение через АЭ. В табл. 5 приведены измеренные УЗД и УЗ для АЭ различной формы высотой 2м, изготовленные из стекла. Данные акустической эффективности приведены в табл. 4 и показаны на рис. 7.

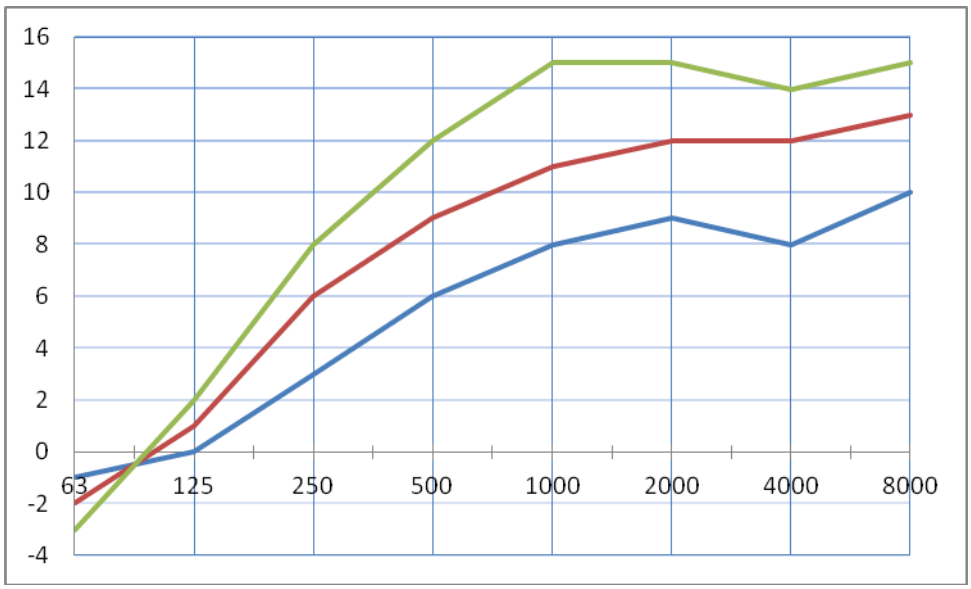


Рис. 6 Зависимость акустической эффективности малых АЭ (1 $м^2$), изготовленных из металла с ЗПМ, от формы: 1-фронтальный, 2 – Г-образный, 3 – П-образный (Измерения на расстоянии 2 м)

Таблица 5

Измеренные значения УЗД и УЗ на экспериментальном стенде

Материал	Форма	Точки измерений	Измеренные УЗД, дБ , в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Измеренный УЗ, дБА
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Стекло 2м	Фронтальный	1 – 3	67	65	67	67	52	62	62	57	70
Стекло 2 м	Г-образный	1 – 5	68	63	64	63	50	60	59	55	67
Стекло 2 м	П-образный	1 – 5	69	62	60	60	57	58	57	53	65
Стекло 1 м	П-образный	1 – 5	67	65	64	65	62	60	61	56	69
Стекло 4 м	П - образный	1 – 5	70	62	59	58	55	56	55	52	63

Как и следовало ожидать, эффективность таких АЭ без ЗПМ несколько ниже, но составляет:

8 дБА (2-10 дБ в том же частотном диапазоне) для фронтального,

10 дБА (5-12 дБ) для Г-образного,

12 дБА (9-14 дБ для П-образного.

В заключение рассмотрим, как размеры влияют на эффективность П-образных АЭ, изготовленных из стекла. Данные акустической эффективности АЭ высотой 1,2 и 4 м приведены в табл. 4 и показаны на рис. 8. Отметим, что увеличение высоты с 1 до 2м увеличивает акустическую эффективность на 3 дБА (2-5 дБ в диапазоне частот 250-8000 Гц). Очередное увеличение размеров вдвое практически не увеличивает (всего 1 дБА) эффективность АЭ, т.е. для АЭ существуют отграничения при применении по размерам.

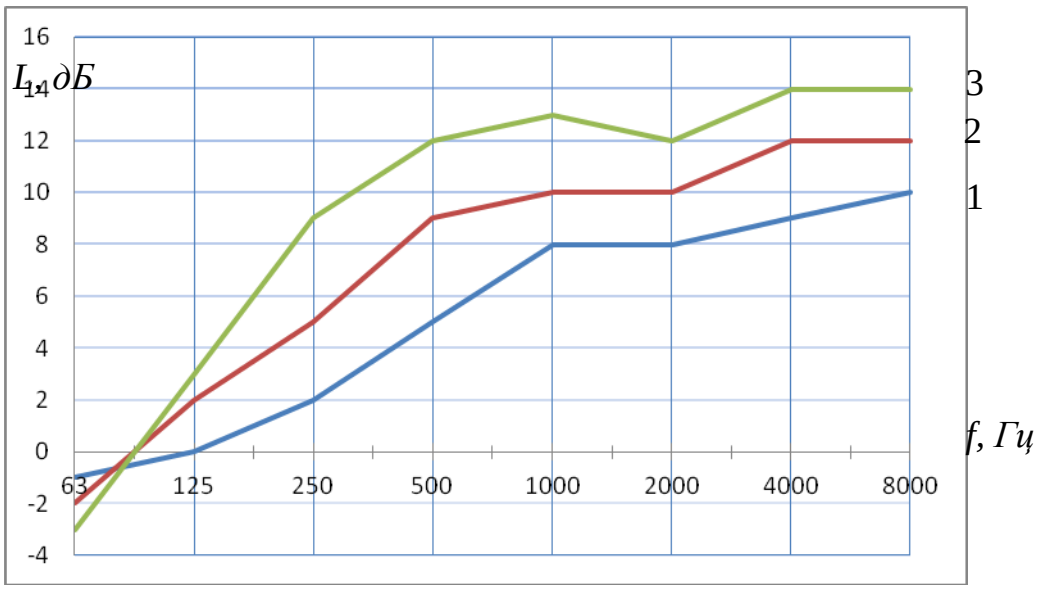


Рис. 7 Сравнительная акустическая эффективность АЭ из стекла высотой 2 м (1х2) на расстоянии 2 м различной формы: 1 – фронтальный (плоский), 2 – Г-образный, 3 –П-образный.

5. Применение АЭ для снижения шума в кабине экскаватора

Снаружи кабины экскаватора был установлен П-образный АЭ, изготовленный из стали (рис. 9). Характеристики шума в кабине до и после установки опытного АЭ приведены в табл. 6.

Выводы и рекомендации

1.Применением АЭ в качестве дополнительного средства звукоизоляции можно дополнительно снизить шум в кабине и внешний шум на величину до 10-15 дБА.

2.Установкой АЭ из прозрачных материалов на открытом рабочем месте может быть достигнуто снижение более чем на 10 дБА.

3.Мягкие съемные АЭ, изготовленные из брезента со ЗПМ могут обеспечить снижение внешнего шума до 9 дБА.

L, дБ

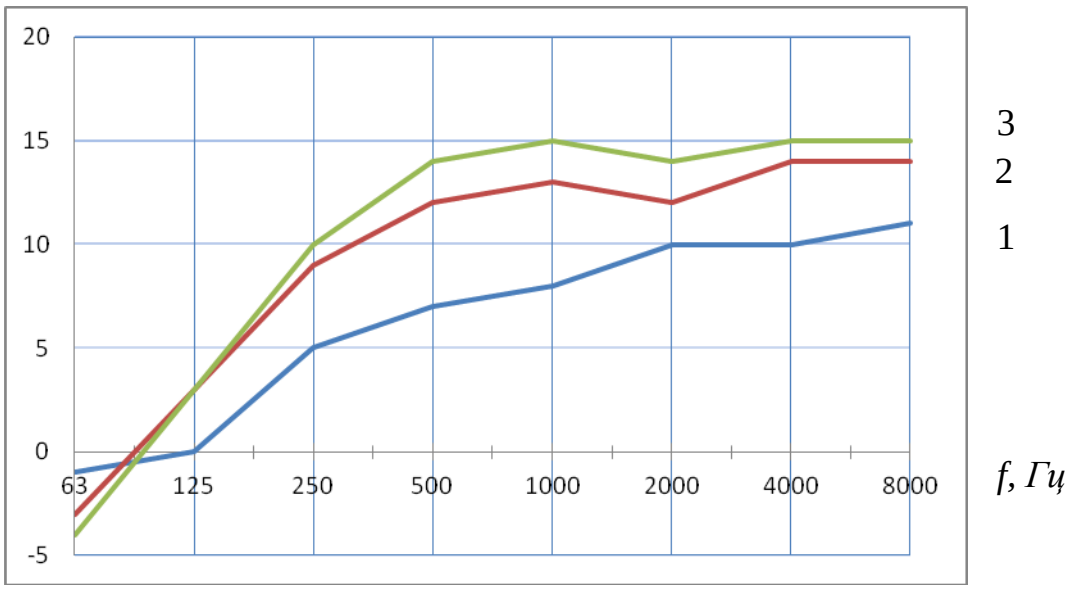


Рис. 8 Зависимость акустической эффективности П-образного отражающего АЭ от размеров (измерения на расстоянии 2 м): 1 – высота 1 м, 2 – высоты 2м, 3 – высота 4м.

4.Показано, что разница в акустической эффективности АЭ из различных материалов может достигать 5-7 дБА; усложнением формы АЭ обеспечивается дополнительная эффективность АЭ до 4-5 дБА; размеры АЭ имеют предельные значения, выше которых их акустическая эффективность не возрастает.

5.Применением П-образного опытного АЭ в кабине экскаватора достигнуто дополнительное снижение УЗ на 10 дБА.

Литература

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом.: учебник.– М.: Университетская книга. Логос, 2008. – 424с.

2. Элькин Ю.И. Снижение шума строительно-дорожных машин. СПБ.: БГТУ, 2006. – 192с.

3. Шашурин А.Е. Автореферат на тему дисс. «Снижение внутреннего шума звукоизолирующими кабинами (на примере строительно-дорожных машин)». БГТУ «Военмех», 2010г.

Западный скоростной диаметр

Ахматов А.А.
Восточно-Европейская Ассоциация Акустиков
andrei.ahmatov@yandex.ru

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Проект строительства западного скоростного диаметра (далее ЗСД) в Санкт-Петербурге обнажил целый ряд трудноразрешимых экологических проблем. При этом наиболее значимыми в их общем перечне являются проблемы шумового загрязнения окружающей среды.

Сама по себе идея при проектировании ЗСД заключается в том, что по задуманному проекту, через центральные районы Санкт-Петербурга- Кировский, Московский, Василеостровский, Приморский а также хотя и не центральный, но зато Курортный, предполагается проложить весьма напряженную транспортную магистраль международного уровня (составная часть паневропейского транспортного коридора, соединяющего Хельсинки, Санкт-Петербург, Москву, и все юго-восточные европейские страны), т.е. посредством ЗСД надлежит связать юго-западные государства бывшего СССР, а именно Украину, Беларусь, Молдову, страны Прибалтики и другие, со странами Скандинавии.

При этом авторы этой изначально порочной идеи, видимо вследствие своей полной экологической безграмотности, «забыли» хотя бы заглянуть в действующие законодательные государственные акты, регламентирующие допустимые нормы шумового загрязнения населенных городских территорий и жилых зданий.

И это при том, что уже сегодня, в целом по России почти 35 миллионов жителей вынуждены испытывать постоянный акустический дискомфорт, и в основном из-за некорректного проектирования и строительства транспортных магистралей, о чем говорится в постановлении Главного санитарного врача РФ Г.Г. Онищенко от 23 марта 2005г за №10 в котором прямо указывается, что автотранспорт создает на 80% территории крупных городов акустический дискомфорт, в результате которого санитарно-гигиенические нормы по уровню шума превышаются на 5-30 дБ, и доля населения, проживающего в таких условиях, в зависимости от величины города, составляет от 20 до 60%.

Одной из причин такой ситуации является то, что полное соблюдение требований санитарных норм по уровню шума при прохождении напряженных транспортных трасс через густонаселенные жилые городские кварталы принципиально невозможно без реализации весьма дорогостоящих шумозащитных сооружений, таких как например закрытые туннели, шумозащитный

эффект которых реализуется полностью и практически равен величине индекса звукоизоляции такого сооружения.

Во всех остальных случаях, даже когда внутригородскую транспортную магистраль, проходящую вблизи высокоэтажной городской жилой зоны ограждают шумозащитными акустическими экранами, их шумозащитной эффективности как правило не хватает, для полного соответствия жилой зоны требованиям санитарных норм.

Кроме того, здесь выявляются последствия непродуманной градостроительной политики и фактического отсутствия перспективного с экологической точки зрения планирования транспортных потоков, в совокупности с перспективным же развитием жилых территорий, неудержимое стремление проектировщиков и строителей экономить именно на внедрении экологических мероприятий при строительстве дорог.

Как уже отмечалось ранее, на мероприятия по защите населения от сверхнормативного акустического воздействия со стороны транспортных магистралей расходуется всего около 2% общей сметной стоимости их строительства.

В то же время на некоторых участках трассы западного скоростного диаметра

(Канонерский остров, западный фасад жилых домов Василевского острова, Планерная улица, территория Юнтоловского заказника а также поселок Белоостров и дачный кооператив «Дюны» в Курортном районе) где расстояние от фронта жилой застройки до транспортной трассы сокращается на некоторых участках до 50 метров, на сооружение шумозащитных экранов, обладающих необходимой величиной акустической эффективности, необходимо будет затратить средства, соизмеримые со стоимостью самой транспортной трассы.

Кроме того, как следует из анализа финальной версии нетехнического резюме «Комплексная оценка воздействия на окружающую и социальную среду для строительства Центрального участка Западного скоростного диаметра», [л3] опубликованного компанией-проектировщиком ERM Eurasia в октябре 2011 года, «повышенный уровень шума будет характерен для участка к востоку от ЗСД, где вообще не предусмотрено строительство акустических экранов.

В том числе в эту зону попадут придворовые территории уже существующих домов, выходящих фасадами на ЗСД». При этом слово «придворовые» видимо следует понимать как придомовые, что весьма принципиально с точки зрения уровня шума на придомовых территориях (см. п.9 табл.3 Санитарных норм [л1]).

А на участке трассы, проходящей по Канонерскому острову, потребуется расселение нескольких жилых домов и специальные меры по снижению сверхнормативного шумового воздействия на школу №379 и прилегающую к ней территорию, для которых ожидаемое превышение уровня звука над нормативом составит от 13 до 27 дБА !!! [л3].

В этом же резюме констатируется, что «уровни звука на фасадах домов, обращенных в сторону автомагистрали, составят 63-75 дБА днем и 56-68 дБА ночью.»

А эти уровни почти на 10 дБА превышают уровни, установленные санитарными нормами даже с учетом примечания 2 к табл.3 , допускающими увеличение уровня шума и звука на фасадах «ограждающих конструкций первого эшелона **шумозащитных** типов жилых зданий», обращенных в сторону магистральных улиц общегородского и районного значения.

Здесь следует остановиться на самом термине «шумозащитное здание». Под этим понятием строители транспортных магистралей понимают удобное для них толкование, означающее наличие в таких зданиях шумозащитных типов окон с добавлением так называемых активных проветривателей.

Для жителей же таких домов, уже испытавших на себе так называемое эффективное проветривание, особенно в летнюю жару, которая в нашем климатическом поясе, как ни странно, тоже случается и достаточно часто, более актуально примечание №1 к вышеуказанной таблице 3 санитарных норм, а именно: «Допустимые уровни шума от внешних источников в помещениях устанавливается **при условии обеспечения нормативной вентиляцией помещений** (для жилых помещений, палат, классов – при открытых форточках, фрамугах, узких створках окон)». А при этом индекс звукоизоляции даже самых совершенных стеклопакетных окон снижается с величины около 30 дБА до 12-15 дБА.

Кроме того, в строительных нормах и правилах [л2] указывается, что «При наличии систем принудительной вентиляции или кондиционирования воздуха, обеспечивающих нормативный воздухообмен, допустимые уровни внешнего шума у зданий (поз. 15-17, т.е. в фойе театров и концертных залов, зрительных и многоцелевых залах) могут быть увеличены из расчета обеспечения допустимых уровней в помещении при закрытых окнах». В случае-же жилых комнат квартир (поз.9 таблицы 1 указанного СНиПа), «Допустимые уровни шума от внешних источников в помещениях, установлены при условии обеспечения нормативного воздухообмена, т.е. при отсутствии принудительной системы вентиляции или кондиционирования воздуха, а именно должны выполняться, как указывалось выше, при условии открытых форточек или иных устройств, обеспечивающих эффективный приток воздуха».

Относительно участка ЗСД, проходящего в непосредственной близости от особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Юнтоловский» необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства:

Согласно ведомственным строительным нормам [л6], допустимый уровень шума на таких территориях не должен превышать величины 35 дБА днем и 30 дБА ночью.

При этом следует обратить внимание на то, что в этом документе, видимо по ошибке или недопониманию, указаны уровни **звука**, т.е. уровни шума, скорректированные по псофометрической кривой «А», характерной для психоакустического восприятия шума слуховым органом **человека,** и не имеющей никакого отношения к восприятию шума основными обитателями

особо охраняемых природных территорий, т.е. животными, птицами, земноводными.

Ведь всем известно, что например наша домашняя кошка имеет данную ей от природы верхнюю частотную границу слышимости порядка 40 кГц, в отличие от человека, для которого эта граница составляет в зависимости от возраста всего 12-16 КГц.

Следовательно, указанные уровни следует понимать именно как уровни **шума** а не **звука и нормировать в единицах дБ.** При этом научно обоснованные допустимые **спектральные уровни шума** для ООПТ, должны быть значительно меньше, а величины санитарной защитной зоны при прохождении транспортной трассы вблизи от ООПТ, соответственно больше.

Это влечет за собой значительное увеличение требуемой акустической эффективности шумозащитных сооружений для участков трассы, проходящих в непосредственной близости от таких территорий.

Таким образом, для полной оценки негативного влияния транспортной трассы на прилегающие к ней жилые территории, и минимизации стоимости их строительства, необходимо:

Подробный и грамотный анализ перспективного развития городских и загородных населенных территорий с точки зрения оптимального транспортного обслуживания и в связке с анализом допустимого шумового воздействия, соответствующего действующим и перспективным санитарным и строительным нормам. Для этого необходимо в состав Городского комитета по градостроительству и архитектуре ввести компетентных специалистов по различным разделам экологии.

Корректное отнесение защищаемых от шума территорий к той группе жилых массивов, которым они по своей сути соответствуют, т.е. учет статуса жилой эастройки и характеристики городского района (например Курортный район Санкт-Петербурга имеет в этом смысле повышенные требования по допустимому уровню шумового воздействия на населенные территории, т.е. пониженные на 5 дБА уровни допустимого звука и на 5 дБ нормы допустимого спектрального уровня шума [л.6]). А так называемые «промзоны», к которым по чьей-то злой воле отнесены некоторые жилые массивы, наоборот, должны почему-то находиться при повышенной на 10 дБ шумовой нагрузке.

При проведении расчетов шумовой нагрузки и величины санитарных защитных зон проектируемых транспортных трасс обязательным должен быть спектральный анализ шумовой ситуации (как этого требуют санитарные и строительные нормы) а не только ориентировочные расчеты шумового воздействия по допустимому уровню звука.

В тех случаях, когда жилая или иная территория с нормируемым допустимым уровнем шумового воздействия попадает в зону санитарного разрыва и требуется применение шумозащитных сооружений (экранов, тоннелей, зеленых насаждений и т.п.), их акустическую эффективность и соответствующие ей геометрические параметры (высоту, конфигурацию, шумопоглощение) этих сооружений рассчитывать по данным натурных испытаний по методикам, приведенным в нормативной документации [см. л.5]. При расчете

результирующего уровня шума (звука) пользоваться только теми параметрами экранов, которые характеризуют их эффективность.

Что касается «шумозащитных» зеленых насаждений, необходимо иметь в виду, что их нормируемая эффективность шумозащиты в полной мере реализуется только спустя 20-30 лет после посадки. Кроме того, шумозащитный эффект лиственных пород деревьев почти полгода практически отсутствует.

1. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562.-96; Утверждены постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996г. № 36

2. Строительные нормы и правила СНиП 23-03-2003. Москва 2011г.

3. Нетехническое Резюме. Комплексная оценка воздействия на окружающую и социальную среду для строительства Центрального участка Западного Скоростного Диаметра. Финальная версия, ERM Eurasia Limited. октябрь 2011г.

4. ГОСТ 31296-2006 Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности (в двух частях). Стандартинформ, Москва 2006г.

5. ГОСТ Р 51943-2002 Экраны акустические для защиты от шума транспорта.

6. Методы экспериментальной оценки эффективности. Госстандарт России. Москва. 2002г

7. Ведомственные строительные нормы ВСН 8-89. Минавтодор. Инструкция по охране природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. Москва 1989 г.

Методика испытаний акустических экранов на опытном стенде

[1]Семенов Н.Г., [2]Корнилов В.А.
[1]ДорМеталл, Краснодар
[2]Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

1. Введение

При выполнении акустических испытаний были поставлены две основные задачи:

- экспериментально подтвердить корректность некоторых допущений разработанной теории и проверить степень соответствия разработанных математический моделей данным экспериментов;

- исследовать основные акустические свойства акустических экранов (АЭ).

Исследования проводились на специально созданном опытном стенде на котором были:

- получены акустические характеристики АЭ в зависимости от основных конструктивных параметров (материал и высота АЭ), акустических свойств (звукоизоляция и звукопоглощение), а также расположения АЭ в пространстве с изменением места расположения источника шума и измерительных точек;

- определены показатели дифракции;

- определены звукоизоляции АЭ в натурных условиях;

-определено влияния звукопоглощающих свойств АЭ на его акустическую эффективность.

2. Описание опытного стенда

Для выполнения акустических испытаний был создан опытный стенд, на котором устанавливались несколько типов серийно изготавливаемых акустических экранов.

Опытный стенд устанавливался в центре испытательной площадки размером 100х500 м, представляющую собой ровную уплотненную земляную поверхность. Для всех измерительных точек были соблюдены условия свободного звукового поля.

Стенд состоял из двух основных элементов:

-испытываемая конструкция и обустройства к ней (стационарная часть стенда);

- источники шума (условно переносная часть стенда).

Стационарная часть представляла собой П-образную конструкцию (рис. 1). Основная идея, заложенная в нее – максимальное приближение испыты-

ваемых акустических экранов к реальным условиям в основном по размерам и испытываемым конструкциям.

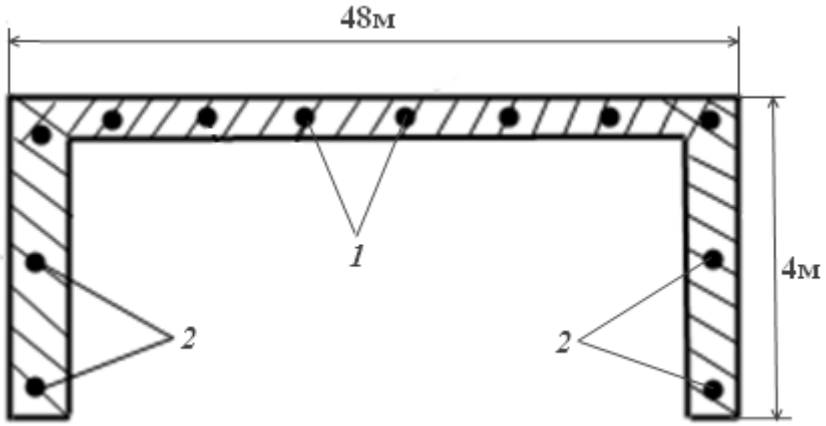


Рис. 1 Форма опытного стенда (в плане): 1 – фронтальные стойки, 2 – боковые стойки.

Основой этой части служили 20 металлических стоек, установленных по фронту и сбоку. Расстояние между стойками 3 м, высота 6 м. Между стойками располагались акустические панели. Нижние панели плотно прилегали к основанию. Длина испытываемого АЭ составила 48 м, что максимально приближает испытываемые образцы к реальным условиям. Боковые элементы с двух сторон стационарной части были введены для максимально возможного снижения дифракции звука через боковые свободные ребра испытываемого АЭ. Боковые элементы играют вспомогательную роль.

Источники звука (шума) располагались внутри стенда в его центральной части, а измерительные точки для определения акустической эффективности были расположены с наружной части на различных расстояниях (рис. 2).

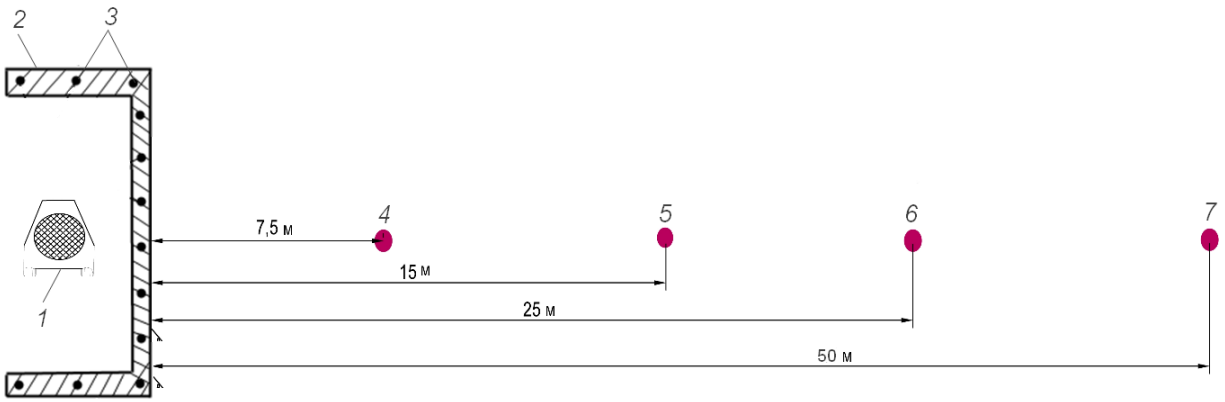


Рис. 2 Расположение источника шума (ИШ) и измерительных точек (ТИ): 1 – ИШ; 2 – опытный стенд (стационарная часть); 3 – стойки; 4 ÷ 7 – ТИ.

Для испытаний были использованы 2 типа источников шума:

- искусственный источник звука или источник постоянной звуковой мощности, представляющий собой набор колонок и имеющий показатель направленности ПН = 1;

- реальный источник шума, представляющий дизельную передвижную компрессорную станцию (ПКС) с пристроенной к ней трубой 20 м с отверстиями, в которую подавался сжатый воздух. Учитывая конструкцию этого ИШ, он был условно назван линейным. Источники шума включались попеременно.

Для испытаний были выбраны два типа сборно-разборных АЭ: отражающие и отражающее-поглощающие, изготовленные из двух материалов металла и дерева.

Металлический экран изготовлен из алюминиевых акустических панелей. Толщина акустической панели 120 мм, толщина алюминиевого отражающего слоя 1,2 мм.

В качестве звукопоглощающего материала использована минеральная вата, слой которой закрыт со стороны ИШ перфорированным листом с коэффициентом перфорации 0,3. Данные об акустических панелях испытанных АЭ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные данные о характеристиках акустических панелей испытанных АЭ

Материал акустической панели	Размеры акустической панели, мм	Толщина отражающего слоя, мм	ЗПМ	Коэффициент перфорации
Алюминий	0,5×2950×0,12	1,2	мин. вата	0,3
Дерево	1×2950×0,12	20	мин. вата	1

Деревянный АЭ изготовлен из импрегнированной древесины, толщина акустической панели 120 мм, толщина отражающего слоя 20 мм. В качестве ЗПМ используется минеральная вата, прикрытое звукопрозрачной сеткой с коэффициентом перфорации близким к 1 (табл. 1).

Превращение отражающее-поглощающих АЭ в отражающие осуществлялось перекомпоновкой расположенных панелей плотным слоем со стороны ИШ (рис. 3).

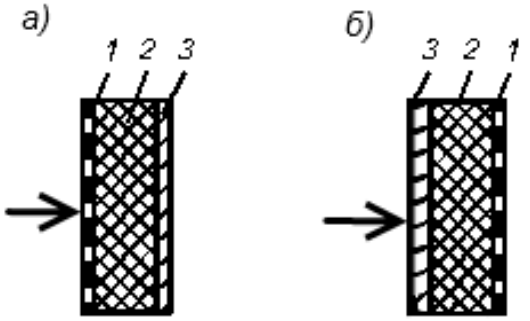


Рис. 3 Схема расположения отражающее-поглощающих (а) и отражающих (б) АЭ по отношению к ИШ: 1 – перфорированный лист (звукопрозрачная сетка), 2 – ЗПМ, 3 – твердый слой → направление распространения звука от ИШ.

Измерения проводились комплексом из источников, генерирующих широкополосный звуковой сигнал, и измерительной виброакустической аппаратуры.

В измерениях были использованы следующие шумомеры:

– измеритель акустический многофункциональный Экофизика, зав. номер 01А002 с предусилителем Р200 080081, микрофон ВМК-205 2845 (свидетельство о поверке 12/2855 действительно до 22.03.2013);

– шумомер-анализатор спектра Октава 110А, зав. номер А081116 с предусилителем Р200 091151, микрофон ВМК-205 4136 (свидетельство о поверке 12/2856 действительно до 22.03.2013);

– шумомер-анализатор спектра Октава 110А, зав. номер 02А010 с предусилителем Р200 060016, микрофон ВМК-205 448 (свидетельство о поверке 12/2857 действительно до 22.03.2013);

– шумомер-анализатор спектра, виброметр портативный Октава-110А, зав. номер зав. АУ110096 с предусилителем Р200 112524, микрофон ВМК-205 4256 (свидетельство о первичной поверке действительно до 20.02.2013);

– измеритель акустический многофункциаональный ЭКОФИЗИКА, зав. номер АЭ100197 с предусилителем Р200 101511, микрофон ВМК-205 4207 (свидетельство о первичной поверке действительно до 30.12.2012);

– шумомер-анализатор спектра Октава 110А, зав. номер 05А638 с предусилителем Р200 060028, микрофон ВМК-205 428 (свидетельство о поверке 12/2858 действительно до 22.03.2013);

– шумомер-анализатор спектра, виброме тр портативный Октава-110А, зав. номер зав. АУ120124, микрофон МК-265 3714 (свидетельство о первичной поверке действительно до 11.05.2013);

– шумомер-анализатор спектра, виброметр портативный Октава-110А, зав. номер зав. АУ120118, микрофон МК-265 3720 (свидетельство о первичной поверке действительно до 11.05.2013).

3. Измерения акустической эффективности

Акустическая эффективность АЭ – разница измеренных УЗ и УЗД в точке измерений без АЭ и с установленным АЭ (рис. 4).

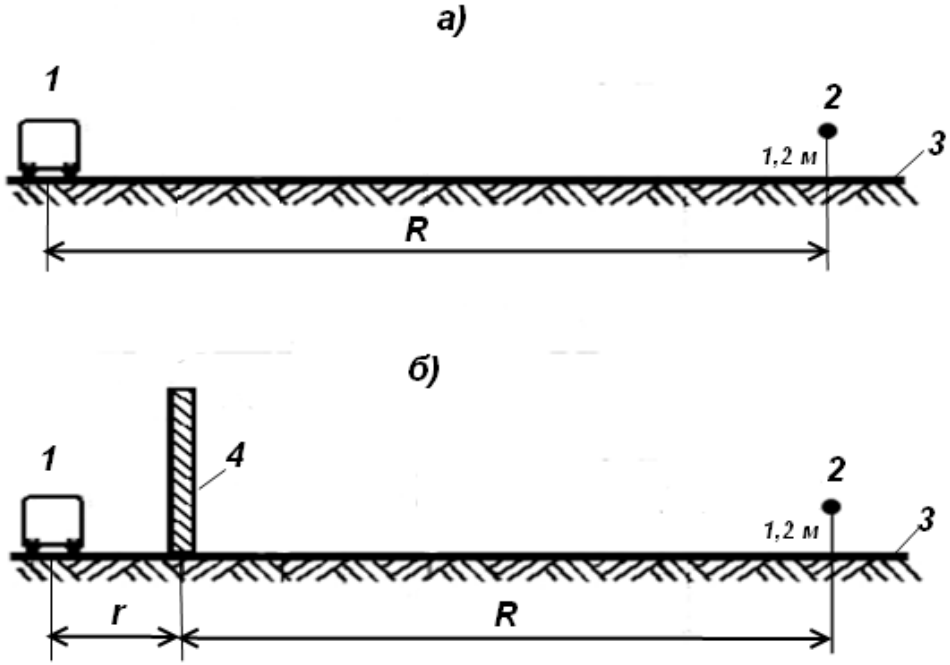


Рис. 4 Схема измерений акустической эффективности АЭ, определяемая разницей УЗ (УЗД) в точке измерений без АЭ (а) и с установленным АЭ (б): 1 – ИШ, 2 – измерительная точка, 3 – опорная поверхность, 4 – АЭ.

$$\Delta L_{экр} = L_{ТИ}^{б/э} - L_{ТИ}^{с/э} \quad (1)$$

Где $L_{ТИ}^{б/э}$ – УЗ (УЗД) в точке измерений без АЭ, дБА (дБ);

$L_{ТИ}^{с/э}$ – УЗ (УЗД) в этой же точке измерений с установленным АЭ, дБА (дБ).

Измерительные точки располагались на расстоянии R от АЭ (рис. 2) равном 7.5, 15, 25, 50 и 100 м. Высота над опорной поверхностью 1,2 м.

Выполнялись измерения при разной высоте установлены АЭ различных типов (табл. 2).

Таблица 2

Состав измерений акустической эффективности опытных АЭ

Тип АЭ	Материал	Значения высоты АЭ, м
Отражающе-поглощающий	Металлический	1, 2, 3, 4, 5, 6
Отражающий	Металлический	1, 2, 3, 4, 5, 6
Отражающе-поглощающий	Деревянный	2, 3, 5, 6
Отражающий	Деревянный	2, 3, 5, 6

4 Измерения звукоизоляции

Звукоизоляцией АЭ, измеренной в натурных условиях, является разность УЗД (УЗ), измеренных с внутренней и внешней стороны АЭ в идентичных точках при установившемся режиме работы ИШ.

Звукоизоляция в *i*-той точке

$$ЗИ_{АЭ_i} = L_{вн_i} - L_{нар_i}, \text{ дБ(дБА)} \quad (2)$$

Где $L_{вн_i}$,$L_{нар_i}$ - УЗД (УЗ) измеренные с внутренней (со стороны ИШ) и внешней стороны АЭ, дБ (дБА).

Звукоизоляция АЭ в натурных условиях

$$ÇÈ_{ÀÝ} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{ÇÈ_{ÀÝi}}{n} \quad (3)$$

где *n* – число измерительных точек.

Состав измерений звукоизоляции приведен в табл. 3

Таблица 3

Состав измерений звукоизоляции АЭ

Тип АЭ	Материал	Высота АЭ, м
Отражающе-поглощающий	Деревянный	3, 6
	Металлический	3, 6

Измерений выполнялись в нижней части АЭ в точках, указанных на рис. 5. Измерения выполнялись для двух значений высоты АЭ: 3 и 6 м.

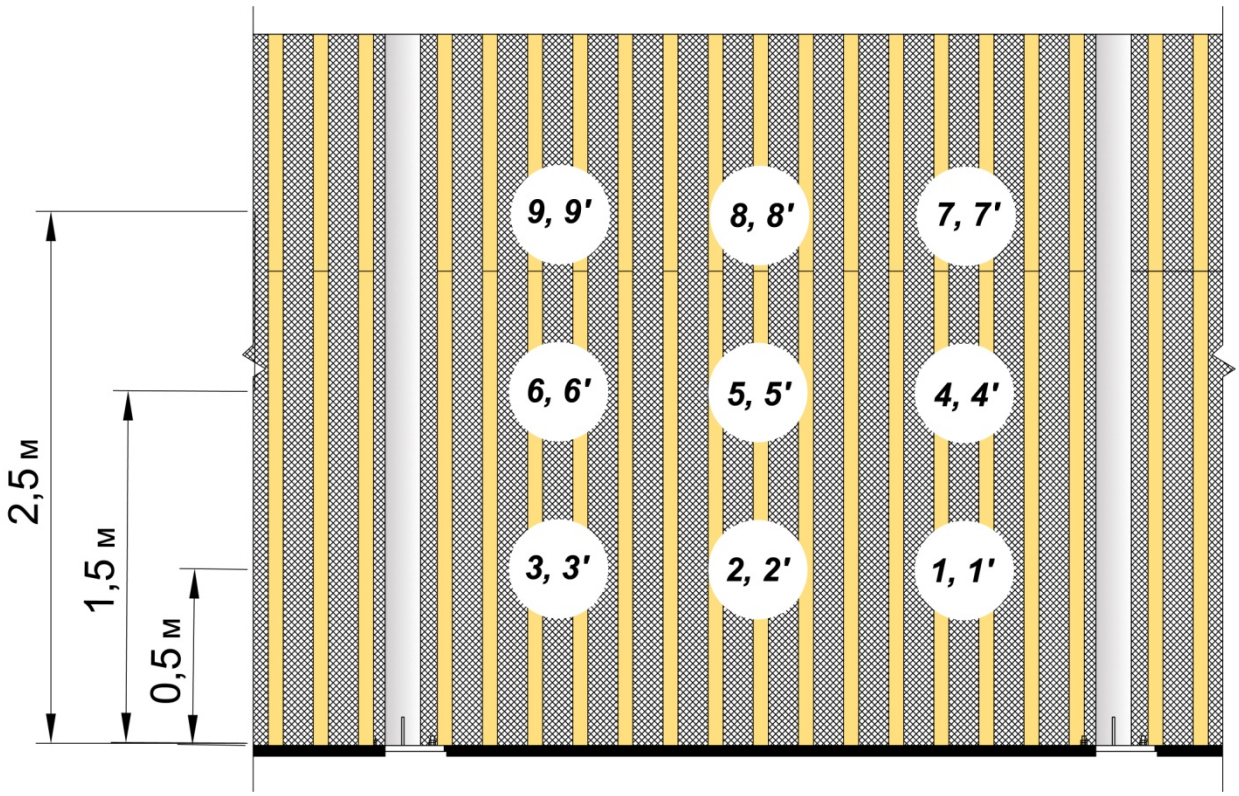


Рис. 5 Расположение измерительных точек при измерении звукоизоляции АЭ: 1 – 9 – точки внутри АЭ; 1’-9’ – точки снаружи АЭ.

Точки располагались на расстоянии не более 0,1 м от АЭ, чтобы избежать влияния обходных путей.

5 Измерение показателя дифракции

Показателем дифракции называется разность УЗ (УЗД) измеренных на свободном ребре АЭ с внутренней и внешней стороны.

$$ПД = L_{внутр} - L_{вн} \quad (4)$$

где $L_{внутр}$ - УЗД (УЗ) измеренные на свободном ребре АЭ с внутренней стороны, дБ (дБА);

$L_{вн}$ - УЗД (УЗ) измеренные на свободном ребре АЭ измеренные с внешней стороны, дБ (дБА).

Схема измерений показателя на рис. 6

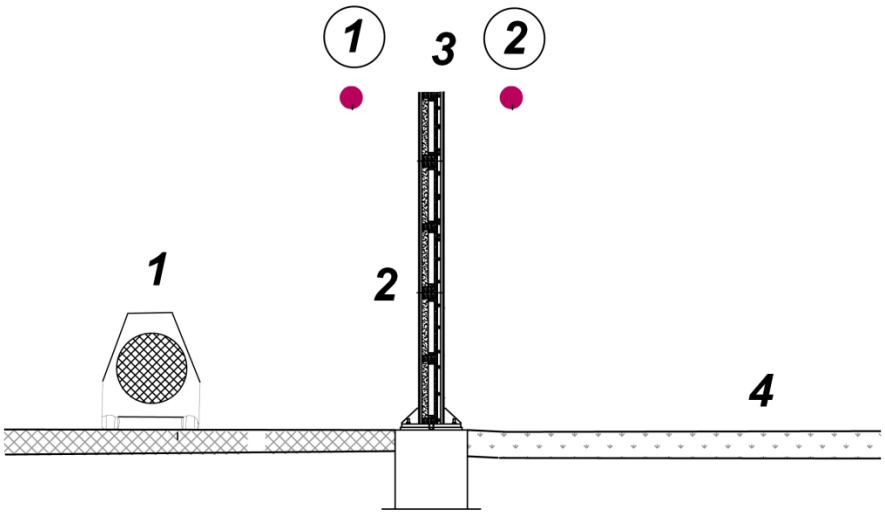


Рис. 6 Схема измерения показателя дифракции:
1 – ИШ. 2 – АЭ 3 – свободное ребро АЭ 4 – опорная поверхность.
① - измерительная точка внутри, ② измерительная точка снаружи.

Измерительные точки располагались на расстоянии 0,1 м от АЭ на одной линии с вершиной свободного ребра. Измерения показателя дифракции проводились отдельно для каждой высоты АЭ. Состав измерений показателя дифракции проведен в табл. 4

Таблица 4

Состав измерений показателя дифракции АЭ

Тип АЭ	Материал	Высота АЭ, м
Отражающе-поглощающий	Металлический	1, 2, 3, 4, 5, 6

Выводы

1. Создан уникальный опытный стенд, на котором испытывались АЭ в натуральную величину, с целью проверки предложенных методов расчета АЭ и выявление связи их акустической эффективности с конструктивным исполнением и расположением в пространстве.

2. Разработаны методики определения акустической эффективности, звукоизоляции и показателя дифракции АЭ.

Литература

1. Иванов Н.И., Семенов Н.Г., Тюрина Н.В. Акустические экраны для снижения шума в жилой застройке. Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности», апрель №4/2012, с. 1-24.

2. Иванов Н.И. Инженерная акустика: Теория и практика борьбы с шумом: учебник. -М.: Университетская книга, Логос,2008.-424с.

3. ГОСТ Р 54932-2012 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля технических требований»;

4. ГОСТ Р 54933-2012 «Методы расчета уровней шума, излучаемого железнодорожным транспортом»;

Расчет акустической эффективности экранов для снижения шума в жилой застройке

Иванов Н.И.[1], Семенов Н.Г.[2], Тюрина Н.В.[3]
[1] Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова
[2] ООО «Дорметалл»
[3] Институт комплексного транспортного проектирования

1. Введение

Расчеты акустической эффективности акустических экранов (АЭ) выполняются по оптико-дифракционной теории с использованием числа Френеля [1-3]. При испытании установленных АЭ нередко оказывается, что на практике экспериментальные результаты снижения шума АЭ не совпадают с данными расчета. В расчетах не учитываются поглощающие (отражающие) свойства АЭ, сами экраны принимаются бесконечно длинными конструкциями с бесконечно большой звукоизоляцией.

2. Расчет акустических экранов

Для разработки метода расчета АЭ использованы некоторые положения статистической теории (энергетическое суммирование, неучет явлений интерференции) при следующих допущениях:

- дифракция звука на верхнем свободном ребре представлена в виде излучения звука плоским источником длина которого равна длине АЭ, а высота из данных эксперимента условно принята равной 10 м;

- звук от источника шума падает на нижнюю часть АЭ, снижение звука с увеличением высоты с внутренней стороны по данным эксперимента составляет приблизительно 1 дБ на каждый 1 м высоты.

Расчетные схемы показаны на рис. 1.

Полученные формулы для расчета приведены в табл. 1, где приняты обозначения:

r - расстояние от ИШ до АЭ, м;

R – расстояние от АЭ до РТ, м;

$h_{\acute{y}\hat{e}\eth}$ – высота АЭ, м;

λ – длина звуковой волны, м;

ПД – показатель дифракции (табл. 2);

$\alpha_{экр}$.- коэффициент звукопоглощения отражающе-поглощающих АЭ (зависит от частоты);

$\Delta ЗИ_{экр}$ - снижение акустической эффективности АЭ за счет прохождения звука через АЭ при конечных значениях звукоизоляции, дБ (рис. 2);

$l_{\acute{y}\hat{e}\eth}$ – длина АЭ, м.

Значения $10\lg(1-\alpha_{экр})$ приведены в табл. 3, а значения $10\lg\frac{h_{экр}}{\lambda}$ приведены в табл. 4.

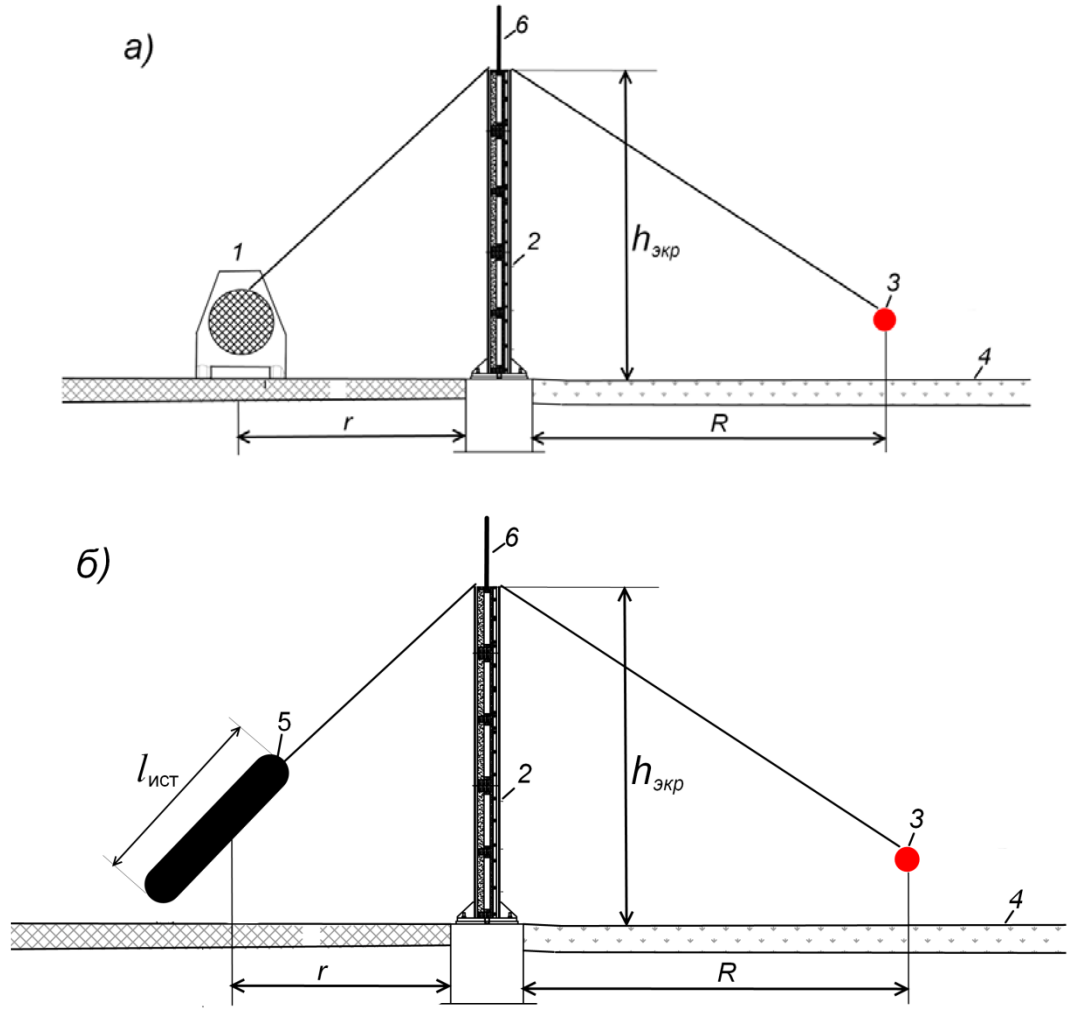


Рис. 1 Расчетные схемы АЭ для точечного (а) и линейного (б) источников шума (ИШ): 1 – точечный ИШ, 2 –АЭ, 3 – РТ, 4 – опорная поверхность, 5 – линейный ИШ, 6 – условный плоский излучатель. r – расстояние от ИШ до АЭ, R – расстояние от АЭ до РТ, $h_{экр}$ – высота АЭ.

Таблица 1

Формулы для расчетов акустической эффективности АЭ для снижения шума в жилой застройке

Источник шума	Вид акустического экрана	Формула для расчетов акустической эффективности, дБ
Точечный	Отражающе-поглощающийй	$\Delta L_{ýêð} = 20\lg\frac{r}{R+r} + k10\lg\frac{h_{ýêð}}{\lambda} - ÏÄ \ -10\lg(1-\alpha_{ýêð}) - -\Delta ÇÈ_{ýêð} - 10\lg arctg\frac{10l_{ýêð}}{2R\sqrt{4R^2 + l_{ýêð}^2 + 10^2}} + 5, äÁ$
	Отражающий	$\Delta L_{ýêð} = 20\lg\frac{r}{R+r} + k10\lg\frac{h_{ýêð}}{\lambda} - ÏÄ \ - -\Delta ÇÈ_{ýêð} - 10\lg arctg\frac{10l_{ýêð}}{2R\sqrt{4R^2 + l_{ýêð}^2 + 10^2}} + 2, äÁ$
Линейный	Отражающе-поглощающийй	$\Delta L_{ýêð} = 10\lg\frac{r}{R+r} + k10\lg\frac{h_{ýêð}}{\lambda} - ÏÄ \ -\Delta ÇÈ_{ýêð} - 10\lg(1-\alpha_{ýêð}) - -10\lg arctg\frac{l_{ýêð}}{R+r} - 10\lg arctg\frac{10l_{ýêð}}{2R\sqrt{4R^2 + l_{ýêð}^2 + 10^2}} + 3, äÁ$
	Отражающий	$\Delta L_{ýêð} = 10\lg\frac{r}{R+r} + k10\lg\frac{h_{ýêð}}{\lambda} - ÏÄ \ +10\lg arctg\frac{l_{ýêð}}{R+r} - -\Delta ÇÈ_{ýêð} - 10\lg arctg\frac{10l_{ýêð}}{2R\sqrt{4R^2 + l_{ýêð}^2 + 10^2}}, äÁ$

Таблица 2

Значения показателя дифракции

Высота АЭ, м	**ПД, дБ, в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц**							
	63	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
1	4	6	7	8	9	9	10	12
3	4	7	7	9	11	12	13	16
6	5	8	9	11	13	14	16	20

Таблица 3

Значение поправки при известном значении коэффициента звукопоглощения

Коэффициент звукопоглощения ($\alpha_{экр}$)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$10\lg(1-\alpha_{ýêð})$	-1,0	-1,5	-2,2	-3,0	-4,0	-5,2	-7,0

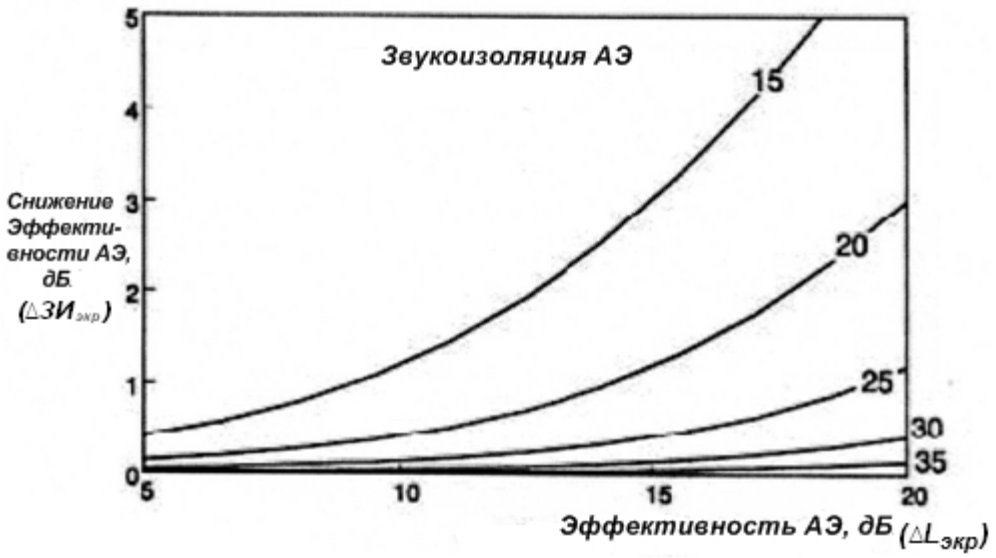


Рис. 2. Значение поправки $\Delta ÇÈ_{ýêð}$ в зависимости от $\Delta L_{ýêð}$

На рис. 3 приведены данные расчетов по предложенной формуле для отражающе-поглощающего АЭ высотой 3 м в РТ на расстоянии R=25 м. Даны сравнения с данными экспериментов и данными расчетов по методике с использованием числа Френеля. Предложенные методы обеспечивают более высокую точность расчетов.

Таблица 4

Вычисление значения $10\lg\frac{h_{экр}}{\lambda}$ для различных значений $h_{экр}$

Значение высоты АЭ, $h_{экр}$, м	Вычисленные значения, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	-7,3	-4,3	-1,3	1,7	4,7	7,7	10,7	13,7
2	-4,3	-1,3	1,7	4,7	7,7	10,7	13,7	16,7
3	-2,6	0,4	3,4	6,4	9,5	12,5	15,5	18,5
4	-1,3	1,7	4,7	7,7	10,7	13,7	16,7	19,7
5	-0,3	2,6	5,7	8,7	11,7	14,7	17,7	20,7
6	0,5	3,4	6,4	9,5	12,5	15,5	18,5	21,5

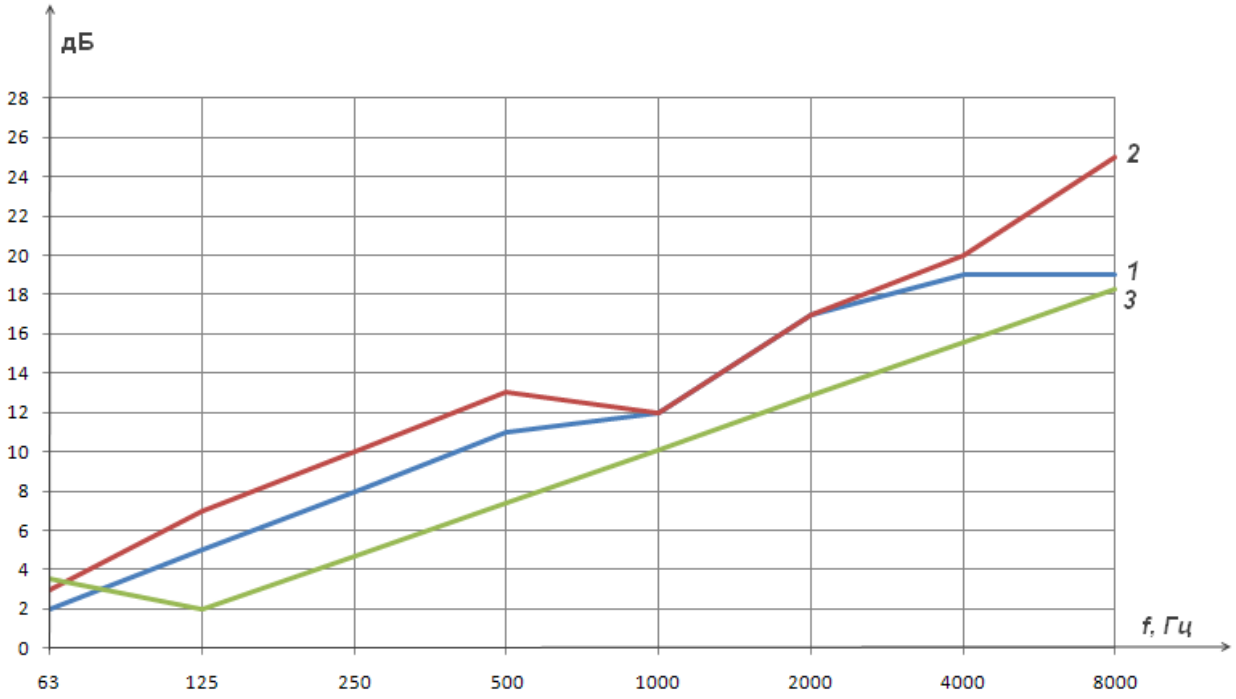


Рис. 3 Сравнительные данные расчета по предложенной формуле (1) и эксперимента (2) акустической эффективности АЭ высотой 3 м на расстоянии 25 м по сравнению с данными по методике с использованием числа Френеля (3)

3. Выводы

Предложены методы расчетов акустической эффективности отражающих и отражающе-поглощающих АЭ при расположении вблизи точеч-

ного и линейного источника. Проверка показала высокую точность расчетов.

Литература

1. Маекава З. Акустические экраны: в кн. «Снижение шума в зданиях и жилых районах» / под ред. Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина, М.: Стройиздат, 1987, с 426-447

2. Arenas Jorge P. Use of Barriers: Handbook Noise and Vibration Control/ Ed. Malcolm J. Crocker; John Willy, N/Y 2007. pp 714-724

3. U.J. Kurze and Newman Inc.., Cambridge, Mass. (USA) «Sound Attenuation by barriers» Received: 1 august, 1970 pp. 35-53.

4. Иванов Н.И., Тюрина Н.В. Акустические экраны и экранирующие сооружения: в кн. Иванов Н.И. «Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом» -М.: Логос, 2010 с 213-238

Влияние природных факторов на акустическую обстановку местности

Айрбабамян С.А.[1], *Наянов Е.А.*[1], *Радмановац Горан*[2]
Московский Государственный Машиностроительный Университет (МАМИ)
Белградский Политехнический Институт
nayanow@gmail.com

Аннотация
В данной работе представлены мероприятия по определению необходимых исходных данных на начальном этапе исследований по разработке средств шумоглушений газотранспортного оборудования. Рассмотрены факторы, влияющие на распространение шума и характер звукового поля при распространении звука на местности.

Особенности распространения шума на местности
Эффект затухания звука при распространении его в атмосфере вблизи земной поверхности зависит от таких факторов, как наличие земной поверхности, характер ее покрытия, затухание в воздухе и состояние атмосферы (наличие ветра, турбулентности, зависимость температуры от высоты), а также от экранизирующих эффектов, создаваемых лесными массивами.

Факторы, влияющие на распространение шума:
а) Влияние температурного коэффициента в атмосфере.
Скорость звука меняется в зависимости от температуры воздуха, поэтому, если возникает пространственное изменение температуры воздуха (по высоте и направлению), распространяющийся в нем звук испытывает непрерывное преломление, и его направление распространения изменяется. На (рис.1) качественно показана такая ситуация. При отрицательном градиенте (условия, когда температура понижается с высотой; спадение), который обычно возникает днём, траектория звука, вышедшего из источника на поверхности земли, искривляется кверху, и на некотором расстоянии возникает область, в которую звук не распространяется (зона тени), хоть это и так, однако из-за всевозможных неоднородностей атмосферы в некоторой степени звук распространяется и в эту зону, согласно имеющимся результатам измерений дополнительное ослабление в этой зоне составляет 20 дБ.
В противоположность этому, например, зимней ночью вплоть до высоты, охлаждаемой поверхностью земли, градиент температуры становится по-

ложительным (условия, когда температура возрастает с высотой, обратный градиент), звук загибается книзу и хорошо распространяется вдоль поверхности земли на широкой территории. Поэтому зимней ночью звуки отдаленных источников шума слышны сверх всякого ожидания.

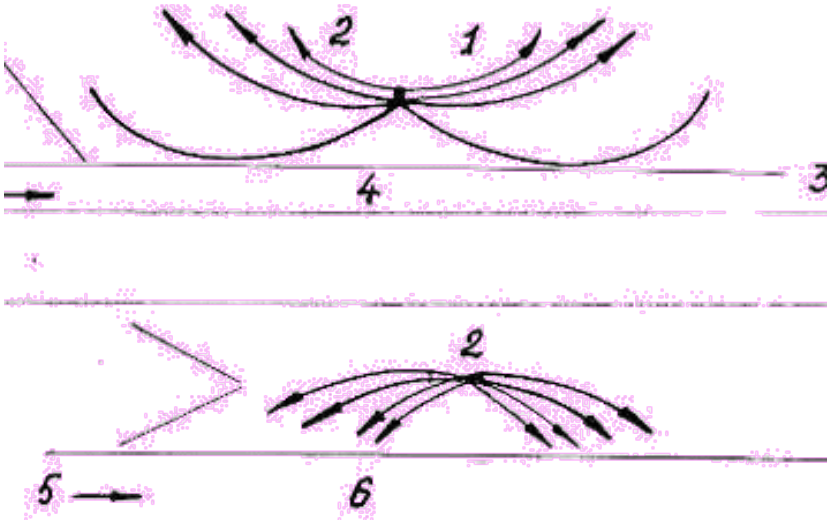


Рис. 1. Влияние температурного градиента на распространение звука
1- направление звуковой волны; 2 – источник звука; 3 – зона тени; 4 – день; 5 – температура; 6 – ночь.

Кроме того, в условиях, когда температурный градиент на траектории распространения звука меняет знак, может возникать явление аномального распространения, при котором возникает канал распространения звука, и он распространяется на невероятно далёкие расстояния.

б) Влияние ветра

Когда вдоль поверхности дует ветер, из-за аэродинамического сопротивления рельефа поверхности земли возникает турбулентный пограничный слой. В этом случае средняя скорость ветра увеличивается с возрастанием высоты над поверхностью земли, возникает градиент скорости ветра, и этот градиент определяется степенью неоднородности поверхности. Однако, если рассматривать его как ламинарный поток и останавливаясь лишь на распространении средней скорости ветра, то распространение звука зависит от комбинации векторов скорости звука и ветра, и как видно на (Рис.2) , можно считать что при излучении по ветру звук заворачивает вниз и легко распространяется на далёкие расстояния, а при излучении против ветра он наоборот заворачивает вверх и создаёт зону тени.

Для изучения влияния ветра наиболее важным является осуществление натурных экспериментов в практических полевых условиях.

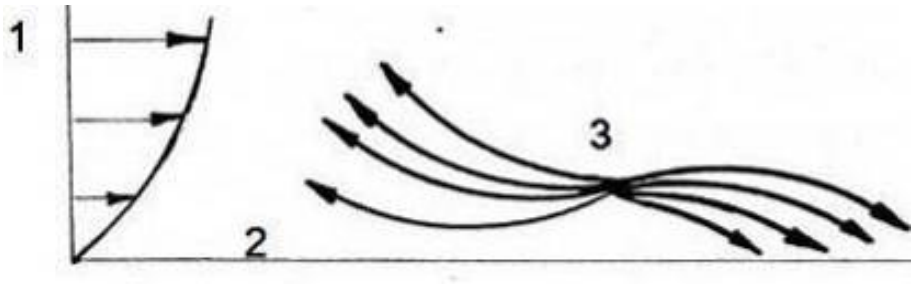


Рис. 2. Влияние градиента скорости ветра на распространение звука
1 - скорость ветра; 2- зона тени; 3 – источник звука.

в) Влияние лесного массива

Эффективность снижения уровня шума зелёными насаждениями определяется в зависимости от ширины полосы зелёных насаждений конструкции посадок, а также их дендрологического состава в сочетании со временем года.

Зелёные насаждения плотной посадки можно рассматривать как полупрозрачный экранирующий барьер, за которым образуется звуковая тень между источником шума и объектом защиты. При посадке шумозащитных полос зелёных насаждений должно быть обеспечено плотное примыкание крон деревьев между собой и заполнение пространства под кронами до поверхности земли густым кустарником. По периметру полос следует устраивать живую изгородь из кустарников.

Высота деревьев в шумозащитных полосах должна быть не менее 5-8 м, а ширина полос не менее 10 м. Норма посадки деревьев на 1 $м^2$ при этом должна быть выше, чем при обычном озеленении и составлять не менее 0,7 $м^2$, считая наивысшую плотность за 1 $м^2$.

Земляные бермы и их действительное воздействие на интенсивность шума

Центральную часть бермы можно строить из бордюрного камня и нижнего слоя, полученных в результате экскавации. Этот материал покрывался слоем земли соответствующего качества, который брался с поверхности земли прилегающей местности. При конструировании каждого откоса следует учитывать местные условия: величину существующих склонов, минимальную ширину относительно выровненной верхней части, максимальные откосы, сооружающиеся с целью безопасности для поддержания ограждения). Учитывается также минимум расстояние от расположенных справа от ограждения предохранительных сооружений. Кроме того, при создании берм особое внимание следует уделять поперечному стоку образующейся воды. Разработать тщательный план ландшафта, который включает не только саженцы, но и посадку "взрослых" деревьев, разросшихся деревьев

и кустарников. До сооружения берм деревья и кустарники выкопать и аккуратно хранить, чтобы в последствии их можно было посадить на место.
Звукопоглощающие настенные панели снижают уровень шума от работающих турбокомпрессорной станции
Фирма "интернешенэл Пейплайн Энфиниринг" разработала очень строгие технические условия для новых компрессорных станций. В соответствии с ними требовалось, чтобы звукопоглощающими приспособлениями и устройствами были оборудованы не только сами турбины, но и те помещения, внутри которых они должны быть смонтированы. Для того, чтобы удовлетворить требованиям технических условий относительно уровня шумов, были изготовлены звукопоглощающие панели для облицовки или стен тех помещений, в которых должны были быть смонтированы компрессорные станции.
Панели состоят из следующих основных элементов и изготовляется из следующих строительных материалов. Внутренняя сторона - листовой свинец (весом = 96 г/м^2, толщиной = 0,8 мм), сцепленной с тыльной стороной листовой оцинкованной стали толщиной 0,6 мм с оребрением жесткости "V"-образной формы, центральная прокладка два слоя стекловолокна низкой плотности, один толщиной 10,2 см, другой - 7,6 см с внутренней прокладкой из винила. Внешняя сторона листовая оцинкованная сталь толщиной 0,3 мм, покрытая снаружи слоем декоративной эмали.
Рёбра жесткости настенных панелей изготовлены из холоднокатаной стали «Z»- ного сечения.
При испытании настенных панелей на качество звукового барьера они получили класс звукопроницаемость 40 дБ.
На рис. 3 показан вид в разрезе звукопоглощающей настенной панели, показывающей взаимное расположение листового свинца толщиной 0,8 мм весом = 96 г/м^2 и стекловолокна, свинец сцеплен с тыльной стороной панели: 1 – панель из листовой толщиной = 0,6мм с оребрением жесткости «V» - образной формы; 2 – звукопоглощающей барьер из листового свинца, вес = 96 г/м^2; 3 – два слоя стекловолокна низкой плотности, толщина одного слоя = 10,2 см, другого – 7,7 см 4 ребра жесткости из стали; 5 – стальная листовая панель толщина = 0,34 мм.
Характер звукового поля при распространении звука на местности
В работе для теоретического анализа распространения звука над земной поверхностью выбрана математическая модель, связанная с решением волнового уравнения с граничным условием импеданского типа при расположении точечного источника S на высоте H над импедансной плоскостью Z=0. Задача сводится к нахождению звукового поля в точке R на высоте Z=H .

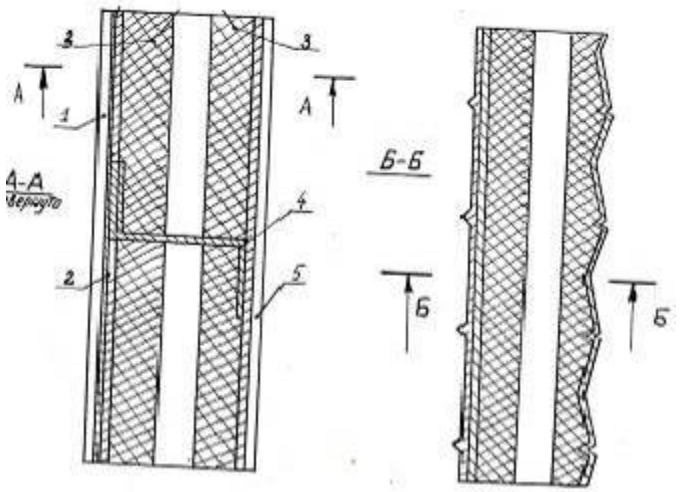


Рис. 3. Вид в разрезе звукопоглощающей настенной панели
1 – панель из листовой стали толщиной 0,6мм с оребрением жесткости «V» - образной формы; 2 – звукопоглощающий барьер из листового свинца, вес 96 г/м^2 ; 3 – два слоя стекловолокна низкой плотности, толщина одного слоя 10,2см , другого 7,7 см; 4 – рёбра жёсткости из стали; 5 – стальная листовая панель, толщиной – 0,34мм.

Точное решение задачи для потенциала скорости акустических возмущений запишем следующим образом

$$\psi = \frac{1}{4\Pi}\left\{ \frac{e^{i\,k\,r}}{r_1} + \frac{e^{i\,k\,r}}{r_2} i^k B \right\} \qquad (1)$$

Причём G выражается в виде интеграла

$$G = \int_{c1} p(v) * e^{i\,k*r\,\cos(v-\theta)} ds \qquad (2)$$

Где

$$P(v) = \frac{\sin v}{\cos v - b} * H_0^{(2)}(k_0 \sin rv) * e^{-i\,k_0 \sin v} \qquad (3)$$

Θ - угол падения, а интегрирование в (2) проводится по контуру С1 в комплексной плоскости v.
Интеграл вида (2) является типичным для многих задач и часто встречается в теории дифракции. Существенной для поведения этого интеграла является величина положительного параметра kr_2 в экспоненте.

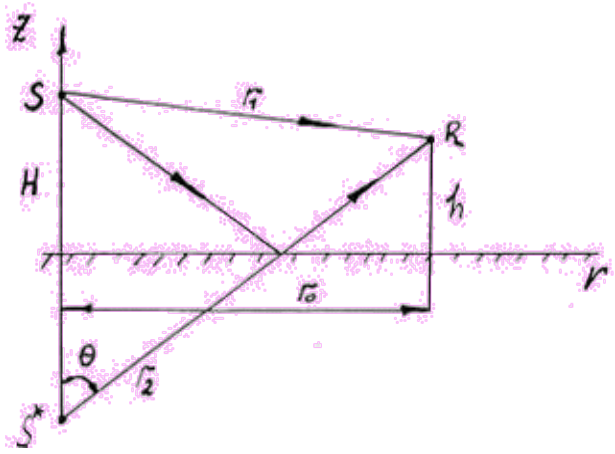


Рис. 4. Схема расположения источника S и приёмника звука R над импедансной плоскостью $Z = 0$

Большинство практических ситуаций, интересных с точки зрения анализа распространения звука над земной поверхностью, соответствует большой величине параметра kr_2. Если $kr >> 1$, т.е. расстояние r_2 от мнимого источника S^* до точки наблюдения велико по сравнению с длиной волны, то экспонента в интеграле изменяется значительно быстрее по сравнению с функцией $P(v)$, и тогда для вычисления интеграла (2) можно применить метод перевала. Наибольший вклад в интеграл дает точка перевала, где производная функция, стоящей в экспоненте интеграла (2), обращается в нуль. При этом исходный контур интегрировании нужно деформировать в комплексной плоскости v так, чтобы он проходил через точку перевала v = Θ и совпадал с контуром наибыстрейшего спуска.

Обычный метод перевала, однако, не применим, поскольку функция $P(v)$ имеет полю $v=v_0$, соответствующий обращению в нуль знаменателя в формуле (3). Поскольку полюс находится вблизи точки перевала $v=0$ или даже совпадает с ней, при вычислении интеграла (2) необходимо применить соответствующую модификацию метода перевала, учитывающую такие возможности. Эта модификация называется методом перевала при наличии простого полюса. В отличие от всех известных асимптотических оценок поля точечного источника над импедансной плоскостью автором получена единая асимптотическая формула, которая выражает звуковое поле через комплексный интеграл вероятности. Приближенность подученного таким методом асимптотического выражения для звукового поля ограничивается большими значениями только одного параметра kr_2; С практической точки зрении это удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к решению, исключая только случай, когда и источник и приёмник находятся вблизи импедансной поверхности на малок расстоянии друг от друга. Асимптотическое выражение для звукового поля точечного источника над импедансной плоскостью в этом случае имеет вид

$$\psi = \frac{e^{i\ 1}}{4\pi r_1} + \frac{e^{i\ 2}}{4\pi r_2}\left\{ r + \frac{2i\ (1 + B\mathrm{c}\quad \theta)}{k_{\ 2}(\quad \theta + \pi B)^3} - \frac{B\mathrm{o}_{\ 2}\, a\sqrt{\pi}}{\mathrm{o}\tau}\left[F(\tau) - \frac{1}{2\tau^2} \right] + 0(k_{\ 2})^{-2} \right\} \qquad (4)$$

Г - комплексная величина коэффициента отражения;
F(τ)- известная функция от аргумента;

$\tau = \sqrt{\frac{k_{\ 2}}{\pi}(1 + B\mathrm{c}\quad \theta\mathrm{o} - \sqrt{1 - \mathrm{s}B^2}\ \mathrm{s}\quad \theta)}$ - определяется геометрическим расположением источника и приемника и адмитансом поверхности В.

Величина а определяется функцией Ганкеля от соответствующего аргумента

$$\alpha = -H_0^{(1)}(k_{\ 2}\ \mathrm{s}\quad r\theta\sqrt{1 - \pi B^2})e^{-i\ _2 k\mathrm{s}\quad \theta\sqrt{1 - \pi B^2}}$$

В выражения (4) 1-й и 2-й член представляют собой суперпозицию прямой и отраженной волн с учетом комплексного коэффициента отражения Г. Зона деструктивной интерференции в этом случае объясняется тем, что при малых углах падения, что всегда справедливо при рассмотрении задачи с большим расстоянием между источником и приемником и сравнительно низким их расположением над землей, коэффициент отражения стремится к -I; это означает фазовое изменение на 180° при отражении. На более высоких частотах интерференционный эффект зависит от разности хода по двум лучам, соответствующим расстоянием r1 и r2. Два других члена определяют звуковое поле, создаваемое за счет дифракционных эффектов, в частности, последний член характеризует поверхностную волну, которая существует при условии, что мнимая часть импеданса отрицательна. Дифракционные эффекты связаны с взаимодействием фронта распространяющейся волны с импедансной поверхностью.

Список литературы:

1. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М., «Наука»,1967
2. Wiener F.M. Sound propagation outdoors. Noise Reduction, Ed Beranec L.L Me Graw – Hill Book Company, Ync 1960
3. Перевод 80/19638ю Влияние поверхности земли на распространение шума.
4. Методические рекомендации и мероприятия по защите от шума жилой застройки с учётом сложного рельефа местности. Буадзе В., Овесов Г., 1981

5. Земляные бермы и их действие и ощутимое воздействие на силу шума и спокойствия людей в близлежащих районах. Перевод 82/22809.
6. Звукопоглощающие настенные панели снижающие уровень шума от работающих турбокомпрессорных станций. Перевод. 76/79142.
7. Исследование распространения шума на местности. Титова Н.Б.

Особенности внутриквартального шума в г. Ижевске

Гагарин С.А., Кузнецова А.Ю.
Удмуртский государственный университет
2002gsa@mail.ru

К числу факторов, определяющих качество окружающей среды, относится шум. В директиве ЕС 2002 года шумовое загрязнение в городах признано одной из главных проблем негативного антропогенного воздействия на окружающую среду в Европе. В России в современной городской среде эта проблема также стоит довольно остро.

Источники шума на территории жилой застройки достаточно разнообразны. В основе своей это транспорт (включая автомобильный и рельсовый) и объекты инфраструктуры (торговые, бытовые центры и зоны досуга), в отдельных случаях могут быть промышленные предприятия. Все эти источники оказывают влияние на формирование характера внутриквартального уровня шума.

Город Ижевск на 1 января 2012 года имел численность населения свыше 600 000 человек при общей площади 31560 га. Различия в архитектурной планировке города рассматривались на основе космоснимка территории, топографических карт-схем и визуальных наблюдений. [3]

Среди жилых микрорайонов города по характеру застройки (с позиции распространения акустических волн) можно выделить несколько типов:

1 Районы частного сектора (6% от общей площади города). Территория частного сектора является сквозной для прохождения акустических волн, но основная звуковая энергия проходит над жилыми строениями. В нижней части движения активно поглощается домами и широко развитой растительностью.

Рис. 1. Жилая застройка г. Ижевска. Частный сектор. [3]

2. Малоэтажные дома (0,2%). Невысокие двух-трех этажные строения, с четко выраженной зоной озеленения и игровыми площадками для детей. Внешний шум (автотранспортный) выражен вдоль периметра застройки и быстро гасится домами и растительностью. Преобладает эпизодический коммунальный и бытовой шум.

Рис. 2. Жилая застройка г. Ижевска. Малоэтажные дома. [3]

3. Равномерно удаленные средне этажные дома (3%). Здания капитальной застройки. В среднем 4-х и 5-ти этажные дома в жилых микрорайонах, зону оконтуривают источники транспортного шума. Постепенно

транспортный шум сливается с внутриквартальным (коммунальный, бытовой, игры на детских площадках, одиночный транспорт).

Рис. 3. Жилая застройка г. Ижевска. Среднеэтажные дома. [3]

4. Районы вытянутой линейно высотной застройки (2%). Жилые дома 9-ти и более этажей, равномерно удаленные друг от друга, как правило, расположенные параллельно «красной линии застройки» и выполняющие функции шумозащитных строений относительно проходящих автомагистралей. Шум внутридворовых территорий обычно комплексный, включающий отраженный звук транспорта и шум от игровых детских площадок.

Рис. 4. Жилая застройка г. Ижевска. Высотные дома. [3]

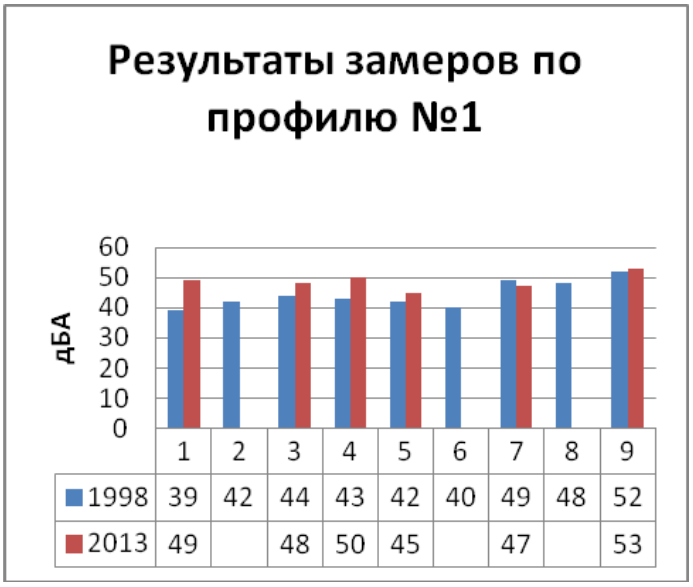
Методом исследования в данном случае выступили инструментальные замеры. Измерения проводились прецизионным шумомером ОКТАВА

110-А, оснащенным треть октавным фильтром и опцией инфразвук, руководствуясь ГОСТ 23337-78 [2]. Заводской номер А071055, предусилитель Р200 №070616. Прибор поверен ФГУП Кировским центром стандартизации, метрологии и сертификации. Точки для измерения шума располагались на ровной поверхности с соблюдением условий отсутствия чрезмерного избыточного затухания звука (высокая трава, кустарник или лесные участки). Рабочий центр располагался на высоте 1,2 - 1,5 м над уровнем земной поверхности. Измерения не проводились во время осадков, при скорости ветра более 3 м/с.

Внутриквартальный шум впервые измерялся в 1998 году при составлении «шумовой карты г. Ижевска». Повторно измерения провелись через 15 лет в 2013 году. Существенных изменений в характере застройки в обследуемых районах не произошло.

Результаты измерений, проведенных в 1998 г и 2013 г., представлены в диаграммах, приведенных ниже.

Замеры были осуществлены по девяти профилям внутри жилых кварталов, характеризующими разные типы застройки:



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1998	39	42	44	43	42	40	49	48	52
2013	49		48	50	45		47		53

Рис. 5. Профиль №1 ул. Короткова – ул. Петрова. Высотные дома.

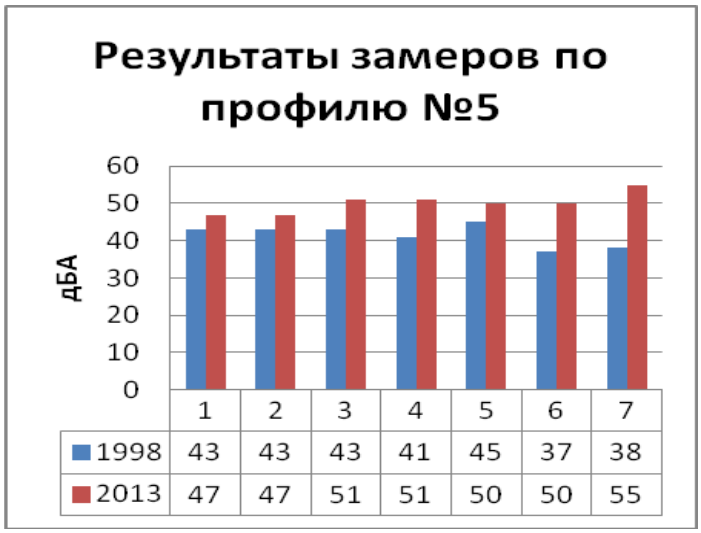


Рис. 6. Профиль №5 ул.10 лет Октября (ул. Удмуртская) – ул. Холмогорова (ул. Щорса). Высотные дома.

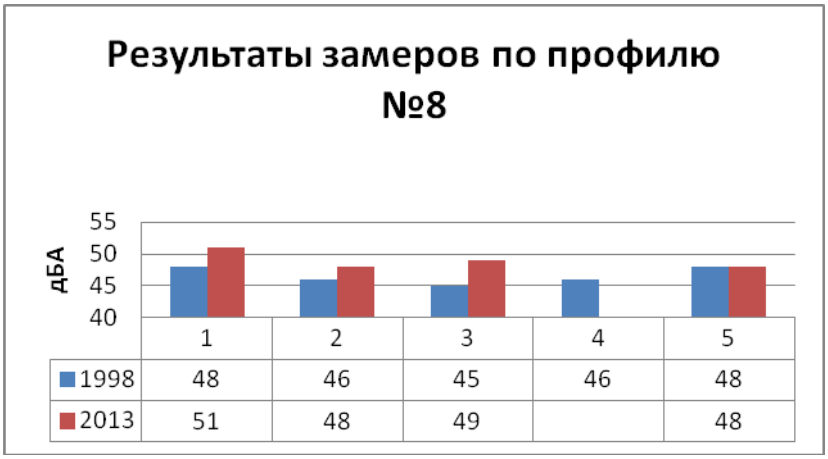


Рис.7. Профиль №8 ул. К.Маркса (ул. Либкнехта) – ул. Красноармейская. Высотные дома.

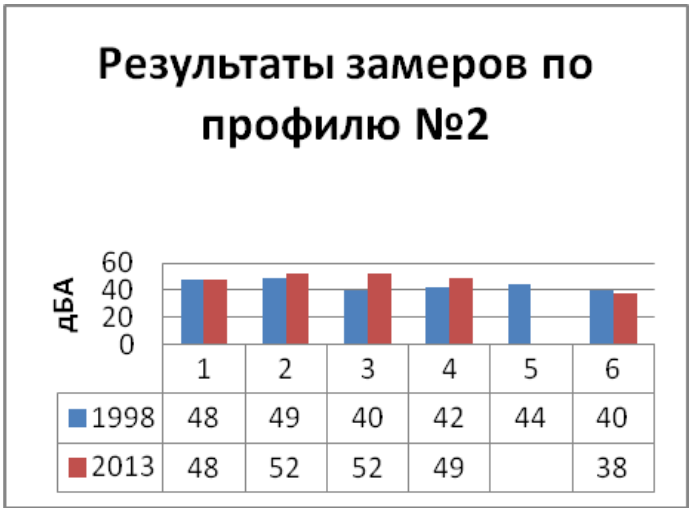


Рис. 8. Профиль №2 ул. Халтурина – ул. Бабушкина (частный сектор);

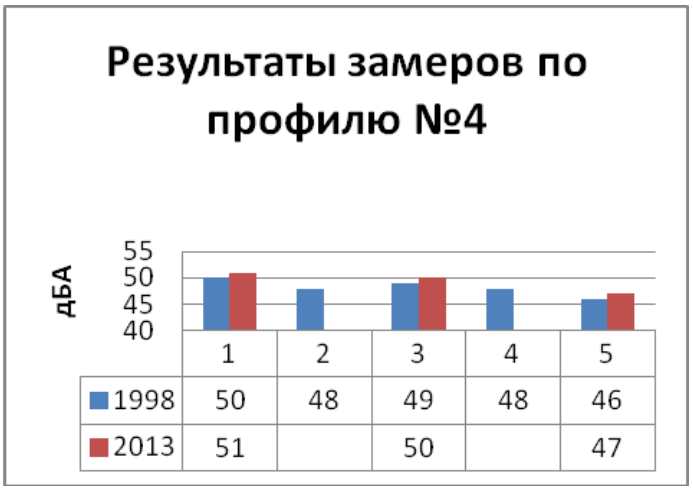


Рис.9. Профиль №4 ул. Кирова – ул. Шумайлова (частный сектор в центре города).

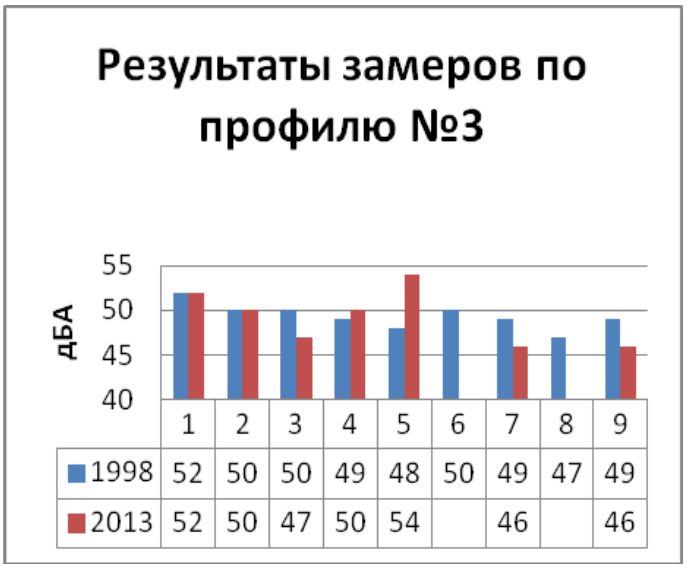


Рис. 10. Профиль №3 ул. Кирова – пер. Северный (5-ти этажные дома)

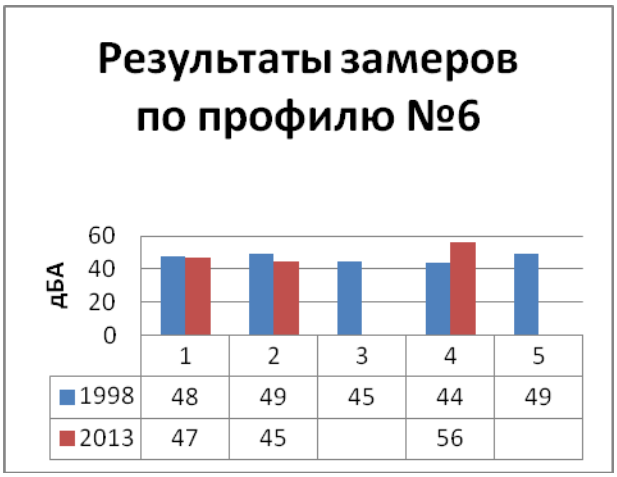


Рис. 11. Профиль №6 Центральная Площадь (Пушкинская-Бородина) – пер. Широкий (ул.К.Маркса) (5-ти этажные дома).

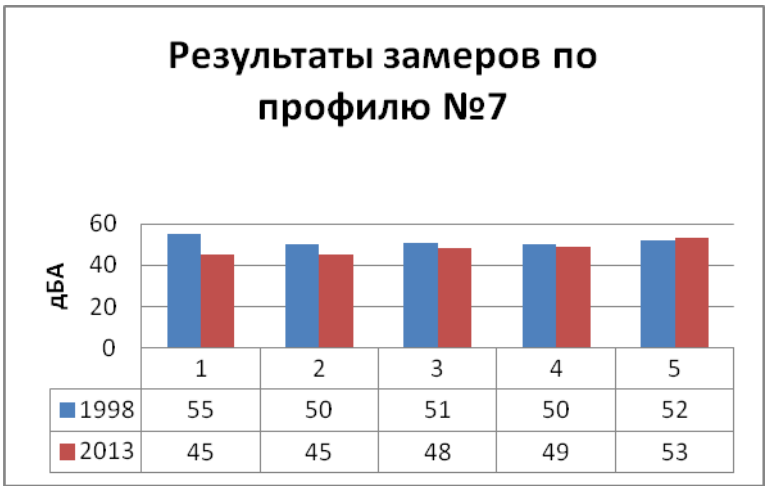


Рис. 12. Профиль №7 ул. Советская (ул. Пушкинская) – ул. Красногеройская (ул. Коммунаров) (5-ти этажные дома).

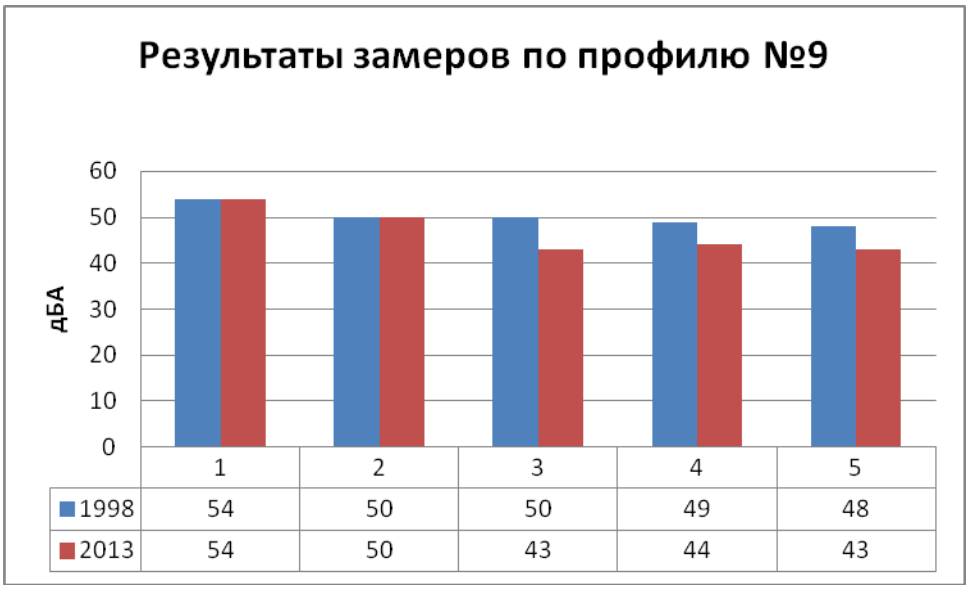


Рис. 13. Профиль №9 ул.30 лет Победы (ул. Кирова) – ул.1-ая Подлесная (высотные дома + 5-ти этажные дома).

Анализируя результаты измерений 1998 года, проводимых для составления шумовой карты города Ижевска, и поученные значения 2013 года следует отметить то, что характер застройки мало изменился, но характер внешнего шума поменялся, в связи с этим, наблюдается разница в значениях уровня эквивалентного шума. Наиболее ярко это проявляется на тех профилях, где основную роль в формировании шумового загрязнения играют проходящие вблизи автомагистрали, так как по результатам 10-ти летних наблюдений за транспортными потоками с 1996 по 2005 года отмечается значительное увеличение автомобильного парка, примерно в 1,5 раза. При этом, претерпели изменения и другие характеристики потоков – так значительно вырос вклад малогабаритных автобусов и грузовых авто-

мобилей, значительно увеличился рост электротранспорта (трамваи, троллейбусы), чаще стали встречаться объекты инфраструктуры (торговые центры). [1]

Литература

1. Гагарин С.А., Дмитриев В.Р., Мониторинг шумового загрязнения на территории г. Ижевска. Сборник докладов научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия». Санкт-Петербург, 21-22 марта 2006, 155 - 158 с

2. ГОСТ 23337-78 "Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий"

3. http://maps.yandex.ru/?ll=53.211681%2C56.867579&spn=0.013733%2C0. 004154&z=17&l=sat%2Csat

Оценка шума сваебойных установок

Пименов И.К[1], *Пальникова О.В*[1], *Ягло М.А.*[2]
СПбГМТУ
ООО "Акустическое бюро "Сайленс"
ikpimenov@list.ru

Одним из методов устройства свайного поля является метод забивки свай. Достоинства данного метода - надежность, скорость, относительно небольшая себестоимость и возможность применения для любых типов грунтов. Главный недостаток установок - высокий уровень шума, что практически исключает их использование при уплотнительной застройке [1].

Шум сваебойных установок (СУ) априорно относится к импульсным источникам звука, что находит подтверждение в разности максимальных уровней звука $L_{Амакс}$, превышающих 7дБА, измеренных по шкалам «медленно» и «импульс» ГОСТ 12.1.003 [2]. Однако, остается открытым вопрос всегда ли длительность звука при одиночном ударе СУ не превышает 1с, зависит ли эта длительность от типа используемой сваебойной установки, параметров грунта, и длины свободного участка забиваемой сваи.

При оценке шума от СУ на селитебной территории также возникает ряд методических вопросов. К первому, из которых можно отнести то, что ныне действующая методика расчета по ГОСТ 31295.2 [3] не распространяется на расчет импульсного шума, о чем имеется прямое указание в упомянутом документе. С другой стороны, в ранее действовавшем СНиП II-12-77 «Защита от шума» [4], изложенная в нем методика расчета распространения шума на местности допускала ее применение к источникам импульсного шума. В более новой версии документа [5] такая возможность не указана.

Вторым важным вопросом, связанным с расчетом шума от СУ, является задание/определение исходных уровней звука. В действующем ГОСТ Р 50906-96 [6] приведен эквивалентный уровень шума, выраженный в «дБ», производимый сваебойным оборудованием на расстоянии 10м для различных видов молотов, однако, конкретный акустический параметр (эквивалентный или максимальный уровень звука, если максимальный, то для какого режима усреднения) не указан. Поэтому для дальнейшей оценки шума СУ использовались измерения уровней звука установок, выполненные авторами в трех разных районах города.

1) сваебойная установка Junttan – PM25 с гидравлическим штанговым молотом HHK – 7A (район 1). Частота ударов сваебойной установки составляла – 30 уд/мин.

2) сваебойная установка Junttan – PM25 с гидравлическим штанговым молотом HHK – 7A(районы 2 и 3)

а) частота ударов сваебойной установки составляла 60 – 90 уд/мин.

б) частота ударов сваебойной установки составляла 30– 120уд/мин. Измерения уровней шума проводились отдельно для различных условий забивки сваи и при различных режимах работы установки. Забиваемая конструкция являлась составной и представляла собой две железобетонные сваи, скрепляемые с помощью сварки. Забивка сваи производилась в два этапа: забивка первой сваи и забивка второй сваи.

Измерения уровней шума СУ проводились при различных режимах работы установки и на разных расстояниях. Характер ударов во всех случаях оставался неизменным. Продолжительность каждого измерения при работе сваебойной установки от 2 до 5 минут.

Измерения уровней шума были выполнены на открытом пространстве, где обеспечиваются условия свободного звукового поля над звукоотражающей поверхностью.

Оценка характера шума по временным реализациям

На рис.1-3 изображены временные реализации, измеренных пиковых значений уровней звука СУ, работающих в разных условиях.

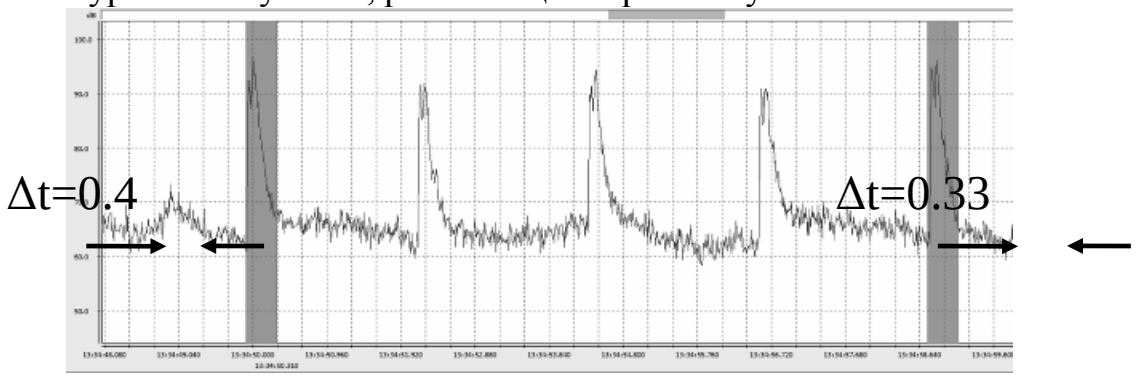


Рис. 1. Временная реализация уровня шума СУ с гидравлическим молотом (район 1), в момент начала забивки первой сваи на расстоянии 40 м.

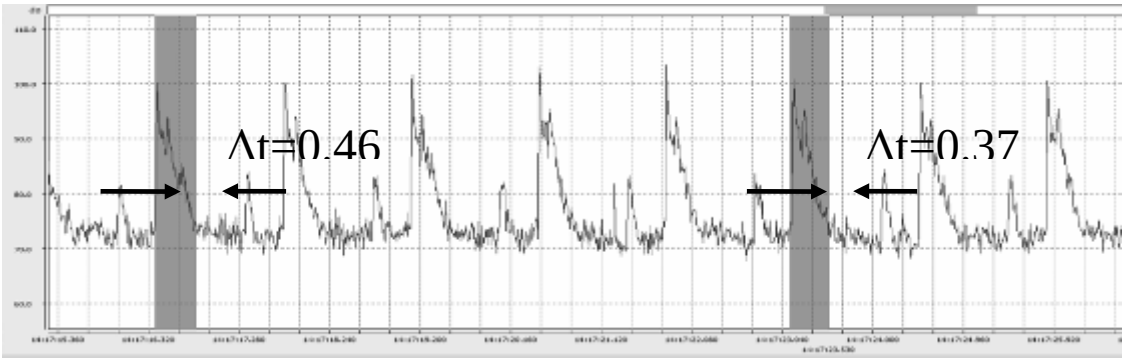


Рисунок 2.Временная реализация уровня шума СУ с гидравлическим молотом (район 2) во время первого этапа забивки нижней части сваи на расстоянии 40 м.

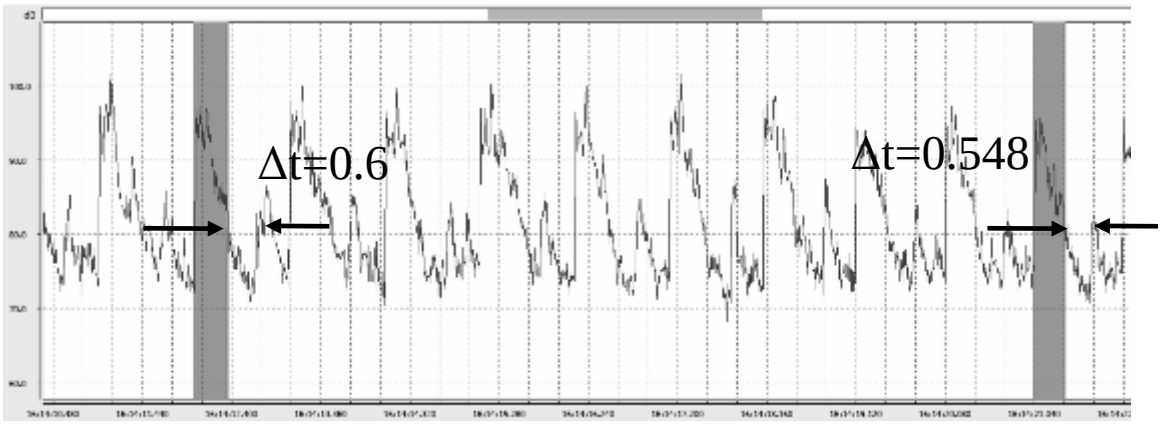


Рисунок 3.Временная реализация уровня шума СУ с гидравлическим молотом *(район 3),*во время забивки второй сваи на расстоянии 40 м.

Из приведенных на рис.1 – 3 реализаций видно, что:

– длительность каждого ударного воздействия лежит в пределах 0,37-0,67с, и подтверждает факт импульсного характера шума сваебойных установок, т.к. длительность каждого воздействия не превышает 1 с;

– длительности каждого импульса относительно (в пределах 20-25%) стабильны в рамках одного рабочего цикла, не зависят от частоты ударного воздействия и изменяются как при смене типа СУ, так и при изменении параметров грунта, что проявилось в увеличении длительности импульсов при забивке второй части составной сваи.

Определение параметров шума

На рис.4 показана полная временная реализация, измеренных пиковых значений уровня звука СУ с гидравлическим молотом (намывная территория), из которой видно, что максимальные уровни звука отдельных импульсов в пределах одного цикла забивки сваи существенно флуктуируют в пределах около 10дБА. При этом следует обратить внимание, что на приведенной реализации присутствует один явно выраженный «выброс» одного из импульсов ударного возбуждения, который обусловлен разовым случайным фактором и не может характеризовать акустическое воздействие сваебойной установки.

Согласно ГОСТ 23337 – 78*[7] за максимальный уровень звука $L_{A\,max}$, дБА, при проведении измерений шума шумомерами следует принимать наибольшее значение уровня звука за период измерения шума или, при проведении измерения шума измерительными системами, в которые входят анализаторы статистического распределения, за указанное значение следует принимать уровни звука L_{A1}, дБА, превышаемое в течение 1% времени измерения шума.

На рис.4 отмечены оба указанных значения, разность между $L_{A\,max}$ и L_{A1} составляет 4,4дБА, что на наш взгляд свидетельствует о несколько завышенных результатах измерений, получаемых без использования шумомеров с оценкой статистического распределения уровней.

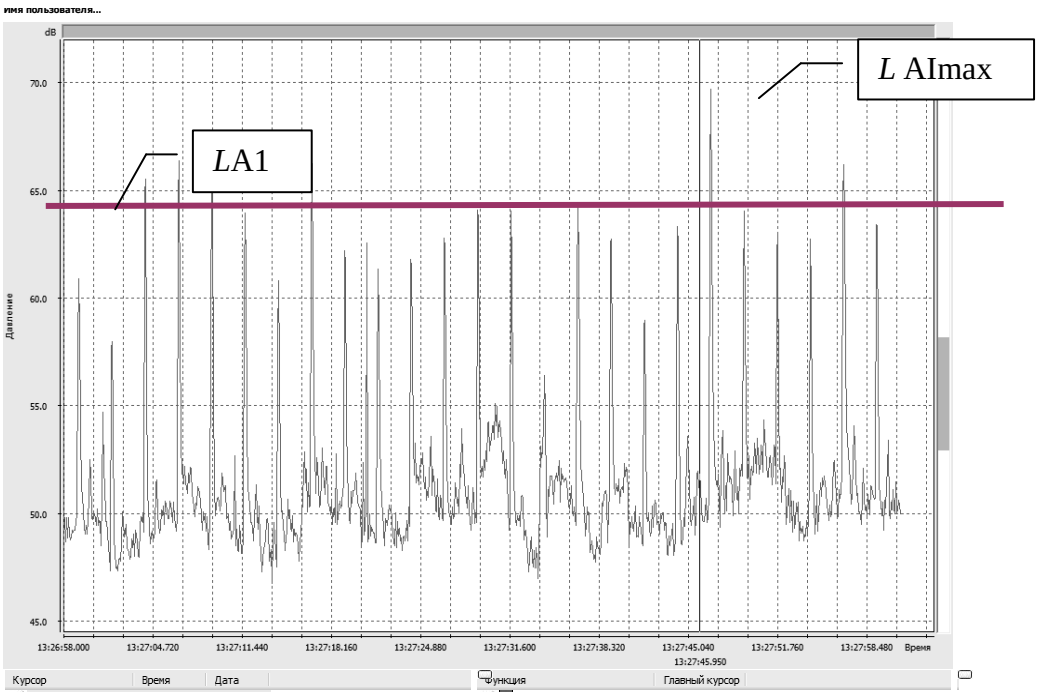


Рисунок 4. Полная временная реализация уровня шума СУ с гидравлическим молотом (намывная территория) на расстоянии 320 м.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты измерений уровней шума СУ с гидравлическим штанговым молотом (для разных грунтов).

Таблица 1.Уровни звука сваебойной установки с гидравлическим молотом (в районе 1)

Расстояние до источника шума, м.	*LmaxS*, дБА	*LmaxF*, дБА	*LmaxI*, дБА
40	75	83	85
80	69	76	79
320	60	67	70

.

Таблица 2 .Уровни звука сваебойной установки с гидравлическим молотом (в районе 2)

Расстояние до источника шума, м.	*LmaxS*, дБА	*LmaxF*, дБА	*LmaxI*, дБА
Первый этап забивки нижней части сваи			
40	82	87	92
80	77	82	85
Второй этап забивки верхней части сваи			
40	83	89	93
80	75	82	86

По результатам измерений максимальных уровней звука СУ, приведенных в таблицах 1 и 2 как и следовало ожидать, максимальные уровни звука, в режимах «медленно» и «импульс» отличаются не менее чем на 7 дБА, на всех измерительных дистанциях, что еще раз подтверждает импульсный характер шума СУ, который не «размывается» с увеличением расстояния до источника шума.

Снижение максимальных уровней звука СУ с расстоянием

На рис.5 представлен график сравнения максимальных уровней звука в (режиме «импульс») для СУ с гидравлическими молотами в зависимости от расстояния (r).

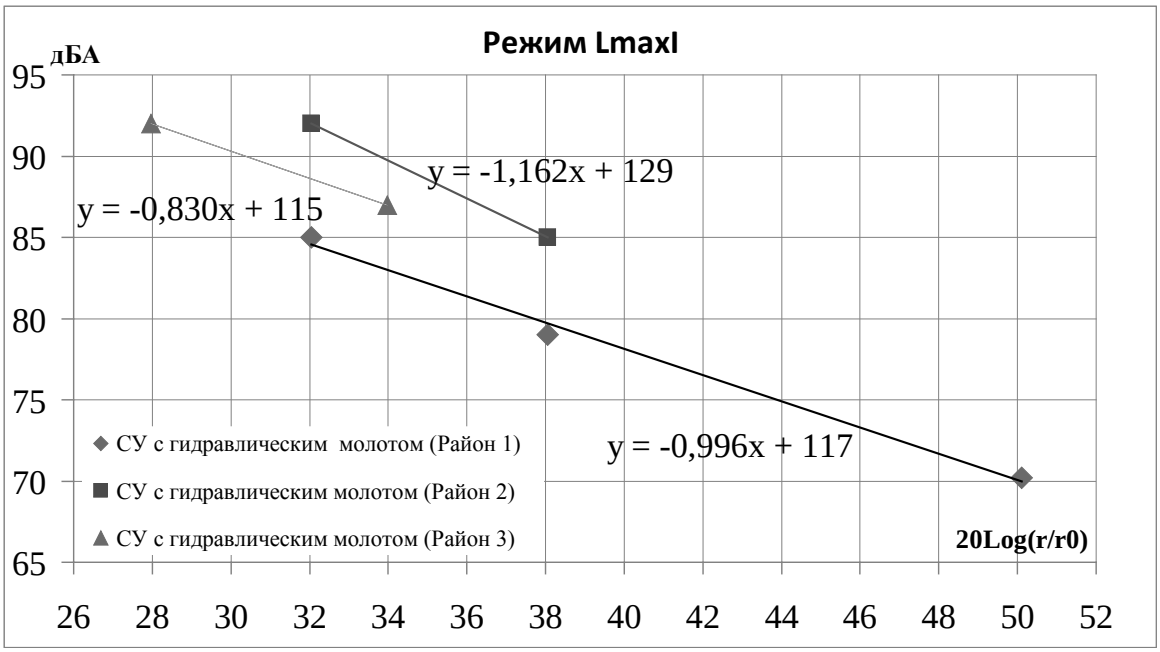


Рисунок 5. Сравнения максимальных уровней звука в (режиме «импульс») для сваебойных установок с гидравлическими молотами (в районах 1, 2 и 3).

Координата расстояния – ось абсцисс - представлена в логарифмическом масштабе для большей наглядности рассматриваемых зависимостей. Рядом с каждым графиком приведены аппроксимирующие зависимости, где функция «y» соответствует максимальному уровню звука LAмакс, а аргумент «x» - 20lg(r). Коэффициенты пропорциональности в каждом из приведенных выражений, близкие к «1» свидетельствуют об уменьшении уровня звука с удвоением расстояния на 6дБА, что экспериментально подтверждает сферический закон распространения импульсного звука от СУ.
Из рис.5 также видно, что максимальные уровни звука однотипных СУ, работающих в разных условиях отличаются на 5-7дБА. Отмеченное различие в первую очередь связано со свойствами грунта, и, предположительно с маркой свай и массой молота, которые в данной работе остались за рамками исследования.

Для разработки виброакустической модели СУ априорно можно предположить следующие источники шумообразования:
1) шум собственно ударного механизма (излучение шума движущихся частей) (выхлоп дизеля, переключение элементов гидравлической системы);
2) поршневое излучение оголовка сваи при падении ударной части.
3) резонансное излучение изгибных колебаний сваи при забивке;
4) низкочастотное излучение грунта при погружении сваи.

На всех представленных на рис.1-3 временных реализациях уровня звука, отчетливо различимы сдвоенные пики, один из которых следует отнести к шуму, создаваемому приводящим механизмом, а второй к звуку соударения молота об оголовок сваи. Первая из упомянутых причин шумообразования должна характеризоваться большей временной стабильностью и зависимостью от типа СУ, что подтверждается действующим ГОСТ Р 50906-96 [6]. Второй источник шумообразования, связанный непосредственно с зоной удара, более существенно изменяется во времени (см. ранее представленный анализ) и для СУ с гидравлическим молотом является определяющим.
Существенный вклад резонансного излучения изгибных колебаний сваи при забивке не подтверждается выполненными измерениями, т.к. уровни звука, создаваемые СУ не имеют тенденции к уменьшению или увеличению значений в пределах одного цикла забивки сваи и, следовательно, не зависят от длины свободного конца сваи. Низкочастотное излучение грунта при ударном погружении сваи не отмечено в ходе выполненных экспериментальных исследований.
Представленный анализ показывает, что для снижения шума СУ с гидравлическим приводом, следует снижать звук от локальной зоны удара, что, вероятно, можно сделать посредством небольшого навесного экрана, либо

применением амортизирующих прокладок в оголовке сваи или ударной части молота. Последний вариант находит применение в японской СУ фирмы NIPPON SHARYO (NISSHA) [8].

Выводы

- Максимальные уровни звука СУ $L_{AIмакс}$ следует оценивать только с использованием шумомеров с оценкой статистического распределения уровней, в противном случае велика вероятность получения в результате измерений завышенных значений до 4дБА, которые оказываются статистически недостоверными.
- СУ для расстояний, на которых могут располагаться жилые и общественные здания является точечным источником шума, распространение которого может быть оценено по известным выражениям, приведенным в нормативно-методической документации.
- Основной источник шумообразования СУ с гидравлическим молотом расположен в локальной зоне удара, что открывает определенные пути для его снижения.
- Целесообразными направлениями дальнейших исследований следует считать разработку физико-математической модели звукоизлучения оголовка сваи при ударе молота и экспериментальные исследования влияния массы молота, типа свай и обобщенных характеристик грунта на шумовые характеристики СУ.

Литература

1. Н.В. Бойко, А.С. Кадыров, В.В. Харченко, В.Н. Щелконогов. Технология, организация и комплексная механизация свайных работ. - М.: Стройиздат, 1985.
2. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 31295.2-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.
4. СНиП II-12-77. Защита от шума.
5. СНиП 23-03-2003. Защита от шума.
6. ГОСТ Р 50906-96. Оборудование сваебойное. Общие требования безопасности.
7. ГОСТ 23337*-78. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.
8. http://luxm.ru/production/gidravlicheskiy-molot-nippon-sharyo-nissha.

Опыт учёта акустических техногенных воздействий на особо охраняемую природную территорию при проектировании морского порта

Соловей Н.А., Жигульский В.А., Максимова Т.В.
ООО "Эко-Экспресс-Сервис"
n.solovey@ecoexp.ru

Введение

Необходимость нормирования техногенных шумовых воздействий на особо охраняемые природные территории (ООПТ) обусловлена требованиями действующего законодательства Российской Федерации. Согласно закону Российской Федерации «Об охране атмосферного воздуха» № 96-ФЗ от 4.05.1999 г. (в редакции от 25.06.2012 г.), "в целях определения критериев безопасности и (или) безвредности воздействия химических, физических и биологических факторов на людей, растения и животных, *особо охраняемые природные территории* и объекты, а также в целях оценки состояния атмосферного воздуха устанавливаются гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха и *предельно допустимые уровни физических воздействий на него*». Необходимость охраны ООПТ декларирует также статья 4 Закона Российской Федерации "Об охране окружающей среды" № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. (в редакции от 30.12.2012 г.). Согласно № 7-ФЗ, к нормативам качества окружающей среды относятся нормативы, установленные в соответствии с физическими показателями состояния окружающей среды. В целях предотвращения негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности устанавливаются нормативы допустимых физических воздействий (*в т.ч. уровни шума*), позволяющие обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды с учетом природных особенностей территорий и акваторий.

Однако практическая реализация этих требований затруднена почти полным отсутствием соответствующих подзаконных актов. Нормативная база для оценки и нормирования акустических техногенных воздействий на ООПТ сводится к нескольким разрозненным документам, касающихся весьма частных аспектов этой проблемы. Как известно, методология и методы оценки, нормирования и регулирования акустических воздействий ориентированы на организм человека и учитывают его специфические реакции на акустические воздействия, причём преимущественно антропогенного характера [1, 4-6 и др.]. Однако многие виды животных характеризуются совершенно иными, нежели у человека, механизмами восприятия

звука и вибрации, воспринимают другие частоты колебания внешней среды, иногда вообще не пересекаясь диапазонами слышимых частот с человеком. Поэтому использование нормативных документов, регламентирующих акустические воздействия на человека, применительно к иным биологическим видам, экосистемам и ООПТ не только неправомочно, но и лишено смысла (соответствующий аналитический обзор выполнен нами ранее [10]). Практическое решение проблем охраны ООПТ и особо охраняемых биологических видов от акустических воздействий требует разработки специальной нормативной базы на основе соответствующих научно-методических разработок [1, 4, 5, 9 и др.].

Таким образом, при необходимости размещения техногенных объектов по соседству с ООПТ регулярно возникает серьёзное противоречие: законных оснований для её защиты от шума нет, а без такой защиты ООПТ теряет свою биоту, которая часто и является основным объектом особой охраны.

В одной из предыдущих публикаций нами были рассмотрены возможности ограничения шумовых воздействий на ООПТ преимущественно орнитологической направленности (кластер проектируемого заказника "Южный берег Невской губы", соседствующий с будущим многофункциональным морским перегрузочным комплексом "Бронка" в Невской губе Финского залива) [11]. В данном случае рассматривается другой пример: возможности регулирования шумового воздействия проектируемого порта на близлежащую ООПТ, созданную ради охраны крупной залежки морских млекопитающих.

Краткая характеристика проектируемого порта и близлежащей ООПТ

Специализированный портовый перегрузочный комплекс (СППК) навалочных и генеральных грузов производительностью 25 млн. тонн в год проектируется в бухте Мучке, в п. Ванино (Хабаровский край), на берегу Татарского пролива Японского моря (рис. 1).

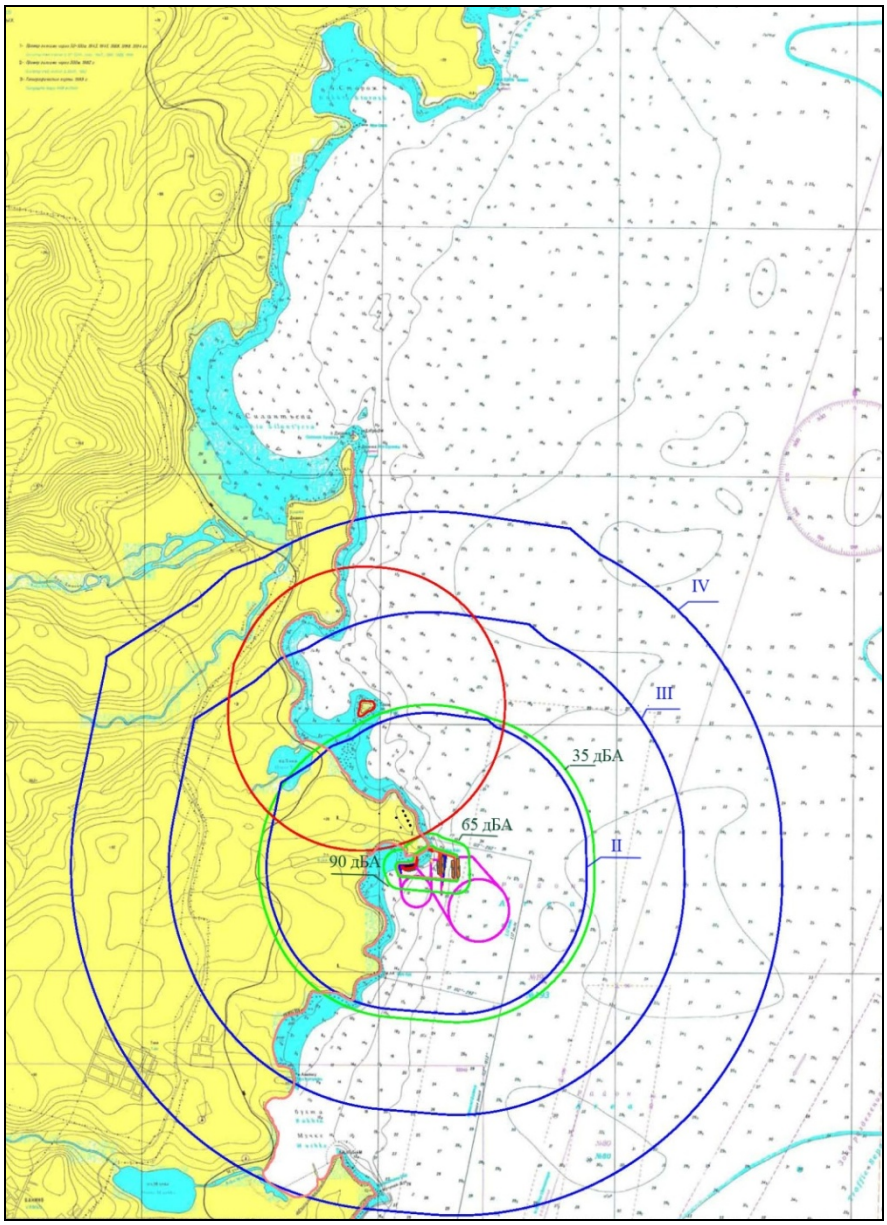


Рис. 1. Участок материкового побережья, включающий бухту Мучке, мыс Токи и ООПТ "остров Токи" с его охранной зоной. Красная линия (верхняя окружность) – граница двухкилометровой охранной зоны ООПТ "остров Токи". Синие линии (№II, III и IV) – зоны трёх выделенных зон с различным уровнем воздействия (пояснения – в тексте).

Согласно материалам проекта, в состав гидротехнических сооружений СППК навалочных и генеральных грузов входят морской грузовой фронт и причал портофлота. Строительство предполагается вести в течение 7 лет. В течение 3-го и 4-го года строительства предусмотрено проведение буровзрывных и дноуглубительных работ с погрузкой и отвозкой грунта дноуглубления в береговой отвал. Проектом также предусмотрен намыв территории порта, площадь отторгаемой при этом акватории составит 3,58 га

Остров Токи находится в северо-западной части Татарского пролива (49°10' 06" с.ш.,140°20'14" в.д.) примерно в 1-1,5 км от материка.

У побережья о. Токи и на окружающих его рифах формируются крупные скопления ларги, или пёстрой нерпы (*Phoca largha*) (до 600 особей [7] (*см. фото 1*).

Фото 1. Общий вид о. Токи и залежки ларги на рифе (фото М.К. Маминова)

Особо охраняемая природная территория (ООПТ) «Остров Токи» создана специально для защиты этой залёжки ларги, крупнейшей в татарском проливе. ООПТ основана Постановлением Администрации Ванинского муниципального района от 23.04.2010 г. № 392 "Об утверждении границ и режима особой охраны особо охраняемой природной территории местного значения Остров Токи Ванинского муниципального района Хабаровского края" ("Восход-Ванино", № 20, 8-14 мая, 2010). Уровень значимости ООПТ – местный, категория – памятник природы, профиль – зоологический, основной объект охраны: лежбище ластоногих на острове Токи. Общая площадь ООПТ – 0,037 км^2, площадь охранной зоны – 12,56 км^2, границы – вдоль условной линии, проходящей в радиусе 2 км вокруг острова Токи в Татарском проливе.

Оценка ожидаемого техногенного воздействия на ООПТ с учётом строительного шума

Планируемые работы по строительству морских гидротехнических сооружений (грузовые причалы и причал портового флота) СППК навалочных и генеральных грузов в бухте Мучке окажут на морских млекопитающих значительное негативное влияние, особенно:

– при формировании у ларги щенных залежек на льду вдоль материкового побережья и выкармливании потомства (щенка, выкармливание молодняка сроком 2,5-3,5 недели и линька волосяного покрова);

– при формировании залежек ларги на близлежащем острове Токи и на мелководьях и рифах его охранной зоны.

Зонирование ожидаемого воздействия на ларгу осуществлялось по трем критериям: воздействие ***буровзрывных работ, строительного шума*** и ***замутнения***, с целью выбора наибольшей из получаемых областей воздействия с учетом факторов, действующих в разные годы строительства:

– строительный шум: в течение 7 лет воздействия;
– взрывные работы и замутнение: 3-й и 4-й годы воздействия.

В соответствии с применяемыми методиками оценки вреда животному миру, область ожидаемого воздействия делится на 3 зоны – по степени его интенсивности:

– зона сильного воздействия;
– зона умеренного воздействия;
– зона слабого воздействия.

Результаты зонирования представлены на рисунке 1.

- ***Оценка зон ожидаемого воздействия буровзрывных работ.***

При оценке ожидаемого воздействия взрывных работ (ударная волна, шум) на морских млекопитающих использованы данные о размерах зон воздействия, приведенные в методике [8]:

– 1 - зона сильного воздействия – в радиусе 2 км от места проведения взрывных работ;
– 2 - зона умеренного воздействия - в радиусе от 2 до 3,5 км вокруг места ведения взрывных работ за вычетом зоны сильного воздействия;
– 3 - зона слабого воздействия в радиусе от 3,5 до 5 км вокруг места ведения взрывных работ за вычетом зоны умеренного воздействия.

2. Оценка зон ожидаемого воздействия строительного шума

Как известно, для ластоногих слуховая сенсорная система играет важнейшую роль при пространственной ориентации и коммуникации. Более того, по значимости слух у них превосходит зрение и хеморецепцию [3,14]. При оценке ожидаемого воздействия строительного шума (вне периода ведения буровзрывных работ) на морских млекопитающих использованы сведения о пороговых значениях шума [2,3,10,12-15 и др.], позволившие выделить следующие градации акустического воздействия:

– сильное шумовое воздействие: $L_{Amax} > 90$ дБА;
– умеренное шумовое воздействие: 90 дБА $< L_{Amax} < 65$ дБА;
– слабое шумовое воздействие: 65 дБА $< L_{Amax} < 35$ дБА (фоновый шум моря).

Результаты расчета параметров соответствующих зон шумового воздействия приведены в таблице 1.

3. Оценка зон ожидаемого воздействия замутнения воды при дноуглублении и намыве территории произведена с помощью численного моделирования распространения зон дополнительной мутности.

Согласно результатам моделирования распространения мутности с учетом одновременности ведения буровзрывных работ и работ по дноуглублению и намыву территории можно сделать вывод о том, что зона негативного воздействия от буровзрывных работ существенно перекроет и включит в себя зону от замутнения.

Таким образом, в 1-й, 2-й, 5-й, 6-й и 7-й годы строительства параметры зоны воздействия на морских млекопитающих будут формироваться преимущественно ***шумовым воздействием***.

В 3-й и 4-й годы параметры зоны воздействия на морских млекопитающих будут формироваться проведением ***буровзрывных работ*** (зона их негативного воздействия существенно перекроет и включит в себя зону воздействия шума и замутнения).

Полученные результаты использованы для расчёта прогнозной величины вреда, который ожидается для популяции ларги при намечаемом строительстве и, далее, при эксплуатации порта.

Таблица 1 - Результаты расчета параметров зон шумового воздействия в период строительства (вне периода ведения взрывных работ)

Пороговые значения	Расстояния, на котором достигаются уровни звука, м
	Максимальный уровень (L_{Amax}, дБА)
35 дБА	2120
65 дБА	203
90 дБА	21

Заключение

В рассмотренном примере удалось учесть негативное акустическое воздействие на ООПТ и основной охраняемый объект, ларгу. Однако учесть их пришлось косвенным путём, поскольку в рамках действующей методики оценки техногенного вреда животным обычно не учитывается шумовое лимитирование популяций морских млекопитающих. Кроме того, к сожалению, действующее природоохранное законодательство позволяет таким образом лишь оценить ожидаемый вред, но не ограничить само воздействие. Как обсуждалось выше, отсутствует необходимый для этого норматив акустического воздействия на биоту и на ООПТ, за исключением пересечения ООПТ некоторыми линейными объектами.

Поэтому для коррекции антропогенного воздействия на ООПТ "Остров Токи" при строительстве и эксплуатации объекта необходимо будет

постоянно осуществлять мониторинг биоты (в первую очередь – популяции ларги). Фоновый мониторинг в настоящее время ведется сотрудниками ФГНУ "ТИНРО-Центр" и будет продолжен в рамках программы экологического мониторинга строительства и эксплуатации СППК навалочных и генеральных грузов в бухте Мучке. Лишь фактическое выявление лимитирования популяции может послужить достаточным основанием для регулирования воздействия. Ясно, что гораздо эффективнее и рациональнее было бы предотвратить чрезмерное акустическое воздействие на ООПТ на стадии проектирования, а не исправлять ситуацию по ходу строительства.

Таким образом, разработка и легитимизация отечественных нормативов техногенного акустического воздействия на ООПТ и на биоту является одной из актуальнейших природоохранных задач.

Литература

1. Вартанян И.А. Звук-слух-мозг. – Л.: Наука, 1981. – 175 с.
2. Возможный уровень техногенного шума при реализации Штокмановского проета и его последствия для морских млекопитающих и птиц". – Научный отчет. Рук. Щащаев Ю.А. – Фонды ООО "Эко-Экспресс-Сервис". – 23 с.
3. Вуд Ф.Г. Морские млекопитающие и человек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 264 с.
4. Жигульский В.А. Условия экологической безопасности портостроения в Финском заливе. I. Оценка и нормирование воздействия на экосистему / В.А. Жигульский, В.Ф. Шуйский, Н.А. Соловей, О.А. Заболоцкая // Гидротехника. – 2010. – № 3(20)/2010. – С. 77 – 80.
5. Ильичев В.Д. Экологические аспекты авиационного зашумления окружающей среды // Успехи современной биологии. – 1997. – Т.117, №3. – С. 300 – 309.
6. Кузьмина Г.Н. К вопросу о нормировании шумовых воздействий промышленных предприятий на особо охраняемых природных территориях / Г.Н. Кузьмина, П.С. Лапковская, М.Н. Стуликова // Проблемы охраны атмосферного воздуха: Научн. труды НИИ «Атмосфера». – 2010. – С. 91 – 107.
7. Маминов М.К. Численность и распределение ларги (*Phoca largha*) у материкового побережья Татарского пролива летом 2008-2009 гг. // Морские млекопитающие Голарктики. – Сб. научных трудов мат. IV междунар. конференции. – Калининград, 11–15 октября 2010 г. – Калининград, 2010. – С. 367–371.
8. Методика оценки вреда и исчисления размера ущерба от уничтожения объектов животного мира или нарушения среды их обитания на террито-

рии Ямало-Ненецкого автономного округа (утв. постановлением Губернатора Ямало-Ненецкого автономного округа от 18 августа 2005 г. № 86-А)
9. Соловей Н.А. Снижение шума при проектировании инфраструктуры морских и речных портов // Защита населения от повышенного шумового воздействия: сб. докл. II Всероссийской научно-практической конференция с международным участием (Санкт-Петербург, 17-19 марта 2009 г.). – СПб., 2009. – С. 500-507.
10. Соловей Н.А., Жигульский В.А., Княженко Е.В. Экологические аспекты оценки и нормирования шума при проектировании портов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1; URL: *www.science-education.ru/101-5294* (дата обращения: 09.02.2013).
11. Соловей Н.А., Шуйский В.Ф. Шум портов: Воздействие на прилегающие территории // Сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Защита населения от повышенного шумового воздействия". – г. Санкт-Петербург, 22-24 марта –СПб., 2011 г. – стр. 621-625.
12. Dehnhardt S. Sensory systems // Marine Mammal Biology. An Evolutionary Approach / Ed. by A. Rus Hoelzel. – Blackwell Publishing Company, 2002. – P. 116-141.
13. Hastings M., Carlson T. Barotrauma in Aquatic Animals // Bioacoustics journal. – 2008. – V. 17. – № 1-3. – P. 307—310.
14. King J.E. Seals of the World. – London: Oxford university press, 1964. – 240 p.
15. Southall B.L., Bowles A. E., Ellison W.T. e.a. Marine Mammal Noise-Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations // Bioacoustics journal. – 2008. – V. 17. – № 1-3. – P. 273—275.

Применение блоков несъемной опалубки Дюрисол для возведения шумозащитных конструкций для железных дорог и автотрасс

Поварешкин Г.В.
Представитель Завода Дюрисол ООО «БиГ»
g.povareshkin@durisol.ru

1. Общие технические характеристики базового продукта

Дюрисол (Durisol) – является экологически чистым материалом, основу которого составляет древесная щепа (до 90% объема), обработанная минеральными добавками и скрепленная портландцементом. Из композитной смеси методом холодного вибропрессования изготавливаются крупноформатные пустотелые блоки, которые в кладке стены выполняют функцию элементов несъемной опалубки.

Габаритные размеры блоков: 500х250 мм (h) при толщине в зависимости назначения от 150 до 375 мм. Типовая форма стенового блока представлена на рис.1.

Марка материала по плотности – не более 700 кг/м^3 (блоках повышенной несущей способности до 900 кг/м^3), вес одного блока в зависимости от типа от 6 до 15 кг.

Для применения **в шумозащитных конструкциях** производятся блоки с повышенными акустическими свойствами, которые обеспечиваются за счет утолщенной или ребристой формы фронтальной стенки блока, рис.1.

Рис.1

Материал обладает устойчивостью к атмосферным воздействиям, температурным перепадам, образованию плесени и гниению.

По показателям пожарной безопасности Дюрисол в блоках относится к группам:

- по горючести - Г1 по ГОСТ 30244 (слабогорючие по СНиП 21-01);
- воспламеняемости - В1 по ГОСТ 30402 (трудновоспламеняемые по СНиП 21-01);
- дымообразующей способности - малая по ГОСТ 12.1.044 (группа Д1 по СНиП 21-01);

– классу опасности по токсичности продуктов горения – малоопасные по ГОСТ 12.1.044 (группа Т1 по СНиП 21-01).

Конструкции ограждений из блоков опалубки Дюрисол обеспечивают **огнестойкость под нагрузкой - RIE 150**.

Технические условия на производство блоков ТУ-5741-253-35354501-2007, разработчик НИИ Бетона и Железобетона (НИИЖБ), Москва.

Продукт производится заводом «Дюрисол» (ООО «БиГ»), Ленинградская область, по лицензии компании Durisol Intenational с февраля 2008 года.

2. Области применения

Технология несъемной опалубки Дюрисол используется для возведения несущих и самонесущих стен в монолитном домостроении и для строительства шумозащитных конструкций для железных дорог и автомагистралей, промышленных предприятий и частных домовладений.

3. Характеристики шумозащитных свойств конструкций из блоков Дюрисол

Конструкции ограждений из блоков опалубки Дюрисол обеспечивают значение коэффициента звукопоглощения $\boldsymbol{\alpha}$ в пределах **0,44 - 0,84** и величину индекса изоляции воздушного шума $\boldsymbol{R(f)}$ **от 38 до 63 дБ** в диапазоне октавных частот 125-8000 Гц.

Оценка долговечности конструкций из Дюрисол – не менее 40 лет без потери акустических свойств.

Сертификат акустических характеристик шумозащитных панелей Дюрисол, выданный испытательной лабораторией НИИ Строительной Физики.

Несущая способность и устойчивость к аэродинамическим нагрузкам при эксплуатации шумозащитного экрана обеспечиваются характеристиками бетона (бетонного ядра) и армирования, применяемого при изготовлении панелей, и позволяют использовать такие конструкции для установки на высокоскоростных магистралях.

4. Варианты шумозащитных конструкций Дюрисол в зависимости от способа монтажа

Возможны два варианта возведения ограждающих конструкций из блоков Дюрисол. Предварительно требуется возведение бетонного фундамента под колонны и прогоны.

4.1. Монтаж вручную на месте

Данный способ может применяться в случае, если отсутствует возможность подъезда грузоподъемонй техники или если необходимо возвести стены сложной конфигурации. Блоки в прогонах между колоннами устанавливают в ряды подобно кирпичной кладке с перевязкой - смещением верхнего ряда на полблока относительного нижнего. Ряды блоков прокладываются горизонтально стальной арматурой, после чего вертикальные полости блоков заливают бетоном. Производится одновременное бетонирование стены (колонн и прогонов) по установленной длине на высоту 3-4 ряда блоков (до 1 м).

Внутренний бетонный каркас стен, сформированный с помощью опалубки Дюрисол, представляет собой пространственную решетку с вертикальными несущими колоннами и горизонтальными перемычками, ячейки которой заполнены материалом опалубки.

Ручная сборка может применяться в комбинации с установкой экрана из готовых панелей.

4.2. Монтаж шумозащитных экранов из готовых панелей Дюрисол

4.2.1. Конструкция панелей

Для изготовления шумозащитных панелей (как элемента акустического экрана) используются специальные блоки Дюрисол с повышенными звукопоглощающими характеристиками типа DSi 25/13, рис.2 (здесь цифры в маркировке типов обозначают - габаритная толщина блока / размер внутренней полости = *толщина несущего бетонного ядра).*

В процессе сборки панелей производится армирование по каждому ряду блоков в горизонтальной плоскости и вертикальное армирование торцевых частей панели.

Торцы панели с двух сторон сформированы в виде сплошных бетонных выпусков для закрепления панели в опорной стойке (рис.2,).

Панели производятся по техническим условиям завода изготовителя ТУ 5741-001-80560517-2011 «Панели звукопоглощающие и звукоизолирующие из Дюрисола», разработанным при участии специалистов БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Панели изготавливаются с габаритными размерами под заказ в соответствии с требованиями проекта акустического экрана:

- длина 291, 391, 491 и 591 см
- высота 75, 100, 125, 150 см

- толщина 25 см *)

*Примечание: *) исходя из требований проекта по дизайну отдельные фрагменты или ряды блоков в панели могут быть смонтированы с разворотом блоков на 180°, при этом толщина панели в габарите составит 30 см.*

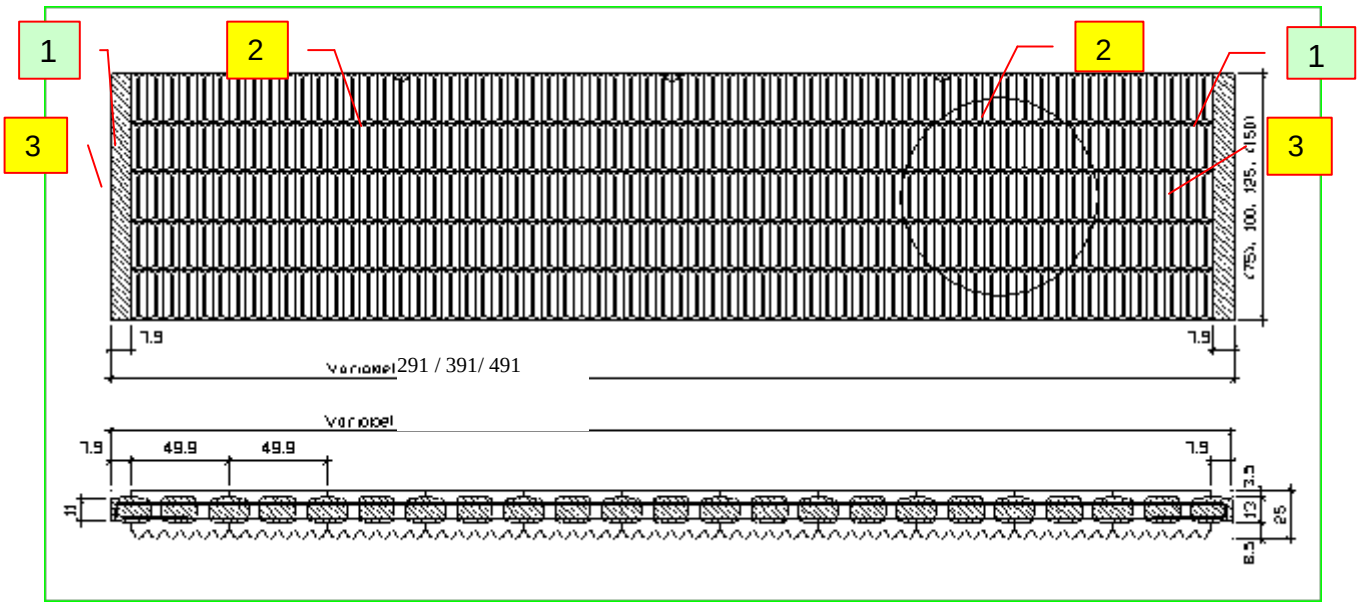


Рис.2

Вес панели в зависимости от соотношения габаритных размеров и плотности используемого бетона составляет от 750 до 2500 кг.

В процессе бетонирования в верхнюю грань панели монтируются с заглублением два закладных элемента, которые используются для переноски панели с помощью кольцевидного захвата.

Оба торцевых выпуска панели снабжены закладными элементами в виде втулки с болтом (стопором), который при вывинчивании осуществляет закрепление панели в распор в опорной стойке.

Дизайн цветового исполнения панелей обеспечивается сочетанием различно окрашенных блоков при сборке панелей. Окраска блоков производится добавлением красителей в объем формовочной смеси при их изготовлении и включает следующие основные цвета: красно-коричневый, серый, бледно-зеленый, бледно-желтый.

Панели привозят на объект и устанавливают в прогоны между предварительно выставленными опорными стойками в виде двутавровых балок из оцинкованной стали. Монтаж панелей в экране производится посекционно, на высоту прогона.

4.2.2. Опорные стойки

Опорные стойки выполнены в виде оцинкованных двутавровых балок № 20 Ш1 из горячекатаной стали (типоразмер подлежит уточнению). Высота стоек выбирается в зависимости от высоты экрана с учетом необходимого заглубления - бетонирования в фундамент на 0,8 -1 м.

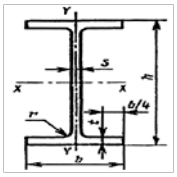


Рис.3

4.2.3. Устройство фундамента

Для установки экрана используется свайный фундамент. Метод устройства свайного фундамента, основанный на зарубежном опыте установки экранов Дюрисол, использует предварительное вдавливание в грунт трубы диаметром 30-50 см на глубину 2-4 м (в зависимости от условий). После установки трубы производится выемка грунта из внутренней полости на глубину 0,8-1 м и более для установки и последующего бетонирования опорной стойки. Перед бетонированием опорная стойка выравнивается по линии разметки фундамента, в плоскостях по вертикали и по высоте. Для закрепления выравнивания стойка с помощью кусков арматуры приваривается к краям опорной трубы. Бетонирование производится по уровню края трубы

4.2.4. Устройство цоколя

В качестве цоколя обычно используется готовая полнотелая бетонная плита длиной в размер расстояния между опорными стойками и высотой в зависимости от проекта. При монтаже панелей на верхнюю грань цоколя устанавливается резиновый уплотнитель.

Возможно устройство цоколя путем бетонирования в опалубку пространства между опорными стойками.

4.2.5. Транспортировка и монтаж панелей

Для доставки панелей к месту установки могут использоваться железнодорожные платформы или автомобили соответствующей грузоподъемности.

Транспортировка панелей до места установки производится в вертикальном положении в пакетах по 5-8 штук с резиновой или деревянной прокладкой между панелями и обвязкой ремнями

Установка панелей производится в створ между опорными стойками друг на друга на требуемую высоту экрана. Перед установкой панели на верхнюю грань нижней панели укладывается резиновый уплотнитель.

Выгрузка и монтаж панелей производится с использованием автокрана или гидравлического манипулятора (при возможности подъезда к полотну) или установленного на платформу крана (рис.4)

Рис. 4

Фиксация панели между полками опорной стойки производится путем выкручивания стопорных болтов.

Общество с ограниченной ответственностью « Б и Г» - завод ДЮРИСОЛ
188513, Ленинградская обл., Ломоносовский р-н, д. Разбегаево, промзона «Разбегаево», Ропшиское шоссе, д.1
Тел. (812) 600 77 22, факс. (812) 600 77 21 www.durisol.ru

Сравнение результатов расчета автодорожного шума жилого района г. Москвы, полученных при использовании трех программных средств

Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А.
НИИСФ РААСН
niisf@mail.ru

1. Введение

В настоящее время много внимания уделяется вопросу борьбы с шумом. Особенно остро этот вопрос стоит в городах, где основным источником шума является автомобильный транспорт.

В данном докладе приведены и проанализированы результаты расчета, полученные при использовании трех программных средств:

- программа АРМ «Акустика» версии 3, разработанная российской компанией ООО «ТЕХНОПРОЕКТ» [1];
- комплекс программ «Эколог-Шум» версии 2.1.0.2584, разработанных российской компанией "Интеграл" [2].
- программа "Predictor" версии 8.13 [3], разработанная совместной голландско-немецкой фирмой «SoftNoise» и распространяемая датской компанией "Bruel & Kjaer".

2. Описание программ и задание исходных данных для расчета

В первых двух программных средствах в качестве расчетной методики реализованы положения ГОСТ 31295.2 [4], являющегося введением в России международного стандарта ИСО 9613-2 [5], который используется в качестве одной из расчетных методик в программе "Predictor". Таким образом, в рассматриваемых в настоящей работе программных средствах использован один метод расчета, что должно приводить к одинаковым результатам для одинаковых дорог с идентичными исходными данными для расчета.

Для выполнения расчетов был взят жилой район, расположенный в северном округе г. Москвы, площадью приблизительно 40 Га. Исходные данные были получены в результате измерений параметров транспортного потока (интенсивность, средняя скорость, доля средств грузового и общественного транспорта), определения вида покрытия проезжей части и ха-

рактера грунта между дорогами и расчетными точками. Наименования дорог и измеренные на них параметры движения приведены в табл.1.

Расчет средней интенсивности, используемой при определении шумовых характеристик дорог в отечественных программах, проводили путем суммирования среднеарифметических значений интенсивности для каждой из групп транспортных средств, при этом, категории транспортных средств «Автобусы», «Тяжелые грузовики» и «Легкие грузовики» были объединены, а показатель средней интенсивности округляли в большую сторону до целого числа. Расчеты во всех программных средствах выполнены без учета метеорологических поправок, а также проведены только для дневного периода. Кроме того, так как в программе "Predictor" не учитывается полосность дороги, то при расчете с помощью других программных средств этот параметр дорог также не принимался во внимание. Дороги разбивали на определенное число прямолинейных участков. За основу был взят алгоритм разбиения, принятый в программном комплексе «Эколог-Шум», как наиболее подробный.

Таблица 1.

Параметры движения

Наименование дороги	Расчетная точка	Интенсивность движения, ед/ч / скорость, км/ч				Средняя интенсивность потока для дороги	Скорость движения транспортного потока, км/ч	Доля грузового транспорта, %
		Легковых автомобилей	Автобусов	Тяжелых грузовиков	Легких грузовиков			
3-й Нижнелихобо рский проезд	1	372/60	6/40	6/40	42/50	452	50	19,2
	2	357/60	6/40	15/40	99/50			
Дмитровское шоссе	3	2856/80	78/60	102/60	354/70	3390	70	15,4
	4	3258/80	96/60	108/60	318/70			
	5	2910/80	126/60	156/60	156/70			
	6	2688/80	120/40	90/40	132/50			
	7	2976/80	48/60	108/60	270/70			
Выезд на Дмитровское шоссе	8	315/60	36/40	6/40	15/50	372	50	18,1
Локомотивны й проезд	9	351/40	57/20	6/20	18/30	463	50	19,1
	10	429/40	12/20	0/20	30/30			
	11	387/60	6/40	9/40	33/50			
	13	396/60	9/40	6/40	30/50			
	14	381/60	9/40	6/40	32/50			
Линейный проезд	12	60/40	0/20	6/20	6/30	72	30	16,6

На данном этапе не рассматривали карты шума выбранного района, а сопоставление результатов расчета проводили в дискретном числе расчет-

ных точек. В качестве расчетных точек выбраны 14 точек, расположенных на расстоянии 7,5 м от середины ближней полосы движения и восемь точек на внутренней территории застройки. Все точки имеют высоту 1,5 м над уровнем дороги. Вместе с тем точка 7 расположена на эстакаде Дмитровского шоссе, поэтому суммарная высота для нее составляет 8,5 м относительно общего уровня земли. В придорожных точках одновременно с измерением параметров движения были выполнены измерения уровней шума, создаваемого движением автотранспорта. Схема района с расположением дорог, застройки и расчетных точек приведена на рис. 1.

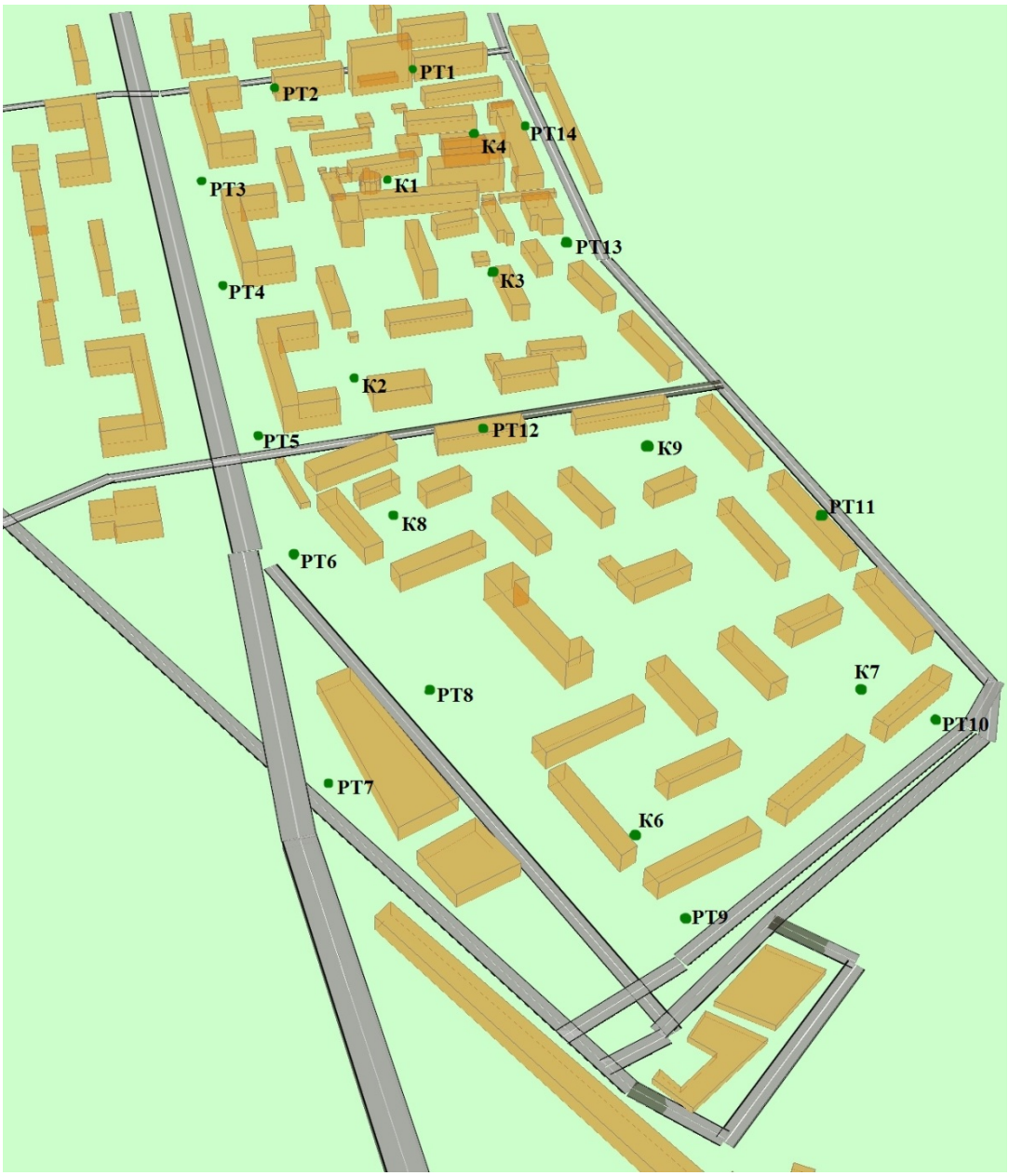


Рис 1. Схема района с расположением расчетных точек

3. Описание алгоритмов расчета

На первом этапе во всех программах рассчитывают значения шумовых характеристик (ШХ) рассматриваемых дорог.

В отечественных программах АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум» в качестве ШХ используются эквивалентные уровни звука в 7,5 м от середины ближней полосы движения на высоте 1 м от уровня дороги. В соответствии с Пособием к МГСН 2.04-77 [6] и учебным пособием [7] значения ШХ рассчитывают с помощью выражения:

$$L_{Аэкв} = 10\lg Q + 13{,}3\lg V + 4\lg(1+\rho) + \Delta L_{A1} + \Delta L_{A2} + 15, \quad (1)$$

где Q – интенсивность движения, ед/ч; V – средняя скорость потока, км/ч; ρ - доля средств грузового и общественного транспорта в потоке, %; ΔL_{A1} – поправка, учитывающая вид покрытия проезжей части улицы или дороги, дБА (при асфальтобетонном покрытии $\Delta L_{A1} = 0$, при цементобетонном $\Delta L_{A1} = 3$ дБ*А*); ΔL_{A2} – поправка, учитывающая продольный уклон улицы или дороги, дБА (не учитывается при расчете в программе АРМ «Акустика»).

По найденному значению $L_{Аэкв}$ рассчитывают эквивалентные уровни звукового давления $L_{Аэкв}$ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 125 до 8000 Гц, применяя частотные поправки, приведенные в [6, 7]. В комплексе «Эколог-Шум» диапазон расширен до нормативного (31,5 – 8000 Гц) за счет введения дополнительных поправок: в полосе 31,5 Гц – 0 дБ, в полосе 63 Гц – 6,5 дБ, в полосе 8000 Гц – минус 25,5 дБ.

В программе "Predictor" расчет ШХ дорог производится в соответствии с голландской методикой RMV-SRM2 [8]. Автомобильный транспорт разделяют на четыре категории (*m*): мотоциклы (*m*=1), легковые автомобили (*m*=2), легкие грузовые автомобили (*m*=3) и тяжелые грузовые автомобили *(m*=4*)*. Для каждой категории рассчитывают корректированный по характеристике шумомера *A* уровень звукового воздействия L_{EAm} по формулам:

$$L_{EAm} = 10\lg\left(Q_m/V_m\right) + a_m(f_{cz}) + b_m(f_{cz})\cdot V + C_{wh} \quad (2)$$

$$C_{wh} = \begin{cases} \max(C_w, C_h) & при\ C_h \neq 0 \\ C_w & при\ C_h = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

где Q_m и V_m – средние интенсивность, ед/ч, и скорость, км/ч, потока машин категории m; $a_m(f_{сг})$ и $b_m(f_{сг})$ – не зависящая от скорости, дБА, и зависящая от скорости, дБA·с/м, части излучения звука для транспортного средства категории m на среднегеометрической частоте $f_{сг}$ октавной полосы частот, определяют по табл. 2; C_w, C_h – поправки, учитывающие тип покрытия и уклон дороги соответственно, дБА.

Таблица 2.

Значения $a_m(f_{сг})$ и $b_m(f_{сг})$ для принятых категорий транспортных средств

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	m = 1		m = 2		m = 3		m =4	
	$a_m(f_{сг})$, дБA	$b_m(f_{сг})$, дБA с/м	$a_m(f_{сг})$, дБA	$b_m(f_{сг})$, дБA с/м	$a_m(f_{сг})$, дБA	$b_m(f_{сг})$, дБA с/м	$a_m(f_{сг})$, дБA	$b_m(f_{сг})$, дБA с/м
63	77,2	0,10	69,2	0,07	94,1	-0,25	102,5	-0,32
125	81,8	0,19	73,6	0,18	91,8	0,01	99,9	0,06
250	86,2	0,19	75,6	0,21	91,7	0,11	99,8	0,05
500	89,3	0,19	79,9	0,19	89,8	0,17	98	0,10
1000	91,5	0,19	81,8	0,20	99	0.07	106,9	0,01
2000	91,2	0,19	81,1	0,20	97,5	0,07	105,4	0,01
4000	86,7	0,19	78	0,18	89,8	0,12	97,7	0,06
8000	86,6	0,10	77	0,09	83,9	0,07	91,8	0,01

По найденным значениям L_{EAm} для каждой категории транспортных средств посредством энергетического сложения рассчитывают суммарный уровень звукового излучения L_{EAtot} и по нему определяют корректированный по A уровень удельной звуковой мощности (на 1 м длины дороги) L_{wA} в дБA с помощью выражения:

$$L_{wA} = L_{EAtot} - 30. \quad (4)$$

Для определения некорректированных значений уровней удельной звуковой мощности L_w в октавных полосах частот в дБ из рассчитанных значений L_{wA} вычитают коррекцию шумомера A (см. например, ГОСТ Р 53188.1 [9]).

В отечественных программах также определяют уровни удельной звуковой мощности L_w в октавных полосах частот. При этом в программе АРМ «Акустика» используют выражение, связывающее уровень удельной звуковой мощности L_w линейного источника длины l, м, с уровнем звукового давления L излучаемого им шума (см. например, справочник [10]):

$$L_w = L + 10\lg\frac{R}{R_0} - 10\lg\left(2arctg\frac{l}{2R}\right) + 8\,, \quad (5)$$

где R = 7,5 м; R_0 = 1 м.

Алгоритм расчета L_w, используемый в программе «Эколог-шум», к сожалению, выяснить у разработчиков программы не удалось.

Вычисление уровней шума в расчетных точках во всех программах производится с помощью выражения [4,5]:

$$L = L_W + D_c - A, \tag{6}$$

где L – октавный уровень звукового давления, дБ; L_w – октавный уровень звуковой мощности точечного источника звука, дБ; D_c - поправка на направленность излучения участка дороги, как правило, принимается равной минус 8 дБ, (излучение в полупространство); A - затухание звука при распространении на местности от источника шума до расчетной точки в октавной полосе частот, дБ.

В соответствии с рекомендациями раздела 4 стандартов [4, 5] линейные источники шума, которыми являются автодороги, должны быть аппроксимированы набором точечных источников посредством разбиения на элементарные отрезки с точечным источником в центре. При этом длина l каждого такого отрезка не должна превышать половины расстояния от него до заданной расчетной точки. Алгоритмы разбиения рассматриваемых участков дорог на точечные источники шума в программных средствах различаются. В программах АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум» коэффициент разбиения взят равным $1/\pi$ и 0,3 соответственно. В программе «Predictor» шаг разбиения существенно более мелкий. Из заданной расчетной точки в направлении рассматриваемого участка дороги проводят лучи с шагом α, которые и разбивают линейные источники на отрезки. Диапазон значений α рекомендован от 1˚ до 10˚. По умолчанию принимают α = 2˚. Это значение и принято в рассматриваемом варианте программы.

Уровень звуковой мощности L_w элементарного отрезка дороги длиной l_i (и аппроксимирующего его точечного источника звука) рассчитывают из значения уровня удельной звуковой мощности L_w рассматриваемого участка дороги с помощью выражения:

$$L_W = L_w + 10lg\frac{l_i}{l_0}, \tag{7}$$

где l_0 = 1 м.

Уровень звукового давления в расчетной точке рассчитывают с помощью выражения (6) для каждого элементарного отрезка (точечного источника шума) и полученные значения энергетически суммируют для всех элементарных участков и всех учитываемых в расчете дорог.

Расчет затухания ведется по формуле [4,5]:

$$A = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{gr}} + A_{\text{bar}} + A_{\text{fol}} + A_{\text{site}} + A_{\text{hous}}, \quad (8)$$

где A_{div} – затухание из-за геометрической дивергенции, дБ; A_{atm} – затухание из-за поглощения звука атмосферой, дБ; A_{gr} – затухание из-за влияния покрытия грунта, дБ; A_{bar} – затухание из-за экранирования, дБ; A_{fol} – затухание из-за влияния зеленых насаждений, дБ; A_{site} – затухание в промышленных зонах, дБ; A_{hous} – затухание в жилых массивах, дБ.

4. Анализ результатов расчета

Результаты расчета уровней звука *A,* полученные в расчетных точках с помощью рассматриваемых программ приведены в табл. 2 и графически представлены на рис. 2. В таблице и на рисунке приведены также результаты измерений.

Из полученных данных видно, что в случае пористого грунта (показатель грунта между дорогой и расчетной точкой *G*=1) результаты, полученные с помощью программ АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум» в большинстве придорожных точек близки друг к другу. Расхождение не превышает 2 дБ*A*. При этом подробный (шаг за шагом в соответствии с описанным алгоритмом) протокол расчета, предоставляемый программой АРМ «Акустика», показал, что уровни шума в придорожных точках определяются прямым звуком от ближайшей дороги. Существенное расхождение в 10,2 дБ*A* получено в точке 7, расположенной на эстакаде Дмитровского шоссе. При этом из протокола расчета, даваемого программой «Эколог-Шум», следует, что в этой расчетной точке вклад отраженного звука в октавных полосах частот более чем на 10 дБ превышает вклад прямого звука, что не соответствует физической картине процесса распространения и отражения звука в данной точке.

Таблица 2.

Рассчитанные и измеренные значения уровней звука *A* в расчетных точках

Наименование дороги	Номер точки по сх. на рис.1	Показания шумомера	АРМ «Акустика»		«Эколог-Шум»	«Predictor»	
			G=1	*G*=0	*G*=1	*G*=1	*G*=0
		Придорожные точки					
3-й Нижнелихоборский проезд	1	65,9	69,2	71,3	70,7	63,3	67,8
	2	66,3	69,6	71,8	71,1	62,2	67,4
Дмитровское шоссе	3	70,3	75,0	77,3	76,7	65,4	71
	4	72,2	76,4	78,7	78,1	67,4	72,7

Наименование дороги	Номер точки по сх. на рис.1	Показания шумомера	АРМ «Акустика»		«Эколог -Шум»	«Predictor»	
			G=1	*G*=0	*G*=1	*G*=1	*G*=0
	5	76,1	77,1	79,3	78,4	68,4	73,5
	6	74,6	75,7	78,0	77,3	67,5	72,3
	7	80,0	79,3	80,8	89,5	72,7	75,9
Выезд на Дмитровское шоссе	8	63,9	67,4	69,9	69,8	61	66,1
Локомотивный проезд	9	65,0	70,1	72,4	71,7	63,3	68,1
	10	61,2	70,5	72,7	71,5	63,8	68,3
	11	70,7	70,6	72,6	71,2	64,3	68,5
	13	70,6	65,7	67,9	66,8	58,9	63,5
	14	70,4	69,7	71,7	71,1	63,6	68
Линейный проезд	12	60,4	63,1	65,2	62,7	61,5	65,4
	Точки внутренней территории застройки						
	к1	-	40,9	40,9	47,2	38,3	43,6
	к2	-	49,8	50,9	56,6	46,9	53,7
	к3	-	48,0	50,5	48,2	43,3	48,7
	к4	-	41,4	41,4	46,8	40,3	46,9
	к5	-	52,8	54,6	57,9	46,8	53,4
	к6	-	55,8	58,0	58,9	48,1	54,1
	к7	-	50,1	51,3	58,2	46,9	53
	к8	-	51,2	53,4	56,0	46,2	52,3

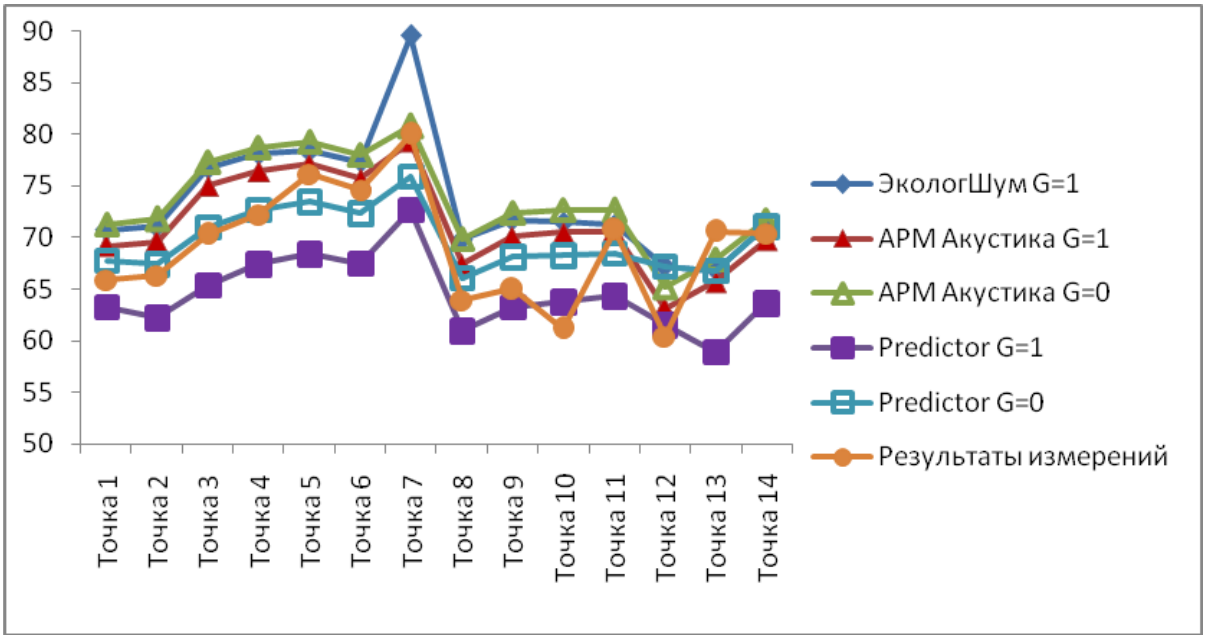


Рис. 2. Уровни звука, рассчитанные и измеренные в придорожных точках

Данный результат противоречит также протоколу программы АРМ «Акустика», в соответствии с которым вклад прямого звука от всех точечных источников, которые аппроксимируют расположенный у расчетной точки отрезок Дмитровского шоссе существенно (более чем на 5 дБ, а для большинства источников более чем на 10 дБ) превышает вклад отраженного звука. Во всех придорожных точках результаты расчета, полученные с помощью программы АРМ «Акустика» ближе к результатам измерений, хотя и выше последних в среднем на 2 дБ*А*.

Результаты, полученные с помощью программы «Predictor», при *G*=1 значительно ниже результатов, даваемых другими программами, и ниже результатов измерений в расчетных точках. Расхождения с результатами, полученными с помощью программы АРМ «Акустика», составляют от 5,9 дБ*А* до 9,6 дБ*А* (за исключением точки 12, где оно равно 1,6 дБ*А*). Расхождения с результатами расчета, полученными с помощью программы «Эколог-Шум», еще больше: от 7,4 дБ*А* до 16,6 дБ*А* (1,2 дБ*А* в точке 12). В пяти придорожных точках (1, 8, 9, 10, и 12) полученные расчетные значения ближе к результатам измерений, в остальных девяти точках отличие такое же или большее, чем для результатов, полученных с помощью программы АРМ «Акустика». Среднее расхождение составляет минус 4,6 дБ*А*. Варьирование показателя грунта *G* в программе «Predictor» более существенно влияет на результаты расчета, чем в программе АРМ «Акустика» и в ряде точек приближает результаты расчета к измеренным величинам, снижая среднее расхождение до 0 дБ*А*, в то время как для результатов, полученных с помощью программы АРМ «Акустика», оно возрастает до 4,4 дБ*А*. Следует отметить, что в комплексе «Эколог-Шум» для расчета используется фиксированное значение *G*=1, что не позволяет варьировать акустические параметры грунта, как это предусмотрено ГОСТ 31295.2 [4]. Кроме того в данном программном продукте максимальная интенсивность движения ограничена значением 3000 ед/ч.

В точках, расположенных внутри территории застройки расхождение результатов расчета также существенно. Так в шести точках (из восьми), результаты расчета, полученные с помощью программ АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум», при *G* = 1 различаются на 3,1…8,1 дБ*А* (что в среднем составляет 4,5 дБ*А*), а полученные с помощью программ АРМ «Акустика» и Predictor – на –4,8…7,7 дБ*А* (2,9 дБ*А*). Для последних двух программ расхождения между результатам расчета перераспределяются при использовании *G* = 0 и дают среднее расхождение в 0,2 дБ*А*. Следует отметить, что в расчетных точках на внутренней территории застройки суммарный вклад отраженного и экранированного звуков превосходит вклад прямого звука, а в точках К1, К3 и К4 вклад прямого звука равен нулю, т.к. нет участков дорог в зоне прямой видимости из этих точек.

5. Выводы

Имеются существенные различия в результатах расчета, полученных с помощью рассмотренных программных средств. При этом программы АРМ «Акустика» и «Predictor» дают более согласованные и непротиворечивые результаты, несмотря на различие в подходах к расчету шумовых характеристик. К преимуществам этих программ следует также отнести возможность варьирования значения показателя грунта *G* между дорогой и расчетной точкой. Причем в программе АРМ «Акустика» значение *G* можно варьировать для каждой расчетной точки, в то время как в программе «Predictor» принимается одно значение для всех расчетных точек.

В программном комплексе «Эколог-Шум» необходимо провести детальные проработки расчетов при наличии изменения рельефа дороги, в частности эстакад, и расширить возможный диапазон задания интенсивности движения.

Целесообразны более детальные исследования расчетов внутри территории застройки, где возрастает роль отраженного и экранированного зданиями шума.

Литература

1. АРМ «Акустика» // ООО «ТЕХНОПРОЕКТ»: сайт 2013. URL:http://www.noiseview.ru/ (дата обращения: 24.02.2013)

2. «Эколог-Шум» // Компания "Интеграл": сайт 2013. URL:http://integral.ru/shop/cargo/141.html (дата обращения: 24.02.2013).

3. Predictor Analyst Type 7813 // Компания «Брюль и Къер»: Сайт, 2013. URL:http://www.bksv.com/products/environmentmanagementsolutions/noise%20mapping%20and%20prediction/predictor-analyst-7813.aspx (дата обращения: 24.02.2013).

4. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.

5. ISO 9613-2:1996 Noise. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2. General method of calculation.

6. Пособие к МГСН 2.04-97. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.

7. "Звукоизоляция и звукопоглощение. Учебное пособие". Осипов Л.Г., Бобылев В.Н., Борисов Л.А. Москва, АСТ, 2004.

8. RMV-SRM II Standaard rekenmethode 2 van het Reken en Meetvoorschrift Verkeerslawaai.

9. ГОСТ Р 53188.1-2008. Шумомеры. Часть 1. Технические требования.

10. Handbook of noise and vibration control/ Edited by Malcolm J. Crocker. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2007, Chapter 5.

Варианты устранения однообразия, создаваемого акустическими экранами

Колмаков А.В.
УралГАХА, Екатеринбург
kolmakov_av@mail.ru

Всем известно, что повышенное звуковое давление в шумовом канале, в который превращается участок дороги, выгороженный акустическими экранами (далее АЭ), очень сильно утомляет водителя и пассажиров. Этому способствуют не только повышенный уровень шума, но и однообразие ограниченного пространства. Совокупность этих факторов усыпляет бдительность водителя и может вызывать агрессию, что сказывается на безопасности движения. Светопрозрачные вставки, призванные расширить границы воспринимаемого пространства, как правило, слишком быстро перестают выполнять свою функцию, ввиду отсутствия регулярной очистки.

Общие требования проектирования АЭ включают в себя функциональную составляющую (т.е. изоляция от шума), безопасность и простоту технического обслуживания, а также эстетически привлекательный вид, который не утомлял бы водителя во время пути и воспринимался со стороны защищаемой территории. Однако, чаще всего, установленные АЭ, представляют собой высокий забор, превращающий дорогу в шумовой канал, утомляющий водителя во время движения.

Следовательно, в целях улучшения обстановки, необходимо предусмотреть: 1) способы снижения шумовой нагрузки;

2) возможность раскрытия бокового пространства.

Для этого можно рассмотреть различные варианты геометрии АЭ и возможность использования разнообразных физических принципов, способствующих защите от шума (работающих по принципу отражения, дифракционного рассеяния, поглощения и резонансного поглощения).

В некоторых случаях, можно пренебречь эффективностью звукоизолирующих свойств АЭ в пользу расширения бокового вида, которое будет способствовать снятию напряжения водителя, вызываемого ограниченностью видимого пространства, и, тем самым, повышать безопасность дорожного движения. Для осуществления такой идеи, предлагается разделить плоскости АЭ и расположить их по типу жалюзи. Для определения параметров расположения элементов АЭ, следует учесть ряд условий распространения шума и свойств звуковых волн.

В данном случае, движущийся транспорт не стоит рассматривать как источник распространения цилиндрических волн. Скорее, его нужно пред-

ставить как совокупность множества точек импульсного шума, находящихся на некоей траектории и объединенных определенным промежутком времени. В рассматриваемый промежуток времени эти точки поочередно издают шум. В результате, если представить распространение исходящих звуковых волн в плоскости плана, проезжающий автомобиль можно сравнить с быстро движущимся катером. Его перемещение вызывает расходящиеся волны, которые бегут с гораздо большей скоростью, чем скорость его собственного движения. Кроме того, производимые волны имеют широкий спектр длин (Рис. 1).

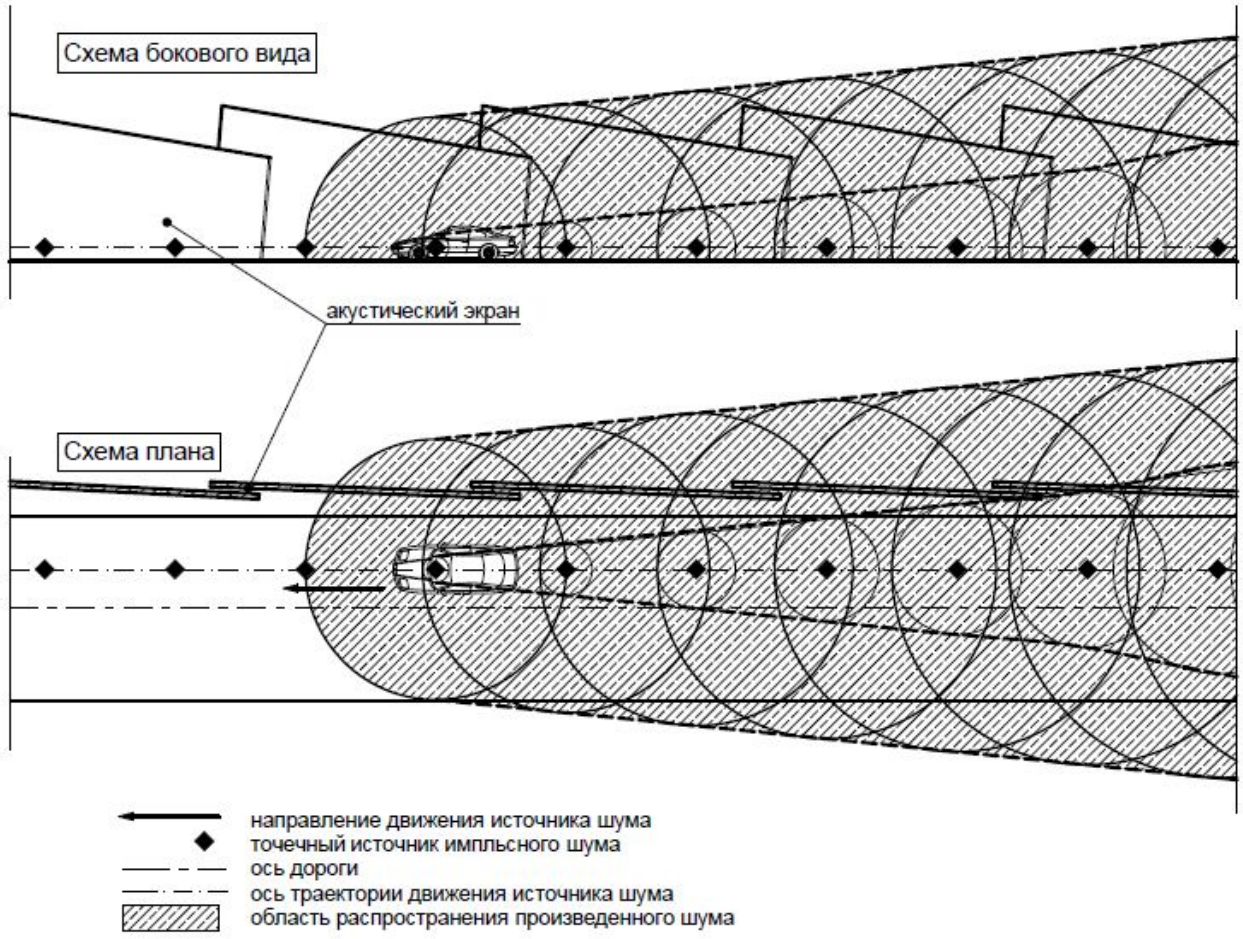


Рис.1. Схема распространения шума от автомобиля.

Нас интересует плоскость плана, т.к. именно с ней предстоит иметь дело при построении геометрии расположения штучных элементов АЭ. Элементы АЭ должны располагаться т.о., чтобы основной своей плоскостью максимально отражать, рассеивать или поглощать создаваемый шум. Также нужно учесть угол раскрытия плоскостей АЭ по отношению к по-

тенциальному наблюдателю, чтобы чередование торцов АЭ и открытого пространства, могло формировать целостную картину пейзажа. При перемещении наблюдателя с достаточно высокой скоростью, как известно, происходит эффект размытия предметов, расположенных вблизи, мешающих восприятию дальнего плана (Рис. 2).

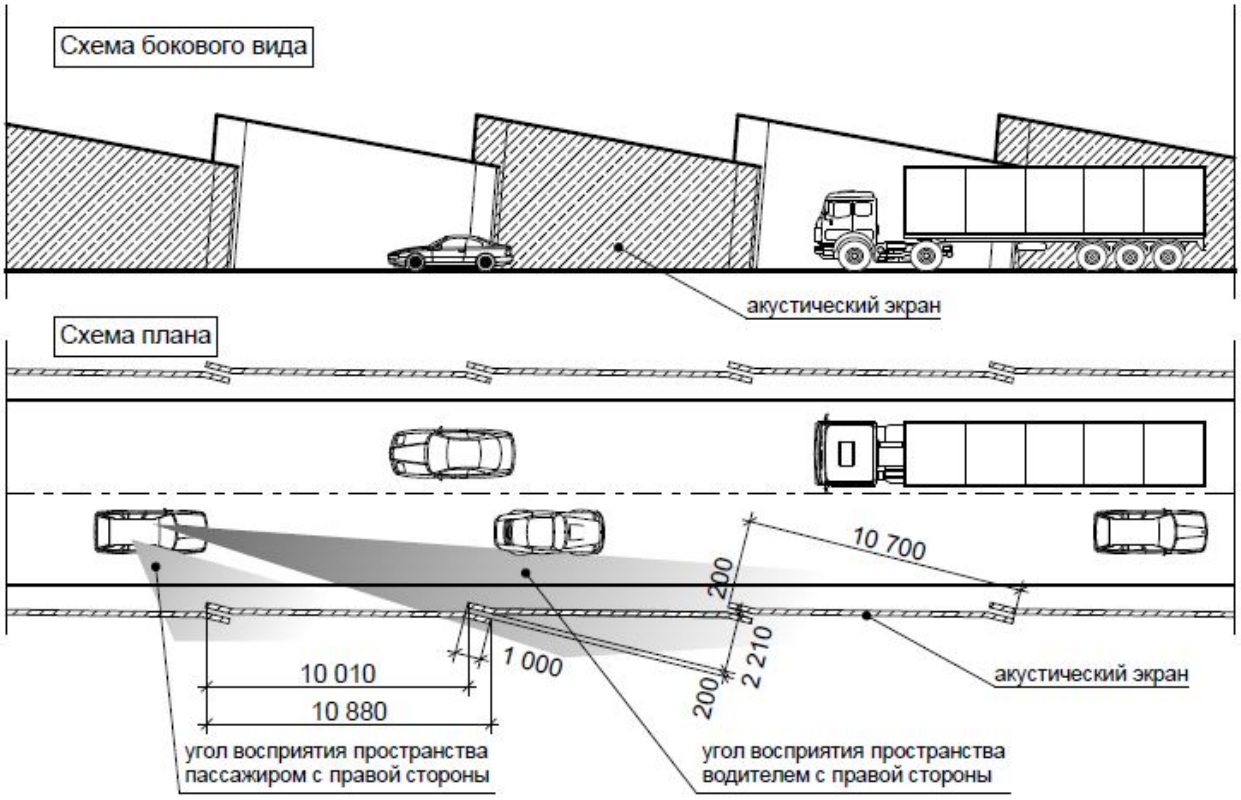


Рис.2. Схема установки элементов АЭ. Вариант 1.

Данный концепт предлагает расположить элементы АЭ с перекрытием минимум 5:1. (Общее эмпирическое правило: чтобы обеспечить незначительное ухудшение акустических характеристик экрана, соотношение между длиной участка перекрытия и расстоянием между экранами должно быть 4:1.) Расстояние между перекрывающими элементами должно удовлетворять нормам для не распространения звуковых волн с частотами, которые не претерпевают снижения интенсивности при прохождении по воздуху на относительно короткие расстояния (т.е. звуковые волны с частотами до 2000 Гц). Если взять граничную частоту $f = 2000$ Гц, используя известную формулу, мы получим наибольшее расстояние 17 см, которое можно использовать для проектирования расположения элементов АЭ.

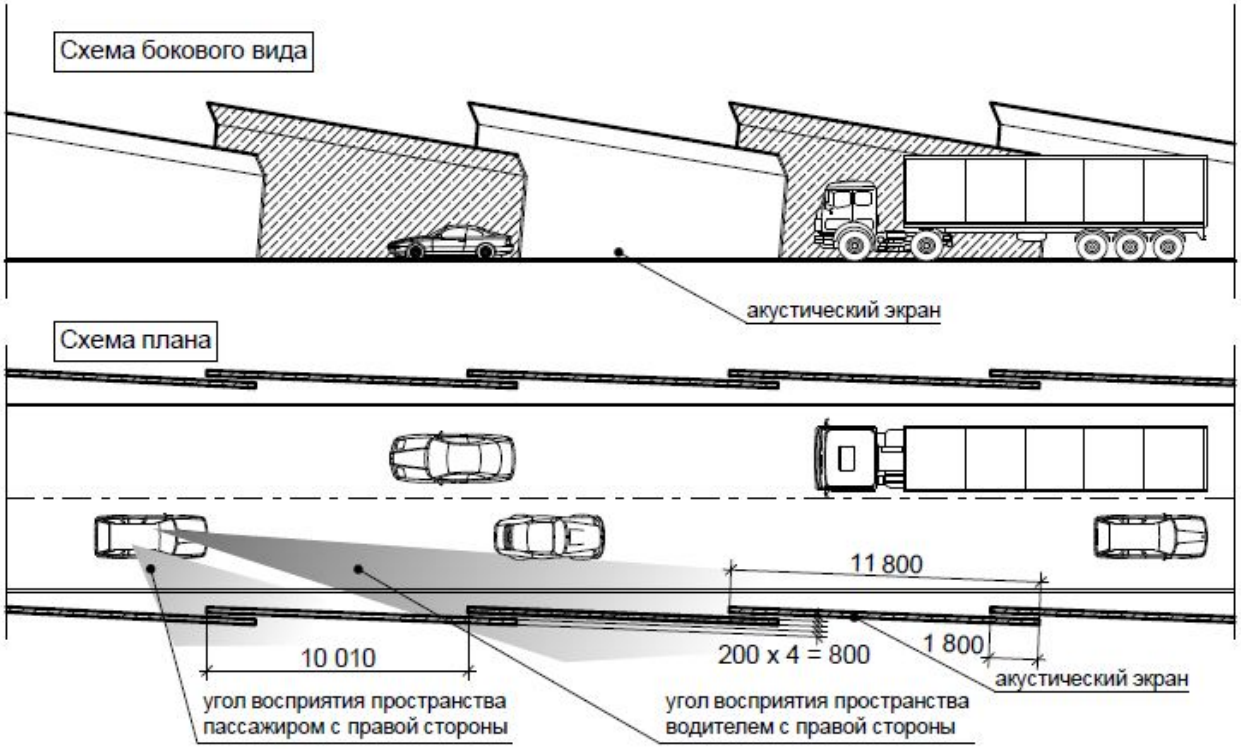


Рис.2. Схема установки элементов АЭ. Вариант 2.

Для большей эффективности элементы АЭ следует установить наклонно, с тупым углом к плоскости дороги, чтобы создаваемый автомобилями шум отражался в небо. Материал элементов, как и ранее, может быть любым: кирпичная, каменная или блочная кладка, бетон, металл, древесина, прозрачные материалы, пластмассы, рециклированная резина, композиты.

В случае реализации идеи дифракционного рассеяния, предположительно, лучше подойдет листовая сталь толщиной 0.7 мм. Она удобна в обработке, ей проще придать складчатую структуру поверхности, удовлетворяющую условиям максимально эффективного дифракционного рассеяния как можно большего спектра звуковых волн. После штамповки (или другого способа обработки) прямоугольный в плане лист, принимает форму трапеции.

Примерные параметры готового листа до обработки: 6 м. х 18 м.. После обработки (придания гладкому листу геометричной складчатой структуры) размер сократится по длине, примерно, на 1 – 1.5 м. По ширине стороны будут иметь неодинаковые размеры: с одной стороны, примерно, - 5.5 м.; с другой стороны, 3 м. – 4 м. Разбег размеров зависит от эффективности создаваемого рельефа складчатой поверхности, которая, в свою очередь, зависит от выбранного рисунка членения.

При выборе членений необходимо учитывать, что хорошо рассеиваются звуковые волны, длины которых близки по размерам к членению поверхности. Наиболее пригодны для этой цели элементы с криволинейными и выпуклыми членениями, которые способны рассеивать и более короткие волны. При использовании периодически расположенных элементов, рассеивание звуковых волн зависит не только от их формы и размеров, но и от их шага.

В зависимости от выбранного рисунка складчатой структуры, неодинаковое сжатие противоположных сторон АЭ может придать изначально прямоугольному листу форму трапеции или сегмента усеченной пирамиды. Кроме того, АЭ предлагается закрепить т.о., чтобы конструкция выполняла функцию резонансного поглотителя низких частот, в наиболее сложно гасимой части спектра 100Гц и ниже. Однако, для эффективной работы этой конструкции не будет хватать некоего замкнутого объема, в котором заключенный воздух выполняет роль пружины. Тем не менее, можно установить панель непосредственно на амортизаторы. Таким образом, создаваемые звуковые колебания, при наклонном проектном положении панели, будут гаситься, со стороны защищаемой территории, покрытием, расположенном за АЭ (трава и др.). Кроме того, роль пружины может выполнять незамкнутый объем воздуха находящийся под пластиной АЭ. В данном случае, упругость воздуха достижима за счет большой площади элемента АЭ и его относительно малого веса.

Шумозащитную эффективность применения данного концепта, его экономическую целесообразность и согласование с нормами безопасности, необходимо проверить экспериментально. Однако, уже сейчас ясно, что он может быть легко внедрен (при положительном исходе опытов), т.к. содержит возможность стандартизации и потенциал эстетического разнообразия. Это позволит решить проблемы связанные с устранением вредного влияния шума и однообразия замкнутого пространства.

Литература

1. Обзорная информация ФДА «Росавтодор» Министерства транспорта РФ, 2005 год. Контактное лицо: Сергей Денисов. sd@masstar.ru

2. Поспелов П.И. Опыт применения акустических экранов на МКАД и перспективы их применения на автомобильных дорогах. Сборник докладов конференции. «Защита населения от повышенного шумового воздействия». Санкт-Петербург,21-22 марта 2006 года.

3. Попова М.В., Федоренко С.Н., Давыдов В.В. К учету физико-механических характеристик акустических экранов. Сборник докладов конференции. «Защита населения от повышенного шумового воздействия». Санкт-Петербург,22-24 марта 2011 года.

4. Тюрина Н.В. Применение акустических экранов для снижения шума в жилой застройке. Сборник докладов конференции. «Защита населения от повышенного шумового воздействия». Санкт-Петербург,21-22 марта 2006 года.

5. Грибов С.А. Особенности проектирования и производства шумозащитных экранов. Сборник докладов конференции. «Защита населения от повышенного шумового воздействия». Санкт-Петербург,22-24 марта 2011 года.

6. Дымченко В.В., Тишков В.А. Экспериментальные исследования звукоизоляции ореберных ограждений. Сборник докладов конференции. «Защита населения от повышенного шумового воздействия». Санкт-Петербург,22-24 марта 2011 года.

7. Защита от шума в градостроительстве // Справочник проектировщика, Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др.; Под ред. Г.Л. Осипова. – М. Стройиздат, 1993.

8. Шубин И.Л. Расчет шума проникающего за экран. Сборник докладов конференции. «Защита населения от повышенного шумового воздействия». Санкт-Петербург,22-24 марта 2011 года.

Методология оценки риска здоровью населения от воздействия транспортного шума

Носков С.Н., Фридман К.Б.
СЗГМУ им. И.И. Мечникова
кафедра коммунальной гигиены
sergeinoskov@mail.ru

Наряду с загрязнением атмосферного воздуха выхлопными газами автотранспорта, шум стал не менее значимым фактором воздействия на здоровье населения. Воздействие транспортного шума на окружающую среду, в первую очередь, на среду обитания человека, стало глобальной проблемой. По существующим оценкам специалистов около 40 млн. населения России проживает в условиях шумового дискомфорта, причем половина из них испытывает воздействие шума более 65 дБа. В настоящей работе рассматривается методологические подходы к оценке риска здоровью населения от транспортного шума селитебных территорий, роль данного фактора в формировании здоровья популяции в зависимости от продолжительности пребывания людей в местах с повышенным уровнем шума, изложенные в МР 2.1.10.0059-12 «Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума».

Оценка риска для здоровья населения при воздействии транспортного шума в условиях населенных мест выполняется с целью:

- выявления факторов, представляющих потенциальную опасность жизни и здоровью человека, а также возможности причинения вреда здоровью при воздействии шума;
- прогноза изменения санитарно-гигиенической ситуации в условиях стабилизации или изменения уровней воздействия на население шума;
- обоснования санитарно-гигиенических (профилактических) мероприятий.

Методические подходы изложенные в рекомендациях могут быть использованы при:

- проведении гигиенических оценок, исследований и экспертиз;
- планировании развития селитебных территорий;
- проектировании путей сообщения и транспортных предприятий, размещаемых на территории населенных мест;
- обосновании управленческих решений направленных на снижения уровней риска здоровью населения, связанного с воздействием

транспортного шума, в том числе при разработке мер по его снижению.

Анализ риска при воздействии транспортного шума на здоровье населения включает в себя:

- оценку риска;
- управление риском;
- распространение информации о риске

Полная (базовая) схема оценки риска предусматривает проведение четырех этапов:

- идентификация опасности; -оценка воздействия (экспозиции) шума на человека;
- оценка зависимости "экспозиция – ответ";
- характеристика риска.

Основными задачами этапа идентификации опасности являются характеристика источников транспортного шума, выявление особенностей его пространственного и временного распределения, определение численности населения, подвергающегося вредному акустическому воздействию.

Этап идентификации опасности предусматривает выявление, сбор и анализ всей возможной информации об источниках шума, воздействующего на население, с целью определения:

- уровня и частотных характеристик шума;
- распределения шума на селитебной территории;
- времени воздействия шума: сутки, неделя, месяц, год и пр.;
- численности населения, подвергающегося акустическому воздействию;
- вероятных нарушений здоровья, связанных с воздействием шума.

Оценка экспозиции включает в себя определение нормируемых параметров шума в заданный момент времени и продолжительности его воздействия (через учет числа и продолжительности звуковых событий), а также оценку суточного взвешенного шума как меры контакта населения с вредным фактором. Исходными данными являются результаты инструментальных измерений шума, а также результаты производственного контроля на транспортных объектах (мониторинг дорожных сетей, окружных, объездных дорог, внутрипроизводственного транспорта и в санитарно-защитных зонах и т.п.). Для оценки ожидаемой экспозиции при проектировании могут быть использованы расчетные значения эквивалентного шума, полученные эмпирическим путем или путем трехмерного математического моделирования распространения и затухания шума на основе применения аттестованных (рекомендованных) методов.

Этап анализа зависимостей «экспозиция-ответ» и «экспозиция-эффект» предусматривает доказательное установление связи между экспо-

зицией и частотой, распространенностью, видом и степенью выраженности предполагаемого вредного эффекта в популяции, подверженной вредному воздействию транспортного шума.

Результаты гигиенической оценки должны содержать необходимые и достаточные доказательства причинной связи выявленных нарушений здоровья с воздействием на организм транспортного шума. В общем виде доказательство подобной связи обеспечивается выполнением следующих условий (критериев):

- начало вредного воздействия транспортного шума всегда предшествует времени появления в экспонированной группе предполагаемого нарушения здоровья;
- наблюдаемый вредный эффект согласуется с известными представлениями о механизмах вредного действия шума;
- связь между предполагаемым нарушением здоровья и вредным воздействием шума статистически достоверна;
- увеличение экспозиции (интенсивности/времени воздействия) шума на отдельные группы населения сопровождается достоверным увеличением частоты или распространенности предполагаемого нарушения здоровья в этих группах (имеются зависимости типа "экспозиция-ответ" или "экспозиция-эффект");
- устранение или снижение интенсивности воздействия шума сопровождается снижением показателей частоты возникновения и/или распространенности предполагаемого нарушения здоровья;
- сведения, полученные в ходе изучения причин и последствий вредного воздействия шума на организм, соответствуют всем требованиям, установленным нормативными документами к полноте и качеству эпидемиологического исследования, лабораторно-инструментальных измерений, объему и качеству лабораторно-диагностического и клинического обследования лиц с выявленными нарушениями, обоснованности клинического диагноза.

При наличии достаточных доказательств, связь между вредным воздействием шума и нарушением здоровья может быть признана существенной и достоверной, не только когда предполагаемый фактор является единственной причиной этого нарушения, но также и в тех случаях, когда его вредное действие ускоряет или утяжеляет возникновение вредного эффекта.

Характеристика риска интегрирует данные, полученные на всех предшествующих этапах исследования, и имеет целью получить количественную и качественную оценку риска, выявление и анализ значимости существующих проблем для здоровья населения, и является связующим звеном между оценкой риска для здоровья и управлением риском.

Характеристика риска осуществляется в виде следующих этапов:

- обобщение результатов оценки экспозиции и зависимостей «экспозиция- ответ»;
- расчет значений риска для отдельных видов нарушений здоровья. На этом же этапе может быть выполнен расчет риска от отдельных источников шума или групп источников
- расчет агрегированного совокупного риска нарушений здоровья, связанных с транспортным шумом.
- расчет популяционного риска для отдельных групп населения;
- выявление и анализ неопределенностей оценки риска.
- обобщение результатов оценки риска и представление полученных данных лицам, участвующим в управлении рисками.

Управление риском является логическим завершением результатов оценки риска здоровью и направлено на обоснование выбора наилучших в конкретной ситуации решений для его устранения или минимизации, а также динамического контроля (мониторинга) экспозиций и риска, оценки эффективности и корректировки оздоровительных мероприятий. Управление риском включает в себя принятие технических, технологических, организационных, социальных, правовых, экономических, нормативных, политических, и иных решений на основе выводов и оценок, полученных в ходе характеристики риска.

Рекомендации по управлению риском шумового фактора могут разрабатываться с учетом следующей оценочной шкалы индекса $\tilde{R}_t^{Асов}$:

- величина $\tilde{R}_t^{Асов}$ составляет менее 0,05, что может оцениваться как риск низкий, слабо влияющий на уровень состояния здоровья на исследуемой территории. Рекомендуются меры по организации сокращенного (выборочного) мониторинга шумовой нагрузки, планированию мероприятий, которые могут быть реализованы в долгосрочной перспективе (5 лет и более). Плановый пересмотр уровней риска рекомендуется с частотой не реже, чем один раз в пять лет, а также при размещении на территории новых источников шума и изменении градостроительной ситуации;
- величина $\tilde{R}_t^{Асов}$ находится в диапазоне 0,05-0,35, что может оцениваться как умеренный (средний) риск. Рекомендуются меры по организации постоянного мониторинга шумовой нагрузки. Мероприятия по снижению шумовой нагрузки рекомендуется разрабатывать с учетом среднесрочной и краткосрочной перспективы (1-3 года). Плановый пересмотр рекомендуется с частотой не реже одного раза в три года. Мероприятия по снижению шумовой нагрузки рекомендуется разрабатывать с учетом среднесрочной и краткосрочной перспективы (1-3 года). Рекомендуется пересмотр степени риска каждый год.

– величина $\tilde{R}_t^{Асов}$ находится в диапазоне 0,35-0,6, что оценивается как высокий риск. Рекомендуются меры по организации расширенной программы мониторинга шумовой нагрузки с проведением дополнительных исследований в местах и/или в периоды максимальных уровней шума. Мероприятия по снижению шумовой нагрузки рекомендуется разрабатывать на ближайшую краткосрочную перспективу в течение года. Рекомендуется пересмотр степени риска каждый год;
– величина $\tilde{R}_t^{Асов}$ превышает уровень 0,6, что оценивается как экстремальный риск. Рекомендуются меры по немедленному прекращению деятельности основных источников шума или выводу населения из зоны вредного воздействия. Рекомендуется повторная оценка уровней риска после принятия мер по снижению неблагоприятного воздействия транспортного шума на здоровье населения

Выбор управленческих решений предусматривает обоснование типовых решений, связанных с уменьшением влияния транспорта на здоровье населения.

Этот выбор может осуществляться в трех основных направлениях:

1) Прекращение вредного воздействия транспортного шума на население путем организации санитарно-защитных разрывов, трассировка и проектирование новой трассировки путей сообщения за пределами селитебных зон

2) Снижение интенсивности транспортных потоков путем введения ограничений для проезда наиболее шумных транспортных средств по селитебной территории и ограничение их движения в ночное время суток. Организация транзитных и объездных путей сообщения в целях перераспределения шумовой нагрузки.

3) Разработка технических мероприятий по снижению транспортного шума на территории жилых зон и в жилых помещениях (экранирование магистралей, увеличение шумопоглощающих свойств строительных конструкций и остекления зданий, изменение покрытия дорог и т.д.).

В целом использование методологии оценки риска для здоровья населения в условиях зашумленности городских территорий позволяет формировать информационно-аналитическую основу широкого спектра управленческих решений, в том числе архитектурно-планировочных, медико-профилактических, организационных и т.п.

АО «Литовские железные дороги» шумовой контроль: текущая ситуация и перспективы

Гуданавичюс Е.
АО «ЛИТОВСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»
e.gudanavicius@litrail.lt

АО «Литовские железные дороги» шумовой контроль : текущая ситуация и перспективы

Аннотация

- Регламентирование шума в Европейском Союзе;
- Регламентирование шума в Литовской Республике;
- Шумовой контроль в Литовской Республике;
- Допустимые нормы уровня шума в Литовской Республике;
- Шумовой контроль – АО «Литовские железные дороги»:
  - текущая ситуация;
  - обязанности в области шумового контроля;
  - стратегия шумового контроля;
  - международное сотрудничество;
  - меры по предотвращению шума ;
  - долгосрочные перспективы по предотвращению шума

Регламентирование шума – в Европейском союзе

Директива Европейского парламента и Совета от 25 июня 2002 г. об оценке и управлении шумом в окружающей среде

Цель директивы — определить общие процедуры, с помощью которых можно уменьшить, предотвратить или избежать вредного воздействия шума окружающей среды.

Для осуществления цели члены ЕС должны:

- определить воздействие шума окружающей среды картографическим методом;
- информировать общественность о влиянии шума окружающей среды;
- согласно результатов картографии подтвердить план действия по уменьшению или предотвращению шума.

Директивы включены в национальное законодательство Литовской Республики

Регламентирование шума – в Литовской Республики

Закон Литовской Республики от 26 октября 2004 г. № IX-2499 по вопросам шумового контроля

Цель закона – регламентировать контроль деятельности, в процессе которой распространяется шум, в целях защиты жизни и здоровья людей, а так же окружающей среды от вредного воздействия шума.

Закон устанавливает правовые основы предотвращения шума, право шумового контроля субъектов, а так же порядок контроля и мониторинга шума. Закон регламентирует основные принципы и меры по шумовому контролю.

Постановлением № 581 правительства Литовской Республики от 14 июня 2006 г. подтверждена Национальная стратегическая картографическая программа шума

Программа предусматривает:

- совершенствование административных способностей государственных и местных органов власти, ответственных за стратегическое картографирование;
- подготовку стратегических карт шума агломераций, главных дорог, железных дорог и крупных аэропортов;
- оценку степени воздействия шума на людей, живущих в агломерациях, около главных дорог, железных дорог и крупных аэропортов, по числу людей, подвергшихся определённому уровню шума;
- информировать общественность о результатах стратегического картографирования шума.

Шумовой контроль в Литовской Республике

Согласно закону ЛР по вопросам шумового контроля, и осуществляя первую цель директивы 2002/49/ЕВ Европейского парламента и совета, подготовлены стратегические карты шума картографическим методом:

1. с середины 2007 г. городские самоуправления Вильнюса и Каунаса подготовили стратегические карты шума агломераций, которые были обновлены в 2012 г.;

2. с 30 июня 2012 г. городские самоуправления Клайпеды, Шяуляй и Паневежиса подготовили стратегические карты шума агломераций;

3. в середине 2012 г. Государственная железнодорожная инспекция при Министерстве транспорта ЛР подготовила стратегические карты шума основных железных дорог.

Допустимые нормы уровня шума в Литовской Республике

- Допустимые нормы уровня шума в Литовской Республике указаны в гигиенической норме HN 33:2011 «Допустимые нормы уровня шума в жилых и общественных домах и в их окружении»
- Допустимые нормы уровня шума в жилых и общественных домах и в их окружении:

№ п/п	Название объекта	Время суток, час.	Эквивалентный уровень звукового давления (L_{AeqT}), dBA	Максимальный уровень звукового давления (L_{AFmax}), dBA
3.	В окружении жилых и общественных зданий (кроме зданий культурного и общественного предназначения), подверженных воздействию транспортного шума	6–18 18–22 22–6	65 60 55	70 65 60

- Допустимые нормы уровня шума в Литовской Республике, используемые для оценки результатов стратегического картографирования шума

№ п/п	Название объекта	$L_{двн}$, dBA	$L_{дневной}$, dBA	$L_{вечерний}$, dBA	$L_{ночной}$, dBA
1	В окружении жилых и общественных зданий (кроме зданий культурного и общественного предназначения), подверженных воздействию транспортного шума	65	65	60	55

Текущая ситуация на АО «Литовские железные дороги»

Железная дорога – источник мобильного и стационарного шума;

Основная железнодорожная линия в Литве, по которой проходит около 30 тысяч поездов в год – Новая Вильня–Вильнюс–Кайшядорис.

Эквивалентный уровень звукового давления проходящего поезда примерно равен 85 dBA;

С 2003 г. в АО «Литовские железные дороги» рассмотрено около 88 жалоб жителей.

Обязанности АО «Литовские железные дороги» в области шумового контроля

Управляя источниками шума, АО «Литовские железные дороги» имеет такие права и обязанности:

- оценивать шумовое воздействие на общественное здоровье и окружающую среду, планируя хозяйственную деятельность;
- информировать институции самоуправления о местах нахождения источников шума, уровня шума и его продолжительности, меры по снижению шума, планируя строительные работы в жилых районах;
- придерживаться установленных норм уровня шума и гарантировать, чтобы используемое оборудование не превышало норму уровня шума;
- предоставить институциям самоуправления план действия по предотвращению шума и ежегодно предоставлять отчёты по его реализации, осуществляя хозяйственную деятельность в зонах предотвращения шума, подтверждённых институциями самоуправления.

Стратегия шумового контроля АО «Литовские железные дороги»

Международное сотрудничество АО «Литовские железные дороги» в области шумового контроля

Являясь членом Европейского железнодорожного сообщества (CER) и Международного железнодорожного союза (UIC), АО «Литовские желез-

ные дороги» осуществляют цели директивы Европейского парламента и Совета 2002/49/ЕВ по оценке и управлению шумом.

АО «Литовские железные дороги», осуществляя проекты реконструкции инфраструктуры и развития, стремится к снижению вредного воздействия железнодорожного транспорта на окружающую среду и здоровье людей.

Потребности в мерах предотвращения шума на АО «Литовские железные дороги»

Идентифицирование потребности в мерах предотвращения шума :

1. Оценка воздействия на окружающую среду и/или воздействие на здоровье общества во время проведения исследований;
2. Во время процедур оценивается воздействие шума на здоровье человека, определяется текущий уровень шума, рассчитывается прогнозируемый уровень шума, и используя специальные программы, моделируется рассеивание шума;
3. При превышении допустимых норм уровня шума, подбираются меры его предотвращения;
4. Меры предотвращения шума применяются на территориях, которые наиболее чувствительны к изменениям уровня шума.

Осуществляемые меры по предотвращению шума на АО «Литовские железные дороги»

В данный момент Организацией используемые технические меры:

- укладка бесстыкового пути;
- шлифование рельсов;
- новый подвижной состав;
- композитные тормоза.

Так же используются дополнительные меры при реконструкции и проектированию дорог:

- при необходимости, в жилых домах меняются окна;
- устанавливаются шумопоглащающие экраны;
- формируются искусственные барьеры (насыпи) и насаждения.

В долгосрочных перспективах возможны такие меры:

- замена тормозной системы в подвижном составе;
- дополнительные шумопоглащающие экраны и приспособления для уменьшения вибрации и шума;
- изменение в землепользовании.

Снижение шума и вибрации благодаря упругим опорам верхнего строения железнодорожных путей

Schemer (Шемер) N. (H.)
Getzenr Werkstoffe GmbH
nikolaus.schemer@getzner.com

Повсюду в мире железные дороги способствуют улучшению связей между людьми и облегчению товарообмена. С появлением новых видов и повышением плотности сетей рельсового транспорта возрастают требования к доступности, комфорту и экологической безопасности железных дорог. Основными проблемами рельсового транспорта, с одной стороны, являются вибрации, которые от верхнего строения пути передаются на окрестности. Мы воспринимаем их как вибрации или механический шум. С другой стороны, это расходы на техническое обслуживание, возникающие вследствие износа материала по причине недостаточной упругости рельсового пути. Обладающие высокой упругостью изделия и системы для виброизоляции значительно сокращают расходы, возникающие из-за износа компонентов верхнего строения пути и подвижного состава.

Возможные решения для упругости верхнего строения железнодорожного пути: система «масса-пружина», подбалластные маты, вкладыши шпальных башмаков, подшпальные прокладки, прокладки для рельсового скрепления, подрельсовые прокладки, непрерывная рельсовая опора.

Защита зданий от вибрации, вызванной воздействием рельсового транспорта, с помощью установки фундаментов на упругих эластомерных опорах

Марусев Ю.Я.
"Акустик Групп"
yury.marusev@acoustic.ru

Новые здания все чаще строятся на участках, подвергающихся воздействию вибраций. Основными источниками вибрации в городах являются близко расположенные железнодорожные и трамвайные пути, линии метрополитена.

Наиболее рациональным способом снижения вибрации является виброизоляция источника. Однако во многих случаях выполнение виброизоляции источника невозможно.

Устройство зданий на упругих эластомерных опорах позволяет значительно снизить передачу вибрации и структурного шума в зданий. Упругая опора здания может быть выполнена полноплоскостной, ленточной или точечной. Тип опоры определяется конструктивными особенностями здания.

Толщина упругой опоры выбирается в зависимости от требуемой эффективности виброизоляции. Материал опоры выбирается в зависимости от действующей нагрузки.

Использование упругих эластомерных опор для виброизоляции жилого комплекса «Казанское подворье» позволило снизить уровень вибрации на перекрытиях до нормативных требований

Опыт применения акустических экранов для снижения шума на Октябрьской железной дороге

Иванов Н.И., Тюрина Н.В., Кудаев А.В., Куклин Д.А., Матвеев П.В., Олейников А.Ю.
Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Введение

Первые акустические экраны (или шумозащитные барьеры) появились еще в конце XIX века. Они были установлены в некоторых местах железной дороги в г. Лондоне и изготовлены из бетона. В те времена это была скорее интуитивная мера и нам сейчас трудно оценить степень ее эффективности.

В массовом масштабе шумозащитные сооружения, снижающие шум от поездов в близрасположенной жилой застройке, появились в странах Западной Европы (Франции, Италии, Германии, Нидерландах) в 70-х годах XX века, когда эти страны приняли очень важные документы – «Законы о шуме». К таким шумозащитным сооружениям относились: АЭ – барьеры, земляные валы, насыпи, выемки, подпорные стенки, т.е. сплошные и достаточно длинные сооружения, преграждающие путь звуку. Масштабы строительства шумозащитных сооружений на железных дорогах были заметно меньше, чем такие сооружения вдоль автомобильных дорог. Причины этого то, что жалоб на шум железнодорожного транспорта, а, следовательно, предъявленных исков, было значительно меньше. Тем не менее число акустических экранов вдоль железных дорог к концуXX века в ЕС составило сотни км.

Когда в Японии и странах ЕС стали строиться скоростные железные дороги, жители и власти потребовали от строителей обеспечения акустического комфорта, что дало новый толчок к массовой установке АЭ вдоль железных дорог (следует также помнить, что во многих странах норма шума для вновь строящихся железнодорожных линий заметно – приблизительно на 10 дБА – жестче, чем для эксплуатируемых). Заметным событием было сооружение скоростной дороги в Японии «Синкасен», где на некоторых участках экраны тянутся сплошной стеной на десятки км. АЭ сооружались из бетона, стали, алюминия и были по принципу действия отражающими или отражающее-поглощающими.

В середине 90-х годов в Германии было проведено обследование 57 АЭ, установленных на железных дорогах. Обследовались: отражающе-поглощающие АЭ, где основные элементы: стойки, панели, фундамент; бесстоечные отражающие АЭ из бетона и экранирующие сооружения в виде земляных насыпей. Были обследованы также АЭ, изготовленные из пластиков. Все обследованные АЭ имели срок службы 5–10 и более лет и целью исследования было выявить их стойкость к внешним воздействиям. Отмечено, что стальные оцинкованные и окрашенные панели не отвечают требованиям, приходят в негодность и в Германии почти не применяются. Бетонные панели имеют длительные сроки службы, но менее эффективны. Попытка прикрепления к бетонным панелям элементов из ЗПМ (для улучшения эффективности) усложняет конструкцию АЭ. Чаще других материалов используются алюминиевые панели, но они нередко загрязняются пылевидными частицами износа колодок и пр. Деревянные панели даже при длительной эксплуатации остаются в хорошем состоянии. Пыль на них не оседает, небольшие трещины не снижают их работоспособности, но следует исключать контакт деревянных панелей с землей. Земляные насыпи (или валы) с озеленением требуют специального ухода, растительность нередко гибнет.

Очень ценным опытом в ЕС было появление в 80-х годах первых технических документов, обобщивших требования к АЭ: изготовление, монтаж, испытания.

2. Установка АЭ на Главном ходу Октябрьской железной дороги

Октябрьская железная дорога – научный полигон ОАО «РЖД». В начале 2000-х на станции Бурга был установлен первый акустический экран для защиты от шума нескольких близрасположенных к железной дороге домов. Акустические панели сборно-разборного отражающе-поглощающего АЭ были изготовлены из оцинкованной стали, что привело к коррозии; крепления панелей к стойкам и друг к другу были плохо продуманы. Неудивительно, что через некоторое время АЭ частично разрушился, а покрылись ржавчиной. Трудно здесь винить заказчика или изготовителя, так как опыта производства таких экранов не было.

Несколько позднее на станциях Чудово, Малая Вишера и др. появились АЭ, изготовленные из бетона (отражающие) или стали (отражающе-поглощающие). Как правило монтаж АЭ происходил с нарушениями и эти АЭ показывали незначительную эффективность, едва достигающую 5-10 дБА (табл. 1).

Сооружались заборы из профлиста, которые кто-то пытался выдать за АЭ: их эффективность вообще лежала в пределах 3-4 дБА.

Таблица 1

Сравнительные эффективности АЭ из бетона и металла

Станция	Материал	Высота, м	Длина, м	Акустическая эффективность, дБ, в в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Эффективность, дБА
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Чудово	бетон	3,5	800	5	9	5	5	9	13	13	12	11
Чудово	металл	3	400	3	7	6	6	8	10	12	12	8
Малая Вишера	металл	3	700	3	3	4	5	8	8	4	9	7

Настоятельно возник вопрос об использовании зарубежного опыта и руководство Октябрьской железной дороги пригласило известную немецкую фирму «Bongarg». Два акустических экрана этой фирмы были установлены на станции Тосно. Экраны отражающее-поглощающие, панели изготавливались из алюминия. Проектирование АЭ выполнялось ОАО «Ленгипротранс», научное сопровождение БГТУ «ВОЕНМЕХ». Результаты акустических испытаний этих АЭ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Снижение шума АЭ

Наличие АЭ	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.									Эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
До установки АЭ	70	63	55	53	62	61	56	47	32	67
После установки АЭ	68	63	54	50	49	48	42	40	30	53
Допустимые уровни шума в дневное время СН 2.2.4/2.1.8.562-96	**90**	**75**	**66**	**59**	**54**	**50**	**47**	**45**	**44**	**55**

Испытания показали очень высокую эффективность АЭ (14-15 дБА),шум в близрасположенной жилой застройке был снижен до требований СН.

Из результатов испытаний стало ясно, что дальнейшее производство и установка АЭ на железной дороге невозможна без создания серьезных

документов, в которых должны быть регламентированы методы расчета и проектирования шумозащиты, требования к конструктивному исполнению, установке АЭ, акустическим испытаниям и приемке в эксплуатацию. По заказу ОАО «РЖД» БГТУ «ВОЕНМЕХ», НИИСФ и «Институт полимеров» разработали комплекс нормативно-технической документации:

– «ГОСТ Р «Шум. Уровни расчета внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом»;
– «ГОСТ Р «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования»;
– «ГОСТ Р «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля технических требований»;
– СТО РЖД. «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Правила приемки, ввода в эксплуатацию и обслуживания в процессе жизненного цикла».

На Октябрьской железной дороге в конце 2012 – начале 2013 гг. были установлены несколько АЭ в соответствии с разработанных требованиями. Результаты испытаний этих АЭ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительная эффективность установленных АЭ

Место установки	Длина, м	Высота, м	Акустическая эффективность, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.								Акустическая эффективность, дБА
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Сосново	500	4	3	6	12	14	14	20	21	23	15
Дибуны	300	5	4	5	4	9	15	17	18	19	14
Сосново - Петяярви (Колосково)	700	5,5	3	5	12	13	14	18	20	22	16

Согласно действующим нормативным документам обязательно должны проводиться испытания, в результате которых устанавливается акустическая эффективность АЭ, а также уровни звука и звукового давления у фасадов домов, защищаемых АЭ. Эффективность АЭ составила в среднем 15 дБА, шум в защищаемых АЭ объектах снижен до нормы (табл. 4).

Таблица 4

Результаты измерения шума на селитебной территории после установки АЭ

Место установки	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.									Эквивалентные уровни звука,
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	дБА
Сосново	55,8	56,1	47,8	48,4	53,7	45,3	41,4	31,9	17,3	52,0
Сосново- Петяярви (пос. Колосково)	61,2	63,7	57,3	51,9	51,3	43,3	41,1	30,8	20,3	51,2
Допустимые уровни шума в дневное время СН 2.2.4/2.1.8.562-96	**90**	**75**	**66**	**59**	**54**	**50**	**47**	**45**	**44**	**55**

Заключение

Таким образом, опыт Октябрьской железной дороги по созданию эффективных АЭ может быть полезен и другим железным дорогам ОАО «РЖД».

Литература

1. Иванов Н.И., Семенов Н.В., Тюрина Н.В. «Акустические экраны для снижения шума в жилой застройке./Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности», апрель №4/2012, 24 с.
2. Иванов Н.И., Матвеев П.В., Куклин Д.А., Буторина М.В, «Снижение шума железнодорожного транспорта/Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности», декабрь №12/2012, 23 с

Высокоскоростной подвижной состав и проблема шума

Стручалин В.Г.
Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)
cosmo98@mail.ru

Акустическое загрязнение воздушного бассейна есть часть общей экологической проблемы. В городах и крупных населённых пунктах транспорт является основным источником шума, который наносит ущерб здоровью людей и окружающей среде, поэтому проблема снижения шума транспортных средств актуальна. Так в городе Москве 70% территории располагается в зоне шумового дискомфорта при наблюдаемой величине превышений допустимого уровня шума на отдельных территориях и в квартирах жилых домов до 25 дБА. В структуре жалоб населения на негативные факторы окружающей среды 32% жалоб связано с повышенным шумом. На некоторых территориях шум составляет 80-85 дБА при нормативе 55 дБА для дневного времени и 45 дБА для ночного[1]. По данным городского Департамента природопользования и охраны окружающей среды около 30% жалоб москвичей – это жалобы на повышенное шумовое воздействие, 80% из которых признаются обоснованными (см. рис.).

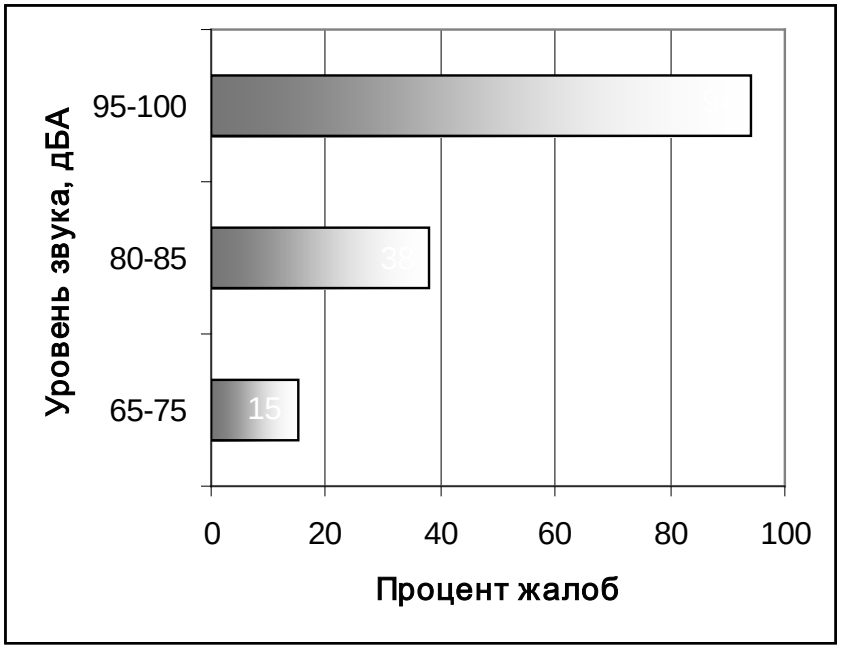


Рис. Зависимость количества жалоб от уровня звука

Шум на территории, прилегающей к железнодорожным путям, зависит от таких факторов, как взаимодействие подвижного состава и пути, вибрации конструкций, скорости движения поезда, длины состава, аэродинамических сил при больших скоростях и т.д. Кроме воздушного шума, который излучается в окружающее пространство, возникает структурный шум, возбуждаемый динамическими силами в точке контакта колеса и рельса при движении. Эти колебания, распространяясь по грунту, достигают соседних зданий.

В настоящее время в нашей стране решаются вопросы применения высокоскоростного железнодорожного транспорта, способного развить скорость до 250 км/ч (в перспективе – до 330 км/ч). Речь идёт не только о сообщении Москва – Санкт-Петербург. Аналогичные задачи решаются в направлении Москва – Нижний Новгород, Москва – Казань, Москва – Ярославль, Санкт-Петербург – Хельсинки, а также к столице зимней олимпиады 2014 г – города Сочи[2].

Исследование актуальной проблемы по направлению защиты населения от шума подвижного состава и в частности по оценки акустического воздействия высокоскоростного подвижного состава показал, что на сегодняшний день мы не располагаем сколько-нибудь достоверными данными относительно создаваемого шума при различных скоростных режимах высокоскоростного состава Velaro Rus («Сапсан»). Высокоскоростное сообщение за рубежом получило распространение намного раньше, чем в России, что означает наличие достаточной информации относительно вызываемого им шумом. Однако большое значение для создаваемого шума имеют качественные характеристики строения пути, которые в нашей стране отличаются от зарубежных. На распространение шума существенное влияние оказывают также архитектурно-планировочные и объёмно-пространственные свойства зоны жилой застройки[3], которые отличаются от зарубежных. Изложенные доводы наводят на необходимость проведения собственных экспериментальных исследований в этом направлении с целью определения акустических характеристик рассматриваемого подвижного состава с учетом местных условий для обоснования последующих рекомендаций по ограничению распространения шума в окружающее пространство.

Повышение скоростного режима подвижного состава неминуемо приведёт к увеличению уровня шума в зоне прилегающей жилой застройки. Таким образом, целью дальнейшего исследования является решения следующих задач:

- определение параметров шума высокоскоростного подвижного состава;
- оценка ширины «запретной» зоны для вновь возводимого гражданского строительства;

– обоснование средств защиты от шума сложившейся жилой застройки.

Литература

1. Санитарные нормы «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественны) зданий и на территории жилой застройки», СН 2.2.4/2.1.8.562-96;
2. Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт. Ред. Боравская Е.Н., Шапилов Е.Д, Ковалёв И. П.. – СПб: ГИИПП, 2001;
3. С.Д. Ковригин, С.И. Крышов. Архитектурно-строительная акустика: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Высн. шк., 1986 – 256 с.: ил.

Результаты испытаний эффективности шумозащитных вкладышей в шейку рельса на железнодорожной станции Саблино Октябрьской железной дороги

Олейников А.Ю., Куклин Д.А.
БГТУ «Военмех»

1. Введение

В настоящее время много внимания уделяется вопросу борьбы с шумом. Особенно остро этот вопрос стоит в городах, где очень значимым источником шума является железнодорожный транспорт.

Снижение шума в источнике образования один из наиболее эффективных способов борьбы с шумом. Основной источник шума при движении подвижного состава - пара «колесо-рельс».

Данная статья посвящена экспериментальной оценке способности резинового вкладыша в шейку рельса снижать количество излучаемой рельсом звуковой энергии, при прохождении поезда.

Экспериментальные исследования выполнены БГТУ «ВОЕНМЕХ» на специально подготовленном участке главного хода железной дороги в населенном пункте Ульянка (станция Саблино).

2. Краткий обзор устройств, применяемых для снижения шума, описание исследуемых вкладок

В последнее время на рынке появилось большое количество шумозащитных устройств, которые устанавливаются на рельс и служат для снижения шума от пары «колесо-рельс». Принципы работы данных устройств различаются, однако можно выделить несколько основных групп.

К первой группе относятся устройства являющиеся, по сути, звукоизолирующими экранами. Примером такой конструкции может служить система CalmRail, крепящаяся на шейке рельса.

Ко второй группе относятся вкладки в шейку рельса, которые состоят из жесткой резины, иногда с металлическими вставками и т.п. Основная задача таких вкладок диссипировать (рассеять в виде тепла) звуковую вибрацию, распространяющуюся в рельсе. Примером такой накладки является устройство SilentTrack компании Tata Steel.

К третьей группе можно отнести различные амортизирующие подкладки под рельс и под полотно.

К четвертой различные демпфированные «подкладки под колесо», которые охватывают рельс целиком, таким образом, между колесом и рельсом располагается резиновый амортизатор.

К пятой группе относятся так называемые ”смазыватели”, которые наносят на рельс смазку в местах, где возникает скрип при трении колеса о рельс, повороты, стрелки и т.п.

Ну и к шестой группе можно отнести различные сложные системы с заглубленной установкой рельса, такие системы чаще всего используют при строительстве трамвайных путей, однако в железнодорожной технике они также находят применение.

Рис. 1 Рельс с установленным резиновым вкладышем.

На станции Саблино проводились испытания устройств относящиеся ко второму типу. Для снижения излучения звуковой энергии рельсом "НПО по переработке пластмасс имени "Комсомольской правды" был разработан специальный вкладыш в шейку рельса. Вкладыши изготовлены из жесткой резины и закреплены на рельсе с помощью зажимов и клея. Вкладыш установлен с обеих сторон рельса на каждом рельсе путей. Протяженность модифицированного пути 40 м. Путь бездстыковой.

3. Проведение экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились по методике, разработанной в БГТУ «ВОЕНМЕХ» на специально выделенном участке главного хода железной дороги Санкт-Петербург-Москва, расположенном в районе станции Саблино.

Измерения проводилось синхронно 2 шумомерами "Октава", объединенными в одну измерительную систему и расположенными следующим образом:

- шумомер № 1 – на расстоянии 0,5 м от железнодорожного рельса на участке где были установлены вставки;
- шумомер № 2 – на расстоянии 0,5 м от железнодорожного рельса на участке без вставок.

Одновременно с этим проводились измерения 2-х канальной системой «Пульс» ф. «Брюль и Къер». Микрофоны этой системы располагались следующим образом:

- микрофон № 1 на расстоянии 0.5 м. от рельса, на уровне головки рельса на участке без вставок;
- микрофон № 2 на расстоянии 0.5 м. от рельса, на уровне головки рельса на участке без вставок.

Измерения проводились синхронно на участке с установленными вкладышами и с обычными рельсами, для каждого проезжающего поезда.

Схема расположения шумомеров "Октава" и микрофонов системы "Пульс" представлена на рис. 2.

Контролируемыми параметрами при проведении измерений являлись уровни звукового давления и уровни звука.

При проведении измерений исключалось влияние положения измерителей относительно источника шума на получаемые результаты. Окончательная обработка результатов производилась в условиях лаборатории. Для определения уровня фоновых помех было проведено измерения фонового шума.

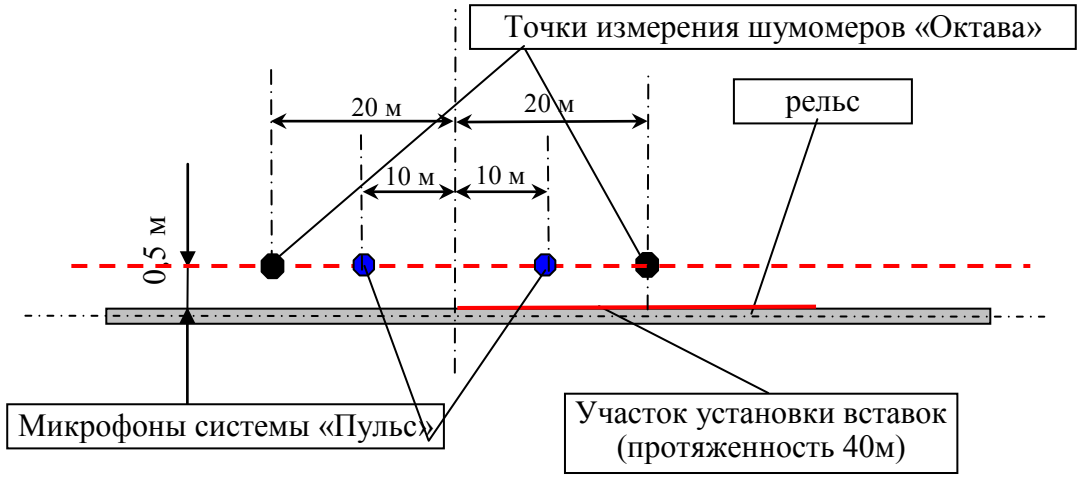


Рис. 2 Схема расположения микрофонов (вид сверху).

На рис. 3 показаны типичные спектры УЗД при похождении поездов. На низких частотах (до 200-250 Гц) эффективность вкладышей выше, чем на средних и высоких.

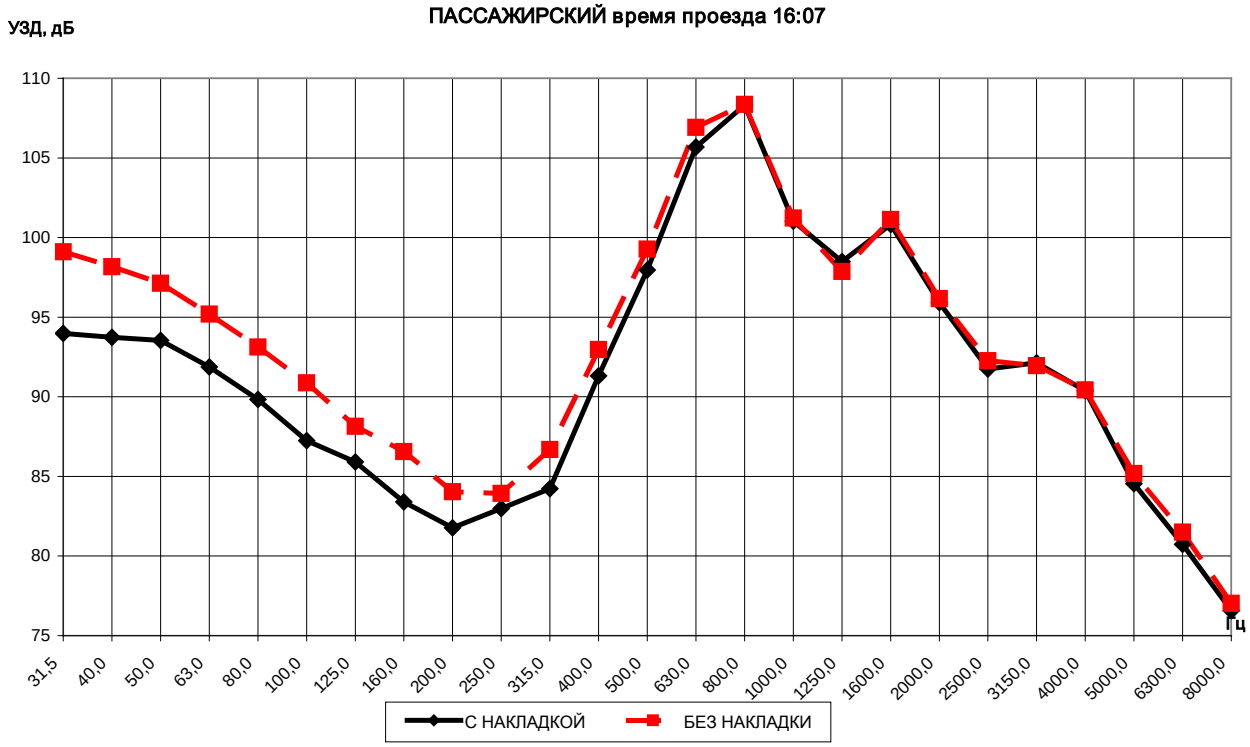


Рис.3. Измерение УЗД от рельса с вкладышем и без вкладыша, при проезде пассажирского поезда (система "Пульс").

На рис. 4 и 5 показана суммарная эффективность при проезде поездов.

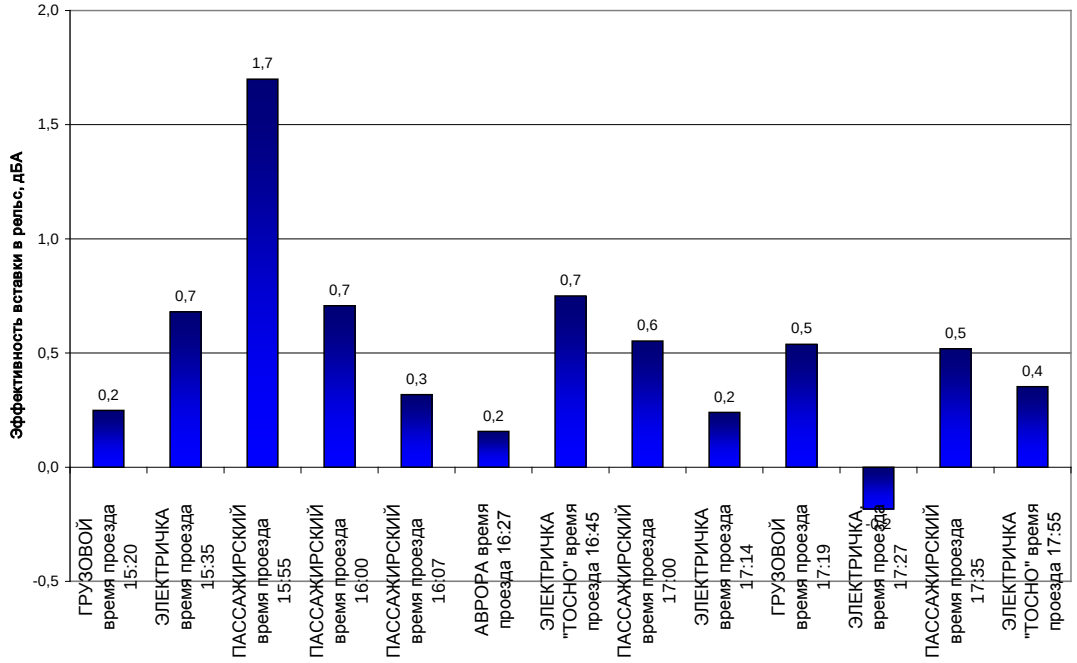


Рис. 4. Результаты эффективности вставки в рельс, при проезде измеряемых поездов (система "Пульс").

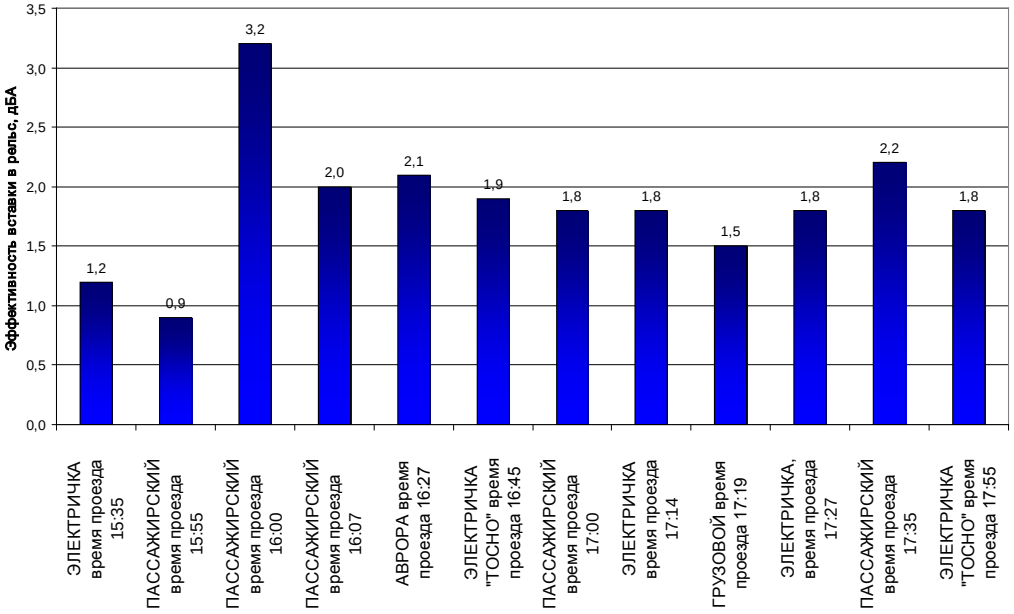


Рис. 2.18. Результаты эффективности вставки в рельс, при проезде измеряемых поездов (система "Октава").

Проведенный эксперимент показал, что звукоизолирующая и демпфирующая способность вкладыша наиболее хорошо проявляется в диапазоне частот от 80 до 200 Гц и составляет от 2 до 10 дБ. Суммарный показатель (разница уровней звука) эффективности вкладок в шейку рельса составил от 0.2 до 3.2 дБА.

Разница в показаниях системы «Пульс» и шумомеров «Октава» объясняется различным расположением измерительных микрофонов. В случае с системой «Пульс» микрофоны расположены ближе друг к другу и влияние не модифицированного участка пути высоко. Микрофоны «Октавы» расположены более удачно.

Выводы

Из проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

- данный тип вкладышей более эффективен на низких частотах;
- применение вкладышей в шейку рельса – мера, которая не может дать кардинальное снижение шума, но вместе с другими мерами (например, установкой АЭ) может дать заметное (до 3-5 дБ) снижение шума подвижного состава железнодорожного транспорта в окружающую среду;
- низкая эффективность вкладышей и нестабильность результатов может объясняться неудачной системой крепления. Прижатие должно быть более плотным, а состав клея специально подобранным для условий эксплуатации. При этом повысится коэффициент трения между вкладышем и рельсом, и таким образом условия для передачи звуковой вибрации станут лучше;
- для увеличения достоверности полученных данных необходимо проведения большего количества экспериментов, протяженность модифицированного пути также должна быть увеличена, по крайней мере, до ста метров.

Литература

1.Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник.– М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424с.

2.Инженерная и санитарная акустика: Сборник нормативно-технических материалов. СПБ: компания «Интеграл», 2008, Т1 820с, Т2 – 820с.

3.СНиП II-12-77, Защита от шума.

4.Пособие к МГСН 2.04-97 Проектирование защиты от транспортного шума и вибраций жилых и общественных зданий.

5.Шум на транспорте. Перевод с английского./ Под редакцией В.Е. Тольского, Г.В. Бутакова, Б.Н. Мельникова. М.: Транспорт, 1995.– 368с.

6.HandBook of noise and Vibration control / Edited by Malkolm J. Crocker,: NY, John Wiley and Sons Inc., 2007. – 1569 p.

7.Снижение шума в зданиях и жилых районах/Под ред. Г.Л.Осипова и Е.Я.Юдина. М.: Стройиздат, 1987. 558 с.

8.А.С. Никифоров, Н.И. Иванов. Основы виброакустики / Учебник, СПб.: Политехника, 2000. – 485 с.

9.ГОСТ 20444-85 «Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики».

10. Звукоизолирующий экран на шейке рельса : защита от шума // Железные дороги мира : научно-технический журнал. - 2011. - N 3. - С. 75-77. - ISSN 0321-1495

Сравнение результатов расчета автодорожного шума жилого района г. Москвы, полученных при использовании трех программных средств

Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А.
НИИСФ РААСН
niisf@mail.ru

1. Введение

В настоящее время много внимания уделяется вопросу борьбы с шумом. Особенно остро этот вопрос стоит в городах, где основным источником шума является автомобильный транспорт.

В данном докладе приведены и проанализированы результаты расчета, полученные при использовании трех программных средств:

- программа АРМ «Акустика» версии 3, разработанная российской компанией ООО «ТЕХНОПРОЕКТ» [1];
- комплекс программ «Эколог-Шум» версии 2.1.0.2584, разработанных российской компанией "Интеграл" [2].
- программа "Predictor" версии 8.13 [3], разработанная совместной голландско-немецкой фирмой «SoftNoise» и распространяемая датской компанией "Bruel & Kjaer".

2. Описание программ и задание исходных данных для расчета

В первых двух программных средствах в качестве расчетной методики реализованы положения ГОСТ 31295.2 [4], являющегося введением в России международного стандарта ИСО 9613-2 [5], который используется в качестве одной из расчетных методик в программе "Predictor". Таким образом, в рассматриваемых в настоящей работе программных средствах использован один метод расчета, что должно приводить к одинаковым результатам для одинаковых дорог с идентичными исходными данными для расчета.

Для выполнения расчетов был взят жилой район, расположенный в северном округе г. Москвы, площадью приблизительно 40 Га. Исходные данные были получены в результате измерений параметров транспортного потока (интенсивность, средняя скорость, доля средств грузового и общественного транспорта), определения вида покрытия проезжей части и ха-

рактера грунта между дорогами и расчетными точками. Наименования дорог и измеренные на них параметры движения приведены в табл.1.

Расчет средней интенсивности, используемой при определении шумовых характеристик дорог в отечественных программах, проводили путем суммирования среднеарифметических значений интенсивности для каждой из групп транспортных средств, при этом, категории транспортных средств «Автобусы», «Тяжелые грузовики» и «Легкие грузовики» были объединены, а показатель средней интенсивности округляли в большую сторону до целого числа. Расчеты во всех программных средствах выполнены без учета метеорологических поправок, а также проведены только для дневного периода. Кроме того, так как в программе "Predictor" не учитывается полосность дороги, то при расчете с помощью других программных средств этот параметр дорог также не принимался во внимание. Дороги разбивали на определенное число прямолинейных участков. За основу был взят алгоритм разбиения, принятый в программном комплексе «Эколог-Шум», как наиболее подробный.

Таблица 1.

Параметры движения

Наименование дороги	Расчетная точка	Интенсивность движения, ед/ч / скорость, км/ч				Средняя интенсивность потока для дороги	Скорость движения транспортного потока, км/ч	Доля грузового транспорта, %
		Легковых автомобилей	Автобусов	Тяжелых грузовиков	Легких грузовиков			
3-й Нижнелихобо рский проезд	1	372/60	6/40	6/40	42/50	452	50	19,2
	2	357/60	6/40	15/40	99/50			
Дмитровское шоссе	3	2856/80	78/60	102/60	354/70	3390	70	15,4
	4	3258/80	96/60	108/60	318/70			
	5	2910/80	126/60	156/60	156/70			
	6	2688/80	120/40	90/40	132/50			
	7	2976/80	48/60	108/60	270/70			
Выезд на Дмитровское шоссе	8	315/60	36/40	6/40	15/50	372	50	18,1
Локомотивны й проезд	9	351/40	57/20	6/20	18/30	463	50	19,1
	10	429/40	12/20	0/20	30/30			
	11	387/60	6/40	9/40	33/50			
	13	396/60	9/40	6/40	30/50			
	14	381/60	9/40	6/40	32/50			
Линейный проезд	12	60/40	0/20	6/20	6/30	72	30	16,6

На данном этапе не рассматривали карты шума выбранного района, а сопоставление результатов расчета проводили в дискретном числе расчет-

ных точек. В качестве расчетных точек выбраны 14 точек, расположенных на расстоянии 7,5 м от середины ближней полосы движения и восемь точек на внутренней территории застройки. Все точки имеют высоту 1,5 м над уровнем дороги. Вместе с тем точка 7 расположена на эстакаде Дмитровского шоссе, поэтому суммарная высота для нее составляет 8,5 м относительно общего уровня земли. В придорожных точках одновременно с измерением параметров движения были выполнены измерения уровней шума, создаваемого движением автотранспорта. Схема района с расположением дорог, застройки и расчетных точек приведена на рис. 1.

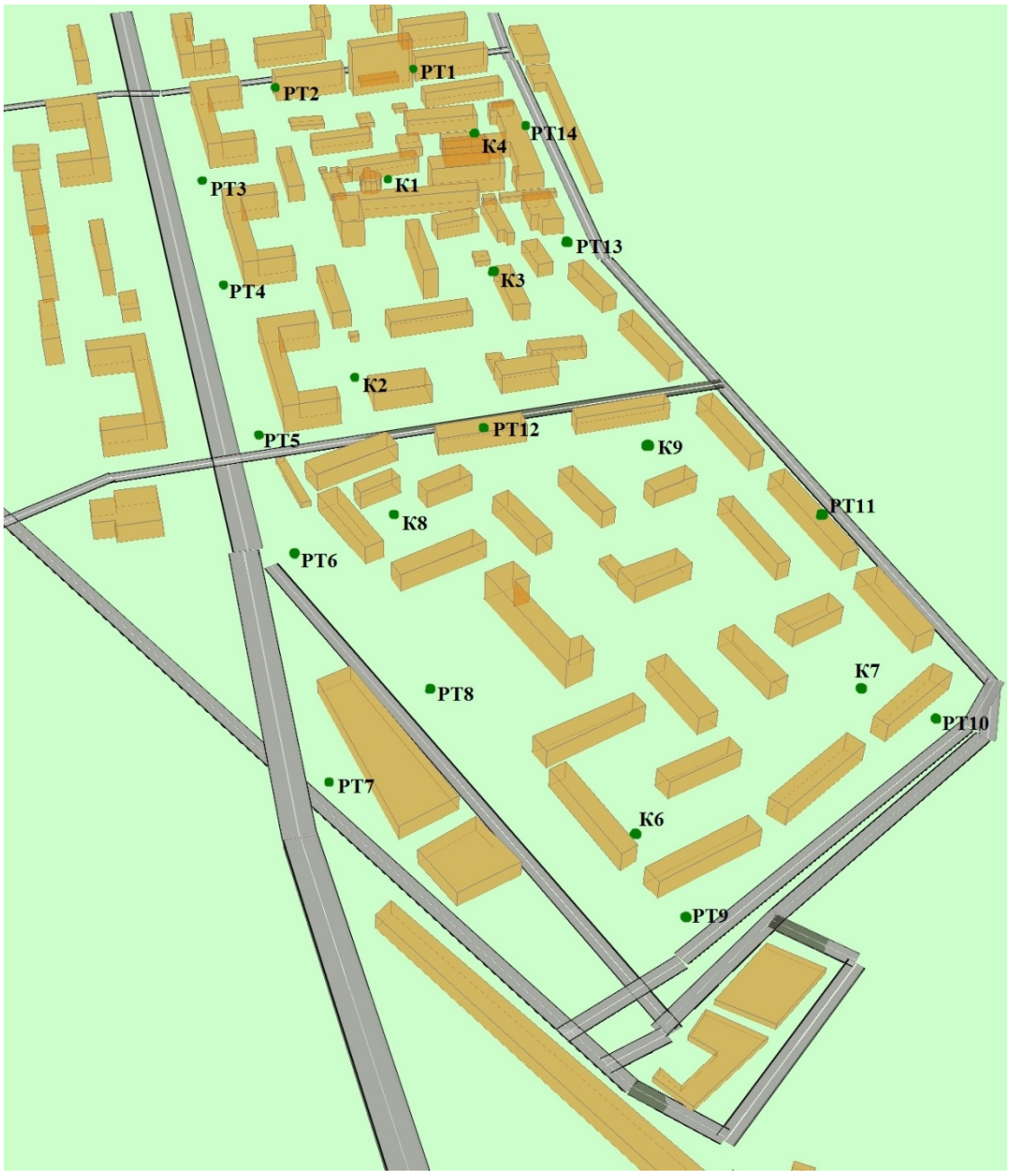


Рис 1. Схема района с расположением расчетных точек

3. Описание алгоритмов расчета

На первом этапе во всех программах рассчитывают значения шумовых характеристик (ШХ) рассматриваемых дорог.

В отечественных программах АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум» в качестве ШХ используются эквивалентные уровни звука в 7,5 м от середины ближней полосы движения на высоте 1 м от уровня дороги. В соответствии с Пособием к МГСН 2.04-77 [6] и учебным пособием [7] значения ШХ рассчитывают с помощью выражения:

$$L_{Аэкв} = 10\lg Q + 13{,}3\lg V + 4\lg(1+\rho) + \Delta L_{A1} + \Delta L_{A2} + 15, \quad (1)$$

где Q – интенсивность движения, ед/ч; V – средняя скорость потока, км/ч; ρ - доля средств грузового и общественного транспорта в потоке, %; ΔL_{A1} – поправка, учитывающая вид покрытия проезжей части улицы или дороги, дБА (при асфальтобетонном покрытии $\Delta L_{A1} = 0$, при цементобетонном $\Delta L_{A1} = 3$ дБ*А*); ΔL_{A2} – поправка, учитывающая продольный уклон улицы или дороги, дБА (не учитывается при расчете в программе АРМ «Акустика»).

По найденному значению $L_{Аэкв}$ рассчитывают эквивалентные уровни звукового давления $L_{Аэкв}$ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 125 до 8000 Гц, применяя частотные поправки, приведенные в [6, 7]. В комплексе «Эколог-Шум» диапазон расширен до нормативного (31,5 – 8000 Гц) за счет введения дополнительных поправок: в полосе 31,5 Гц – 0 дБ, в полосе 63 Гц – 6,5 дБ, в полосе 8000 Гц – минус 25,5 дБ.

В программе "Predictor" расчет ШХ дорог производится в соответствии с голландской методикой RMV-SRM2 [8]. Автомобильный транспорт разделяют на четыре категории (*m*): мотоциклы (*m*=1), легковые автомобили (*m*=2), легкие грузовые автомобили (*m*=3) и тяжелые грузовые автомобили *(m*=4*)*. Для каждой категории рассчитывают корректированный по характеристике шумомера *A* уровень звукового воздействия L_{EAm} по формулам:

$$L_{EAm} = 10\lg\left(Q_m/V_m\right) + a_m(f_{cz}) + b_m(f_{cz})\cdot V + C_{wh} \quad (2)$$

$$C_{wh} = \begin{cases} \max(C_w, C_h) & при\ C_h \neq 0 \\ C_w & при\ C_h = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

где Q_m и V_m – средние интенсивность, ед/ч, и скорость, км/ч, потока машин категории m; $a_m(f_{сг})$ и $b_m(f_{сг})$ – не зависящая от скорости, дБА, и зависящая от скорости, дБA·с/м, части излучения звука для транспортного средства категории m на среднегеометрической частоте $f_{сг}$ октавной полосы частот, определяют по табл. 2; C_w, C_h – поправки, учитывающие тип покрытия и уклон дороги соответственно, дБА.

Таблица 2.

Значения $a_m(f_{сг})$ и $b_m(f_{сг})$ для принятых категорий транспортных средств

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	m = 1		m = 2		m = 3		m =4	
	$a_m(f_{сг})$, дБA	$b_m(f_{сг})$, дБA с/м	$a_m(f_{сг})$, дБA	$b_m(f_{сг})$, дБA с/м	$a_m(f_{сг})$, дБA	$b_m(f_{сг})$, дБA с/м	$a_m(f_{сг})$, дБA	$b_m(f_{сг})$, дБA с/м
63	77,2	0,10	69,2	0,07	94,1	-0,25	102,5	-0,32
125	81,8	0,19	73,6	0,18	91,8	0,01	99,9	0,06
250	86,2	0,19	75,6	0,21	91,7	0,11	99,8	0,05
500	89,3	0,19	79,9	0,19	89,8	0,17	98	0,10
1000	91,5	0,19	81,8	0,20	99	0.07	106,9	0,01
2000	91,2	0,19	81,1	0,20	97,5	0,07	105,4	0,01
4000	86,7	0,19	78	0,18	89,8	0,12	97,7	0,06
8000	86,6	0,10	77	0,09	83,9	0,07	91,8	0,01

По найденным значениям L_{EAm} для каждой категории транспортных средств посредством энергетического сложения рассчитывают суммарный уровень звукового излучения L_{EAtot} и по нему определяют корректированный по A уровень удельной звуковой мощности (на 1 м длины дороги) L_{wA} в дБA с помощью выражения:

$$L_{wA} = L_{EAtot} - 30. \quad (4)$$

Для определения некорректированных значений уровней удельной звуковой мощности L_w в октавных полосах частот в дБ из рассчитанных значений L_{wA} вычитают коррекцию шумомера A (см. например, ГОСТ Р 53188.1 [9]).

В отечественных программах также определяют уровни удельной звуковой мощности L_w в октавных полосах частот. При этом в программе АРМ «Акустика» используют выражение, связывающее уровень удельной звуковой мощности L_w линейного источника длины l, м, с уровнем звукового давления L излучаемого им шума (см. например, справочник [10]):

$$L_w = L + 10\lg\frac{R}{R_0} - 10\lg\left(2arctg\frac{l}{2R}\right) + 8, \quad (5)$$

где R = 7,5 м; R_0 = 1 м.

Алгоритм расчета L_w, используемый в программе «Эколог-шум», к сожалению, выяснить у разработчиков программы не удалось.

Вычисление уровней шума в расчетных точках во всех программах производится с помощью выражения [4,5]:

$$L = L_W + D_c - A, \tag{6}$$

где L – октавный уровень звукового давления, дБ; L_w – октавный уровень звуковой мощности точечного источника звука, дБ; D_c - поправка на направленность излучения участка дороги, как правило, принимается равной минус 8 дБ, (излучение в полупространство); A - затухание звука при распространении на местности от источника шума до расчетной точки в октавной полосе частот, дБ.

В соответствии с рекомендациями раздела 4 стандартов [4, 5] линейные источники шума, которыми являются автодороги, должны быть аппроксимированы набором точечных источников посредством разбиения на элементарные отрезки с точечным источником в центре. При этом длина l каждого такого отрезка не должна превышать половины расстояния от него до заданной расчетной точки. Алгоритмы разбиения рассматриваемых участков дорог на точечные источники шума в программных средствах различаются. В программах АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум» коэффициент разбиения взят равным $1/\pi$ и 0,3 соответственно. В программе «Predictor» шаг разбиения существенно более мелкий. Из заданной расчетной точки в направлении рассматриваемого участка дороги проводят лучи с шагом α, которые и разбивают линейные источники на отрезки. Диапазон значений α рекомендован от 1˚ до 10˚. По умолчанию принимают α = 2˚. Это значение и принято в рассматриваемом варианте программы.

Уровень звуковой мощности L_w элементарного отрезка дороги длиной l_i (и аппроксимирующего его точечного источника звука) рассчитывают из значения уровня удельной звуковой мощности L_w рассматриваемого участка дороги с помощью выражения:

$$L_W = L_w + 10lg\frac{l_i}{l_0}, \tag{7}$$

где l_0 = 1 м.

Уровень звукового давления в расчетной точке рассчитывают с помощью выражения (6) для каждого элементарного отрезка (точечного источника шума) и полученные значения энергетически суммируют для всех элементарных участков и всех учитываемых в расчете дорог.

Расчет затухания ведется по формуле [4,5]:

$$A = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{gr}} + A_{\text{bar}} + A_{\text{fol}} + A_{\text{site}} + A_{\text{hous}}, \quad (8)$$

где A_{div} – затухание из-за геометрической дивергенции, дБ; A_{atm} – затухание из-за поглощения звука атмосферой, дБ; A_{gr} – затухание из-за влияния покрытия грунта, дБ; A_{bar} – затухание из-за экранирования, дБ; A_{fol} – затухание из-за влияния зеленых насаждений, дБ; A_{site} – затухание в промышленных зонах, дБ; A_{hous} – затухание в жилых массивах, дБ.

4. Анализ результатов расчета

Результаты расчета уровней звука *A,* полученные в расчетных точках с помощью рассматриваемых программ приведены в табл. 2 и графически представлены на рис. 2. В таблице и на рисунке приведены также результаты измерений.

Из полученных данных видно, что в случае пористого грунта (показатель грунта между дорогой и расчетной точкой *G*=1) результаты, полученные с помощью программ АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум» в большинстве придорожных точек близки друг к другу. Расхождение не превышает 2 дБ*A*. При этом подробный (шаг за шагом в соответствии с описанным алгоритмом) протокол расчета, предоставляемый программой АРМ «Акустика», показал, что уровни шума в придорожных точках определяются прямым звуком от ближайшей дороги. Существенное расхождение в 10,2 дБ*A* получено в точке 7, расположенной на эстакаде Дмитровского шоссе. При этом из протокола расчета, даваемого программой «Эколог-Шум», следует, что в этой расчетной точке вклад отраженного звука в октавных полосах частот более чем на 10 дБ превышает вклад прямого звука, что не соответствует физической картине процесса распространения и отражения звука в данной точке.

Таблица 2.

Рассчитанные и измеренные значения уровней звука *A* в расчетных точках

Наименование дороги	Номер точки по сх. на рис.1	Показания шумомера	АРМ «Акустика»		«Эколог-Шум»	«Predictor»	
			G=1	*G*=0	*G*=1	*G*=1	*G*=0
		Придорожные точки					
3-й Нижнелихоборский проезд	1	65,9	69,2	71,3	70,7	63,3	67,8
	2	66,3	69,6	71,8	71,1	62,2	67,4
Дмитровское шоссе	3	70,3	75,0	77,3	76,7	65,4	71
	4	72,2	76,4	78,7	78,1	67,4	72,7

Наименование дороги	Номер точки по сх. на рис.1	Показания шумомера	АРМ «Акустика»		«Эколог -Шум»	«Predictor»	
			G=1	*G*=0	*G*=1	*G*=1	*G*=0
	5	76,1	77,1	79,3	78,4	68,4	73,5
	6	74,6	75,7	78,0	77,3	67,5	72,3
	7	80,0	79,3	80,8	89,5	72,7	75,9
Выезд на Дмитровское шоссе	8	63,9	67,4	69,9	69,8	61	66,1
Локомотивный проезд	9	65,0	70,1	72,4	71,7	63,3	68,1
	10	61,2	70,5	72,7	71,5	63,8	68,3
	11	70,7	70,6	72,6	71,2	64,3	68,5
	13	70,6	65,7	67,9	66,8	58,9	63,5
	14	70,4	69,7	71,7	71,1	63,6	68
Линейный проезд	12	60,4	63,1	65,2	62,7	61,5	65,4
	Точки внутренней территории застройки						
	к1	-	40,9	40,9	47,2	38,3	43,6
	к2	-	49,8	50,9	56,6	46,9	53,7
	к3	-	48,0	50,5	48,2	43,3	48,7
	к4	-	41,4	41,4	46,8	40,3	46,9
	к5	-	52,8	54,6	57,9	46,8	53,4
	к6	-	55,8	58,0	58,9	48,1	54,1
	к7	-	50,1	51,3	58,2	46,9	53
	к8	-	51,2	53,4	56,0	46,2	52,3

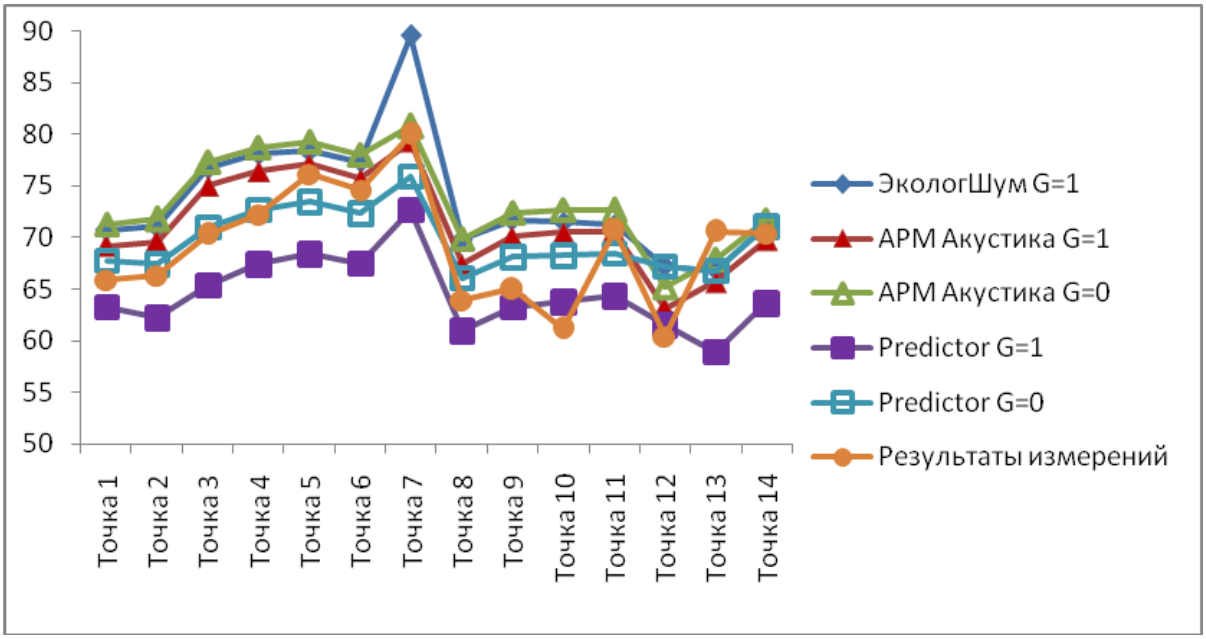


Рис. 2. Уровни звука, рассчитанные и измеренные в придорожных точках

Данный результат противоречит также протоколу программы АРМ «Акустика», в соответствии с которым вклад прямого звука от всех точечных источников, которые аппроксимируют расположенный у расчетной точки отрезок Дмитровского шоссе существенно (более чем на 5 дБ, а для большинства источников более чем на 10 дБ) превышает вклад отраженного звука. Во всех придорожных точках результаты расчета, полученные с помощью программы АРМ «Акустика» ближе к результатам измерений, хотя и выше последних в среднем на 2 дБ*А*.

Результаты, полученные с помощью программы «Predictor», при *G*=1 значительно ниже результатов, даваемых другими программами, и ниже результатов измерений в расчетных точках. Расхождения с результатами, полученными с помощью программы АРМ «Акустика», составляют от 5,9 дБ*А* до 9,6 дБ*А* (за исключением точки 12, где оно равно 1,6 дБ*А*). Расхождения с результатами расчета, полученными с помощью программы «Эколог-Шум», еще больше: от 7,4 дБ*А* до 16,6 дБ*А* (1,2 дБ*А* в точке 12). В пяти придорожных точках (1, 8, 9, 10, и 12) полученные расчетные значения ближе к результатам измерений, в остальных девяти точках отличие такое же или большее, чем для результатов, полученных с помощью программы АРМ «Акустика». Среднее расхождение составляет минус 4,6 дБ*А*. Варьирование показателя грунта *G* в программе «Predictor» более существенно влияет на результаты расчета, чем в программе АРМ «Акустика» и в ряде точек приближает результаты расчета к измеренным величинам, снижая среднее расхождение до 0 дБ*А*, в то время как для результатов, полученных с помощью программы АРМ «Акустика», оно возрастает до 4,4 дБ*А*. Следует отметить, что в комплексе «Эколог-Шум» для расчета используется фиксированное значение *G*=1, что не позволяет варьировать акустические параметры грунта, как это предусмотрено ГОСТ 31295.2 [4]. Кроме того в данном программном продукте максимальная интенсивность движения ограничена значением 3000 ед/ч.

В точках, расположенных внутри территории застройки расхождение результатов расчета также существенно. Так в шести точках (из восьми), результаты расчета, полученные с помощью программ АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум», при *G* = 1 различаются на 3,1…8,1 дБ*А* (что в среднем составляет 4,5 дБ*А*), а полученные с помощью программ АРМ «Акустика» и Predictor – на –4,8…7,7 дБ*А* (2,9 дБ*А*). Для последних двух программ расхождения между результатам расчета перераспределяются при использовании *G* = 0 и дают среднее расхождение в 0,2 дБ*А*. Следует отметить, что в расчетных точках на внутренней территории застройки суммарный вклад отраженного и экранированного звуков превосходит вклад прямого звука, а в точках К1, К3 и К4 вклад прямого звука равен нулю, т.к. нет участков дорог в зоне прямой видимости из этих точек.

5. Выводы

Имеются существенные различия в результатах расчета, полученных с помощью рассмотренных программных средств. При этом программы АРМ «Акустика» и «Predictor» дают более согласованные и непротиворечивые результаты, несмотря на различие в подходах к расчету шумовых характеристик. К преимуществам этих программ следует также отнести возможность варьирования значения показателя грунта *G* между дорогой и расчетной точкой. Причем в программе АРМ «Акустика» значение *G* можно варьировать для каждой расчетной точки, в то время как в программе «Predictor» принимается одно значение для всех расчетных точек.

В программном комплексе «Эколог-Шум» необходимо провести детальные проработки расчетов при наличии изменения рельефа дороги, в частности эстакад, и расширить возможный диапазон задания интенсивности движения.

Целесообразны более детальные исследования расчетов внутри территории застройки, где возрастает роль отраженного и экранированного зданиями шума.

Литература

1. АРМ «Акустика» // ООО «ТЕХНОПРОЕКТ»: сайт 2013. URL:http://www.noiseview.ru/ (дата обращения: 24.02.2013)
2. «Эколог-Шум» // Компания "Интеграл": сайт 2013. URL:http://integral.ru/shop/cargo/141.html (дата обращения: 24.02.2013).
3. Predictor Analyst Type 7813 // Компания «Брюль и Къер»: Сайт, 2013. URL:http://www.bksv.com/products/environmentmanagementsolutions/noise%20mapping%20and%20prediction/predictor-analyst-7813.aspx (дата обращения: 24.02.2013).
4. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.
5. ISO 9613-2:1996 Noise. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2. General method of calculation.
6. Пособие к МГСН 2.04-97. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.
7. "Звукоизоляция и звукопоглощение. Учебное пособие". Осипов Л.Г., Бобылев В.Н., Борисов Л.А. Москва, АСТ, 2004.

8. RMV-SRM II Standaard rekenmethode 2 van het Reken en Meetvoorschrift Verkeerslawaai.

9. ГОСТ Р 53188.1-2008. Шумомеры. Часть 1. Технические требования.

10. Handbook of noise and vibration control/ Edited by Malcolm J. Crocker. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2007, Chapter 5.

Методология оценки риска здоровью населения от воздействия транспортного шума

Носков С.Н., Фридман К.Б.
СЗГМУ им. И.И. Мечникова
кафедра коммунальной гигиены
sergeinoskov@mail.ru

Наряду с загрязнением атмосферного воздуха выхлопными газами автотранспорта, шум стал не менее значимым фактором воздействия на здоровье населения. Воздействие транспортного шума на окружающую среду, в первую очередь, на среду обитания человека, стало глобальной проблемой. По существующим оценкам специалистов около 40 млн. населения России проживает в условиях шумового дискомфорта, причем половина из них испытывает воздействие шума более 65 дБа. В настоящей работе рассматривается методологические подходы к оценке риска здоровью населения от транспортного шума селитебных территорий, роль данного фактора в формировании здоровья популяции в зависимости от продолжительности пребывания людей в местах с повышенным уровнем шума, изложенные в МР 2.1.10.0059-12 «Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума».

Оценка риска для здоровья населения при воздействии транспортного шума в условиях населенных мест выполняется с целью:

- выявления факторов, представляющих потенциальную опасность жизни и здоровью человека, а также возможности причинения вреда здоровью при воздействии шума;
- прогноза изменения санитарно-гигиенической ситуации в условиях стабилизации или изменения уровней воздействия на население шума;
- обоснования санитарно-гигиенических (профилактических) мероприятий.

Методические подходы изложенные в рекомендациях могут быть использованы при:

- проведении гигиенических оценок, исследований и экспертиз;
- планировании развития селитебных территорий;
- проектировании путей сообщения и транспортных предприятий, размещаемых на территории населенных мест;
- обосновании управленческих решений направленных на снижения уровней риска здоровью населения, связанного с воздействием

транспортного шума, в том числе при разработке мер по его снижению.

Анализ риска при воздействии транспортного шума на здоровье населения включает в себя:

- оценку риска;
- управление риском;
- распространение информации о риске

Полная (базовая) схема оценки риска предусматривает проведение четырех этапов:

- идентификация опасности; -оценка воздействия (экспозиции) шума на человека;
- оценка зависимости "экспозиция – ответ";
- характеристика риска.

Основными задачами этапа идентификации опасности являются характеристика источников транспортного шума, выявление особенностей его пространственного и временного распределения, определение численности населения, подвергающегося вредному акустическому воздействию.

Этап идентификации опасности предусматривает выявление, сбор и анализ всей возможной информации об источниках шума, воздействующего на население, с целью определения:

- уровня и частотных характеристик шума;
- распределения шума на селитебной территории;
- времени воздействия шума: сутки, неделя, месяц, год и пр.;
- численности населения, подвергающегося акустическому воздействию;
- вероятных нарушений здоровья, связанных с воздействием шума.

Оценка экспозиции включает в себя определение нормируемых параметров шума в заданный момент времени и продолжительности его воздействия (через учет числа и продолжительности звуковых событий), а также оценку суточного взвешенного шума как меры контакта населения с вредным фактором. Исходными данными являются результаты инструментальных измерений шума, а также результаты производственного контроля на транспортных объектах (мониторинг дорожных сетей, окружных, объездных дорог, внутрипроизводственного транспорта и в санитарно-защитных зонах и т.п.). Для оценки ожидаемой экспозиции при проектировании могут быть использованы расчетные значения эквивалентного шума, полученные эмпирическим путем или путем трехмерного математического моделирования распространения и затухания шума на основе применения аттестованных (рекомендованных) методов.

Этап анализа зависимостей «экспозиция-ответ» и «экспозиция-эффект» предусматривает доказательное установление связи между экспо-

зицией и частотой, распространенностью, видом и степенью выраженности предполагаемого вредного эффекта в популяции, подверженной вредному воздействию транспортного шума.

Результаты гигиенической оценки должны содержать необходимые и достаточные доказательства причинной связи выявленных нарушений здоровья с воздействием на организм транспортного шума. В общем виде доказательство подобной связи обеспечивается выполнением следующих условий (критериев):

- начало вредного воздействия транспортного шума всегда предшествует времени появления в экспонированной группе предполагаемого нарушения здоровья;
- наблюдаемый вредный эффект согласуется с известными представлениями о механизмах вредного действия шума;
- связь между предполагаемым нарушением здоровья и вредным воздействием шума статистически достоверна;
- увеличение экспозиции (интенсивности/времени воздействия) шума на отдельные группы населения сопровождается достоверным увеличением частоты или распространенности предполагаемого нарушения здоровья в этих группах (имеются зависимости типа "экспозиция-ответ" или "экспозиция-эффект");
- устранение или снижение интенсивности воздействия шума сопровождается снижением показателей частоты возникновения и/или распространенности предполагаемого нарушения здоровья;
- сведения, полученные в ходе изучения причин и последствий вредного воздействия шума на организм, соответствуют всем требованиям, установленным нормативными документами к полноте и качеству эпидемиологического исследования, лабораторно-инструментальных измерений, объему и качеству лабораторно-диагностического и клинического обследования лиц с выявленными нарушениями, обоснованности клинического диагноза.

При наличии достаточных доказательств, связь между вредным воздействием шума и нарушением здоровья может быть признана существенной и достоверной, не только когда предполагаемый фактор является единственной причиной этого нарушения, но также и в тех случаях, когда его вредное действие ускоряет или утяжеляет возникновение вредного эффекта.

Характеристика риска интегрирует данные, полученные на всех предшествующих этапах исследования, и имеет целью получить количественную и качественную оценку риска, выявление и анализ значимости существующих проблем для здоровья населения, и является связующим звеном между оценкой риска для здоровья и управлением риском.

Характеристика риска осуществляется в виде следующих этапов:

- обобщение результатов оценки экспозиции и зависимостей «экспозиция- ответ»;
- расчет значений риска для отдельных видов нарушений здоровья. На этом же этапе может быть выполнен расчет риска от отдельных источников шума или групп источников
- расчет агрегированного совокупного риска нарушений здоровья, связанных с транспортным шумом.
- расчет популяционного риска для отдельных групп населения;
- выявление и анализ неопределенностей оценки риска.
- обобщение результатов оценки риска и представление полученных данных лицам, участвующим в управлении рисками.

Управление риском является логическим завершением результатов оценки риска здоровью и направлено на обоснование выбора наилучших в конкретной ситуации решений для его устранения или минимизации, а также динамического контроля (мониторинга) экспозиций и риска, оценки эффективности и корректировки оздоровительных мероприятий. Управление риском включает в себя принятие технических, технологических, организационных, социальных, правовых, экономических, нормативных, политических, и иных решений на основе выводов и оценок, полученных в ходе характеристики риска.

Рекомендации по управлению риском шумового фактора могут разрабатываться с учетом следующей оценочной шкалы индекса $\tilde{R}_t^{Асов}$:

- величина $\tilde{R}_t^{Асов}$ составляет менее 0,05, что может оцениваться как риск низкий, слабо влияющий на уровень состояния здоровья на исследуемой территории. Рекомендуются меры по организации сокращенного (выборочного) мониторинга шумовой нагрузки, планированию мероприятий, которые могут быть реализованы в долгосрочной перспективе (5 лет и более). Плановый пересмотр уровней риска рекомендуется с частотой не реже, чем один раз в пять лет, а также при размещении на территории новых источников шума и изменении градостроительной ситуации;
- величина $\tilde{R}_t^{Асов}$ находится в диапазоне 0,05-0,35, что может оцениваться как умеренный (средний) риск. Рекомендуются меры по организации постоянного мониторинга шумовой нагрузки. Мероприятия по снижению шумовой нагрузки рекомендуется разрабатывать с учетом среднесрочной и краткосрочной перспективы (1-3 года). Плановый пересмотр рекомендуется с частотой не реже одного раза в три года. Мероприятия по снижению шумовой нагрузки рекомендуется разрабатывать с учетом среднесрочной и краткосрочной перспективы (1-3 года). Рекомендуется пересмотр степени риска каждый год.

– величина $\tilde{R}_t^{Асов}$ находится в диапазоне 0,35-0,6, что оценивается как высокий риск. Рекомендуются меры по организации расширенной программы мониторинга шумовой нагрузки с проведением дополнительных исследований в местах и/или в периоды максимальных уровней шума. Мероприятия по снижению шумовой нагрузки рекомендуется разрабатывать на ближайшую краткосрочную перспективу в течение года. Рекомендуется пересмотр степени риска каждый год;
– величина $\tilde{R}_t^{Асов}$ превышает уровень 0,6, что оценивается как экстремальный риск. Рекомендуются меры по немедленному прекращению деятельности основных источников шума или выводу населения из зоны вредного воздействия. Рекомендуется повторная оценка уровней риска после принятия мер по снижению неблагоприятного воздействия транспортного шума на здоровье населения

Выбор управленческих решений предусматривает обоснование типовых решений, связанных с уменьшением влияния транспорта на здоровье населения.

Этот выбор может осуществляться в трех основных направлениях:

1) Прекращение вредного воздействия транспортного шума на население путем организации санитарно-защитных разрывов, трассировка и проектирование новой трассировки путей сообщения за пределами селитебных зон

2) Снижение интенсивности транспортных потоков путем введения ограничений для проезда наиболее шумных транспортных средств по селитебной территории и ограничение их движения в ночное время суток. Организация транзитных и объездных путей сообщения в целях перераспределения шумовой нагрузки.

3) Разработка технических мероприятий по снижению транспортного шума на территории жилых зон и в жилых помещениях (экранирование магистралей, увеличение шумопоглощающих свойств строительных конструкций и остекления зданий, изменение покрытия дорог и т.д.).

В целом использование методологии оценки риска для здоровья населения в условиях зашумленности городских территорий позволяет формировать информационно-аналитическую основу широкого спектра управленческих решений, в том числе архитектурно-планировочных, медико-профилактических, организационных и т.п.

Снижение уровня вибрации двигателей внутреннего сгорания совершенствованием конструкции цилиндропоршневой группы

Безюков О.К.[1], *Афанасьева О.В.*[2]
[1] Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова (бывший Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций), okb-nayka@yandex.ru
[2] ФГОУ ВПО Национального минерально-сырьевого университета «Горный» OVAf@rambler.ru

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) являются одним из наиболее распространенных видов продукции машиностроения, которая используется на транспорте и стационарной энергетике.

Известно, что при работе двигателей внутреннего сгорания возникают ударные импульсы при перекладках поршня в цилиндре, в сочленениях шатуна с поршнем, в шатунных подшипниках коленчатого вала, при работе форсунок, впускных и выпускных клапанов, зубчатых пар и т. д.

Величина и характер вибрации двигателя зависят как от числа, величины, характера, места и способа приложения возмущающих сил, так и от свойств поршневой машины как колебательной системы.

Центрами возбуждения колебаний в механизмах являются зоны контакта деталей в момент их соударения.

Одним из основных источников шума и вибрации ДВС является цилиндропоршневая группа. Факторами, вызывающими наибольший уровень вибраций поршневых машин, являются удары по зеркалу втулок цилиндров, вызванные перекладкой поршня в тепловом зазоре под воздействием нормальной составляющей силы [1].

Известно, что при работе двигателей внутреннего сгорания возникают ударные импульсы при перекладках поршня в цилиндре, в сочленениях шатуна с поршнем, в шатунных подшипниках коленчатого вала, при работе форсунок, впускных и выпускных клапанов, зубчатых пар и т. д.

Величина и характер вибрации двигателя зависят как от числа, величины, характера, места и способа приложения возмущающих сил, так и от свойств поршневой машины как колебательной системы.

Центрами возбуждения колебаний в механизмах являются зоны контакта деталей в момент их соударения.

Факторами, вызывающими наибольший уровень вибраций поршневых машин, являются удары по зеркалу втулок цилиндров, вызванные перекладкой поршня в тепловом зазоре под воздействием нормальной составляющей силы [1].

Рассмотрим цилиндропоршневую группу поршневой машины, обеспечивающую повышение ее надёжности путём снижения уровня вибрации и трения между тронковой частью поршня и зеркалом втулки цилиндра за счёт введения в конструкцию поршня демпфирующего устройства, установленного во внутренней полости пальца и состоящего из двух вставок и пружины сжатия, расположенной между вставками (рис. 1).

Предложенная цилиндропоршневая группа ДВС содержит втулку цилиндра 1, поршень 2 с бобышками 3, компрессионные и маслосъемные кольца 4, полый поршневой палец 5, вставки 6 и 7, пружину 8, регулировочные шайбы 9, антифрикционное покрытие 10, масляные каналы 11, 12 и 13, шайбу из металла 14, шайбу 15 из вибродемпфирующего материала, шайбу 16 из вибропоглощающего материала[1].

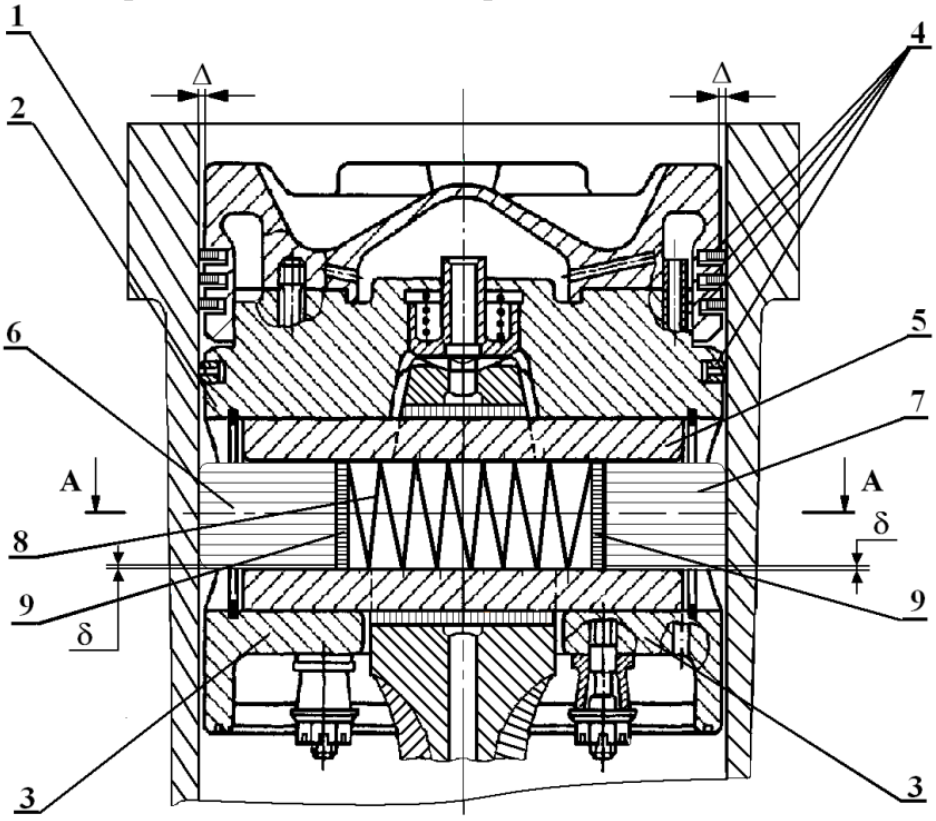


Рис. 1. Продольный разрез цилиндропоршневой группы

На рис. 1 показан продольный разрез цилиндропоршневой группы и зазоры между поршнем и зеркалом втулки цилиндра, а также между вставками и внутренней поверхностью поршневого пальца.

Зазоры между вставкой и внутренними поверхностями пальца (δ) меньше, чем зазор между тронком поршня и зеркалом втулки цилиндра (Δ).

На рис. 2 показан поперечный разрез цилиндропоршневой группы, выполненный по поверхности вставок, прилегающей к зеркалу втулки цилиндров, по радиусу, равному половине внутреннего диаметра втулки в ее рабочем состоянии.

Поверхности вставок, контактирующих с зеркалом втулки цилиндра, в вертикальной плоскости имеют по 2 фаски под углом 30’…50, разделенные посередине цилиндрическими поясками, составляющими 10…50% высоты вставок (рис. 3).

На рис. 4 показан фрагмент маслоудерживающего микрорельефа, выполненный на поверхностях вставок, контактирующих с зеркалом втулки цилиндра.

На всю или только на примыкающую к зеркалу втулки цилиндров наружную поверхность вставок могут быть нанесены одно- или многослойные антифрикционные покрытия, в том числе тонкопленочные (рис. 5).

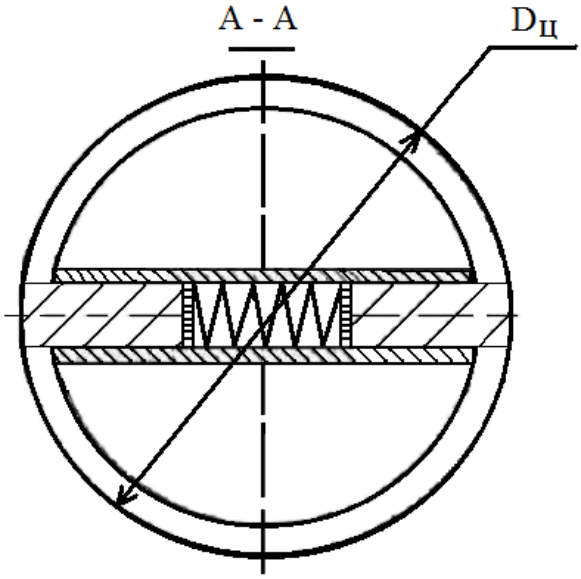


Рис. 2. Поперечный разрез цилиндропоршневой группы

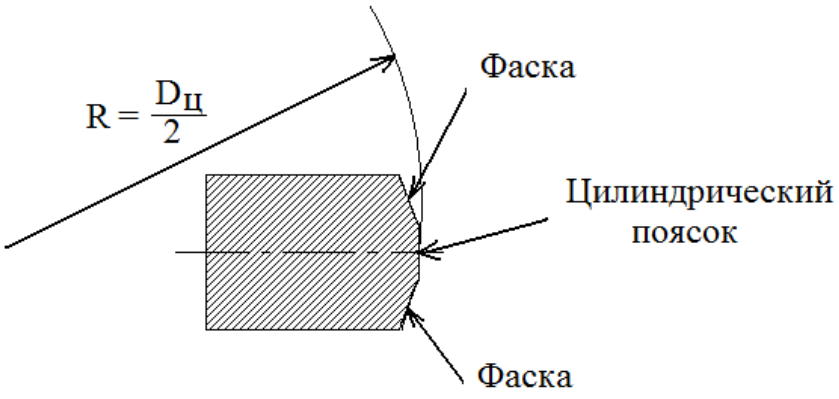


Рис. 3. Вставка

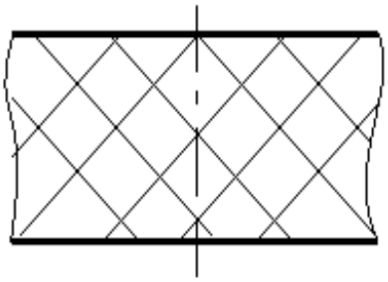


Рис. 4. Фрагмент маслоудерживающего микрорельефа, выполненный на поверхностях вставок

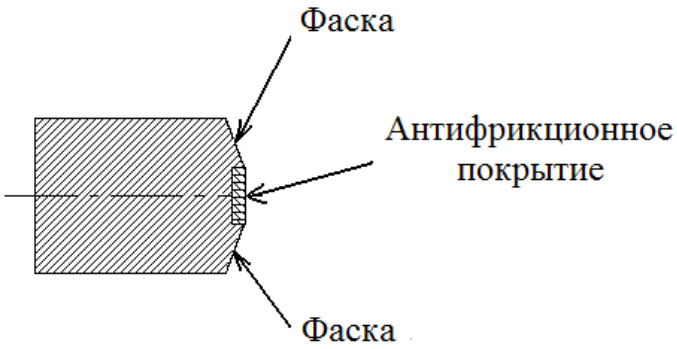


Рис. 5. Антифрикционное покрытие торцевых поверхностей вставок

Вставки могут быть выполнены из черных и цветных металлов, неметаллических и/или вибродемпфирующих и/или вибропоглощающих материалов (металлополимерных многофункциональных композиционных материалов, керамоматричных композитов на основе высокотемпературных карбидкремниевых структур; функционально-градиентных и слоистых металлокомпозитов и др.). На рис. 6 показаны масляные каналы, соединяющие поверхности вставок, прилегающие к зеркалу втулки цилиндров, с подшипниками, выполненными в бобышках поршня и/или в верхней головке шатуна.

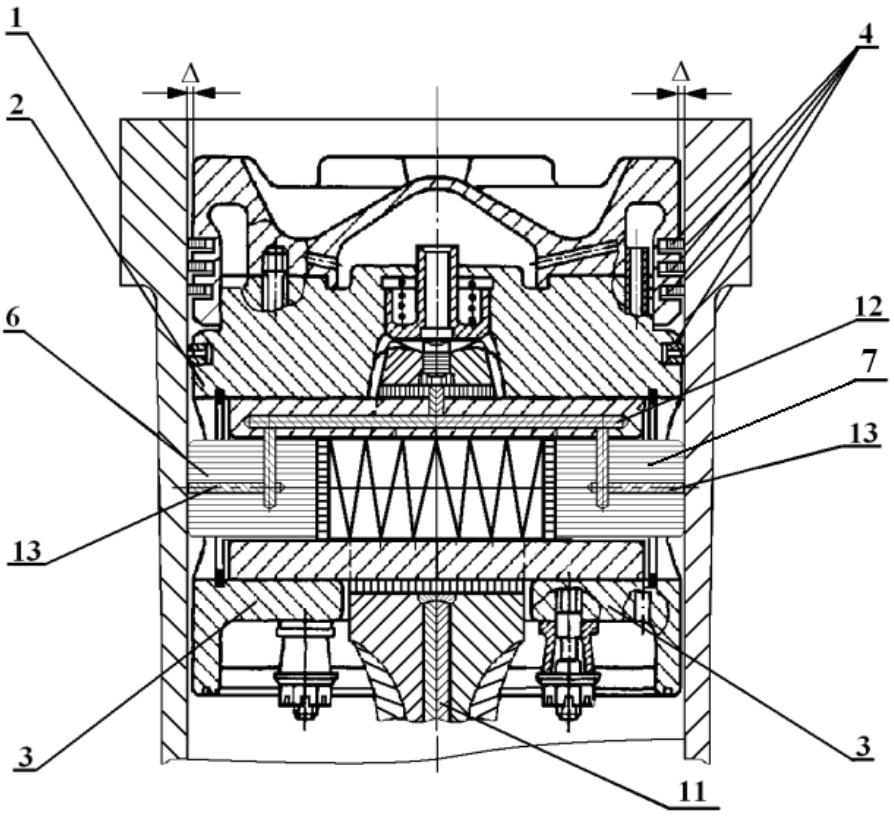


Рис. 6. Продольный разрез цилиндропоршневой группы
с масляными каналами

На рис. 7 показаны вставки, выполненные составными из материалов с различными вибродемпфирующими и вибропоглощающими свойствами; на рис. 8 показано полое выполнение вставок.

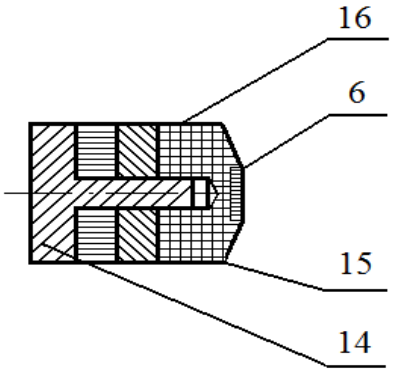


Рис. 7. Составные вставки

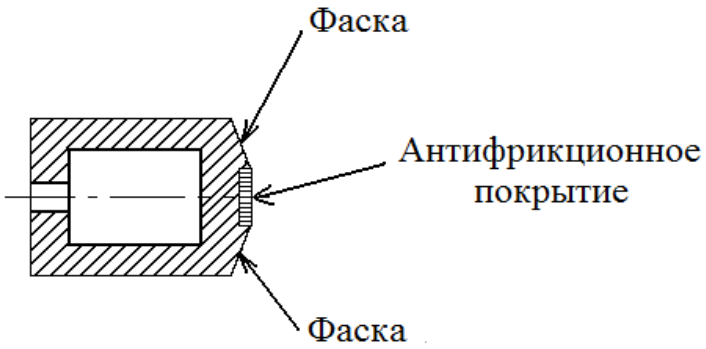


Рис. 8. Полые вставки

Вставки могут быть выполнены в виде П-образных конструкциий, открытые стороны которых направлены во внутреннюю часть поршня (рис.9).

Вставки могут быть выполнены в виде цилиндрических оболочек, причем торцевые поверхности вставок в плоскости, перпендикулярной движению поршня, и прилегающие к зеркалу втулки цилиндра выполнены по радиусу, равному половине внутреннего диаметра втулки цилиндра в ее рабочем состоянии, а противоположные торцевые поверхности – перпендикулярно к продольной оси вставок.

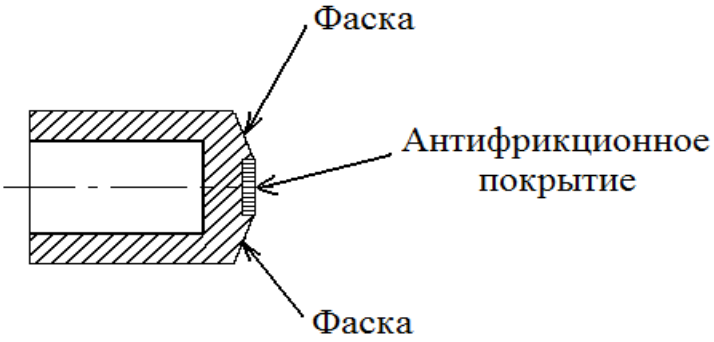


Рис. 9. П-образная конструкция вставки

Рассмотренное устройство работает следующим образом.

На неработающем двигателе под воздействием вставок 6 и 7 в поршневой палец 5 и пружины сжатия 8 поршень 2 занимает центральное положение, при котором его продольная и поперечная оси совпадают с осями втулки цилиндра 1, а тепловой зазор Δ имеет одинаковую величину по всей окружности тронка поршня.

За счёт того, что поверхности вставок 6 и 7, контактирующие с зеркалом втулки цилиндра 1, имеют радиус R, в плоскости, перпендикулярной движению поршня 2, равный половине диаметра (D) втулки цилиндра 1 (в

рабочем состоянии) $R=D/2$, обеспечивается плотное прилегание вставок 6 и 7 к поверхности зеркала втулки цилиндра 1.

Во время работы ДВС величина нормальной составляющей движущей силы, действующей на поршень 2, изменяет свою величину и направление [2].

При изменении знака действия нормальной силы, то есть в мертвых точках, происходит перекладка поршня 2. При этом число перекладок зависит от особенностей конструкции и режима работы поршневой машины и может насчитывать от 6 до 9.

Наибольший размах имеют колебания втулки, вызванные ударом поршня вблизи верхней мертвой точки на рабочем такте. При этом величина кинетической энергии колебательного движения втулки цилиндров и других деталей остова будет пропорциональна величине зазора между тронком поршня 2 и зеркалом цилиндра 1 в степени 4/3.

Процесс перекладки поршня состоит из двух фаз. В первой фазе, где доминирует поперечное перемещение поршня, происходит удар о зеркало втулки нижней кромкой тронка. Во второй фазе доминирует вращение поршня, в результате которого имеет место его удар о втулку верхней частью тронка.

Для того чтобы уменьшить ударный импульс, в полом поршневом пальце 5 установлен демпфер, представляющий собой две вставки 6 и 7, имеющие специальную форму, прижатые к зеркалу втулки цилиндра, при помощи пружины 8. Степень сжатия пружины 8 регулируется шайбами 9. Пружина 8, прижимая вставки к зеркалу втулки цилиндра 1, постоянно находится в сжатом состоянии. При этом сила ее сжатия пропорциональна значению максимальной нормальной составляющей движущей силы и создает удельное давление на зеркало втулки цилиндра примерно равное удельному давлению поршневых колец.

Упругие силы пружины прижимают вставки 6 и 7 к поверхности зеркала втулки цилиндра 1 и препятствуют перемещению поршня 2 в тепловом зазоре между тронком и внутренней поверхностью втулки цилиндра 1, уменьшая интенсивность ударов после прохождения мертвых точек, когда сила сжатия пружин станет меньше нормальной составляющей силы.

В результате уровень шума и вибрации дизеля как новой, так и особенно, изношенной поршневой машины обусловлен величиной ударного импульса, сообщаемого втулке цилиндра поршнем в конце каждой его перекладки [2].

Для уменьшения сил трения на торцевых поверхностях вставок 6 и 7, примыкающих к зеркалу втулки цилиндра 1, выполнены фаски, создающие масляные клинья при возвратно-поступательном движении поршня 2 (рис. 3).

Для уменьшения сил трения на торцевых поверхностях вставок 6 и 7 выполнен маслоудерживающий микрорельеф (рис. 4), антифрикционное покрытие (рис. 5).

Для уменьшения сил трения и температуры может быть организована принудительная смазка моторным маслом торцевых поверхностей вставок 6 и 7 с помощью масляных каналов 11, 12 и 13 (рис. 6).

Для уменьшения высокочастотных колебаний вставки 6 и 7 могут быть выполнены составными из материалов с различными вибродемпфирующими и вибропоглощающими свойствами (рис. 7). В этом случае вставки состоят из металлических 14, вибродемпфирующих 15, из вибропоглощающих шайб 16.

Для уменьшения сил массы, а следовательно, сил инерции деталей поршневого комплекта вставки 6 и 7 могут быть выполнены полыми (рис. 8), П-образными (рис. 9) или в виде цилиндрических оболочек (рис. 10).

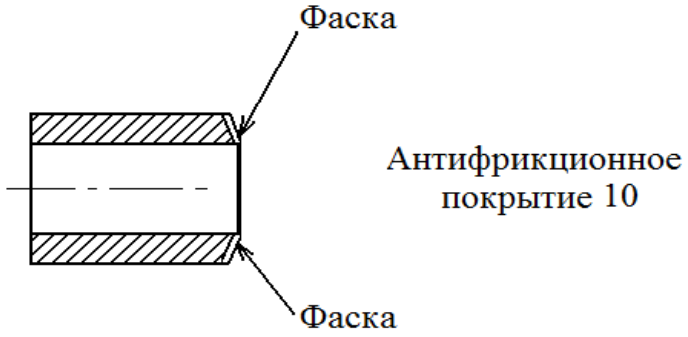


Рис. 10. Фаска в виде цилиндрических оболочек

Таким образом, данное техническое решение существенно улучшает виброакустические характеристики поршневых машин, поскольку наиболее интенсивным источником вибрации и, как следствие, шума являются колебания цилиндровых втулок и блоков, возникающие в результате перекладок и кантования поршней в пределах теплового зазора.

Кроме того, снижение интенсивности перекладок и кантования поршней уменьшает износ поршневых колец и поршневых канавок, расход масла на угар. По мере изнашивания тронка поршня и зеркала втулки цилиндра эффект от предлагаемого демпфирующего устройства возрастает.

Литература

1. Патент RU2450147 C2, МПК F02 F3/00, F16J F9/06. Цилиндропоршневая группа /О.К. Безюков, О.В. Афанасьева. Опубл. 10.05.2012.

2. Тузов, Л.В. Вибрация судовых двигателей внутреннего сгорания/ Л.В. Тузов, О.К. Безюков, О.В. Афанасьева. - СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012.-348с.

Детальное моделирование характеристики шума транспортного потока на автомагистралях

Бенов Д.М., Маждраков М.Г., Николов Н.Д., Тошков Й.Л.
ООО ЕКБАР
benov@benov.org

Шумовой характеристикой источника шума является уровень излучаемого звука, измеренного при определенных условиях – удаленность от источника, частота, высота земельного участка и т.д.

Шумовая характеристика транспортных потоков, в частности – автомобильных потоков, чаще всего определяется двумя способами:

– аналитическим методом, в виде функции с определенным количеством параметров, и

– посредством измерения уровня шума, осуществляемом непосредственно (в расчетных точках на территории) или на основе карты шума.

Аналитический метод является основным в проектировании новых или при реконструкции наличных объектов. В этих случаях результаты измерений и, соответственно, карта шума, имеют контрольное значение, а в расчетах используются объекты-аналоги.

Математические модели, составляющие основу аналитических методов, получены посредством комбинирования теоретических и натурных исследований, реже – при помощи лабораторных наблюдений.

Теоретические исследования [1] определяют основные факторы, которые оказывают влияние на шумовую характеристику автотранспортного потока:

– интенсивность транспортного потока N, выражающаяся количеством автомобилей в час;

– скорость движения отдельных категорий транспортных средств - $V, \mathrm{km/h}$;

– относительная доля грузового транспорта- $p, \%$;

– поправки, учитывающие продольный уклон, вид дорожного покрытия – асфальт, булыжник и др.

Значение шумовой характеристики рассчитывают по формуле, полученной по результатам статистической обработки натурных измерений, выполненных НИИСФ РААСН в 2004-2005 г.г. [2,3]:

$$L_{Аэкв7.5} = 9.5\lg N + 12.64\lg V + 7.98\lg(1+\rho) + \\ + \Delta L_{Анаст} + \Delta L_{Аукл} + 11.39, \qquad (1)$$

где N – интенсивность движения в двух направлениях, шт/ч;

V – средняя скорость движения, км/ч;

ρ – относительная доля грузовых автомобилей потоке, %;

$\Delta L_{Анаст}$ – поправка, учитывающая вид дорожного покрытия, дБА (при асфальтобетоне и асфальте $\Delta L_{Анаст} = 0$ дБА, при бетоне и неровном асфальтобетоне $\Delta L_{Анаст} = +3$ дБА);

$\Delta L_{Аукл}$ – поправка, учитывающая влияние продольного уклона в зависимости от структуры транспортного потока, дБА, которая рассчитывается согласно таблице 1.

Таблица 1

Поправка, учитывающая влияние продольного уклона в зависимости от структуры транспортного потока

Продольный уклон, %	$\Delta L_{Аукл.}$, дБА				
	Структура транспортного потока (% грузовых автомобилей)				
	0	**5**	**20**	**40**	**100**
2	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5
4	1.0	1.5	2.5	2.5	3.0
6	1.0	2.5	3.5	4.0	5.0
8	1.5	3.5	4.5	5.5	6.5
10	2.0	4.5	6.0	7.0	8.0

При скорости движения V, отличной от 50 км/ч, максимальный уровень звука $L_{Аэкв7.5}$ рассчитывают по формуле

$$L_{Аэкв7.5} = L_{Аэкв7.5}\left(50\frac{км}{ч}\right) + 32\lg\left(V/50\right). \quad (2)$$

Подход, использованный при построении математических моделей, предусматривает получение интегральной шумовой характеристики транспортного потока, т.е. возможные локальные экстремумы не принимаются во внимание.

Поэтому мы проанализируем два обстоятельства, отдельное или совместное действие которых обуславливает появление значительных отклонений в рассчитанных характеристиках:

– расположение транспортных потоков по ширине автомагистрали;

– динамика показателей N, V и ρ в течение времени, определяющего режим шума.

1. Влияние расположения транспортных средств по ширине проезжей части.

На рисунке 1 показан типовой поперечный профиль автомагистрали в Республике Болгарии с двумя односторонними проезжими частями, каждая по 2+1 полосы. Шумовая характеристика определяется в исходной точке (И$^{T)}$, находящейся в 7,5 метрах от оси крайней полосы движения. Данную характеристику однако следует расчитывать посредством энергетического суммирования характеристик транспортных потоков всех четырех полос, поскольку расстояние между ними соизмеримо с базовым расстоянием. Притом следует учитывать разные условия дорожного движения в отдельных полосах. По внутренним полосам движется меньше машин, но с более высокой скоростью. По внешним полосам движение осуществляется с меньшей скоростью, но там обычно проезжают тяжелые транспортные средства – грузовые автомобили и автобусы.

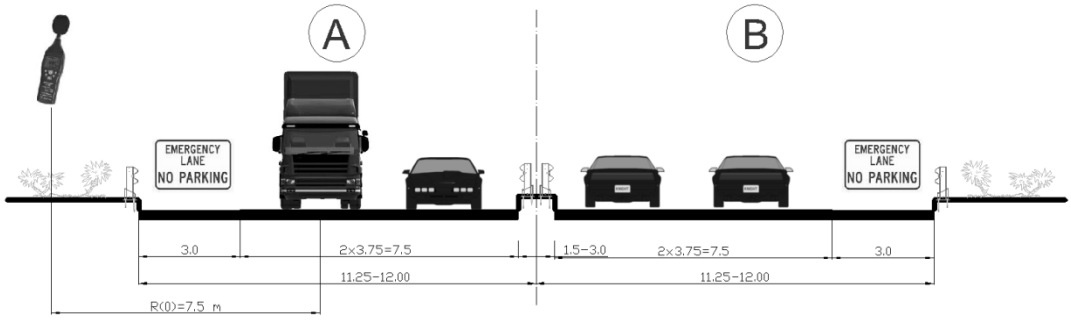


Рис. 1. Типовый поперечный профиль автомагистрали в Республике Болгарии.

В таблице 2 представлена суммарная шумовая характеристика при различном распределении транспортных потоков в различных полосах движения[1]. Как было сказано выше, принимая во внимание значительную ширину дороги, следует учитывать снижение уровня шума в связи с удалением от расчетной точки. Это снижение расчитывают по формуле [4]

$$\Delta L = 10\left(1 + \frac{\lg \ell/\pi}{\lg r}\right)\lg\left(\frac{r}{7.5}\right), \text{dB(A)}, \qquad (3)$$

где ℓ - это участок дороги – длина участка + дистанция, поддерживаемая транспортным средством, m;

$$\ell = \frac{1000V}{N}, \text{m};$$

r – расстояние от источника шума до расчетной точки, m.

[1] Расчеты произведены посредством программного обеспечения Noise Protection [5]

Получаемый в результате уровень шума расчитывают посредством энергетического суммирования по формуле:

$$L = 10\lg \sum 10^{0.1L_i}, \text{dB(A)},$$

где L_i - уровень шума от i-го источника, dB(A).

Таблица 2. Шумовая характеристика при различных вариантах расположения автомобилей на проезжих частях и в полосах.

Вар.	Σ, дБА	Проезжая часть А								
		Внешняя полоса				Внутренняя полоса				
		N	V	ρ	L	N	V	ρ	L	L-ΔL
I	89.3	2300	130	20	88.7	-	-	-	-	-
II	88.0	2000	120	23	87.4	300	140	-	70.7	65.3
III	86.6	1500	110	31	86.0	600	140	-	74.8	70.1
IV	85.2	1150	100	40	84.4	1150	140	-	76.3	71.9

Вар.	Σ, дБА	Проезжая часть В			
		Внутренняя полоса		Внешняя полоса	
		L	L-ΔL	L	L-ΔL
I	89.3	-	-	88.7	80.1
II	88.0	70.7	60.9	87.4	78.7
III	86.6	74.8	66.2	86.0	76.9
IV	85.2	76.3	68.2	84.4	75.0

Из результатов, приведенных в таблице 2, видно, что разница между шумовыми характеристиками различных вариантов составляет 4.1 дБА. Кроме того следует отметить, что решающее значение для определения шумовой нагрузки имеет движение в самой близкой от обочины полосе.

2. Влияние динамики изменения факторов в течение суток.

Распространение и уровень дорожного шума и динамика его изменения во времени обуславливают так называемый шумовой режим. Этот режим зависит от близости населенных пунктов, от времени года, административной регуляции, навыков населения и т.д..

Наблюдения показывают различное распределение интенсивности движения и состава транспортного потока в разное время суток, и установлено наличие двух максимумов, чаще всего – утром и вечером, а также некоторое снижение ночью. В таблице 3 показано примерное распределение интенсивности транспортного потока в течение суток и соответствующая шумовая характеристика.

Таблица 3. Динамика изменения шумовой характеристики в течение суток

Параметры	Часы суток							
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
N	510	540	990	2230	3940	2440	2700	820
V	100	110	120	130	135	125	120	110
ρ	33	44	34	17	9	26	11	24
L	80.5	83.0	84.6	89.2	88.8	89.2	86.3	82.7

Из результатов в таблице 3 видно, что разница в шумовых характеристиках по отдельным периодам суток является значительной – приблизительно до 9 дБА.

3. Локальные экстремумы интенсивности транспортного потока.

В интенсивности дорожного движения, особенно на въездных и выездных магистралях крупных городов, с наступлением отпускного сезона и в выходные дни, особенно в случаях переноса выходных дней наблюдаются экстремальные значения. Применяемые административные меры – такие, как приостановление движения тяжелых транспортных средств, усиленный контроль над скоростью и тем подобные, оказывают определенное, хотя и ограниченное воздействие на шумовую нагрузку.

Наблюдения показывают, что в послеобеденные часы рабочего дня накануне выходных интенсивность транспортных потоков, исходящих из крупных городов, составляет 4-5 тысяч автомобилей в час в двух полосах движения. Тяжелый транспорт представлен ограниченным числом - не более 2-3 % автобусов по внешней полосе. Скорость движения в обоих полосах не превышает 100-110 km/h. Движение во входной полосе является значительно более слабым, и его влиянием можно пренебречь. Шумовые характеристики транспортных потоков в обоих полосах в то время составляют соответственно 80.4 дБА и 74.1 дБА, а суммарный эффект составляет 81.3 дБА.

Аналогичную картину шума можно пронаблюдать во въездной полосе в послеобеденные часы последнего выходного дня.

4. Выводы.

1. Динамика значений шумовой характеристики транспортных потоков на автомагистралях определяется отдельным или совместным действием двух факторов:

– расположением транспортных потоков по ширине автомагистрали;

– динамикой показателей N, V и ρ в течение времени, определяющего режим шума.

2. В зависимости от действия вышеуказанных факторов, значения шумовой характеристики изменяются в определенных границах. В отношении конкретных примеров расчеты составляют приблизительно не более

9 дБА в течение суток и приблизительно 6 дБА, в зависимости от расположения автомобилей в отдельных проезжих частях и полосах движения.

3. При такой динамике шумовой характеристики „сбои“ в противошумных мероприятиях являются неизбежными. Например, для того, чтобы скомпенсировать разницу, составляющую 9 дБА в шумовой характеристике, следует увеличить на 2-3 метра высоту транспортного шумозащитного экрана.

4. В настоящих исследованиях делается упор на значимости проблем, вызванных динамикой изменения показателей. Для получения более полной картины необходимо использовать также другие приемы, например стохастическое моделирование по методу Монте-Карло [6].

Литература

1. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Г.Л. Осипов, Е.Я. Юдин, Г. Хюбнера и др.; Под ред. Г.Л. Осипова, Е.Я. Юдина. – М.: Стройиздат, 1987. – 588 с.

2. *Аистов В.А.* Усовершенствование методы расчета шумовых характеристик автотранспортных потоков в современных условиях г. Москва. // Строительная физика в XXI веке. Материалы научно-технической конференции. НИИСФ РААСН: – Москва: 2006. – С. 388-391.

3. *Николов, Н., А. Писарски, И. Цукерников, И. Шубин.* Шумозащитые ограждения. Сдана в печать.

4. Николов, Н. Градоустройствена акустика. София, УИ „Св. Климент Охридски”, 2006, 236 с.

5. *Бенов, Д., Н. Николов, Й. Тошков.* Система за автоматизирано проектиране на транспортни шумозащитни екрани “Noise Protection”. Сдана в печать (www.acmo-2006.eu/library).

6. *Маждраков, М., Д. Бенов.* Моделиране на шумовата характеристика на транспортния поток по автомагистрали с метода „Монте Карло“. Сдана в печать (www.acmo-2006.eu/library).

Оценка негативного шумового воздействия и риска здоровью населения с помощью программы АРМ «Акустика» 3D

Иванов А.В., Кузьмицкий А.М., .Никифоров А.В.
ООО «ТЕХНОПРОЕКТ», Санкт-Петербург, Россия
ivanov.av.spb@mail.ru

В процессе разработки разделов экологического проектирования, связанных с оценкой шумового воздействия и защиты от шума, акустику приходится решать целый ряд непростых и трудоемких задач, связанных с оценкой факторов, влияющих на распространение шума, поиском шумовых характеристик оборудования, разработкой шумозащитных мероприятий и т.д.

С введением в практику новых нормативных документов [1-3], регламентирующих методики расчета шума при распространении на местности, задача акустика ещё больше усложнилась, ввиду появления более сложных аналитических зависимостей при оценке экранирования, необходимости учета мнимых источников при влиянии отраженного звука и прочих факторов.

Принимая во внимание изложенные выше факты, без преувеличения можно отметить, что выполнение акустических расчетов без использования специализированных программных продуктов представляет собой чрезвычайно трудоемкую задачу, особенно для сложных и насыщенных источниками шума объектов.

Программный продукт АРМ «Акустика» 3D (www.noiseview.ru), помогает существенно уменьшить трудоемкость акустических расчетов, сократить сроки выполнения проектных работ, одновременно повышая их качество.

Программа может быть использована при проведении проектных работ по размещению новых объектов с учётом существующей градостроительной ситуации и рельефа местности, оценки влияния шума существующих объектов на окружающую среду, а также разработки мероприятий по снижению уровней шума.

Акустические расчёты, реализуемые АРМ «Акустика» 3D, производятся в соответствии с действующими нормативными документами [1-5], что подтверждено экспертными заключениями.

Интерфейс программы позволяет пользователю конструировать неравномерный рельеф с любой степенью детализации, городскую застройку

произвольных форм, а также дорожную сеть с многоуровневыми развязками, мостами и эстакадами. Также может быть сконструировано и внутреннее устройство зданий для решения задачи распространения шума внутри помещений. Все действия по редактированию могут проводиться в режиме трёхмерной сцены или на плоскости (рис. 1).

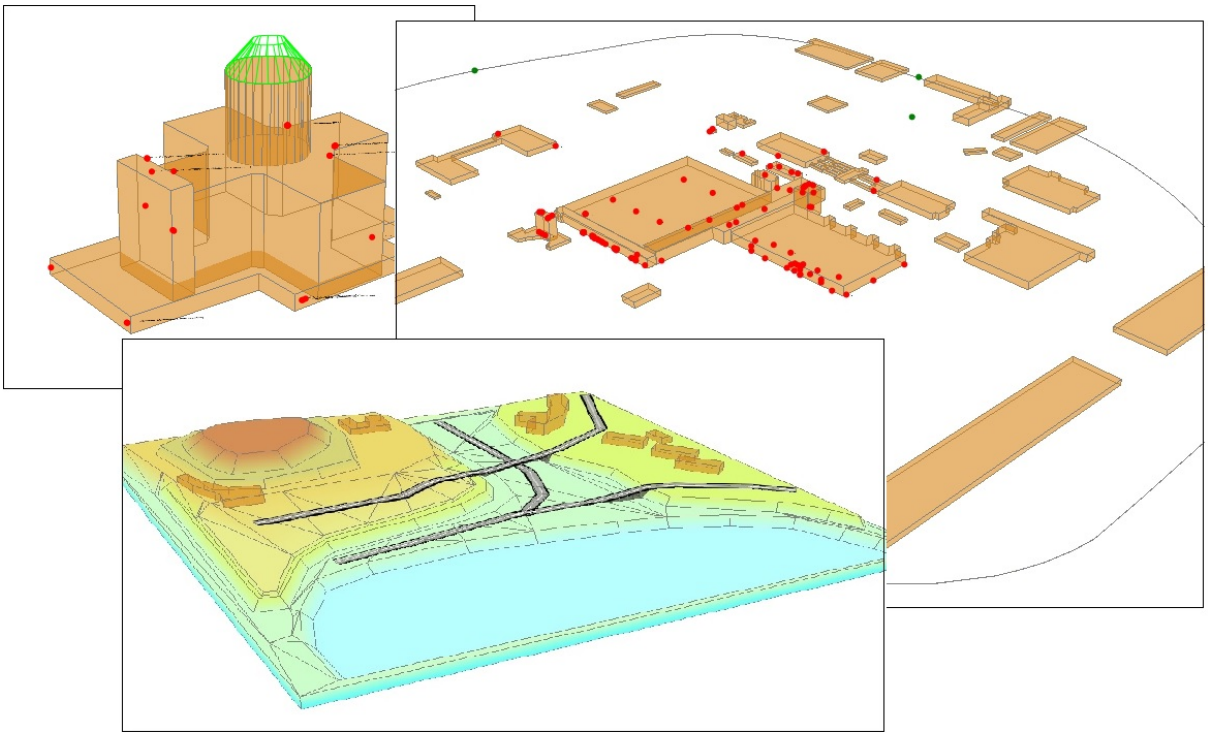


Рис.1. Трехмерное конструирование и визуализация сложных объектов градостроительной ситуации и рельефа программой АРМ «Акустика» 3D.

Геометрически источники шума представлены в программе точечными, линейными и полигональными объектами. Эти объекты могут представлять шум технологического оборудования, транспорта, производственных операций и т.п. В каждом конкретном случае для ввода начальных данных программа предоставляет отдельный набор вводимых параметров.

Часто поиск шумовых характеристик и их грамотное использование в расчетах представляет непростую задачу, так как не всегда имеется возможность найти необходимые каталоги фирм-производителей, а приведенные в них характеристики не всегда напрямую могут быть использованы в расчетах, например, приведены только уровни звука без разложения по октавным полосам частот. АРМ «Акустика» имеет встроенный каталог шумовых характеристик основных источников шума, наиболее часто встречаемых в практике эколога-акустика. Используя каталог, можно быстро выполнить поиск нужных данных, при необходимости разложить уровни звука в спектр по октавным полосам частот, рассчитать уровни звуковой

мощности вентилятора в зависимости от его марки, производительности и напора, вычислить звуковую мощность на основе данных по звуковому давлению, а также пересчитать шумовые характеристики из дБА в дБ.

В случае распространении звука через сложные сети воздуховодов требуется выполнять трудоемкие вычисления по оценке снижения уровней шума во всех рассматриваемых элементах сетей. Программа позволяет автоматизировать расчет снижения звуковой мощности в сети. Для выполнения акустического расчета от пользователя требуется только ввод основных геометрических параметров элементов сети и марок шумоглушителей.

При распространении шума на селитебных территориях весьма сложную задачу представляет собой учет влияния на распространение звука таких основных факторов, как экранирование элементами застройки, отражение звука от объектов застройки, дифракция за препятствия, распространение через арки и проёмы, влияние подстилающей поверхности и зелёных насаждений. Реализованные в АРМ «Акустика» 3D алгоритмы базируются на основных положениях из [2-3] и позволяют учесть в акустическом расчете все многообразие факторов, влияющих на распространение шума, при необходимости адаптируя расчетную модель к конкретным условиям на рассматриваемой территории шумового влияния объекта.

При распространении шума внутри зданий используются положения [4]. Расчёт может быть произведён по сети связанных помещений, при этом может быть учтён совместный вклад внешнего шума и внутренних источников шума. Также возможен расчёт изнутри шумных помещений на территорию с последующим внешним распространением. Акустические характеристики помещений и вычисляются автоматизировано в зависимости от геометрии помещений, а также характеристик звукоизоляции и звукопоглощения материалов стен и проёмов.

В условиях протяженных площадок, на которых размещаются разнообразное по своим характеристикам оборудование и другие источники шума предприятия, в сочетании со сложной градостроительной ситуацией, когда к площадке примыкают объекты жилой застройки различной высоты и с неодинаковыми нормативными требованиями по шуму, выбор лимитирующих расчетных точек по фактору шума становится непростой задачей. Для её решения программа позволяет провести рекогносцировочный анализ шумовой обстановки путем построения шумовых карт, 3D поверхностей и разрезов с изолиниями уровней шума (рис. 2).

Это позволяет выявить критические точки в плане и по высоте, для которых в дальнейшем проводится детальный акустический расчет с подбором, при необходимости, комплекса шумозащитных мероприятий.

При наличии большого количества источников шума и нормируемых по шуму объектов важным этапом является выявление источников с наибольшим вкладом в суммарный уровень шума в различных расчетных точ-

ках. АРМ «Акустика» 3D предоставляет возможность пользователю выполнить оперативный анализ вклада отдельных источников шума в суммарный уровень шума для каждой критической расчетной точки, что способствует быстрому и грамотному выбору комплекса шумозащитных мероприятий (рис. 3).

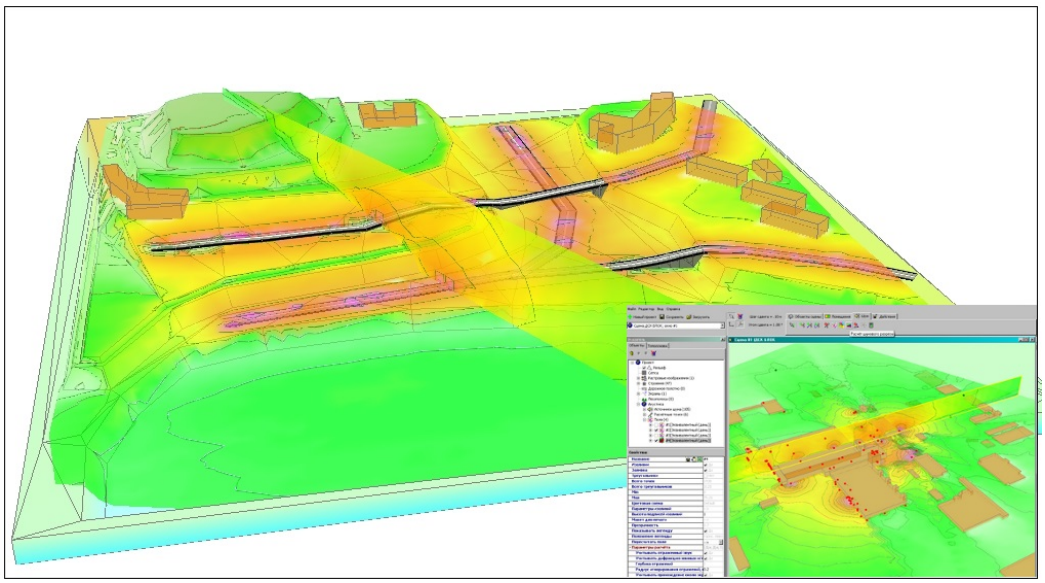


Рис.2. Построение изолиний уровней шума

Подробный отчёт в формате MS Excel по распространению шума от источников к расчётной точке позволяет не только моментально получить все расчёты в пригодном для подачи на экспертизу виде, но и проанализировать вклад каждого из факторов распространения (дивергенция, дифракция, отражения, влияние подстилающей, атмосферные условия), что особенно полезно при проектировании.

Ещё одной задачей, в решении которой может помочь программа, является оценка риска для здоровья населения под воздействием внешнего шума. Это одна из важнейших задач планирования развития селитебных территорий и транспортной инфраструктуры. Основным опасным фактором здесь является транспортный шум.

Методики оценки риска здоровью населения под воздействием транспортного шума предполагают наличие у исследователя информации об уровнях и частотных характеристиках шума, времени его воздействия и характеру распределения на селитебной территории. Эта информация может быть получена путём инструментальных исследований или путём расчёта распространения шума на исследуемой территории. В программе АРМ «Акустика» 3D реализован функционал, позволяющий исследователю провести оценку риска от воздействия транспортного шума с помощью ряда методик, описанных в [6].

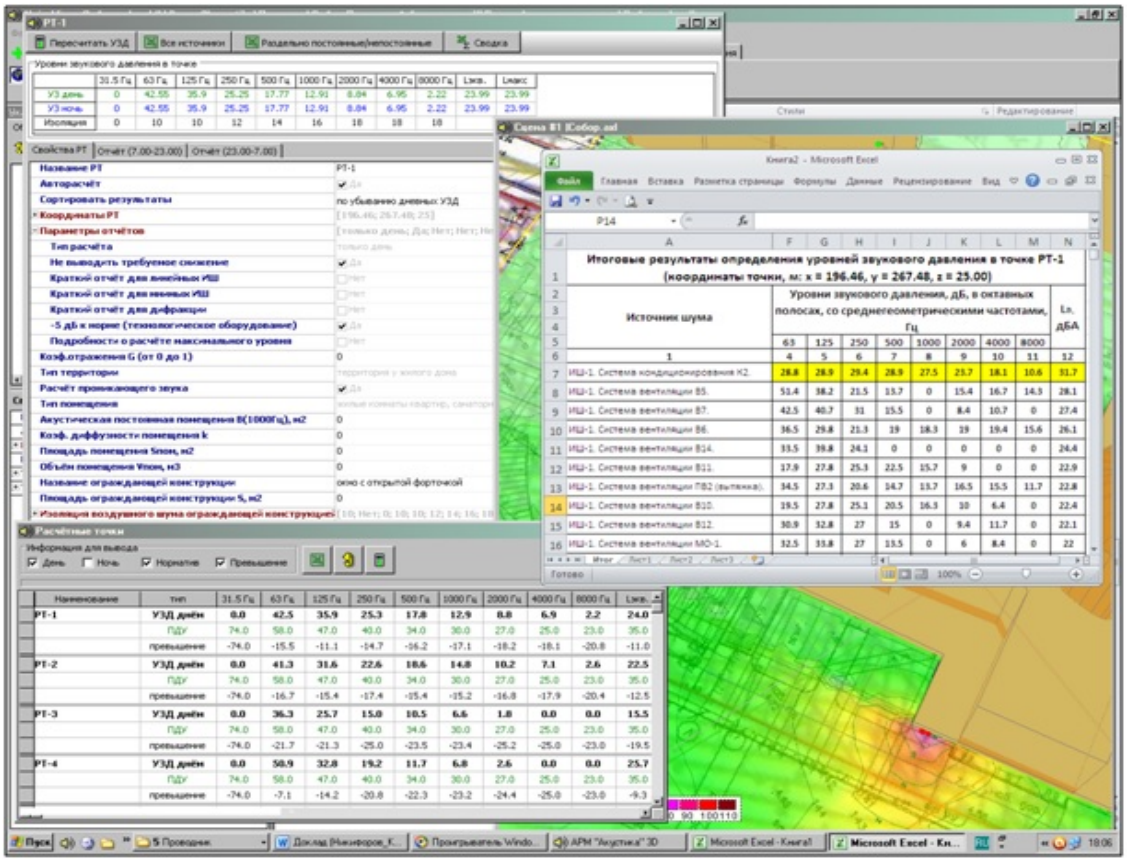


Рис.3. Сводные таблицы для экспресс-анализа вклада отдельных источников и уровней шума в расчетных точках

Этап идентификации опасности при расчётах риска практически совпадает с процедурами ввода и анализа транспортных источников шума в программе и является в данном случае тривиальным.

Этап оценки экспозиции включает в себя определение эквивалентных скорректированных уровней дневного (L_{day}) и ночного (L_{night}) уровней шума, а также эквивалентного уровня средневзвешенного суточного шума (L_{den}). В данном случае эти параметры будут представлять оценку воздействия в условиях стабилизировавшейся или прогнозируемой санитарно-гигиенической ситуации.

Оценка зависимости «экспозиция-ответ» осуществляется по соотношениям из табл. 3 [6] и решением системы рекуррентных уравнений (7) [6], используемых для оценки агрегированного риска нарушений сердечно-сосудистой, нервной системы и органов слуха с заданной экспозицией.

На выходе пользователь получает графическую (в виде цветовых карт и разрезов) и табличную информацию по результатам расчётов, которая значительно облегчает заключительный этап анализа – характеристику риска и выявление его основных источников.

Таким образом, программа АРМ «Акустика» 3D позволяет решать достаточно широкий спектр задач в сфере оценки шумового воздействия с минимальными затратами времени на проектирование и достаточно высокой достоверностью результатов. Все вычисления программы выводятся в подробный отчёт, который может быть представлен на экспертизу, а также может служить средством аналитического исследования или учебным пособием для начинающих проектировщиков.

Литература

1. СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003».
2. ГОСТ 31295.1-2005 "Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчёт поглощения звука атмосферой».
3. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета».
4. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».
5. СН. 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
6. МР 2.1.10.0059-12 «Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума».

Определение акустических характеристик волокнистых звукопоглощающих материалов

Воробьева Л.С.[1], *Комкин А.И.*[1],
Надарейшвили Г.Г.[2], *Юдин С.И.*[2]
[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана
[2]ООО "НТЦ МСП"
yudin_si@mail.ru

Для расчета акустической эффективности диссипативных (или комбинированных) глушителей шума с помощью конечно-элементного моделирования в любом программном продукте необходимо задавать акустические характеристики размещаемого там звукопоглощающего материала (ЗПМ). Аналитические модели ЗПМ достаточно сложны и включают в себя большое число параметров, зависящих от структуры ЗПМ. В связи с этим на практике для описания акустических характеристик ЗПМ часто пользуются полуэмпирические выражениями, полученными на основе аппроксимации результатов измерений таких характеристик на образцах исследуемого ЗПМ в стендовых условиях.

Для описания акустические характеристики ЗПМ обычно используется такие параметры как постоянная распространения k и волновое сопротивление Z [1]. Наряду с этим, особенно при проведении численных расчетов, целесообразно [2] использовать два других параметра: комплексную скорость звука в материале c и комплексную плотность ρ согласно. Комплексных характер этих параметров, а точнее его мнимая составляющая, количественно определяет затухание звука в ЗПМ.

В данной работе рассмотрена методика определения этих параметров по результатам проведения экспериментальных исследований. Объектом исследования был ЗПМ в виде базальтового волокна, нашедшего широкое применение в глушителях шума автотранспортных средств. Измерения этих характеристик осуществлялись методом четырех микрофонов [3]. Схема измерений представлена на рис. 1. Образец материала толщины d установлен в импедансной трубе между двумя парами микрофонов M_1, M_2 и M_3, M_4. На одном конце трубы размещается динамик S. На другом конце расположена акустическая нагрузка L.

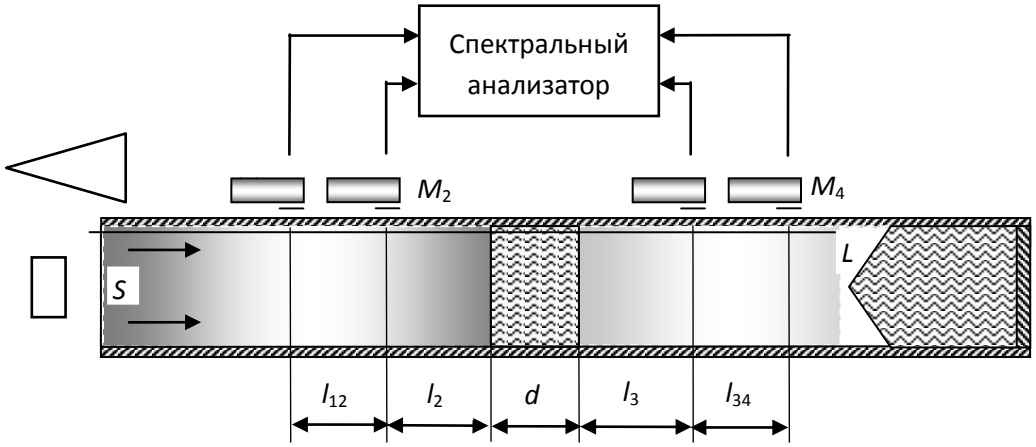


Рис 1. Схема измерений

Определив спектры звуковых давлений P_1, P_2, P_3, P_4 в точках расположения микрофонов и передаточные функции $H_{21}=P_2/P_1$, $H_{31}=P_3/P_1$, $H_{41}=P_4/P_1$, можно найти спектры звуковых давлений и колебательных скоростей у лицевой P_u и V_u и задней P_d и V_d , сторонах образца [4]:

$$P_u = P_1 \frac{H_{21}\sin[k_0(l_{12}+l_2)] - \sin(k_0 l_2)}{\sin(k_0 l_{12})} = P_1 \tilde{P}_u ;$$

$$P_d = P_1 \frac{H_{31}\sin[k_0(l_{34}+l_3)] - H_{41}\sin(k_0 l_3)}{\sin(k_0 l_{34})} = P_1 \tilde{P}_u ;$$

$$V_u = jP_1 \frac{H_{21}\cos[k_0(l_{12}+l_2)] - \cos(k_0 l_2)}{Z_0 \sin(k_0 l_{12})} = jP_1 \tilde{V}_u ;$$

$$V_d = jP_1 \frac{H_{41}\cos(k_0 l_3) - H_{31}\cos[k_0(l_{34}+l_3)]}{Z_0 \sin(k_0 l_{34})} = jP\tilde{V}_u .$$

где $k_0 = \omega/c_0$ — волновое число; ω — круговая частота; c_0 — скорость звука в воздухе; $Z_0 = \rho_0 c_0$ — волновое сопротивление воздуха; ρ_0 — плотность воздуха.

Отсюда находим искомые комплексные значения акустических характеристик ЗПМ:

$$Z = \sqrt{T_{12}/T_{21}}; \qquad k = \frac{1}{d}\arccos(\sqrt{T_{11}T_{22}}) = \frac{1}{d}\arcsin(\sqrt{-T_{12}T_{21}}),$$

где

$$T_{12} = \frac{P_u^2 - P_d^2}{P_d V_u + P_u V_d}; \qquad T_{21} = \frac{V_u^2 - V_d^2}{P_d V_u + P_u V_d} .$$

Измерения акустических характеристик исследуемого образца базальтового волокна были проведены в лаборатории Института технической акустики технического университета г. Ахен на стенде, представленном на рис.2.

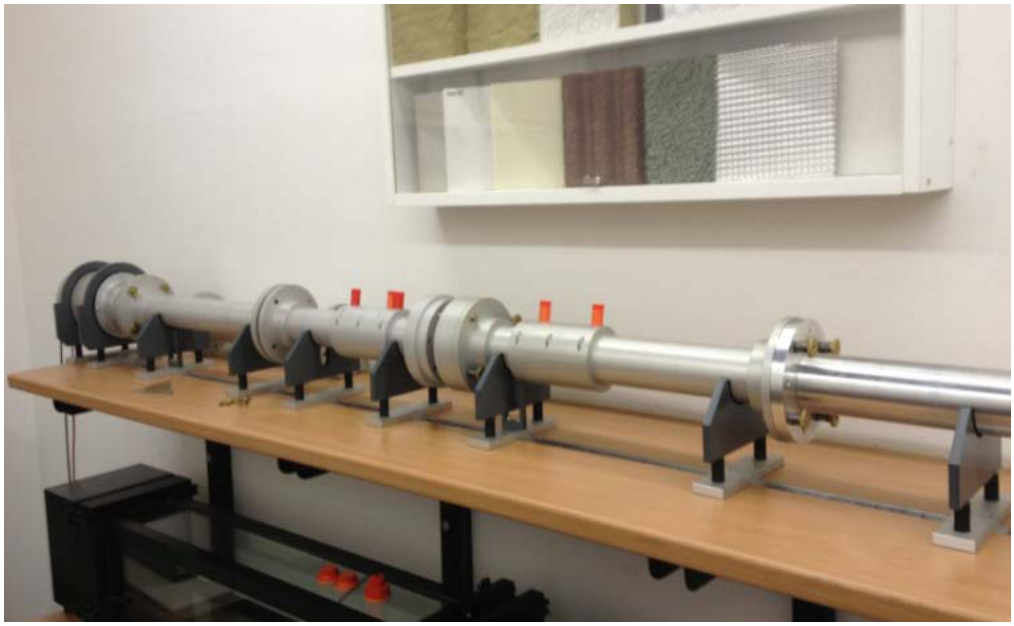


Рис 2. Измерительный стенд

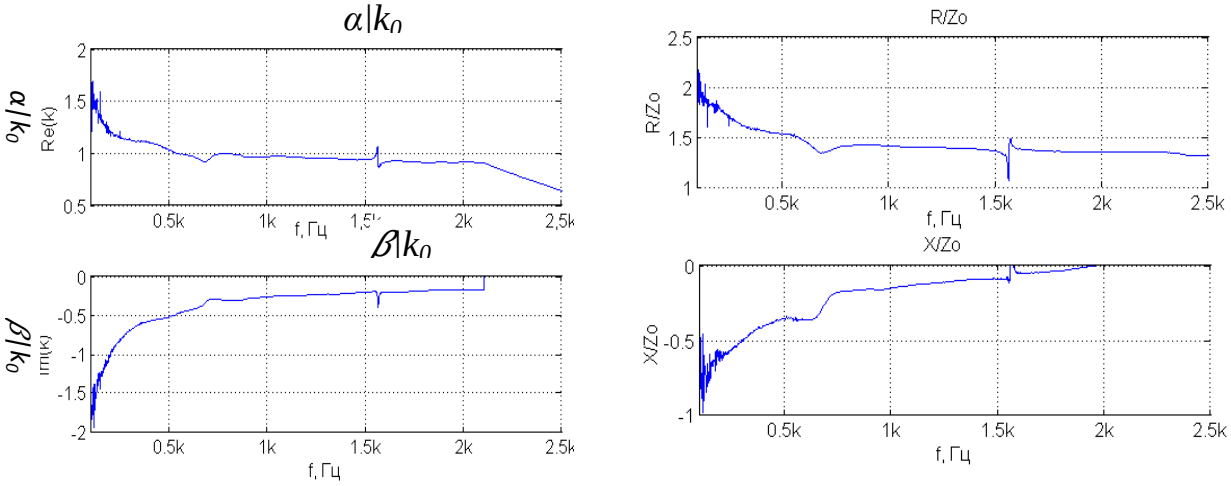
При проведении испытаний на динамик подавался сгенерированный с помощью компьютера синусоидальный сигнал с линейно изменяющейся во времени частотой [5]. Сигнал, регистрируемый микрофонами, подвергался последующей обработке на компьютере в среде MATLAB [6]. Обработка сигнала осуществлялась с использованием специального временного окна, что позволяет убрать из рассмотрения нежелательные отражения звуковых волн, имеющие место в рассматриваемой системе и приводящие к ошибкам в последующей цифровой обработке измеряемых сигналов.

Испытания проводились с образцом базальтового волокна плотностью 110 кг/м^3 . Как показывает практика, такое значение плотности базальтового волокна близко к оптимальному при его использовании в автомобильных глушителях шума. Дальнейшее увеличение плотности не приводит к заметному повышению эффективности глушителя, а ее уменьшение может приводить к выдуванию материала из глушителя газодинамическим потоком.

Представим постоянную распространения k и волновое сопротивление Z ЗПМ в виде:

$$k = \alpha + j\beta\ ; \qquad Z = R - jX\ . \tag{1}$$

Эти характеристики, полученные по результатам проведенных экспериментальных исследований. На рис.3 приведены нормированные постоянная распространения и волновое сопротивление:



а) б)

Рис 3. Реальные и мнимые компоненты нормированных: а) постоянной распространения и б) волнового сопротивления для базальтового волокна

После того как k и Z определены, можно вычислить комплексную скорость звука в материале c и его комплексную плотность ρ, используя соотношения [2]

$$c = j2\pi f/k\,; \qquad \rho = Z/c\,,$$

которые с учетом (1) преобразуются к виду

$$c_B = \left[\frac{\omega\beta}{\alpha^2+\beta^2}\right] + j\left[\frac{\omega\alpha}{\alpha^2+\beta^2}\right]$$

$$\rho_B = \left[\frac{(X\alpha + R\beta)}{\omega}\right] - j\left[\frac{(R\alpha - X\beta)}{\omega}\right]$$

С другой стороны, основываясь на исследовании Делани и Базлей [7], величины k и Z можно представить как функции безразмерного параметра $(\rho_0 f/r)$, где f – частота в Гц, а r удельное сопротивление продуванию в Рэл/см, т.е. 10^{-3} Н·с/м^4. С этой целью в настоящее время используются следующие эмпирические формулы:

$$\alpha/k_0 = C_1(\rho_0 f/r)^{-C_2}\,; \qquad \beta/k_0 = 1 + C_3(\rho_0 f/r)^{-C_4} \qquad (2)$$

$$R_1/Z_0 = 1 + C_5(\rho_0 f/r)^{-C_6}\,; \qquad X/Z_0 = C_7(\rho_0 f/r)^{-C_8}\,. \qquad (3)$$

где C_1 - C_8 – постоянные величины, значения которых должны определяться на основе обработки экспериментальных данных для исследуемого образца ЗПМ по методу наименьших квадратов.

В результате обработки полученных экспериментальных кривых были получены значения входящих в уравнения (2) и (3) постоянных, с уче-

том того, что удельное сопротивление продуванию исследуемого образца r = $3 \cdot 10^{-2}$ Н·с/м. Затем, основываясь на этих данных, были найдены аппроксимирующие выражения и для комплексной скорости звука *c* и комплексной плотности ρ данного ЗПМ.

Результаты вычислений параметров *c* и *k*, как непосредственно из результатов измерений, так и основываясь на аппроксимации Делани и Базлей, представлены на рис.4.

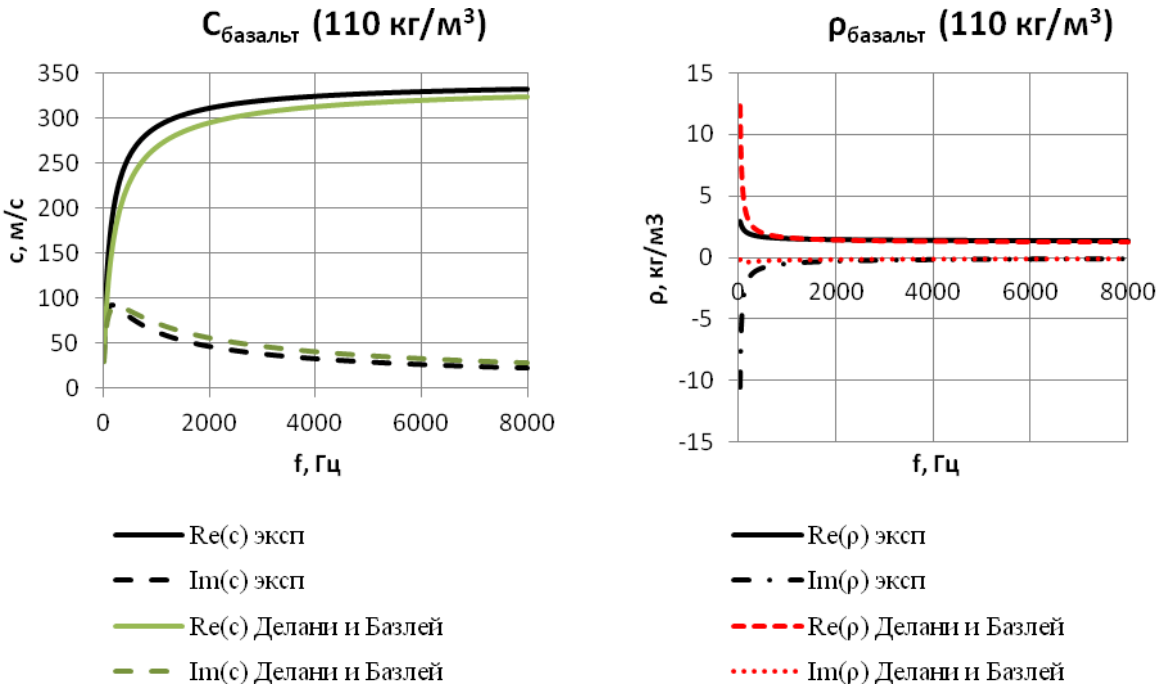


Рис 4. Комплексные скорость звука и плотность для базальтового волокна

Как следует из представленных результатов, полученные аппроксимирующие кривые, имеют хорошее соответствие с экспериментальными результатами и поэтому могут быть использованы в последующем конечно-элементном моделировании и расчете акустических характеристик диссипативных глушителей шума.

Л И Т Е Р А Т У Р А

5. Справочник по технической акустике: Пер.с нем. / Под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера. - Л.: Судостроение, 1990.
6. Mehdizadeh O.Z., Paraschivoiu M. A three dimensional finite element approach for predicting the transmission loss in mufflers and silencers with no mean flow.// Applied Acoustics. 2005. V.66. P. 902-918.

7. Muehleisen R.T., Beamer IV C. W., Tinianov B. D. Measurements and empirical model of the acoustic properties of reticulated vitreous carbon // J. Acoust. Soc. Am. 2005.V.117, N 2. P. 536-544.
8. Комкин А.И., Юдин С.И. Измерение и расчет акустических характеристик волокнистых звукопоглощающих материалов // Сб. трудов XIX сессии Российского акустического общества. Т.3. – М.: ГЕОС, 2007. – С. 259–263.
9. Müller S., Massarani P. Transfer Function Measurement with Sweeps // J.AudioEng. Soc. 2001. V.49. P. 443- 471.
10. Dietrich P., Masiero B., Müller-Trapet M., Pollow M., Scharrer R. MATLAB Toolbox for the Comprehension of Acoustic Measurement and Signal Processing // DAGA, 2010.
11. Delany M.E., Bazley E.N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials // Applied Acoustics. 1970. V.3, N 1. P. 105-116.

Оценка акустического воздействия авиационного шума на население на примере проведения мониторинга шума аэропорта "Пулково"

Светлов В.В.
БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова

1. Введение

В территориальном отношении участок аэропорта «Пулково» расположен в Московском административном районе г. Санкт-Петербурга.

Территория аэропорта общей площадью около 1300 га граничит:

- с севера – с производственными, транспортно-логистическими, общественно-деловыми и складскими территориями, жилой застройкой Авиагородка и садовыми участками;
- с востока – с Пулковским шоссе и общественно-деловыми территориями, включая подъездные пути к аэровокзальному комплексу Пулково-1;
- с запада – с незастроенной территорией города;
- с юга – с землями Ленинградской области; с территорией, зарезервированной для развития аэропорта на долгосрочную перспективу; районом города Санкт-Петербурга Подгорелово.

Рельеф территории спокойный с абсолютными отметками от 16,0 м до 22,0 м с понижением рельефа от юго-восточной части территории к северной и восточной её частям.

Функционально территорию аэропорта можно разделить на привокзальные зоны, контролируемую зону аэродрома и территории служб эксплуатации и обеспечения, которые частично находятся в Авиагородке.

Аэродром аэропорта «Пулково» имеет две параллельные независимые взлетно-посадочные полосы, систему магистральных, соединительных и вспомогательных рулежных дорожек, пять перронов. Искусственные взлетно-посадочные полосы №1 и №2 предназначены для посадки в соответствии с категорией ИКАО без ограничений по взлетной массе. Аэродром соответствует сертификационным требованиям и пригоден для международных полетов.

2. Выбор точек измерения

Перед началом проведения мониторинга уровней шума были проанализированы траектории полета воздушных судов, установлены и согласованы точки измерений авиационного шума.

Список установленных точек измерений и их координаты представлены в таблице 3. Расположение точек измерений с нанесением схем стандартных маршрутов пролета отмечалось на карте.

В ходе проведения каждого этапа мониторинга производился тщательный исследование каждой выбранной точки и, согласно анализу, вносились коррективы в их месторасположение. Таким образом, неизменными осталось всего 5 из 8 точек, выбранных первоначально. Окончательно число и месторасположение точек наиболее ясно отражающих картину шумового воздействия и другие поставленные задачи было определено только после 3-его этапа проведения мониторинга.

В рамках проведения мониторинга шума от аэропорта Пулково были выполнены измерения эквивалентного и максимального уровней звука в установленных точках.

3. Анализ полученных результатов

Измерения эквивалентного уровня звука в каждой точке проводились непрерывно в течение не менее 2-х часов (при этом отсекались внезапные источники шума, не являющиеся характерными для данной точки измерений, например, работа строительной техники и др.). Во всех случаях, измерение эквивалентных уровней звука производились во всех выбранных точках измерений одновременно. Точка 8 (Авиагородок) была выбрана, как контрольная точка, для оценки уровня воздействия авиационного шума в ближайшей жилой застройке вблизи аэропорта Пулково.

Результаты измерений эквивалентных уровней звука в дневное время приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Результаты измерений эквивалентных уровней звука в дневное время (март 2012г.)

Номер точки измерения	Дата измерений	Направление	Взлет/ Посадка	Эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, дБА	Фоновый уровень	Примечание
1	16.03.2012 20.03.2012	28 L/R 28 L/R	взлет взлет	61,1 58,7	47,1 43,4	пос. Старопаново, ул. Совхозная, д. 11
2	16.03.2012 20.03.2012	28 L/R 28 L/R	взлет взлет	54,5 51,2	50,2 49,4	пос. Володарский, ул. Красная, д. 40
3	16.03.2012 20.03.2012	28 L/R 28 L/R	взлет взлет	53,1 54,9	49,3 50,4	пос. Горелово, ул. Коммунаров, д. 182

Номер точки измерения	Дата измерений	Направление	Взлет/ Посадка	Эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, дБА	Фоновый уровень	Примечание
4	23.03.2012 26.03.2012	28 L/R 28 L/R	посадка посадка	56,7 55,4	52,6 48,0	пос. Ленсоветовский, д. 15, лит. А
5	23.03.2012 26.03.2012	28 L/R 28 L/R	посадка посадка	52,2 46,1	45,4 41,1	г. Пушкин, Детскосельский бульвар, д. 9
6	23.03.2012 26.03.2012	28 L/R 28 L/R	посадка посадка	57,4 54,8	52,2 50,8	г. Пушкин, ул. Центральная, д. 8 корп. 1
7	23.03.2012 26.03.2012	28 L/R 28 L/R	посадка посадка	56,1 58,0	46,2 47,5	г. Колпино, ул. Радченко и ул. Финляндская
8	16.03.2012 20.03.2012	28 L/R 28 L/R	взлет взлет	60,7 59,6	53,7 52,4	Авиагородок, ул. Взлетная, д. 13

Таблица 2

Результаты измерений эквивалентных уровней звука в дневное время (сентябрь 2012г.)

Номер точки измерения	**Дата измерений**	**Направление**	**Взлет/ Посадка**	**Эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, дБА**	**Фоновый уровень шума**	**Примечание**
1	05.09.2012 06.09.2012 20.09.2012 28.09.2012	28 L/R	взлет	63,3 58,9 58,2 60,8	52,2 52,4 53,0 54,8	пос. Старопаново, ул. Совхозная, д. 11
2	05.09.2012 06.09.2012 20.09.2012 28.09.2012	28 L/R	взлет	55,5 56,3 55,9 54,2	49,4 53,0 50,7 50,2	пос. Новоселье, Красносельское шоссе д. 12

Номер точки измерения	Дата измерений	Направление	Взлет/ Посадка	Эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, дБА	Фоновый уровень шума	Примечание
3	05.09.2012 06.09.2012 20.09.2012 28.09.2012	28 L/R	взлет	55,5 54,7 54,2 56,7	48,6 48,5 46,5 46,8	пос. Горелово, ул. Коммунаров, д. 182
4	05.09.2012 06.09.2012 28.09.2012	28 L/R	посадка	64,7 55,1 58,5	60,0 53,5 55,8	пос. Ленсоветовский, д. 15, лит. А
5	05.09.2012 06.09.2012 20.09.2012 28.09.2012	28 L/R	посадка	50,7 49,4 - 48,1	49,4 45,0 - 46,8	г. Пушкин, Детскосельский бульвар, д. 9
6	05.09.2012 06.09.2012 28.09.2012	28 L/R	посадка	57,1 56,4 55,1	51,6 52,2 49,2	г. Пушкин, ул. Центральная, д. 8 корп. 1
7	05.09.2012 06.09.2012 20.09.2012 28.09.2012	28 L/R	взлет	58,4 58,4 56,3 56,6	56,3 50,6 55,2 53,8	г. СПб, ул. летчика Пилютова и проспект Народного Ополчения
8	05.09.2012 06.09.2012 20.09.2012 28.09.2012	28 L/R	взлет/ посадка	58,4 57,2 56,3 56,7	50,4 50,5 50,2 50,2	Авиагородок, ул. Взлетная, д. 13

Таблица 3

Результаты измерений эквивалентных уровней звука в дневное время (декабрь 2012г.)

Номер точки измерения	Дата измерений	Направление	Взлет/ Посадка	Эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, дБА	Фоновый уровень шума	Примечание
1	03.12.2012 08.12.2012	10 L/R	посадка	59,7 59,0	54,8 52,2	пос. Старопаново, ул. Совхозная, д. 11

Номер точки измерения	Дата измерений	Направление	Взлет/ Посадка	Эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, дБА	Фоновый уровень шума	Примечание
2	03.12.2012 08.12.2012	10 L/R	посадка	55 46,4	53,6 40,6	пос. Новоселье, Красносельское шоссе д. 12
3	03.12.2012 08.12.2012	10 L/R	посадка	53,5 50,2	51,3 46,6	пос. Горелово, ул. Коммунаров, д. 182
4	03.12.2012 08.12.2012	10 L/R	взлет	57,6 47,8	55 42,1	пос. Ленсоветовский, д. 15, лит. А
5	03.12.2012 08.12.2012	10 L/R	взлет	53,1 48,2	48,9 42,1	г. Пушкин, Детскосельский бульвар, д. 9
6	03.12.2012 08.12.2012	10 L/R	посадка	60,2 47,3	56,4 41,9	д. Верхняя Колония
7	03.12.2012 08.12.2012	10 L/R	посадка	57,3 55,6	53,4 51,1	г. СПб, ул. летчика Пилютова и проспект Народного Ополчения
8	03.12.2012 08.12.2012	10 L/R	взлет/ посадка	62,1 54,6	56,5 51,8	Авиагородок, ул. Взлетная, д. 13
Допустимые уровни шума в дневное время [1] табл. 3.позиция 9, с 7.00-23.00				**55**		Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений
Допустимые уровни шума в дневное время [2], табл. 1, с 7.00-23.00				**65**		

По результатам анализа, была составлена сводная таблица с указанием эквивалентных и максимальных уровней звука с учетом изменения месторасположения точек - Таблица 4.

Таблица 4

Эквивалентных и максимальных уровней звука с учетом изменения месторасположения точек

Точки измерения			День (7-23)					Ночь (23-7)				
			Эквивалентный УЗ LAeq (dBA)	Норма эквивалентного УЗ, LAeq (dBA)		Максимальный уровень звука LAmax (dBA)	Норма максимального УЗ, LAmax (dBA)	Эквивалентный УЗ LAeq (dBA)	Норма эквивалентного УЗ, LAeq (dBA)		Максимальный УЗ LAmax (dBA)	Норма максимального УЗ, LAmax (dBA)	
				ГОСТ	СН		ГОСТ	СН		ГОСТ	СН		ГОСТ	СН
1	пос. Старопаново, ул. Совхозная, д. 11	весна	58,7...61,1	65 по [2]	55 по [1]	59,2…78,5	85 по [2]	70 по [1]	54,1	85 по [2]	70 по [1]	54,0…72,1	85 по [2]	70 по [1]
		осень	58,2...63,3			55,2…82,0			54,8			57,2…68,3		
		зима	59,0...59,7			54,3...74,2			57,5			54,0-61,7		
2	пос. Володарский ул. Красная, д. 40	весна	51,2...54,5			49,7…74,0			48,4			44,6…67,1		
		осень	55,5...56,3			50,5...74,1			51			45,8…71,0		
		зима	-			-			-			-		
3	пос. Горелово, ул. Коммунаров, д. 182	весна	53,1...54,9			55,4…74,1			52,8			53,6…73,5		
		осень	54,2...56,7			49,1…75,8			53,8			55,1…73,8		
		зима	50,2...53,5			51,7...69,9			41,9			53,5-61,1		
4	пос. Ленсоветовский,д 15 литера А	весна	54,2...56,7			55,0…85,1			52,4			61,4…85,5		
		осень	55,1...64,7			54,7…79,8			53,6			58,6…72,6		
		зима	47,8...57,6			57,2...72			48,1			63,5-70,2		
5	г. Пушкин, Детскосельский бульвар, д 9	весна	46,1…53,6			45,7…74,2			45,8			45,7…49,9		
		осень	48,1...50,7			44,1…66,2			46,9			44,8…62,4		
		зима	48,2...53,1			51,2...70,2			44,2			51,8-67,3		
6	г. Пушкин, ул. Центральная, д. 8, корпус 1	весна	53,1...57,4			46,0…78,6			48,3			48,4…52,0		
		осень	55,1...57,1			47,7…62,6			52,8			46,6…61,3		
		зима	-			-			-			-		
7	г. Колпино, ул. Братьев Радченко и Финляндская	весна	49,3…58,0			50,4…70,4			46,2			60,9…71,4		
		осень	56,3...58,4			50,0…81,4			53,1			50,1…67,5		
		зима	-			-			-			-		
8	Авиагородок, ул. Взлетная, д.13	весна	59,6...60,7			62,3…76,1			48,5			51,6…63,0		
		осень	56,3...58,4			50,0…72,2			47,9			52,8…67,4		
		зима	54,6...62,1			50,1...81,1			53,5			51,6-63		

ВС, совершающие взлет/посадку в аэропорту Пулково осуществляют движение в различных направлениях, наиболее интенсивными из которых являются ОКУДИ, ГОНБИ для взлета и ЛУКИР, ОГИНО для посадки.

При проведении мониторинга авиационного шума для анализа траекторий полета использовался ADS-B приемник. Проводилась сравнительная и исследовательская работа по применению данного оборудования в качестве прибора, позволяющего оценивать и прогнозировать взлеты и посадки самолетов с ВПП аэропорта “Пулково”.

Использование данного устройства помогло выявить истинные траектории полетов ВС, а так же подтвердить отклонения ВС от стандартных маршрутов пролета. В частности, нарушения были замечены над г. Пушкин. Некоторые ВС совершали взлет/посадку, пролетая над крышами домов города.

4. Основные выводы по результатам мониторинга

1. В ходе выполнения работ по измерению уровней авиационного шума на праэродромной территории при проведении полетов в аэропорту «Пулково» проведены замеры максимальных (L_{Amax}) и эквивалентных ($L_{Аэкв}$) уровней звука в 8 в установленных точках измерений. Измерения проводились для дневного и ночного времени суток. Следует отметить, что во время мониторинга были зафиксированы значения для магнитных курсов взлета/посадки был 10 L/R и 28 L/R. Измерения во всех точках мониторинга авиационного шума проводились одновременно.

2. Анализ измеренных значений максимальных (L_{Amax}) и эквивалентных ($L_{Аэкв}$) уровней звука в установленных точках мониторинг показал, что среди полученных значений превышений нормируемых параметров согласно [2] не выявлено, за исключением точки измерений №1 (Старопаново, зима 2012г.), для которой наблюдались превышения эквивалентных уровней звука в ночное время на 2,5 дБА.

Согласно [1] в каждой точке отмечены превышения эквивалентных и максимальных уровней звука ($L_{Аэкв}$) как для дневного (55 дБА), так и ночного (45 дБА) времени суток.

3. Проведенный сравнительный анализ проведенных измерений в точках мониторинга с расчетными точками на дальних границах расчетной зоны шумового воздействия, определенной в проекте разработки СЗЗ, показал правомерность расчетов. Оценка уровней в остальных точках показал отклонения от расчетов, что связано с нарушением траектории стандартных маршрутов пролета. Данные подтвердились применением ADS-B технологий для точной идентификации ВС и определения каждой траектории взлета/посадки.

4. Анализ результатов измерений авиационного шума в точке №8 (Авиагородок, ближайшая жилая застройка) показал, что при совершении процедуры посадки включение режима обратной тяги двигателей наблюдалось у 20% ВС, отмеченных за время проведения мониторинга.

5. Литература

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки".

2. ГОСТ 22283-88 "Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения".

Интегральная оценка акустической эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты от авиационного шума

Дроздов С.В.[1], *Драган С.П.*[1],
Богомолов А.В.[2], *Солдатов С.К.*[2], *Зинкин В.Н.*[2]
[1] ФГБУ ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна
[2] Научно-исследовательский испытательный центр (авиакосмическая медицина и военная эргономика) 4 ЦНИИ МО РФ
s.p.dragan@mail.ru

Авиационный шум в настоящее время является одним из ведущих неблагоприятных физических факторов, действующих на инженерно-технический состав (ИТС) авиации [1–11]. При подготовке самолетов к полетам на технический персонал воздействует высокоинтенсивный и широкополосный шум с уровнем звукового давления (УЗД) до 130 дБ, что ставит задачу защиты у ИТС авиации не только органа слуха, но и всего тела.

Несмотря на определенные меры, принимаемые по борьбе с шумом, количество специалистов различных профессий, подвергающихся его некомпенсированному воздействию, не уменьшается [12–15]. Все это привело к тому, что возрос риск развития профессиональных заболеваний, и проблема защиты персонала от высокоинтенсивного широкополосного шумового воздействия стала весьма актуальной.

Наиболее перспективным направлением в решении задачи защиты ИТС авиации от высокоинтенсивного шума представляется использование комплекса средств индивидуальной защиты (СИЗ) включающего наушники, шлемы, виброзащитные жилеты, а также средства коллективной защиты (СКЗ).

В настоящее время имеются нормативные документы и соответствующие ГОСТы для объективной оценки акустической эффективности наушников. Однако, для средств защиты от экстракохлеарного воздействия (воздушной вибрации), а также СКЗ ни методик, ни регламентирующих документов по оценке эффективности не разработано. В данной статье предлагается подход, который, с нашей точки зрения, позволит восполнить этот пробел.

Отечественной и зарубежной промышленностью выпускается значительное количество модификаций СИЗ, отличающихся как внешним видом и качеством изготовления, так и эффективностью.

Действующим ГОСТ Р 12.4.212–99 (ИСО 4869–2–94) определены три показателя, характеризующие акустическую эффективность шумозащитных наушников для высоких, средних и низких частот (соответственно *H*, *M* и *L*), а также показатель *SNR* (Single Number Rating) – одиночный показатель поглощения шума. Эти показатели устанавливают критерии для отбора или сравнения противошумов, а также определяют требования минимально приемлемого поглощения шума для диапазона частот 63 Гц …8 кГц, что не позволяет дать такую оценку для диапазона частот ниже 63 Гц.

Показатель *SNR* используется для характеристики эффективности защиты и определения действующего *A*–корректированного УЗД с СИЗ. Вычисление оценки *SNR* основано на разнице между значениями УЗД эталонного розового шума в 8 октавных полосах (согласно ГОСТ Р 12.4.212–99) и показателями минимального значения поглощения шума СИЗ ($APV_{f(k)x}$) в этих же полосах частот (63 Гц …8 кГц). Оценка показателя *SNRx* не зависит от спектра реального шума и вычисляется по формуле:

$$SNRx = 100\text{дБ} - 10\lg\sum_{k=1}^{8} 10^{0.1(L_{Af(k)} - APV_{f(k)x})}, \qquad (1)$$

где индекс *x* соответствует выбранной эффективности защиты (в %); $L_{Af(k)}$ – *A*–корректированный УЗД, оценку которого следует брать из табл. 3 ГОСТ Р 12.4.212–99, а оценка показателя минимального значения поглощения шума $APV_{f(k)x}$ рассчитывается по формуле:

$$APV_{fx} = M_f - \alpha s_f, \qquad (2)$$

где индекс *f* соответствует средней частоте в октавной полосе, M_f – оценка акустической эффективности, s_f – оценка стандартного отклонения акустической эффективности, α – константа (для эффективности защиты при доверительном интервале 80% ее значение равно 0,84).

Метод расчета оценки показателя *SNR* основан на оценке *A*–корректированного УЗД, которая используется для того, чтобы приблизить объективные измерения к субъективному восприятию шума человеком. Стандартизированный метод расчета оценки *SNR* не учитывает акустической эффективности СИЗ на частотах ниже 63 Гц, в том числе и в инфразвуковой области, в то время как отечественными санитарными нормами предусмотрено нормирование шума в диапазоне 2 Гц … 8 кГц [16, 17]. Механическое расширение частотного диапазона до 2 Гц методически некорректно, так как нижняя частота стандартной коррекции шкалы «А» шумомера составляет 16 Гц, а на более низкие частоты *A*–коррекция не определена. Следует отметить, что расширение диапазона частот для вычисления

оценки *SNR* мало изменит значение этого показателя даже при высокой акустической эффективности в октавных полосах ниже 63 Гц, что делает этот показатель малопригодным для обоснования выбора образцов СИЗ от низкочастотного шума.

Для корректного сравнения защитных свойств вновь разрабатываемых СИЗ и СКЗ и их сопоставления с существующими образцами необходимо иметь такой метод, который бы учитывал специфические характеристики авиационных шумов во всем нормируемом диапазоне частот. Кроме того, этот метод должен объединять не только характеристики акустической эффективности используемых наушников, но также и характеристики акустической эффективности шумозащитных шлемов, определяемой в подшлемном пространстве. Более того, он должен определять акустическую эффективность виброжилетов по измерениям в разных точках поверхности тела, а также и звукоизоляционные свойства помещений, используемых как средство коллективной защиты (СКЗ) для персонала.

Шумозащитный шлем может быть упругим (жестким) и мягким, и в зависимости от этого характеристики используемых в его составе наушников также могут быть совершенно разными. При использовании мягких шлемов акустическая эффективность наушников может быть выше, чем у наушников, которые используются в упругих шлемах, поскольку с использованием мягких шлемов воздушная проводимость снижается гораздо лучше, чем костная, а при использовании упругих шлемов наоборот: костная проводимость снижается значительно лучше, чем воздушная. Поэтому вопрос о том, какой шлем более эффективно защищает от шума по показателям как воздушной, так и костной проводимости остается открытым.

Для корректного сопоставления образцов наушников и шлемов, выпускаемых предприятиями (фирмами) различных государств необходимо учесть, что данные об акустической эффективности образцов в России представляются в диапазон 2 Гц …8 кГц, а в странах Европы и Америки – 63 Гц (в некоторых странах 125 Гц) …8 кГц. Поэтому метод должен корректно учитывать это обстоятельство.

Разработанный нами метод основан на определении разницы между максимальными уровнями шумов в местах пребывания человека и предельно допустимыми уровнями (ПДУ) шума и инфразвука, установленных санитарными нормами [16, 17]. При этом руководствовались положением, что полная защищенность от шума при использовании СИЗ и СКЗ может быть достигнута в том случае, когда акустическая эффективность в каждой октавной частоте обеспечивает защиту от самых высоких значений шума как по воздушной, так и по костной проводимости.

В таблице 1 для каждой нормируемой октавной частоты приведены значения ПДУ и максимальные уровни звукового давления (УЗД), зарегистрированные на рабочих местах ИТС, обслуживающих воздушные суда.

Следует отметить, что в настоящее время в мире не разработаны средства защиты от шума, обеспечивающие необходимую степень как в нижней, так и в верхней части его спектра.

Таблица 1 – Предельно допустимые и максимальные УЗД на рабочих местах ИТС, значения акустической эффективности для воздушной и костной проводимости

Показатели	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц												
	2	*4*	*8*	*16*	*31,5*	*63,5*	*125*	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*	*8000*
ПДУ, дБ	100	95	90	85	107	95	87	82	78	75	73	71	69
Максимальные УЗД, дБ	104	112	113	112	116	118	121	123	126	127	127	128	123
Максимальная акустическая эффективность для воздушной проводимости, дБ	4	17	23	27	9	23	34	41	48	52	54	57	54
Максимальная акустическая эффективность для костной проводимости, дБ	0	0	3	7	0	3	14	21	28	32	34	37	34

Коэффициент защиты СИЗ ($k_з^{и}$) определим как логарифм от соотношения количества используемых октавных полос к сумме акустических эффективностей образца СИЗ в каждой используемой октавной полосе частот (в дБ):

$$k_з^{и} = 20 \lg \frac{n_1}{\sum_{i=1}^{n_1} 10^{\Delta_i/20}}, \qquad (3)$$

где n_1 – количество используемых октавных полос (в действующем ГОСТ используется оценка в октавных полосах от 125 Гц до 8 кГц, т.е. n_1=7, а с учетом всего спектра воздействия, оценку следует производить в октавных полосах частот от 2 Гц и до 8 кГц, т.е n_1=13), Δ_i – разница между максимальной акустической эффективностью образца СИЗ (строка 4 табл. 1) и экспериментально зарегистрированным значением акустической эффективности разрабатываемых СИЗ для каждой октавной частоты ($\Delta_{СИЗi}$), вычисляемая следующим образом:

$$\Delta_i = \Delta_{в.пр.maxi} - \Delta_{СИЗi},$$

где $\Delta_{в.пр.max}$ – максимальная акустическая эффективность для воздушной проводимости, дБ.

Отметим, что показатель Δ_i определяется результатами акустических измерений в подзаглушечном пространстве, т.е. учитывает степень защиты по воздушной проводимости.

Весовые коэффициенты компонентов коэффициента защиты СИЗ по каждой октавной частоте учтены предельно допустимыми уровнями (ПДУ). Когда акустическая эффективность разрабатываемых СИЗ достигнет требуемых значений для полной защиты от максимальных уровней шума (4–я строка табл. 1), то величина коэффициента защиты примет значение 1, что в логарифмическом масштабе соответствует значению 0 дБ. Когда акустическая эффективность СИЗ в какой–либо полосе частот оказывается выше максимальных значений, т.е.

$$\Delta_{в.пр.\ maxi} - \Delta_{СИЗi} < 0,$$

то Δ_i =0, т.е. избыточная защищенность на одной частоте не приводит к увеличению защитных свойств на других частотах и, соответственно, к увеличению оценки коэффициента защиты СИЗ.

Можно отметить, что коэффициент защиты современных образцов СИЗ находится в диапазоне от –15 дБ и ниже, т.е. ни одно СИЗ не способно полностью защитить от шума, имеющего выраженные высоко– и низкочастотные компоненты (табл. 2).

Очевидно, что для защиты от воздействия шума через костную проводимость необходимо применять шумозащитные шлемы, защищающие поверхность головы от непосредственного акустического воздействия. Для разработки метода расчета оценки коэффициента защиты таких шлемов необходимо учесть, что уровень шума, передаваемого костной проводимостью, на 20 – 30 дБ меньше уровня, воспринимаемого ухом за счет воздушной проводимости.

Коэффициент защиты для шлемов (упругих или мягких) может быть оценен аналогичным образом, однако вместо данных о максимальной эффективности по воздушной проводимости (4 строка табл. 1) следует использовать данные по костной проводимости, которые на 20 дБ ниже. В 5–й строке таблице 1 приведены максимальные значения по костной проводимости, причем для частот 2, 4 и 32 Гц, когда максимальная акустическая эффективность для воздушной проводимости составляет менее 20 дБ, эти значения равны 0. В этом случае, суммирование в знаменателе формулы осуществляется только по 10 частотам (n_2=10), то есть оценка коэффициента защиты для шлема ($k_з^{ш}$) по измерениям акустической эффективности в подшлемном пространстве вычисляется по формуле:

$$k_з^{ш} = 20 \lg \frac{n_2}{\sum_{i=1}^{n_2} 10^{\Delta_{к.пр.i}/20}}, \qquad (4)$$

где n_2 – количество используемых октавных полос для оценки эффективности, $\Delta_{к.пр.i}$ – разница между максимальной эффективностью по костной проводимости (строка 5 табл. 1) и экспериментально зарегистрированным значением акустической эффективности разрабатываемого СИЗ в под-

шлемном пространстве на каждой соответствующей октавной частоте ($\Delta_{СИЗ\ ш.\ i}$), вычисляется следующим образом:

$$\Delta_{к.пр.i} = \Delta_{к.пр.\ maxi} - \Delta_{СИЗ\ ш.i}.$$

В этом случае также следует воспользоваться условием:

$$\text{если } \Delta_{к.пр.\ maxi} - \Delta_{СИЗ\ ш.i} < 0, \text{ то } \Delta_{к.пр.i} = 0.$$

Т.е. избыточная защищенность на одной частоте, не приводит к усилению защитных свойств шлема во всем диапазоне частот.

Если акустическая эффективность разрабатываемых СИЗ (шлемов) достигнет требуемых значений для защиты от максимальных уровней шума (5–я строка табл. 1), то величина коэффициента защиты примет значение 1, что в логарифмическом масштабе соответствует значению 0 дБ.

Итак, имея формулы для расчета оценок коэффициента защиты наушников (3) и шлема (4), выражение для расчёта комплексной (интегральной) оценки защитных свойств шлема с наушниками ($k_з^{ш/н}$) имеет вид:

$$k_з^{ш/н} = 2 \cdot 10 \lg \frac{n_1 + n_2}{\sum_{i=1}^{n_1} 10^{\Delta_i/2} + \sum_{i=1}^{n_2} 10^{\Delta к.пр.i,ш/2}}. \qquad (5)$$

Разработанные показатели применены для сопоставления акустической эффективности современных образцов шумозащитных наушников, выпускаемых разными фирмами – результаты представлены в таблице 2.

Обращает внимание, что оценки всех коэффициентов защиты $k_з^{н}$ находятся приблизительно в одном диапазоне: –25 …–15 дБ, а значения *SNR* – в диапазоне 25 …36 дБ. Видно, что динамика изменения оценок коэффициента защиты ($k_з^{н}$) не противоречит динамике изменения показателя *SNR*.

Таблица 2 – Показатели акустической эффективности современных образцов шумозащитных наушников

Производитель	Минимальное поглощение шума (в дБ) на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц													$k_з^{н}$, дБ	*SNR*, дБ
	2	*4*	*8*	*16*	*32*	*63*	*125*	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*	*8000*		
ЗАО «НПО «Динафорс»	2	9	11	5	4	5	8	17	39	46	44	49	47	–15,7	29
Peltor Optime 2						16	10	24	41	45	45	33	28	–18,6	31
ATI/David Clark DCAT Flight Deck Cranial						16	16	23	30	38	34	32	32	–19,0	33
Aearo/Peltor E–A–R 3000							15	22	32	41	34	35	36	–18,4	33
Aearo/Peltor H7A							10	21	32	36	35	34	33	–20,3	31
Aearo/Peltor Low Profile Clear Cup							9	11	24	27	31	35	34	–24,7	25
Aearo/PeltorTwin Cup H10A							12	18	27	34	35	36	35	–20,6	31
David–Clark 10A							11	19	24	30	27	35	31	–23,5	28
David–Clark 310							12	18	27	34	30	39	36	–20,9	30

Elvex Value Muff HB–25							11	17	26	32	33	32	33	–22,4	29
Howard Leight LM–77 Folding							13	16	26	34	34	38	35	–20,9	30
Howard Leight Thunder 29							11	14	19	32	34	38	32	–23,6	27
MSA Mark IV							14	16	22	32	30	40	34	–22,2	29
MSA Sound Blocker 26							18	22	31	38	35	39	33	–18,0	34
MSA Apex 30							19	24	33	40	38	39	36	–16,1	36
Tasco Golden Eagle 2950							16	21	31	41	37	38	34	–17,8	34
Tasco Pionear 2500							7	17	26	35	31	29	30	–24,2	27
Tasco Sound Shield 2900							14	20	28	38	35	39	35	–18,9	32
Willson 365–Sound Barrier							13	19	24	38	32	34	36	–21,1	30

Анализ табл. 2 свидетельствует, что наушники ЗАО «НПО «Динафорс» лучше защищают от воздействия шума, чем наушники других производителей, хотя по показателю *SNR* они не так эффективны: *SNR* = 29 дБ (среднее значение из всей совокупности наушников), но $k_з^{\,и}$ = –15,7 дБ (самое высокое значение). И действительно, у наушников ЗАО «НПО «Динафорс» эффективность шумозащиты в октавных полосах частот от 500 Гц до 8 кГц значительно (на 10 дБ и более) выше, чем у других наушников. Только на частотах 63, 125 и 250 Гц акустическая эффективность наушников ЗАО «НПО «Динафорс» ниже либо соответствует другим образцам наушников.
Результаты расчета интегральной эффективности мягкого и упругого шумозащитных шлемов по измерениям их акустической эффективности в подшлемном пространстве приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Показатели акустической эффективности мягкого и упругого шлема

Характеристика	Среднегеометрических частотах октавных полос, Гц													$k_з^{\,ш}$ дБ
	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ПДУ шума, дБ	100	95	90	85	107	95	87	82	78	75	73	71	69	
Акустическая эффективность упругого шлема, дБ	0	0	0	1	4	11	9	20	18	21	23	26	38	–5.4
Акустическая эффективность мягкого шлема, дБ	0	0	0	0	0	1	2	4	5	9	20	29	39	–12,6

Видно (табл. 3), что оценка коэффициента защиты для упругого (жесткого) шлема составила –5,4 дБ, а для мягкого – 12,6 дБ, т.е хуже на 7,2 дБ. Однако, наушники встраиваемые в упругий шлем обладают худшими характеристиками, чем в мягкий, так как они обладают, как правило, меньшей массой.

Оценим интегральную акустическую эффективность мягкого шлема с наушниками ЗАО «НПО «Динафорс» и упругого шлема с наушниками зарубежных фирм (табл. 4), используя для расчетов данные табл. 2 и табл. 3.

Таблица 4 – Акустическая эффективность мягких и упругих шлемов со встроенными наушниками

Шлемы шумозащитные со встроенными наушниками	Минимальное поглощение шума (дБ) на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц													$k_з^н$, дБ	$k_з^ш$, дБ	*SNR*, дБ
	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Мягкий шлем+наушники ЗАО «НПО «Динафорс»	2	9	11	5	4	5	8	17	39	46	44	49	47	–15,7	–15,2	29
Упругий шлем+наушники ATI/David Clark DCAT Flight Deck Cranial							16	23	30	38	34	32	32	–19,9	–14,6	33
Упругий шлем+наушники HGU–25/P Flight Deck Helmet / S							16	22	28	39	32	33	34	–20,0	–14,6	32
Упругий шлем+наушники Gentex HGU–53/P							15	8	19	26	39	50	53	–24,0	–17,8	24
Упругий шлем+наушники Gentex HGU–55/P							10	5	19	31	44	49	50	–25,1	–18,7	21
Упругий шлем+наушники Gentex HGU–55/P w/mask / Oregon Aero Zetaliner / Standard Earcups							9	8	15	28	37	50	54	–25,6	–19,2	22
Упругий шлем+наушники Gentex HGU–55/P w/mask (no valve) / Oregon Aero Zetaliner / Standard Earcups							2	2	11	25	34	47	52	–30,6	–23,6	17
Упругий шлем+наушники Gentex HGU–55/P w/mask (no valve) / Oregon Aero Zetaliner & Softcups							5	2	10	26	35	50	57	–30,3	–23,4	17
Упругий шлем+наушники Gentex HGU–55/P w/mask / Oregon Aero Zetaliner & Softcups / Standard Speaker							9	6	12	27	35	50	55	–27,5	–20,9	20
Упругий шлем+наушники Gentex HGU–55/P w/mask (no hose) & visor / Oregon Aero Zetaliner / Acoustic-com H–154–ENC earcups–Passive Only (ANR off)							9	5	11	25	33	50	56	–28,6	–21,8	19

Мягкий шлем в совокупности с наушниками производства ЗАО «НПО «Динафорс» обладает коэффициентом защиты $k_з^ш$ = –15,2 дБ. Лучшую защиту ($k_з^ш$= –14,6 дБ, т.е. на 0,6 дБ выше) обеспечивают наушники в составе упругого шлема фирмы David Clark и Flight Deck (табл. 4) – эти модели обладают и лучшими значениями показателя *SNR* (33 дБ и 32 дБ соответственно). Все остальные марки шлемов характеризуются гораздо худшими значениями $k_з$ и *SNR*.

Другим объектом для интегральной оценки акустической эффективности средств индивидуальной защиты от авиационного шума послужили виброжилеты. Следует отметить, что при эксплуатации современных воздушных судов, когда уровни шума превышают 112 дБ, рекомендуется использовать индивидуальные средства шумозащиты.

Оценку эффективности виброжилетов произвели в акустическом интерферометре при использовании манекена. Акустическая эффективность виброжилетов определена как разница уровней звукового давления в октавных полосах частот при измерениях одним микрофоном, размещенным на поверхности манекена под СИЗ и без СИЗ, при контролировании условий идентичности акустического воздействия другим микрофоном.

В табл. 5 приведены данные акустической эффективности испытанных виброжилетов, отличающихся составом тканей, при измерениях в поджилетном пространстве на груди и животе.

Таблица 5 – Акустическая эффективность виброжилетов

Частота/жилет	63	125	250	500	1.0k	2.0k	4.0k	8.0k
Измерения на животе								
виброжилет №1	0	0	0,5	1,5	3,5	6,5	12,5	16,0
виброжилет №2	0	0,5	1,0	0,5	7,5	10,5	17,5	19,5
Виброжилет №3	0,00	0	0,5	1,0	3,0	5,0	11,0	10,5
виброжилет №4	1,0	1,0	0	1,5	6,0	10,5	15,0	20,5
Измерения на груди								
виброжилет №1	0,5	0,5	1,5	0,5	3,5	8,5	15,0	20,0
виброжилет №2	0	0	1,5	1,0	6,0	14,5	20,0	25,0
Виброжилет №3	0	0,5	1,5	0	1,5	5,5	9,0	12,0
виброжилет №4	0,5	0	3,5	1,5	4,5	15,0	17,5	25,0

Выражение для расчёта комплексной (интегральной) оценки защитных свойств виброжилета ($k_з^{в/ж}$), по измерениям в 2-х точках, на груди и животе имеет вид:

$$k_з^{в/ж} = 2 \cdot \lg \frac{2 \cdot n_3}{\sum_{i=1}^{n_2} 10^{\Delta к.п\ в/ж-г\ i/2} + \sum_{i=1}^{n_2} 10^{\Delta к.п\ в/ж-ж\ i/2}}. \quad (6)$$

где n_3 – количество учитываемых октавных полос для оценки эффективности виброжилетов, $\Delta_{к.пр.iв/ж}$ – разница между максимальной эффективностью по костной проводимости (строка 5 табл. 1) и экспериментально зарегистрированным значением акустической эффективности испытываемого виброжилета в поджилетном пространстве на каждой соответствующей октавной частоте ($\Delta_{СИЗ\ в/ж.\ i}$), вычисляется следующим образом:

$$\Delta_{к.пр.i} = \Delta_{к.пр.\ maxi} - \Delta_{СИЗ\ в/ж\text{-}гр.i}.$$

В этом случае также следует воспользоваться условием:

$$\text{если } \Delta_{к.пр.\ maxi} - \Delta_{СИЗ\ в/ж\text{-}гр.i} < 0, \text{ то } \Delta_{к.пр.i} = 0.$$

Избыточная защищенность на одной частоте, не приводит к усилению защитных свойств виброжилета во всем диапазоне частот.

В табл.6 приведены значения интегральной оценки акустической эффективности испытанных образцов виброжилетов.

Таблица 6 – Интегральный индекс коэффициента защиты виброжилетов по измерения в поджилетном пространстве на груди и животе

Виброжилет	$k_з^{в/ж}$, дБ
Виброжилет № 1	-22,7
Виброжилет № 2	-20,6
Виброжилет № 3	-24,6
Виброжилет № 4	-20,7

Коэффициенты защиты испытанных виброжилетов находятся в диапазоне от -20,6 до 24,6 дБ и имеют близкие значения с аналогичным коэффициентом для наушников в составе шлема. Можно отметить, что уровень защиты у наушников от авиационного шума выше, чем у шлемов и виброжилетов и это связано с тем, что технологии изготовления наушников, как средств защиты от шума более совершенны. Современные средства индивидуальной защиты не способны в полной мере защитить персонал от действия высокоинтенсивного авиационного шума.

Помимо средств индивидуальной защиты от авиационного шума (наушники, шлемы и виброжилеты) проведена оценка интегральной акустической эффективности у вновь разработанных специальных средств коллективной защиты, обладающих повышенными звукоизоляционными свойствами в заданном частотном диапазоне. Коэффициенты звукоизоляции СКЗ определены в соответствии с рекомендациями, приведенными в [15]. В табл. 7 указаны коэффициенты звукоизоляции испытанного СКЗ.

Таблица 7 – Средние значения коэффициентов звукоизоляции СКЗ

Частота, Гц	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Коэффициент звукоизоляции, дБ	8	19	24	24	30	37	40	48	51

Коэффициент защиты СКЗ ($k^{СКЗ}{}_{з}$) определим как логарифм от соотношения количества используемых октавных полос к сумме акустических эффективностей (коэффициентов звукоизоляции испытуемого помещения) в каждой октавной полосе частот (в дБ) по формуле (3). Значения интегральной акустической эффективности вновь разработанных СКЗ составило – 12,0 дБ, т.е. даже современные технологии, используемые при строительстве не способны обеспечить требуемый уровень защиты персонала от воздействия авиационного шума. Поэтому, для достижения требований санитарных норм [16, 17] эти средства необходимо располагать на определенных расстояниях от источника шума, там, где требования норм соблюдаются.

Таким образом, разработанный метод расчёта интегральной оценки акустической эффективности средств индивидуальной защиты от шума дополняет существующие стандартные методы оценок и позволяет адекватно оценивать акустическую эффективность во всем диапазоне частот, заданном санитарными нормами (2 Гц … 8 кГц). Предложенную методологию целесообразно использовать для анализа акустической эффективности всего арсенала средств индивидуальной и коллективной защиты (наушники, шлемы, виброжилеты, звукоизоляционные помещения) от воздействия во всем диапазоне частот. Кроме того, данный метод можно применять для оценки практически любых средств, обладающих шумозащитными свойствами, в том числе и для шумозащитных экранов.

Список литературы

1. Крылов Ю.В. Шум и вибрация как экологические факторы среды обитания // Человек в измерениях XX века. Прогресс человечества в двадцатом столетии. Т. 4. – Россия–Украина, 2002. – С. 263–314.

2. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Авиационный шум: специфические особенности биологического действия и защиты // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2012. – Т.46, № 2. – С. 9 – 16.

3. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Экологические аспекты безопасности жизнедеятельности населения, подвергающегося действию авиационного шума // Теоретическая и прикладная экология. – 2011. – № 3. – С. 97-101.

4. Солдатов С.К., Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Аверьянов А.А., Россельс А.В., Пацкин Г.А., Соколов Б.А. Средства и методы защиты от авиационного шума: состояние и перспективы развития // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2011. – Т.45, № 5. – С. 3-11.
5. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Солдатов С.К. Медико–социальные аспекты экологической безопасности населения, подвергающегося кумулятивному действию авиационного шума // Экология промышленного производства. – 2011. – № 2. – С. 9-14.
6. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Драган С.П., Ахметзянов И.М. Кумулятивные медико–экологические эффекты сочетанного действия шума и инфразвука // Экология и промышленность России. – 2012. – № 3. С. 46-49.
7. Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Риски здоровью, обусловленные кумулятивным действием авиационного шума, и мероприятия по борьбе с ним // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2011. –№ 1. – С. 80-88.
8. Защита населения от повышенного шумового воздействия // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 10, Приложение. – 24 с.
9. Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М., Солдатов С.К., Богомолов А.В. Медико–биологическая оценка эффективности средств индивидуальной защиты от шума // Медицина труда и промышленная экология. – 2011. – № 4. – С. 33-34.
10. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Драган С.П., Ахметзянов И.М. Анализ рисков здоровью, обусловленных сочетанным действием шума и инфразвука // Проблемы анализа риска. – 2011. – Т. 8, № 4. – С. 82-92.
11. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Еремин Г.И., Драган С.П. Технология исследования акустической эффективности средств защиты от низкочастотного шума и инфразвука // Мир измерений. – 2011. № 10 (218). – С. 40-45.
12. Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М., Драган С.П., Богомолов А.В. Особенности сочетанного действия шума и инфразвука на организм // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 9. – С. 2-10.
13. Зинкин В.Н., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Солдатов С.К., Шешегов П.М. Анализ эффективности средств защиты от шума во взаимосвязи с профессиональной надежностью специалистов «шумовых» профессий // Медико–биологические и социально–психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2011. – № 3. – С.70-76.
14. Звукоизоляция и звукопоглощение / Под ред. Л.Г.Осипова и В.Н.Бобылева. – М.: Астрель, 2004. – 450 с.
15. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Под ред. Н.И. Иванова.. М., 2008. – 422 с.
16. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – СН 2.2.4/2.1.8.562–96.

17. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки. – СН 2.2.4/2.1.8.583–96.

Методика измерений и основные критерии выбора расчетных точек при проведении мониторинга шума аэропортов

Светлов В.В.
БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова

1. Введение

Анализируя современную нормативную документацию, посвященную измерению шума от самолетов, можно столкнуться с определенными трудностями. В частности представляется затруднительным алгоритм выбора точек измерений. Данная статья посвящена описывает последовательность действий выбора точек, которая получена на основе практических результатов мониторинга авиационного шума.

2. Нормативная документация

В настоящее время уровни шума вокруг аэропортов регулируются следующими документами:

- ГОСТ 22283-88 «Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения» [1];
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [2];
- Рекомендации по установлению зон ограничения жилой застройки в окрестностях аэропортов гражданской авиации из условий шума [3].

В соответствии с [1] на вновь проектируемых территориях жилой застройки вблизи существующих аэропортов и на существующих территориях жилой застройки вблизи вновь проектируемых аэропортов уровни авиационного шума не должны превышать значений, указанных в табл. 1. Нормативные значения эквивалентных и максимальных уровней звука на территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, диспансеров и т.д. приведенные в [2] указаны таблице 2.

Таблица 1

Предельно допустимые значения уровней авиационного шума согласно [1]

Время суток	Эквивалентный уровень звука *L*Аэкв, дБ (А)	Максимальный уровень звука при единичном воздействии *L*Amax, дБ (А)
День (с 7.00 до 23.00 ч)	65	85
Ночь (с 23.00 до 7.00 ч)	55	75

Таблица 2

Предельно допустимые значения уровней авиационного шума согласно [2]

Время суток	Эквивалентный уровень звука LAэкв, дБ (А)	Максимальный уровень звука при единичном воздействии LAmax, дБ (А)
День (с 7.00 до 23.00 ч)	55	70
Ночь (с 23.00 до 7.00 ч)	45	60

3. Методика проведения измерений согласно действующим стандартам

1. Измерения авиационного шума (АШ) следует проводить при пролете воздушного судна (ВС) в регламентируемые интервалы времени суток. Чтобы получить достоверную оценку эквивалентного или максимального уровня звука, или уровня воздействия звука, на интервале, равном продолжительности измерений, должно быть задано минимальное число звуковых событий, в установленный интервал времени с учётом требований ГОСТ 31296.2-2006. При этом в каждой точке максимальные уровни звукового давления определяют предпочтительно по 20 или более, но не менее пяти, пролётам на наиболее шумных режимах полёта.

2. За установленное значение максимального уровня звука L_{Amax} конкретного типа ВС для данной точки измерений принимается наибольший корректированный уровень звукового давления на заданном временном интервале.

3. За установленное значение $L_{Аэкв}$ эквивалентного уровня звука для данной точки измерений принимается измеренное значение за период измерений при максимальной интенсивности наземной и летной эксплуатации с обязательным учётом полётов всех ВС, оказывающих наибольшее воздействие шума на данную территорию.

4. Измерения АШ в точке, подверженной воздействию взлётов и посадок, следует проводить по каждому режиму эксплуатации ВС (взлёт/посадка). В случае если один из режимов превалирует над другими по значению максимальных уровней звука в точке (взлёт над посадкой или наоборот), то предпочтение в оценке представляется измерению и представлению результатов для режима с наибольшими уровнями звука.

5. В процессе измерений проводятся наблюдения за выполнением установленных схем полёта, различными сочетаниями метеоусловий и других факторов, которые необходимо отразить при анализе и обработке полученных данных.

6. В случае невозможности проведения измерений в определённой точке (полёты ВС с другим курсом, отсутствие полётов ВС в данное время на данном маршруте) в соответствии с ГОСТ 31296.2-2006 (п. 10) допуска-

ется экстраполяция измерений с аналогичного участка в другом месте, при условии соблюдения требований ГОСТ 31296.2-2006.

7. Рабочий центр микрофона шумомера располагают на высоте (1,5±0,1) м над уровнем земной поверхности площадки. Ось микрофона должна быть ориентирована в сторону ожидаемого максимального излучения шума. Если скорость ветра превышает 1-2 м/с, то при измерениях следует использовать ветрозащитный экран для микрофона.

8. Измерения проводятся при следующих атмосферных условиях:

- атмосферные осадки отсутствуют;
- температура воздуха от -10 до +40°С (при применении средств измерений класса 1 при температурах от -10 до +50°С);
- относительная влажность воздуха от 30 до 90%;
- скорость ветра на высоте 1,5 м (включая порывы) не более 5 м/с.

4. Основные критерии выбора расчетных точек

Ввиду того, что трактовка выбора количества и месторасположения точек измерения в действующих стандартах строго не регламентирована в данной статье будут изложены основные рекомендации по этому вопросу, полученные на основании практических экспериментов.

Оценка месторасположения точек проходит посредством анализа картографических данных приаэродромной территории. Кроме этих данных необходимо иметь картографические материалы с нанесенной санитарно-защитной зоной по шуму, или, при наличии, акустический паспорт аэропорта. По вышеизложенным материалам определяются основные маршруты пролета ВС. Далее проводится оценка близости стандартных маршрутов с границам территории жилой застройки. Практические наблюдения показывают, что жилая застройка считается "близкорасположенной" если расстояние от стандартного маршрута до границы селитебной территории составляют менее 1200 м. На основании проведенного анализа определяется первое, приближенное число точек измерения.

Первое уточнение числа точек происходит после анализа границ санитарно-защитной зоны по шуму. Для подтверждения и контроля установленной СЗЗ проводится добавление точек измерения по границам зоны. При данном уточнении числа точек обязательно должны быть рассмотрены варианты добавления точек на крайних участках СЗЗ.

Второе уточнение происходит в ходе первого этапа проведения мониторинга. На данном этапе анализируется каждая из выбранных точек измерения, после чего необходимо оценить правильность выбора точек, а также провести корректировку их месторасположения.

Важным аспектом, влияющим на мониторинг в установленных точках является анализ загруженности каждого из стандартных маршрутов

пролета. Загруженность маршрутов может быть получена от служб аэропорта, либо определена путем наблюдений при проведении первого этапа мониторинга. По результатам данного анализа проводят корректировку точек измерения.

После всего проведенного анализа вводятся корректировки и выполняются последующие этапы. Важно! При начале каждого нового этапа мониторинга необходимо проводить анализ по уточнению количества и месторасположения точек.

Необходимо предусмотреть тот факт, что в некоторых аэропортах взлет/посадка могут происходить по разным магнитным курсам, т.е. с одной и той же взлетно-посадочной полосы ВС может осуществлять взлет/посадку в двух направлениях.

Предпочтительно, чтобы были разработаны варианты расположения точек измерения для каждого из магнитных курсов. Это позволит наиболее точно отразить акустическую обстановку на приаэродромной территории.

5. Выводы.

Проведенный анализ методики измерений авиационного шума показал, что в современных стандартах не установлен четкий алгоритм выбора точек измерений для оценки акустического воздействия, создаваемого воздушными судами на приаэродромной территории. В настоящей статье приведены основные критерии выбора расчетных точек, основанные на результате практических экспериментов.

6. Список литературы.

1. ГОСТ 22283-88 «Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения».

2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

3. Рекомендации по установлению зон ограничения жилой застройки в окрестностях аэропортов гражданской авиации из условий шума.

Влияние портового шума на прилегающую территорию

Жигаев Д.С.[1], *Ананьев В.Ю.*[1], *Кику П.Ф.*[2], *Иванова И.Л.*[3]
[1] ФБУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае"
[2] Дальневосточный федеральный университет, Школа биомедицины
[3] ГОУ ВПО «Тихоокеанский государственный медицинский университет»
sgm-risk@fguzpk.ru

В зависимости от структуры, морской порт может иметь различные виды перегрузочных комплексов (контейнерные терминалы, открытые навалочные склады, открытые стоянки автотехники и т.п.). Тип площадки формирет и различные виды шумов в процессе работы. Кроме того особенностью портов является круглосуточных режим работы, где часть работ приходится на ночное время.

Целью исследования явилось изучение уровня шума на территории жилой застройки, возникающего при работе Владивостокского порта в ночное время.

В ходе исследования были определенны основные источники шума на территории порта:

- тепловозы;
- легковой автотранспорт;
- грузовой автотранспорт, седельные тягачи с прицепом;
- портальные и грейферные портальные краны;
- погрузчики;
- гудки буксиров;
- громкоговорящая связь диспетчеров.

Замеры шума на территории жилой застройки проводились с учётом сложившейся градостроительной ситуации. Замеры шума проводились весеннее – летний период с 23 до 7 часов. Были проведены замеры на территории каждого жилого дома расположенного вдоль всей границы торгового порта. В зону охвата исследованием вошли двадцать пять жилых домов. То есть замеры были произведены на 25 точках: (1-25)

В соответствии с Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на тер-

ритории жилой застройки» таблица 3, эквивалентный уровень шума на территории непосредственно прилегающей к жилым домам в ночное время с 23 до 7 часов должен составлять не более 45 дБа. В ходе проведённых замеров уровней шума, значение эквивалентных уровней шума во всех точках выше допустимых значений, минимально измеренное значение эквивалентного шума отмечено в точке 23 и составляет 55,1 дБа; максимально измеренное значение эквивалентного шума отмечено в точке 18 и составляет 68,8 дБа.

Полученные в результате замеров значения шума были наложены на электронную карту г. Владивостока.

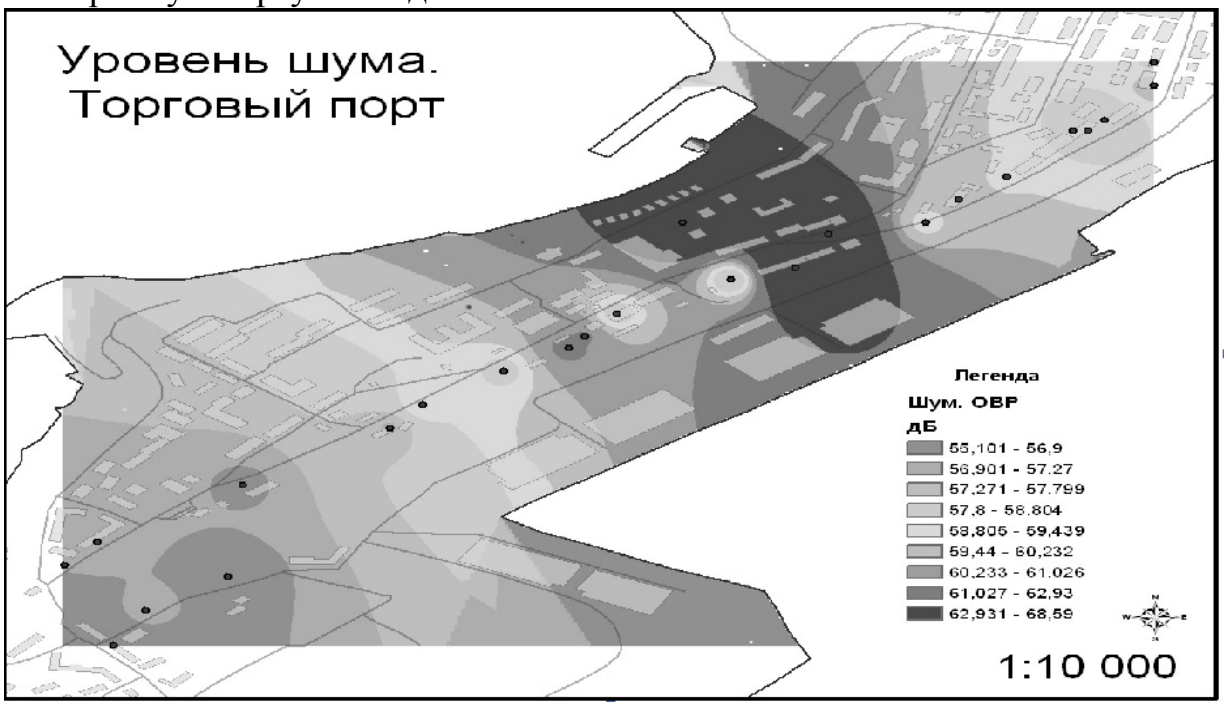


Рис. 1. Графическое отображение воздействие шума на территорию прилегающей жилой застройки.

Таким образом, при работе в ночное время уровень шума Владивостокского торгового порта превышает нормативные значения уровней шума и оказывает неблагоприятное акустическое воздействие на население, проживающее вблизи порта, что необходимо учитывать при разработке санитарно-гигиенических, организационных мероприятий и принятии управленческих решений.

Пути снижения влияния авиационного шума на территории жилых застроек

Зинкин В.Н.[1], *Солдатов С.К.*[1],
Драган С.П.[2], *Пирожков М.В.*[2]
[1] Научно-исследовательский испытательный центр (авиакосмическая медицина и военная эргономика) 4 ЦНИИ МО РФ (г. Москва)
[2] ФГУ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна (г. Москва)
zinkin-vn@yandex.ru

На ряде территорий жилой застройки определяющим источником физического загрязнения окружающей среды в современных условиях являются авиационный шума. Это связано с быстрым ростом объема воздушных пассажирских перевозок в мире и расширением городского строительства часто без учета реестра государственных объектов, располагающихся на прилегающих территориях.

Существенному влиянию авиационного шума вблизи аэропортов подвержено около 3% граждан России, при этом численность населения, на которое влияет шум с превышением установленных гигиенически допустимых значений вблизи крупных аэропортов Федерального значения, достигает 1,5 млн. человек, а суммарная площадь территорий с фиксированным повышением уровня авиационного шума составляет более 5,8 тыс.км^2 [1–3] .

Шум относится к главному фактору риска здоровью населения в окружении аэропортов. По результатам социально-гигиенических исследований 72 % населения, проживающего на территориях около аэропортов, предъявляют жалобы на нарушение условий отдыха, труда и быта. Количество жалоб находится в прямой зависимости от величины эквивалентного уровня звука на жилой территории [2, 3, 4–7].

Наличие двух действующих документов: ГОСТ 22283-88 «Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения» [8] и СН 2.2.4/2.18.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях, общественных зданий и на территории жилой застройки» [9], создает трудности в регламентировании акустической обстановке на территориях жилой застройки, прилегающих к аэропортам.

Цель работы: изучить влияние полетов самолетов различных типов на акустическую обстановку на территории жилой застройки различных районов города, находящегося вблизи от аэродрома, и разработать предложения для снижения негативного влияние авиационного шума с учетом безопасности полетов.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования был выбран аэродром, функционирующий вблизи одного из городов России. Официальные жилые застройки города находятся на удалении 8 км от военного аэродрома. К особенностям этого аэродрома нужно отнести следующее. Во-первых, аэродром как военный объект построен в 40-ые годы прошлого века. Во-вторых, географическая ось взлетно-посадочной полосы проходит через несколько районов города, поэтому взлет и, особенно, посадка самолетов осуществляется над территорией жилой застройки. В-третьих, на аэродроме базируется одновременно несколько типов военных самолетов.

Исследования, выполненные в рамках социально-гигиенического мониторинга, так как полеты самолетов над городом вызывают напряженность среди населения вплоть до политических спекуляций и угрозы риска его здоровью населения.

Работа проводилась в два этапа. На первом этапе проведено исследование акустической обстановки в четырех точках города, попадающие в проекцию взлета и посадки самолета различных типов (транспортный, пассажирский, истребитель). Две точки располагались на удалении 10 км от торца взлетно-посадочной полосы (ВПП) аэродрома справа и слева от оси глиссады, две на удалении 12-13 км. На основании предварительного анализа акустической обстановки установлено, что наиболее неблагоприятная акустическая обстановка возникает при снижении истребителя по глиссаде в точках, расположенных в 10 км от ВВП.

На втором этапе вносили изменения в режимы посадки истребителя для снижения повышенного уровня авиационного шума на территории жилой застройки.

Измерения фонового и авиационного шума проводили с помощью шумомера фирмы Брюль и Къер тип 2250 в соответствии с [8]. Обработка записанных информации проводилась с использованием компьютерных программ с определением следующих параметров: максимальный уровень звука (L_A, дБА), эквивалентный уровень звука ($L_{Аэкв.}$, дБА), общий уровень звукового давления ($L_{экв.}$, дБ Лин), которые рекомендованы для санитарно-гигиенической оценки акустической обстановки [9] и [10]. Для определения характера шума использовали спектральный анализ.

Результаты исследования

В таблице 1 представлены результаты исследования параметров фонового и авиационного шума на территории жилой застройки при снижении по глиссаде самолетов трех типов. Условия полета самолета в точке измерения были следующими: угол наклона глиссады 2^0 40′, удаление 10 км от ВВП, высота полета 470 м.

Таблица 1 – Влияние типа самолета при посадке на фоновые акустические параметры на территории жилой застройки

Тип самолета	Акустические параметры		
	$L_{Аэкв.}$, дБА	L_A, дБА	$L_{экв.}$, дБЛин
[1]Предельно допустимые уровни по ГОСТ 22283-88	65	85 (95*)	нет норматива
[1]Предельно допустимые уровни по СН 2.2.4/2.18.562-96	55	70	90
Фон фактический	65,4-65,7	66,8-82,3	73,5- 82,0
Ан-26	65,8**	78,1	80,6
Ту-134	66,0**	78,5	80,2
Су-24	67,7**	87,3	80,7

Примечание: * - Допускается превышение в дневное время установленного уровня звука L_A на значение не более 10 дБ (*A*) для аэродромов 1-го, 2-го классов и для заводских аэродромов, но не более 10 пролетов в один день.
** - эквивалентный уровень определен за 40 пролетов самолетов за летную смену с учетом фактического фона.
[1] – величина параметров в фоне для дневного времени (с 7.00 до 23.00 ч).

Из таблицы 1 следует, что дневной фон L_A в контрольной точке колебался в диапазоне от 66,8 дБА до 82,3дБА и не превышал нормативных значений по ГОСТ 22283-88 (85 дБА), но был выше рекомендуемых величин СН 2.2.4/2.18.562-96 (ПДУ 70 дБА). Величина $L_{Аэкв.}$ в жилых районах находилась в диапазоне 65,4 – 65,7 дБА, что также несколько выше нормативных уровней (соответственно 65 дБА и 55 дБА) . Параметр инфразвука $L_{экв.}$ не превышал значений ПДУ. Высокие фоновые значения параметров шума на территории жилой застройки по всей вероятности связано с загруженностью автомобильных дорог и наличием в этом районе промышленного производства.

При пролете самолета независимо от типа значения всех акустических параметров на территории жилой застройки увеличивались по сравнению с фоновыми значениями. Максимальные параметры наблюдались при пролете над этой точкой самолета Су-24 (см. таблицу 1).

Из этого следует, что снижение самолетов по глиссаде приводит к усилению шума на территории жилой застройки, находящейся в проекции глиссады. Акустические параметры этого шума превышают ПДУ, что требует проведения мероприятий для устранения этого нарушения. При пролете самолета Су-24 параметры шума достигают наибольших значений. На рисунке 1 представлены спектры шумов, образующиеся на территории жилой застройки при снижении самолетов по глиссаде.

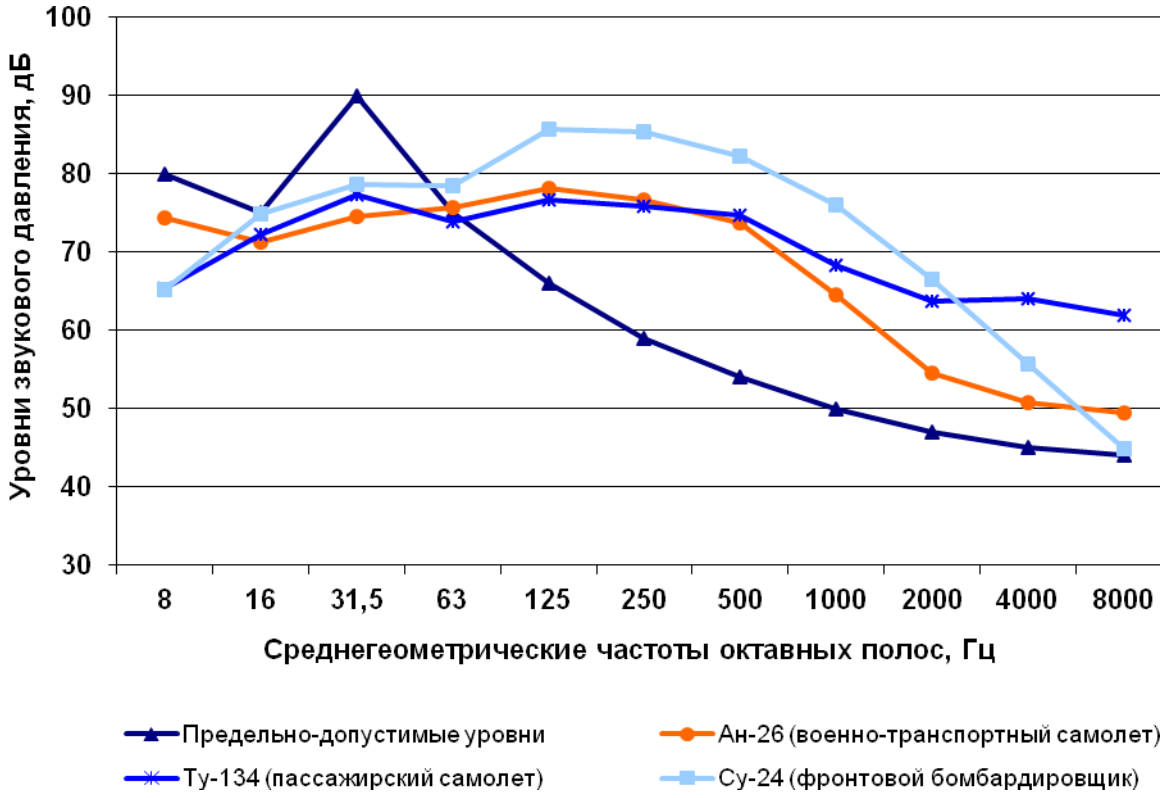


Рисунок 1 – Влияние типа самолета при посадке на фоновые величины акустического спектра на территории жилой застройки

Анализ спектров шума показал, что при снижении самолетов по глиссаде образуется широкополосный низкочастотный шум с инфразвуковой составляющей, на что указывает максимум УЗД в диапазоне 31,5–500 Гц и разница между величиной $L_{экв.}$ и $L_{Аэкв.}$ более 10 дБ. Спектр шумов сплошной. УЗД этого шума превышают ПДУ в звуковом диапазоне от 125 до 8000 Гц. В области инфразвука УЗД были ниже ПДУ. Наиболее высокие

УЗД образуются от самолета Су-24. Независимо от типа самолета их спектры имеют сходство, что можно объяснить тем, что при посадке преобладает аэродинамический шум, образующийся преимущественно за счет характеристик планера.
Для подтверждения этого положения в таблице 2 представлены некоторые тактико-технические характеристики самолетов, осуществляющих полеты с военного аэродрома.

Таблица 2 – Тактико-технические характеристики самолетов, влияющие на шумовые характеристики при полете

Тип самолета	Тип двигателя	Силовая установка (кгс)	Масса (т)	Длина планера (м)	Размах крыльев (м)
Ан-26	турбо-винтовой	2×2820	23	24	29
Ту-134	турбо-реактивный	2×6800	47-49	33	29
Су-24	турбо-реактивный	2×7800 (2×11200)*	24	25	10-18*

Примечание: * - в зависимости от режима полета.

Длина планеров самолета близка, а размах крыльев отличается. Исходя из этого, у этих типов самолета разное отношение между вышеуказанными показателями: для Ан-26 – 0,8; Ту-134 – 1,2 и Су-24 – 1,4. Следовательно, этот показатель достигал максимальных значений у самолета Су-24, который к тому же имеет самую мощную силовую установку. Она в свою очередь является самостоятельным источником шума, образующегося за счет выброса из сопла горячих потоков воздуха, то есть газодинамического шума, особенностью которого является преобладание в спектре высокочастотных акустических колебаний.
Таким образом, если прогнозировать уровень шума исходя из тактико-технических характеристик, то самолет Су-24 при снижении по глиссаде будет источником наиболее высокого уровня шума, что нашло свое подтверждение при измерениях (см. таблицу 1).
На втором этапе для снижения повышенного уровня шума на территории жилой застройки, особенно при полетах самолета Су-24, было предложено несколько путей (регулировка интенсивности полетов, курса взлета и посадки и др.). В том числе в качестве перспективного рассматривались варианты по изменению режимов полета самолета при снижении по глиссаде:
первый – это повышение угла наклоны глиссада до $3^0\,30'$, что приведет к повышению высоты снижения самолета и увеличению расстояния прохож-

дения до земли, а, следовательно, усилению затухания распространения шума;

второй – это задержка времени включения взлетно-посадочной механизации (ВПМ) до 10 км удаления от ВПП, то есть практически самолет выходил из зоны жилой застройки;

третий - это комбинация двух вышеописанных способов, то есть повышение угла наклоны глиссады и задержка включения ВПМ.

Результаты исследования представлены в таблицах 3.

Подъем угла глиссады самолета Су-24 с 2^0 40′ до 3^0 30′ привел к подъему высоты снижения с 470 м до 610 м над контрольной точкой измерения, находящейся на удалении 10 км от торца ВПП. Исходя из уравнения, можно прогнозировать величину спада уровня звука [11]:

$D = 20 \lg A_l / A_{l+\lambda}$,

где D – спад уровня, дБ/м;

A_l - амплитуда колебания на расстоянии L, дБ;

$A_{l+\lambda}$ – амплитуда колебания на расстоянии L +λ , дБ;

λ – расстояние от источника волны, м.

Таблица 3 – Влияния различных режимов полета самолета Су-24 на глиссаде на акустические параметры территории жилой застройки

Условия полета Су-24 на глиссаде	Количество полетов	Дневное время (7.00-23.00 ч; t=16 ч)		Ночное время (23.00-7.00 ч; t=8 ч)		$L_{экв.}$, дБЛин
		$L_{Аэкв.}$, дБА	L_A, дБА	$L_{Аэкв.}$, дБА	L_A, дБА	
ПДУ ГОСТ 22283-88	-	65	85 (95*)	55	75	-
Фон фактический	-	65,4-65,7	66,8-82,3	49	63	73,5-82,0
Угол наклона глиссады 2^0 40′	1 40**	82,4 67,7	87,3	82,4 67,1	87,3	91,2 80,7
Угол наклона глиссады 3^0 30′	1 40**	75,3 65,5	84,9	75,3 61,0	84,9	81,1 80,0
Угол наклона глиссады 2^0 40′ без шасси	1 40**	70,2 65,1	74,5	70,2 57,8	74,5	84,5 80,1
Угол наклона глиссады 3^0 30′	1 40**	73,2 65,3	79,3	73,2 59,5	79,3	86,0 80,2

без шасси						

Примечание: * - Допускается превышение в дневное время установленного уровня звука L_A на значение не более 10 дБА для аэродромов 1-го, 2-го классов и для заводских аэродромов, но не более 10 пролетов в один день.

** - Максимальное количество полетов за смену в повседневной учебно-боевой деятельности.

Из уравнения следует, что можно ожидать снижения уровня звука при подъеме угла наклона глиссады на 2,3 дБ.

При натурных измерениях спад L_A составил 2,4 дБ. С учетом погрешности измерения шумомера (±0,5 дБ) оба результаты имеют хорошую сходимость. Следовательно, полученные данные подтвердили правильность первого пути по снижению уровня авиационного шума на территории жилой застройки, но его эффективности мала, чтобы соблюдать ПДУ.

Задержка времени включения ВПМ самолета Су-24 до 10 км от ВПП показала, что при угле глиссаде 2^0 40′ L_A уменьшился до 74,5 дБА и достиг уровня ПДУ для дневного времени (75 дБА), при угле глиссаде 3^0 30′ величина снижения этого параметра была меньшей и составила 79,3 дБА. Объяснить это можно тем, что при снижении по глиссаде основным источником шума является аэродинамический шум за счет турбулентности воздушных потоков, образующихся вокруг планера самолета. Выпуск шасси и закрылок необходимо рассматривать как появление дополнительных препятствий, что значительно усиливает турбулентность воздуха и как следствие происходит усиления шума при выпуске шасси и закрылок и наоборот. Таким образом, этот путь необходимо рассматривать эффективным, так как достигнуто снижение авиационного шума на 6,0 – 12,8 дБА на территории жилой застройки.

Комбинация поднятия угла наклоны глиссады и задержки включения ВПМ тоже приводит к снижению L_A на территории жилой застройки до 79,3 дБА. Это достигли за счет двух факторов: поднятия высоты снижения по глиссаде и снижения сопротивления воздушных потоков, которое появляется при выпущенных шасси и закрылках. Эффективность этого пути по снижению шума была меньшей чем задержка включения ВПМ при угле наклона глиссады 2^0 40′. Можно предположить, что увеличение угла наклона глиссады без шасси и закрылок необходимо рассматривать с позиции аэродинамики менее эффективным, что возможно связано с увеличением поперечной площади при увеличении угла наклона планера.

Таким образом, путем изменения режимов полета самолета Су-24 при снижении по глиссаде удалось улучшить акустическую обстановку на территории жилой застройки, о чем свидетельствовало снижение величины $L_{Аэкв.}$ на 2,6 дБА и L_A на 13 дБА. Наилучшие результаты получены при снижении самолета по глиссаде с углом ее наклона 2^0 40′ и задержкой

включения ВПМ. Расчет показывает, что при таких условиях полета даже при максимальном количестве вылетов за летную смену (40 полетов) акустические параметры на территории жилой застройки по всей оси проекции глиссады будут соответствовать требования ПДУ для дневного времени [8], а для ночного времени превышение значение $L_{Аэкв.}$ будет выше 2 дБА. Уменьшение количества вылетов до 20 полетов за ночную смену приведет к снижению параметра на 3 дБА, а значит и его нормализации.

По сравнению с [8] в [9] нормативные требования для $L_{Аэкв.}$ снижены на 10 дБА и $L_{Аэкв.}$ – 15дБА, поэтому, предложенные способы по изменению режима полетов и оптимизации их количества будут не эффективными.

Анализ спектра шума, образующегося при снижении самолета Су-24 по глиссаде, показал следующее (см. рисунок 2). При снижении по глиссаде независимо от выбора режима образуется широкополосный шум и инфразвук. УЗД в инфразвуковом диапазоне не превышали ПДУ, а в большинстве октавных полос звукового диапазона они были значительно выше. В спектре шума при снижении по глиссаде доминируют низкие частоты. Повышение угла наклона глиссады и задержка включения ВПМ во всех случаях изменяли характеристики спектра (уменьшались УЗД практически во всех октавных полосах звукового диапазона, максимум УЗД по октавным полосам становилось более равномерным).

Таким образом, все это свидетельствовало об улучшении аэродинамики самолета и уменьшении турбулентности воздушных потоков, а значит снижении аэродинамического шума. Условия режима самолета при снижении по глиссаде оказывают влияние на спектр шума на территории жилой застройки. Наименее неблагоприятное влияние на фоновые акустические характеристики территории жилой застройки выявлены при снижении самолета по глиссаде с углом ее наклона $2^0\ 40'$ и без включения ВПМ. Спектр был сплошным, равномерным, с широким максимумом в области инфразвука и низких частот, максимально снижены УЗД во всех октавных полосах звукового диапазона, в том числе и в области высоких частот.

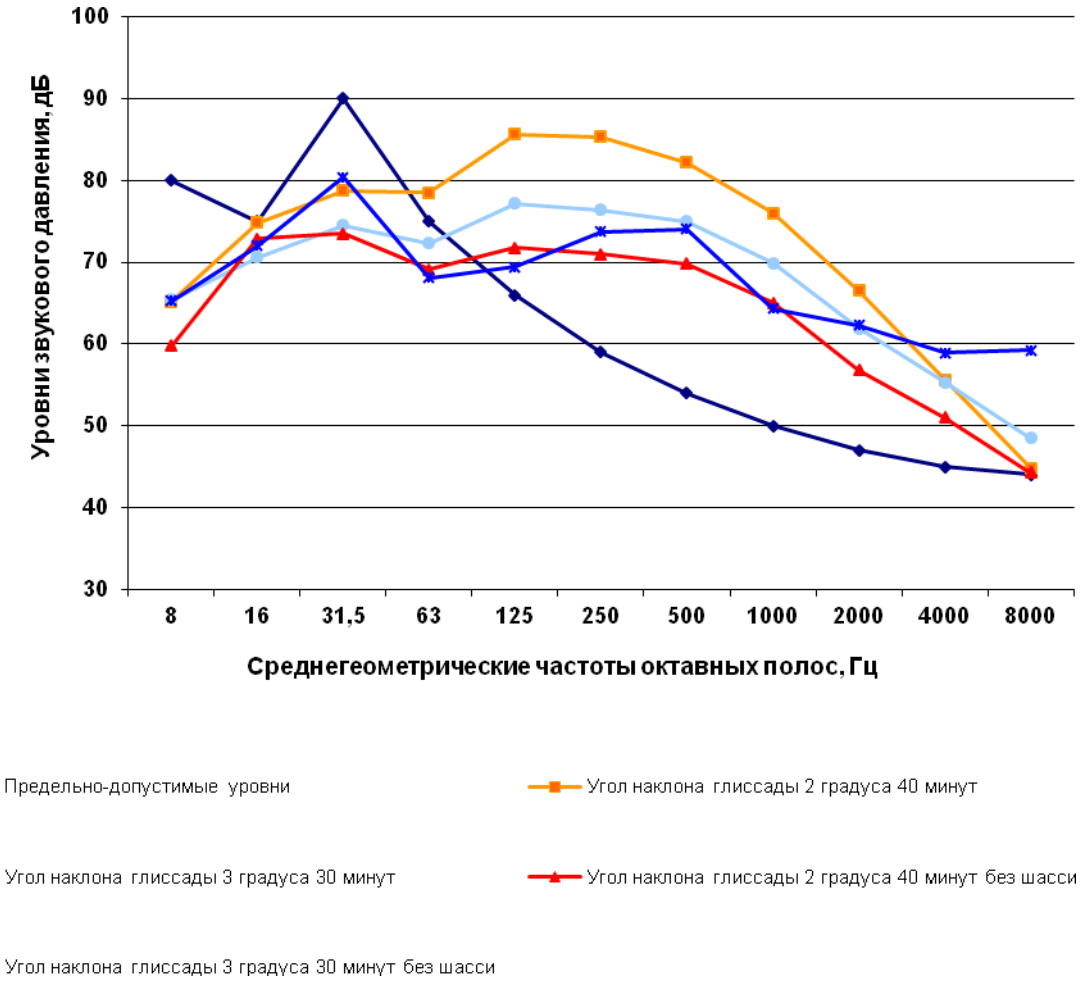


Рисунок 2 – Влияния различных режимов полета самолета Су-24 на глиссаде на фоновые значения акустического спектра территории жилой застройки

Заключение

Проведены исследования акустической обстановки на территории жилой застройки, находящийся удалении 10-12 км от города. Основное внимание уделено обследованию жилых районов, попадающие в ось проекции глиссады самолетов. Исследования показали, что именно в этих местах наблюдаются наиболее высокие акустические параметры при полетах самолета.

Установлено, что в ряде районов города акустическая обстановка в городе не соответствует требованиям СН 2.2.4/2.18.562-96, что связано с интенсивностью движения автотранспорта и наличием близко расположенных производственных объектов.

Наиболее неблагоприятное влияние на акустическую обстановку на территорию города оказывают полеты самолета Су-24, что связано с рядом тактико-технических особенностей его. При снижении по глиссаде на терри-

тории жилой застройки образуется низкочастотный широкополосный шум с инфразвуковой составляющей. УЗД превышают ПДУ во всем звуковом диапазоне, в том числе и в области высоких частот. На последнее обстоятельство необходимо обратить особое внимание, так как известно, что при равных уровнях авиационный шум вызывает чувство раздражения у гораздо большего числа обследуемых по сравнению с шумом от автомобильного и железнодорожного транспорта. Объяснением этому является наличие в спектре авиационного шума высоких частот звукового диапазона, действие которого сопровождается неприятными субъективными ощущениями [12–16].

Подтверждают это исследования, в которых было установлено, что наиболее неприятные эмоции у человека появляются при звуках в диапазоне 2-5 кГц. Исследователи с помощью МРТ-сканера на добровольцах зарегистрировали реакцию в области мозжечковой миндалины, отвечающей за эмоции. Похоже, в этот момент включается какой-то эволюционно сформировавшийся процесс и неприятный звук воспринимается как сигнал возможной опасности [17].

На основании проведенных нами акустических измерений и их анализе были предложены пути по улучшению акустической обстановки на территории города:

изменения режимов при снижении по глиссаде;

оптимизации количество полетов в летную смену;

выбор направления взлета и посадки.

При полетах самолета Су-24 было показано, что изменением режимов полета при снижении по глиссаде можно добиться снижения шума (до 10 дБА) на территории жилых районов города и акустические параметры будут соответствовать требованиям ГОСТ 22283-88.

Предложенные способы снижения авиационного шума носят предварительный характер и необходимо проведение дальнейших работ в этом направлении с учетом следующего. Во-первых, режимы полета самолетов на различных этапах регламентируются соответствующими руководящими документами. Для внесения в них изменений требуется проведение комплекса специальных мероприятий, в первую очередь, с точки зрения обеспечения безопасности полетов при внесении изменений и дополнений в руководство по эксплуатации самолетов.

Во-вторых, наличие в настоящее время двух действующих руководящих документов по нормированию шума на территории жилой застройки, прилегающей к аэропортам, ГОСТ 22283-88 и СН 2.2.4/2.18.562-96. Требования последнего к ПДУ параметров шума более жесткие и снижены на 10-15 дБА, тем самым не позволяя предложенными мероприятиями достичь нормативных значений, особенно для параметра L_A. Анализ нормативных значений шума для территории жилой застройки из условий авиационного

шума, которые в настоящее время действуют в различных стран мира, показывает, что рекомендовано использовать, как правило, один параметр $L_{Аэкв.}$, уровень которого соответствует 75 дБА и выше [18]. Как видно, в нашей стране оба нормативных документа для авиационного шума являются самыми жесткими.

Поэтому необходимо признать, что действующая для территории жилой застройки в настоящее время система нормирования для авиационного шума требует обновления и разработки нового нормативного документа, учитывающего реалии и международный опыт. Кроме того, в спектре авиационных шумов имеется инфразвук, для регламентации воздействия которого в нашей стране разработаны санитарные нормы для различных условий, в том числе и для территории жилой застройки [10].

Все вышеизложенное в полной мере относится и к военным аэродромам, которые в большинстве случаев относятся к аэродромам с низкой интенсивностью полетов (менее 40) и с различным максимумом времени загрузки полетов (день, вечер, ночь). Учитывая экологические и социальные негативные аспекты, необходимо в Вооруженных силах РФ разработать систему мониторинга за контролем акустической обстановкой на прилегающих территориях к военным авиационным объектам (аэродромы, полигоны, заводы и др.).

Список литературы

1. Карагодина И.Л. Гигиенические аспекты изучения шума в городах и защита населения от его неблагоприятного действия: Автореф. дис.…д-ра мед наук. – М., 1984. – 44 с.

2. Почекаева Е.В. Здоровье населения и гигиеническая безопасность территорий, прилегающих к аэропортам: Автореф. дис.…д-ра мед. наук. – М., 2008. – 48 с.

3. Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М, Солдатов С.К., Свидовый В.И. Риск развития шумовой патологии как критерий нормирования шума на территории жилой застройки // Экология. Риск. Безопасность / Мат. междун. науч. – практ. конф. – Курган, 2010. – Т.2. – С.120-123.

4. McLean E.K., Tarnopolsky A. Noise, discomfort and mental health: a review of the socio-medical implications of disturbanceby noise // Psychological Medicine. – 1977. – № 7. – P. 19-62.

5. Passchier-Vermeer W., Passchier W.F. Noise exposure and public health // Environmental health perspect. – 2000. – Vol.108, Sup.1. – P.123-131.

6. Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Авиационный шум как фактор эколого-

социального неблагополучия // Проблемы безопасности полетов. – 2010. – Вып.10. – С.3-13.
7. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Солдатов С.К. Медико-социальные аспекты экологической безопасности населения, подвергающегося кумулятивному воздействию авиационного шума // Экология промышленного производства . – 2011. – №2. – С. 9-14.
8. ГОСТ 22283-88. Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения. – Введ.1988–12–22. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1988.
9. Шум на рабочих местах, в помещениях, общественных зданий и на территории жилой застройки: Санитарные нормы. СН 2.2.4/2.18.562–96. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 20 с.
10. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки: Санитарные нормы. СН 2.2.4/2.18.583–96. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 11 с.
11. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Под общ. ред. Е.Я.Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
12. Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А., Солдатов С.К., Ахметзянов И.М., Зинкин В.Н., Шешегов П.М. Экологические аспекты безопасности жизнедеятельности населения, подвергающегося кумулятивному воздействию авиационного шума // Защита населения от повышенного шумового воздействия / III Всерос. науч.–практ. конф. с междун. участием. – СПб.: Балтийский гос.тех. ун-т, 2011. – С.670-677. – 1 электронный опт. диск.
13. Зинкин В.Н., Богомолов А.В. Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Авиационный шум: специфические особенности биологического действия и защиты // Авиакосм. и эколог. медицина. – 2012. – Т.46, №2. – С.9-16.
14. Crocker M.J. Introduction to community noise and vibration prediction and control // Защита населения от повышенного шумового воздействия / III Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия». / Балтийский гос. тех. ун-т (Военмех). – СПб., 2011. – С. 33-58. – 1 электрон. опт. диск.
15. Finegold L.S., Harris S.C., von Gierke H.E. Community annoyance and sleep disturbance: updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people // Noise Control Eng. J. – 1994. – Vol.42, №1. – P. 25-30.
16. Miedema H.M.E., Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise // J. Acoust. Soc. Am. – 1998. – Vol.104, №6. – P.3432-3445.
17. Ученые из Университета Ньюкасла выяснили какой звук наиболее нетерпим для человека, кроме того им удалось отследить воздействие неприятных шумов на головной мозг. – Режим доступа**:** http.www.Flickr.com / whisperwolf / cc-by-nc (21.01.2013).

18. Картышев О.А. Установленные санитарно-защитные зоны аэропортов по неблагоприятному фактору «авиационный шум» / ГосНИИ гражданской авиации. – Режим доступа**:** http.www.ecoflight.ru> materials / down / s.pdf (21.01.2013).

Решение трехмерной обратной задачи по определению уровня шума на границе санитарно-защитной зоны промышленного предприятия

Комарова Е.Г., Пименов И.К.
СПбГМТУ
ikpimenov@list.ru

Шум является одним из типовых экологических загрязнений, так как непосредственно влияет на окружающую среду, от которой зависит здоровье человека. Основными источниками шума служат промышленные предприятия. Разработка санитарно-защитных зон промышленных предприятий является важнейшим организационным мероприятием по борьбе с шумом на селитебных территориях. При этом оценка шума на границе санитарно-защитных зон производится по известным характеристикам источников шума прямым методом [1,2]. В основе такого подхода обычно используются результаты измерений уровней шума конкретных источников, выполненные непосредственно на территории действующего предприятия. Однако проведение таких измерений часто затруднено, а иногда невыполнимо, ввиду невозможности разделения вкладов каждого источника в результирующие уровни шума.

В качестве решения поставленных проблем был разработан обратный метод акустического расчета санитарно защитных зон, представленный на международной конференции, посвященной защите населения от повышенного шума [3]. В рассматриваемом методе предлагается выполнять измерения шума в произвольных точках, расположенных на территории предприятия. Источники шума, которые учитываются в расчете, их количество и координаты определяются на основе общих подходов к инвентаризации источников шума. Число точек измерений должно превышать количество источников шума. По результатам измерений уровней звука в выбранных точках, рассчитываются значения уровней звуковой мощности источников шума, в предположении отсутствия экранирующих препятствий – решается обратная задача. Затем, по известным уровням звуковой мощности источников шума с учетом экранирующего влияния застройки рассчитываются уровни звука в точках измерений, которые сопоставляются с измеренными значениями. По величине полученных разностей УЗ корректируются значения уровней звуковой мощности источников. Процедура корректирующих расчетов продолжается до получения заданной сходимости результатов расчета и измерения (например, до ±3дБА в контрольных точках).

Математическое решение обратной задачи состоит в определении коэффициентов дифференциальных уравнений квадратичного функционала между измеренными и расчетными значениями интенсивности звука в точках измерений (для n точек измерений и m источников шума):

$$F(n,m) = \Sigma_n(In-\Sigma_m Im)^2 \qquad (1),$$

где In [Вт/м^2] – значения интенсивности звука, определенные из измеренного звукового давления в n точках; Im – рассчитанные значения интенсивности для m источников (Вт/м^2).

Значения интенсивности звука в n точках рассчитываются по формуле:

$$In=P^2/\rho c \qquad (2),$$

где ρ – плотность среды (кг/м^3); P – звуковое давление в точке измерения (Па); c – скорость звука в среде (м/с).
Значения интенсивности для m источников определяются по формуле (как для случая расположения источника шума на звукоотражающей поверхности):

$$Im=Wm/2\pi r^2 \qquad (3),$$

где r – расстояние от источника m до точки измерения n (м); Wm – акустическая мощность “m” –го источника (Вт).
Неизвестными значениями являются значения звуковой мощности источников Wm. Для их определения находится минимум функционала F. Минимум функции нескольких переменных достигается при условии равенства нулю ее частных производных:

$$dF/dW_m=0 \qquad (4).$$

Таким образом, получена система линейных алгебраических уравнений, состоящая из m уравнений с m неизвестными, из которой определяются значения Wm.
Решение системы алгебраических уравнений реализовано в программе MathCad и производится путем обращения матрицы коэффициентов по формуле:

$$Wm=\mathbf{A}^{-1}_{m\,x\,m}*\mathbf{B}_{m\,x\,1} \qquad (5),$$

где A - матрица коэффициентов при W; B – матрица целых значений.
Из вышеизложенного видно, что в общем виде этот традиционный алгоритм достаточно прост и применим к большому числу источников шума.

Однако в разработанном обратном методе акустического расчета [3] приведено решение для плоской задачи, когда все источники шума и точки измерений расположены на одной плоскости. Для усовершенствования метода в направлении его универсализации в расчеты добавляется координата z (высота расположения источника шума, точек измерений и расчета). Учет высотной координаты по существу не усложняет алгоритм расчета и позволяет применять данный метод к большему числу производственных площадок.

Первая тестовая задача, на которой был апробирован разработанный обратный метод расчета, включает в себя 5 известных источников шума (ИШ1-ИШ5) и 7 точек измерений (ТИ1-ТИ7), расположенных в пространстве с девятью препятствиями, моделирующими производственные корпуса разной высоты (высоты корпусов приведены на рис. 1). На рис. 1 представлена модель тестовой задачи, реализованная в программном комплексе АРМ «Акустика».

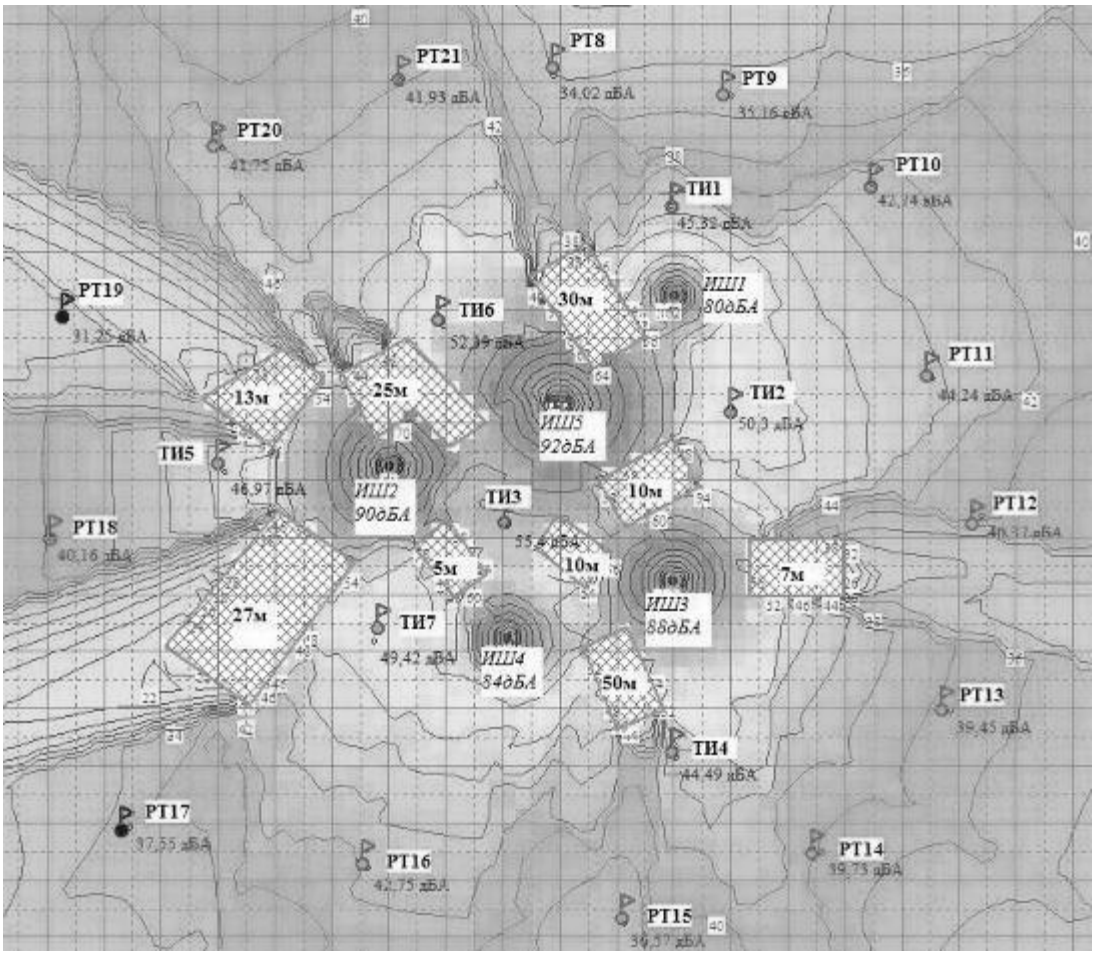


Рис. 1. Модель тестовой задачи, реализованная в программном комплексе АРМ «Акустика»

Сравнение полученных результатов расчета уровней звуковой мощности, выполненных обратным методом в пакете MathCad (для плоской и объемной задачи) с исходными значениями уровней звуковой мощности источников (которые изначально заданы в тестовой задаче) приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Рассчитанные обратным методом и исходные значения уровни звуковой мощности (дБА) для тестовой задачи

ИШ	Исходные уровни звуковой мощности (дБА)	Рассчитанные уровни звуковой мощности (дБА) без учета координаты z	Разность (дБА)	Рассчитанные уровни звуковой мощности (дБА) с учетом координаты z	Разность (дБА)
1	80	83	3	83	3
2	90	91	1	91	1
3	88	81	-7	82	-6
4	84	90	-6	90	6
5	92	92	0	93	1

Сопоставление уровней звука, рассчитанных с использованием обратного метода (для плоской и объемной задачи), и «измеренных» в точках наблюдений приведено в таблице 2:

Таблица 2 – Рассчитанные обратным методом и измеренные/заданные значения уровней звука (дБА) в точках наблюдений для тестовой задачи

ТИ	«Измеренные»/ исходные уровни звука, дБА	Рассчитанные обратным методом уровни звука без учета координаты z	Разность, дБА	Рассчитанные обратным методом уровни звука с учетом координаты z	Разность, дБА
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	43	46	-3	46	-3
2	48	47	1	48	0
3	53	54	-1	55	-2
4	44	45	-1	45	-1
5	42	35	7	36	6
6	50	50	0	51	-1
7	47	49	-2	49	-2

Значительная разница между результатами расчета и измерений (до 6дБА) связана с тем, что в алгоритме расчета не учтено экранирование шума препятствиями. При решении обратной задачи можно в выражения для расчета уровней звуковой мощности ввести члены, учитывающие эффекты экранирования, но вид этих дополнительных членов и параметры, их определяющие, будут индивидуальны для каждой пары «источник шума - расчетная точка». Это не позволяет записать решение обратной задачи в универсальном матричном виде, что приведет к большой громоздкости и трудоемкости реализации метода. Поэтому учет эффектов акустического экранирования целесообразнее отнести на стадию применения прямого шага расчета с использованием уже готовых программных продуктов, а, получающиеся расхождения между расчетными и экспериментальными данными, минимизировать использованием итерационной процедуры расчета.

Программное обеспечение АРМ «Акустика» позволяет вычленить вклад каждого источника для интересующей точки контроля, в том числе идентифицировать преобладающий источник шума для каждой точки наблюдения. По разнице между измеренными и рассчитанными значениями в точках наблюдений корректируется уровень звуковой мощности определяющих источников шума.

Для рассматриваемой тестовой задачи разница между полученными после 2-х шагов итерации результатами расчета уровней звука в контрольных точках и измеренными значениями представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Рассчитанные обратным методом и измеренные/исходные значения уровней звука (дБА) в точках наблюдений для тестовой задачи после 2-х шагов итерации

ТИ	«Измеренные»/ исходные уровни звука, дБА	Рассчитанные обратным методом уровни звука с учетом координаты z, дБА	Разность уровни звука, дБА
1	**2**	**5**	**6**
1	43	46	-3
2	48	49	-1
3	53	55	-2
4	44	46	-2
5	42	42	0
6	50	51	-1
7	47	50	-3

В таблице 4 представлено сравнение уровней звука на границе санитарно-защитных зон, удаленной от границы предприятия на 50м, получен-

ных прямым и обратным (с 2-мя итерационными шагами) методами в рамках тестовой задачи. Расположение расчетных точек приведено на рис.1. Видно, что значения отклонения составляют не более 2 дБА, что вполне удовлетворительно с практической точки зрения, хотя сходимость результатов можно усилить, используя дальнейшие итерационные шаги в рамках изложенного подхода.

Таблица 4 – Значения УЗ на границе СЗЗ для тестовой модели

РТ	Рассчитанные прямым методом УЗ (дБА)	Рассчитанные обратным методом УЗ (дБА)	Разность (дБА)
1	**2**	**3**	**4**
8	36	36	0
9	35	37	-2
10	37	38	-1
11	39	40	-1
12	35	36	-1
13	38	38	0
14	36	37	-1
15	36	38	-2
16	37	39	-2
17	30	32	-2
18	36	37	-1
19	31	32	-1

Второй пример, иллюстрирующий работоспособность метода, относится к расчету шума на границе санитарно-защитной зоны порта «Экономия» в г. Архангельск.

Расположение источников шума и 18-ти точек измерений (ТИ11-28), а также 10-ти расчетных точек на границе СЗЗ (ТИ1-10) приведено на рис.2.

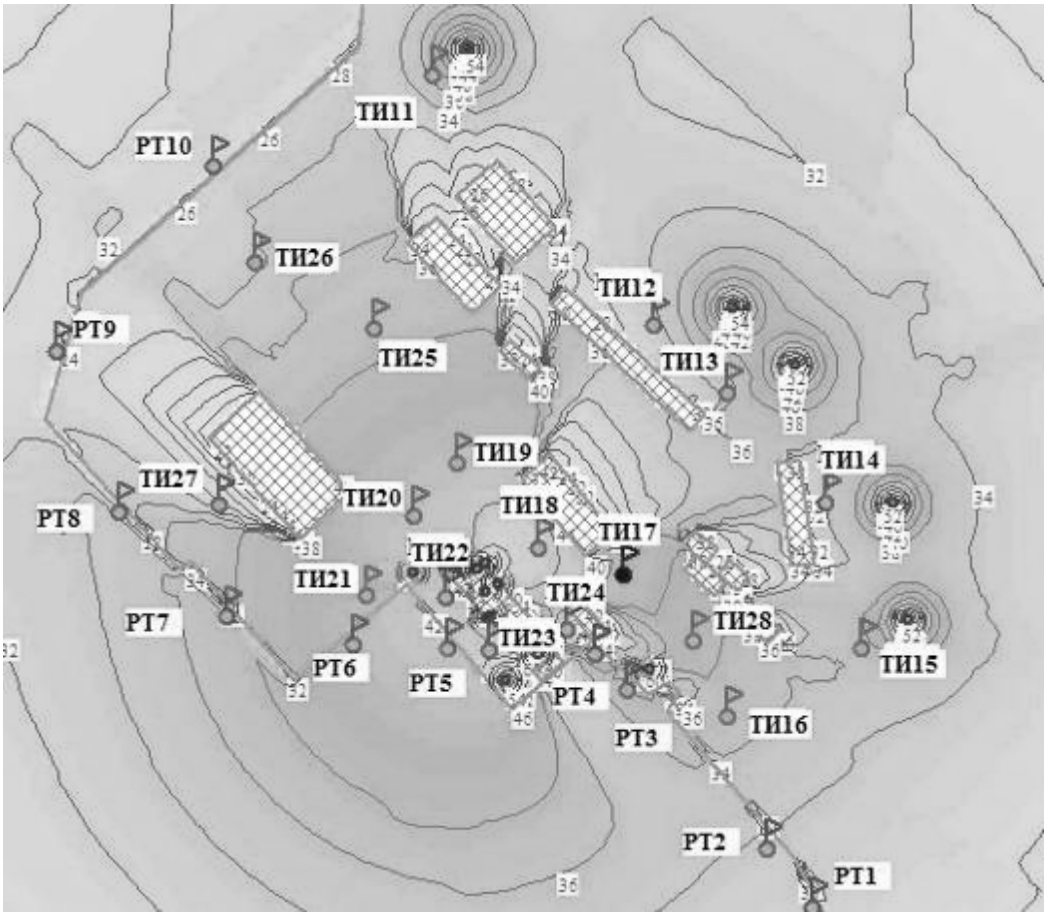


Рис. 2. Акустическая модель порта в г.Архангельск.

Сопоставление уровней звука, рассчитанных с использованием обратного метода (для плоской и объемной задачи) и измеренных в точках наблюдений, приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Рассчитанные обратным методом и измеренные/заданные значения УЗ (дБА) в точках наблюдений без корректировки УЗМ для для порта в г.Архангельск

ТИ	Измеренные уровни звука, дБА	Рассчитанные обратным методом уровни звука без учета координаты z	Разность уровней звука, дБА	Рассчитанные обратным методом уровни звука с учетом координаты z	Разность уровней звука, дБА
11	34	46	-12	37	-3
12	31	48	-17	40	-9
13	32	48	-16	40	-8
14	30	44	-14	35	-5
15	34	51	-17	43	-9

ТИ	Измеренные уровни звука, дБА	Рассчитанные обратным методом уровни звука без учета координаты z	Разность уровней звука, дБА	Рассчитанные обратным методом уровни звука с учетом координаты z	Разность уровней звука, дБА
16	35	55	-20	48	-13
17	43	66	-23	60	-17
18	48	77	-29	71	-23
19	45	70	-25	63	-18
20	47	65	-18	58	-11
21	43	63	-20	56	-13
22	48	78	-30	73	-25
23	46	82	-36	77	-31
24	44	70	-26	64	-20
25	38	58	-20	50	-12
26	37	53	-16	46	-9
27	30	53	-23	47	-17
28	39	60	-21	53	-14

Таким образом, учет расположения высоты источников шума уменьшает разность между измеренными и рассчитанными значениями УЗ в точках наблюдений, по сравнению с плоской задачей.

Разность между результатами расчета уровней звука на границе санитарно-защитной зоны прямым методом и обратным представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Значения уровней звука на границе СЗЗ для порта в г.Архангельск

РТ	Рассчитанные прямым методом уровни звука (дБА)	Рассчитанные обратным методом уровни звука на «3»-м шаге корректировки (дБА)	Разность (дБА)
1	39	39	0
2	36	37	-1
3	27	26	1
4	25	24	1
5	45	46	-1
6	43	42	1
7	32	32	0
8	30	29	1

РТ	Рассчитанные прямым методом уровни звука (дБА)	Рассчитанные обратным методом уровни звука на «3»-м шаге коррек-тировки (дБА)	Разность (дБА)
9	22	20	2
10	23	22	1

После трех шагов итерационной настройки акустической модели порта в г. Архангельск, по результатам измерения шума на его территории, расчетные значения, полученные прямым и обратным методами, в котором учитывались высоты расположения источников, практически совпали. На границе санитарно-защитной зоны разность между рассчитанными двумя методами уровнями звука лежит в пределах ±2дБА.

Усовершенствование разработанного обратного метода акустического расчета санитарно- защитных зон позволяет лучше решить проблему выделения определенного источника из группы близкорасположенных при проведении измерений шумовых характеристик источников в условиях эксплуатации предприятия. Использование высотной координаты в расчетах позволяет учитывать труднодоступные источники шума, к которым нет доступа на необходимую для проведения измерений дистанцию (например, трубы котельных, скрубберы и объекты с особым режимом доступа).

Литература.

1. ГОСТ 31295.2-2005 "Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета".

2. ГОСТ 31297-2005 "Шум. Технический метод определения уровней звуковой мощности промышленных предприятий с множественными источниками шума для оценки уровней звукового давления в окружающей среде".

3. Пименов И.К., Комарова Е.Г., Ягло М.А. Обратный метод акустического расчета санитарно-защитной зоны. 3-я международная конференция» Защита населения от повышенного шума. СПб, 2011.

4. А. Н. Тихонов, В. Я Арсенин. Методы решения некорректных задач М.:Наука, 1979.

Выбор параметров резонатора гельмгольца в глушителях газодинамического шума

Комкин А.И.[1], *Юдин С.И.*[2], *Надарейшвили Г.Г.*[2]
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
ООО "НТЦ МСП"
akomkin@mail.ru

Резонаторные глушители находят широкое применение для снижения газодинамического шума машин. К наиболее распространенному виду такого рода глушителей относится резонатор Гельмгольца. Расчету резонатора Гельмгольца посвящено достаточно большое количество публикаций [1-12], в которых рассматриваются различные аспекты этой проблемы.

Чтобы повысить акустическую эффективность резонатора Гельмгольца, важно уметь правильно подбирать его геометрические параметры. Обстоятельное рассмотрение этого вопроса применительно к изолированному резонатору и резонатору в безграничной стенке проведено Ингардом в его фундаментальной работе [1]. Здесь этот вопрос исследуется применительно к резонатору Гельмгольца, размещенного на стенке канале. При этом в такой системе к трем параметрам, характеризующим сам резонатор, добавляется еще один, определяющий поперечные размеры канала, что не позволяет выбрать параметры резонатора однозначным образом и может приводить к решениям, далеким от оптимальных. Здесь представлен подход, обеспечивающий однозначность выбора.

Рассмотрим прямой канал (рис. 1) с абсолютно жесткими стенками и площадью поперечного сечения S, на боковой поверхности которого размещается резонатор Гельмгольца. Ограничимся простейшей моделью резонатора Гельмгольца, в которой жесткая замкнутая поверхность резонатора, характеризуемая только объемом V, соединяется с каналом через горло с площадью поперечного сечения S_0 и длиной l.

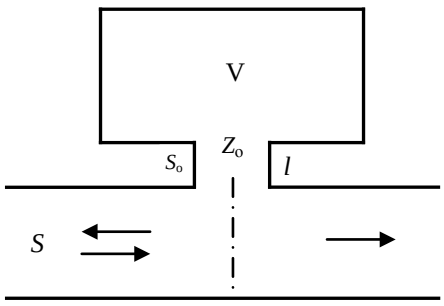


Рис. 1. Схема резонатора Гельмгольца в канале

Резонатор характеризуется также акустическим импедансом Z_o, определяемым отношением звукового давления к колебательной скорости частиц в его горле.

Положим, что потери звуковой энергии в системе обусловлены вязким трением в горле резонатора, которое будем определять сопротивлением трения R_v, точнее ее нормированной величиной $R'_v = R_v/(\rho_0 c_0)$, где ρ_0 и c_0 определяют соответственно плотность воздушной среды и скорость звука в ней.

Потери передачи *TL* для рассматриваемой системы, определяемые логарифмом отношения звуковой мощности падающей волны в канале перед резонатором к мощности звуковой волны за резонатором при согласованной нагрузке на выходе канала имеют вид

$$TL = 20\lg\left|1 + 1/(2S'Z'_o)\right|, \tag{1}$$

где $S' = S/S_0$; $Z'_o = Z_o/(\rho_0 c_0)$ – нормированный акустический импеданс резонатора.

Полагая, что звуковые колебания в рассматриваемой системе происходят по гармоническому закону с круговой частотой ω, введем в рассмотрение собственную частоту резонатора

$$\omega_0 = c_0\sqrt{S_0/(l_e \mathrm{V})} = c_0\Big/\left(l_e\sqrt{\mathrm{V}'}\right), \tag{2}$$

где l_e – приведенная или эквивалентная длина горла резонатора, определяемая с учетом так называемой присоединенной длины горла, которая в свою очередь связана с перераспределением энергии звуковой волны в горле резонатора; $\mathrm{V}' = \mathrm{V}/(l_e S_0)$ – отношение объема резонатора к эквивалентному объему его горла.

Тогда нормированный акустический импеданс резонатора Z'_o может быть представлен как функция относительной частоты $\Omega = \omega/\omega_0$ в виде

$$Z'_o = R'_v + i\frac{1}{\sqrt{\mathrm{V}'}}\left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right). \tag{3}$$

При этом потери передачи

$$TL = 10\lg\left[1 + \frac{1 + 2R_s}{R_s^2 + \left[Q(\Omega - 1/\Omega)\right]^2}\right], \tag{4}$$

где $R_s = 2S'R'_v$; $Q = 2S'/\sqrt{\mathrm{V}'}$.

На резонансе, при Ω =1, как следует из (4), потери передачи зависят только от параметра R_s. Когда трение отсутствует, $R_s = 0$, потери передачи системы *TL*, помимо относительной частоты Ω, определяются только параметром *Q*, так что с его ростом кривая потерь передачи сужается.

Оценим теперь относительную ширину полосы резонансной кривой потерь передачи $\Delta\Omega = \Omega_2 - \Omega_1$, где относительные граничные частоты ре-

зонансной кривой Ω_1 и Ω_2 определяются из условия, что на этих частотах потери передачи $TL_{\text{гр}} = 3$ дБ, и как следствие, выражение под логарифмом в (4) равняется 2. Величина обратная $\Delta\Omega$ будет определять добротность системы. Когда параметр $R_s << 1$, то относительная ширина резонансной кривой потерь передачи $\Delta\Omega = 1/Q$, так что добротность рассматриваемой системы равна Q и не зависит от трения в горле резонатора. Согласно принятым обозначениям

$$\Delta\Omega = \frac{1}{2S}\sqrt{\frac{\nu S_0}{l_e}} = \frac{\nu_0}{2Sc}. \qquad (5)$$

Вместе с тем, если перейти от относительной к абсолютной ширине полосы резонансной кривой $\Delta\omega = \omega_0\Delta\Omega$, то получим

$$\Delta\omega = \frac{c_0}{2S}\frac{S_0}{l_e}. \qquad (6)$$

Очевидно, что ширина полосы $\Delta\omega$, в отличие от относительной ширины $\Delta\Omega$, уже не зависит от объема резонатора. Она определяется только площадью поперечного сечения канала и параметрами горла резонатора, так что для увеличения $\Delta\omega$ площадь горла S_0 следует делать как можно большей, приведенную длину горла l_e – как можно меньшей.

Заметим, что входящая в (6) приведенная длина горла

$$l_e = l + l_{a1} + l_{a2},$$

где l_{a1}, l_{a2} – соответственно внутренняя и наружная присоединенная длина горла, которые в общем зависят от конфигурации объема резонатора и поперечного сечения канала.

Для внутренней присоединенной длины горла резонатора при условии, что глубина полости резонатора не слишком мала, имеет место, как показано в [13], следующая оценка

$$l_{a1} = 0.815(1 - 1.34g)d_0/2,$$

где $g = \sqrt{S_0/S}$; d_0 – диаметр горла резонатора или эквивалентный по площади диаметр, если сечение горла отличается от круглого.

Что касается наружной присоединенной длины горла резонатора, то для нее используются различные оценки и единой позиции по этому вопросу до сих пор не выработано.

Рассмотрению этого вопроса было уделено особое внимание. При этом был получено как аналитическое исследование данной задачи, основанное на концепции присоединенной длины, так и численное на основе конечно-элементное моделирования, для случая прямоугольного канала со сторонами a и b. Результаты расчета собственной частоты системы резона-

тор-канал аналитическим (——) и численным (---) методами представлены на рис. 2 и показывают, что они могут приводить к большим различиям. Имеющие место различия в получаемых результатах существенны при небольших глубинах канала (расстоянии от среза горла резонатора до противоположной стенки) и говорят о том, что в этом случае концепция присоединенной длины для описания работы резонатора непригодна и нужны другие подхода для аналитического решения задачи.

Для того чтобы получаемые при анализе резонатора Гельмгольца результаты были более универсальными, приведем формулы (9), (10) к безразмерному виду. С этой целью, следуя [14, 15], введем в рассмотрение вместо частоты ее безразмерный аналог $\mu_0=d/\lambda_0$, где λ_0 − длина волны на резонансной частоте; d − диаметр канала или эквивалентный по площади диаметр, если сечение канала отличается от круглого. Кроме того, определим геометрические параметры резонатора в относительных величинах, выраженных в единицах диаметра канала. Это, помимо прочего, позволит сократить количество входящих в формулы (9), (10) переменных.

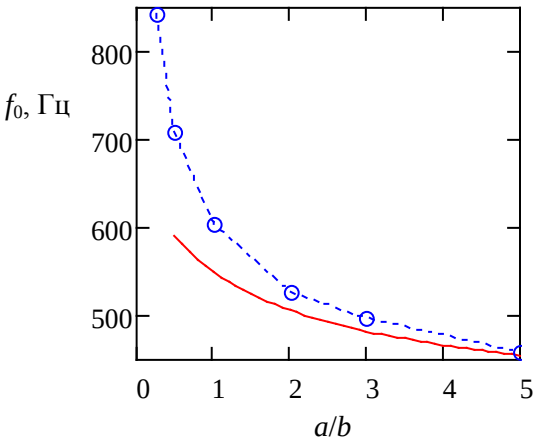


Рис. 2. Зависимость собственной частоты резонатора Гельмгольца от поперечного сечения канала

Если параметры резонатора выразить через относительные величины $\overline{\mathrm{V}} = \mathrm{V}/(d^3/4)$, $\overline{d} = d_0/d$, $\overline{l} = l/d$ и ввести в рассмотрение безразмерную ширину полосы резонансной кривой $\Delta\mu = \Delta\omega d/(2\pi c)$, то формулы (5), (6) преобразуются к виду

$$\Delta\mu = \mu_0^2 \overline{\mathrm{V}}; \tag{7}$$

$$\Delta\mu = \frac{\overline{d}}{4\pi(\overline{l}/\overline{d} + \alpha)}, \tag{8}$$

Заметим, что когда длина горла принимается равной толщине стенки канала, горло резонатора можно выполнить в виде одиночного отверстия в стенке канала или в виде совокупности из n отверстий меньшего диаметра.

Решение уравнения (8) дает следующее выражение для $\overline{d}$:

$$\overline{d} = 2\pi\alpha\Delta\mu\left(1+\sqrt{1+\overline{l}/(\pi\alpha^2\Delta\mu)}\right). \tag{9}$$

Когда ширина полосы Δμ достаточно большая, а относительная длина горла $\overline{l}$ мала, вторым слагаемым под корнем в формуле (9) можно пренебречь. При этом диаметр $\overline{d}$ не зависит от длины горла $\overline{l}$ и просто пропорционален Δμ. Наоборот, при небольшой ширине полосы Δμ и большой относительной длине $\overline{l}$ под корнем в формуле (9) становится превалирующим второе слагаемое.

Следует отметить, что на получаемые из (9) значения $\overline{d}$ не накладывается никаких ограничений. Поэтому в ряде случаев искомый диаметр горла резонатора может принимать небольшие значения, так что потери на трение в горле резонатора будут достигать значительной величины. Это в свою очередь может привести к существенному снижению потерь передачи на резонансной частоте. Во избежание этого минимально допустимое значение потерь передачи на резонансной частоте TL_0 необходимо задать в качестве исходных данных. Можно положить из практических соображений, что для эффективной работы резонатора значение TL_0 должно быть не менее 20 дБ. Отсюда можно найти относительный диаметр горла $\overline{d}$, определяющий при этом его минимально возможное значение:

$$\overline{d}_{\min} = \sqrt[3]{2\overline{R}_v \overline{l} \,/ (R_s)}\,. \qquad (10)$$

Итак, формула (10) позволяет найти нижнюю границу допустимых значений диаметра горла резонатора. Но, в принципе, это граничное значение может выбираться и из других соображений. Например, в системах выпуска автомобилей с практической точки зрения целесообразно ограничивать минимальный размер диаметра d_0 значениями порядка 2…3 мм.

Из представленных данных следует, что увеличение длины горла $\overline{l}$ приводит, как отмечалось выше, к уменьшению ширины полосы резонансной кривой. И с этой точки зрения необходимо, по возможности, ограничиваться минимальной длиной горла, принимая ее, например, равной толщине стенки канала. Конечно, для увеличения ширины полосы диаметр $\overline{d}$ желательно делать как можно большим. Основными ограничивающими факторами здесь является конструктивные соображения, связанные с возможностью реализации такого размера отверстия для данной конфигурации канала, а также возможные ограничения на объем резонатора, что приводит к соответствующим ограничениям на ширину полосы и, как следствие, на диаметр горла.

Когда относительный диаметр горла $\overline{d}$ и связанный с ним параметр Δμ установлены, тогда из (7) можно получить необходимый относительный объем резонатора и, таким образом, конфигурация резонатора Гельмгольца, удовлетворяющая исходным данным, оказывается полностью определенной.

Заметим, что если диаметр $\bar{d}$ принять равным $\bar{d}_{\min}$ и определить соответствующий этому диаметру ширину полосы $\Delta\mu$, а затем и объем $\bar{V}$, то полученное значение $\bar{V}$ будет определять минимально возможный объем резонатора Гельмгольца с принятыми исходными данными.

Если в качестве исходных данных задаются собственная частота резонатора и его объем, то по формуле (7) можно определить соответствующую этим условиям ширину полосы резонансной кривой, а затем по формуле (8) найти и диаметр горла резонатора. При этом надо иметь в виду, что для данной частоты заданный объем резонатора должен превышать минимально возможный.

Рассмотренный подход позволяет достичь однозначности в выборе геометрических параметров резонатора Гельмгольца, обеспечивающих требуемые характеристики заглушения шума.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1 - *Ingard U.* On the theory and design of acoustic resonators // J. Acoust. Soc. Am. 1953. V. 25, № 6. P. 1037–1061.

2 - *Davis D.D., Stokes G.M., Moor D., Stevens G.L.* Theoretical and experimental investigation of mufflers with comments on engine exhaust muffler design // NASA. Rep. № 1192. 1954. – 48 p.

3 - *Alster M.* Improved calculation of resonant frequencies of Hetlmholtz resonator // J. Sound Vib. 1972. −V. 24, № 1. P. 63−85.

4 - *Tang P.K., Sirignano W.A.* Theory of generalized Helmholtz resonator // J. Sound Vib.–1973. V. 26, № 2. P. 247–262.

5 - *Panton R.L., Miller J.M.* Resonant frequencies of cylindrical Helmholtz resonators // J. Acoust. Soc. Am. 1975. V.57, № 6. P. 1533−1535.

6 - *Chanaud R.C.* Effect of geometry on the resonance frequency o Helmholtz resonators // J. Sound Vib. 1994. V. 178, № 3. P. 337–348.

7 - *Selamet A., Dickey N.S., Novak J.M.* Theoretical, computational and experimental investigatin of Helmyoltz resonators with fixed volume: lumped versus distributed analysis // J. Sound Vib. 1995. V. 187, № 2. P. 358–367

8 - *Dickey N.S., Selament A.* Helmholtz resonators: one-dimensional limit for small cavity length-to-diameter ratios // J. Sound Vib.1996. V. 195, № 3. P. 512–517.

9 - *Selamet A., Radovich P.M., Dickey N.S., Novak J.M.* Circular concentric Helmholtz resonator // J. Acoust. Soc. Am. 1997. V. 101, № 1. P. 41–51.

10 - *Chanaud R.C.* Effect of geometry on the resonance frequency o Helmholtz resonators, part II // J. Sound Vib.1997. V. 204, № 5. P. 829–834.

11 - *Лапин А.Д.* Сечения рассеяния и поглощения резонатора Гельмгольца в многомодовом волноводе // Акуст. журн. 1999. Т. 45, № 3. С. 376–379.

12 - *Selamet A., Ji Z.L.* Circular asymmetric Helmholtz resonators // J. Acoust. Soc. Am. 2000. V. 107, № 5. P. 2360–2369.
13 - *Комкин А.И., Миронов М.А., Юдин С.И.* О присоединенной длине отверстий // Акуст. журн. 2012. Т. 58, № 6. С. 677–682.
14 - *Комкин А.И.* Оптимизация реактивных глушителей шума // Акуст. журн. 2010. Т. 56, № 3. С. 373–379.
15 - *Комкин А.И.* Особенности снижения шума в канале резонатором Гельмгольца // Изв. вузов. Машиностроение. 2011, № 1. С. 101–106.

Роль вибропоглощения в снижении шума в источнике

Кришневский Б.А.
ООО «ЭРГОС»
ergos@bk.ru

В 2011-12 г.г. целому ряду асинхронных электродвигателей (далее – АЭ), которые должен был изготовить ООО «ПО «ЛЭЗ» г. Санкт-Петербург, со стороны заказчиков одним из требований было обеспечить уровни шума, не превышающие уровни требований ПС-80(85 дБА).

Особая специфика производства АЭ состоит в их многообразии , как по конструктивному исполнению, так и по мощности, которые изготавливаются малыми партиями, в основном, от одного до 10 штук.

На стадии запуска в производство АЭ типа ДАЗ-560 и АЗМА6300/6-2УХЛ4 (мощностью 6300 кВт) в июне 2011 г. для Белоярской атомной электростанции, была поставлена задача - уровни шума должны быть не выше 85 дБА, со сроком изготовления сентябрь-ноябрь 2011 г.

В поисках решения этой задачи по рекомендации ОАО «Сафроновский электромеханический завод», где в 2010 г. было найдено частное решение по снижению шума одного из электродвигателей для АЭС /1/, был заключен договор со специалистами ООО «ЭРГОС».

Сложность состояла в том, что исходные характеристики шума АЭ отсутствовали, а по мнению начальника конструкторского бюро АЭ завода г. Лихтина А.Г. ожидаемые уровни шума (без принятия мер по снижению шума) должны иметь величину порядка 95-98 дБА.

Конструкция ДАЗ-560 имела несущий корпус 1,25 х 1,8 х 1,8 ($м^3$), накрытый сверху кожухом высотой 0,55 м. Толщина стального листа стенок корпуса: торцевых - 20 мм, боковых – 10 мм, а кожуха – 4 мм. АЗМА 6300/6-2УХЛ4 имел два стояка в виде слегка усеченных кверху параллелепипедов с размерами в основании 1,5 х 0,5 ($м^2$) и высотой 1,5 м.

Между стояками - цилиндрическая статорная часть длиной 1,5 м закрытая съемными кожухами – нижним, средним и верхним. Толщина стенок стояков – 20 мм, а кожухов – 4-5 мм. Оба АЭ представляли собой замкнутые оболочки, что равносильно бесконечной пластине.

Анализ предшествующих исследований показал, что в современных электрических машинах имеет место как силовое, так и кинематическое возбуждение вибраций. Причем основная роль в возбуждении вибраций и шума принадлежит вынуждающим силам и (или) моментам /2/.

Поэтому авторами подробно рассматриваются виброзащитные системы, которые позволяют разработать меры по снижению вибрации в источниках вынуждающих сил, связанных с рабочим процессом. К конструктивным мерам относятся: скос пазов ротора электродвигателя, уменьшение размеров подшипников качения, замена подшипников качения на подшипники скольжения, снижение отношения масс вращающихся и неподвижных элементов машины, оптимизация профиля лопаток вентилятора, уменьшение частоты вращения ротора.

Особое внимание обращается на совершенствование технологии производства в целях повышения точности изготовления и качества сборки машины. От этого зависят значения вынуждающих сил, которые вызываются дисбалансом, овальностью шеек, двойной жесткостью ротора, расцентровкой валов и другими причинами.

Так как ООО «ПО «ЛЭЗ» бывший филиал ОАО «Силовые машины» -

Электросила» с большой вероятностью можно было предположить, что все вышеперечисленные меры были реализованы при изготовлении АЭ.

Из других мер шумозащиты в электрических машинах рассматриваются возможности применения внутренней виброизоляции и вибропоглощения конструктивных элементов с высокими уровнями вибрации. Когда исчерпаны конструктивные меры защиты от шума внутри машины, предлагается уменьшение внешнего шума способом капотирования.

Вышеизложенное позволило сделать заключение. Достаточно глубоко и системно изложены меры по снижению шума электрических машин от вибрационного шума методом виброизоляции; не рассмотрены меры, а только упомянуты, по снижению шума, излучаемого машинами, методами вибропоглощения, звукоизоляции и звукопоглощения.

По согласованию с заказчиком для получения характеристик шума АЭ близких по конструкции к вышеуказанным, были обследованы АЭ типа АК312-396, АЗМ 4008, «Второй КАМО» и ДАЗО-500-3-600УХЛ. Это

позволило установить: спектры шума широкополосные, постоянные во времени и имеют средневысокочастотный характер.

Неравномерность звукового поля внутри АЭ выше граничной частоты 200 Гц не превышает 3 дБА, то есть это поле имеет «квазидиффузный» характер, и анализ процесса шумообразования АЭ может быть основан на статистической теории акустики, которая была в 80-х годах XX века разработана д.т.н., проф. Ивановым Н.И..

Выше нижней граничной частоты 200 Гц звукоизоляция корпусов АЭ должна подчиняться закону «масс». Относительно верхней граничной частоты заметим, что частота «волнового» совпадения для стального листа

4-5 мм – 2500-3125 Гц, для 10 мм – 1250 Гц, для 20 мм – 625 Гц. То есть, данное явление должно оказать влияние на процесс шумообразования АЭ.

Что касается спектров шума АЭ, то было установлено, что по закону энергетического суммирования в формировании уровня звука в дБА доминирует октавная полоса с частотой 2000 Гц. До 2-3 дБА могут вносить октавные полосы с частотами 250 Гц, 500 Гц и 1000 Гц. Уровень внутренней звуковой нагрузки на эти поверхности достигает 105 дБА. Но это были АЭ не очень большой мощности, а для АЭ типа ДАЗ-560 и АЗМА 6300/6-2УХЛ4 следует ожидать звуковую нагрузку на внутренние поверхности порядка 120 дБА.

Корпуса АЭ – замкнутые оболочки из стальных пластин, в которых возникают бегущие колебательные волны. Скорость изгибных волн – примерно 3000 м/с. Так как длина периметров корпусов 7-8 м первая гармоника таких волн находится в диапазоне 400-500 Гц, а вторая – в диапазоне 800-1000 Гц. Измерения показали наибольшие уровни вибрации ограждающих поверхностей корпусов на частотах 250 – 1000 Гц.

В ожидании изготовления АЭ типа ДАЗ-560 и АЗМА 6300/6-2УХЛ4 представилась возможность реального прогноза их шумовых характеристик. На испытательном стенде завода проходил испытания АЭ типа АЗМ-4000/6-2УХЛ4. Конструктивно АЗМ-4000/6-2УХЛ4 и АЗМА 6300/6-2УХЛ4 устроены одинаково, только АЗМ-4000/6-2УХЛ4 имеет верхний кожух по аналогии с ДАЗ-560.

Шумовые характеристики АЗМ-4000/6-2УХЛ4 показаны на рис.1.

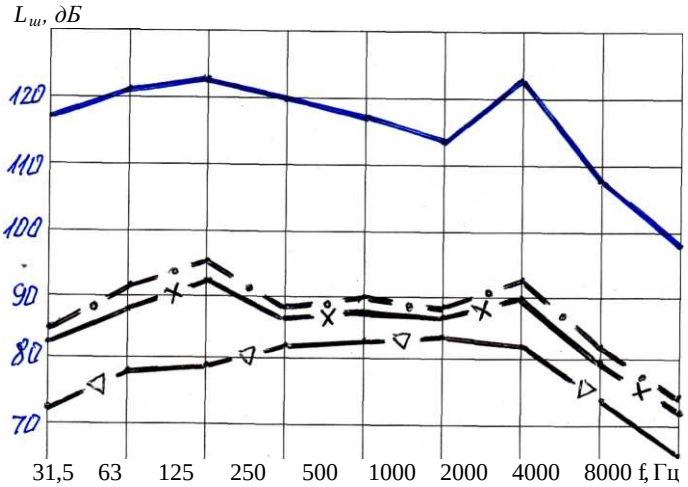


Рис.1. Шумовые характеристики АЗМ-4000/6-2УХЛ4

———— внутри электродвигателя;

—— • —— в 0,5 м сбоку от корпуса на высоте 1 м от пола;

—— x —— то же в 1 м сбоку от корпуса;

—— △—— фоновый шум приводного агрегата стенда.

Уровень звука внутри АЭ - 124 дБА и доминирующее влияние на его величину оказывает октавная полоса с частотой 2000 Гц и, если более точно, – третьоктавная полоса с частотой 1600 Гц. Известно, что на этих частотах шумовые характеристики электродвигателей, в основном, формируются частотами «зубцовых» гармоник и «магнитного» шума /2/. Частоты «зубцовых» гармоник рассчитываются по формуле 1.

Число пазов ротора электродвигателя АЗМ-4000/6-2УХЛ4 равно 34, а число пар полюсов основного поля статора равно 1. Частота сетевого напряжения – 50 Гц. Получается частота первой «зубцовой» гармоники – около 1800 Гц.

$$f_1 = f_0 \cdot \left[2 \pm \frac{Z_2 * k}{p} (1 - s)\right], \qquad (1)$$

где f_1 - частоты «зубцовых» гармоник, Гц;

f_0 - частота сетевого напряжения (первой гармоники возбуждающих сил), Гц;

z_2 - число пазов ротора;

p - число пар полюсов основного поля статора;

s - коэффициент проскальзывания (величина малая);

$k = \pm 1; \pm 2; \pm 3; \ldots$

Частота «магнитного» шума определяется по формуле 2.

$$f = Z \cdot n_i / 60; \qquad (2)$$

где Z - число зубцов якоря;

n_i – частота вращения вала, об/мин; $i = 1; 2; 3; \ldots$

Число зубцов якоря равно 42, а частота вращения вала равна 3000 об/мин. Отсюда частота первой гармоники «магнитного» шума – 2100 Гц. Внутри корпуса уровень звукового давления на 1600 Гц – 123 дБ, а на 2000 Гц ниже на 10 дБ и равен 113 дБ. Но на 2000 Гц уровень звукового давления выше по отношению к соседней третьоктавной полосе с частотой 2500 Гц на 9 дБ. Таким образом, наибольший уровень звукового давления на данном типе АЭ создает первая «зубцовая» гармоника (она доминирует), а первая гармоника «магнитного» шума вносит небольшой вклад порядка 0,5 дБ.

Во внешнем звуковом поле уровень звука в дБА также предопределяется частотой 1600 Гц, то есть частотой первой «зубцовой» гармоники, а первая гармоника «магнитного» шума уже не оказывает влияния. Здесь 1000 Гц увеличивает уровень звука на 2 дБА, а 500 Гц добавляет еще 1 дБА.

Толщина стального листа кожуха – 5 мм. Наблюдается «провал» в звукоизоляции кожуха за счет эффекта «волнового» совпадения, как раз в октавной полосе с частотой 2000 Гц.

Для оценки экранирующего эффекта корпуса АЭ был снят верхний кожух. При этом уровень звука сбоку от корпуса увеличился только на 4 дБА. Уровни звукового давления на частотах 125-250 Гц увеличились на 8-10 дБ. На остальных частотах эффект не превысил 2-4 дБ.

Это позволило сделать важные выводы. В средневысокочастотном диапазоне излучение боковых поверхностей корпуса АЭ носит характер «квазиплоской» волны. Необходимо вибродемпфирование верхнего кожуха для устранения провала в звукоизоляции обусловленного эффектом «волнового» совпадения.

Что касается вибрационных полей боковых ограждающих поверхностей корпуса АЭ, то наибольшие уровни вибрации приходятся на низкие частоты 125-250 Гц.

Разность в уровнях звукового давления внутри АЭ и снаружи, как видно из рис.1, составляет на низких частотах 31-33 дБ, на частотах 500-1000 Гц – 27-29 дБ, на 2000 Гц – 33 дБ, на более высоких частотах – 26-28 дБ.

Около 70% площади боковых ограждающих поверхностей сделаны из стальных листов толщиной 5-8 мм, звукоизоляция которых от воздушного шума имеет на низких частотах величину 25-33 дБ, в диапазоне частот 500-2000 Гц - 33-37 дБ, а на более высоких частотах звукоизоляция снижается на 7 дБ за счет эффекта волнового совпадения /3/.

Отсюда следует, что в спектре шума АЗМ-4000/6-2УХЛ4 в диапазоне 500-1000 Гц основную роль играет звукоизлучение корпуса.

Таким образом, непосредственно в условиях производства, благодаря помощи со стороны конструкторского бюро завода, были исследованы основные физические процессы шумообразования АЭ, которые позволили придти к следующему выводу.

По мере изготовления конструкций ДАЗ-560 и АЗМА 6300/6-2УХЛ4, необходимо вибродемпфировать их кожухи вибропоглощающим полимерным материалом ВПМ-1 (производитель ООО «ЭРГОС») толщиной, равной удвоенной толщине стального листа. С одной стороны это позволит увеличить звукоизоляцию кожухов на 4-6 дБ, а с другой – уменьшить звукоизлучение кожухов на 6-8 дБ.

Правильность такого решения подтвердили измерения уровней шума первого изготовленного ДАЗ-560. Их величина составила 86-87 дБА.

В поисках небольшого превышения уровней шума на 1-2 дБА были выявлены места с пониженной звукоизоляцией. Ими оказались: технологические люки, которые закрывались стальными листами толщиной 4 мм (нанесли ВПМ-1), корпус ввода электрических кабелей, где имелись кольцевые зазоры 10-15 мм (поставили манжеты из резины).

С АЗМА 6300/6-2УХЛ4 все оказалось сложнее. При испытаниях первого АЭ с кожухами покрытыми ВПМ-1уровень шума имел величину 93,5 дБА. Как и на ДАЗ-560, меры по герметизации ввода электрокабелей и увеличение звукоизоляции люков уменьшили уровень шума на 4 дБА.

Конструкторами была выдвинута версия, что следует проверить влияние на уровень шума излучение диффузора внутренней системы вентиляции АЭ. Исследования показали его высокую вибрацию на средних
и высоких частотах. Однако это излучение будет сказываться при задаче снижения шума до уровня требований ПС-75.

Следующим шагом стало получение общей картины формирования внешнего звукового поля АЭ воздушной составляющей спектра шума.
Это позволило бы оценить фактическую звукоизоляцию различных участков корпуса АЭ. Результаты исследования показаны на рис.2.

На фоне невысокого потока звуковой энергии через боковую поверхность среднего кожуха АЭ стал отчетливо виден поток энергии из поперечных полостей, которые были образованы стояками и поверхностями верхнего, среднего и нижнего кожухами. Полостей было две: слева и справа от статорной части. В диапазоне 125-500 Гц интенсивность этого потока была выше на 12-19 дБ, а на средних и высоких частотах – на 4-5 дБ.

Последующими исследованиями методом локального объемного экранирования удалось определить, что устранение излучения звука из полостей, являющихся фактически волноводами, позволяет уменьшить уровни шума в диапазоне 125-250 Гц на 8-13 дБ. Дополнительное экранирование статорной части АЭ листовой резиной (4 мм) с зазором 50 мм в комплексе с кожухами (4-5 мм), покрытых ВПМ-1 (8-10 мм), позволило в такой конструкции получить величину звукоизоляции

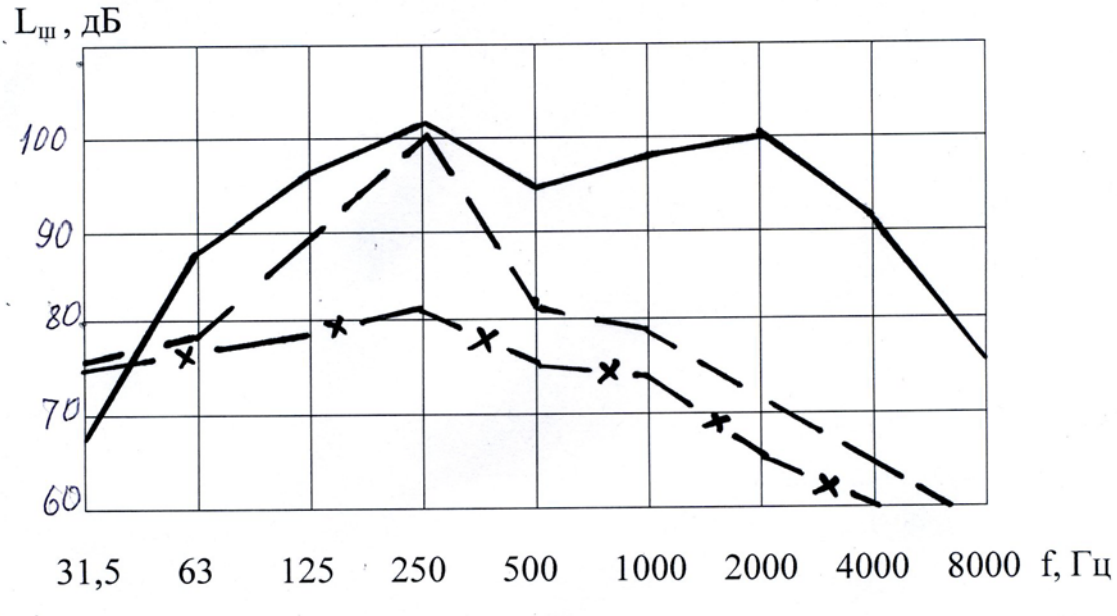


Рис.2. Шумовые характеристики, полученные при измерениях фактической звукоизоляции от воздушного шума корпуса АЗМА 6300

——— внутри корпуса;

– – – вблизи полости;

—×— эпицентра боковой поверхности среднего кожуха.

сопоставимую со звукоизоляцией стального листа толщиной 20 мм, из которого сделаны торцевые несущие щиты.

В итоге, проведенной поэтапной акустической доводки АЭ подробно описанной в работе /4/, были достигнуты уровни шума со стороны боковых поверхностей корпуса 84 дБА, а со стороны торцевых поверхностей – 80,5 дБА. Приемочные измерения шумовых характеристик были сделаны под контролем представителя заказчика немецкой фирмы «Сименс».

Таким образом было доказано, что вибропоглощение является первоочередным средством снижения шума в источниках шума типа АЭ до уровня требований ПС-80. При этом решаются сразу две важные задачи. Первая - все ограждающие поверхности корпуса имеют одинаковую величину звукоизоляции без изменения конструктивного исполнения. Вторая - уменьшается излучение корпуса АЭ под действием возбуждающих сил.

Достигнутые результаты позволили сделать следующий прогноз. Имеются реальные предпосылки путем дальнейшего повышения эффективности применения метода вибропоглощения получить шумовые характеристики АЭ на уровне ПС-75 (80 дБА).

Последний АЭ из серии АЗМА 6300/6-2УХЛ4 был передан заказчику только в январе 2012 года. К этому времени выяснилось, что в середине года будет изготавливаться серия из четырех АЭ типа АДЧР 1250-6-8У1, где

одним из условий заказчика было требование – уровни шума не должны превышать 80 дБА (Рис.3).

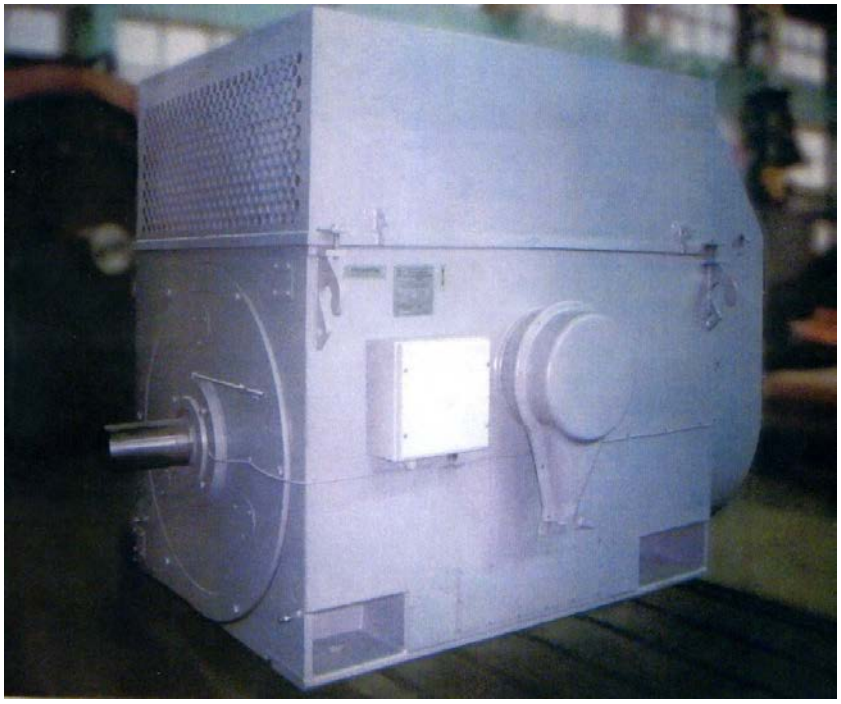


Рис. 3. Асинхронный электродвигатель АДЧР 1250-6-8У1

В конструкторскую документацию на эти АЭ было внесено нанесение вибропоглощающего материала ВПМ-1на весь корпус, кроме торцевых щитов, имеющих толщину стального листа 20мм, и дополнительно на диффузор и опорное кольцо внутренней вентиляционной системы.

В ноябре 2012 года на приемочных испытаниях АЭ были получены шумовые характеристики со стороны боковых поверхностей 79 дБА, со стороны торцевых поверхностей – 82-83 дБА. Данный тип АЭ имеет по сравнению с предыдущими АЭ в верхнем кожухе дополнительный внешний теплообменник, в который нагнетается воздух вентилятором, закрепленным на задней торцевой поверхности.

Методом «прозвучивания» экспериментально было показано, что отведение забора и выхода воздуха из теплообменника вверх позволяет получить экранирующий эффект 7 дБА со стороны торцевых поверхностей.

Результаты работы с ООО «ПО «ЛЭЗ» по созданию менее шумных АЭ моделей серий ДАЗ, АДЧР и АЗМА были опубликованы в бюллетене Российского электротехнического концерна «РУСЭЛПРОМ» /5/.

В феврале 2013 года стало известно, что в середине года будет заказ на серию АЭ, где требования заказчика по уровню шума 77 дБА плюс 3 дБА.

1. Кришневский Б.А., Федорович М.А., Драганчев Х., Ягнятинскис А.Л. Практика решения ряда текущих задач в прикладной акустике в XXI веке. Научно-технический конгресс «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT-2011

2.Исаков В.М., Федорович М.А. Виброшумозащита в энергомашиностроении. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986, 208 с.: ил.

3.РТМ 212.0060-76 «Комплекс противошумовых мероприятий на судах речного флота», Транспорт, ЛО, 1978.

4.Кришневский Б.А. Практика решения насущных задач в технической акустике. III Всероссийская НПК «Защита населения от повышенного шумового воздействия», Санкт-Петербург, 2011.

5.«Энергоэффект», №4 (2012), ООО « РУСЭЛПРОМ», www.ruselprom.ru

Мероприятия по снижению шума в аэропортах. Международный опыт

Крюкова Ю.В.
Федеральное государственное унитарное предприятие Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации
gosniiga-ecology@yandex.ru

С момента появления реактивной авиации шум считается одной из самых серьезных экологической проблемой. Уровни шума в окрестностях аэропортов зависят от двух тенденций: замены шумных воздушных судов на менее шумные типы и нарастания интенсивности воздушного движения. В этой связи проблема шума может остро стоять в одних аэропортах и быть менее актуальной в других. В некоторых случаях, проблема шума препятствует расширению пропускной способности в аэропортах, что в свою очередь значительно повышает нагрузку на этот аэропорт.

Наиболее существенными факторами шума при эксплуатации авиационной техники являются взлет и посадка ВС, в том числе с использованием реверса тяги авиадвигателей. При наборе высоты и выходе воздушного судна из района аэродрома после взлета возникают значимые сверхнормативные уровни звука вдоль маршрутов полета на удалении до 20-30 км от ВПП по глиссадной трассе. При заходе и снижении на посадку, а также при прилете ВС в аэропорт сверхнормативные уровни звука вдоль маршрутов полета возникают на удалении до 10-15 км от ВПП. К дополнительным источникам шума в аэропортах относятся операции по опробованию двигателей и работа вспомогательных силовых установок, применяемых в ходе наземной эксплуатации.

В связи с появлением спроса на менее шумные авиационные двигатели изготовители провели комплекс исследовательских измерений, благодаря которым удалось значительно снизить шум авиационных двигателей. ВС нового поколения, такие как B-707, B-727, B-737/200, DC-8 и DC-9, гораздо менее шумны, чем самолеты предыдущего поколения.

Аэропортовые власти также стремятся снизить уровень шума. В частности повсеместно вводятся эксплуатационные приемы пилотирования, позволяющие снижать уровень шума в близлежащих к аэропорту районах. К наиболее широко применяемым приемам снижения шума воздушных судов относится выбор определенных траекторий захода на посадку и изменение режимов работы двигателей на определенных этапах полета.

Помимо мер, направленных на снижение шума путем сертификации двигателей и изменения их режима работы на различных участках полета, уровень звукового давления можно уменьшить с помощью правильного планирования землепользования и возведения акустических преград.

Планирование землепользования в районе аэропортов

Характер землепользования вокруг аэропорта будет влиять на безопасность эксплуатации аэропорта, а также на безопасность близлежащих населенных пунктов. В этой связи необходимо учитывать хозяйственную деятельность вокруг аэропорта, которая может влиять на безопасность и эффективность эксплуатации ВС.

Иностранные специалисты при использовании земельных участков вокруг аэропортов указывают на совместимость или несовместимость того или иного вида деятельности с целью обеспечения безопасности полетов. Выделяют следующие виды деятельности:

1. Использование земель в сельскохозяйственных целях. Такое использование имеет важное значение для программы развития аэропорта. Во-первых, земля будет приносить доход, а во-вторых, выращиваемые на такой земле культуры предотвращают эрозию почвы.
2. Вместо проектов жилищного строительства, для которых авиационный шум неприемлем, можно строить автомобильные или железнодорожные дороги, а близлежащие территории можно будет использовать под коммерческие, промышленные и лесопарковые зоны. Районы жилой застройки можно не только отнести подальше, но и фактически не создавать в критических по шуму зонах.
3. Использование земель для муниципальных нужд: водопроводы, канализационные сооружения, объекты энергоснабжения. Однако стоит обращать особое внимание на такой немаловажный факт, водные объекты, такие как водохранилища, могут служить местом скопления птиц, что негативно влияет на безопасность полетов.
4. Коммерческое и промышленное использование земель. Учитывая, что коммерческая активность, в основном, протекает в дневное время суток, и ей не мешает проблема шума в ночное время или во время сна, строительство офисных зданий и торговых площадей также будет приносить доход аэропорту.

В качестве примера эффективного управления землепользованием вокруг аэропорта стоит привести ситуацию вокруг амстердамского аэродрома Схипхол, который был построен в 1916 году и использовался как военный аэродром. После Второй мировой войны вокруг аэропорта было построено большое количество жилых домов, жители которых столкнулись с серьезными проблемами шума в конце 1960-х с появлением первых ком-

мерческих реактивных ВС. В 1967 году специальный комитет подготовил рекомендацию правительству о введении методологии оценки авиационного шума (показатель Костена, назван в честь профессора, под председательством которого работал комитет). В 1978 году с учетом положений рекомендаций в закон об авиации Нидерландов были внесены изменения и поправки с целью создать правовую основу для шумового зонирования. В 1988 году правительство разработало структурный документ, который впоследствии был утвержден парламентом, где говорилось о необходимости обозначения шумовых зон для всех аэропортов Нидерландов. В 1991 году были выработаны около 100 мероприятий, направленных на борьбу с шумом и загрязнением в районе аэропорта.

В настоящее время власти аэропорта Схипхол осуществляют контроль за шумовой ситуацией с помощью 30 измерительных пунктов, находящихся в пределах границ или вблизи жилых районов, а также с помощью соблюдения коэффициента общего объема шума (шумовой бюджет), основанного на прогнозе объемов перевозок. Примечательно, что будущий рост воздушного движения возможен только в том случае, когда средние уровни шума ВС будут сокращены или введены усовершенствованные приемы снижения шума.

К другим мерам относятся дальнейшее повышение сборов за посадку шумных судов и ограничения на эксплуатацию определенных типов ВС в вечерние и ночные часы, с тем, чтобы не допускать нарушения установленных законом уровней шумовых зон.

Акустические преграды

Наиболее эффективной и мало затратной защитой некоторых районов от определенных типов аэропортового шума являются лесопосадки. Японские ученые установили, что звукоизоляционные характеристики лесных массивов свидетельствуют о том, что правильно выполненные лесопосадки могут обеспечить хорошую защиту от распространяющегося по земной поверхности шума. На рисунке приведен пример эффективной лесопосадки. На приведенном графике показан уровень шумопоглощения некоторых пород деревьев.

На рисунке показан насыпной уклон, который не только облегчает посадку деревьев, но и обеспечивает значительный шумозащитный эффект даже на самом раннем этапе, когда деревья еще не выросли, так как насыпь сама по себе является хорошей акустической преградой. Как показали опыты, при прохождении через 100 метров посадок вечнозеленых деревьев звук ослабевает на 25-30 децибел.

Иностранные ученые и специалисты, работающие в аэропортах, уделяют внимание и породам деревьев. Прежде всего, подбираются такие породы, которые не будут создавать опасность столкновения с птицами. Кро-

ме того, предпочтение отдается породам, которые подходят по климатическим условиям района расположения аэропорта, обладают эффективным звукоизолирующими свойствами, не требуют особого ухода и могут расти при орошении их обработанной сточной водой из аэропорта.

Что касается звукоизоляции зданий в самом аэропорту, то при их строительстве за рубежом используют специальные звукоизоляционные материалы.

Проектирование различных видов индивидуальных защитных конструкций человека с высоким порогом шумозащиты в условиях техногенной и природной среды

Куренова С.В.
ФГБОУ ВПО "Южно-Российский университет экономики и сервиса"
kurenova@list.ru

Задаваясь вопросом, какова основная цель современной цивилизации, можно утверждать, что эта цель - улучшать качество человеческой жизни, делать жизнь более комфортабельной. Вопросы экологической безопасности, сохранения окружающей среды становятся едва ли не основными для решения этой цели. Приоритеты для современного этапа развития цивилизации за последние десятилетия существенно изменились. Известный германский акустик профессор М.Хекль заметил, что технологии, основой которых было «больше, быстрее, выше», сегодня сменились новой целью - «лучше, безопаснее, тише» /1/.

Среди глобальных проблем современной экологии проблеме акустического загрязнения не всегда уделялось должное внимание. Широкое внедрение в промышленность новых интенсивных технологий, рост мощности и быстроходности оборудования, широкое использование многочисленных и быстроходных средств наземного, воздушного и водного транспорта, применение разнообразного бытового оборудования - все это привело к тому, что человек на работе, в быту, на отдыхе, при передвижении подвергается многократному воздействию вредного шума.

Поэтому к числу основных задач, направленных на повышение комфортного состояния человека в условиях пребывания в природной и техногенной средах, относятся:

- совершенствование оборудования и создание техники, работающей с меньшим шумом;
- изоляция оборудования, создающего повышенный шум;
- разработка средств индивидуальной защиты человека.

Наше исследование сосредоточено на третьем направлении, как изученном менее всего /7/.

Анализируя условия труда на предприятиях с повышенным уровнем шума (нефтегазовая, авиакосмическая отрасли и др.) и современные нормы обеспечения работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ), мож-

но отметить, что в настоящее специальная одежда отечественного производства, защищающая от воздействия шума, отсутствует.

Между тем, проектирование СИЗ обусловлено в первую очередь медицинскими показаниями. Анализ медицинских экспериментальных исследований влияния акустических колебательных явлений на тело и организм человека показал, пребывание длительное время в условиях с уровнем шума выше 110 дБ приводит к ухудшению слуха. Потеря слуха происходит, когда уровень шума достигает 115 дБ. Звуковые колебания могут восприниматься не только непосредственно ухом, но и через костную систему. Кроме того, тело человека способно воспринимать звуки, выступая, как система звукопоглощения. Установлено, что ткани тела гасят колебания только высоких частот, а колебания низких частот распространяется по тканям и внутренним органам, вызывая с их стороны ответные реакции на поступившее раздражение. Любые колебания оказывают не только локальное, но и общее влияние на организм. Известно /2/, что внутренние органы человека обладают собственными частотами. При совпадении частоты звука и частоты колебаний внутренних органов возникают резонансные явления, появляются болевые ощущения, а при повышенных значениях частоты и мощности звука, может наступить разрыв внутренних органов. К профессиональным заболеваниям, вызываемым воздействием физических факторов, относятся: вегетативно-сосудистая дистония, астенический и гипоталамический синдром, шумовая болезнь, кохлеарный неврит (при систематическом воздействии производственного шума), электроофтальмия, катаракта /3/.

Проведенный анализ литературных источников и реальных производственных условий доказывает, что для исключения или уменьшения воздействия шума на организм необходимо вести работы по созданию средств индивидуальной защиты.

В настоящее время на предприятиях в качестве СИЗ от шума, традиционно используются только два основных типа противошумов: внутренние – беруши и наружные, наушники и противошумы, закрывающие всю ушную раковину снаружи. При воздействии шумов с уровнями свыше 120 дБ рекомендуется применять шлемы. Анализ зарубежных литературных источников показал, что есть упоминание о шумозащитной одежде, прикрывающей весь корпус человека и защитных фартуках. Наружная часть такой одежды выполнена из искусственного материала (пластмассы), усиленного тканью и содержащего включения свинцового порошка. Затем следует слой пористой резины, который покрыт со стороны, обращенной к телу, материалом типа перилен. Также зарубежными производителями предлагаются звукозащитные костюмы (комбинезоны), которые состоят из утолщенных материалов, таких как кожа; звукоизоляционные куртки, охватывающие только туловище или пояса, которые предлагают защиту почек;

куртки и комбинезоны внутренний, звукоизолирующий слой которых, представляет собой вспененные синтетические материалы, фольгу или тонкие листы паралона, поделенного на отсеки. Проведенный анализ моделей-аналогов показал, что такая одежда довольно громоздка, отличается неоправданной в условиях эксплуатации жесткостью. Наличие в составе ткани свинца и других вредных химических элементов наводит на мысль о низких гигиенических показателях используемых материалов. Таким образом, создание новой категории отечественных средств индивидуальной защиты человека от шума с использованием новых технологий вызывает необходимость ряда исследований по определению эксплуатационных характеристик, критериев и требований качества к такому виду СИЗ /4/.

Одной из главных составляющих на этапе проектировании любого вида одежды являются материалы и их свойства. Нами проведен комплекс теоретических и экспериментальных изысканий, направленный на поиск оптимального набора материалов и их дальнейшего использования в целях проектирования индивидуальных защитных конструкций для работников нефтегазового комплекса. При проектировании специальной одежды для нефтегазовой отрасли обычно принимаются во внимание такие показатели материалов, как толщина, поверхностная плотность, плотность, стойкость к истиранию, прочность на разрыв и раздирание, жесткость, усадка, воздухонепроницаемость, различные виды отделок: водо- , масловодо- , нефтемасловодостойкую, огнезащитную и другие типы. Показатель звукопоглощения сертифицированными материалами ранее не исследовался и во внимание не принимался.

Наиболее перспективным направлением исследований, с точки зрения разработки эффективного шумозащитного костюма, является изучение пакетов материалов, представляющих собой многослойные наборы плотно уложенные (по принципу «сэндвича»). В этом случае пакет, компонуемый материалами, обладающими необходимыми, зачастую абсолютно разными характеристиками, сочетает в себе свойства, которых нет ни у одного материала по отдельности. Таким образом, набирая определенный пакет материалов, необходимые эксплуатационные, физические и другие свойства можно «собрать» по принципу конструктора /5/.

При проведении оценочного эксперимента по определению шумозащитных свойств образцов материалов была выявлена зависимость величины снижения шума (ВСШ) от поверхностной плотности материалов, его ориентации по отношению к источнику звука. На основе полученных результатов и математической модели прохождения звука через устройство конечной толщины (пакет материалов) разработана расчетная программа в Microsoft Office Excel, позволяющая определять шумопонижающий эффект от использования пакета материалов, состоящего из 3-х слоев с известными коэффициентами звукопрохождения, звукоотражения и звукопоглоще-

ния для лицевого и изнаночного слоев каждого материала. Анализ результатов показывает, что порядок компоновки пакета материалов оказывает влияние на ВСШ, лишь в том случае, если в пакете присутствуют материалы с различными коэффициентами отражения звука лицевой и изнаночной сторонами. Очевидно, это связано с тем, что каждый слой находится в «акустических условиях», различных по обе стороны материала, т.е. с разных сторон отражаются волны с различной звуковой энергией (и соответственно сквозь разные стороны проходят волны также, с различной звуковой энергией).

В процессе эксплуатации проектируемые защитные конструкции неизбежно подвергаются воздействию климатических факторов, в число которых входят осадки, влажность, наличие воздушных потоков, температура воздуха.

Нами установлено и экспериментально подтверждено, что материал при предельных содержаниях влаги обладает наибольшей ВСШ, в то время как при промежуточном содержании влаги шумозащитные свойства снижаются. Влияние содержания влаги в материале на звукопоглощающие свойства материала имеет следующие особенности. Для эффективного преобразования энергии звуковых волн в тепловую энергию (звукопоглощения) образец должен обладать волокнистой структурой. При намокании тканевых материалов нити, под воздействием воды, слипаются, в результате чего пропадает указанное необходимое условие процесса звукопоглощения. По мере высыхания материала нити вновь приобретают первоначальную волокнистую структуру, вследствие чего интенсивность процесса звукопоглощения восстанавливается. Аналитический график изменения звукоотражения при снижении содержания влаги в материале представлен на рисунке 1.

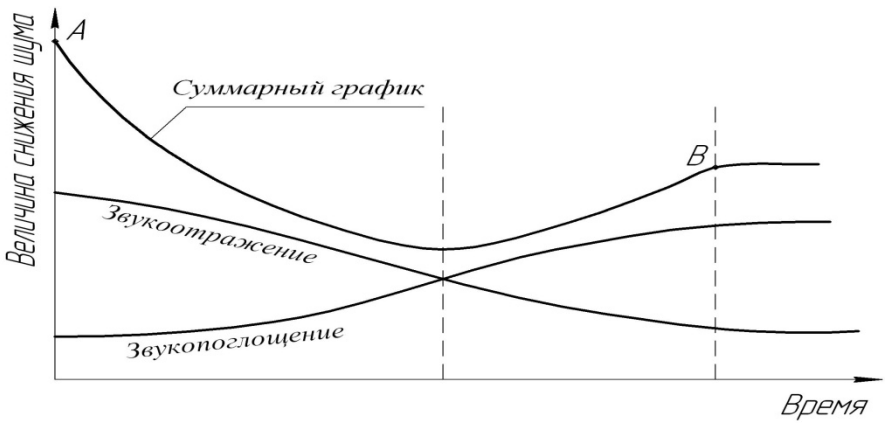


Рисунок 1– Аналитический график изменения шумозащитных свойств материала по мере его высыхания

Поскольку процессы звукопоглощения и звукоотражения, происходят одновременно, то реальная зависимость изменения шумозащитных свойств

материала по мере его высыхания будет представлять собой суммарный график описанных выше закономерностей. График представляет собой V-образную кривую, направленную выпуклостью вниз, причем если точка А расположена выше точки В, то доминирующим является процесс звукоотражения, а если выше точка В – процесс звукопоглощения. Таким образом, при выборе основного материала необходимо учитывать у него наличие водоотталкивающих свойств.

Исследование влияния наличия и направления воздушного потока на создаваемый уровень шума показало, что дополнительным источником шума являются воздушные завихрения, возникающие у поверхности одежды. Поскольку данный вид шума приобретает существенную роль только при высоких скоростях ветра, то его учет при проектировании специальной одежды нецелесообразен.

Поскольку, целевые рабочие места, для которых характерны опасные уровни шума, располагаются и в регионах с низкой температурой воздуха, то представляет интерес исследование влияния отрицательной температуры материала на его шумозащитные свойства. Фрагмент соответствующих испытаний представлен на рисунке 2.

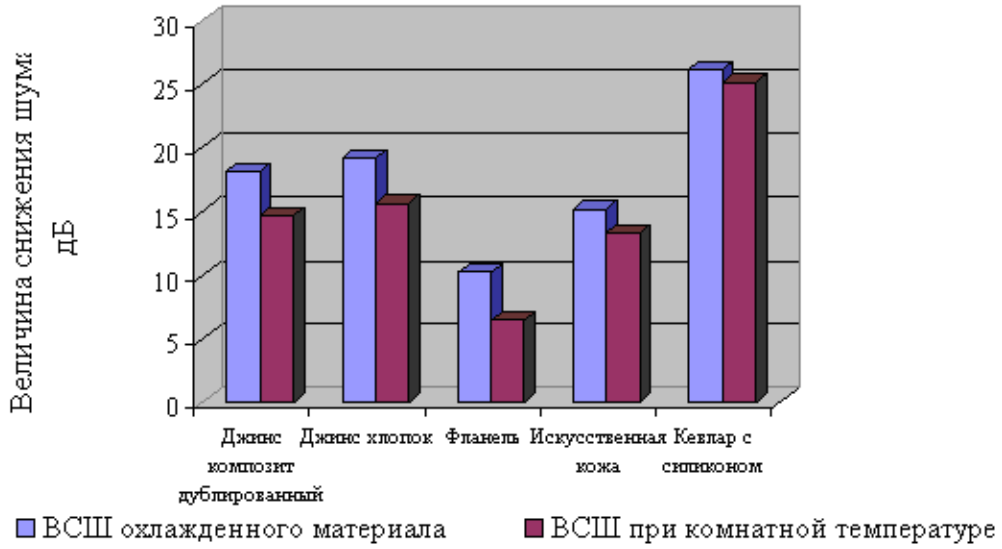


Рисунок 2 – Гистограмма влияния температуры на ВСШ для различных материалов

Известно, что с понижением температуры у текстильных материалов меняется ряд физических свойств (разрывная нагрузка, разрывное удлинение, истирание, воздухопроницаемость и т.д.). Указанное влияние связано с изменением структуры материала, что, безусловно влияет и на его шумозащитные свойства.

На основе проведенных исследований подобран пакет материалов с высокими акустическими параметрами. Рекомендуемый пакет материалов способен к шумопоглощению равному 3,7 дБ на частоте 500 Гц, 9,8 дБ на

частоте 1000Гц, 38,2 дБ на частоте 3000 Гц. Это весомый результат, к тому же, выбранный пакет материалов отвечает всем требованиям (защитные и гигиенические), предъявляемым к пакету материалов для специальной одежды данного ассортимента и назначения.

Усилить шумозащиту индивидуальных конструкций возможно также проектированием дополнительным накладок, месторасположение которых на поверхности костюма соответствует зонам так называемого медицинского риска (суставы верхних и нижних конечностей, позвоночный столб, брюшная полость, сердце). При выборе материалов, необходимо уделить особое внимание таким свойствам, как жесткость и толщина. При проектировании размеров дополнительной накладки было учтено следующее:

- распространение волны не является строго прямолинейным, а при наличии неоднородностей на поверхности, возникает явление дифракции волн, поэтому обогнувшая дополнительное защитное устройство волна, будет образовывать зону «теневой области»;

- необходимо увеличивать размеры накладки по сравнению с размерами защищаемой области тела человека.

На рисунке 3 представлена графическая постановка задачи прохождения звуковой волны через защитное устройство с дополнительной шумопоглощающей накладкой к защищаемому органу.

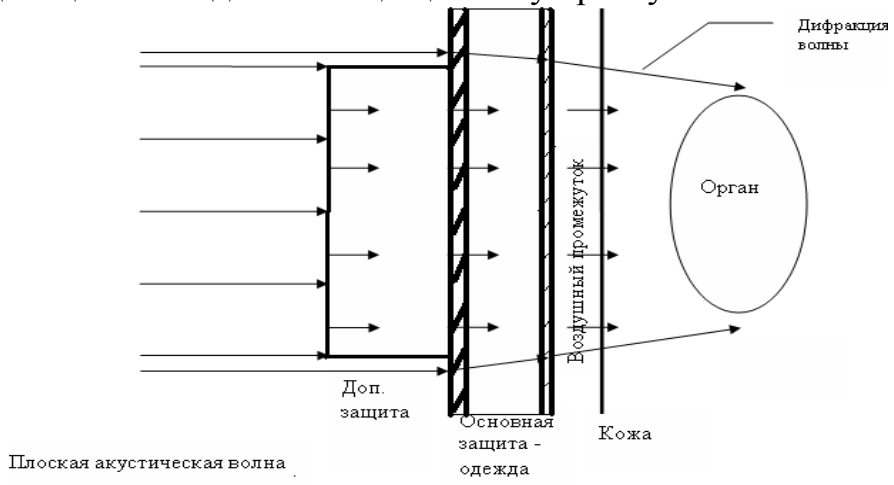


Рисунок 3 - Схема прохождение звуковой акустической волны через защитное устройство с дополнительной накладкой

Размеры проектируемой шумоопоглощающей накладки находятся в зависимости от частоты звуковых колебаний f и длины волны λ. На рисунке 4 представлена схема образования зоны тени, в которую попадает защищаемый орган.

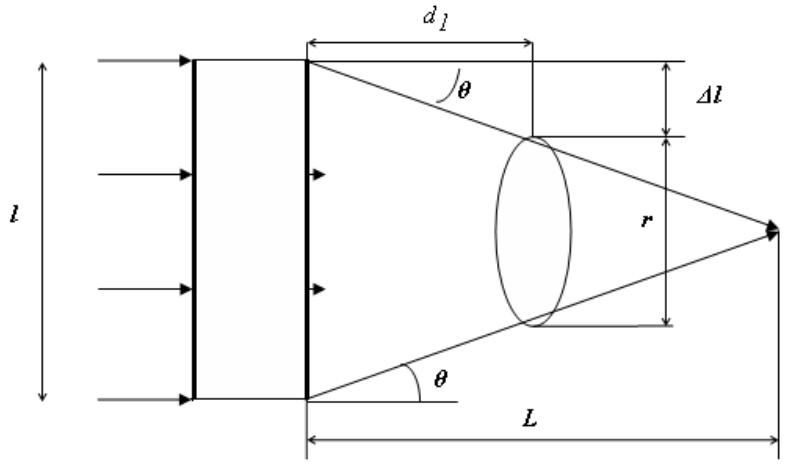


Рисунок 4 - Схема образования зоны тени при прохождении звуковой волны

Явления дифракции акустических волн при использовании накладок будет оказывать влияние только в верхнем спектре шумовых колебаний. Для создания зоны тени на высоких частотах необходимо увеличить размер накладки на величину Δl. Для поглощения низкочастотных составляющих звуковых колебаний достаточно закрыть защищаемый орган тела накладкой, площадь, которой соразмерна проекционной площади защищаемого участка /7/.

Исходя из требований, предъявляемых к проектируемому изделию, условий труда, результатов научных исследований действия шума на организм человека, необходимости защиты основных участков тела работающего от комплекса факторов климатической и производственной среды, было разработано несколько вариантов специальной одежды различной комплектации и конструктивным устройством. Защиту тела работающего от негативных последствий воздействия шума осуществили путем использования рекомендуемого пакета материалов, материалов с измененной геометрией поверхности и применением дополнительных накладок на участках, наиболее подверженных шумовым воздействиям. Определение массы проектируемых комплектов, которая составила в среднем 3,68 кг (для базового размера), даёт нам возможность утверждать, что изделие является комфортным при сохранении своей основной целевой шумозашитной функции.

Таким образом, нами разработаны и предложены механизмы и методы создания одежды с дополнительной функцией шумозащиты для различных видов производств, а именно:

- разработан механизм моделирования системы для обеспечения комфортных условий пребывания человека в производственной среде с учетом воздействия шумовой нагрузки с обоснованием перспективных направлений и инновационных технологических решений.

- разработана методика исследования новых средств индивидуальной защиты человека (в том числе из новых материалов с уникальными свойствами) в условиях агрессивной звуковой среды.

- разработаны рекомендации и методики инженерных расчетов конструкций и технологических режимов производства звукопоглощающей одежды нового поколения;

- разработанные модули автоматизированного расчета позволяют оценивать и учитывать регулярное изменение внешней среды и, соответственно, состояние организма человека.

Разработанные нами защитные комплекты имеют широкую область применения при использовании их на предприятиях и объектах с повышенным уровнем техногенного шума – предприятия нефтегазовой, авиакосмичесой отраслях, что подтверждено актами внедрения научно-технических и инженерно-конструкторских работ, а также обеспечивают возможность комфортного пребывания человека в течение рабочего дня.

Дальнейшей областью исследований является разработка методики формирования модифицированной структуры новых материалов с целью усиления шумозащитных и других уникальных свойств, что позволит создавать новые средства индивидуальной защиты с учетом поставленной задачи.

Библиографический список

1. Интернет – ресурс http://yea.ru/text_noise_problem.html
2. Влияние шума на человека [Электронный ресурс]. - информационный портал легкой и текстильной промышленности 2004. http://www.webapteka.ru/phdocs/doc4313.html
3. Шум и шумовая болезнь [Текст] / Е.Ц. Андреева- Галанина, С.В. Алексеев, А.В. Кадыскин, Г.А. Суворов.- М.: 1972.- 253с.
4. С.В. Куренова Новые подходы в проектировании специальной защитной одежды с высоким уровнем шумозащиты.//Швейная промышленность, 2012. – №5, с.34-36.
5. Скребцова ЮВ.,С.В. Куренова, Е.Козлов Нестандартные методы оценки акустических свойств текстильных материалов, используемых при проектировании специальной одежды.//Швейная промышленность, 2012. – №1, с.27-29.
6. С.В. Куренова, Е.А.Дрофа, Н.Н.Прокопенко О выборе материалов для шумозащитной одежды//Швейная промышленность, 2007. – №6, с.49-50.
7. Проектирование специальной одежды с повышенными шумозащитными свойствами Монография/ Е.А.Дрофа, С.В.Куренова. - Ставрополь: ГОУ ВПО, СТИС «ЮРГУЭС». 2011.-211 с.

Об учете воздействия автотранспортных потоков при планировании размещения жилых зданий и территорий жилой застройки

Лёвкин А.В., Волкодаева М.В., Демина К.В.
ООО «Институт Прикладной Экологии и Гигиены»
(ООО «ИПЭиГ»)
levkin@atr-sz.ru

В статье приводятся данные об интенсивности автотранспортных потоков, уровнях загрязнения атмосферного воздуха вредными (загрязняющими) веществами и уровнях шумового загрязнения создаваемого автотранспортом как в вблизи отдельных автомагистралей, так и по всему городу в целом. Делается вывод, что использование результатов оценки воздействия автотранспортных потоков (шумовая карта, поля максимальных приземных концентраций вредных (загрязняющих) веществ) будет способствовать принятию корректных управленческих решений при территориальном планировании, развития города, размещения жилых зданий и территорий жилой застройки.

Структура планировки современных городов сложна и многообразна. Для территории каждого города разрабатывается градостроительное зонирование - деление всей территории города на территориальные зоны - и установление для них градостроительных регламентов. При определении назначения той или иной территориальной зоны должно учитываться санитарно-эпидемиологическое благополучие населения и качество окружающей среды. Границы территориальных зон в большинстве случаев установлены по линиям магистралей, улиц и проездов [1]. Соответственно установление территориальных зон с учетом функциональных зон и параметров их планируемого развития невозможно без учета существующего и планируемого транспортного потока, а так же его нагрузки на прилегающую территорию.

На сегодняшний момент в градостроительном плане тенденция развития города – это переход от «точечного» строительства жилых домов к комплексному развитию территорий (в первую очередь неосвоенных). Комплексное развитие территории возможно как на окраинах города, так и на территориях бывших крупных производственных предприятий, расположенных в центре города. Вывод крупных производственных объектов из центра города позволяет сократить поток грузового автотранспорта, но ос-

ваивание данных территорий под деловую или жилую застройку приводить к увеличению интенсивности транспортного потока и, как следствие, превышениям уровня шума и концентраций вредных (загрязняющих) веществ на придомовых территориях. При освоении территорий на окраинах города - новые территории застройки, как правило, отдалены от сложившихся центров города и от мест приложения труда, их освоение связано с наличием сформированной дорожной сетью. Перепланировка сложившихся или освоение новых территорий невозможна без развитой транспортной инфраструктуры. Соответственно при планировании территорий необходимо найти оптимальные условия между прохождением транспортной сети дорог и санитарно-эпидемиологическим благополучием населения и качеством окружающей среды на прилегающих к дорогам территориях. Поэтому при планировании новых территорий, а так же при перепланировке сложившихся кварталов, необходимо понимать на каком расстоянии от дорожной сети можно расположить линию застройки.

В данной статье предлагается рассмотреть влияние автотранспортных потоков различной интенсивности и состава на уровни шума и качество загрязнения атмосферного воздуха на территории жилой застройки, прилагающей к автомагистралям. Приводится информация о наиболее благоприятном расположении жилой застройки от автомагистралей с точки зрения соблюдения санитарных норм по допустимым уровням шума [4] и нормативам качества атмосферного воздуха [5]. Исходными данными для данной статьи послужили результаты:

- натурных наблюдений, проведенных авторами в 2012 г., интенсивности и состава автотранспортных потоков г.Архангельска;
- и расчетов, полученных с использованием специализированных программных продуктов «Эколог-Город» и «Эколог-Шум», разработанных фирмой «Интеграл».

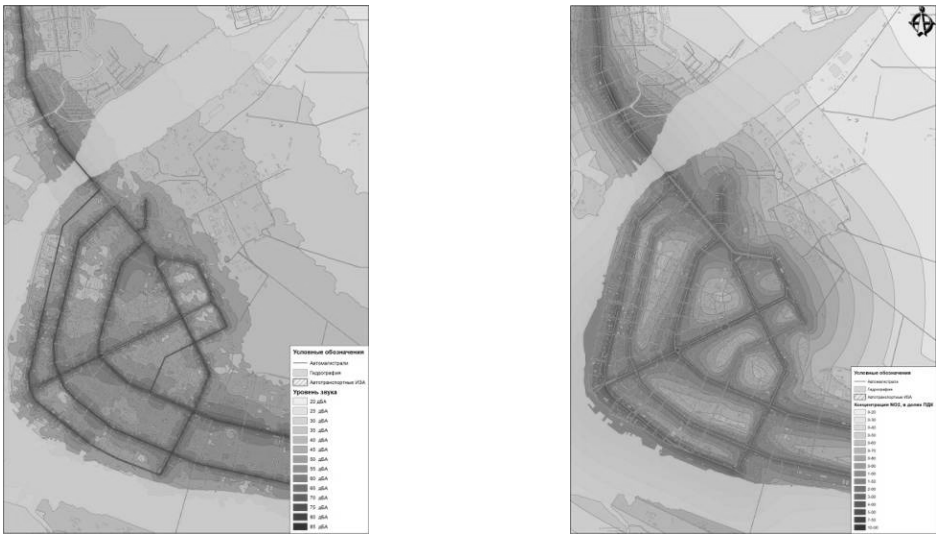
Транспортный шум, возникающий за счет движения автотранспорта, составляет до 75% всего городского шума [7]. В последние десятилетия уровень шума в крупных городах увеличился на 10-15 дБ. Возрастание шума в больших городах связано с увеличением интенсивности транспортного потока (до 8000 авт/час), мощности и грузоподъемности транспорта, внедрением новых двигателей и т.п. На автомобильных дорогах Москвы, Санкт-Петербурга и других крупных городов России уровень шума от транспорта в дневное время достигает 90-100 дБ и даже ночью в некоторых районах не опускается ниже 70 дБ. В целом в России около 35 млн. человек, что составляет 30% городского населения, подвержены существенному воздействию транспортного шума.

Представление о размещении источников шума и распространении шума в городе дает шумовая карта. По этой карте можно судить о состоянии шумового режима улиц, микрорайонов, всей городской территории.

Карта шума города дает возможность регулировать уровень шума на жилой территории города, а также служит основой для разработки комплексных градостроительных мер по защите населения от шума [2].

Влияние выбросов автотранспорта на качество атмосферного воздуха городов [8], можно оценить на основе результатов расчетов загрязнения атмосферного воздуха в соответствии с [6], выполненных с использованием специализированного программного продукта «Эколог-Город».

Так, например, авторами статьи была разработана шумовая карта города Архангельск с использованием программного продукта «Эколог-Шум». реализующего положения [3] (рисунок 1 а).



а) б)

Рис. 1 Шумовая карта (а) и поле максимальных предельных концентраций азота диоксида (б), создавамые автотранспортными потоками (АТП), движущимися по автомагистралям г.Архангельск

Максимальная интенсивность АТП в г. Архангельск составила 3300 авт./час, минимальная - 790 авт./час, средняя - 1650 авт./час. Содержание в автотранспортном потоке грузовой дизельной техники составило в среднем 10%.

В связи с особенностями характера автотранспортного потока и геометрическими параметрами автомагистралей было выделено 86 линейных источников шума. Далее была сформирована электронная база данных с использованием специализированного программного продукта, осуществлена привязка источников шума к подготовленной топографической карте города, каждому источнику назначена шумовая характеристика.

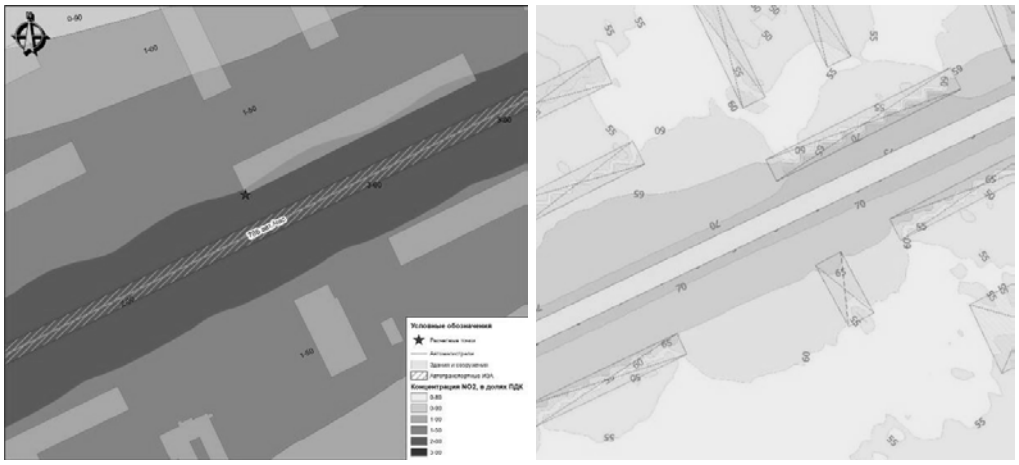
Электронная база данных была дополнена информацией о зданиях и сооружениях, с указанием высоты и звукопоглощающих свойств, являющиеся препятствиями для распространения звука.

Для оценки химического воздействия была также сформирована база данных о выбросах вредных (загрязняющих) веществ (ЗВ) автотранспортными источниками.

Из результатов акустического расчета и расчета максимальных приземных концентраций видно, что вблизи первого эшелона жилых зданий, расположенных на расстоянии около 10 м, при интенсивности движения автотранспорта менее 1000 авт./час, эквивалентные уровни звука составили 66 дБА (превысив допустимые уровни звукового давления для территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, на 9 дБА для дневного времени суток [4]), предельно допустимые концентрация (ПДК) диоксида азота составили 1,54 долей $ПДК_{м.р.}$, по другим ЗВ (оксид азота, оксид углерода, сажа) $ПДК_{м.р.}$ превышены не были.

При интенсивности движения автотранспорта от 1500 до 2000 авт./час вблизи первого эшелона жилых зданий расположенных на расстоянии около 30 м, эквивалентные уровни звука составили 55-61 дБА, при этом при интенсивности движения 1500 авт./час наблюдается соблюдение санитарных норм по акустическому шуму, что касается химического загрязнения, то предельно допустимые концентрация диоксида азота составили от 1,6 до 2,8 долей $ПДК_{м.р}$, для других вышеперечисленных ЗВ $ПДК_{м.р.}$ не были превышены.

При интенсивности движения автотранспорта более 3000 авт./час вблизи первого эшелона жилых зданий, расположенных на расстоянии около 100 м, эквивалентные уровни звука составили около 55 дБА, что говорит о соблюдение санитарных норм по акустическому шуму на территории жилой застройки, предельно допустимые концентрация диоксида азота составили от 1,46 долей $ПДК_{м.р.}$, для других ЗВ $ПДК_{м.р.}$ превышены не были.



а) б)

Рис.2 Пример результатов акустического расчета (а) и расчета максимальных приземных концентраций (б), при интенсивности движения автотранспорта на одной из автомагистралей г.Архангельска менее 1000 авт./час

В силу того, что общий шум транспортного средства определяется рядом источников, необходимо попытаться получить данные об особенностях излучения каждого из этих источников в отдельности. Определить наиболее эффективные методы снижения шума того или иного источника, а также и то, какой из методов снижения общего шума автотранспортного средства окажется наиболее экономичным в данном случае. К числу основных мер относятся: улучшение конструкции дорог и их трассирования, регулирование транспортных потоков, применение экранов и барьеров, пересмотр общих концепций о земле и использования ее вблизи основных транспортных магистралей, снижения шума конкретного автотранспортного средства путем подавления источника его возникновения. Дополнительной мерой, которая применима ко всем видам транспорта, является улучшение проектирования и звукоизолирующих характеристик зданий для уменьшения шума внутри них.

Современные программы расчетов и методы анализа позволяют оценить уровни шума и качество атмосферного воздуха от существующего и проектируемого транспортного потока с целью определения необходимого расстояния отступа линии застройки от транспортной сети дорог. Использование шумовой карты города и результатов расчетов загрязнения атмосферного воздуха будет способствовать принятию корректных управленческих решений в плане территориального планирования и развития города для защиты населения от повышенного воздействия автотранспортных потоков.

Список использованных источников

1. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 N 190-ФЗ.
2. Разработка шумовой карты города по данным натурных наблюдений состава и интенсивности автотранспортных потоков/ «Двигателестроение» № 3 (245), СПб, 2011. С.31-34.
3. ГОСТ 31295.1(2)-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1 – 2.
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
5. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. Изд-е восьмое, переработанное и дополненное. - СПб.: НИИ Атмосфера, 2010.
6. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л., Гидрометеоиздат, 1987 г.
7. Иванов Н.И., Буторина М.В., Минина Н.Н Проблема защиты населения от повышенного шума/ Сборник докладов. III Всероссийская на-

учно-практическая конференция с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», 2011. С.12-23.
8. Хватов В.Ф., Волкодаева М.В. Левкин А.В. О количестве автотранспортных средств на автомагистралях и качестве атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге./ «Двигателестроение» №1 (247), СПб, 2012. 35-39 с.

Исследование вибрационного воздействия, обусловленного движением трамваев в городских условиях

Марков С. Б.[1], *Пименов И. К.*[2], *Пшенин В.Н.*[1]
ЗАО «Экотранс-Дорсервис»
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
markovsb1966@rambler.ru

Для зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости к трамвайным путям, вибрационные воздействия, обусловленные движением трамваев, могут являться существенным фактором, влияющим как на комфортность проживания, так и на прочность строительных конструкций.

Вибрация при движении трамваев передается через рельсовые пути на их опору и далее через грунт к окружающим постройкам, являясь как самостоятельным источником воздействия, так и порождая переизлученный шум.

В настоящее время в РФ отсутствуют утвержденные в установленном порядке методики расчета вибрационного воздействия на здания и сооружения, а также на помещения жилых и общественных зданий, как от автотранспорта, так и от трамваев.

Следует отметить, что с 2008 г. в РФ введен в действие ГОСТ 14837-1-2007 «Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта» [1]. Этот стандарт устанавливает общее руководство по оценке вибрации, создаваемой при движении рельсовых транспортных средств, и ее воздействия на сооружения.

Согласно [1] при прогнозировании передаваемой через грунт вибрации следует учитывать, что характеристики источника, пути распространения и характеристики самого объекта воздействия зависят от многих факторов. Исходные данные для прогнозирования должны быть определены из опыта, литературных источников, экспертных оценок или по результатам измерений на месте.

Изложенные в стандарте рекомендации по моделированию процессов распространения вибрации носят сугубо теоретический характер. Практических рекомендаций по методам измерения и расчетных методик, основанных на результатах измерений, стандарт не содержит. В таких условиях

приходится руководствоваться общими физическими соображениями в части возбуждения и распространения вибраций, опираться на опыт, который весьма скромно отражен в строительных нормах и правилах, а также использовать данные измерений на объектах – аналогах.

Таким образом, в условиях отсутствия методического обеспечения практически осуществим только прогноз вибрационного воздействия проектируемого объекта, который основывается на сопоставлении с существующими объектами-аналогами, для которых выполнены натурные измерения. При оценке величин и измерениях вибраций следует руководствоваться стандартами [1, 2 и 3] и санитарными нормами [6,7].

Подтверждение такого подхода можно найти в одном из немногих нормативных документов по оценке вибрационного воздействия от транспорта - Пособии к Московским городским строительным нормам МГСН 2.04-97 [4]. В Пособии приводятся удаления зданий от транспортных магистралей, трамвайных путей и железных дорог, которые гарантируют обеспечение требований по допустимым уровням вибрации. При этом указывается, что в случаях более близкого расположения зданий к источникам вибрации необходимо проведение инструментального обследования вибраций в месте предполагаемого строительства и, если это потребуется, проведение мероприятий по виброзащите.

Согласно п.5.3 [4] вибрации от трамваев определяются типом подвижного состава, состоянием рельсов, типом основания пути. Наиболее критическим является частотный диапазон в пределах октавных полос 16-63 Гц. Документ дает самые обобщенные представления о зонах воздействия вибраций и не вдается в такие немаловажные подробности как строение пути, состояние грунтов, тип подвижного состава, его скорость и т.п.

Согласно п.5.5 СП 98.13330.2012 «Свод правил. Трамвайные и троллейбусные линии» (Актуализированная редакция СНиП 2.05.09.90) [5] минимальное расстояние от оси пути до ближайших жилых и общественных зданий должно быть не менее 20 м. Для реконструируемых линий это расстояние допускается уменьшать по согласованию с местными исполнительными органами власти.

Таким образом, строительные нормы задают некоторые безопасные расстояния, на которых проблему вибрационного воздействия можно считать несущественной. Однако в условиях плотной городской застройки такие расстояния далеко не всегда удается выдержать, что приводит к необходимости определения, пусть и приближенных, параметров вибрации, а также учета различных особенностей и технических возможностей, влияющих на снижение вибраций.

Критерии определения опасных вибраций

Критерии опасных вибраций устанавливаются из условий нежелательного действия на здоровье и комфорт людей, а также на прочность зданий и иных сооружений. В первом случае критерии устанавливаются санитарными нормами, правилами и стандартами [6,7 и 10], а во втором - ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию» [2] и ведомственными документами ВСН 490-87, ТСН 50-302-2004 [8,9].

- *Критерии воздействия на здоровье и комфорт людей.*

Для помещений жилых и общественных зданий нормируется *общая* вибрация. В придорожной полосе и на территориях населенных мест вибрационное воздействие не нормируется.

В действующих на территории РФ СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [7], определяющих нормативные значения допустимых уровней вибрации, для оценки используется только один параметр - величина среднеквадратичного значения корректированного виброускорения или виброскорости, или их логарифмические уровни (обозначается - RMS). Другие параметры вибрации в СН не рассматриваются и не нормируются. В СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях» [6] используется термин - максимальное значения измеряемого уровня вибрации, однако сам термин не раскрывается и его определение отсутствует.

Необходимо отметить, что в документах [6,7] предусматривают существенное ужесточение требований для непостоянных вибраций и для ночных условий (поправка -10 дБ в период с 23^{00} до 7^{00}). Для трамвайного движения характерны непостоянные вибрации и использование подвижного состава, как в дневной, так и в ночной период времени. Поэтому самые строгие гигиенические условия соответствуют критериям допустимых значений для непостоянных вибраций применительно к ночному периоду времени.

Кроме указанных санитарно-гигиенических нормативов, в РФ действуют стандарты на методы измерения: ГОСТ 31191.1-2004 «Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования» [10] и ГОСТ 31191.2-2004 «Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрация внутри зданий» [11]. Использование этих ГОСТов для измерений общей вибрации в помещениях зданий предписано Роспотребнадзором РФ (письмо № 01/752-9-32 от 21.01.2009 г.).

В п. С.3 [10] указано, что критерием комфортности может служить пиковое значение вибрации (обозначается - PEAK). Человек способен обнару-

живать действие вибрации, как только пиковое значение корректированного по характеристике Wk виброускорения превысит 0,015 м/с^2 (83,5 дБ).

- *Критерии воздействия на здания и сооружения.*

Критерии для определения опасных вибраций, влияющих на прочность зданий и сооружений, рекомендованы ГОСТ Р 52892-2007 [2]. Они сформулированы для пиковых значений виброскорости на фундаментах зданий и представлены в виде частотнозависимых графиков (см. рис. Б1 указанного стандарта). Критерии в [2] установлены для трех категорий зданий:

– зданий делового назначения, производственных зданий и сооружений, имеющих аналогичную конструкцию (категория 1);

– жилых зданий и зданий, имеющих аналогичную конструкцию или назначение (категория 2);

– сооружений, не относящихся к категориям 1 или 2, имеющие высокую социальную важность (например, охраняемых памятников архитектуры).

В стандарте указывается, что параметром вибрации, в наибольшей степени коррелированным с риском повреждения конструкции здания, является пиковое значение скорости. Однако, в зависимости от типа используемого датчика, измеряемой величиной, помимо скорости, может быть ускорение.

Для единообразия изложения предельные значения, указанные на графиках, приведенных в [2], пересчитаны в уровни виброускорений и представлены в табличной форме (табл. 1).

Таблица 1

Предельные значения пиковых виброускорений на фундаменте здания, дБ

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельные значения по осям X_o, Y_o, Z_o		
	Виброускорение, дБ		
	Здания		
	категория 1	категория 2	категория 3
2	108	96	92
4	114	102	98
8	120	108	104
16	127	117	112
31,5	136	126	120
63	145	136	130
125	152	145	140

Примечание: указанные значения в дБ приведены к опорным значениям $1 \cdot 10^{-6}$ м/с^2 по виброускорению.

Экспериментальные исследования вибрационного воздействия на застройку при движении трамваев

Для получения информации о вибрационном воздействии от объекта с трамвайным движением и дальнейшего использования его в качестве объекта-аналога были проведены экспериментальные исследования на городских магистралях Санкт-Петербурга, которые выполнены испытательной лабораторией ЗАО «Экотранс-Дорсервис».

Измерения проводились с учетом общих положений ГОСТ 31191.1-2004 [10] и ГОСТ 31191.2-2004 [11].

В соответствии с [10] при измерении вибрации всегда используется основной метод, при котором измеряемым параметром является среднеквадратичное значение корректированного виброускорения (RMS). Спектральная оценка воздействия проводится для получения дополнительной информации об источнике воздействия. Кроме того, в отдельных случаях стандартом предусмотрено использование альтернативных методов.

Функции частотной коррекции (корректирующие фильтры) выбирают согласно стандартам – Wk и Wd по табл. 1 ГОСТ 31191.1-2004 или Wm по табл. А.1 ГОСТ 31191.2-2004.

В СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [7] для санитарно-гигиенической оценки используется нормируемый параметр - величина среднеквадратичного значения корректированного виброускорения или виброскорости, выраженная в абсолютных единицах или в логарифмических уровнях.

Функции частотной коррекции Wz и Wx-y, применяемые по [7] (см. табл. 2 документа), отличаются от устанавливаемых ГОСТами. Различие в получаемых результатах между фильтрами Wk и Wz составляет 2 - 4 дБ, а между Wd и Wx-y 1-2 дБ. Такие различия могут существенно сказаться на результатах санитарно-гигиенической оценки.

Для получения полной информации о вибрационном воздействии при проведении измерений одновременно определялись все указанные параметры, включая величины, определяемые альтернативными методами, предусмотренными [10]. Такая возможность имеется при использовании современной виброизмерительной аппаратуры.

В ходе проведения эксперимента рассмотрены и учтены следующие особенности, влияющие на уровень вибрационного воздействия от движения трамваев:

Скорость движения составляла от 20 до 40 км/час. При этом не наблюдалось явно выраженной зависимости уровня виброускорения от скорости движения.

Подвижной состав на всех обследованных участках примерно одинаков. Проведение измерений среднеквадратичного значения корректированного виброускорения проводилось при произвольном порядке движения трамваев разных типов. В таких условиях проведения эксперимента

влияние особенностей подвижного состава нивелируется. Поэтому уровни вибрации определяются в основном типом и состоянием трамвайных путей.

Наполненность трамвая пассажирами практически не оказывает влияния на результаты измерений.

Значения максимальных и пиковых уровней вибрации, создаваемых при проходе трамваев по ближним и дальним путям, существенно отличаются между собой. Разность составляет от 4 до 8 дБ. Такая разница наблюдалась как для конструкций путей выполненных по новым, так и по старым технологиям. Учитывая, что измерения проводились на расстоянии более 12 м от головки ближнего рельса, а расстояние между путями составляет порядка 3 м, следует полагать, что такая разница в уровнях обусловлена не затуханием вибрации с расстоянием, а, предположительно, виброзадерживающими свойствами конструкции путей.

Измерения проводились на Лиговском и Заневском проспектах Санкт-Петербурга в сентябре-октябре 2012 г. Для измерений были выбраны трамвайные линии с путями, выполненными по старым технологиям (Заневский пр., рельсы на шпально-щебеночном основании, период эксплуатации 15-20 лет) и с путями, выполненными по новым технологиям (Лиговский пр., рельсы через резиновые прокладки установлены на монолитной железобетонной плите, уложенной на щебеночную подушку). Исследования проводились на 3-х участках:

Участок 1

Пути, выполненные по новой технологии, расположены по центру проезжей части Лиговского пр. (дом № 128) на выделенной полосе. Слева и справа от путей расположено по 3 полосы движения автотранспорта. Покрытие проезжей части находится в хорошем состоянии. Дефекты покрытия не обнаружены. Расстояние от головки ближайшего рельса до бортового камня проезжей части (тротуара) - 12 м. Ширина тротуара, отделяющего проезжую часть от зданий, составляет 4-5 м. Здания 2-5 этажные. Точки измерения расположены на бортовом камне проезжей части (12 м) и фундаментной части 2-х этажного дома (16 м).

Интенсивность движения: легковые – 3528 авт./час, грузовые (до 3 т) – 132 авт./час, грузовые (более 3 т) – 36 авт./час, автобусы – 96 авт./час, трамваи – 23 пары/час (46 составов/час).

Участок 2

Пути, выполненные по новой технологии, расположены по центру проезжей части Лиговского пр. (дом № 215) на выделенной полосе. Слева и справа от путей расположено по 3 полосы движения автотранспорта. Покрытие проезжей части находиться в хорошем состоянии. Обнаружены дефекты покрытия – небольшие вмятины с пологими краями. Расстояние от

головки ближайшего рельса до бортового камня проезжей части (тротуара) - 12 м. Ширина тротуара, отделяющего проезжую часть от зданий, составляет 4-5 м. Здания 4-5 этажные. Точки измерения расположены на бортовом камне проезжей части (12 м) и тротуаре (16 м), у фундамента 5-и этажного дома.
Интенсивность движения: легковые – 2260 авт./час, грузовые (до 3 т) – 160 авт./час, грузовые (более 3 т) – 0 авт./час, автобусы – 40 авт./час, трамваи – 24 пары/час (48 составов/час).

Участок 3

Пути, выполненные по старой технологии, расположены на газоне, отдельно от проезжей части Заневского пр (напротив дома № 77, фундамент дома б/н). Проезжая часть Заневского проспекта (6 полос движения) находится на расстоянии 20 м от трамвайных путей. Покрытие проезжей части находится в хорошем состоянии. Обнаружены дефекты покрытия – небольшие вмятины с пологими краями. Точки измерения расположены в стороне от трамвайных путей, противоположной проезжей части. Точки расположены на бортовом камне местного проезда, на расстоянии 12 м и 16 м от головки ближайшего рельса и на фундаментной части одноэтажного дома.
Интенсивность движения: легковые – 3216 авт./час, грузовые (до 3 т) – 180 авт./час, грузовые (более 3 т) – 28 авт./час, атобусы – 34 авт./час, трамваи – 36 пар/час (72 состава/час).
Результаты измерений представлены в сводных табл. 2 и 3. Значения уровней виброускорения в дБ приведены к опорным значениям $1 \cdot 10^{-6}$ м/с^2 по виброускорению.

Санитарно-гигиеническая оценка вибрационного воздействия трамваев

Оценка по среднеквадратичному значению корректированного виброускорения (RMS)

Измерение RMS выполнялось для сравнения с нормативными значениями, установленными СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [7].
Функция частотной коррекции выбрана по СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Поскольку основное направление вибрационного воздействия от трамвая происходит в вертикальной плоскости, измерение и оценка проводились для вертикальной составляющей ускорения с использованием фильтра Wz.
В ходе эксперимента для каждой ситуации проводилось несколько измерений, результаты которых потом усреднялись. За время каждого измерения наблюдалось прохождение 4-6 трамваев в разных направлениях.
Учитывая, что на участке 3 интенсивность движения трамваев больше, чем на участках 1 и 2 в 1,5 раза, RMS для участков 1 и 2 откорректированы

(увеличены на 1,8 дБ, исходя из оценки энергетического воздействия вибрационного процесса) по сравнению с измеренными.
В табл. 2 приведены результаты измерений RMS на участках 1 и 3.

Таблица 2

Уровни среднеквадратичного значения корректированного виброускорения (RMS) для участков 1 и 3

№	Расположение точек измерения	Участок 1 (городская улица с путями, выполненными по новым технологиям)	Участок 3 (городская улица с путями, выполненными по старым технологиям)
		RMS, дБ	RMS, дБ
1	2	3	5
1	Бортовой камень, 12 м от головки рельса (автотранспорт с учетом проходящих трамваев)	66,1	71,9
2	Бортовой камень, 12 м от головки рельса (только автотранспорт, фоновые значения)	58,7	61,4
3	Фундаментные части здания, 16 м от головки рельса (автотранспорт с учетом проходящих трамваев)	60,8	66,7
4	Фундаментные части здания, 16 м от головки рельса (только автотранспорт, фоновые значения)	56,3	56,8
5	**Допустимые значения виброускорения в жилых помещениях согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 (таблица 9, с учетом п.п. 1 и 2 примечаний) день/ночь**	**67/62**	**67/62**

Примечание: указанные значения в дБ приведены к опорным значениям $1 \cdot 10^{-6}$ м/с^2 по виброускорению.

В табл. 3 приведены результаты измерений RMS на участках 2 и 3. В отличие от измерений на фундаментных частях здания на участке 1, на участке 2 измерения проводились на тротуаре у фундамента. Сравнение результатов позволило оценить виброизолирующие свойства фундамента зданий.

Таблица 3

Уровни среднеквадратичного значения корректированного виброускорения (RMS) для участков 2 и 3

№	Расположение точек измерения	Участок 2 (городская улица с путями, выполненными по новым технологиям)	Участок 3 (городская улица с путями, выполненными по старым технологиям)
		RMS, дБ	RMS, дБ
1	2	4	5
1	Бортовой камень, 12 м от головки рельса (автотранспорт с учетом проходящих трамваев)	66,8	71,9
2	Бортовой камень, 12 м от головки рельса (только автотранспорт, фоновые значения)	61,4	61,4
3	На тротуаре у фундамента, 16 м от головки рельса (автотранспорт с учетом проходящих трамваев)	63,4	70,4
4	На тротуаре у фундамента, 16 м от головки рельса (только автотранспорт, фоновые значения)	58,6	61,5
5	**Допустимые значения виброускорения в жилых помещениях согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 (таблица 9, с учетом п.п. 1 и 2 примечаний) день/ночь**	**67/62**	**67/62**

Примечание: указанные значения в дБ приведены к опорным значениям $1 \cdot 10^{-6}$ м/с^2 по виброускорению.

Для наглядности на рис. 1 и 2 представлены диаграммы результатов измерений RMS для участков 1 и 3 и 2 и 3.

На рис. 3 представлены усредненные спектры среднеквадратичного значения виброускорения на фундаменте зданий для трамвайных путей, выполненных по новым и старым технологиям. Спектр соответствуют общему уровню виброускорения (без частотной коррекции) 75 дБ.

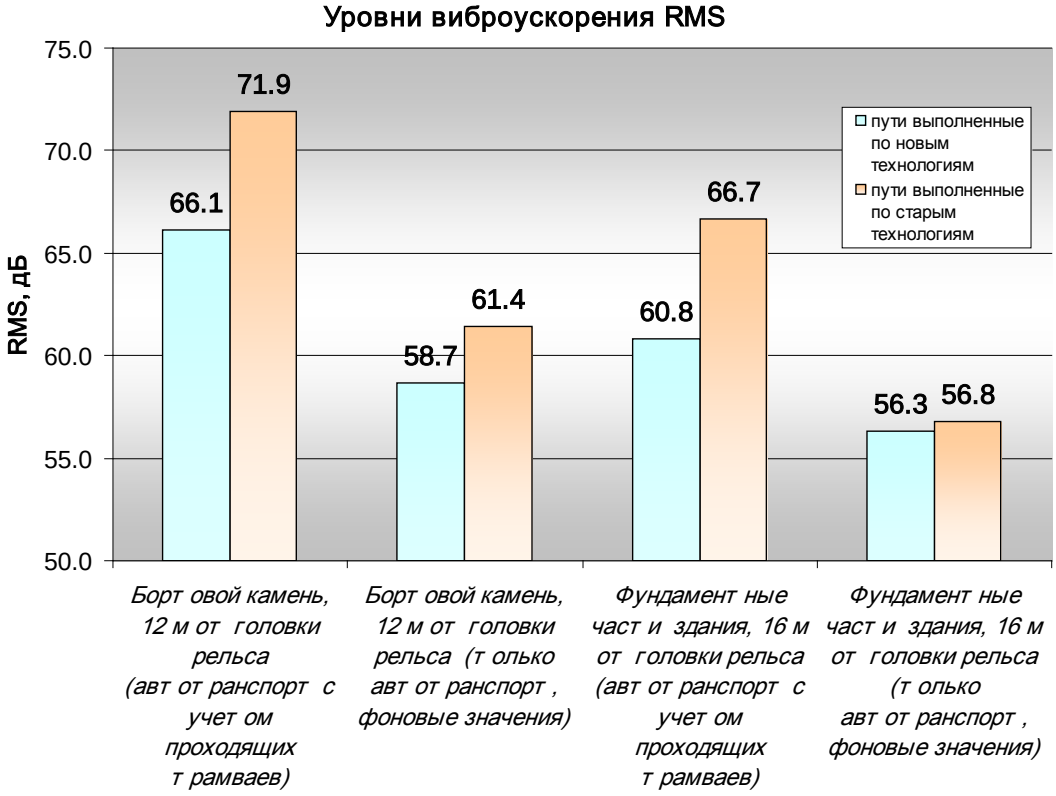


Рис. 1. Результаты измерений RMS для участков 1 и 3.

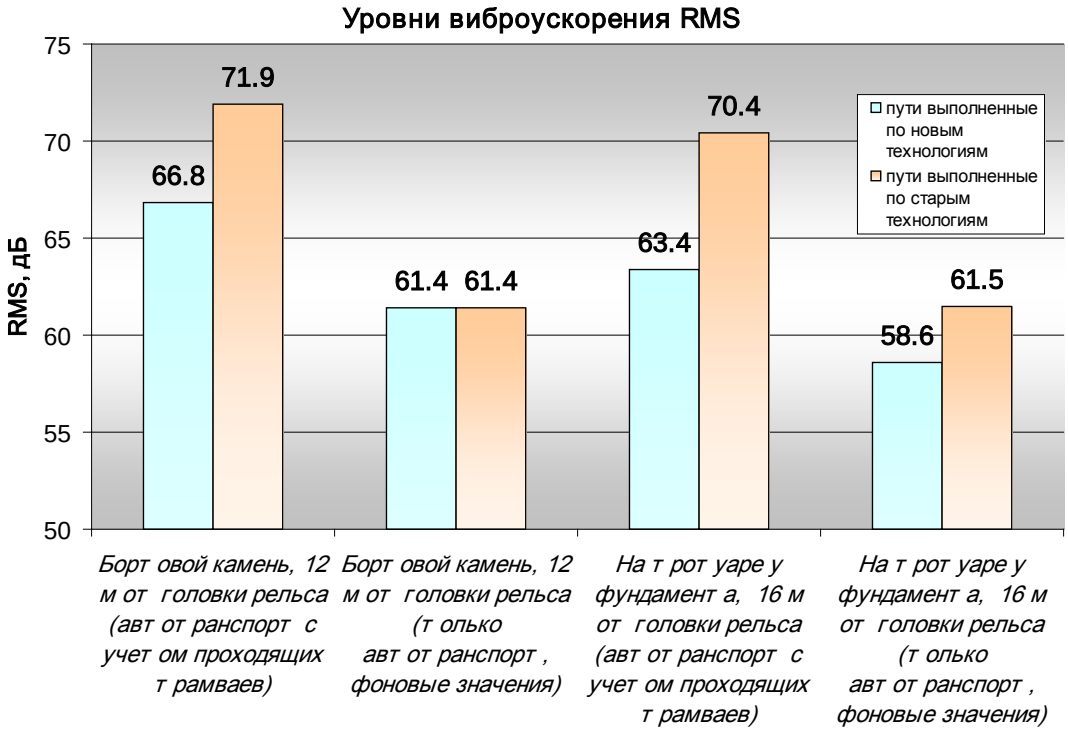


Рис. 2. Результаты измерений RMS для участков 2 и 3.

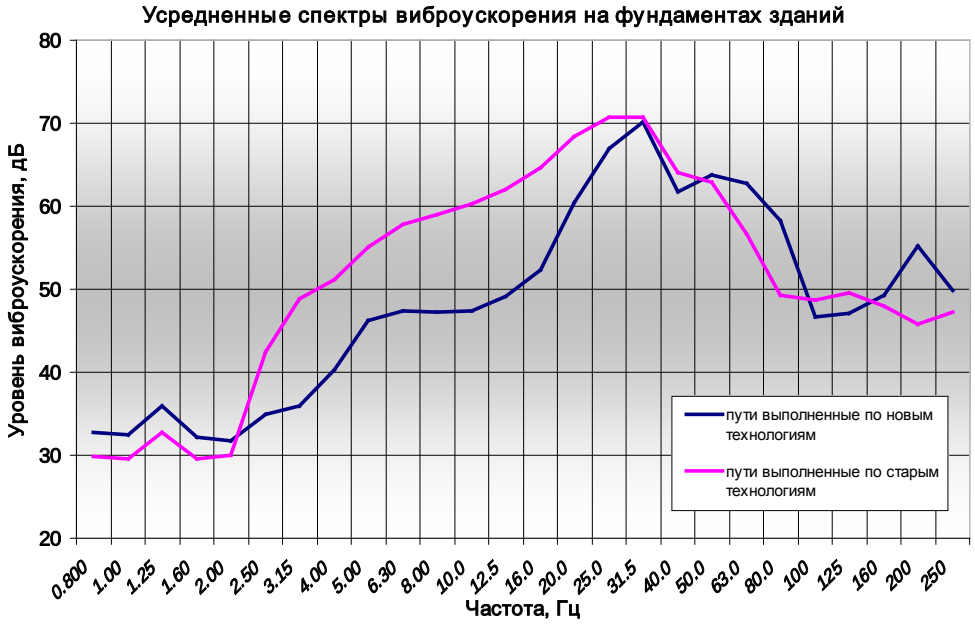


Рис. 3. Усредненные спектры среднеквадратичного значения виброускорения на фундаменте зданий для трамвайных путей, выполненных по новым и старым технологиям.

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Трамваи, движущиеся по путям, выполненным по старым технологиям, создают среднеквадратичные уровни виброускорения более высо-

кие (в среднем на 5-7 дБ), чем при движении по путям, выполненным по новым технологиям.

2. Уровни виброускорения на тротуаре у фундамента и на фундаментных частях отличаются на 2-3 дБ. Следовательно, фундаменты домов обладают определенным виброизолирующим эффектом.

3. Для городских улиц, где трамвайное движение (по выделенной центральной полосе) с интенсивностью 25-36 пар/час, совмещено с автотранспортным движением с интенсивностью 2200-3500 авт./час, вибрационное воздействие от трамвая превышает воздействие от автотранспорта и в целом определяется трамваем.

4. Вибрационное воздействие от движения трамваев по путям, выполненным по современным технологиям, на фундаментных частях зданий расположенных на расстоянии 16 м и более от головки ближайшего рельса не превышает нормативных уровней для ночного времени (для дневного тем более).

5. Вибрационное воздействие от движения трамваев по путям, выполненным по старым технологиям, на фундаментных частях зданий расположенных на расстоянии 16 м от головки ближайшего рельса превышает нормативные уровни для ночного времени. Нормативные уровни для дневного времени выполняются, но без запаса.

Оценка по максимальному текущему среднеквадратичному (MTVV) и пиковому значениям (PEAK) корректированного виброускорения

Кроме обязательных измерений по основному методу, предписанному ГОСТ 31191.1-2004 [10], проводились измерения параметров вибрации с использованием одного из альтернативных методов - измерение максимального текущего среднеквадратичного (MTVV). Также определялись пиковые значения корректированного виброускорения (PEAK). Эти параметры определялись для сравнения с нормативными значениями, установленными в СанПиН 2.1.2.2645-10* [6] и ГОСТ 31191.1-2004 [10].

*Примечание: * в СанПиН 2.1.2.2645-10 используется термин - максимальное значение измеряемого уровня вибрации, однако сам термин не раскрывается и его определение отсутствует. Соответствие содержания этого термина вводимому в ГОСТ 31191.1-2004 определению максимального текущего среднеквадратичного значения корректированного виброускорения (MTVV) не установлено. Нормативное значение максимального значения измеряемого уровня вибрации согласно СанПиН не должно превышать допустимые (СН 2.2.4/2.1.8.566-96) более чем на 10 дБ.*

Для санитарно-гигиенической оценки максимальных значений использовался параметр MTVV (по ГОСТ 31191.1-2004 [10]) и функция частотной коррекции (корректирующий фильтр) Wz по СН 2.2.4/2.1.8.566-96

[7]. Нормативные значения, приведенные в таблице 4, указаны согласно СанПиН 2.1.2.2645-10 [6] и используются как справочные значения, в силу сказанного выше (см. *Примечание* выше).

ГОСТ 31191.1-2004 [10] не содержит санитарно-гигиенических нормативов, но устанавливает условия комфортности проживания (см. п. С.3 стандарта). Порог чувствительности к пиковому значению корректированного виброускорения (PEAK), приведенный в таблице 4, использован в качестве критерия комфортности.

Для оценки пиковых значений использовалась функция частотной коррекции (корректирующий фильтр) Wk.

В ходе эксперимента для каждой ситуации проводилось несколько измерений, результаты которых потом усреднялись. За время каждого измерения наблюдалось прохождение 15-20 трамваев в разных направлениях.

Следует отметить, что максимальные и пиковые значения виброускорения не зависят от интенсивности движения. Поэтому коррекция результатов с учетом интенсивности не проводилась.

В табл. 4 приведены результаты измерений максимального и пикового значения виброускорений на участках 1, 2 и 3. Измерения проводились в тех же точках и при тех же условиях, что и измерения среднеквадратичного корректированного виброускорения (RMS).

Таблица 4

Уровни максимального текущего среднеквадратичного (MTVV) и пикового значений (PEAK) корректированного виброускорения для участков 1, 2 и 3, дБ

№	Расположение точек измерения	Участок 1 (городская улица с путями, выполненными по новым технологиям)		Участок 2 (городская улица с путями, выполненными по новым технологиям)		Участок 3 (городская улица с путями, выполненными по старым технологиям)	
		MTVV	PEAK	MTVV	PEAK	MTVV	PEAK
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Бортовой камень, 12 м от головки рельса (автотранспорт с учетом проходящих трамваев)	76,8	91,2	76,6	91,1	84,3	99,6
2	Бортовой камень, 12 м от головки рельса (только автотранспорт, фоновые значения)	68,2	83,4	70,9	87,5	74,0	84,9
3	Фундаментные части здания, 16 м от головки рельса (автотранспорт с учетом проходящих трамваев)	66,8	79,8	-	-	74,2	91,9

№	Расположение точек измерения	Участок 1 (городская улица с путями, выполненными по новым технологиям)		Участок 2 (городская улица с путями, выполненными по новым технологиям)		Участок 3 (городская улица с путями, выполненными по старым технологиям)	
		MTVV	PEAK	MTVV	PEAK	MTVV	PEAK
1	2	3	4	5	6	7	8
4	Фундаментные части здания, 16 м от головки рельса (только автотранспорт, фоновые значения)	65,5	77,8	-	-	62,1	72,9
5	На тротуаре у фундамента,16 м от головки рельса (автотранспорт с учетом проходящих трамваев)	-	-	72,7	85,9	81,9	96,5
6	На тротуаре у фундамента, 16 м от головки рельса (только автотранспорт, фоновые значения)	-	-	68,9	83,0	73,8	80,6
5	**Допустимые значения виброускорения жилых помещениях согласно СанПиН 2.1.2.2645-10 день/ночь***	**77/72***		**77/72***	-	**77/72***	
6	**Порог чувствительности к вибрации согласно п. С.3 ГОСТ 31191.1-2004 (пиковое значение по характеристике Wk)**	-	**83,5**	-	**83,5**	-	**83,5**

Примечание:

* - приведено для справки;

** - указанные значения в дБ приведены к опорным значениям $1 \cdot 10^{-6}$ м/с^2 по виброускорению.

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

- Все характерные особенности, отмеченные для RMS, практически полностью присущи как для значений MTVV, так и для значений PEAK. Отличие заключается в большем разбросе полученных значений. Это закономерно, поскольку максимальные уровни определяются на временном интервале 1с, а пиковый уровень определяется пиковым детектором прибора практически мгновенно.
- Максимальные уровни от движения трамваев по путям, выполненным по современным технологиям, на фундаментных частях зданий (16 м

и более) не превышают нормативных уровней для ночного времени (для дневного тем более). Пиковые уровни виброускорения не превышают порог чувствительности к вибрации.

- Максимальные уровни виброускорения от движения трамваев по путям, выполненным по старым технологиям, на фундаментных частях зданий (16 м) превышают нормативные уровни для ночного времени. Нормативные уровни для дневного времени выполняются с некоторым запасом. Пиковые уровни виброускорения от движения трамваев по путям, выполненным по старым технологиям, на фундаментных частях зданий существенно (до 8 дБ) превышают порог чувствительности к вибрации.

Оценка по критериям воздействия на здания и сооружения

В процессе эксплуатации трамвайных линий расположенные вблизи здания подвергаются воздействию вибрации. Вибрация может стать причиной повреждения конструкции здания, снизив ее эксплуатационную надежность. Поэтому, кроме санитарно-гигиенической оценки, в ходе экспериментальных исследований проводилась и оценка вибрационного воздействия на здания и сооружения.

В ходе эксперимента измерялось пиковое значение виброускорения без частотной коррекции. Критерии для определения опасных вибраций приведены в табл. 1.

Измерение пиковых значений ускорения проводились одновременно с измерениями, проводившимися для санитарно-гигиенической оценки. Из полученных результатов выбирались наибольшие значения, которые и сравнивались с предельными значениями.

Следует отметить, что пиковое значение (PEAK) это мгновенное значение модуля виброускорения, получаемое на выходе пикового детектора виброметра. Однако, поскольку мгновенное значение величины нельзя разложить в спектр с помощью преобразования Фурье, то в качестве пиковых значений виброускорения в октавных полосах использовались среднеквадратичные значения ускорения с временем выборки 50 мсек, как и описывается в п.п. 6 и 7 ГОСТ Р 52892-2007.

Из полученных результатов, характеризующих вибрационное воздействие при разных условиях расположения точек измерения относительно источника вибрации и разном состоянии трамвайных путей, наибольший интерес представляет сравнение результатов, полученных при следующих условиях:

- Трамвайные пути выполнены по старым и новым технологиям. Точка измерения расположена на бортовом камне (12 м от рельса).

- Трамвайные пути выполнены по старым и новым технологиям. Точка измерения расположена на фундаментных частях расположенных вблизи зданий (16 м от рельса).

Результаты измерений приведены в табл. 5 и отображены на графиках на рис. 4 и 5.

Таблица 5

Сравнение измеренных пиковых уровней виброускорения с предельными значениями виброускорений, дБ

№	Частота, Гц	Пиковый уровень виброускорения на бортовом камне проезжей части (12 м)		Пиковый уровень виброускорения на фундаментных частях расположенных вблизи зданий (16 м)		Предельные значения на фундаментах зданий		
						Виброускорение, дБ		
						Здания		
		новые технологии	старые технологии	новые технологии	старые технологии	категория 1	категория 2	категория 3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	52,3	48,2	46,6	47,4	108	96	92
2	4	59,4	65,9	55,9	64,4	114	102	98
3	8	67,7	78,9	63,8	70,9	120	108	104
4	16	80,4	94,1	73,3	85,4	127	117	112
5	31,5	100,1	99,8	87,0	90,9	136	126	120
6	63	97,3	97,4	82,9	79,3	145	136	130
7	125	77,1	79,5	64,9	56,4	152	145	140

Примечание: указанные значения в дБ приведены к опорным значениям $1 \cdot 10^{-6}$ м/с^2 по виброускорению.

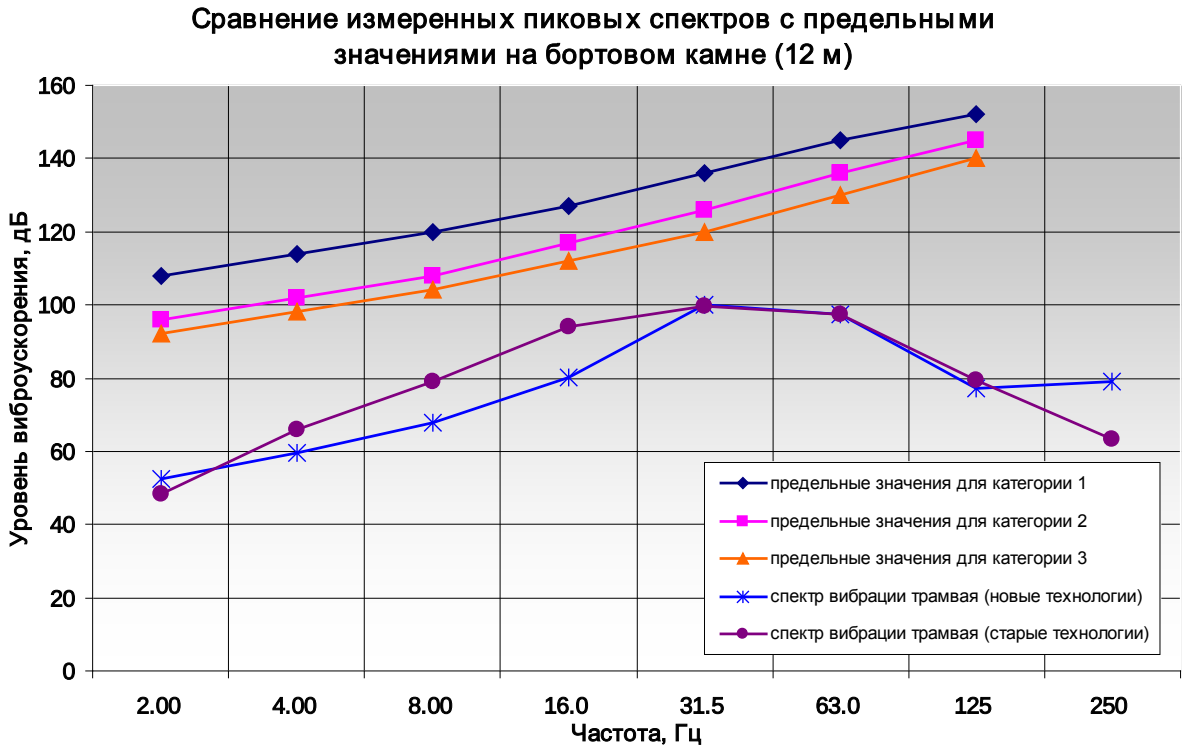


Рис.4. Спектральные пиковые уровни виброускорения на бортовом камне проезжей части (12 м).

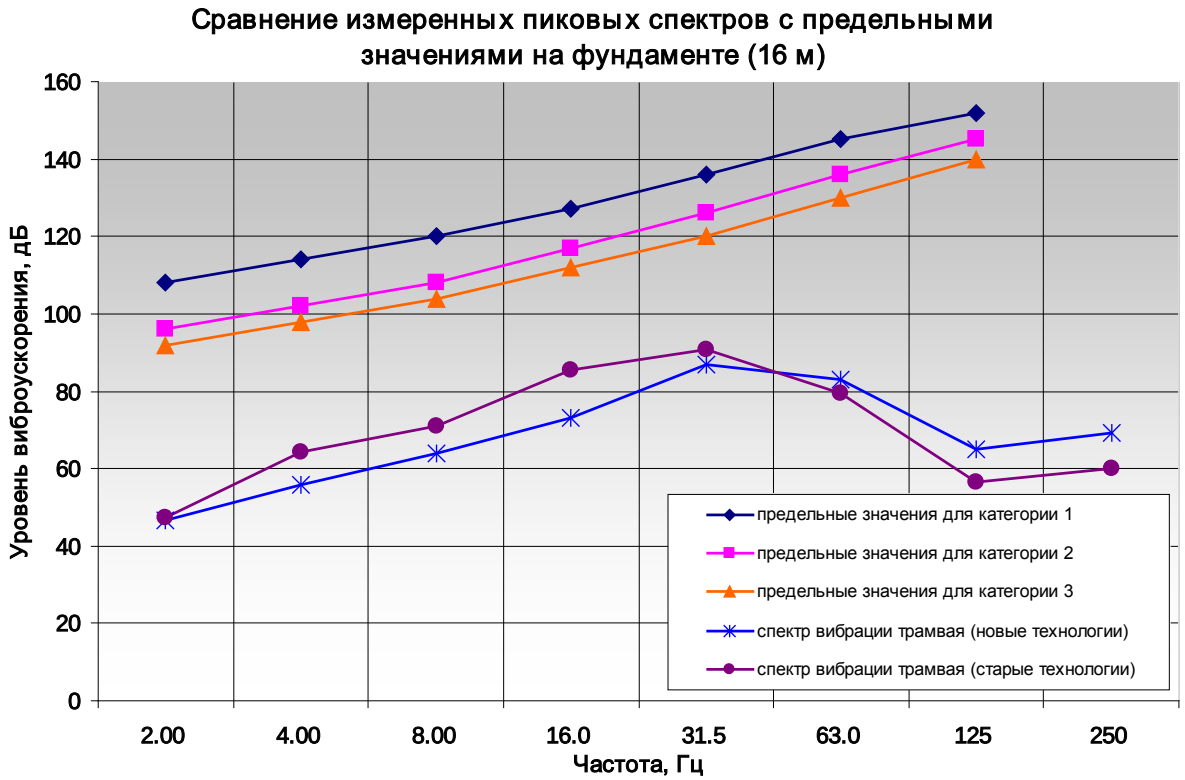


Рис. 5. Спектральные пиковые уровни виброускорения на фундаментных частях, расположенных вблизи зданий (16 м).

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:
Как видно из сравнения результатов с допустимыми значениями, вибрации, возникающие в процессе эксплуатации трамвайных линий, не оказывают сверхнормативного воздействия на здания и сооружения, расположенные более чем на 12 м от ближайшего рельса, и не могут стать причиной повреждения конструкций зданий.

Рекомендации по применению полученных результатов к оценке вибрационного воздействия при проектировании

Информацию о вибрационном воздействии от объектов с трамвайным движением, полученную в ходе эксперимента, предполагается использовать для проведения прогнозных оценок вибрационного воздействия от проектируемых объектов.
При расчете ожидаемых уровней вибрации для учета разности в интенсивности движения по проектируемым объектам и объекту-аналогу можно исходить из методики, основанной на сравнении мощностей вибрационных воздействий (см. Технический отчет ФГУП ГНЦ РФ ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова «Оценка акустических и вибрационных полей воздействия транспортного потока») [12]. В основе методики лежит тезис о том, что ожидаемые уровни вибрации пропорциональны уровням вибрационных мощностей транспортных средств, а, следовательно, и логарифмическому отношению интенсивностей транспортных потоков.
Прогнозный уровень вибрационного воздействия оценивается исходя из формулы:

$$L_{экв} = L_{экв\ изм} + 10log(N_x/N_{изм})$$

где:
$L_{экв}$ – прогнозируемый эквивалентный уровень вибрационного воздействия при интенсивности трамваев N_x;
$L_{экв.\ изм}$ – измеренный на объекте-аналоге уровень вибрации при интенсивности трамваев $N_{изм}$.

Список литературы:

1. ГОСТ Р ИСО 14837-1-2007. Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта.
2. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию.
3. ГОСТ Р 53964-2010. Вибрация. Измерения вибраций сооружений. Руководство по проведению измерений.
4. Пособие к МГСН 2.04-97. Проектирование защиты от транспортного шума и вибраций жилых и общественных зданий.

5. СП 98.13330.2012. Свод правил. Трамвайные и троллейбусные линии. Актуализированная редакция СНиП 2.05.09.90.
6. СанПиН 2.1.2.2645-10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях.
7. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
8. ВСН 490-87. Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки. Минмонтажспецстрой СССР. Москва 1988.
9. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. Правительство Санкт-Петербурга. Санкт-петербург 2004.
10. ГОСТ 31191.1-2004 «Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования».
11. ГОСТ 31191.2-2004 «Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрация внутри зданий».
12. Технический отчет ФГУП ГНЦ РФ ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова «Оценка акустических и вибрационных полей воздействия транспортного потока».

Расчет индекса изоляции воздушного шума перегородками из блоков

Мейнцер Н.В.
ФБОУ ВПО "СПбГПУ"
meyntser@mail.ru

В настоящее время при строительстве и эксплуатации зданий стало уделяться много внимания такой проблеме, как шум. Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных физических факторов окружающей среды, приобретающих важное социально-гигиеническое значение, в связи с урбанизацией, а также механизацией и автоматизацией технологических процессов, дальнейшим развитием авиации, транспорта. Длительное воздействие шума на организм человека приводит к развитию утомления, нередко переходящего в переутомление, к снижению производительности и качества труда. Большое значение в борьбе с шумом имеют архитектурно-планировочные и строительные мероприятия. Ведущие производители строительных материалов стремятся к разработкам специальных составов и конструкций, обладающие хорошей звукоизоляцией. При появлении новой конструкции, например, стенового блока, необходимо определить его индекс изоляции воздушного шума, как основную характеристику звукоизоляции.

Целью данной работы является расчет индекса изоляции воздушного шума перегородки из силикатных стеновых пустотелых блоков и определения среднего модуля динамической упругости материала при известном индексе изоляции воздушного шума $R_w = 52$ дБ.

Конструкция ограждения состоит из перегородки из силикатных стеновых пустотелых блоков размером 300х198х130 мм с круглыми пустотами диаметром 36 мм (по 8 отверстий в каждом блоке), ρ=1700 кг/м³ (Рис. 1).

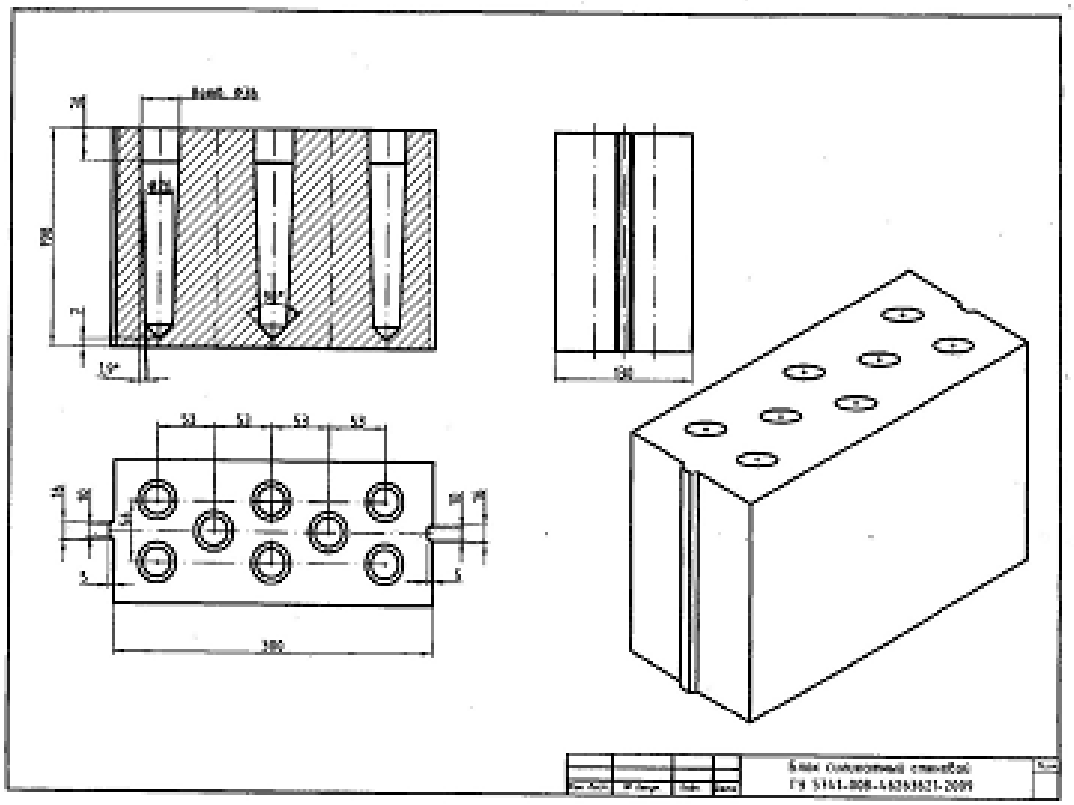


Рис. 1. Блок силикатный стеновой

– **Расчет индекса изоляции воздушного шума неоштукатуренной перегородкой**

Расчет ведется в соответствии с п.п. 2.1 и 3.1-3.2 [1]. Рассматриваемое ограждение выполняется из силикатных стеновых пустотелых блоков размером 300х198х130 мм с круглыми пустотами диаметром 36 мм (по 8 отверстий в каждом блоке).

Эквивалентная поверхностная плотность $m_э$ определяется по формуле

$m_э = K \times m,$, кг/м²

где m - поверхностная плотность, кг/м²,

К - коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью.

Для ограждающих конструкций из легких бетонов с круглыми пустотами коэффициент К принимается как произведение коэффициентов, определенных отдельно для сплошных конструкций из легких бетонов и конструкций с круглыми пустотами.

$K = K_1 \times K_2,$

Для ограждающих конструкций из железобетона и бетона с круглыми пустотами плотностью более 1800 кг/м^3 коэффициент K_1 следует определять по формуле (7) [1]:

$$K_1 = 1{,}5\sqrt[4]{\frac{J}{b\,h_{пр}^3}},$$

где J – момент инерции сечения в м^4;

b – ширина рассматриваемого сечения в м;

$h_{пр}$ – приведенная толщина сечения в м;

Для ограждающих конструкций из бетонов на пористых наполнителях и цементном вяжущем коэффициент K_2 следует определять по формуле (28) [2]:

$$K_2 = 2{,}26\sqrt{\frac{E}{\rho^3}},$$

где E – модуль упругости материала в кгс/м^2;

ρ – плотность материала в кг/м^3.

Расчет K_1

Рассматриваемый пустотный блок шириной 0,3 м, толщиной 0,13 м имеет 8 отверстий круглого сечения D=0,036 м. Два отверстия располагаются вдоль центральной оси блока (ось у), остальные - по 3 с каждой стороны, симметрично на расстоянии 0,028 м от оси (см. Приложение 1). Момент инерции сечения пустотного блока находим как разность моментов инерции прямоугольного сечения и восьми круглых пустот.

Момент инерции прямоугольного сечения шириной 0,3 м и толщиной 0,13 м относительно центральной оси у определяем по формуле:

$$j_{с.уе} = \frac{b_ч^3}{1} = \frac{0.3 \times 0.13^3}{2\ 1\ 2} = 5.5 \times 10^{-5}\ м^4.$$

Момент инерции круглого отверстия, расположенного посередине сечения на оси у, определяется по формуле:

$$j_{о.ут} = \frac{\pi r_в^4}{4} = \frac{3.1 \times \left(\frac{0.03}{2}\right)^4}{4} = 8.2 \times 10^{-8}\ м^4.$$

На оси у расположены 2 отверстия. Суммарный момент инерции двух отверстий определится: $j_{\Sigma 2.о.ут} = 2 \times 8{,}2 \times 10^{-8} = 1{,}6 \times 10^{-7}\ м^4.$

Момент инерции отверстия, сдвинутого относительно центральной оси, определяется по формуле: $j_{о.в.ут.в.е} = j_{о.ут} + S_{в.о.т} \times h_{2в}^2\ м^4.$

Где h_2 - расстояние между осями (центральной и параллельной, проходящей через центр отверстия).

$$j_{о.в.о.т.н} = j_{о.с.у.е.в.т} + \pi r_в^2 \times h_2^2 = 8.2 \times 10^{-8} + \frac{3.1\ (0.03)^2 \times 0.03^2}{4} = 8.7 \times 10^{-7}\ м^4.$$

Суммарный момент инерции 6 отверстий определится:

$$j_{\Sigma 6.о.в.т.ун.в.е} = 6 \times 8{,}7 \times 10^{-7} = 5{,}2 \times 10^{-6}\ м^4.$$

Суммарный момент инерции всех отверстий определится:

$$j_{\Sigma в.о.с.у.т.в.х} = 1{,}6 \times 10^{-7} + 5{,}2 \times 10^{-6} = 5{,}4 \times 10^{-6}\ м^4.$$

Момент инерции сечения с учетом отверстий:

$$j_{с.с.о.е} = j_{ст.у} - j_{\Sigma в.о.ч.у} = 5{,}5\times10^{-5} - 5{,}4\times10^{-6} = 4{,}9\times10^{-5} = 5{,}6\times10^{-5}\ м^4.$$

Определим приведенную толщину сечения.

Площадь сечения блока: $S_{с.е.ч} = 0{,}3\times0{,}1 = 0{,}03\ м^2$.

Площадь сечения одного отверстия диаметром 0,036 м:

$$S_{о.т} = \frac{\pi D^4}{4} = \frac{3.1\times0.04^4}{4} = 1.06\times10^{-3}\ м^2.$$

Для 8 отверстий: $S_{\Sigma о.т.в} = 8{,}1\times10^{-3}\ м^2$.

Площадь сечения без отверстий (приведенная): $S_{п.р} = 0{,}03 - 8{,}1\times10^{-3} = 0{,}03\times10^{-2}\ м^2$.

Приведенная толщина сечения: $h_{п.р} = \frac{S_{п.р}}{b} = \frac{3{,}0\times10^{-2}}{0.3} = 0{,}10\times0.12\ м$.

Тогда по формуле (7) [1]:

$$K_1 = 1{,}5\sqrt[4]{\frac{J}{b_{п.р}^3}} = 1{,}5\sqrt[4]{\frac{5\times10^{-5}}{0{,}3\times0{,}10^3}} = 1.5\sqrt[4]{0.13} = 1.5\times0.64 = 0.29.$$

Расчет K_2

Заказчиком задан средний модуль динамической упругости материала при нагрузке 2000 Н/м² - $E = 9.0\times10^9\ Па$, плотность материала - ρ =1700 кг/м³, толщина - $\delta = 0{,}13\ м$.

$$E = 9.0\times10^9\ Па = 9.0\times10^9\ Н/м^2 = 9{,}1\times10^8\ кг/м^2$$

$$K_2 = 2{,}2\sqrt{\frac{9{,}1\times10^8}{16\times10^3}} = 2{,}20\times0{,}46 = 0{,}99$$

Находим коэффициент К: $K = K_1\times K_2 = 0{,}99\times0{,}49 = 0{,}79$,

$$m_э = K\times m = K\times\rho\times\delta = 0{,}99\times1{,}01\times0{,}17 = 2{,}08\ кг/м^2.$$

Частотную характеристику (ЧХ) изоляции воздушного шума конструкцией ограждения определим графическим способом, изображая ее в виде ломаной линии ABCD по методике, рассмотренной в [1]. Начинаем строить линию с построения точки В.

Абсциссу точки В - f_B определяем по интерполяции по таблице 8 [1] по плотности материала конструкции 1700 кг/м³ и толщине 0,13 м.

$$f_B = 300\ Гц,\ h = 300\times0{,}01 = 0{,}32\ Гц.$$

Значение f_B следует округлять до среднегеометрической частоты, в пределах которой находится f_B по таблице 9 [1], получаем: $f_B = 250\ Гц$.

Ординату точки В - R_B определяем в зависимости от эквивалентной поверхностной плотности $m_э$ по формуле 5 [1]:

$$R_B = 20\times\lg m_э - 10 = 20\times\lg 2{,}2 - 10 = 20\times2{,}3 - 10 = 30{,}02 \approx 34{,}6$$

Значение R_B следует округлять до 0,5 дБ [1].

Т.о. получаем координаты точки В: (250 Гц, 34 дБ).

Построение ЧХ показано на графике (рис.2). Отмечаем точку В. Далее из точки В влево до 100 Гц проводим горизонтальный участок ВА, а вправо от точки В – отрезок ВС с подъемом 6 дБ на октаву до точки С с ординатой $R_C = 65$ дБ. Из точки С вправо проводится горизонтальный отрезок CD. Если точка С лежит за пределами нормируемого диапазона частот (f_C > 3150 Гц), отрезок CD отсутствует.

Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, ограждающей конструкцией с рассчитанной частотной характеристикой изоляции воздушного шума определяется путем сопоставления этой частотной характеристики с оценочной кривой, приведенной в таблице 4, п.1. [1]. Полученные величины изоляции воздушного шума приведены в таблице 1. Там же указана оценочная частотная характеристика и приведен расчет индекса изоляции воздушного шума R_w рассматриваемой конструкцией.

Для определения индекса изоляции воздушного шума R_w необходимо определить сумму неблагоприятных отклонений данной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считаются отклонения вниз от оценочной кривой [1]. При сравнении полученной ЧХ с оценочной (см. табл.1) видно, что сумма неблагоприятных отклонений значительно превышает 32 дБ.

Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, оценочная кривая смещается вниз на целое число децибел так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала указанную величину [1]. Необходимо сместить оценочную кривую на 7 дБ вниз, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала 32 дБ.

За величину индекса R_w принимается ордината смещенной оценочной кривой в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц [1].

Следовательно (см. табл.1), индекс изоляции воздушного шума рассматриваемой конструкцией ограждения составляет:

$R_W = 45$ дБ

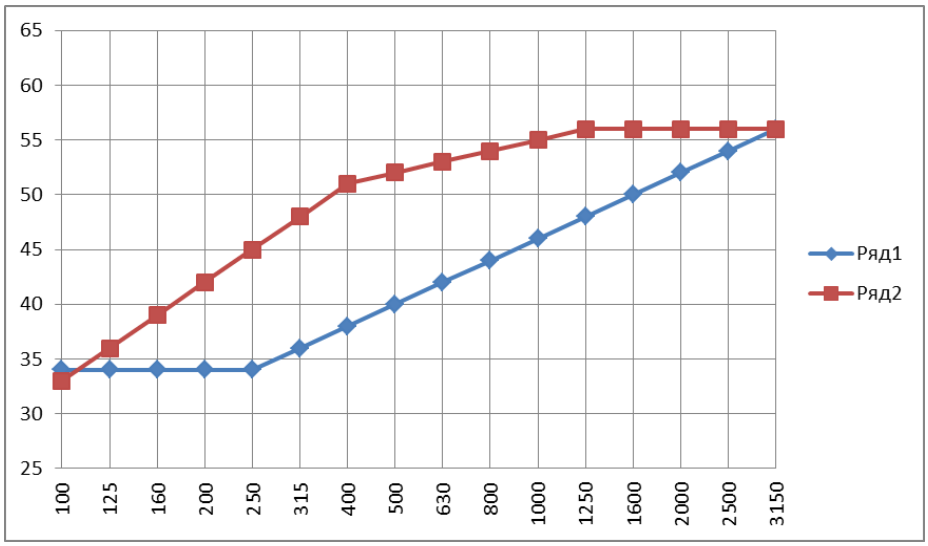


Рис. 2. Частотная характеристика воздушного шума конструкцией перегородки (ряд 1) и оценочная кривая (ряд 2)

№	ЧХ изоляции воздушного шума	Изоляция воздушного шума, дБ, Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц																Среднее неблагоприятное отклонение, дБ
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
1	Расчетная частотная характеристика R, дБ	34	34	34	34	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	
2	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
3	Неблагоприятные отклонения, дБ	-	2	5	8	11	12	13	12	11	10	9	8	6	4	2	-	113>32
4	Оценочная кривая, смещенная вниз на 7 дБ, дБ	26	29	32	35	38	41	44	45	46	47	48	49	49	49	49	49	
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ	-	-	-	1	4	5	6	5	4	3	2	1	-	-	-	-	31<32
6	Индекс изоляции воздушного шума Rw, дБ								45									

Таблица 1. Частотная характеристика изоляции воздушного шума рассматриваемой конструкцией ограждения и расчет индекса изоляции воздушного шума R_w

Вывод: расчетный индекс изоляции воздушного шума перегородкой из силикатных стеновых пустотелых блоков размером 300х198х130 мм, с круглыми пустотами диаметром 36 мм (по 8 отверстий в каждом блоке), с плотностью материала ρ=1700 кг/м³, при заданном среднем модуле динамической упругости материала при нагрузке 2000 Н/м² - $E = 9.0 \times 10^{8} П$ равен $R_w = 45 дБ$

– Расчет среднего модуля динамической упругости материала при известном индексе изоляции воздушного шума

Нужно совершить обратный расчет для определения среднего модуля динамической упругости материала при известном индексе изоляции воздушного шума $R_w = 52 дБ$, конструкция та же, основные параметры те же. Заполним таблицу 2.

Таблица 2. Построение частотной характеристики по заданному индексу $R_w = 52 дБ$

№	ЧХ изоляции воздушного шума	Изоляция воздушного шума, дБ, Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц																Среднее неблагоприятное отклонение, дБ
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
1	Расчетная частотная характеристика R, дБ	41	41	41	41	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	
2	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
3	Неблагоприятные отклонения, дБ	-	2	5	8	11	12	13	12	11	10	9	8	6	4	2	-	113>32
4	Оценочная кривая, смещенная вниз на 7 дБ, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ	-	-	-	1	4	5	6	5	4	3	2	1	-	-	-	-	31<32
6	Индекс изоляции воздушного шума Rw, дБ								52									

Из таблицы 2 получим значение $R_в = 41$ дБ, взяв его из частотной характеристики R при $f_в = 250$ Гц.

По формуле 5 [1] зная $R_в$, определим $m_э$:

$$m_э = \frac{20}{R_в + 1} = \frac{20}{2} = 2{,}6 \text{ кг/м}^2,$$

$$m_э = 45 \text{ кг/м}^2.$$

Находим коэффициент К: $K = \frac{m_э}{\rho \times \delta} = \frac{45}{1700 \times 0{,}10} = 2{,}0$

Определим коэффициент K_2, который зависит от искомой величины модуля упругости материала. $K_2 = \frac{K}{K_1} = \frac{2{,}0}{0{,}9} = \frac{4}{4} = 2{,}1$

Найдём модуль упругости материала по формуле (28) [2]:

$$E = \left(\frac{K_2}{2{,}2}\right)^2 \times 10^3 = \left(\frac{2{,}1}{2{,}2}\right)^2 \times 10^3 = 0{,}7^2 \times 10^3 = 0{,}49 \times 10^3 = 490 \text{ кг/м}^2$$

$$E = 4{,}2 \times 10^8 \text{ кг/м}^2 = 4{,}2 \times 10^9 \text{ Па}$$

Вывод: для заданного индекса изоляции воздушного шума $R_w = 52$ дБ определен средний модуль динамической упругости материала $E = 4{,}2 \times 10^8 \text{ кг/м}^2 = 4{,}2 \times 10^9$ Па.

По проделанной работе можно сделать следующие выводы и комментарии:

- Расчетный индекс изоляции воздушного шума перегородкой из силикатных стеновых пустотелых блоков размером 300х198х130 мм, с круглыми пустотами диаметром 36 мм (по 8 отверстий в каждом блоке), с плотностью материала ρ=1700 кг/м³, при заданном среднем модуле динамической упругости материала при нагрузке 2000 Н/м² - $E = 9.0 \times 10^9$ Па равен $R_w = 45$ дБ.
- Для заданного индекса изоляции воздушного шума $R_w = 52$ дБ определен средний модуль динамической упругости данного материала $E = 4{,}2 \times 10^8 \text{ кг/м}^2 = 4{,}2 \times 10^9$ Па.
- При расчете коэффициент К в принципе подсчитывать не следует. Учет коэффициента К дает здесь погрешность меньше 1 дБ, что практически не влияет на конечный результат (реальная погрешность между расчетом и измерением ± 10 дБ). Действительно, с учетом этого коэффициента и без учета имеем

$$m_э = K \times m = K \times \rho \times \delta = 0{,}9 \times 1700 \times 0{,}12 = 184 \text{ кг/м}^2,$$

$$m = \rho \times \delta = 1700 \times 0{,}12 = 204 \text{ кг/м}^2$$

а далее имеем:

$$R_{вэ} = 20 \times \lg m_э - 12 = 20 \times \lg 184 - 12 = 20 \times 2{,}26 - 12 = 33{,}2 \approx 33 \text{ дБ}, \text{ и}$$

$R_B = 2 \times 1\ m - g = 2 \times 122\ g - 1 = 2 \times 223 - 1 = 34{,}8 \approx 34$ дБ.

Разница малая – расчетные и экспериментальные данные имеют гораздо большую величину погрешности (реально порядка ± 10 дБ).

- Определение звукоизоляции осуществляется методом расчета ожидаемой шумности или методом нормируемых параметров. В любом случае определения речь идет о преграде площадью не менее 9-10 $м^2$ (см., например, ISO 140). Только тогда величина звукоизоляции не зависит от величины площади преграды. А иначе очень сильно зависит. Поэтому «изоляция воздушного шума нормальной перегородки из тысячи блоков» и «изоляции воздушного шума отдельного маленького блока-кирпичика, из которых сделана эта перегородка» − это две большие разницы. Таким образом, для оценки звукоизоляции перегородки нужна сама перегородка, сделанная по определенной технологии из большого числа блоков-кирпичиков, и площадь которой не менее 9-10 $м^2$. Только тогда расчет звукоизоляции имеет практический смысл.
- Частотную характеристику звукоизоляции перегородкой из блоков силикатных стеновых пустотелых следует иметь путем измерения в натурных условиям по ГОСТ 27296-87 «Звукоизоляция ограждающих конструкций. Методы измерения».
- Определение звукоизоляции расчетом методом ожидаемой шумности или методом нормируемых параметров проводится для сравнительных оценок. Абсолютные оценки остаются исключительно за измерениями.

Список литературы

- СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».- М.: Госстрой России. ФГУП ЦПП. 2004 г.;
- СНиП II-12-77 «Защита от шума».- М.: Стройиздат, 1978 г.;
- СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».- М.: Госстрой России. ФГУП ЦПП. 2004 г;
- Боголепов И.И. «Строительная акустика». СПб, Издательство Политехнического университета, 2006;
- Боголепов И.И., Лапшина О.В., Окладникова О.Н. «О повышении надежности звукоизоляции инженерных систем и строительных конструкций». Инженерные системы АВОК – Северо-Запад.. Научно-технический журнал. № 1 (33), 2008;
- Боголепов И.И., Гладких А.А. «Акустический расчет системы вентиляции и кондиционирования в современных зданиях». Инженерно-строительный журнал, №5, 2009, http://www.engstroy.spb.ru/index_2009_05/bogolepov.html;
- Боголепов И.И. «Современные способы борьбы с шумом в зданиях и на селитебных территориях». Инженерно-строительный журнал, №1, 2009.

Обзор эффективности звукоподавляющих облегчённых структурированных панелей (ЗОСП)

Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В., Мурзинов Ю.В.
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
dr.murzinov@yandex.ru

Одним из современных средств защиты от шума в настоящее время являются звукозащитные панели, сочетающие в себе свойства звукоизоляции и звукопоглощения. Такие панели находят применение в различных областях техносферы, защищая коллективы людей от шума на пути его распространения от источника [1]. Для звукозащитных панелей наряду с акустическими характеристиками: звукоизоляция, коэффициент звукопоглощения, не менее важным показателем является поверхностная плотность [2]. Этот показатель имеет большое значение при расчете полезной нагрузки, например, в самолетах, автомобилях, в космических пилотируемых аппаратах.

В настоящее время существует множество звукозащитных материалов и конструкций, что создает представление о том, что их параметры охватывают широкий диапазон изменения своих величин, таких как, звукоизоляция, коэффициент звукопоглощения, поверхностная плотность. Создается впечатление, что можно найти звукозащитную панель с любым сочетанием конструктивных и акустических характеристик. Однако анализ величин параметров звукозащитных материалов и конструкций показывает, что в настоящее время отсутствуют звукозащитные панели с жестким каркасом и мягким наполнителем и панели с жесткой структурой, поверхностная плотность которых не превышает $2\ \hat{e}\tilde{a}/\grave{i}^{\ 2}$.

Таблица 1

Коэффициент эффективности звукоизоляции.
Звукозащитные панели с мягкой структурой

		Поверхностная плотность панели M_P, кг/м^2					
		250÷50		49,9÷2		1,9÷0,1	
			K_R		K_R		K_R
Звукоизоляция	**60÷51**	–	–	–	–	–	–
	50÷41	–	–	а) Материал АТМ	**10,8**	–	–
				б) Rockwool Marine Slab 80	**1,87**		
	40÷31	–	–	а) ПЕНОФОЛ	**8,53**	–	–
				б) Изоком ППИ-П	**8,16**		
	30÷21	–	–	а) ПЕНОПЛЕКС	**7,54**	–	–

R, дБА				б) ПОЛИФОМ	**8,33**		
				в) СТЕНОФОН 290	**6,36**		
				г) ЭНЕРГОФЛЕКС	**3,67**		
				д) Rockwool Inexa Panel AG	**1,01**		
	20÷11	–	–	–	–	а) Плиты ИЗОВЕР	**14,78**
						б) ИЗОЛОН (ППЭ 3004)	**15,00**
	10÷0	–	–	Пенополистирол ПСБ-С	**3,82**	а) Павинол ПА-2	**27,03**
						б) Плита URSA GLASS-WOOL П-20	**12,00**

Это достаточно наглядно показано в табл.1 ÷ табл.6, где представлены коэффициенты эффективности звукоизоляции и звукопоглощения современных материалов и конструкций звукозащитных панелей.

Коэффициент эффективности звукоизоляции представляет собой отношение собственной звукоизоляции панели к её поверхностной плотности

$$K_R = \frac{R}{M_P} \qquad (1)$$

где R – собственная звукоизоляция панели, *дБА*; M_P – поверхностная плотность панели, $\hat{e}\tilde{a}/\grave{i}^2$.

Коэффициент эффективности звукопоглощения так же представляет собой отношение среднего коэффициента звукопоглощения панели к её поверхностной плотности

$$K_\alpha = \frac{\alpha}{M_P}, \qquad (2)$$

где α – средний коэффициент звукопоглощения, который может быть определен в соответствии с нормативным документом ATSM 423-90a (США), согласно которому ищется среднее арифметическое значение коэффициентов звукопоглощения для частот 250, 500, 1000 и 2000 Гц.

Таблица 2

Коэффициент эффективности звукоизоляции.
Звукозащитные панели с жестким каркасом и мягким наполнителем

		Поверхностная плотность панели M_P, кг/м^2					
		250÷50		49,9÷2		1,9÷0,1	
			K_R		K_R		K_R
Звукоизоляция	**60÷51**	Плита ДВП/ Базальтовое волокно/ ДВП	**1,18**	а) Marine Firebatts 130/ Стальной лист	**1,7**	–	–
				б) Обшивка БСТВ-30/ Металлический лист	**11,6**		
	50÷41	–	–			–	–
	40÷31	–	–	а) Термопанель ПСБ	**1,03**	–	–
				б) Фанера/ ПХВ-1-85/ Фанера	**10,26**		

R, дБА				в) Павинол ПА-4/ ППУ-Э-35-0,8А/ Фанера/ ПХВ-1-85/ Фанера/ ППУ-Э-35-0,8А/ Павинол ПА-4	**9,8**		
				г) Металлический лист/ ППУ-30-8Н-60	**8,33**		
	30÷21	–	–	–	–	–	–
	20÷11	–	–	а) Акустическая панель (СВАП)	**0,45**	–	–
				б) Панельная система (ЗИПС)	**0,31**		
	10÷0	–	–	–	–	–	–

Наиболее эффективным звукозащитным материалом с мягкой структурой является Павинол ПА-2. Среди звукозащитных панелей с жестким каркасом и мягким наполнителем наиболее эффективным является авиационная обшивка «БСТВ-30 / металлический лист» и наиболее эффективные звукозащитные панели с жесткой структурой – это сотовый поликарбонат.

Таблица 3

Коэффициент эффективности звукоизоляции.
Звукозащитные панели с жесткой структурой

		Поверхностная плотность панели M_P, кг/м^2					
		250÷50		49,9÷2		1,9÷0,1	
			K_R		K_R		K_R
Звукоизоляция ***R, дБА***	**60÷51**	а) Кирпичная стена	**0,24**	–	–	–	–
		б) Железобетонный блок	**0,15**				
	50÷41	–	–	–	–	–	–
	40÷31	–	–	ДСтП	**2,82**	–	–
	30÷21	–	–	Листовой поликарбонат	**5,63**	Сотовый поликарбонат	**20,45**
	20÷11	–	–	а) Фанера	**1,25**	–	–
				б) Сталь	**1,2**		
	10÷0	–	–	Пенопласт	**3,8**	–	–

Таблица 4

Коэффициент эффективности звукопоглощения.
Звукозащитные панели с мягкой структурой

		Поверхностная плотность панели M_P, кг/м^2					
		250÷50		49,9÷2		1,9÷0,1	
			K_α		K_α		K_α
Коэффициент звукоп	**1,00-0,81**	–	–	а) Базальтовое волокно (БСТВ)	**0,354**	а) Плита URSA GLASSWOOL П-20	**1,213**
				б) Плита ШУМАНЕТ-БМ	**0,45**	б) Материал АА 25 SMT	**0,896**
				в) Rockwool Marine Slab 80	**0,034**		
	0,80-0,61	–	–	Стекловата	**0,067**	–	–

ог ло щ ен ия ***α***	**0,60- -0,41**	–	–	Материал АТМ	**0,12**	а) Базальтовый картон (БВТМ-К)	**1,125**
						б) Плита мягкая (БВТМ-ПМ)	**1,5**
						в) Изолон (ППЭ 3004)	**0,375**
						г) Поролон	**0,77**
	0,40- -0,21	–	–	–	–	–	–
	0,20- -0,00	–	–	Пенополистирол ПСБ-С	**0,008**	Павинол ПА-2	**0,27**

С позиции звукопоглощения наиболее эффективными являются пористо-волокнистые материалы. Их звукопоглощающие свойства возрастают с увеличением толщины, что приводит к увеличению поверхностной плотности. Резонансные поглотители имеют постоянный коэффициент звукопоглощения, но обладают большой массой конструкции, что нежелательно в ряде задач авиастроения, автомобилестроения, судостроения и т.д.

Таблица 5

Коэффициент эффективности звукопоглощения. Звукозащитные панели с жестким каркасом и мягким наполнителем

		Поверхностная плотность панели M_P, кг/м^2					
		250÷50		49,9÷2		1,9÷0,1	
			K_α		K_α		K_α
Коэффициент звукопоглощения ***α***	**1,00- -0,81**	–	–	–	–	Плита ШУМАНЕТ-СК	**0,6**
	0,80- -0,61	–	–	Marine Firebatts 130/ Стальной лист	**0,021**	–	–
	0,60- -0,41	–	–	Обшивка БСТВ-30/ Металлический лист	**0,12**	–	–
	0,40- -0,21	–	–	Металлический лист/ ППУ-30-8Н-60	**0,07**	–	–
	0,20- -0,00	–	–	Фанера/ ПВХ-1-85/ Фанера	**0,05**	–	–

Таблица 6

Звукозащитные панели с жесткой структурой. Коэффициент звукопоглощения

		Поверхностная плотность панели M_P, кг/м^2					
		250÷50		49,9÷2		1,9÷0,1	
			K_α		K_α		K_α
Коэффициент звукопоглогло-	**1,00- -0,81**	–	–	–	–	–	–
	0,80- -0,61	–	–	–	–	–	–
	0,60- -0,41	–	–	ДСтП	**0,044**	–	–

щения α	**0,40--0,21**	–	–	Фанера	**0,036**	–	–
	0,20--0,00	–	–	а) Сталь	**0,00064**	–	–
				б) Пенопласт –	**0,008**		

Исходя из табл.4 ÷табл.6 наиболее эффективной является Плита мягкая БВТМ-ПМ. Однако эта плита может быть использована только как наполнитель для звукозащитных конструкций. что касается панелей с жестким каркасом и мягким наполнителем и панелей с жесткой структурой, то такие конструкции с поверхностной плотностью менее 2 $\hat{e}\tilde{a}/\grave{i}^{2}$ отсутствуют.

Авторами была разработана звукоподавляющая облегченная структурированная панель (ЗОСП) [3, 4] (рис.1), поверхностная плотность которой не превышает 2 $\hat{e}\tilde{a}/\grave{i}^{2}$. Данная панель была применена для снижения аэродинамического шума в устройствах транспортирования на воздушной подушке – пневмоконвейерах, в офисных помещениях проектных организаций г. Воронежа для создания комфортных условий работы, на предприятии ОАО ХК «Мебель Черноземья» для экранирования шума работающего оборудования.

ЗОСП обладает выраженными свойствами звукоизоляции и звукопоглощения, благодаря особенностям конструктивного исполнения. Подавление интенсивности звуковых волн и их отражение осуществляется двумя физическими процессами: демпфированием [5] колебаний плоских элементов ЗОСП окружающим воздухом и организацией внутри ЗОСП встречных звуковых потоков с противофазой [6].

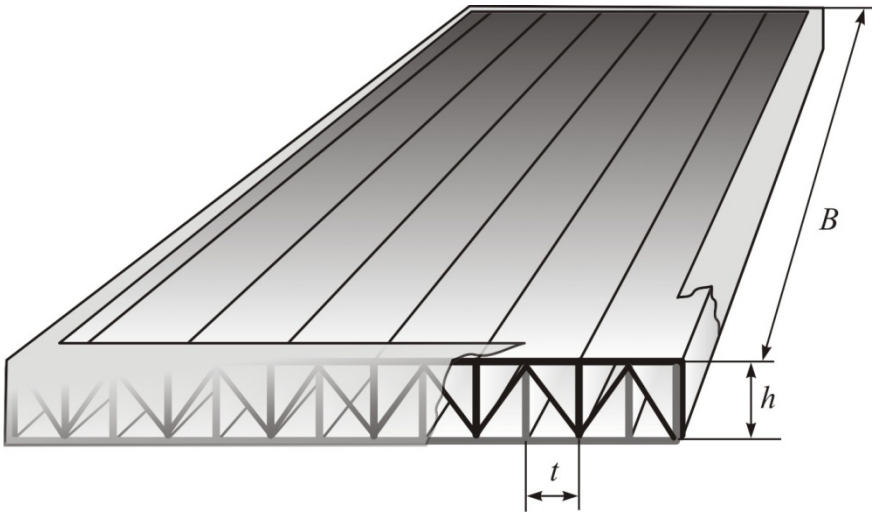


Рис.1. Внешний вид ЗОСП

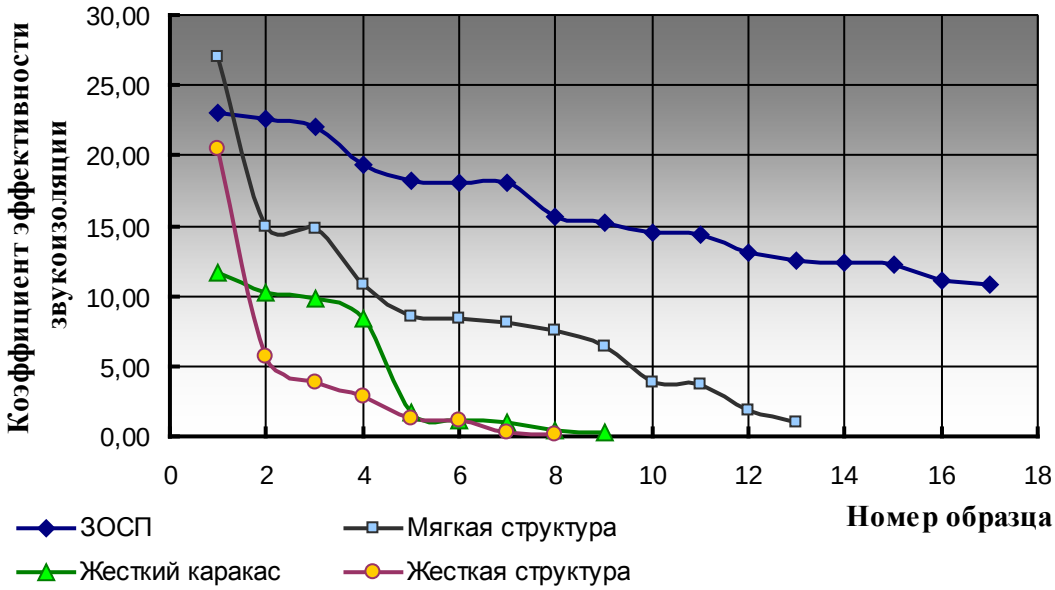


Рис.2. Коэффициент эффективности звукоизоляции для различных групп звукозащитных материалов, панелей и ЗОСП.

Таблица 7

Номера образцов материалов, панелей и ЗОСП.

Сравнение по коэффициенту эффективности звукоизоляции

№ об-разца	Мягкий материал	Панели с жест-ким каркасом и мягким наполни-телем	Панели с же-сткой структу-рой	ЗОСП
1	Павинол ПА-2	Обшивка БСТВ-30/металлический лист	Сотовый поли-карбонат	ЗОСП-6
2	ИЗОЛОН ППЭ 3004	Фанера/ПХВ-1-85/фанера	Листовой моно-литный поликар-бонат	ЗОСП-7
3	Плиты ИЗОВЕРКЛ 34	Павинол ПА-4/ППУ-Э-35-0,8А/фанера/ПХВ-1-85/фанера/ППУ-Э-35-0,8А/павинол ПА-4	Пенопласт	ЗОСП-4
4	Теплозвукоизоляци-онный материал АТМ-1	Металлический лист/ППУ-30-8Н-60	ДСтП	ЗОСП-5
5	ПЕНОФОЛ	Marine Firebatts 130/стальной лист	Фанера	ЗОСП-5/75
6	ПОЛИФОМ	Плита ДВП/базальтовое	Сталь	ЗОСП-5/60

№ об-разца	Мягкий материал	Панели с жестким каркасом и мягким наполнителем	Панели с жесткой структурой	ЗОСП
		волокно/плита ДВП		
7	Изоком ППИ-П	Термопанель ПСБ	Кирпичная стена	ЗОСП-1
8	ПЕНОПЛЕКС	Слоистая виброакустическая панель СВАП	Железобенонный блок	ЗОСП-3/2
9	СТЕНОФОН 290	Звукоизоляционная панельная система ЗИПС		ЗОСП-5/45
10	Пенополистерол ПСБ-С (пенопласт)			ЗОСП-6/45
11	ЭНЕРГОФЛЕКС			ЗОСП-6/30
12	Rockwool Marine Slab 80			ЗОСП-2
13	Rockwool-Inexa Panel AG			ЗОСП-3/1
14				ЗОСП-6/60
15				ЗОСП-8
16				ЗОСП-6/75
17				ЗОСП-5/30

Свои функции ЗОСП реализует только при сохранении конструктивной целостности панели. Однако эффективность звукоподавления панелями тем выше, чем меньше толщина листового материала, используемого для их изготовления. Но уменьшение толщины плоских элементов пластины может привести к деформации самой конструкции ЗОСП, т.е. к потере конструктивной целостности.

Эффективность (ЗОСП) оценивалась по измеренным акустическим характеристикам, таким как звукоизоляция и коэффициент звукопоглощения и сравнивалась с акустическими показателями современных звукозащитных материалов и панелей, которые представлены выше.

Был проведен сравнительный анализ эффективности современных звукозащитных материалов, панелей и ЗОСП, для которых были определены коэффициенты K_R и K_α. Результаты сравнения показаны на рис.2 и рис.3. Эффективность звукоизоляции ЗОСП в сравнении с современными звукозащитными панелями с жестким каркасом и жесткой структурой выше, благодаря тому, что ЗОСП обладает малой поверхностной плотностью. При этом ЗОСП обладает структурной устойчивостью, что обеспечивает

удобство монтажа и использования, как самостоятельного элемента, так и в качестве наполнителя для различных звукозащитных конструкций. Наименование материалов и панелей, которые использовались для составления графика (рис.2) показаны в табл.7 и табл.8.

Таблица 8

Технические характеристики ЗОСП.
Коэффициент эффективности звукоизоляции.

№ образца	ЗОСП, модификация	Толщина ЗОСП, *м*	Поверхностная плотность, *кг/м²*	Экспериментальные значения собственной звукоизоляции, *дБ(А)*	Коэффициент эффективности звукоизоляции, *дБ(А)/(кг/м²)*
-	ЗОСП-6	0.016	0,428	9,88	23,076
-	ЗОСП-7	0.036	0,479	10,86	22,674
-	ЗОСП-4	0.030	0,754	16,67	22,095
-	ЗОСП-5	0.016	0,481	9,31	19,355
-	ЗОСП-5/75	0.016	0,514	9,34	18,164
-	ЗОСП-5/60	0.016	0,474	8,55	18,045
-	ЗОСП-1	0.030	1,145	20,61	18,007
-	ЗОСП-3/2	0.030	1,423	22,32	15,685
-	ЗОСП-5/45	0.016	0,575	8,74	15,191
-	ЗОСП-6/45	0.016	0,628	9,14	14,561
-	ЗОСП-6/30	0.016	0,787	11,30	14,351
-	ЗОСП-2	0.034	1,372	18,02	13,139
-	ЗОСП-3/1	0.015	0,909	11,43	12,577
-	ЗОСП-6/60	0.016	0,504	6,25	12,392
-	ЗОСП-8	0.036	0,726	8,86	12,209
-	ЗОСП-6/75	0.016	0,515	5,68	11,024
-	ЗОСП-5/30	0.016	0,817	8,84	10,819

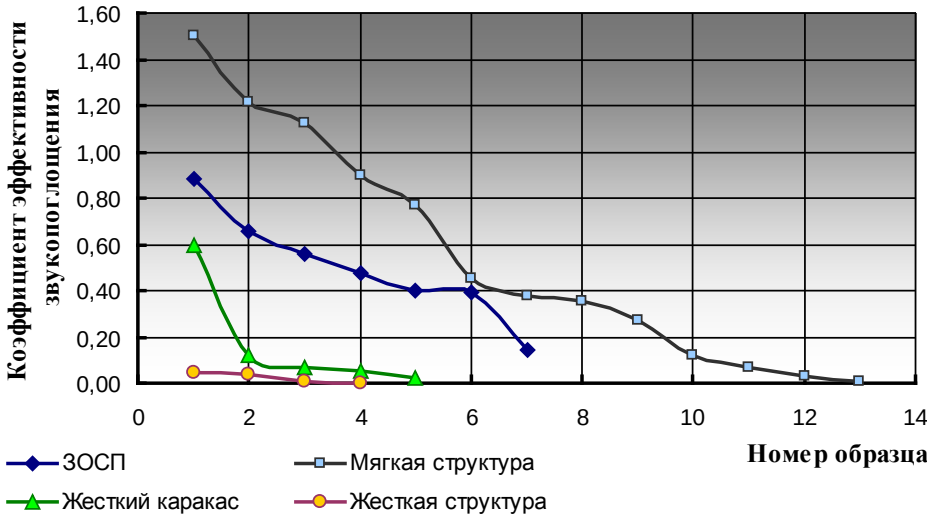


Рис.3. Коэффициент эффективности звукопоглощения для различных групп звукозащитных материалов, панелей и ЗОСП.

Таблица 9

Номера образцов материалов, панелей и ЗОСП.
Сравнение по коэффициенту эффективности звукопоглощения.

Номер образца	Мягкий материал	Панели с жестким каркасом и мягким наполнителем	Панели с жесткой структурой	ЗОСП
1	Плита магкая БВТМ-ПМ	Звукопоглощающая плита ШУМАНЕТ-СК	ДСтП	ЗОСП-5/45
2	Плиты URSA GLASSWOOL П-20	Обшивка БСТВ-30/металлический лист	Фанера	ЗОСП-5/30
3	Базальтовый картон БВТМ-К	Металлический лист/ППУ-30-8Н-60	Пенопласт	ЗОСП-3/1
4	Звукопоглощающий материал АА 25 SMT	Фанера/ПХВ-1-85/фанера	Сталь	ЗОСП-1
5	Поролон	Marine Firebatts 130/стальной лист		ЗОСП-3/2
6	Звукопоглощающая плита ШУМАНЕТ-БМ			ЗОСП-2
7	ИЗОЛОН ППЭ 3004			ЗОСП-8
8	Базальтовое супертонкое волокно БСТВ			
9	Павинол ПА-2			
10	Теплозвукоизоляционный материал АТМ-1			
11	Стекловата			
12	Rockwool Marine Slab 80			
13	Пенополистерол ПСБ-С (пенопласт)			

На рис.3 показан результат анализа эффективность звукопоглощения для современных звукозащитных материалов, панелей и ЗОСП. Наиболее эффективными в настоящее время являются мягкие звукозащитные материалы, обладающие не высокой поверхностной плотностью и высоким значением коэффициента звукопоглощения.

Однако ЗОСП по сравнению со звукозащитными панелями с жестким каркасом и жёсткой структурой более эффективны. Наименование материалов и панелей, параметры которых представлены на графике (рис.3) показаны в табл.9 и табл.10

Таблица 10

Технические характеристики ЗОСП.
Коэффициент эффективности звукопоглощения.

№ образца	ЗОСП, модификация	Толщина ЗОСП, *м*	Поверхностная плотность, *кг/м²*	Экспериментальные средние значения коэффициента звукопоглощения	Коэффициент эффективности звукопоглощения, *1/(кг/м²)*
1.	ЗОСП-5/45	0.016	0,575	0.51	0,88
2.	ЗОСП-5/30	0.016	0,817	0.54	0,66
3.	ЗОСП-3/1	0.015	0,909	0.51	0,56
4.	ЗОСП-1	0.030	1,145	0.54	0,47
5.	ЗОСП-3/2	0.030	1,423	0.57	0,40
6.	ЗОСП-2	0.034	1,372	0.54	0,39
7.	ЗОСП-8	0.036	0,726	0.1	0,14

Таблица 11

Минимально допустимые толщины листовых материалов
для изготовления ЗОСП

Наименование листового материала	Плотность листового материала, *кг/м³*	Модуль Юнга для листового материала, *Н/м²*	Коэффициент Пуассона	Толщина ЗОСП, *м*	Толщина листового материала, *м*
Сталь	7800	$2{,}1\cdot10^{11}$	0,28	0,03	$7{,}10\cdot10^{-5}$
Алюминиевый сплав	2800	$7{,}0\cdot10^{10}$	0,33	0,03	$7{,}30\cdot10^{-5}$
Шпон деревянный	680	$1{,}4\cdot10^{10}$	0,34	0,03	$8{,}00\cdot10^{-5}$
Бумага обойная	620	$6{,}4\cdot10^{9}$	0,34	0,03	$1{,}13\cdot10^{-4}$
Ватман	780	$6{,}4\cdot10^{9}$	0,34	0,03	$1{,}27\cdot10^{-4}$
Бумага писчая	800	$6{,}4\cdot10^{9}$	0,34	0,03	$1{,}28\cdot10^{-4}$
Фанера	800	$3{,}4\cdot10^{9}$	0,37	0,03	$1{,}74\cdot10^{-4}$
Полистирол	1250	$5{,}0\cdot10^{9}$	0,30	0,03	$1{,}84\cdot10^{-4}$
Картон	800	$2{,}1\cdot10^{9}$	0,34	0,03	$2{,}24\cdot10^{-4}$
Плексиглас	1200	$3{,}1\cdot10^{9}$	0,31	0,03	$2{,}28\cdot10^{-4}$

Материалы для изготовления ЗОСП должны обладать упругими свойствами, иметь большой коэффициент потерь, хорошо обрабатываться механическими способами и т.д. Некоторые из этих материалов показаны в табл.11, в которой представлены минимально возможные величины толщин листовых материалов, которые могут быть использованы для изготовления ЗОСП, имеющей толщину 0.03 м. Для определения толщины исходного листового материала ЗОСП различных размеров применима формула

(3) [2]. При этом вычисленная толщина материала обеспечивает гарантированную пространственную жесткость ЗОСП.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2}\frac{\left(1-\sigma^2\right)B^2\rho_1 g\sqrt{h+t}}{E}\left[2.6 \quad n+\frac{1}{2}\right]\sqrt{2}}, \qquad (3)$$

где B – протяженность листовых элементов; δ – толщина листовых элементов; ρ_1 – плотность материала листовых элементов; g – ускорение свободного падения; h – толщина панели; t – шаг между выступами; n – определяется количеством выступов минус единица; E – модуль Юнга; σ – коэффициент Пуассона.

Анализ показал, что эффективность ЗОСП по звукоизоляционным свойствам превосходит современные материалы, кроме сотового поликарбоната. С позиции звукопоглощения, ЗОСП несколько уступает мягким материалам, но значительно превосходит существующие звукозащитные конструкции.

Литература

- Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. – М.: Логос, 2007. – 423 с.
- Мурзинов П.В. Оптимизация толщины листового материала звукоподавляющих облегченных структурированных панелей (ЗОСП) // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 5. – С. 30 – 33.
- Патент 96884 РФ, МПК[7] E04B 1/82, E04C 2/36. Звукоподавляющая структурированная панель / П.В. Мурзинов. – Опубл. 20.08.2010. – Бюл. №23.
- Патент 99798 РФ, МПК[7] E04B 1/82, E04C 2/36. Звукоподавляющая структурированная панель / П.В. Мурзинов. – Опубл. 27.11.2010. – Бюл. №33.
- Мурзинов П.В. Методика выбора листовых материалов для высокоэффективных звукозащитных панелей // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – №3. – С.20-23.
- Мурзинов П.В. Математическая модель звукоизоляции звукоподавляющих облегченных структурированных панелей (ЗОСП) // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 3. – С.40-43.

Ослабление звука, проходящего через вакуумированную перегородку

Парахин Д.В., Тюрин А.П.
Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
leon981@rambler.ru

Объект исследования данной статьи относится к области исследования звукоизоляции вакуумированной сотовой конструкции в зависимости от величины вакуумметрического давления внутри нее. Известно, что оценка этой величины в различных октавных полосах для классических шумозащитных материалов с плотной внутренней структурой является обычной инженерной задачей. Но для случая вакуумированных пустотелых конструкций подобная задача представляет как теоретическую, так и практическую ценность при разработанной технологии их изготовления. Один из способов вычисления кривой звукоизоляции материалов в непрерывном виде реализуется с использованием методов вычислительного эксперимента в мощных и дорогостоящих математических пакетах, как, например, Actran, LMS Acoustic и других.

Существующие в настоящее время методы определения коэффициента звукоизоляции (коэффициент потери при передаче звука) шумозащитных материалов в реверберационных камерах основаны на обработке акустических сигналов, создаваемых с помощью громкоговорителей в диапазоне частот 100–5000 Гц. Для этой цели используются две смежные малые реверберационные камеры [1], в каждой из которых существуют датчики измерения звука, а в одной из камер находится генератор сигналов. С помощью генератора сигналов через персональный компьютер в течение определенного времени в испытательной камере возбуждается тестовый сигнал специальной природы. Это может быть детерминированный (последовательность максимальной длины, воющий тон) или недетерминированный сигналы (белый широкополосный шум). Постановка задачи в данном исследовании заключается в том, что многократно возбуждаемый воющий тон проходит через вакуумированную сотовую конструкцию, вакуумметрическое давление в которой постепенно снижается в течение длительного времени наблюдения. Регистрация снижения давления, то есть показаний электронного вакуумметра ПРОМА-ИДМ(В) [2] осуществляется с помощью специальной вебкамеры Genius Messenger 310 и сохраняется в видео формате .avi. Затем источник тестового сигнала выключается, и из запи-

санных звуковых и видеосигналов извлекается необходимая информация по изменению снижения вакуумметрического давления и уровня звукового давления (некорректированного по шкале «А») точках измерения, по которой строятся необходимые графики.

Теоретически, при падении звуковых волн с интенсивностью $I_{пад}$ на какую-либо перегородку больших размеров по сравнению с длиной звуковой волны интенсивность их с другой стороны перегородки $I_{пр}$ в отсутствие отражения звука в другом помещении будет определяться только проводимостью перегородки. Эта проводимость характеризуется коэффициентом звукопроводности [3]:

$$\alpha_{пр} = I_{пр} / I_{пад}. \quad (1)$$

или звукоизоляцией перегородки в децибелах:

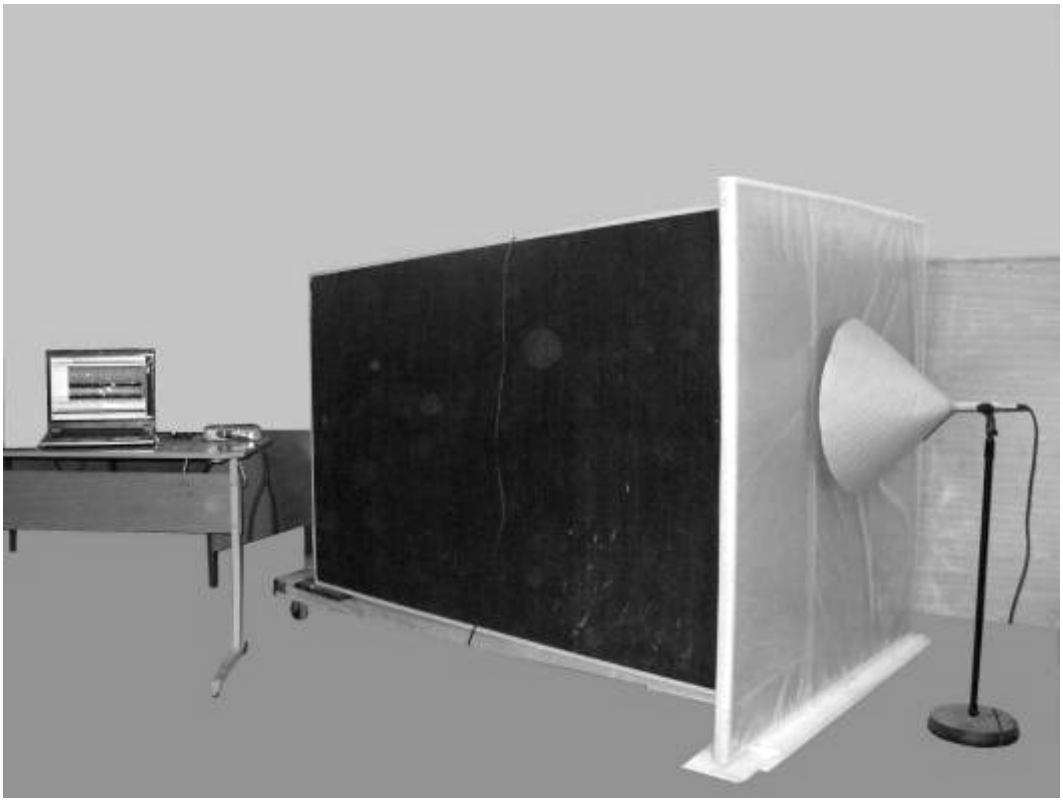
$$Q_п = 1 \lg \frac{1}{\alpha_п} = 1 \lg \frac{I_п}{I_п} = L_п^д - L_{пд}, \quad (2)$$

где $L_{пад}$ и $L_{пр}$ – уровни интенсивности звуковых волн, падающих на перегородку и прошедших через нее.

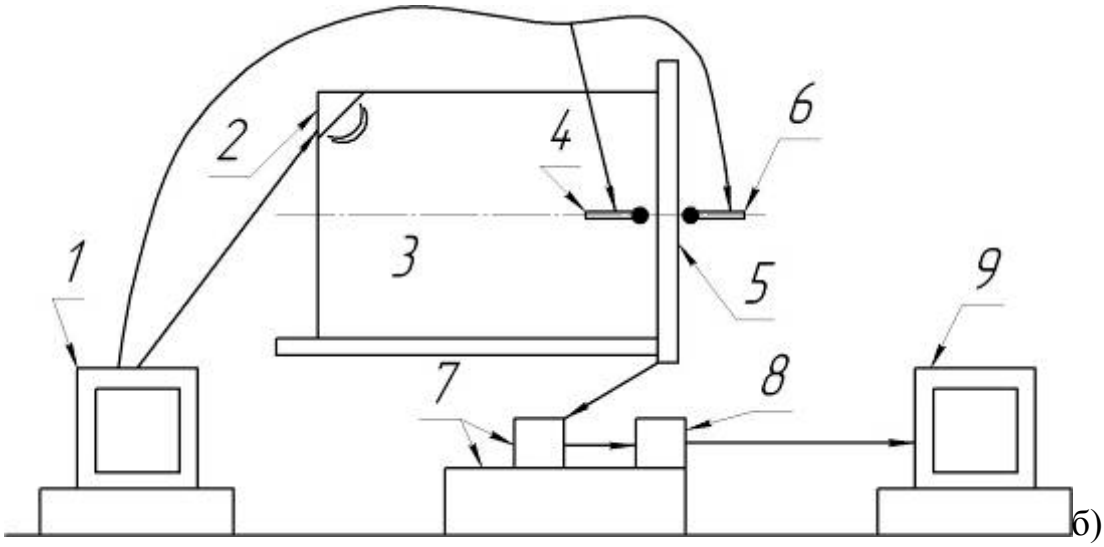
Как показали результаты экспериментов [4, 5] вакуумирование сотовых конструкций оказывает влияние на их звукопоглощение. Наибольшая величина звукопоглощения, выше, чем у невакуумированных конструкций, наблюдается при вакуумметрическом давлении 0,65 кПа при воздействии на них звукового импульса. Данное исследование направлено на выяснение закономерности изменения звукоизоляции при установленном законе снижения вакуумметрического давления внутри конструкции с течением времени.

Влияние степени разреженности на звуковую изоляцию вакуумированных сотовых конструкций исследовалось с использованием образца [5, рис. 1], выполненного из полиэтилентерефталатной пленки толщиной 300 мкм. В качестве внешней оболочки конструкции используется полиэтиленовая пленка толщиной 150 мкм. Экспериментальные работы проводились с использованием конструкции, выполненной в виде пустотелой панели с шестигранными ячейками толщиной 40 мм. Диаметр окружности, вписанной в ячейку, составляет 21 мм, общие габариты конструкции – 1,5×1,5 м^2. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Тестовым сигналом, подаваемый в камеру через громкоговоритель, являлся воющий тон с диапазонами частот 100 – 4500 Гц. Скорость уменьшения степени разреженности в конструкции была подобрана таким образом, что общая продолжительность одного опыта составила 10 ч. На графиках рис. 2 представлены кривые, каждая точка которых получена как среднеарифметическое результатов трех значений соответствующей физической величины, полученных из трех опытов. Относительная ошибка измерения вакуумметрического давления составляла 0,02 кПа, уровня звукового давления – 0,02 дБ. Вакуумметрическое давление уменьшалось в диапазоне 9,61 – 0,13 кПа

непрерывно. Для построения графиков был выбран шаг времени равный 1,5 минутам, то есть график на рис. 2а и 2б построен по четыремстам точкам. Объем малой реверберационной камеры, выполненной в виде параллелепипеда с непараллельными стенами и основанием, составляет 2 м^3. В качестве излучателя сигналов использовали громкоговоритель с рабочим диапазоном частот 50-4500 Гц. В качестве воспринимающего датчика сигнала-отклика использовался конденсаторный измерительный микрофон РМТ-23, соединенный с переносным аудиоинтерфейсом. Запись звукового спектра велась в формате .wav с одновременной оценкой уровня звукового давления. Задача заключалась в том, чтобы оценить значение вакуумметрического давления, при котором наблюдается изменение уровня звукового давления на левом и правом микрофонах, воспринимающих падающую и прошедшую волну в соответствии с рис. 1.

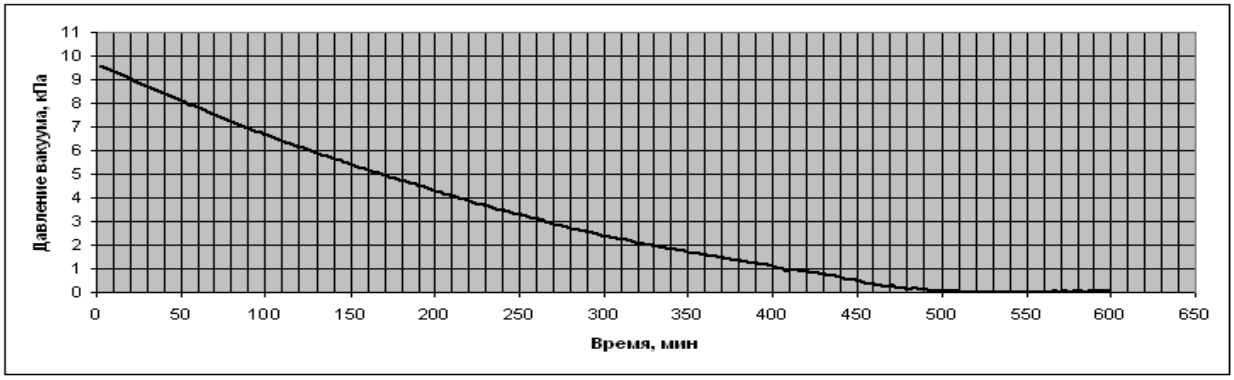


а)



б)

Рис. 1. Экспериментальная установка для выполнения измерений:
а) упрощенный внешний вид; б) подробная схема:
1 – источник тестового сигнала и регистратор измерений на базе ЭВМ; 2 – излучатель; 3 – малая испытательная камера; 4 – датчик падающей волны; 5 – испытуемый образец; 6 – датчик прошедшей волны;
7 – вакуумный насос «Refco» и электронный вакуумметр;
8 – веб-камера; 9 – регистратор показаний камеры.



а)

б)

Рис. 2. Изменение исследуемых величин в конструкции
а) график изменения вакуумметрического давления; б) график снижения уровня звукового давления в конструкции

В таблице представлены величины ослабления звука при минимальных значениях уровня звукового давления в опытном образце в падающей и прошедшей волне, соответственно.

Таблица **Величина ослабления звука при минимальных значениях уровня звукового давления в опытном образце в падающей и прошедшей волне, соответственно**

Среднегеометрические частоты 1/3 октавных полос	Минимальное значение уровня звукового давления в падающей волне, дБ	Уровень звукового давления в прошедшей волне, соответствующий минимальному его значению в падающей волне, дБ	Величина звукоизоляции, вычисленная по (2), дБ
31,5	56,23	56,09	0,14
63	71,57	70,06	1,51
125	83,32	83,29	0,03
250	93,10	92,08	1,01
500	97,68	96,65	1,03
1000	94,35	91,31	3,04
2000	89,29	75,80	13,50
4000	87,15	70,86	16,29
8000	73,08	56,75	16,33

окончание табл

Среднегеометрические частоты 1/3 октавных полос	Уровень звукового давления в падающей волне, соответствующий минимальному его значению в прошедшей волне, дБ	Минимальное значение уровня звукового давления в прошедшей волне, дБ	Величина звукоизоляции, вычисленная по (2), дБ
31,5	56,95	56,51	0,44
63	72,24	70,15	2,09
125	84,12	84,00	0,12
250	94,04	92,77	1,27
500	98,38	95,46	2,92
1000	93,96	90,45	3,50
2000	88,86	75,47	13,39
4000	87,05	70,60	16,44
8000	72,96	56,36	16,61

Заключение

В заключение можно отметить, что общие свойства вакуумированных сотовых конструкций, связанные с процессами поглощения и пропускания звука, зависят от материала конструкции. Но при весьма малом давлении вакуума внутри них, не более 1 кПа, звукопоглощающие свойства максимальны по сравнению с невакуумированными конструкциями. Выводы, полученные в ходе проведения эксперимента, основанные на графическом анализе данных рис. 2, заключаются в следующем:
1. В диапазоне снижения вакуумметрического давления 9,61–2,65 кПа уровень звукового давления падающей волны перед конструкцией повышается в диапазоне 109,82–110,19 дБ, соответственно, при относительной ошибке измерения в 0,02 дБ.
2. В диапазоне снижения вакуумметрического давления 9,61–1,40 кПа уровень звукового давления прошедшей волны после конструкции повышается в диапазоне 86,77–89,25 дБ, соответственно, при относительной ошибке измерения в 0,02 дБ.
3. Начиная с вакуумметрического давления в диапазоне 2,65–0,13 кПа уровень звукового давления в падающей волне перед конструкцией уменьшается в диапазоне 110,19–104,69 кПа, соответственно.
4. Начиная с вакуумметрического давления в диапазоне 1,40–0,30 кПа уровень звукового давления в прошедшей волне после конструкции уменьшается в диапазоне с 89,25–85,68 кПа.

Литература

1. Acoustic transmission – How to evaluate the transmission loss (TL) index // Actran Training Application: [Электронный ресурс]. URL: http://www.fft.be/index.php?pageID=8. Режим доступа – по запросу. Электронный формат .pdf, 2007. – 21 pp.
2. Каталог продукции – многофункциональные приборы: [Электронный ресурс]. URL: http://www.promav.ru/cgi-bin/go.pl?i=37. Режим доступа – свободный.
3. *Сапожков М.А.* Электроакустика. Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Связь», 1978. – 272 с.
4. *Тюрин А.П.* Исследование звукопоглощения вакуумированных сотовых конструкций // Вакуумная техника и технология. 2010. Т. 13, № 2. С. 13–18.
5. *Тюрин А.П.* Влияние степени разреженности на звукопоглощение вакуумированных сотовых конструкций // Вакуумная техника и технология. 2011, № 1. С. 31–33.
–

Теоретические основы расчета шумозащитной конструкции с повышенными санитарно-гигиеническими свойствами

Пяткина С.А.[1], *Тюрин А.П.*[2], *Савельев А.П.*[1]
[1] ФГБОУ ВПО "Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева"
[2] ФГБОУ ВПО "Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
savelyevasa@gmail.com

Среди большого многообразия шумозащитных материалов, представленных на современном рынке, только небольшой их класс может быть выполнен из материалов, в процессе эксплуатации которых не выделялась бы пыль или фиброгенно опасные вещества. К этому классу относят резонансные конструкции, которые внешне представляют собой конструкции с перфорированными поверхностями, причем перфорируемые отверстия могут иметь различную форму, а также шаг расположения относительно друг друга. В противоположность шумозащитным материалам, использующимся в строительстве, выполненных на основе базальтового волокна или минеральной ваты, резонансные конструкции не содержат в своем составе пористых материалов. Существуют и комбинированные варианты шумозащитных материалов в виде, например, сочетания пористого материала, закрытого снаружи перфорированной пластиной, и расположенного на определенном расстоянии с воздушным промежутком от стены. Актуально направление разработки и создания конструкций, целесообразных для использования с гигиенической точки зрения.

Коренным отличием акустических материалов, резонансных или пористых, распространенных в строительстве по сравнению с образцами, используемыми для снижения шумового фактора в рабочей зоне, является изолированное их использование, как расположенных между стенами, внутри перегородок, что ограничивает действие пылевого фактора, способного проявиться при их использовании. С другой стороны, недостатком резонансных конструкций является узкая частотная полоса звукопоглощения. В связи с этим ученые проводят исследования, направленные на расширение полосы поглощения шума таких конструкций.

Использование шумозащитных конструкций с высокими санитарно-гигиеническими свойствами оправдано на таких рабочих местах, где требования к санитарии весьма жесткие, а уровни шума превышают допусти-

мые нормы. Большинство подобных рабочих мест встречается на предприятиях пищевой промышленности, например, молокоперерабатывающих, кондитерских предприятиях. Можно с уверенностью утверждать, что вопросы борьбы с шумом на них постоянно существуют. Они могут решаться, с одной стороны, производителями оборудования при его изготовлении с низкими шумовыми характеристиками, а с другой стороны, специалистами предприятия, разрабатывающими проекты внедрения инженерно-технических мероприятий, направленных на снижение шума для установок, порой находящихся на гарантийном обслуживании в случае импортного его происхождения.

Другая область использования непылящих шумозащитных конструкций относится к дорожным работам, например для локального снижения шума активно работающих переносных, передвижных компрессоров, насосов вблизи жилых зданий на строительной площадке. Отдельными зарубежными компаниями, такой, как Flexshield Industrial Noise Control and Soundproofing Solutions (Австралия) производство таких, в том числе, запатентованных конструкций успешно налажено [1].

В рамках совместных патентных исследований, экспериментальных результатов была разработана патентоспособная шумозащитная конструкция [2]. Трехмерное изображение конструкции представлено на рис. 1. Шумозащитная панель представляет собой сотообразную панель 1, сверху к которой крепится на клеевой основе верхняя перфорированная пластина 2, а снизу – сплошная пластина 3. Диаметры отверстий 4 пластины 2 могут быть различными. На внешнюю сторону верхней пластины 2 крепится, например, на клеевой основе ячеистая сетка 5, изготовленная из эластичного материала. Поверх ячеистой сетки 5 крепится, например, на клеевой основе тонкая пленка 6 с произвольной заделкой по краям конструкции. На нижней пластине 3 могут быть расположены опорные элементы (на рис. 1 не показаны). Каждая из граней пустотелых ячеек сотообразной панели 1 имеет отверстия 8. В зоне «А» реализуется бирезонансный механизм поглощения, который заключается в том, при воздействии звуковых волн на панель 1 и прохождении их через пленку 6 за счет резонансных свойств и диссипативных потерь в системах сотовых ячеек и воздушных прослоек происходит максимальное поглощение волновой энергии. Собственными резонансными частотами обладают воздушные «подушки» в крупных ячейках и сотовые элементы, совокупность взаимодействия которых и дает избирательное поглощение.

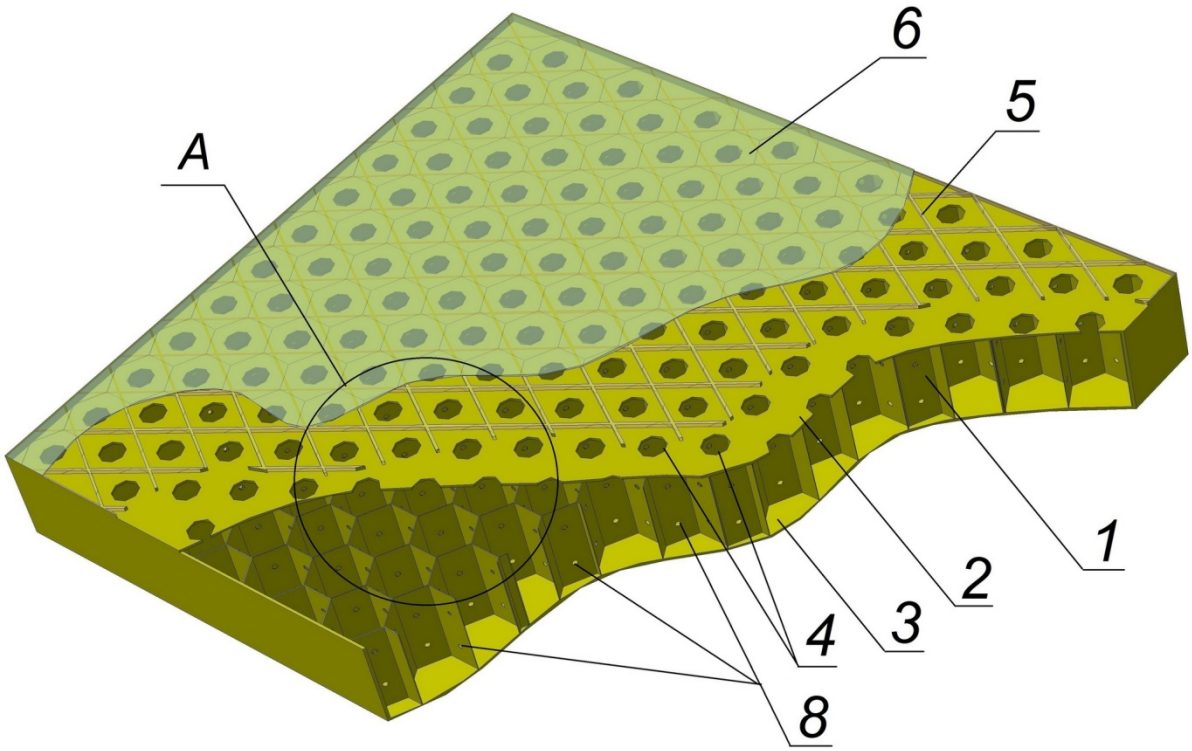


Рис. 1. Трехмерное изображение сотовой бирезонансной конструкции

Предполагается, что геометрические центры перфораций сотовой основы совпадают с центрами ячеек крупноячеистой сетки. Практически этого можно достигнуть только при автоматизированном производстве таких конструкций. Натурный образец готовой конструкции представлен на рис. 2. Основные параметры конструкции: диаметр перфораций 7 мм, толщина сотовой основы 32 мм, толщина крупноячеистой сетки 2 мм, форма ячеек – треугольник, толщина полиэтиленовой пленки 50 мкм. Принципиальная схема с указанием геометрических параметров отдельно взятой сотовой ячейки предлагается на рис. 3. Предполагается, что экспериментальное варьирование или точный математический расчет параметров конструкции, таких как толщина наружной пленки, толщина крупноячеистой сетки и форма ее ячеек, геометрические размеры сот, и в, частности, отдельных ячеек позволит получить более широкую полосу частотно-избирательного звукопоглощения. Прогнозируется, например, что использование более тонкой пленки позволит расширить частотную полосу поглощения и сдвинуть ее в сторону более высоких частот.

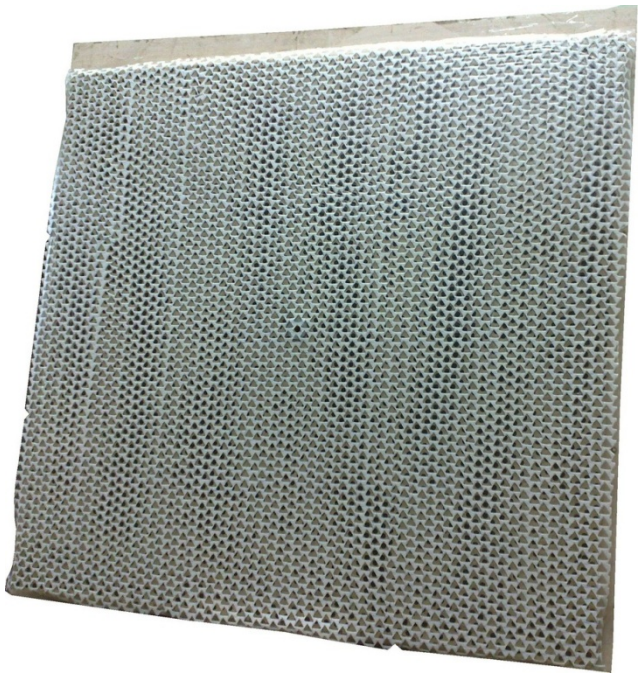


Рис. 2. Натурный образец бирезонансной сотовой конструкции

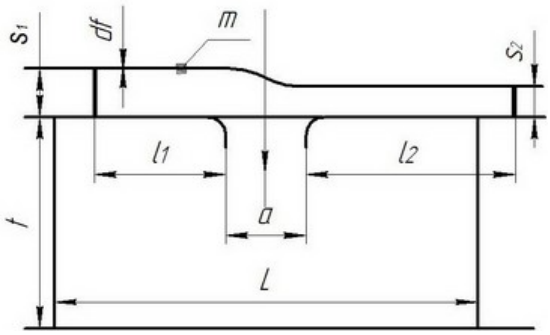


Рис. 3. Принципиальная схема отдельной сотовой ячейки:
t – толщина соты; a – диаметр перфорации; l_1, l_2 – базовые расстояния в крупноячеистой сетке; s_1, s_2 – толщины воздушных зазоров между сеткой и верхней перфорированной пластиной; L – эквивалентный диаметр сотовой ячейки

Теоретические основы расчета подобных конструкций разработаны слабо. Самый сложный вариант конструкции, изображенной на рис 3, предполагает наличие складки, а также несоосное расположение тонких перегородок толщиной s_1 и s_2 с вертикальными перегородками резонаторной полости высотой t. Масса единицы площади $m=\rho_f \cdot d_f$, R_f – нормированное аэродинамическое сопротивление. Наиболее простой вариант исполнения реализуется в случае симметричных зазоров, то есть при $s_1 = s_2 = s$; $l_1 = l_2 = l$. В этом случае произведение Z_0G [3], определяющее резонансное звукопоглощение конструкции:

$$Z_0G = j\frac{Z_0}{\omega m}\left[-1+B+\left(\frac{A_1}{p}+\frac{A_2}{p}+\frac{A_3}{p}\right)\cdot\left[2\frac{\operatorname{sh}(\Gamma l)}{\Gamma l}+\frac{a}{L}\operatorname{ch}(\Gamma l)\right]\right]s$$
$$\frac{A_1}{p}=\frac{B}{4}\frac{2s+W}{U};\quad\frac{A_2}{Vp}=\frac{B}{4}\frac{2s-W}{U};\quad\frac{A_3}{Vp}=\frac{1}{2U} \qquad (1)$$

где $Z_0=\rho_0 c_0$ – акустический импеданс воздуха, Па·с/м; G – полная проводимость воздушной прослойки, м/Па·с;

$$\Gamma^2=\Gamma_y^2+\frac{\rho_e}{s}\frac{f}{m}\Gamma_y^2+\frac{\Gamma_y Z_y}{j\omega s};\qquad B=\frac{\rho_e/s}{\Gamma_y^2+\rho_e/s}\frac{m}{}=\frac{1}{1+j\dfrac{\omega m}{Z_0}\dfrac{\Gamma_y s}{Z_y/Z_0}}, \qquad (2)$$

где Γ_y – постоянная распространения в капиллярном слое; Z_y – волновое сопротивление воздуха в капиллярном слое, Па·с/м; ρ_{eff} – эффективная плотность (см. ниже) воздуха в плоском капиллярном слое толщиной s, мм, ограниченном жесткими стенками, кг/м^3; m – масса единицы площади пленки, кг/м^2.

$$W = 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j\omega m_{s}, \quad (3)$$

$$U = j\frac{s}{a}\omega m\frac{\Gamma}{\Gamma_y Z_y}\mathrm{s}\left(\Gamma l\right) + n\frac{1}{2}W\,\mathrm{c\,h}\left(\Gamma d\right), \quad (4)$$

$$V = j\frac{s}{2}\omega\,{}_0\frac{a}{\Gamma_y Z_y}\Gamma\rho\mathrm{s}\left(\Gamma l\right) + ns\cdot\mathrm{c\,h}\left(\Gamma d\right), \quad (5)$$

$$\text{и}\ \frac{A_1}{p} + \frac{A_2}{p} + \frac{A_3}{p} = \frac{1-B}{2U},$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{m_{s}} = \frac{\rho_0 c_0^2}{C_0 m} \quad (6)$$

где G_{sv} – входная полная проводимость резонатора, м/Па·с; C_0 – сжимаемость воздуха, м·с^2/кг:

$$C_0 = \frac{1}{\rho_0 c_0^2}$$

С учетом (2−6) окончательно в таком специальном случае:

$$Z_0 G = j\frac{Z_0}{\omega m}\left[-1 + B + \left(1 - B\right)W\frac{\frac{a}{L} + 2\frac{\mathrm{t\,a\,n}\left(\Gamma h\right)}{\Gamma l}}{W + 2\frac{l}{a}\left(1 + j\omega s\,m\frac{\Gamma_y}{Z_y}\right)\frac{\mathrm{t\,a\,n}\left(\Gamma h\right)}{\Gamma l}}\right] =$$

$$= j\frac{Z_0}{\omega m}\left[-1 + B + \left(1 - B\right)W\frac{\frac{a}{L} + 2\frac{\mathrm{t\,a\,n}\left(\Gamma h\right)}{\Gamma l}}{W + 2\frac{l}{a}\left(1 - \omega^2 m_{s}\,C\right)\frac{\mathrm{t\,a\,n}\left(\Gamma h\right)}{\Gamma l}}\right] \quad (7)$$

где ω_{eff}^2 – резонансная частота пленки, зависящая от эффективной сжимаемости воздуха в зазоре: $\omega_{e\,f}^2 = 1/\left(m\cdot C_{e\,f}\right)$.

Постоянная распространения в капиллярном слое, Γ_y, и волновое сопротивление воздуха в капиллярном слое, Z_y, связаны:

$$\Gamma_y = j\omega\sqrt{\rho_{e\,f}\cdot C_{e\,f}}; \qquad Z_y = \sqrt{\rho_{e\,f}/C_{e\,f}}$$

Параметр B из (2) можно упростить как

$$B = \frac{\rho_{e}/s_{f}}{\Gamma_y^2 + \rho_{e}/s_{f}}\frac{m}{m} = \frac{1}{1 + j\omega m\frac{\Gamma_y s}{Z_y}} = \frac{1}{1 - \omega^2 m_{e}} = \frac{1}{1 - \left(\omega/\omega_{e}\right)}, \quad (15)$$

– Выполним анализ выражений.

– Если угловая частота колебаний ω приближается к резонансной частоте ω_0, то есть $\omega \to \omega_0$, $\omega = \omega_{eff}$, то параметр $W = j\omega m_{s}G_{sv}$ и уравнение (7) приобретает вид:

$$Z_0 G = -\frac{Z_0}{j\omega m}\left[-1+B+(1-B\cdot j\omega m_s)\frac{\frac{a}{L}+2\frac{\tanh(\Gamma l)}{\Gamma l}}{j\omega m_s G}\right] = \\ = -\frac{Z_0}{j\omega m}\left[B-B\left(\frac{a}{L}+2\frac{\tanh(\Gamma l)}{\Gamma l}\right)\right] = Z_0\frac{B}{j\omega m}\left[\frac{a}{L}-1+2\frac{\tanh(\Gamma l)}{\Gamma l}\right] \quad (16)$$

Далее, если $\omega << \omega_{eff}$, тогда параметр $W = 1+j\omega m\cdot G_{sv}$, а $B = 1$. Из этого следует:

$$Z_0 G = Z_0 G_s\, B\frac{\frac{a}{L}+2\frac{\tanh(\Gamma l)}{\Gamma l}}{1+j\omega m_s+2\frac{l}{a}G_v\frac{\tanh(\Gamma l)}{\Gamma l}} = Z_0 B\frac{a}{L}\frac{1+2\frac{L}{a}\frac{\tanh(\Gamma l)}{\Gamma l}}{j\omega m+Z_s\left(1+2\frac{l}{a}\frac{\tanh(\Gamma l)}{\Gamma l}\right)} \quad (17)$$

$$R = \Sigma / Z_0;$$
$$\Sigma = \Xi\cdot d,$$

где Ξ – гидравлическое сопротивление, Па·с/м^2 (удельное сопротивление на единицу толщины d)

$$m_e = m\frac{R}{j\omega m\rho_0/\rho_0+R} = \frac{m}{1+j\frac{k_0 m}{\rho_0 R}} \approx m\cdot\left(1-j\frac{k_0 m}{\rho_0 R}\right)$$

Эффективная плотность ρ_{eff} связана с другими величинами как:

$$\frac{\rho_e}{\rho_0} = -j\frac{\Gamma}{k_0}\cdot\frac{Z_i}{Z_0} = \frac{1}{1-J_{1,0}(k_\nu a)}.$$

Эффективная сжимаемость C_{eff} определяется как:

$$\frac{C_e}{C_0} = -j\frac{\Gamma}{k_0}/\frac{Z_i}{Z_0} = 1+(\kappa-1)J_{1,0}(k_\alpha a)$$

где $J_{1,0}$ – функция Бесселя первого порядка; ρ_0, C_0 – значения для воздуха без потерь; κ – постоянная адиабаты для воздуха.

$$k_0^2 = \left(\frac{\omega}{c_0}\right)^2;\ k_\nu^2 = -j\frac{\omega}{\nu};\ k_{\alpha 0}^2 = -j\frac{\kappa\omega}{\alpha} = \kappa\,\mathrm{Pr}\cdot k_\nu^2,$$

где k=1,4 – постоянная адиабаты; ν – кинематическая вязкость; α – температуропроводность.

$$\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$$ – число Прандтля.

На рис. 1 и 2 представлены результаты расчетов действительной $\mathrm{Re}\{Z_0 G\}$ и мнимой $\mathrm{Im}\{Z_0 G\}$ резонанса для конструкций с параметрами пленки-фольги, указанных в подрисуночных надписях.

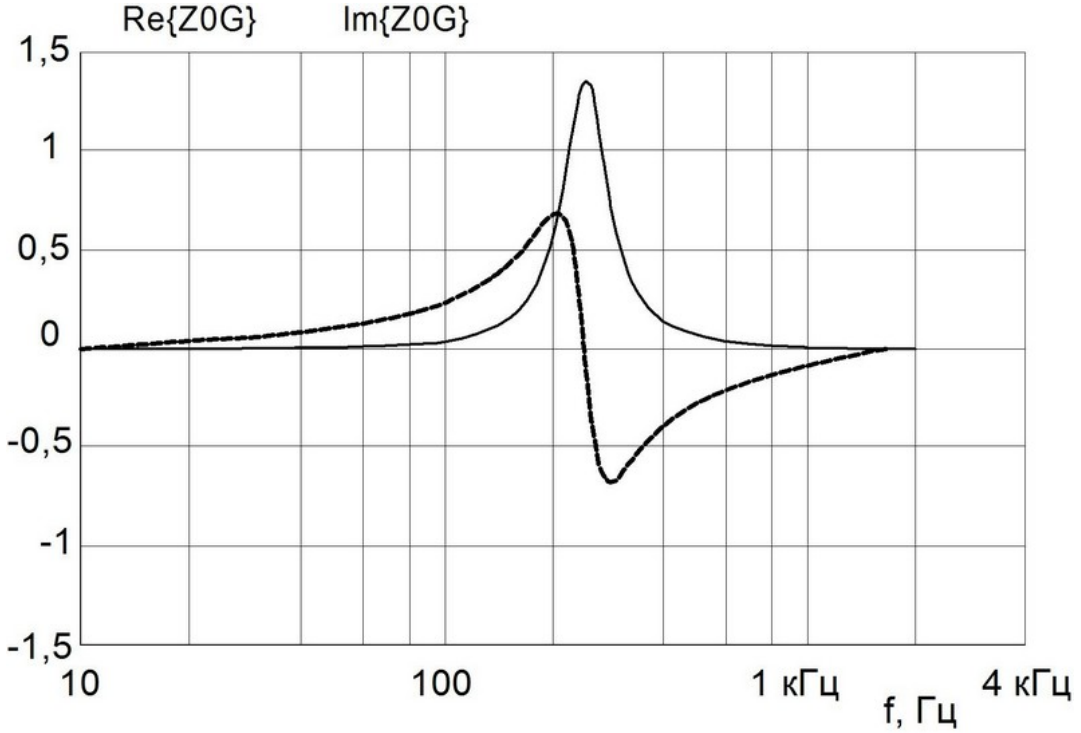


Рис. 4. Пояснения в тексте: R_f = 10000; $f_{cr}{\cdot}d$ = 12 Гц·м; ρ_f = 2750 кг/м^3; L = 0,08 м; a = 0,01 м; d = 0,02 м; t = 0,05 м; $s_1 = s_2$ = 0,002 м; df=0,0002 м.

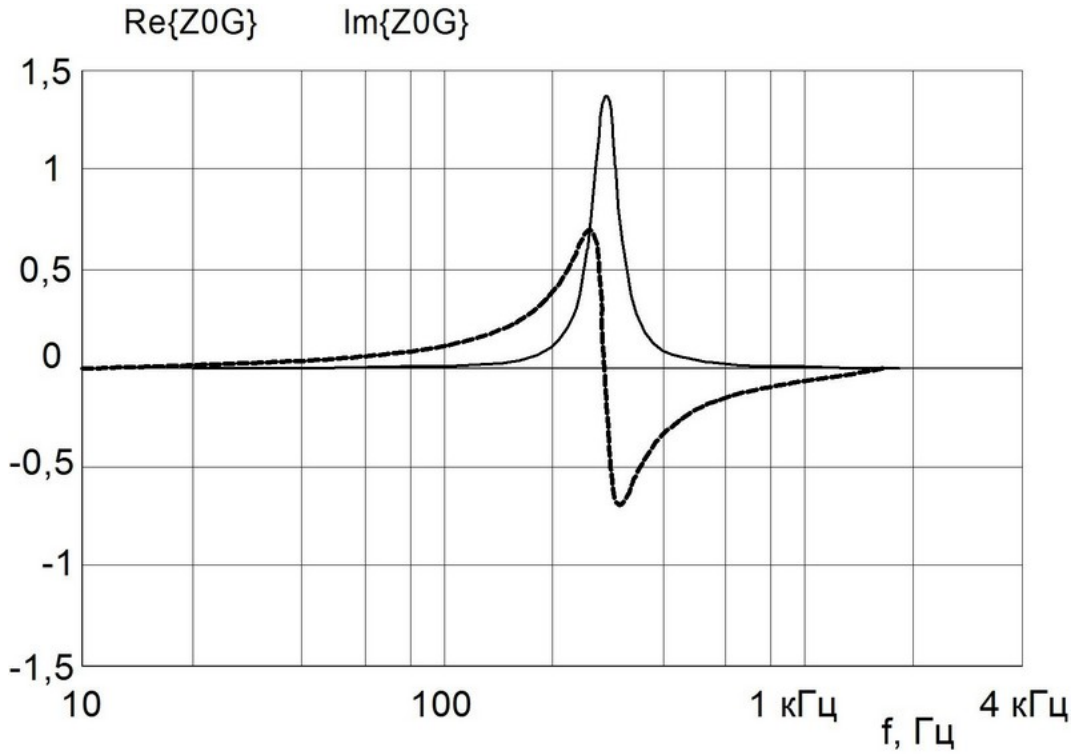


Рис. 5. Пояснения в тексте: R_f = 10000; $f_{cr}{\cdot}d$ = 12 Гц·м; ρ_f = 2750 кг/м^3; L = 0,08 м; a = 0,01 м; d = 0,01 м; t = 0,1 м; $s_1 = s_2$ = 0,002 м; df=0,0001 м.

Исследования показывают, что такого типа конструкция обладает достаточно высокими коэффициентами звукопоглощения на достаточно низких частотах, ниже 400 Гц. Отметим, что существуют шумозащитные материалы, обладающие и более высокими коэффициентами. Их перечень для целей использования при строительстве зданий и акустической отделке помещений весьма обширен. Однако такие материалы обладают либо фиброгенной опасностью, либо имеют весьма сложный рельеф, например, необходимый для диффузии звука в помещении. При использовании конструкций в реальных условиях их звукопоглощение будет отличаться, но следует ориентироваться на теоретически получаемые коэффициенты, так как они являются входными данными при математическом расчете, например, акустических полей ограниченных зон помещений. Представленные теоретические основы расчета таких конструкций необходимо корректировать в зависимости от особенностей их конструктивного исполнения.

Прогнозируя ситуацию, можно отметить, что промышленное производство бирезонансных сотовых конструкций – перспективное направление. В условиях специального производства их рекомендуется использовать в качестве внешней облицовки или даже основы штучных звукопоглотителей.

Список использованных источников

1. Электронный ресурс: http://www.flexsoundproofing.com.au/noise-barriers.html – Режим доступа – свободный.
2. Пяткина, С.А. Положительное решение о выдаче патента на изобретение № 20111322233(047454) от 29.07.2011 «Шумозащитная панель» [Текст] / С.А. Пяткина, А.П. Тюрин, Д.В. Парахин, Б.В. Севастьянов, А.П. Савельев, В.С. Баязитов, Д.А.Векшин.
3. Formulas of acoustics − ed. F.P. Mechel. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 1282 pp.

Источники шума аварийного оборудования

Руднева Е.А.[1], *Калашникова Н.К.*[1], *Клименкова О.И.*[1], *Гончаренко И.А.*[2]
[1] ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве»
[2] ГУП «НИ и ПИ Генплана Москвы»
elena-rudneva@mail.ru

Если шум от сирены или от громкоговорителя для оповещения жителей района о чрезвычайном происшествии, а также шум от сирены спешащей скорой помощи и некоторых других источников не подлежат снижению, то от ряда других аварийных источников снижение шума является целесообразным. К таким источникам относятся: вентиляторы дымоудаления и вентиляторы для подачи воздуха для подпора во время пожара в здании; дизель-генераторные установки (ДГУ, АДЭС), применяемые в аварийных ситуациях на различных объектах; шум от установок, выбрасывающих под давлением в аварийных ситуациях сжатый воздух и пар (выпуск «острого пара»).

Санитарными нормами [1] не рассматривается шум таких источников во время аварий, но многие из названного оборудования или устройств должны проходить плановую проверку на исправность. Как правило, такие проверки, испытания на пригодность проводятся в дневное время суток. Нормирование шума на прилегающей территории следует принимать по максимальному уровню.

Крышные вентагрегаты для дымоудаления и подпора воздуха устанавливаются в каждом здании. Законодательство [2] предусматривает в осенний период проводить обязательную проверку технического состояния и исправность противопожарного оборудования. Крышные вентагрегаты включаются на 30 минут при их полной исправности и более 30 минут для наладки и устранения дефектов при неисправности. Известен случай в г. Москве, когда в жилом доме в пятницу вентагрегаты дымоудаления были включены и проверяющие ушли, забыв выключить вентагрегаты. Кроме низкочастотного шума в жилых квартирах наблюдалась вибрация полов и стен. Жители вынуждены были вызвать ЧС для выключения вентагрегатов. В гаражах и магазинах для экономии места в настоящее время применяются вентагрегаты дымоудаления, являющиеся одновременно

вытяжными общеобменными вентиляторами (с автоматическим регулированием переключения частот). Здания (гаражи, торговые центры, спорткомплексы и т.п.) с многочисленными крышными вентагрегатами (в том числе и дымоудаления) располагаются вблизи жилой застройки. При этом общеобменные крышные вентагрегаты проектируют в шумозащитном исполнении, а вентагрегаты дымоудаления устанавливают без средств шумоподавления. Время повышенного шумового воздействия вентагрегатов дымоудаления зависит от их количества, так проверка идет не выборочно, а каждого агрегата.

В настоящее время есть много разработанных мероприятий по снижению шума от вентиляторов, включая и марки вентиляторов, применяемых в аварийных ситуациях. Поэтому в докладе о данном виде источников шума больше не продолжаем.

Следующими источниками высоких уровней шума являются дизель-генераторные установки (ДГУ, АДЭС), применяемые в аварийных ситуациях на различных объектах и установки, выбрасывающие под давлением в аварийных ситуациях сжатый воздух и пар (выпуск «острого пара»).

Согласно данным, предоставляемым фирмами-изготовителями и проектными организациями, уровни звуковой мощности (УЗМ), создаваемые ДГУ и АДЭС, могут быть свыше 100 дБ.

Рассмотрим проектируемую автономную дизельную электростанцию (АДЭС) блок-контейнерного исполнения, которая будет располагаться открыто на асфальтированной площадке. Ближайшая селитебная застройка находится на расстоянии 90 м к северу от размещаемой АДЭС (Ленинский проспект, д.45/2).

Дизель-генераторная установка предусмотрена как аварийный источник, который будет работать в чрезвычайных ситуациях – при отключении штатного электроснабжения. Режим работы АДЭС носит кратковременный характер – до 8 часов в аварийном режиме. Для проверки работоспособности АДЭС 1 раз в месяц будут проводиться кратковременные (на 30 минут) пуски под 10 % нагрузкой.

Проектируемый объект не включен по санитарной классификация СанПиН 2.2.1/2.1.1.984-00 в перечень объектов, требующих организации санитарно-защитной зоны.

Шум в окружающую среду будет распространяться непосредственно от корпуса дизельной установки (контейнера) и через выхлопную трубу высотой 20 м. Функционирование АДЭС возможно как в дневное, так и в ночное время суток, поэтому нормирование внешнего шума проводится по

нормам ночного времени суток. Для источников, излучающих тональный шум, принимается поправка «-5 дБ».

Как мероприятия по снижению шума предложены:
1. Размещение АДЭС в шумозащитном контейнере;
2. Установка в воздуховод выхлопной трубы глушителя шума;
3. Установка в воздуховоде приточной вентиляции глушителя шума.

В таблице 1 представлены расчетные уровни звуковой мощности шума от АДЭС блок-контейнерного исполнения с учетом обесшумливающих мероприятий.

Таблица 1

Шумовые характеристики источников шума АДЭС с учетом обесшумливающих мероприятий

Определяемые величины	Уровни шума, дБ, со среднегеометрической частотой октавной полосы, ГЦ									La, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
АДЭС с учетом работы системы приточной вентиляции										
УЗМ от корпуса АДЭС с учетом работы системы приточной вентиляции, дБ	Нет данных	83	79	74	72	68	67	63	57	76
УЗМ, создаваемые на срезе выхлопной трубы АДЭС, дБ	Нет данных	100	88	81	77	76	71	68	66	83

Для ДГУ, как и для АДЭС, основной шум распространяется через корпус дизельной установки (контейнер) и через выхлопную трубу, высота которой может быть более 30 м. Уровни шума, излучаемые ДГУ, могут достигать величин более 100дБ в отдельных октавных полосах (см. табл. 2).

Снижение шума достигается в результате:

1. Установки специально разработанного глушителя шума в воздуховод выхлопной трубы ДГУ;

2. Размещение ДГУ в специально выполненном шумозащитном контейнере, шумозащитные свойства, которого обеспечиваются за счет приме-

нения шумозащитных материалов для облицовок стенок корпуса контейнера;

Для ДГУ иностранного происхождения некоторые фирмы-производители разработали глушители шума, вставляемые в выхлопной воздуховод, и шумозащитные контейнеры. В таблице 2 представлены уровни шума от ДГУ после внедрения обесшумливающих мероприятий.

Таблица 2

Шумовые характеристики ДГУ при работе на полную мощность

Определяемые величины	Уровни шума, дБ, со среднегеометрической частотой октавной полосы, ГЦ									La, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ДГУ фирмы «Chioride», мощности 330 кВА										
УЗД на расстоянии 1 м от контейнера (каталог), дБ	85	85	81	80	72	72	67	62	61	77
УЗМ на системе выпуска газа без глушителя (каталог), дБ	127	133	128	125	123	118	113	113	113	124
ДГУ типа V500K серии «Atlantik» фирмы SDMO; мощность 400кВА.										
УЗМ от выхлопной трубы с глушителем, дБ	Нет данных	82	79	77	79	75	74	78	76	83
В контейнере «Квант-6» (звукопоглощающем кожухе «Квант-6») дизель-генераторная установка производства «FG Wilson» 250 кВА с двигателем «Perkins».										
УЗМ корпусного шума двигателя, дБ	74	79	84	85	86	86	85	84	81	92
УЗМ на выпуске газов, дБ	100	115	122	120	114	107	99	92	82	116
УЗМ на впуске и выпуске воздуха, дБ	95	98	89	88	89	93	93	93	85	99

В таблице 3 приведены эффективности в дБ мероприятий по снижению шума от ДГУ.

Таблица 3

Эффективность шумозащитных мероприятия при работе ДГУ в аварийном режиме

Мероприятия	Уровни шума, дБ, со среднегеометрической частотой октавной полосы, ГЦ								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Шумозащитный кожух для корпуса ДГУ марки P135E	Нет данных	0,6	3,2	10,8	17,8	18,3	16,9	14,6	12,5
Шумозащитный кожух для корпуса ДГУ марки P500E	Нет данных	7,1	16,6	28,8	36,1	40,8	41,6	36,3	30,2
Глушитель для выхлопной трубы ДГУ марки P500E	Нет данных	3	3	4,4	12,5	16,2	22	20,6	14,5

Вместо дизель-генераторов применяются более современные ИПБ (источники бесперебойного питания). Если нет центральной электросети, и используете бензо/дизель-генератор как единственный источник электроэнергии, то комплект «ИБП» продлит срок службы генератора в десятки раз, сэкономит Вам большое количество топлива и на 80-90% времени избавит Вас от шума!

Принцип действия очень прост: при наличии электросети (центральной или от генератора) инвертор, пропуская через себя электроэнергию на потребителей, отбирает её часть и заряжает аккумуляторы. Как только электроэнергия пропадает, инвертор автоматически переключается в режим «отдачи» и, превращая аккумуляторное напряжение обратно в «сетевое», продолжает снабжать потребителей.

В паре с дизель-генератором, как единственным источником электроэнергии, комплект "ИБП" даёт большое преимущество: дизель-генератору необходимо работать всего несколько часов в сутки или даже в неделю (пока заряжаются аккумуляторы), всё остальное время потребители питаются от аккумуляторов через инвертор.

За счёт чего:

1. экономия ресурса генератора, и, как следствие, многократное увеличения срока его службы;
2. экономия топлива.
3. отсутствие шума большую часть времени, к тому же Вы сами решаете, когда работать генератору.

ИБП хорошо подходит для защиты малых и больших центров обработки данных, коттеджей, зданий, промышленного оборудования разной мощности и т.д.

Для медицинской промышленности, где необходимо надежное и безопасное электропитание, подходит серия источников бесперебойного питания (ИБП) AlphaMED производства компании “Alpha Technologies” (США), предназначенная для работы с медицинским оборудованием, полностью низкий уровень отвечает этим требованиям. ИБП имеют очень малый ток утечки и шума, что позволяет использовать их для работы с ультразвуковыми и лабораторными системами. Кроме того, ИБП AlphaMED обеспечивают электропитание защищаемого оборудования чистым и стабильным.

Следующим источником, работающим во время аварийных ситуаций, являются устройства по выпуску под большим давлением пара («острый» пар). Одно из основных мест применения – это ТЭЦ. Уровни шума во время выпуска пара достигают более 100 дБА.

Для снижения шума на трубу выброса пара устанавливаются глушители шума специальных конструкций (см. рис.1 – рис.3).

В глушителе на рис.1 пар из центрального канала проходит через закручивающие лопатки четырех ступеней, причем в первой ступени вращение пара происходит против часовой стрелки, во второй — по часовой стрелке, в третьей — опять против часовой стрелки и т.д. Благодаря этому происходит взаимное торможение потоков пара и рассеивание энергии потока, что уменьшает перепад давления на выхлопе и повышает эффективность шумоглушения.

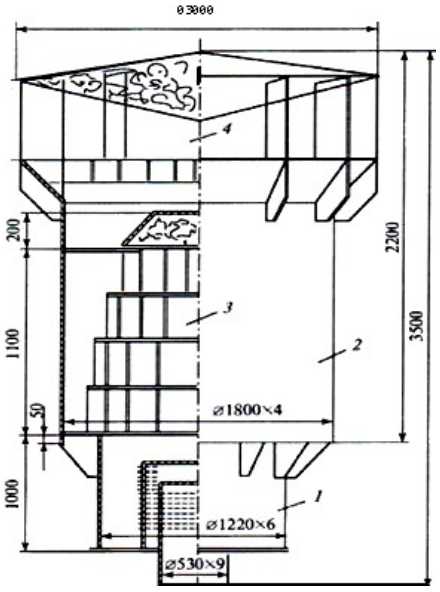


Рис.1. Глушитель, разработанный в Московском государственном открытом университете

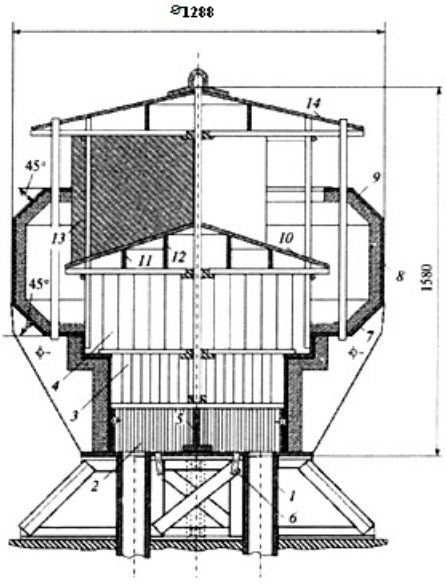


Рис.2. Глушитель конструкции МЭИ

Размеры глушителя: высота — 3500 мм; диаметр — 1800 мм. Глушители такого типа установлены на ТЭЦ-23 ОАО «Мосэнерго». Проведенные испытания системы сброса пара показали, что шум на расстоянии 10 м от шумоглушителя снизился при первом режиме подрыва одного предохранительного клапана со 131 до 110 дБ (А), давление пара в коллекторе перед шумоглушителями равнялось 0,05 МПа, разница температур крайних выхлопных стояков в районе перемычки прогрева составила 80 °С.

Глушители шума конструкции МЭИ установлены и успешно эксплуатируются на линиях продувки пароперегревателя котла ТГМЕ-464 Саранской ТЭЦ-2 ОАО «Мордовская генерирующая компания» и на Новолипецком металлургическом заводе.

Эффективность глушителя шума МЭИ, полученная по результатам измерений на расстоянии 15 м на Саранской ТЭЦ-2, составляет по уровню звукового давления 9,4...31,4 дБ(А) на всех нормируемых среднегеометрических частотах или по уровню звука 27 дБ(А).

Следует отметить, что эффективность предложенного глушителя может быть увеличена до 45 дБ(А) и более и ограничивается массогабаритными характеристиками.

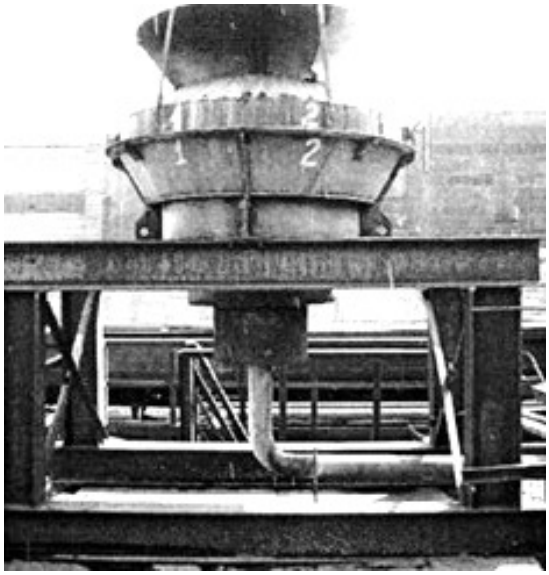


Рис. 3. Глушитель конструкции МЭИ, установленный на Новолипецком металлургическом заводе

В 2006 г. проведены испытания глушителя МЭИ другого типоразмера для парового выброса на Новолипецком металлургическом заводе, которые показали эффективность 37 дБ(А). Результаты испытаний на Саранской ТЭЦ-

2 и Новолипецком металлургическом заводе оформлены соответствующими документами.

Напоследок рассмотрим шум, создаваемый системами громкоговорящей связи, а также системами пожарной или охранной сигнализации. Перечисленные системы аварийного оповещения используются в офисах, магазинах, кафе и др. учреждениях, часто расположенных на 1-х этажах и в подвалах жилых домов. Особое беспокойство причиняет жителям второго и более высоких этажей включение пожарной или охранной сигнализации во встроено-пристроенных нежилых. Уровень звука речевых оповещателей настенного и потолочного способа установке громкоговорителей (АМ-30-6П, АМ-30-3Пк) достигает не менее 75дБА на расстоянии 3м, Также используются в аварийных ситуациях звуковые оповещеватели «Маяк -24-3М». Уровни шума от звуковых оповещевателей могут достигать 108дБА [4].

В перечисленных случаях при акустических расчетах звукоизоляции конструкций, отделяющих помещения со звуковой сигнализацией от жилых помещений, необходимо учитывать данные аварийные источники.

Кроме увеличения звукоизоляции конструкций возможно специальное планировочное расположение помещений с сигнальной системой, которое обеспечит наименьшее влияние сигнализации на жилые помещения,

Литература

1. 1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: Санитарные нормы. - М.: Минздрав России, 1997.
2. Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда. //Постановление Госстроя РФ от 25 сентября 2003г N 170.
3. Тупов В.Б. Факторы физического воздействия на окружающую среду. Издательский дом МЭИ. М., 2012.
4. Вольфганг Анерт, Франк Штеффен. Техника звукоусиления. Теория и практика. – М.: ООО «ПКФ «Леруша», 2003.

Обоснование управленческих решений по снижению акустической нагрузки на население от автотранспорта

Смирнов Ю.Ю.[1], *Дроздова Е.И.*[2]
Управление Роспотребнадзора по Мурманской области, РФ
ФГБОУВПО «Мурманский государственный технический университет», РФ
yurys0206@mail.ru

В двадцать первом веке современные города являются высокоразвитыми техническими системами, в которых большую роль играют транспортные сети. Однако ряд отрицательных характеристик транспортных средств и дорожных сетей создаёт серьёзные проблемы для населения, к которым можно отнести в первую очередь различные выбросы и акустическую нагрузку.

Изучение взаимосвязи факторов среды обитания и заболеваемости населения является одной из основных задач социально-гигиенического мониторинга, в рамках которого Управление Роспотребнадзора по Мурманской области с 2006г. осуществляет контроль уровней шума на территориях г.Мурманска и крупных городов области от городского транспорта. Проведение измерений обеспечивается аккредитованным испытательно-лабораторным центром ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области» в рамках социально-гигиенического мониторинга.

С целью формирования общей картины акустической ситуации в городе Мурманске и подготовки материалов для принятия управленческих решений на уровне администрации города по снижению шумового воздействия от автомагистралей Управлением Роспотребнадзора по Мурманской области определёны следующие задачи работы:

- выделение основных магистралей, вносящих наибольший вклад в общую шумовую нагрузку города;
- проведение измерений шума от автотранспорта на примагистральных территориях по сезонам в соответствии с ГОСТ Р 53187-2008 «Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий» [1]

с определением количества автотранспорта по видам (легковой/грузовой/общественный);
- выполнение акустических расчетов для примагистральных территорий города, на которых проводятся измерения уровней шума в соответствии с ГОСТ Р 53187-2008 «Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий» [1];
- проведение сравнительного анализа расчетных уровней шума, полученных при использовании программы «Эколог-Шум» (модуль «Расчет шума от транспортных потоков») и результатов натурных измерений, проведенных в рамках социально-гигиенического мониторинга;
- применение полученных результатов для ориентировочного расчёта уровней шума для улиц города, не включенных в социально-гигиенический мониторинг, при условии получения данных о характеристиках потоков машин (получение от соответствующих организаций или путём натурных измерений интенсивности и состава автотранспортных потоков [7]);
- обработка полученных баз данных уровней шума с применением геоинформационной системы (ГИС) для города в целом;
- предоставление полученных результатов администрации города в рамках ежегодной отчетности с общими предложениями по снижению шумового воздействия от автомагистралей (с учётом тенденции увеличения уровней шума).

В период 2006-2012гг. формировалась общая картина акустической обстановки г. Мурманска. В 2010-2012г.г. проведена корректировка методики измерения уровней шума – учтены рекомендации ГОСТ Р 53187-2008 «Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий» [1]: измерения уровней шума выполняются 4-5 раз за сутки, в 3 сезона (с апреля по декабрь) за год для получения результатов, наиболее точно отражающих шумовую обстановку. Ориентируясь на максимальный охват городских территорий, проводилось увеличение числа точек измерений (на 2012 год по г.Мурманску достигло 19 точек). Количество исследований ежегодно увеличивалось и в 2012г. составило 2565. Всего за указанный период (2006-2012гг.) было выполнено 7032 измерений.

Проведение и оценка уровней шумового загрязнения города Мурманска в 2010-2012гг. выполнялась авторами в контрольных точках на автомагистралях и в точках на селитебных территориях, прилегающих к основным транспортным магистралям Кольского, Октябрьского и Ленинского районов: автомагистраль по пр. Кольский, автомагистраль по пр. Ленина, автомагистраль по ул. Полярные Зори, автомагистраль по ул. Шмид-

та, автомагистраль по ул. Лобова, автомагистраль по ул. Героев-Североморцев, автомагистраль по ул. Свердлова. Проведение исследований шумовых характеристик и выбор точек производился с учетом требований ГОСТ Р 53187-2008 «Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий».

В настоящей работе авторами приведен сравнительный анализ расчетных уровней шума и результатов натурных измерений. Основой для работы явились материалы, полученные в результате проведения измерений уровней шума на селитебных территориях г. Мурманска, и расчетные значения (программа «Эколог-Шум»).

В 2011 году была внедрена в работу ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области» база данных «Мониторинг ШУМА», разработанная в Управлении Роспотребнадзора по Мурманской области (выполнена в MS Access 2007) для мониторинга шума в г.Мурманске. С применением вышеуказанной базы данных проводится систематизация и анализ результатов измерений уровней шума в графическом виде по различным выборкам.

В качестве примера общей динамики уровня шума на селитебных территориях в дневное и ночное время представлены графики уровней шума за 2010-2012г.г., полученные с использованием базы данных «Мониторинг ШУМА» (рис.1, 2).

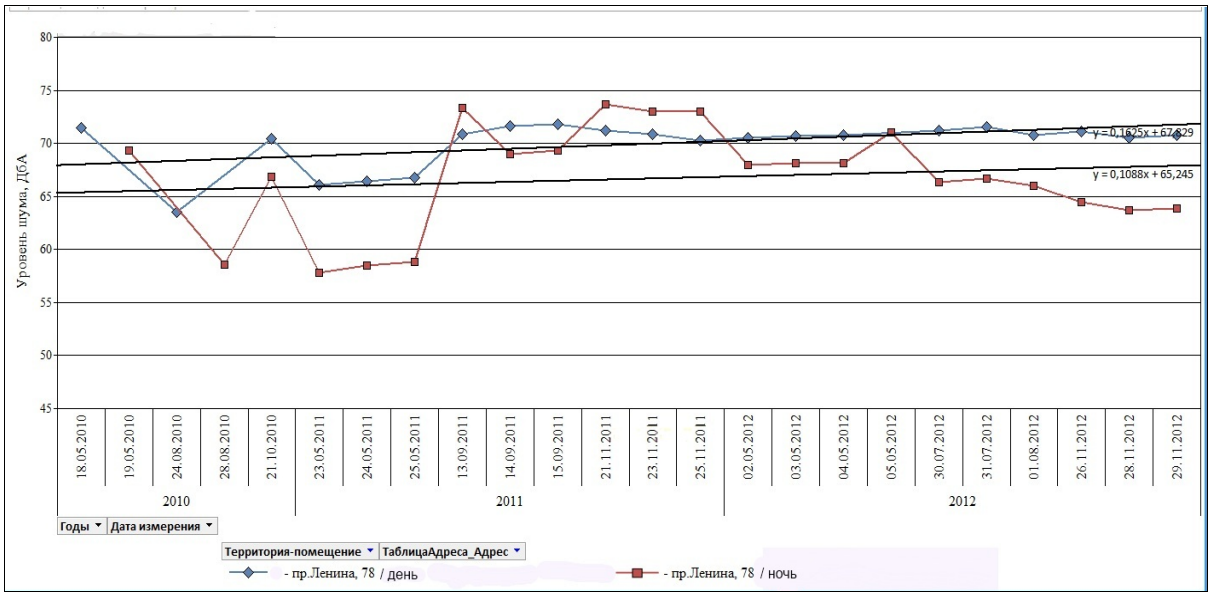


Рис.1. Мониторинг уровней шума (LАэкв) по пр. Ленина

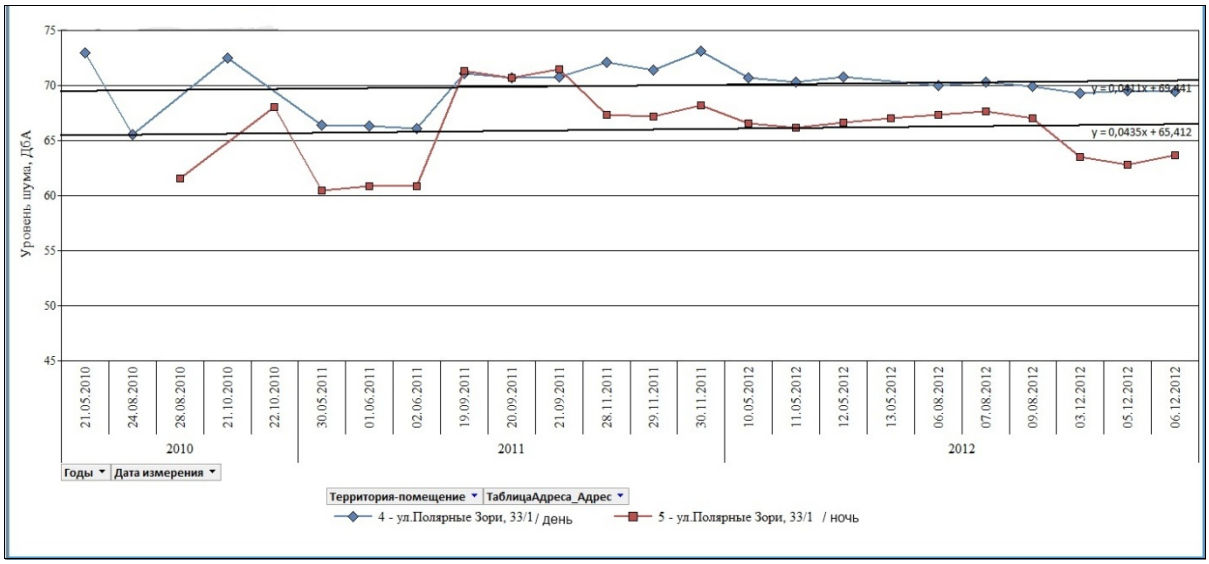


Рис.2. Мониторинг уровней шума ($L_{Аэкв}$) на ул. Полярные Зори

Анализ полученных данных мониторинга уровней шума на селитебных территориях, прилегающих к транспортным магистралям г. Мурманска, показал следующее:

– наблюдается устойчивое превышение ПДУ уровней шума на селитебных территориях в дневное (на 8-20дБА) и ночное время (на 18-28дБА) с трендом к увеличению показателей;

– ежегодно возрастает уровень шума на транспортных магистралях и селитебных территориях, прилегающих к ним;

– наблюдается снижение уровней шумового загрязнения в летнее время вследствие уменьшения количества автотранспорта на магистралях города Мурманска.

Для расчета распространения шума от внешних источников используется программа "Эколог-Шум", разработанная Фирмой "Интеграл", расчёты выполняются согласно требованиям актуализированного СНиП 23-03-2003[3], ГОСТ 31295.1-2005 [4].

Для использования в расчетах выполнялись натурные измерения интенсивности и состава автотранспортных потоков. Наблюдения проводились в разное время суток и недели, выбиралась максимальная интенсивность.

Таблица 1

Характеристики автотранспортных потоков

Адрес	весна 2011		лето 2011		осень 2011	
	кол-во грузовых авто (ед/час)	кол-во легковых авто (ед/час)	кол-во грузовых авто (ед/час)	кол-во легковых авто (ед/час)	кол-во грузовых авто (ед/час)	кол-во легковых авто (ед/час)
пр.Ленина, 78	142	2152	132	2528	144	2676
ул.Полярные Зори, 33/1	108	1308	120	1384	144	1452

Кроме геометрических параметров каждому линейному источнику была присвоена шумовая характеристика эквивалентного уровня звука, рассчитанная с помощью модуля «Расчет шума от транспортных потоков» (при расчете учитывается количество и структура автотранспортных потоков с разбивкой легкового и грузового транспорта, а также параметры скоростного режима на рассматриваемых участках).

Получив интенсивность автотранспортного потока по каждому участку автомагистрали (линейному источнику шума), выполнялся расчет эквивалентного уровня звука для каждой магистрали LAэкв (дБА), на расстоянии 7,5м от оси первой полосы движения (актуализированный СНиП 23-03-2003).

Интенсивность движения автотранспорта характеризовалась средней за период дневной пропускной способностью автомобилей в час с выделением как легкового, так и грузового транспорта из общего потока.

Собранная исходная информация была нанесена на векторную карту г.Мурманска. На заключительном этапе были проведены акустические расчеты магистралей по пр. Кольский, магистраль по пр. Ленина, магистраль по ул. Полярные Зори, магистраль по ул. Шмидта, магистраль по ул. Лобова, магистраль по ул. Героев-Североморцев, магистраль по ул. Свердлова.

Результатом расчета являются:

- эквивалентные уровни звука, которые представляются в графическом виде, наложенном на топооснову (изолиниями разного цвета с указанием уровней шума цифрой) (Рис. 3, Рис.4);
- уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31.5 – 8000 Гц, представленные в табличном виде.

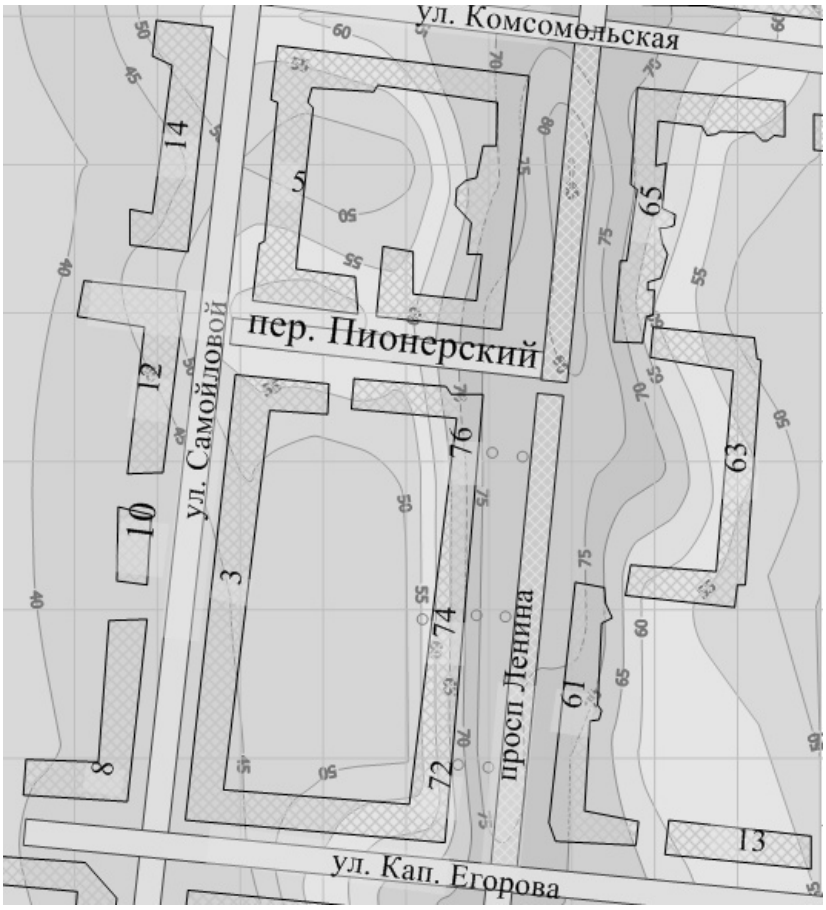


Рис.3. Карта расчётных уровней шума ($L_{Аэкв}$) по пр. Ленина

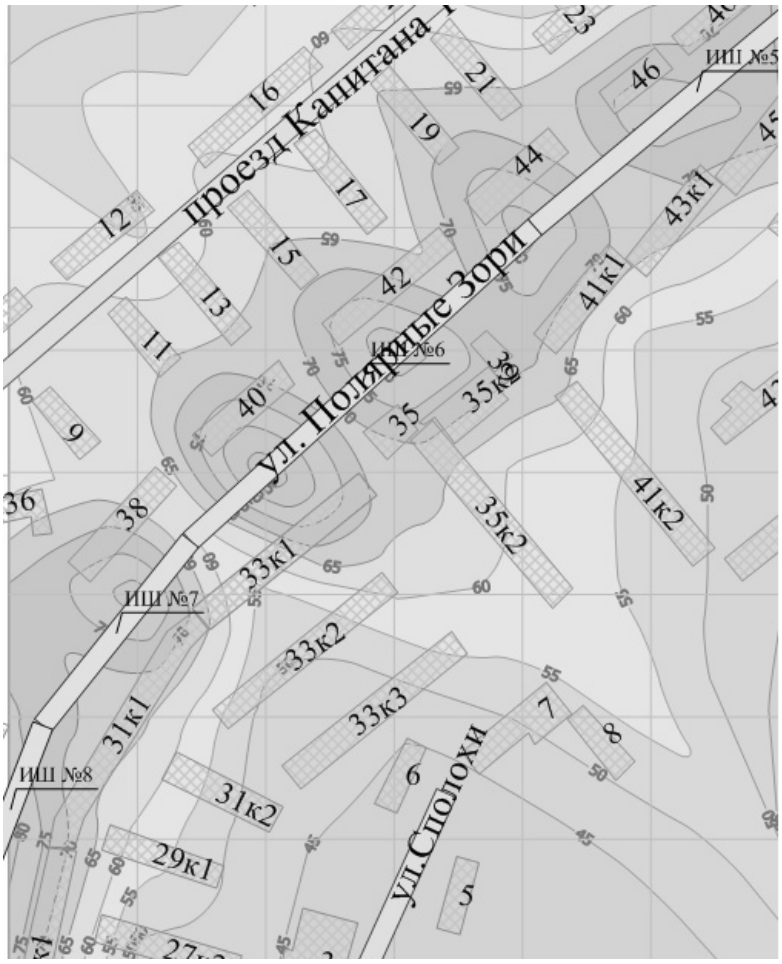


Рис.4. Карта расчётных уровней шума ($L_{Аэкв}$) по ул.Полярные Зори

Сопоставления натурных измерений уровней шума с расчетными уровнями проводились для всех заданных магистралей, на примере пр. Кольского, д.133 и ул. Лобова они представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2

Сравнение результатов измерений и результатов расчета уровней шума по ул. Лобова за 2011- 2012г.г.

	Весна 2011	Лето 2011	Осень 2011	Весна 2012
ПДУ дневной ($L_{Аэкв}$, дБА)*	55	55	55	55
Измеренное значение уровней шума, $L_{Аэкв}$ дБА	69	72,1	71	70,6
Расчетное значение уровней шума, $L_{Аэкв}$, дБА	68,3	69,5	69,9	68,4
Отклонение (+/-), дБА	-0,7	-2,6	-1,1	-2,2

Таблица 3

Сравнение результатов измерений и результатов расчета уровней шума по пр. Кольскому, д. 133 за 2011-2012г.г.

	Весна 2011	Лето 2011	Осень 2011	Весна 2012
ПДУ дневной ($L_{Аэкв}$, дБА) *	55	55	55	55
Измеренное значение уровней шума, $L_{Аэкв}$, дБА	69,2	71,5	71,8	71,7
Расчетное значение уровней шума, $L_{Аэкв}$, дБА	68,4	68,8	69	69,5
Отклонение (+/-), дБА	-0,8	-2,7	-2,8	-2,2

* предельно допустимые эквивалентные уровни звука $L_{Аэкв}$ для территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам (дневное время) [5].

Сравнение результатов измерений и расчетных значений по магистрали по пр. Кольский, магистрали по ул. Лобова, магистрали по пр. Ленина, магистрали по ул. Полярные Зори, магистрали по ул. Шмидта, магистрали по ул. Героев-Североморцев и магистрали по ул. Свердлова показало, что отклонение измеренного значения уровня шума и расчетного не превышает 2,8 дБА, что является типичным значением погрешности для существующих методов акустических расчетов [6].

Таким образом, результаты натурных измерений уровней шума, выполненных в ходе социально-гигиенического мониторинга, свидетельствуют о существенной шумовой нагрузке на население, проживающее в жилых домах, расположенных вдоль городских дорог.

Полученные результаты исследования подтверждают необходимость совершенствования транспортной инфраструктуры города Мурманска: формирования системы магистралей скоростного и непрерывного движения, совершенствования планировочной структуры существующей сети (реконструкция Восточной объездной дороги вокруг города, которая позволит снизить интенсивность транспортных потоков за счет ограничения движения грузового и транзитного автотранспорта в центральной части города), повышения транспортно-эксплуатационных качеств улично-дорожной сети за счет внедрения новых технологий строительства (использования при строительстве и ремонте дорог шумопонижающих технологий и марок дорожного покрытия), своевременного ремонта улично-дорожной сети города (исключение наиболее шумных режимов движения транспорта «старт-стоп»).

Оценка акустического воздействия от автотранспорта является значимым элементом создания шумовой карты города, содержание которой в актуальном состоянии будет способствовать принятию своевременных и правильных управленческих решений по территориальному планированию города.

Литература.

- ГОСТ Р 53187-2008. Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий. – М.: Стандартинформ. – 2009.
- Материалы Государственного доклада Управления Роспотребнадзора по Мурманской области «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Мурманской области в 2012 году».
- СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
- ГОСТ 31295.1-2005 (ИСО 9613-1:1993). Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой. – М.: Стандартинформ. – 2005.
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Введ. с 31.10.1996.
- ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-1:1993). Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета. – М.: Стандартинформ. – 2006.
- ГОСТ 20444-85 «Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики».

Современные звукоизоляционные материалы и аспекты звукоизоляции строительных конструкций при помощи материалов из вспененного полипропилена Пенотерм или вспененных полиэтиленов типа Изолон и Пенолон

Степура В.А., Апаликов А.В.
ООО "Пенотерм - Урал"
v-st.2013@yandex.ru

В последнее время все больше внимание уделяется проблеме шума. Особенно эта актуально для больших городов, где человек ежедневно подвергается влиянию многих вредных факторов. Компания ООО «Пенотерм - Урал» является лидером по производству звукоизоляционных материалов из вспененного полипропилена Пенотерм и вспененного полиэтилена Порилекс (аналог Стенофона и Изолона НПЭ). Вспененный полипропилен типа «Пенотерм» марки НПП ЛЭ соответствует требованиям Актуализированного в 2011 году СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» и ГОСТ 23499-79 по акустическим характеристикам и рекомендуется для применения в строительстве, что подтверждается сертификатом соответствия по ВИБРОАКУСТИКЕ № 030006.024-416-12.

Всякий нежелательный для человека звук является **шумом**. Интенсивное шумовое воздействие на организм человека неблагоприятно влияет на протекание нервных процессов, способствует развитию утомления. Поэтому шум признан одним из вредных факторов.

Как любой вредный фактор, шум подлежит жесткому нормированию. Основополагающим документом здесь является Федеральный Закон РФ № 52 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Он предписывает **необходимость** создание в среде обитания постоянного акустического комфорта, который в свою очередь (численно) описывается в СанПиНах.

СанПиН предусматривает дифференцированный подход с учетом характера деятельности в условиях шума.

СНиП (для Москвы – это МГСН) подразумевает проектирование всех ограждающих конструкций с определенным уровнем звукоизоляции (для того, чтобы выполнить требования СанПиНа). Численно это описывается ***индексом изоляции воздушного шума RW, в дБ*** и ***индексом приведенного ударного шума LnW, в дБ.***

Существуют два различных способа защиты от шума.

Звукопоглощение – этот метод основан на поглощении звуковой энергии волн, распространяющихся по воздуху звукопоглощающими материалами, которые трансформируют ее в тепловую.

Звукопоглощающие материалы и конструкции подразделяются на:

Волокнисто-пористые (войлок, минеральная вата, фетр, акустическая штукатурка и др.);

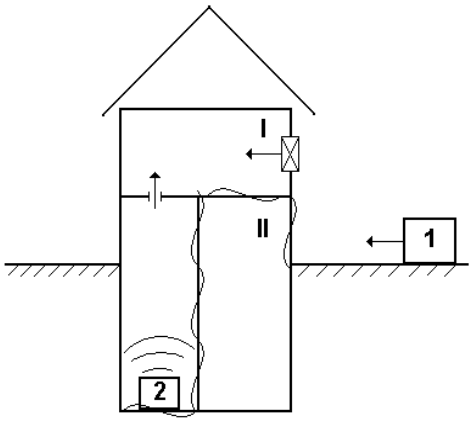
Мембранные поглотители (пленка, фанера, закрепленные на деревянные обрешетки);

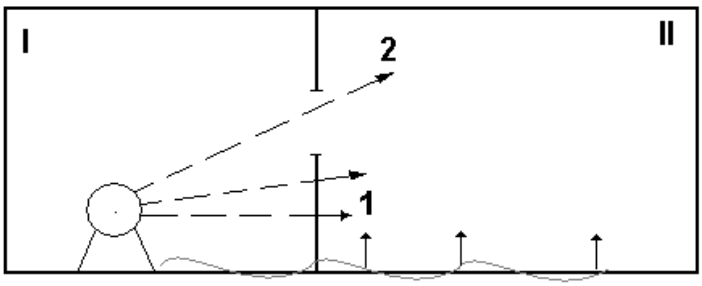
Резонаторные поглотители (классический резонатор Гельмгольца);

Комбинированные поглотители.

Звукоизоляция – этот метод основан на отражении звуковой волны, падающей на ограждение (экран).

На рисунке 1а показаны пути проникновения шума (воздушного и структурного) при нахождении его источников как снаружи, так и внутри здания, а на рисунке 1б – пути проникновения шумов из шумного помещения в тихое помещение. От наружного или внутреннего источника воздушный шум проникает через окна и стены, а вибрация передается по грунту, трубопроводам и строительным конструкциям, колебания которых вызывают появления структурного шума.





Б)

Рисунок 1. Пути проникновения шумов

А) 1 – источник шума; 2 – источник вибрации; I – воздушный шум; II – структурный шум;

Б) 1, 2 – звуки, распространяющиеся по воздуху (воздушные звуки или шумы); 3 – энергия упругих колебаний распространяется по строительным конструкциям и излучается в виде шума (структурные или ударные звуки, шумы); I – шумное помещение; II – тихое помещение.

Звукоизоляционные материалы применяют для изоляции помещений от распространения материального (ударного) переноса звука. В отличие от звукопоглощающих эти материалы остаются практически в скрытом от взора состоянии в виде прокладочных слоев в конструкциях внутренних стен (перегородок) и междуэтажных перекрытий зданий. Они располагаются между наружными оболочками (панелей, щитов и др.), находясь в свободном (не сжатом) или даже подвешенном состоянии (например, подвешенные маты). Возможно и некоторое обжатие звукоизолирующей прослойки, например, между несущими панелями потолка и конструкцией пола на упругом основании.

Важной характеристикой качества прокладочного материала является его *жесткость*, которая, во-первых, призвана компенсировать отсутствие

жестких связей между стенками в неоднородных конструкциях, а во-вторых, больше погасить ударных звуковых колебаний. Но и жесткость, определяемая *динамическим модулем упругости* не должна быть чрезмерно высокой, так как чем ниже $E_Д$, тем больше ударных шумов поглощает прокладочный материал. По величине модуля упругости различают три класса звукоизоляционных материалов:

- **I** класс ($E_Д$ до 1 МПа);
- **II** класс ($E_Д$ от 1 до 5 МПа);
- **III** класс ($E_Д$ от 5 до 15 МПа).

Звукоизоляционными материалами служат полужесткие минераловатные и стекловатные маты и плиты на синтетической связке, вспененные полимерные материалы (пенополипропилен **Пенотерм**, некоторые виды пенополиполиэтилена **Порилекс, Изолон ППЭ, Пенолон**).

«Основы проектирования эффективной
шумозащиты в зданиях»

Этими вопросами занимается строительная акустика – научная дисциплина, изучающая вопросы защиты помещений, зданий и территорий населённых мест от шума архитектурно-планировочными и строительно-акустическими (конструктивными) методами. К архитектурно-планировочным методам относятся:

- рациональные (с точки зрения защиты от шума) объёмно-планировочные решения зданий и помещений;
- удаление источников шума от защищаемых объектов; оптимальная планировка микрорайонов, жилых районов, а также территорий промышленных предприятий.

Строительно-акустические методы включают применение конструкций и устройств, обеспечивающих эффективное снижение уровня шума, они тесно связаны с проблемой снижения шума от технологического, санитарно-технического и инженерного оборудования, средств транспорта, механизированного инструмента и бытовых приборов (во многих случаях борьба с шумом, прежде всего, целесообразна непосредственно в источнике его возникновения).

В любом случае основным «помощником» проектировщиков и архитекторов в деле защиты человека от повышенного звукового давления и создания акустического комфорта являются ограждающие конструкции (стены, перегородки, перекрытия).

На базе различных методов, используемых в строительной акустике, разработаны рекомендации по проектированию ограждающих конструкций, обеспечивающих нормативную звукоизоляцию.

Рекомендации общего характера.

Элементы ограждающих конструкций рекомендуется проектировать из материалов с плотной структурой, не имеющих сквозных пор. Огражде-

ния, выполненные из материалов со сквозной пористостью, должны иметь наружные слои из плотного материала, бетона или раствора. Внутренние стены и перегородки из кирпича, керамических и шлакобетонных блоков рекомендуется проектировать с заполнением швов на всю толщину и оштукатуренных с двух сторон безусадочным раствором.

В целях облегчения ограждающих конструкций рекомендуется применение слоистых конструкций вместо акустически однородных. При этом следует по возможности исключать жесткие связи между слоями и заполнять воздушные промежутки звукопоглощающими материалами (стекловолокнистыми или минераловатными матами, плитами). Следует иметь в виду, что при применении минераловатных плит плотностью более 60 кг/м^3 специальных мер по креплению плит не требуется.

Междуэтажные перекрытия.

- Звукоизоляционную прокладку под конструкцией пола проектируют в виде сплошного слоя (так называемые «плавающие полы») или полосовых прокладок (деревянные полы по лагам). Суммарная площадь, через которую передается нагрузка на полосовые прокладки, должна быть не менее 25% площади пола.
- Пол на звукоизоляционном слое или прокладках не должен иметь жестких связей (звуковых мостиков) с несущей частью перекрытия, стенами и другими конструкциями здания, т.е. должен быть «плавающим». Деревянный пол или плавающее бетонное основание пола (стяжка) должны быть отделены по контуру от стен или других конструкций здания зазорами шириной 1-2 см, заполненными звукоизоляционным материалом или изделиями из пористого полипропилена и т.п. Плинтусы следует крепить только к полу или только к стене.
- При проектировании пола в виде монолитной плавающей стяжки необходимо предусматривать по вибродемфирующей прокладке из материалов, имеющих акустический сертификат соответствия, подтверждающего звукоизоляционные свойства. В качестве таковых рекомендуется использовать минераловатные маты на битумной подоснове или вспененные полипропилены (**Пенотерм НПП ЛЭ**) и радиционно и химически сшитые пенополиэтилены (Изолон ППЭ, Пенолон). При использовании вспененных полимеров применение дополнительной гидроизоляции не требуется.
- Для увеличения звукоизоляции перекрытия с полом на вибродемпфирующем слое при заданной конструкции несущей части возможно принятие следующих мер: уменьшение динамической жесткости звукоизоляционного слоя путем его утолщения; увеличение поверхностной плотности пола; применение под звукоизоляционным слоем засыпок из песка, шлака и тп в дополнение к основному звукоизоляционному слою; применение

сплошных звукоизоляционных прокладок вместо полосовых; увеличение средней толщины промежутка между несущей частью и полом.

Внутренние стены и перегородки

- Двойные стены или перегородки обычно проектируют с жесткой связью между элементами по контуру или в отдельных точках. Величина промежутка между элементами конструкций должна быть не менее 40 мм. для увеличения звукоизоляции двойных стен и перегородок рекомендуются следующие конструктивные меры: увеличение толщины промежутка между элементами двойной конструкции; устранение жесткой связи между элементами двойной конструкции, а также с конструкциями, примыкающими к стенам и перегородкам.
- Для увеличения звукоизоляции воздушного шума стеной или перегородкой, выполненной из железобетона, бетона, кирпича и т.п., в ряде случаев целесообразно использовать дополнительную обшивку на относе. В качестве обшивки могут использоваться: гипсокартонные листы, твердые древесно-волокнистые плиты и подобные листовые материалы, прикрепленные к стене по деревянным рейкам, по линейным или точечным маякам из гипсового или цементно-песчаного раствора, по металлическому каркасу. Воздушный промежуток между стеной и обшивкой целесообразно выполнять толщиной 40-60 мм и заполнять мягким звукопоглощающим материалом (минераловатными или стекловолокнистыми плитами, вспененными полиэтиленами и тд.). Оптимальная толщина звукопоглотителя составляет 2/3 толщины воздушного промежутка.
- Внутренние стены, разделяющие жилые и встроенные шумные помещения, к которым предъявляются повышенные требования по изоляции воздушного шума (требуемый индекс R_W = 54…59 дБ), следует проектировать двойными с полным разобщением их элементов между собой и от примыкающих конструкций, исключающим косвенную передачу звука в изолируемое помещение по примыкающим стенам и перекрытиям.

Звукоизоляция междуэтажных перекрытий с плавающим полом

Выбор конструкции плавающего пола определяется назначением помещений и зданий, в которых предполагается устройство пола, а также типом и толщиной несущей плиты перекрытия в жилых и общественных зданиях.

Плавающий пол представляет собой плиту или стяжку из бетона, гипса или асфальта или других подобных материалов толщиной не менее 50 мм и поверхностной плотностью не менее 60 кг/м^2, укладываемую на слой упругого изоляционного материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ. При необходимости выполняется армирование стяжки.

Значения индексов приведенного уровня ударного шума для перекрытий с плитами сплошного сечения следует принимать по таблице

Таблица

Поверхностная плотность плиты перекрытия, кг/м^2	**Ориентировочная толщина плиты перекрытия, мм**	**Значения L_{nwo}, дБ**
150	**60**	**86**
200	**80**	**84**
250	**100**	**82**
300	**120**	**80**
350	**140**	**78**
450	**180**	**76**

Примечание: 1) При подвесном потолке из листовых материалов (ГКЛ, ГВЛ и т.п.) и значений L_{nwo} вычитается 1 дБ.

2) При заполнении пространства над подвесным потолком звукопоглощающим материалом из значений L_{nwo} вычитается 2 дБ.

Индекс приведенного ударного шума L_{nW} под междуэтажным перекрытием с полом на звукоизоляционном слое следует определять в соответствии с актуализированным в 2011 году СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».

Требуемая толщина звукоизоляционного слоя материала ПЕНОТЕРМ ® НПП ЛЭ определяется расчетом.

Для эффективного использования звукоизоляционного материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ необходимо правильно выбрать соотношение между толщиной слоя изоляционного материала и нагрузкой (стяжкой с покрытием пола) с тем, чтобы резонансная частота колебания пола была минимально низкой и при этом не происходило разрушения звукоизоляционной прокладки.

Применение звукоизоляционных прокладок из материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ в зависимости от толщины прокладки и поверхностной плотности стяжки обеспечивает индекс снижения приведенного уровня ударного шума под перекрытием (AL_{nW}) от 20 до 22 дБ, что в большинстве реальных случаев позволяет выполнить нормативные требования по изоляции ударного шума.

Принципиальные схемы конструктивных решений звукоизоляции междуэтажного перекрытия представлены на рис. 2

Полы в зданиях

Относительная влажность воздуха в помещениях в процессе устройства покрытия полов не должна превышать 80%. Температура воздуха на уровне пола при устройстве выравнивающей цементно-песчаной стяжки должна быть

не менее +5°С. Устройство полов должно выполнятся после окончания всех строительно-монтажных, электротехнических и отделочных работ.

До начала производства работ по устройству полов монтажные отверстия в перекрытиях, зазоры между плитами, места примыкания перекрытий к стенам перегородок, трубам должны быть заделаны цементно-песчаным раствором не ниже М 100.

В местах пересечения инженерных коммуникаций, а также местах примыкания к оконным витражам, конструкциям должна быть выполнена негорючая изоляция.

При укладке звукоизоляционных прокладок из материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ в коридорах, следует предусмотреть рассечки из негорючих материалов шириной не менее 200 мм, устанавливаемые не реже чем через 60 м.

При устройстве теплоизоляции пола над вентилируемым подпольем, толщина материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ подбирается теплотехническим расчетом в соответствии с СНиП П-3-79* «Строительная теплотехника». При это учитывается, что коэффициент теплопроводности .=0,0344 Вт/м °К (Заключение НИИМосСтрой № 2-222/02 от 11.09.02 г.).

Расчет перекрытия.

Индекс изоляции воздушного шума R_W в дБ перекрытием определяется по табл. 15 СП «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий», в зависимости от величины индекса изоляции воздушного шума плитой перекрытия R_{wo}, определенного в соответствии с п.п. 3.3 и частоты резонанса f_p в Гц, определяется по формуле:

$$f_p = 0{,}1\sqrt{\frac{E_Д \cdot (m_1 + m_2)}{h_3 \cdot m_1 \cdot m_2}}$$, где

$E_Д = 6{,}6 \cdot 10^5$ Па (динамический модуль упругости звукоизоляционного слоя);

$m_1 = 450$ кг/м^2 (поверхностная плотность плиты);

$m_2 = 108$ кг/м^2 (поверхностная плотность выше звукоизоляционного слоя) – стяжка и покрытие пола;

$h_3 = h_0 \cdot (1 - \varepsilon)$, где h_0 – толщина звукоизоляционного слоя в не обжатом состоянии – 0,008 м; ε – относительное сжатие материала под нагрузкой – 0,1;

$h_3 = 0{,}008 \cdot (1 - 0{,}1) = 0{,}0072$

$f_p = 0{,}1\sqrt{\frac{6{,}6 \cdot 10^5 \cdot (450 + 108)}{0{,}0072 \cdot 450 \cdot 108}} \approx 160$ Гц.

$R_w = 37 \lg m_1 + 5 \lg K - 44$,дБ, где m_1 – поверхностная плотность плиты перекрытия и К – коэффициент;

Для монолитных плит К = 1.

$R_w = 31 \lg 54 - 40 = 35$ дБ.

В зависимости от f_p и R_{wo} определяем R_W = 55 дБ, что соответствует нормативному значению.

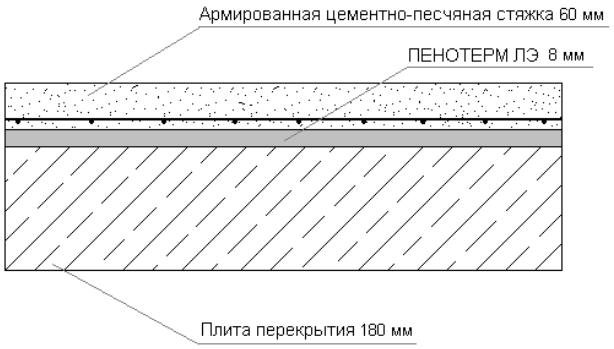


рисунок №2

Расчет изоляции ударного шума междуэтажным перекрытием.

Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nW} перекрытием с полом на звукоизоляционном слое определяется по табл.17 СП «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий» в зависимости от величины индекса приведенного уровня ударного шума перекрытия L_{nwo}, определяемого по табл.18 и частоты колебания пола, лежащего на звукоизоляционном слое - f_O, определяемой по формуле:

$$f_o = 0{,}1 \sqrt{\frac{E_Д}{h_3 \cdot m_2}}, \text{Гц, где}$$

$E_Д = 6{,}6 \cdot 10^5$ Па;

$h_3 = 0{,}0072$;

$m_2 = 108$ кг/м^2.

$$f_o = 0.1 \sqrt{\frac{6{,}6 \cdot 10^5}{0{,}0072 \cdot 108}} \approx 128 \text{ Гц.}$$

L_{nwo}= 76 дБ для плиты с поверхностной плотностью 450 кг/м^2.

В зависимости от L_{nwo} и f_o определяем $L_{nW.}$= 56 дБ, при этом норматив выполняется, если фактическое значение меньше или равно нормативному.

Исследования и оптимизация шумоизлучения воздухораспределителей на примере продукции завода «Арктос» с целью снижения шумообразования

Толоконников И. С.
ООО "Арктос"
r_shuhart@mail.ru

Одним из важных параметров вентиляционной системы является уровень генерируемого шума. Поскольку система вентиляции часто является основным источником шума в помещении, уровень генерируемого ей шума не должен превышать нормируемых значений. При этом система вентиляции должны выполнять и свою основную функцию - формирование требуемых климатических условий внутри помещения. Два этих требования часто противоречат друг другу., и создание системы вентиляции превращается в задачу по поиску оптимального варианта обеспечения требуемых аэродинамических характеристик, наиболее малошумными методами.

Шум вентиляционных систем состоит из двух составляющих: первая - шум, от различных источников, распространяющийся по воздуховодам, и вторая - шум, генерируемый конечными устройствами вентиляционных систем (воздухораспределителями). И если первая составляющая достаточно эффективно снижается путем применения шумоглушителей, то вторая часть задачи гораздо сложнее. Воздухораспределители хотя и выполняют функции дополнительных шумоглушителей для распространяющегося по воздуховодам шума, но помимо этого генерируют собственный шум, снизить который дополнительными устройствами уже не представляется возможным. Поэтому остается путь снижения генерируемого шума в источнике, то есть воздухораспределителе.

Но прежде чем перейти непосредственно к снижению шума рассмотрим начальные условия для этой задачи. Первое - необходимо получить акустические характеристики рассматриваемого воздухораспределителя. Тогда зная количество и расположение воздухораспределителей в помещении можно получить уровень шума в нем, предельные значения которого определяются нормативными документами. Особенностью получения акустических характеристик воздухораспределителей в отличии от большинства других источников шума состоит в том, что они представляются не в виде ряда чисел, представляющих собой уровни звуковой мощности в октавных полосах частот, а в виде ряда функций, описывающих зависимость

октавных уровней звуковой мощности от объемного расхода воздуха. Это создает дополнительные трудности при проведении измерений. Точность полученных характеристик зависит в данном случае не только от акустических измерений, но и от точности определения объемного расхода, что в условии массовых измерений различных изделий может вызывать определенные трудности. Кроме этого отдельной проблемой при таких испытаниях является фоновый шум. Возможность генерации значительных уровней шума переходными устройствами при измерении акустических характеристик воздухораспределительных устройств отмечена и в ГОСТ 31338-2006 (ИСО 5135:1997), но при этом не дано никаких рекомендаций по ее устранению или оценке. Так как в рассматриваемом случае для проведения измерений использовалась заглушенная камера, звукоизоляция места проведения измерений от внешних воздействий достаточно велика, фоновый шум при отключенной подаче воздуха составлял не более 15 дБ. Но измерения характеристик воздухораспределителей требуют подведение воздуха к месту испытаний. И именно это является основным источником фонового шума. Шумообразование при подведении воздуха к месту проведения испытаний можно разделить на две части

- шум, распространяющийся по воздуховоду, это и шум от вентиляционной установки, и шум, генерируемый в самом воздуховоде, а так же шум, поступающий снаружи через тонкие стенки воздуховода

- шум, генерируемый непосредственно на выходе из воздуховода, или на конечных переходных устройствах.

Основным отличием первого вида фонового шума является то что источники его образования находятся вне заглушенной камеры, и поэтому могут быть исключены достаточно простыми способами: шум вентиляционной установки – при помощи установленной системы шумоглушителей, шум, генерируемый внутри воздуховода может быть снижен путем создания рациональной конфигурации воздуховода и/или при помощи той же системы глушителей, шум, проходящий через стенки воздуховода можно снизить применяя звукоизоляцию открытых участков воздуховода. Все это позволяет свести данный вид фонового шума к минимуму. Кроме того влияние данных факторов может быть измерено и вычтено из конечных результатов измерений.

Источники же второй составляющей фонового шума находятся внутри заглушенной камеры и поэтому не могут быть изолированы от места проведения измерения, кроме того, уровень генерируемого шума зависит от расхода и установленного на воздуховоде переходного устройства и измеряемого образца, поэтому не может быть измерен отдельно, а значит, его нельзя исключить из результатов. И для его снижения требуются проработки схем подвода воздуха к месту проведения измерения, а так же конструкции применяемых переходных устройств

Так как типоразмерный ряд воздухораспределителей обычно достаточно велик. А проведение испытания всех образцов невозможно Необходимо находить аналитические зависимости не только от объемного расхода воздуха, но и от размеров воздухораспределителя, данная зависимость для отдельной октавной частоты имеет вид:

$$L_w = b_0 + b_1 \lg L + b_2 \lg S$$

где L_{wf} - октавный уровень звуковой мощности,
S – параметр зависящий от геометрических параметров воздухораспределителя, обычно площадь живого сечения,
L – объемный расход воздуха,
b_0, b_1, b_2 - коэффициенты, которые могут быть получены опытным путем по результатам измерений.

После получения акустических характеристик воздухораспределителя необходимо выделить основной механизм шумообразования, это может быть аэродинамический шум при обтекании отдельных элементов, например жалюзи решеток истечение струи из сопла, резонансный шум возбуждаемый вибрацией элементов воздухораспределителя.

Рассмотрим вышесказанное на примере соплового воздухораспределителя. Основной задачей сопла является создание высокоскоростной струи воздуха и подача ее на большое расстояние. Уровень аэродинамического шума зависит от скорости потока пропорционально 10^4 на низких частотах и 10^{11} на высоких частотах. И с повышением скорости следует ожидать, что уровень генерируемого воздухораспределителем шума будет высоким. Снизить генерацию шума в данном случае можно только за счет оптимизации условий прохождения воздушного потока через воздухораспределитель и выхода из него.

Для решения поставленной задачи по снижению генерации шума воздухораспределителем, необходимо сначала определить какие именно параметры сопла оказывают наиболее существенное влияние на генерацию шума, выделить те из них, изменение которых минимально влияет на аэродинамические параметры, и варьированием таких параметров добиться соблюдения требуемых условий.

Рассмотрим, что же представляет собой сопло. По определению соплом является канал переменного сечения. Соответственно существует множество вариантов его конструктивного исполнения, но при этом основная конструкция сопла достаточно проста и содержит минимальное количество элементов. Поэтому изменить что либо, без изменения аэродинамических характеристик, весьма сложно. Общий вид сопла, который мы примем за основной и будем в дальнейшем рассматривать, представлен на рис. 1 и 2.

Для выявления параметров оказывающих существенное влияние на генерацию шума были проведены измерение акустических и некоторых аэродинамических характеристик нескольких образцов сопел.

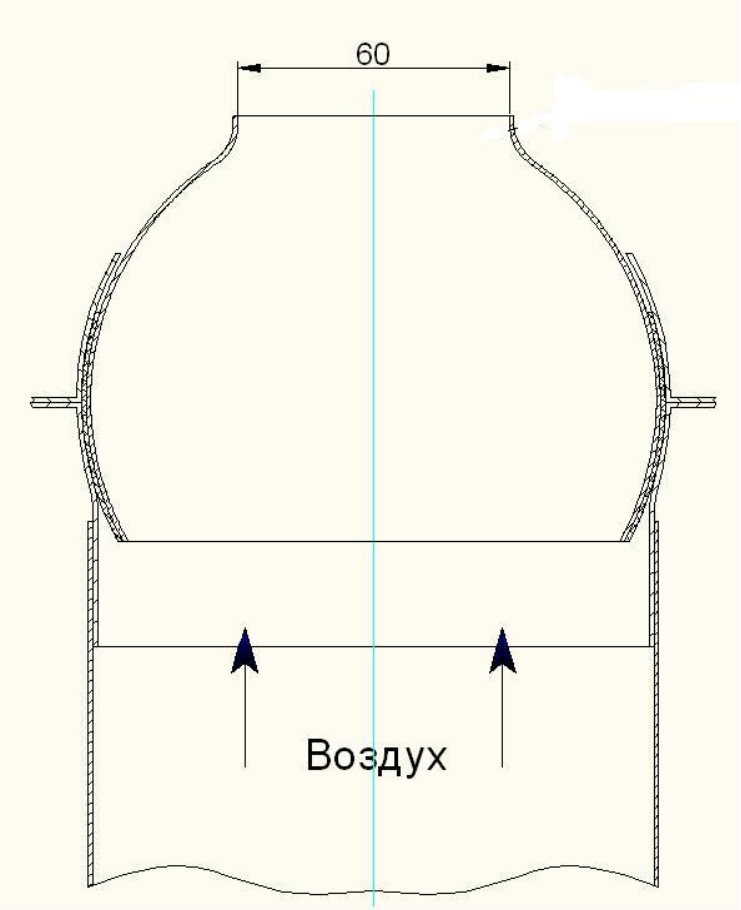


Рис.1 Схема образца сопла

Рис.2 Общий вид образца сопла

При проведении испытаний измерялись уровни звукового давления (УЗД) в дБ в октавных полосах частот, уровень звука в дБА, записывался узкополосный спектр с шириной полосы 2 Гц, измерялась средняя скорость воздуха в сечении подводящего воздуховода. Акустические измерения производились внутри заглушенной камеры со звукоотражающим полом, входящей в состав акустического стенда НИЛАА завода ООО «Арктос». Испытания каждого образца проводились при минимум семи различных значениях объемного расхода воздуха. На основе полученных данных рассчитывался уровень звуковой мощности испытуемого образца в зависимости от расхода воздуха.

Для краткости не будем подробно останавливаться на полученных данных, а перейдем сразу к выводам, которые можно из них сделать. Проведенные испытания показали следующее:

- даже у полностью аналогичных образцов имеются значительные колебания уровня шума при одинаковых расходах.

- конфигурация входного патрубка не оказывает существенного влияния на уровень шума.

- длинна выходного патрубка не оказывает ощутимого влияния на уровень шума сопла.

На основе экспериментальных данных, а так же внешнего осмотра образцов сопел, можно сделать вывод, что основным фактором, влияющим

на шумоизлучение сопла, является кромка выходного патрубка. При этом механизм шумообразования связан с возникновением и срывом вихрей с острых граней при выходе потока воздуха с большой скоростью из выходного патрубка. Отсюда следует что, для снижения уровня шума необходимо уменьшить турбулезацию потока при истечении его из выходного патрубка, что можно сделать несколькими путями:

- уменьшение скорости потока
- уменьшив влияние элементов вызывающих турбулезацию потока

Рис. 3 Образец с необработанной кромкой

Первый вариант может быть выполнен снижением скорости истечения или созданием дополнительного переходного слоя с меньшей скоростью, который будет находиться между основным потоком и окружающей средой, первое, как, было указано выше, противоречит исходным требованиям, а второе слишком сложно для данного случая.

Поэтому был выбран второй вариант – снизить влияние кромок выходного патрубка на поток с данными характеристиками. Выполнение скруглений и фасок на кромках см рис 4, как и любая механическая обработка, вводит дополнительную операцию в технологию изготовления, что удорожает и усложняет конструкцию. Так как нельзя изменить параметры

кромок и параметры потока, то необходимо вынести кромки из зоны действия высокоскоростного потока. Это можно сделать, как уже упоминалось, загнув стенку выходного патрубка. Но не обязательно выносить из потока обе кромки, так как основным источником шума должна являться внешняя кромка, находящаяся на границе потока и окружающей среды. Поэтому просто увеличив ширину стенки можно отнести внешнюю кромку от оси изделия и соответственно удалить ее из зоны потока с высокой скоростью истечения. Причем ощутимый эффект должно давать даже незначительное увеличение толщины стенки сопла. Данное утверждение проиллюстрировано на рисунке 6.

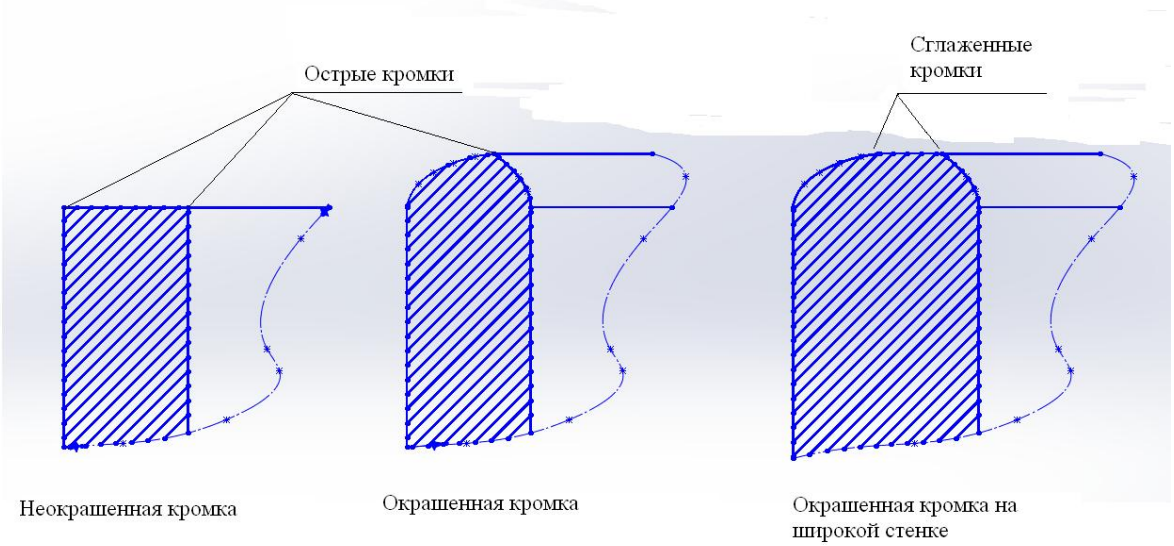


Рис. 4 Различные варианты кромок выходного патрубка

Для проверки данного предположения были проведены испытания двух серий образцов сопел с диапазоном диаметра выходного патрубка от 60 до 200 мм. и толщинами стенок 0,6 и 0,9 мм. Наиболее наглядно результаты можно посмотреть на примере нескольких образцов с диаметрами выходного патрубка 60, 80 и 160мм, спектры шумоизлучения которых представлены на рисунках 5- 10.

Как показали испытания разница в уровне звуковой мощности между образцами с толщиной стенки 0,6 и 0,9 мм при диаметре выходного патрубка 60, 80 и 160 мм. и максимальном измеренном расходе воздуха составляет соответственно 14, 10, и 5 дБА. При этом основное снижение происходит, в диапазоне частот от 500 до 4000Гц.

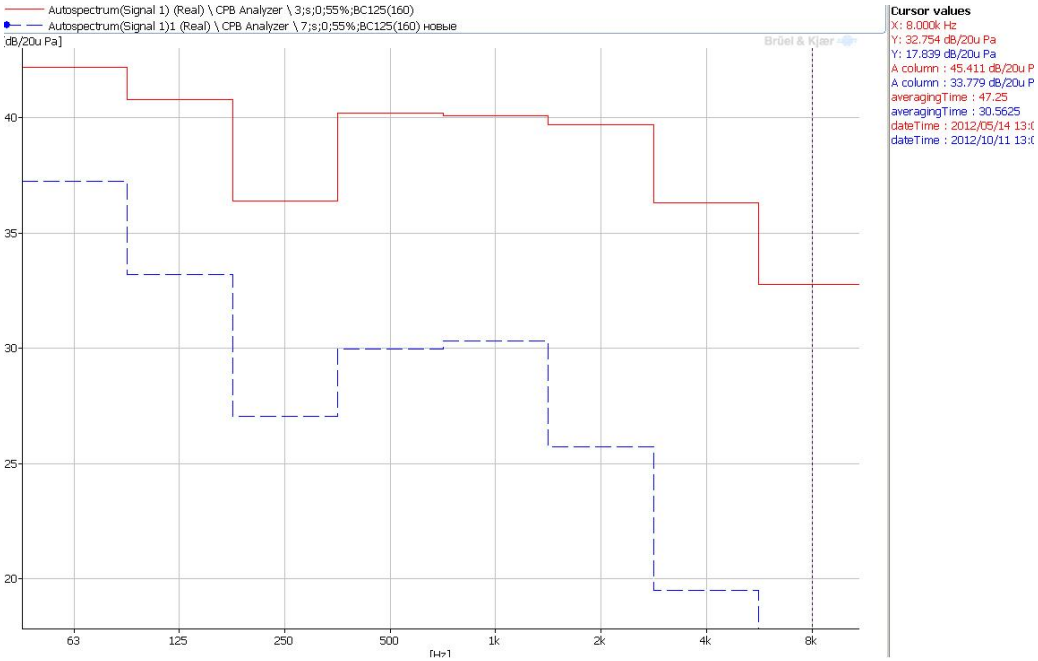


Рис. 5 Октавные спектры уровней звукового давления в одной из точек измерения для двух образцов сопел с диаметром патрубка 60мм при максимальном измеренном объеме подачи воздуха

– – – – - толщина стенки 0,9 мм

——— - толщина стенки 0,6 мм

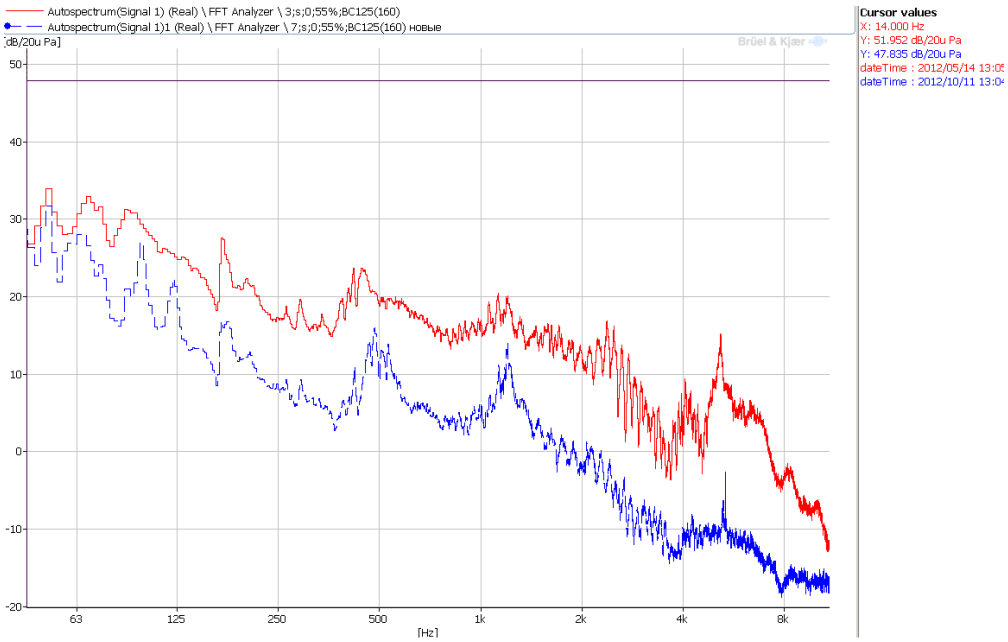


Рис. 6 Узкополосные спектры уровней звукового давления в одной из точек измерения для двух образцов сопел с диаметром патрубка 60мм при максимальном измеренном объеме подачи воздуха

– – – – - толщина стенки 0,9 мм

——— - толщина стенки 0,6 мм

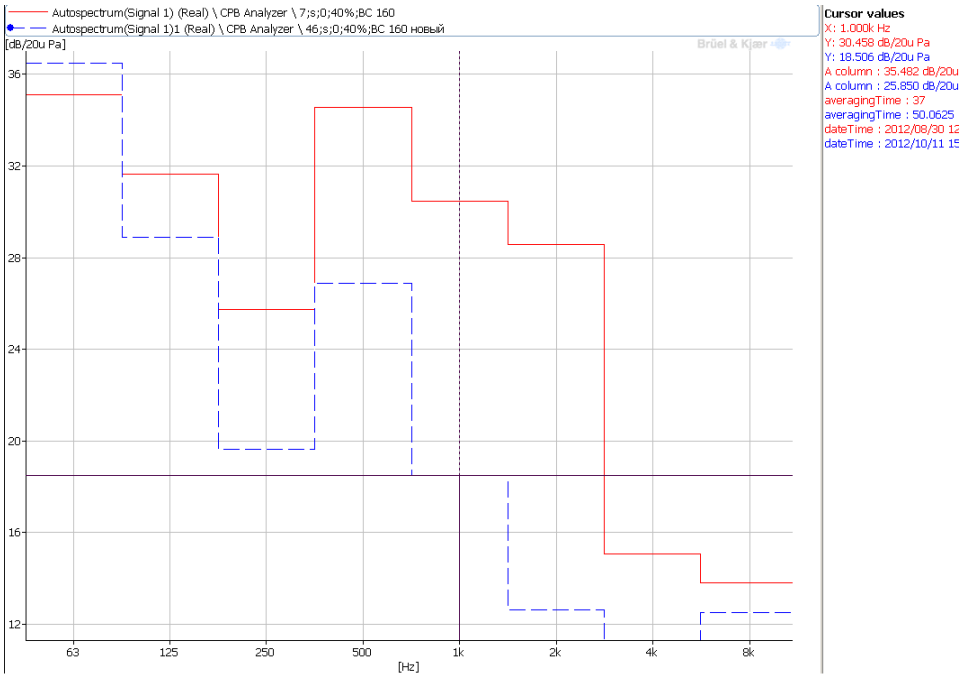


Рис. 7 Октавные спектры уровней звукового давления в одной из точек измерения для двух образцов сопел с диаметром патрубка 80мм при максимальном измеренном объеме подачи воздуха

– – – – - толщина стенки 0,9 мм

——— - толщина стенки 0,6 мм

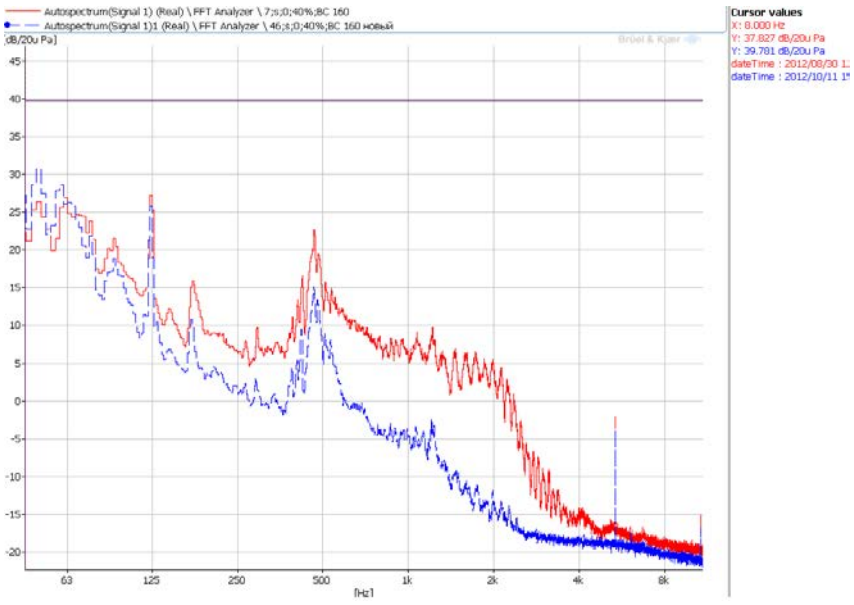


Рис. 8 Узкополосные спектры уровней звукового давления в одной из точек измерения для двух образцов сопел с диаметром патрубка 80мм при максимальном измеренном объеме подачи воздуха

– – – – - толщина стенки 0,9 мм

——— - толщина стенки 0,6 мм

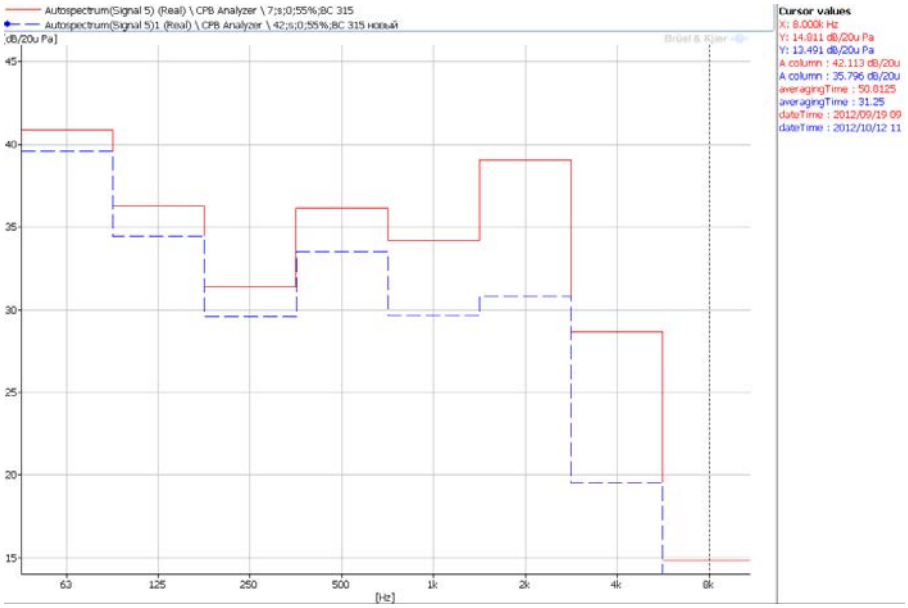


Рис. 9 Октавные спектры уровней звукового давления в одной из точек измерения для двух образцов сопел с диаметром патрубка 160мм при максимальном измеренном объеме подачи воздуха

— — — — - толщина стенки 0,9 мм

——————— - толщина стенки 0,6 мм

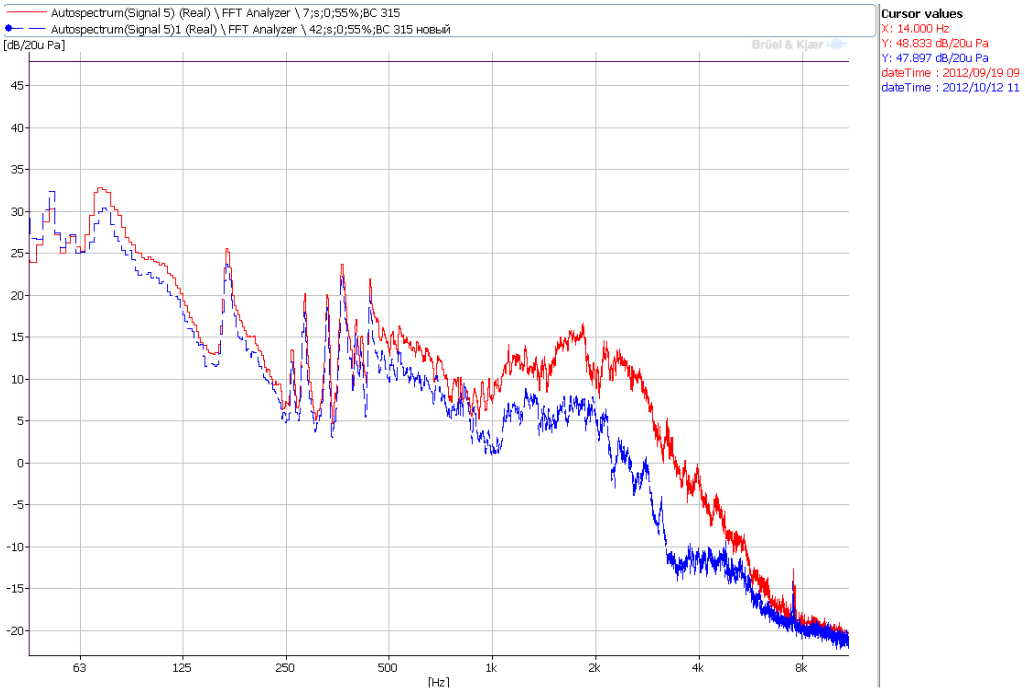


Рис. 10 Узкополосные спектры уровней звукового давления в одной из точек измерения для двух образцов сопел с диаметром патрубка 160мм при максимальном измеренном объеме подачи воздуха

— — — — - толщина стенки 0,9 мм

——————— - толщина стенки 0,6 мм

Все образцы с увеличенной толщиной стенок выходного патрубка показали более низкий уровень шума, чем у образцов с первоначальной толщиной стенок. Анализ данных измерений говорит о том, что основным параметром определяющем шумоизлучение сопла является скорость воздуха проходящего через выходной патрубок и характер кромок выходного патрубка, при этом влияние качества кромок несколько снижается при уменьшении скорости и при уменьшении отношения длинны кромки к площади выходного патрубка сопла. Большее значение имеет внешняя кромка, так как она является основным источником вихре-, а значит и шумообразования. И даже незначительное увеличение ширины стенки выходного патрубка в данном случае с 0,6 до 0,9 мм, приводит к тому, что внешняя кромка выносится из потока воздуха с высокой скоростью и вихреобразование снижается. Что позволяет снизить шум в высоко и средне частотной области, а также общий его уровень, при полном сохранении аэродинамических параметров сопла, и практически неизменной сложности изготовления. Полученные результаты могут найти применение и при создании других воздухораспределителей, имеющих сходные особенности.

Литература

1. ГОСТ 31273-2003 Шум машин. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Точные методы для заглушенных камер
2. ГОСТ 31338-2006 (ИСО 5135:1997) Акустика. Определение уровней звуковой мощности воздухораспределительного оборудования демпферов и клапанов в реверберационном помещении
3. Шум турбулентных потоков А. В. Смоляков ЦНИИ А. Н. Крылова СПб 2005г.
4. Noise and Fluids engineering. The American Society of Mechanical engineers United Engineering Centre New York 1977

Влияние шума на маркшейдера при работе в подземных горных выработках

Цаплев В.М.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)
valery@convergences-fr.ru

Характерными и существенными чертами научно-технической революции выступают не только создание новых конструкционных материалов, появление новых предметов труда и вида продукции (например, таких, как информация), возникновение принципиально новых технологий (в диапазоне от космического до молекулярного уровней), кардинальные изменения в организации производства и управления им, но и, в первую очередь, изменения места и роли человека в производственном процессе и, как неизбежное следствие, изменение не только требований к этому человеку, но и его, этого человека, требований к условиям своей производственной деятельности.

Введение

Усиление гуманизации производственных отношений приводит к тому, что ставшее общепризнанным требование обеспечения безопасных условий трудовой деятельности человека становится сегодня “необходимым, но уже недостаточным” для развития производства и для самосовершенствования человека не только как важнейшего элемента этого производства, но и как личности. Одно из основных прав современного человека – право на труд – сегодня все отчетливее принимает облик “права на труд в условиях, достойных человека”, когда определяющими становятся не требования технологии производства, а требования оптимальных условий для деятельности человека, как главного, определяющего звена любой технологии. Разумеется, что сказанное не относится в полной мере к деятельности человека в экстремальных условиях при стихийных бедствиях, технологических катастрофах или при ликвидации их последствий. Необходимо заметить, что столь модный в недавнем прошлом лозунг: “План – любой ценой!”, перестал быть императивом, определяющим поведение как трудовых коллективов в целом, так и каждого индивида, входящего в их состав. Работа на производстве должна быть организована таким образом, чтобы работник мог преодолеть усталость и утомление от труда для социальной

активности и восстановиться к следующему трудовому дню, чтобы отрицательные влияния производства на человека- труженика не накапливались, чтобы высокая работоспособность исполнителя сохранялась как можно более длительный период времени и чтобы здоровье работающего на горном предприятии человека не ухудшалось вследствие воздействия различных производственных факторов [1,3,4].

Объективная неизбежность изменения роли и места человека в производственной деятельности отражена сознанием в виде появления первоначально некоторых немногих идей, превратившихся затем в особые разделы современного научного знания – знания эргономические, существующие ныне как общая и частные эргономики. Под эргономикой понимается область знания, комплексно изучающая трудовую деятельность человека в системах “человек – техника - среда” с целью обеспечения ее эффективности, безопасности и комфорта. Общая эргономика изучает названную систему как таковую, абстрагированную от особенностей большого числа конкретных систем “человек – техника – среда(внешние условия)”. Частные (отдельные) эргономики делают предметом своего изучения особые эргатические системы, складывающиеся в условиях конкретных форм взаимодействия человека, техники и внешних условий труда. Эргатическая система – искусственно созданная человеком система при обязательном его участии, обладающая новыми, особыми свойствами по сравнению со свойствами слагающих ее компонентов. Частные эргономики конкретизируют знания об универсальной структуре эргатических систем и об общих закономерностях их функционирования применительно к различным видам трудовой деятельности человека – труженика [4,5]. По объекту исследований частные эргономики заметно отличаются одна от другой, так как каждая из них непосредственно примыкает к вполне определенному циклу технических наук соответственно профилю трудовой деятельности. Универсальная модель эргатической системы “человек – техника - среда” предстает при этом в виде различных модификаций. Например, “человек – станок – условия производства”, “исследователь – аппаратура – условия эксперимента” и т.д. Можно назвать такие частные эргономики: машиностроительная эргономика, геодезическая эргономика, горная эргономика маркшейдерская эргономика и др. Маркшейдерская эргономика изучает функционирование маркшейдерской эргатической системы (МЭС), образующей триаду “человек (маркшейдер) – измерительный прибор – условия горного производства ”.

Эксперимент 1

Исследованию компонента “производственный шум”, входящего в часть “условия горного производства” маркшейдерской эргономики и посвящена настоящая работа. В качестве объекта исследования принят марк-

шейдерский отдел шахты “Комсомольская” ОАО “Воркутауголь”. Изучались условия среды подземных горных выработок при работе участкового маркшейдера по съемкам шахты. Особое внимание уделено трем факторам: воздействию производственного шума на человека исполнителя, тяжести и напряженности труда участкового маркшейдера. Использовались замеры уровня звука в четырех точках:

1. Добычной забой (лава) при добыче угля комбайном КШ-3м, уровень звука -89 дБА;
2. Проходческий забой при бурении шпуров электросверлом МСЭР-19м, уровень звука - 86 дБА;
3. Проходческий забой при погрузке горной массы погрузчиком 2ПНБ-2, уровень звука – 88 дБА;
4. Откаточный штрек при транспортировке угля, уровень звука – 80 дБА.

Измеренный уровень шума достаточно высок. Обработка замеров уровня звука выполнена по методике, применяемой в Санитарно-гигиенической медицинской академии Санкт-Петербурга [2]. При обработке принято, что маркшейдер участка 2 часа работал в добычном забое, 2 часа – в проходческом забое и 4 часа находился в откаточных штреках шахты. Допустимый уровень шума в горных выработках , производственных помещениях и на территории поверхности горного предприятия (шахты “Комсомольская”) составляет 80 дБА. По методике [2] следует с допустимым значением сравнивать эквивалентный уровень шума. Участковый маркшейдер выполняет съемки горных выработок, задает направление проходке горным выработкам, составляет планы горных выработок, работает с теодолитом, нивелиром, дальномером и другими приборами. Это работы требуют серьезности и концентрации внимания маркшейдера. Следовательно, маркшейдерские работы в подземных условиях можно классифицировать, как “высококвалифицированные, требующие сосредоточенности и внимания”. Тогда допустимый уровень эквивалентного шума при маркшейдерских работах в шахте не может быть более 60 дБА. Рассчитаем эквивалентный уровень шума по приведенным замерам по методике, изложенной в [2]. Результаты вычислений даны в табл.1. Сначала вводится поправка за время воздействия. По данным [2] эта поправка отрицательна и составляет для двухчасового воздействия 6дБА, а для четырехчасового воздействия – 3дБА. Затем, пользуясь правилами эквивалентной замены, находим эквивалентные уровни звукового давления на рабочем месте участкового маркшейдера.

Таблица 1

Вычисление эквивалентного уровня шума для участкового маркшейдера шахты “КОМСОМОЛЬСКАЯ”

Место проведения замера	Фактический уровень шума, дБА	Время воздействия, час.	Поправка, дБА	Уточненный уровень шума, дБА
1	2	3	4	5
Добычной забой	89	2	- 6	83
Проходческий забой (отгрузка горной массы)	88	2	- 6	82
Откаточный штрек (транспортировка)	80	4	- 3	77
Эквивалентный уровень шума для рабочего места маркшейдера				86

Превышение фактического уровня шума над предельно допустимым получается 26 дБА. Этот результат требует отнести условия работы участкового маркшейдера к вредным 3 класса 3-й степени [2, табл.3 стр.13]. Это означает, что участковый маркшейдер находится под землей в горных выработках при условиях труда, характеризующихся такими уровнями вредных факторов, которые приводят к развитию, как правило, профессиональной патологии в легких формах в период трудовой деятельности, росту хронической общесоматической патологии, включая повышенные уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности [2, стр.8].

Для оценки напряженности и тяжести труда участкового маркшейдера шахты “Комсомольская” ОАО “Воркутауголь” был использован метод анкетирования и метод хронометрических наблюдений с предварительным анализом производственной деятельности маркшейдеров. Итоговая оценка давалась по рекомендациям, изложенным в [2]. При анализе напряженности труда маркшейдера к категории вредности 3.1 относилось 5 показателей, а к категории 3.2 – 3 показателя: восприятие информации и ее оценка (комплексная оценка всей производственной деятельности участка), степень риска для собственной жизни (вероятна) и степень риска за безопасность других (вероятна) [4]. Следовательно, итоговая оценка напряженности труда маркшейдера соответствовала 1-й степени 3-го класса. При анализе тяжести труда маркшейдера подавляющее число показателей относилось к допустимым (2-й класс вредности, но по результатам анкетирования отмечено нахождение в фиксированной, неудобной позе более чем в 50% случаев. В связи с этим труд маркшейдера по тяжести был отнесен к 1-й

степени 3-го класса вредности [4]. Приведенные данные позволяют утверждать, что главным вредным производственным фактором, влияющим на условия труда маркшейдера в подземных горных выработках Воркутского месторождения угля является производственный шум. Однако, на шахтах Воркуты не проводятся серьезные антишумовые мероприятия, применяется лишь защита маркшейдеров временем, когда исполнитель спускается в шахту не каждый день.

Эксперимент 2

При втором эксперименте наблюдались условия труда сменного маркшейдера на строительстве метрополитена Санкт-Петербурга. Оценка условий труда сменного маркшейдера в подземных горных выработках Метростроя выполнялась в правом перегонном тоннеле шахты №613 АОЗТ "СМУ – 15 Метростроя", где были измерены различные производственные факторы в трех точках: при проходке тоннеля щитовым проходческим комплексом КТ1 – 5,6; при установки бетонного кольца обделки и в нейтральной точке тоннеля при проложении подземного полигонометрческого теодолитного хода. Уровни звукового давления оказались: в первой точке – 92 дБА, во второй точке – 89 дБА, а в третьей точке – 86 дБА. При обработке этих измерений по методике [2] был получен эквивалентный уровень шума для рабочего места сменного маркшейдера – 88 дБА. Этот результат позволяет отнести в соответствии с изложенной выше методикой условия труда сменного маркшейдера метростроя к вредным 3 класса 3-й степени. Необходимо отметить, что и в этом случае не проводятся специальные антишумовые мероприятия. Все другие производственные факторы в выбранных точках перегонного тоннеля были в допустимых пределах.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Исследования труда работников следует проводить в рамках системных эргономических исследований функционирования различных эргатических систем вида "человек – техника - среда".
2. При пилотных исследованиях параметра "среда горного подземного производства" маркшейдерской эргатической системы изучалось влияние ряда производственных факторов на здоровье исполнителя. В результате исследований получено, что производственный шум - главный фактор, весьма серьезно влияющий на здоровье маркшейдера при подземных горных работах.
3. В горнодобывающей промышленности исследования влияния звукового давления на трудящегося горняка-шахтера носят локальный характер и не привели к выработке профилактических антишумовых мероприятий.

Библиография

1. Боброва-Голикова Л.П. и др. Эргономика и безопасность труда. М., Машиностроение, 1985. 112 с.
2. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Руководство.- М., Информ.-изд. Центр Госкомсанэпиднадзора России. 1994. 44 с.
3. Зараковский Г.М., Павлов В.В. Закономерности функционирования эргатических систем. М. Радио и связь 1987. 232 с.
4. Зверевич В.В., Коршунов Г.И., Рыбкин В.К. Человеческий фактор в маркшейдерском деле.- СПб.: ОАО “Издательство “Недра”, 1998. 184 с.
5. Leamon T.B. Ergonomics and improvements to working conditions in mines.// The mining Engineers, №232, 1981.

Применение фрактального анализа для оценки психофизиологического состояния маркшейдера после шумового воздействия

Цаплев В.М.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)
valery@convergences-fr.ru

Понятие “фрактал” было впервые введено Бенуа Мандельбротом в 1975 г. [7]. Этим словом Мандельброт обозначил широкий класс естественных и искусственных топологических форм, главной особенностью которых является самоподобная иерархическая структура [1,5,7]. Самоподобие подразумевает, что внешне, с точки зрения формы, фрактальный объект состоит из большого числа точных или статистических “копий” самого себя, которые последовательно обнаруживаются на все более подробных масштабных шкалах.

Математически прототип современного фрактала – непрерывная, но бесконечно изрезанная функция, не имеющая ни в одной точке производной – впервые был рассмотрен К.Вейерштрассом в 1886 г. [9]. Долгое время считалось, что функции без производных и геометрические объекты без касательных есть абстрактный изыск, не имеющий отношения к реальному устройству Природы. Исследования второй половины двадцатого века полностью опровергли это заблуждение, т.к. вышеназванные функции и объекты оказались основой множества хорошо знакомых, повсюду окружающих нас вещей [6,7]. Фрактальным строением обладает огромное число объектов и процессов в окружающем нас мире. Прекрасным примером может служить крона дерева. Обычно крона имеет ветвящуюся, многомасштабную структуру с отчетливо выраженным самоподобием: ветви разных масштабов похожи между собой и на дерево в целом. Примерами фракталов являются поверхность облаков и гор, разветвленные системы рек, траектории броуновских частиц, турбулентные вихри в атмосфере и в воде, контуры электрических разрядов и многие другие объекты и явления. Несмотря на внешнее разнообразие встречающихся в природе самоподобных образцов, все они обладают общей количественной мерой – фрактальной размерностью, характеризующей скорость увеличения элементов фрактала с увеличением интервала масштабов, на котором он рассматривается [2,4]. Работая с картами разных масштабов, можно обнаружить, что результат измерения длины берега в пересчете на реальные расстояния закономер-

ным образом возрастает при переходе к все более подробным изображениям. Этот известный с начала двадцатого века парадокс легко разрешается, если допустить, что береговая линия имеет не эвклидову размерность 1, а дробную размерность D между 1 и 2. На практике определение D изрезанной береговой линии сводится к построению зависимости измеряемой длины береговой линии S от масштаба m в двойном логарифмическом масштабе.

В конце восьмидесятых годов прошлого века главнейшей областью применения фрактального исчисления становится биология вообще и медицина в частности. Исследователи сошлись во мнении, что применение фрактальных методов поднимает принципиально новый класс вопросов, касающихся основ функциональной организации живых систем. В особой степени биологов привлекает то, что сложные биологические структуры и сигналы могут быть численно характеризованы всего лишь одним параметром – показателем фрактальной размерности. Более того, биологически сложные объекты могут быть описаны моделями с чрезвычайно простыми свойствами [4]. Исследованиями [1,4] установлено, что в фазовом представлении записи большинства биологических ритмов характеризуются “размытым” притягивающим множеством так называемым странным аттрактором, сигнализирующим о присутствии в вариациях физиологических показателей динамического хаоса. В большинстве случаев странный аттрактор обладает фрактальной структурой с дробной размерностью. Крайне показательно, что с изменением структуры хаоса в динамике мозга сопряжено восприятие организмом не только сенсорных, но и несенсорных информационных стимулов. В работе [4] экспериментально установлено, что рецепция слабого внешнего сверх низкочастотного магнитного поля сопровождается согласованным снижением трех структур мозга (ретикулярной формации, гипокампа, акустической коры) при одновременном расширении масштабного диапазона фрактального поведения электроэнцефалограммы. Указанные свойства фрактальной картины мозга позволили лаборатории психофизиологии психоневрологического института им. В.М.Бехтерева разработать уникальную методику диагностики текущего функционального состояния головного мозга человека [2,4].

Эксперимент

Кафедра маркшейдерского дела национального минерально-сырьевого университета “Горный” (г. Санкт - Петербург) по согласованию с руководителем указанной выше лаборатории психофизиологии проф.В.Б. Слезиным применила эту методику для оценки утомляемости работника – маркшейдера [2,3]. В основу диагностики положена известная в физиологии зависимость между характером и уровнем активности центральной нервной системы и субъективным восприятием фактора времени. Метод

реализован в виде компьютерной программы, нацеленной на определение точности оценки испытуемым временных интервалов разной длины. Испытуемым предлагается совершить серию ритмических нажатий на клавишу персонального компьютера, пытаясь воспроизвести темп, заданный предварительно компьютером с помощью зрительного и слухового сигналов. Помехоустойчивость метода достаточно велика, так как на фоне шумов или разговоров с испытуемым результаты тестирования почти не меняются. Периоды повторения тестового сигнала составляли 1сек., 2 сек., 4сек. и 8 сек. Обработка полученных при тестировании данных проводилась с использованием фрактального математического анализа, адекватно учитывающего особенности структуры низкочастотных физиологических процессов в норме и патологии [2,3,8].

После проведения компьютерного обследования оценивался ряд параметров временного реагирования, характеризующих функциональное состояние головного мозга испытуемого. К таким параметрам отнесены: относительный разброс, фрактальный индекс, разброс фрактального индекса и уровень активации.

Относительный разброс есть средняя по всем временным масштабам относительная погрешность (стандартное отклонение) частоты нажатий, выраженная в процентах. Этот показатель отражает среднюю точность реагирования и, следовательно, уровень внимания испытуемого. Относительный разброс в норме должен быть не менее 10,0. Считается достаточно приемлемым отклонение этого показателя до 2,0 единиц, а большее отклонение говорит о некоторой патологии.

Фрактальный индекс временной реакции есть степенной показатель в соотношении между дисперсией частоты нажатий и средним периодом их повторения. Данное соотношение в норме имеет форму степенной зависимости, которая может рассматриваться как закон Вебера – Фехнера для процесса запоминания. В соответствии с этим, фрактальный индекс на интервалах времени 1 – 8 сек. характеризует адекватность работы механизмов оперативной памяти. Нормальное значение фрактального индекса составляет 1,4 – 1,6. Считается допустимым, когда фрактальный индекс попадает в пределы 1,2 – 1,4 и 1,6 – 1,8.

Разброс фрактального индекса по временным масштабам позволяет оценить степень устойчивости указанного выше фрактального индекса и связанный с ней резерв психофизиологической адаптации испытуемого. Этот показатель должен быть меньше 30%. Он принимается приемлемым в интервале 30 – 50%. При величине разброса фрактального индекса более 50% считается, что определение самого фрактального индекса выполнено не надежно.

Уровень активации определяется соотношением числа нажатий с периодом большим и меньшим заданного. Этот показатель указывает на

смещение баланса в сторону реакций возбуждения или торможения соответственно. Уровень активации в норме может колебаться от -0,3 до +0,3. Допустимые отклонения могут составлять 0,3, так что уровень активации может находиться в интервале от -0,6 до +0,6. [3].

Предложенная методика оценки функционального состояния центральной нервной системы работника была опробована среди маркшейдеров отдела геолого – маркшейдерских работ ЗАО “Петрометрострой” и компании ООО “Гиро”. Результаты обследования испытуемых маркшейдеров в утренние и вечерние часы приведены в табл.1.

Данные табл.1 показывают, что приблизительно в 2/3 случаев показатели временного реагирования испытуемых к концу рабочего дня (к вечеру) ухудшались, а в остальной части случаев этот эффект не наблюдался. Таким образом, в целом по группе испытуемых данные обследования позволяют говорить лишь об умеренном утомлении маркшейдеров в течение рабочего дня.

Таблица 1

Данные обследования группы маркшейдеров методом компьютерного психофизиологического тестирования.

№№	Год рождения	Относительный разброс, %		Фрактальный индекс		Разброс фрактального индекса, %		Уровень активации	
		утро	вечер	утро	вечер	утро	вечер	утро	вечер
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1963	10,0 13,3	14,5* 20,2*	1,22 1,21	0,98* 1,17*	10,7 58,4	30,1 104,6*	0,50 0,16	0,13* 0,38
2	1967	8,4 6,7 5,9	12,8* 8,6* 9,9*	1,73 1,42 1,09	1,52* 1,57 0,64*	16,7 36,6 39,0	67,9* 41,8* 86,3*	0,63 0,34 0,44	0,41* 0,22* 0,09*
3	1994	8,1 7,0 7,3	7,7 6,9 6,5	0,97 1,22 1,24	1,29 1,59 0,86*	57,8 44,4 32,0	74,5* 45,9* 94,4*	-0,06 0,25 0,03	-0,09 0,22* 0,03
4	1984	9,9 12,7	8,1 9,7	1,66 1,50	1,37* 1,17*	41,2 44,5	24,5 92,3*	0,34 -0,34	-0,03 0,03
5	1996	9,1 9,7	5,6 7,4	1,49 1,44	1,31* 1,56	7,3 17,8	36,6* 7,4	0,22 0,53	0,31 0,47*
6	1997	6,3 7,0	6,1 6,9	1,40 1,50	1,39* 1,37*	27,1 31,2	23,2 18,4	0,56 0,25	-0,06* 0,00*
7	1967	10,0 10,5	11,8* 11,1*	1,49 1,80	1,43* 1,81	65,1 19,4	20,9 17,5	0,16 0,16	0,00* 0,03*
8	1983	6,2 8,3 11,2	7,7* 9,2 7,5	0,90 1,39 1,31	1,30 1,52 1,16*	74,2 27,2 57,3	16,2 39,5* 79,1*	0,16 0,63 0,06	0,13* -0,19* 0,25
9	1967	13,4 9,4	6,8 6,7	1,20 1,17	0,97* 1,10*	44,9 18,7	87,8* 74,6*	0,16 0,00	-0,16* -0,16*

*- Ухудшение показателя к концу рабочего дня

При обследовании маркшейдеры выполняли нивелирные работы в тоннеле при шумовом интегральном воздействии в 76 дБА, а потом занимались различными камеральными работами. Здесь следует отметить, что согласно ГОСТ, маркшейдерские работы в подземных условиях можно классифицировать, как “высококвалифицированные, требующие сосредоточенности и внимания”, при которых допустимый уровень эквивалентного шума при маркшейдерских работах в шахте не должна быть более 60 дБА. Значит, чувствительность метода компьютерного психофизиологического тестирования достаточно высока, так как испытания проводились на уровне умеренных профессиональных шумовых нагрузок. При увеличении нагрузки следует ожидать более сильных отклонений оценочных параметров от нормы. Анализ полученных показателей позволяет предположить, что недостаточно выраженная картина утомления связана с возрастной неоднородностью группы испытуемых. У четырёх испытуемых (№№ 1,2,7,9) 45 лет и более признаки утомления проявляются достаточно отчетливо. Кроме того у этих испытуемых возрастает отклонение фрактального индекса от нормы, что говорит о снижении прочности оперативной памяти. Увеличивается разброс фрактального индекса и соответственно снижается резерв психофизиологической адаптации испытуемых. Уровень активации также уменьшается, что связано с увеличением числа тормозных реакций (типичное явление для начальной фазы переутомления). В то же время возрастание относительного разброса, служащее симптомом более сильной психофизиологической нагрузки и повышенной утомляемости, наблюдалось лишь у трёх (№№ 1,2,7) из перечисленных выше испытуемых. Другие, более молодые, испытуемые в возрасте до 40 лет не обнаружили симптомов утомления.

Помимо средних значений перечисленных выше показателей временного реагирования полезную информацию о характере функционального состояния испытуемых дает статистический разброс этих показателей. Его величина в вечерние часы (в конце рабочего дня) оказалась по всем измерениям несколько выше, чем с утра, что говорит о возрастании функциональной неустойчивости головного мозга испытуемых к концу работы.

Таким образом, использованный здесь метод компьютерной психофизиологической диагностики может быть рекомендован для оперативной оценки уровня утомления работников при маркшейдерском обеспечении горных разработок. Применение этого метода на рабочем месте позволит определить индивидуальную картину нагрузки и выявить состояния исполнителей, сопряженные с повышенным риском профессиональной ошибки при проведении ответственных маркшейдерских работ (ориентировок, различных сбоек, выносе в натуру границ барьерных целиков и др.).

Заключение.

1.Фрактальный анализ нашел широкое применение не только при изучении неживой природы, но также и в биологии и медицине.

2.Метод компьютерной диагностики психофизиологического состояния человека, основанный на определении точности оценки испытуемым временных интервалов разной длины, примененный для анализа утомляемости маркшейдеров, показал высокое качество полученных оценок.

3. Этот метод может быть рекомендован для оперативной оценки состояния уровня утомления маркшейдеров при шумовом воздействии горных работ.

4.Также данный метод может быть применен для профилактического профессионального осмотра маркшейдеров и для выявления предболезненных состояний, при которых подземный труд нежелателен.

Библиография.

1.Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу: Ритмы жизни. - М.: Мир, - 1991. - 248 с.

2.Зверевич В.В., Стенин Н.И. Моделирование маркшейдерских работ. СПб.: ОАО “Издательство ”Недра”, 1998. -60 с.

3.Зверевич В.В., Урицкий В.М. Оценка функционального состояния головного мозга исполнителей при выполнении маркшейдерских работ. //Межвуз. Сб. //”Маркш. Дело и геодезия”, СПГГИ им. Г.В.Плеханова, СПб, 1997, - с. 55 – 58.

4.Урицкий В.М., Музалевская Н.И. Фрактальные структуры и процессы в биологии.//В сб. //”Биомедицинская информатика” под ред. Р.И.Полонникова, СПИИ РАН, 1995, - с.84-129

5.Федер Е. Фракталы. – Пер. с англ. Ю.А.Данилова и А.Шукурова. М., Мир, 1991, - 263 с.

6.Юргенс Х., Пайтген Х-О., Заупе Д. Язык фракталов. – В мире науки., 1991, 1990, № 10, с. 36 -42.

7.Mandelbrot B. B. The fractal geometry of Nature/ - San Francisco.: W.H.Freeman and Co., 1982.

8.Musha T., Jamamoto M. 1/f fluctuation of biological rhythm. – Proc. 13-th Int. Conf. ”Noise in Phys. Syst. and 1/f Fluctuations”. Singapure. World Scientific. 1995, p. 22 – 31.

9.Weierstrass K. Abhandlungen aus der Funktionlehre. – Berlin.:1886.

Акустическое излучение в окружающую среду как проявление ВЧ-неустойчивости процессов в камерах ТД

Пинчук А.В. [1], *Соколов А.В.* [2]
1Научно-технический Центр «Протей»
2Балтийский государственный технический университет им. Д.Ф. Устинова

Аннотация. Известно, что неустойчивость процесса в камерах ТД непосредственным образом влияет на уровень акустического излучения двигателя в окружающую среду. В работе, в этой связи, уточняется механизм ВЧ-неустойчивости и возможные воздействия на устойчивость его энергообеспечения, в том числе и в целях ограничения акустического излучения двигателя в окружающую среду.

1. Акустическое излучение в окружающую среду тепловых энергопреобразователей различного назначения, в том числе (если не прежде всего) тепловых двигателей, средств авиационной и ракетно-космической техники (ТД) прежде всего обуславливается свойственной рабочим процессам внутрикамерной высокочастотной неустойчивости. При этом с ростом её проявления акустическое излучение ТД в окружающую среду увеличивается. Иными словами, вопрос уточнения способов и механизмов воздействия на внутрикамерную ВЧН ТД представляет практический интерес.

2. Рабочим процессам в камерах сгорания ТД в условиях ВЧ-неустойчивости свойственна неустойчивость в распределении электрического заряда по объему продуктов сгорания, проявляющаяся формированием в их среде макроскопического характера флуктуационных образований с нескомпенсированным электрическим зарядом (аквазинейтральных) [1,2].

Условия Внутреннего Энергетического Равновесия (УВЭР) - между различными по природе состояниями сред в аквазинейтральном состоянии [3-6] в этом случае, описываются выражением

$$\prod_j p_j^{c_j} = \prod_j K(T)_j^{c_j} \exp\left(-\frac{\varepsilon_{act} - e\psi\Omega}{kT}\right), \quad j = A, B, AB, e\,. \qquad (1)$$

где ε_{act} – энергия активации реакции, которая в рамках конкретных условий представляется приоритетной. УВЭР зависят, таким образом, от наличия в составе среды избыточного электрического заряда $(\psi\Omega \approx e(n_i - n_e) = f(q))$.

Если T_{exc} - температура возбуждения заселенностей химических связей и электронных энергетических состояний уровня ε_j среды, то её соот-

ношение с T - температурой возбуждения «механических» энергетических состояний определится выражением:

$$T_{exc} = T \cdot \varepsilon_j / (\varepsilon_j - e\psi\Omega), \qquad (2)$$

указывающим на необходимость возбуждения в среде АК-образований (непосредственно с момента формирования) сложной по характеру релаксации, проявляющейся преобразованием (деформацией) функции распределения заселённостей химических связей и электронных энергетических состояний к форме: $N_{\varepsilon_j} \Rightarrow \exp\left(-(\varepsilon_j - e\psi\Omega)/kT\right)$ (3)

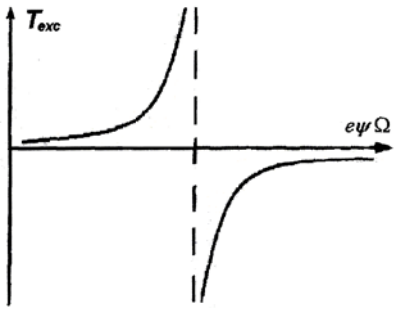


Рис.1 Зависимость $T_{exc} = f(e\varphi\Omega)$

Обращалось внимание, что функция температур возбуждения химических связей и электронных энергетических состояний аквазинейтральной среды при релаксации к отвечающим (2) условиям может претерпевать разрыв типа (+∞,-∞) или (-∞,+∞) (рис.1).

Отмеченное, по меньшей мере, косвенным образом указывает на возможность развития в этих условиях неустойчивостей атомно-молекулярной структуры среды.

Неустойчивостей, как можно предположить, способных в этих условиях проявляться, в том числе, потерей устойчивости электронов на орбитах, сходами электронов с орбит и даже поглощениями электронов ядрами, то есть энергопродуцирующими реакциями внутриядерного происхождения [4]. В работе была сделана попытка оценить, возможность энергоподпитки внутрикамерной ВЧ-неустойчивости таким образом.

3. В качестве первого шага в рамках сформулированного подхода оценивалась обоснованность формирования АК-образований в условиях развитых акустических воздействий на среду с характерными для ТД характеристиками.

Для описания состояния среды в камерах в условиях ВЧ-неустойчивости использовалась электрогазодинамическая система, сформулированная в рамках трехжидкостной плазменной модели [5]. В состав системы включались:

- уравнения движения электронного и ионного компонентов

$$m_e n_e \left(\frac{\partial}{\partial t} + U_e \nabla\right) U_e + \frac{e n_e}{\mu_e}(U_e - U_a) + \nabla p_e + e n_e E = 0 \qquad (4)$$

$$m_i n_i (\frac{\partial}{\partial t} + U_i \nabla) U_i + \frac{e n_i}{\mu_i}(U_i - U_a) + \nabla p_i - e n_i E = 0 \qquad (5)$$

- уравнение ионизационного равновесия в традиционном представлении

$$\frac{\alpha\eta}{(1-\alpha)(1+\eta)} = 6.666798 \cdot 10^{-2} \frac{T^{5/2}}{P_\Sigma} \exp\left(-\frac{eV}{kT}\right) \qquad (6)$$

- зависимости для среднемассовой плотности и скорости

$$\rho_\Sigma = \frac{m_e\eta + m_i\alpha + m_a(1-\alpha)}{1+\eta} \cdot \frac{P_\Sigma}{kT} \qquad (7)$$

$$U_\Sigma = \frac{U_e m_e \eta + U_i m_i \alpha + U_a m_a (1-\alpha)}{m_e\eta + m_i\alpha + m_a(1-\alpha)} \qquad (8)$$

- уравнение неразрывности потока

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho_\Sigma + \nabla(\rho_\Sigma U_\Sigma) = 0 \qquad (9)$$

- уравнение сохранения заряда

$$\frac{\partial}{\partial t} q + \Delta \vartheta_\kappa = 0 \qquad (10)$$

- уравнение Пуассона (электрической составляющей поля)

$$\Delta E - \frac{1}{\varepsilon_0} q = 0 \qquad (11)$$

Систему определим набором 8 линейно независимых уравнений с 10 неизвестными: $U_e, U_i, U_a, U_\Sigma, \rho_\Sigma, \alpha, \eta, E, P_\Sigma, T$. Замыкание системы обеспечивалось предположением, что – известные P_Σ, T функции и отвечают зависимостям:

$$P_\Sigma = p_0(1 + c \cdot \cos\left(\frac{2\pi n_1 f_0}{a_0} x\right) \sin(2\pi n_1 f_0 t)) \qquad (12)$$

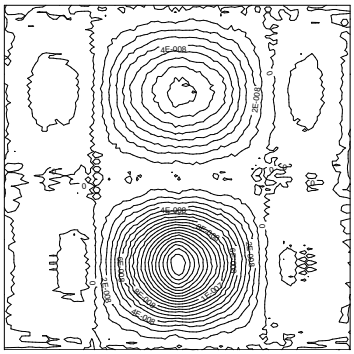
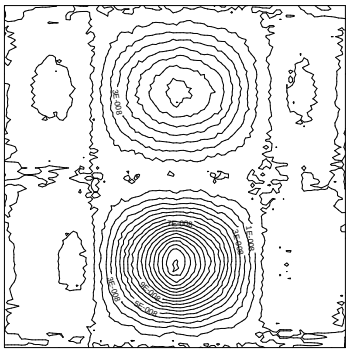
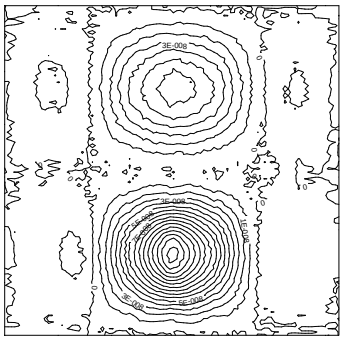
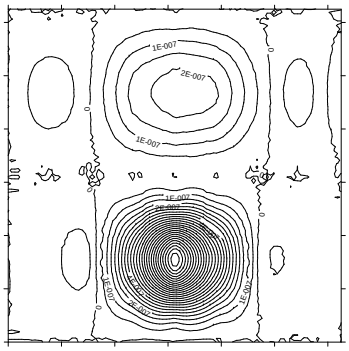
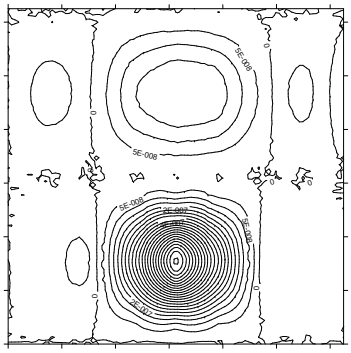
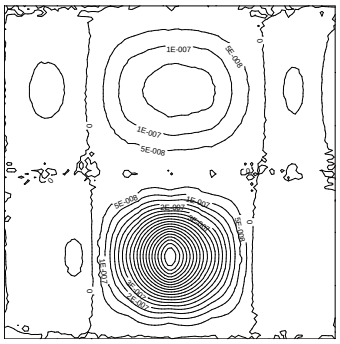
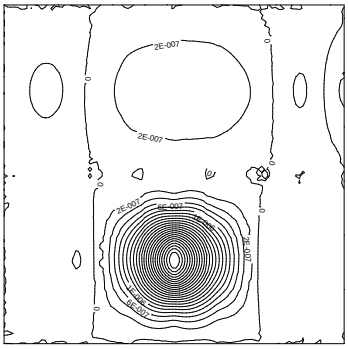
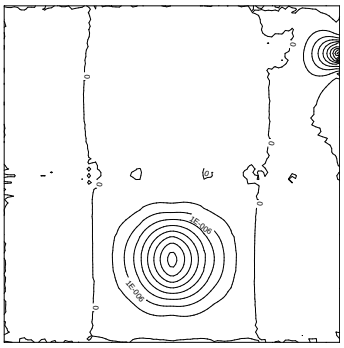
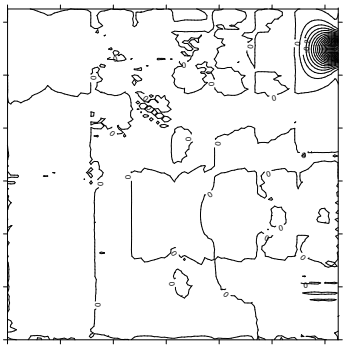
$$T = T_0 \left(P_\Sigma / P_0\right)^{(k-1)/k} \qquad (13)$$

Рассмотрение проводилось в одномерном представлении. Базовые значения давления, температуры и потенциала ионизации среды варьировались: $p_0 \in (5.0; 30.0)$, $T_0 \in (1000; 3500) K$, $VB \in (6; 16)$. Коэффициенты c и n_1 учитывались значениями 0.005…0.25 и 1…16, соответственно; скорость

звука $a_0 = 10^3$ / и базовая частота ВЧК давления $f_0 = 10^3 1/$ рассматривались постоянными.

4. В таблице 1 и 2 представлены пространственно-временные распределения $\psi\Omega = f(x,t)$ в зависимости от относительной амплитуды колебаний давления «с» в средах условного состава с $V = 12\,B$ и $V = 14\,B$ соответственно. Принимаемая в расчёт температура $T_0 = 2900\,K$. Величина P_0 принималась равной 15, 20, 25 МПа.

Таблица 1. Зависимость $\psi\Omega = f(x,t)$

С	$P_0 = 15 МПа$	$P_0 = 20 МПа$	$P_0 = 25 МПа$
0.05			
0.10			
0.15			

0.20

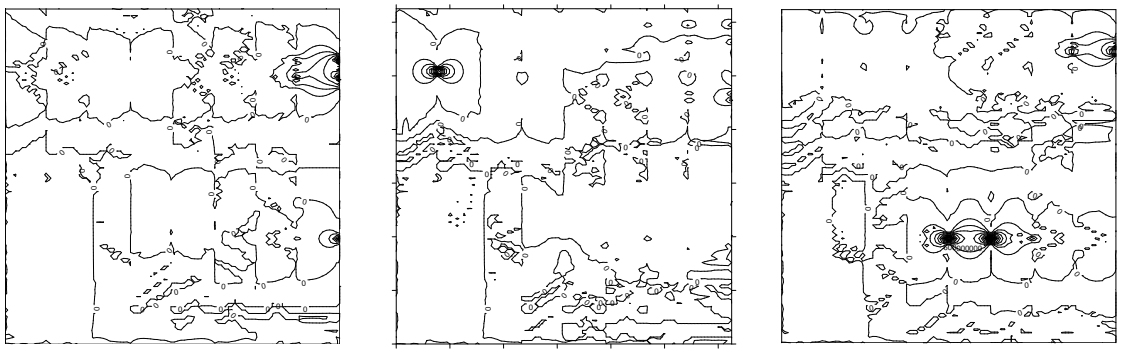
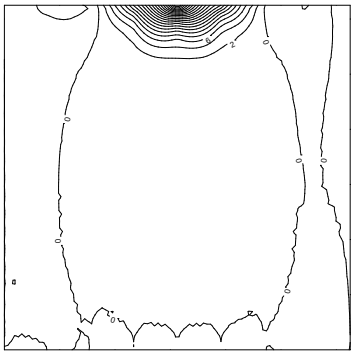
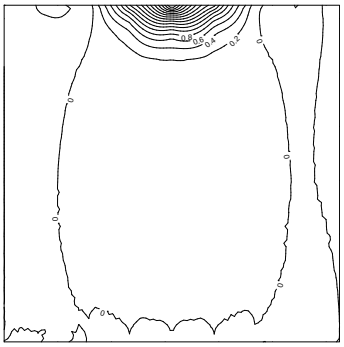
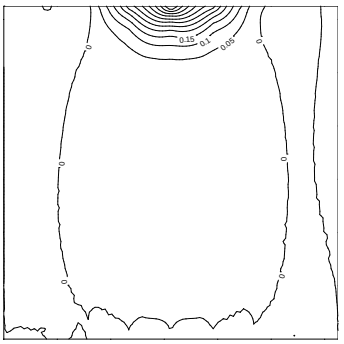
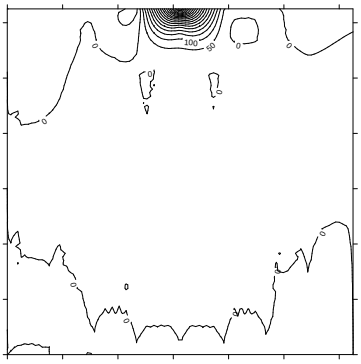
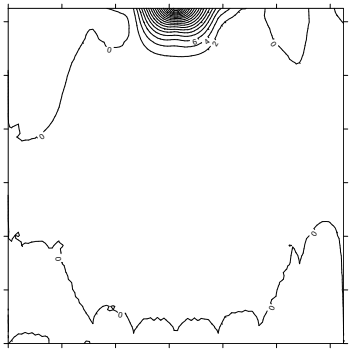
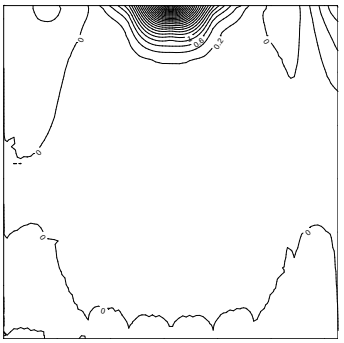
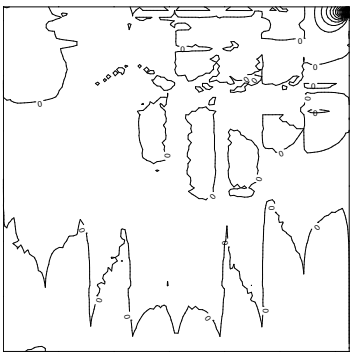
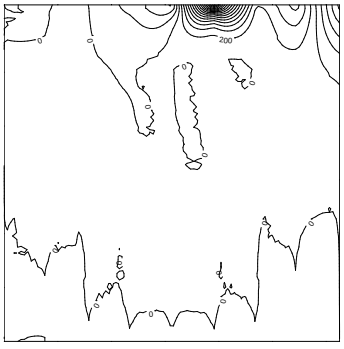
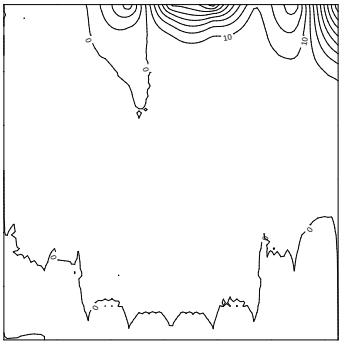
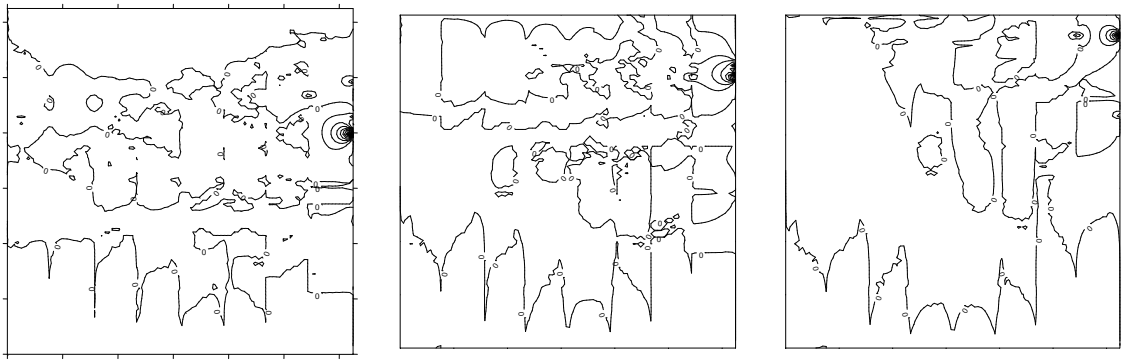


Таблица 2. Зависимость $\psi\Omega = f(x,t)$

C	$P_0 = 15МПа$	$P_0 = 20МПа$	$P_0 = 25МПа$
0.05			
0.10			
0.15			

0.20



Обсуждение результатов

Выявленные в рамках исследований пространственно-временные зависимости (табл., 1, 2) электрофизических отображений процесса в камерах, формируемые в условиях развития в плазме ПС зарядовых неустойчивостей, указывают на возможность адекватного и неадекватного характера их формирования. Последний свидетельствует в пользу возможностей формирования в учитываемых условиях состояний, соответствующих переходу T_{exc} через разрыв $(+\infty,-\infty)$ или $(-\infty,+\infty)$. Вероятность перехода с адекватного в неустойчивое состояние увеличивается с ростом амплитуды «с» и давления в камере P_0 при прочих равных условиях.

5. С учетом (1) и полученных в работе результатов, можно таким образом утверждать, что при любых уровнях акустических воздействий на среду ПС, в их составе формируются макроскопические образования с избыточным (нескомпенсированным) электрическим зарядом и отображающим его наличие в среде уровнем поправки к энергии активации характерных реакций $e\psi\Omega > 0$.

Иными словами, результатами устанавливается, что развитие ВЧ-неустойчивости в камерах РД неизбежно осуществляется на фоне существования обратной положительной связи, обеспечивающей, в связи с особенностями УВЭР, прежде всего кинетическими воздействиями на процесс за счёт стимулирования, например, реакций диссоциации, энергоподпитку ВЧ-неустойчивости рабочего процесса двигателя и оказывающей влияние, в том числе, и на уровень акустического излучения РД в окружающую среду.

Подтверждено, что в отдельных случаях первичными воздействиями обеспечивается характер изменения $T_{exc} = f(t)$ с прохождением через область разрыва. Результаты свидетельствуют, таким образом, в пользу возможностей развития в камере в условиях ВЧ-неустойчивости и явлений неустойчивости атомно-молекулярной структуры среды ПС и возбуждения в их составе энергопродуцирующих реакций в том числе и внутриядерного происхождения [3-6] (способствующих усилению интенсивности ВЧН а, следовательно, и акустического излучения двигателя).

Показано, что снижение состава среды в сторону уменьшения потенциала ионизации снижает вероятность формирования неустойчивых режимов развития ВЧ-неустойчивости.

Полученные результаты указывают на возможность воздействия на ВЧ-неустойчивость путем изменения ионизационных свойств топлива.

Библиографический список

1. Пинчук В.А. Низкотемпературная плазма в условиях развитых акустических воздействий// ИФЖ. 1994. Т.67. №1-2. С.112-118

2. Пинчук В.А. Электрофизические отображения процессов в камерах тепловых энергопреобразователей // СПБ. БГТУ «ВОЕНМЕХ». 2008. 122с.

3. Пинчук В.А., Швейко Ю.И. Исследование зарядовой неустойчивости как механизма энергоподпитки высокочастотных колебаний в камерах РД //Оптимизация элементов конструкций космических аппаратов и двигательных установок: сборник статей / БГТУ "ВОЕНМЕХ"; СПб. 2004. С. 181.

4. Пинчук А.В., Пинчук В.А. Концепция: мутация составов материальных сред как процесс, возбуждаемый зарядовыми воздействиями // РАН. Труды Академэнерго. 2008. № 2. С. 101-113.

5. Пинчук А.В. Условия внутреннего энергетического равновесия как объект экспериментальных исследований // Мат. Межд научн.-техн. конф. «Четвёртые Уткинские чтения». СПб. БГТУ. 2009. Т.2. С.6-9.

6. Пинчук А.В., Пинчук В.А. Шаровая молния: физические основы, концепция представлений // СПБ. БГТУ «ВОЕНМЕХ». 2011. 98с.

О влиянии резонансных явлений в стеклах на прохождение шума через окна

Кирпичников В.Ю. [1], *Дроздова Л.Ф.* [2], *Ляпунов Д.В.*[1]
[1] ФГУП Крыловский Научный Центр[2] Балтийский государственный технический университет им. Д.Ф. Устинова (Военмех)

Стекла окон и дверей являются, как правило, наиболее слабыми звукоизолирующими элементами ограждающих конструкций помещений. Результаты исследований их звукоизоляции содержатся во многих работах (см., например, /1–5/).

Известно принципиальное влияние на звукоизоляцию ограниченной пластины – физической модели стекла – возникающих в ней резонансных явлений /1/. Однако информация о роли этих явлений в формировании звукоизоляции стекол отсутствует. Действительно, звукоизоляцию стекол либо задают ее значениями в октавных полосах частот преимущественно от 63 до 8000 Гц, либо индексом изоляции воздушного шума, вычисление которого проводят с использованием значений звукоизоляции в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами от 100 до 3150 Гц.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование влияния резонансов изгибных колебаний в стеклах на прохождение шума через окна из помещений на улицу. Звукоизоляция наружной стены зданий, где находились помещения, была много больше звукоизоляции окон.

Были испытаны 15 однокамерных стеклопакетов (в дальнейшем для краткости – створки) пяти окон в трех помещениях.

На начальном этапе работы были измерены спектры вибровозбудимости створок при ударе вибромолотком. (Под вибровозбудимостью подразумевается величина виброускорения в дБ относительно 10^{-6} м/с^2, нормированная возбуждающей силой $20\lg F/F_0$, где F_0 = 1 Н).

Типовые узкополосные (Δf = 0,7 Гц) спектры вибровозбудимости стекол одной из створок приведены на рисунке 1. Измерения выполнялись на внутреннем стекле (ти2). Возбуждались ударом последовательно внутреннее (тв1) и наружное (тв1$'$) стекла створки. Из рисунка видно, что спектры вибровозбудимости стекла содержат большое число максимумов.

Была произведена идентификация форм изгибных колебаний внутреннего стекла створки на низших частотах максимумов (рис.2).

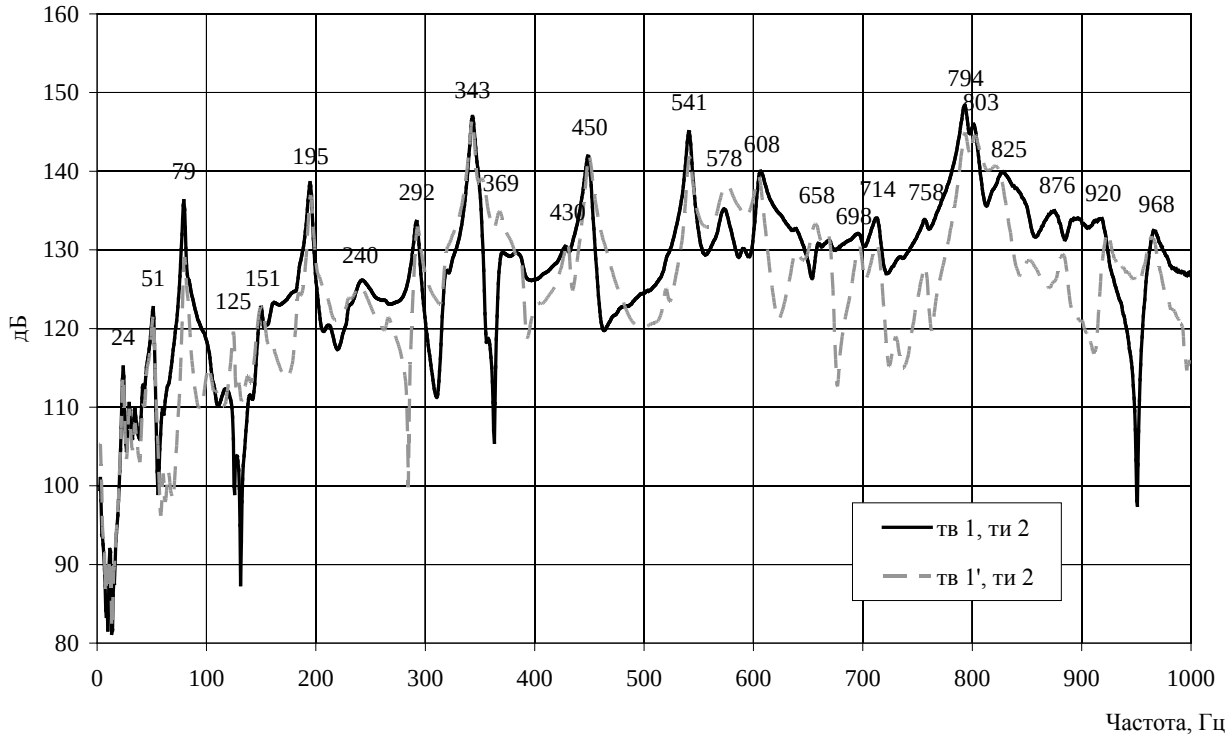


Рис.1. Типовые узкополосные (Δf = 0,7 Гц) спектры вибровозбудимости стекол створки

Номера форм колебаний (m и n – числа полуволн вдоль длинной и короткой сторон створки) приведены в таблице 1. Там же указаны измеренные значения собственных частот и частот максимумов в спектрах вибровозбудимости. (Их некоторое различие обусловлено рядом факторов, в том числе положением створки, открыта–закрыта, точностью считывания частот и т.д.).

Таблица 1

Форма колебаний		Собственные частоты, Гц	Частоты максимумов, Гц
m	n		
1	1	24	24
2	1	45	51
3	1	79	79–81
4	2	124	125
–	2	152	151–152
4	–	201	195

Был сделан вывод, что наличие максимумов в спектрах вибровозбудимости связано с возникновением в стеклах изгибных резонансов.

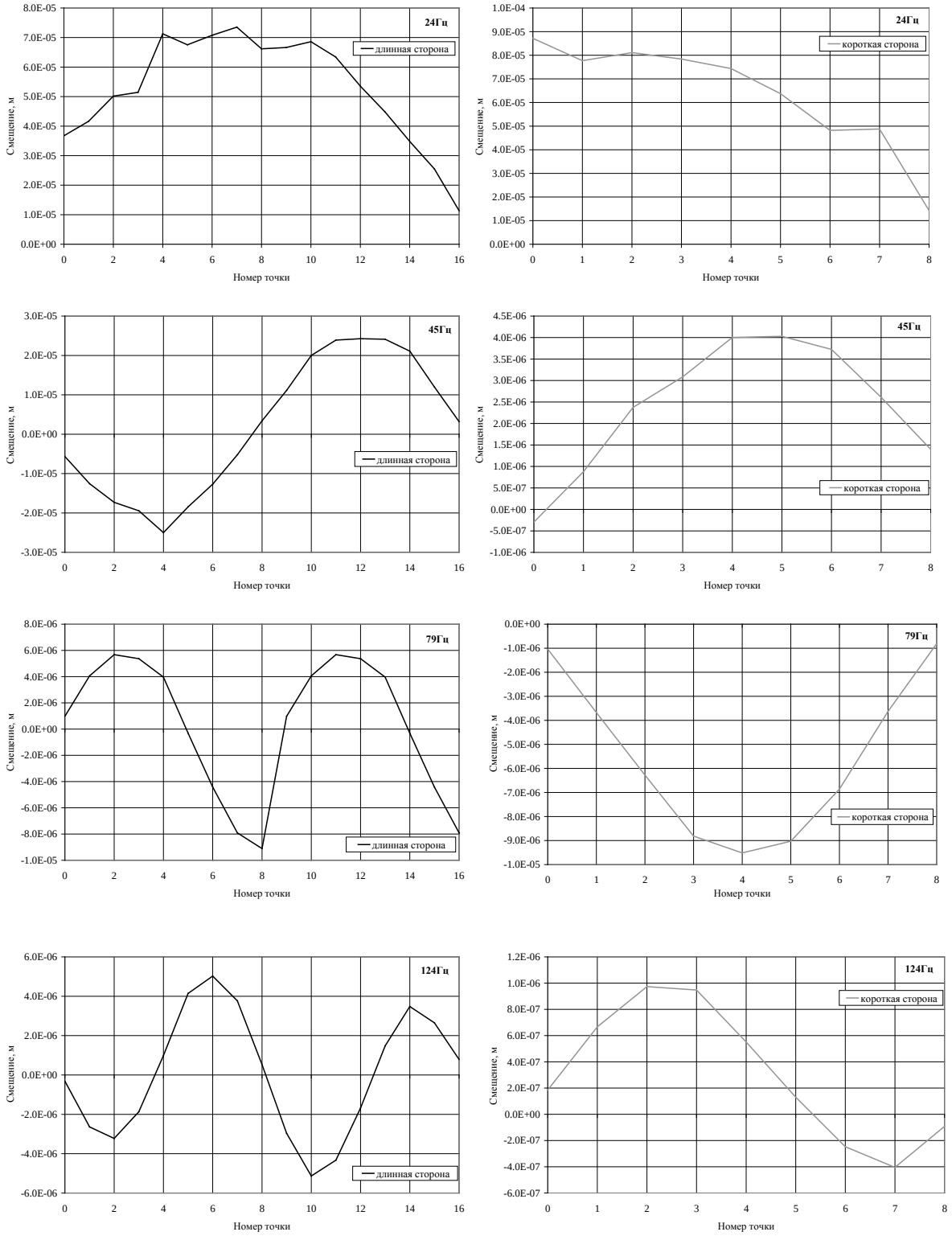


Рис.2. Формы колебаний створки на частотах 24, 45, 79 и 124 Гц

Значения резонансных частот четырех створок одного из испытанных окон сведены в таблицу 2. Там же приведены условные диапазоны нахождения этих частот и их число в каждом из диапазонов. Общее число обна-

руженных резонансных частот стекол окна в диапазоне, ограниченном сверху частотой 1 кГц, составило 150.

Таблица 2

Резонансные частоты, Гц				Условные диапазоны, Гц, и число резонансных частот, Гц
Створка 1	Створка 2	Створка 3	Створка 4	
24	23; 27; 34	28	24; 31	23–31; 4
51	44; 52	46; 51	40; 54; 60	40–60; 6
79-81	75; 79	80	–	75–80; 3
125	101; 118; 128	103; 126	104; 135	101–135; 8
151–152	153; 154	159	158	151–158; 6
195	165; 179; 204	197	174; 184	165–204; 7
228	223; 235; 241	231	213	213–241; 6
240–244	–	–	241; 256	240–256; 4
292	296	287	280; 294	280–296; 5
343–344	318; 320; 336; 344	326; 345	311; 339	311–344; 9
367–369	376	–	364	364–376; 4
385	–	380	392	380–392; 3
430	418; 419	431	419; 443	418–443; 5
450	459; 471; 472	453	460; 480	450–480; 7
541–542	519; 520; 542	521; 545	533; 557	519–557; 8
574–578	580; 587	589	573	573–589; 6
608	604; 632	606	613; 637	604–637; 6
658–660	666	641; 659; 669	688	641–688; 7
693–698	–	–	698	693–698; 2
712–714	–	707	718	707–718; 4
758	748; 751; 768; 771	764	752	748–771; 7
793–794	792	–	788	788–794; 4
802–803	804; 805	800; 807	806	800–807; 7
825–830	818	820	835	818–835; 5
876	867; 875	854; 875	884	854–884; 5
920–922	933; 935	905	902; 945	902–945; 7
967–968	958; 961	968	–	958–968; 4
–	–	–	986	986; 1

Узкополосные частотные характеристики условной звукоизоляции окна (разницы, по трем парам точек измерения, уровней звукового давления в помещении и на улице) изображены на рисунках 3 и 4.

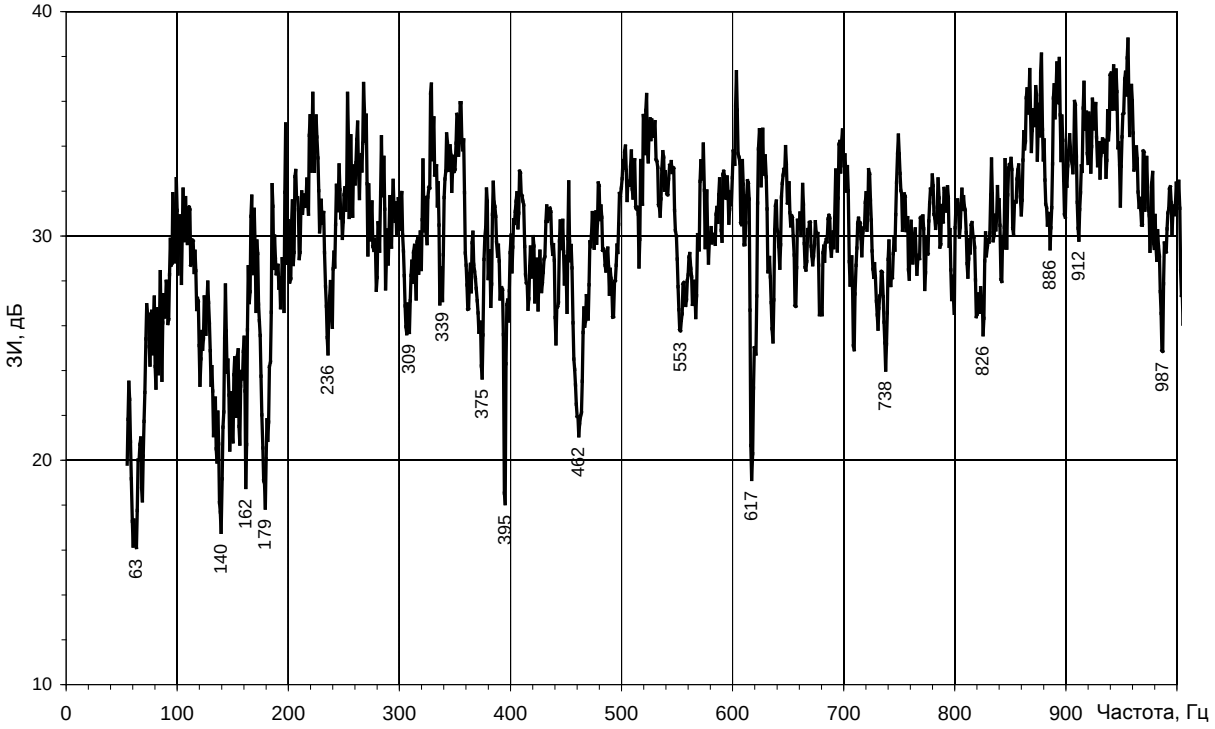


Рис. 3. Частотная характеристика условной звукоизоляции окна

На обоих рисунках приведены частоты минимальной звукоизоляции, большинство из которых, как показал анализ, попадает в условные диапазоны резонансных частот стекол створок или совпадает с этими частотами (с учетом погрешности их определения).

Результаты измерений были подтверждены расчетами собственных частот изгибных колебаний стекол створок. Расчеты собственных частот f_{mn} изгибных колебаний отдельного стекла производились по формуле /6/:

$$f_{mn} = \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{Eh^2}{3\rho(1-\sigma^2)}}\left(\left(\frac{m}{\ell_1\zeta_m}\right)^2+\left(\frac{n}{\ell_2\zeta_n}\right)^2\right) = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{B_{cm}}{m_{cm}}}\left(\left(\frac{m}{\ell_1\zeta_m}\right)^2+\left(\frac{n}{\ell_2\zeta_n}\right)^2\right) \qquad (1)$$

где $m = 1, 2, 3, \ldots$ и $n = 1, 2, 3, \ldots$; ℓ_1 – длина стекла, м; ℓ_2 – ширина стекла, м;

$B_{cm} = EI = \dfrac{Eh^3}{12(1-\sigma^2)}$ – изгибная жесткость стекла;

E – модуль Юнга стекла, $E = 6\cdot10^{10}$ Па;

$I = \dfrac{h^3}{12(1-\sigma^2)}$ – момент инерции пластины; h – толщина стекла, м;

σ – коэффициент Пуассона стекла, с учетом отсутствия надежных данных принимался в расчетах равным нулю;

$m_{cm} = \rho h$ – масса единицы поверхности стекла;

ρ – плотность стекла, $\rho = 2500$ кг/м^3; $\zeta_m = \dfrac{d}{1+0{,}23/m}$ и $\zeta_n = \dfrac{d}{1+0{,}23/n}$,

d – коэффициент, учитывающий степень защемления пластины (при свободном опирании $d = 1{,}11$; при защемленных кромках $d = 1$).

Вычислялась также резонансная частота каждой створки, состоящей из двух элементов с воздушным промежутком /1/:

$$f_p = 85\sqrt{\frac{1}{d_1}\left(\frac{1}{m_1}+\frac{1}{m_2}\right)}, \qquad (2)$$

где d_1 – ширина воздушного промежутка, м;

m_1 и m_2 – массы единицы поверхности отдельных стекол, кг/м^2.

Критическая частота колебаний стекла в воздухе рассчитывалась по формуле

$$f_{кр} = \frac{c_0^2}{2\pi}\sqrt{\frac{m_{cm}}{B_{cm}}}. \qquad (3)$$

Результаты расчетов резонансных частот изгибных колебаний одной из створок окна с размерами в плане 1,05х2,00 м приведены в таблице 3. Там же приведены размеры створки и определенные с использованием измерений частоты минимальной условной звукоизоляции окна. Расчетные значения резонансных частот изгибных колебаний всех створок, близких к частотам минимальной условной звукоизоляции окна, приведены на рисунках 5 и 6.

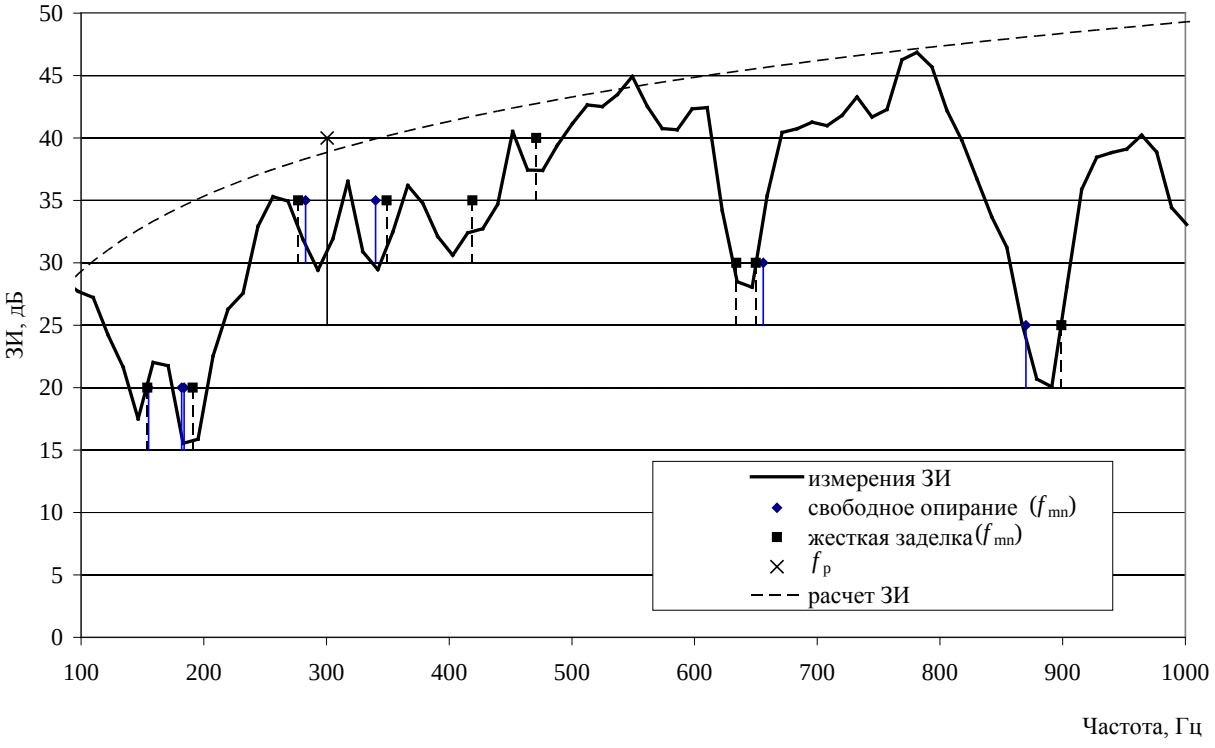


Рис.5. Частотная ($\Delta f = 1{,}25$ Гц) характеристика звукоизоляции окна и расчетные значения резонансных частот колебаний стекол и одной из створок

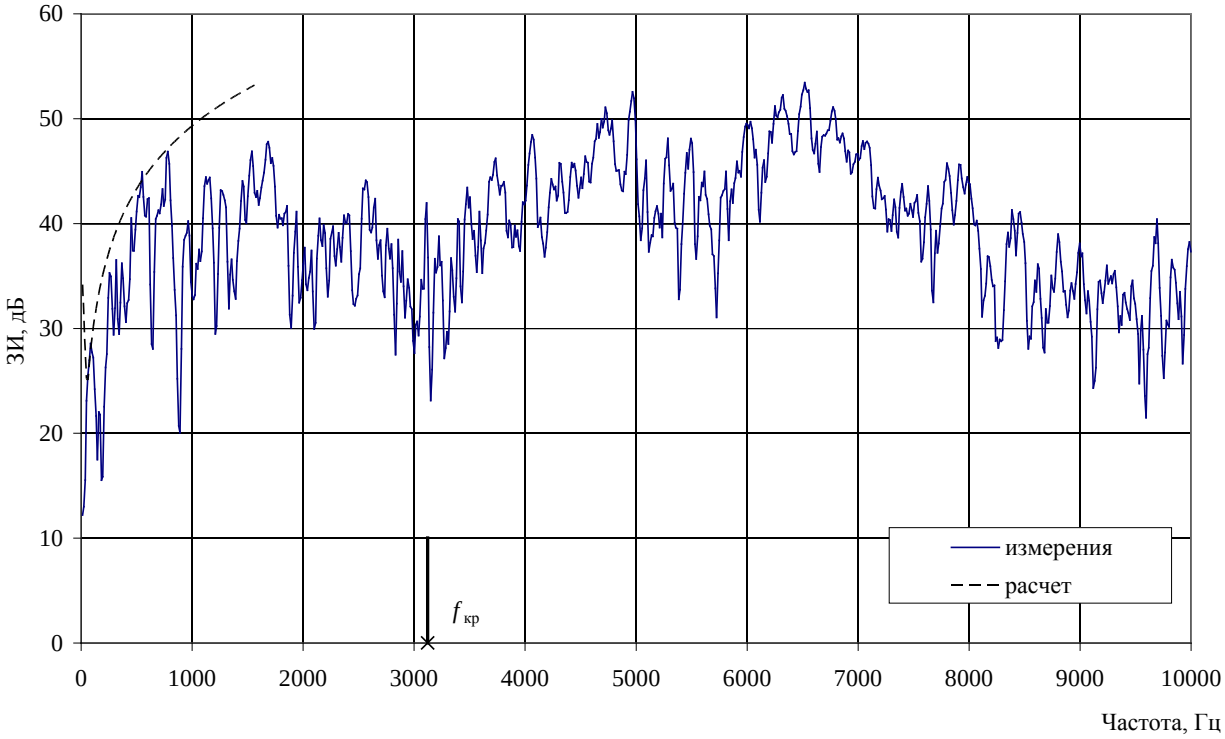


Рис.6. Частотная ($\Delta f = 12{,}5$ Гц) характеристика звукоизоляции окна и расчетное значение критической частоты колебаний одной из створок

На этих же рисунках показаны расчетные значения резонансных частот створок ($f_p = 300{,}5$ Гц) и критической частоты стекла ($f_{кр} = 3121$ Гц). На рисунках изображена также расчетная частотная характеристика условной звукоизоляции окна.

Анализ полученной информации подтвердил, что многие расчетные значения резонансных частот f_{mn} изгибных колебаний створок находятся в частотных диапазонах минимальной условной звукоизоляции окна. Минимальная звукоизоляция окна зарегистрирована и вблизи расчетных значений резонансной частоты испытанных стеклопакетов f_p и критической частоты стекла $f_{кр}$.

Таблица 3

Номера форм		Резонансные частоты f_{mn}		Частоты $ЗИ_{min}$ (рис. 7)
m	n	Свободное опирание	Жесткая заделка	
1	1	55	68	–
2	1	83	102	–
3	1	125	154	147
1	2	155	191	183
2	2	182	225	–
4	1	184	226	–
3	2	225	277	–
5	1	258	317	293
4	2	283	349	293, 342
1	3	313	385	342
2	3	340	419	403
5	2	357	440	403
3	3	382	471	464
4	3	441	543	464, 476
5	3	515	634	573
1	4	528	650	647
2	4	555	684	647
3	4	598	736	–
4	4	656	808	–
5	4	730	899	891
1	5	800	986	891
2	5	828	1020	–
3	5	870	1072	–
4	5	929	1144	–
5	5	1003	1235	–

Створка 1 – 0,96 х 0,5 х 0,004 м ($\ell_1 \times \ell_2 \times h$), $d = 0{,}016$ м.

О значимом влиянии резонансных явлений в стеклах на прохождение звука через окна свидетельствовало и сопоставление частотных характеристик спектров виброускорения озвучиваемых стекол и когерентности виброускорения со звуковым давлением. На рисунках 7 и 8 изображен спектр (0–250 Гц) виброускорения наружного стекла одной из створок и спектр указанной когерентности.

Видим, что некоторые частоты максимумов в спектрах когерентности близки к частотам максимумов в спектрах виброускорения. Число максимумов в спектрах виброускорения меньше числа максимумов в спектрах

когерентности, так как виброприемник находился в геометрическом центре стекол створки, т.е. в пучности только нечетно-четных форм их изгибных колебаний.

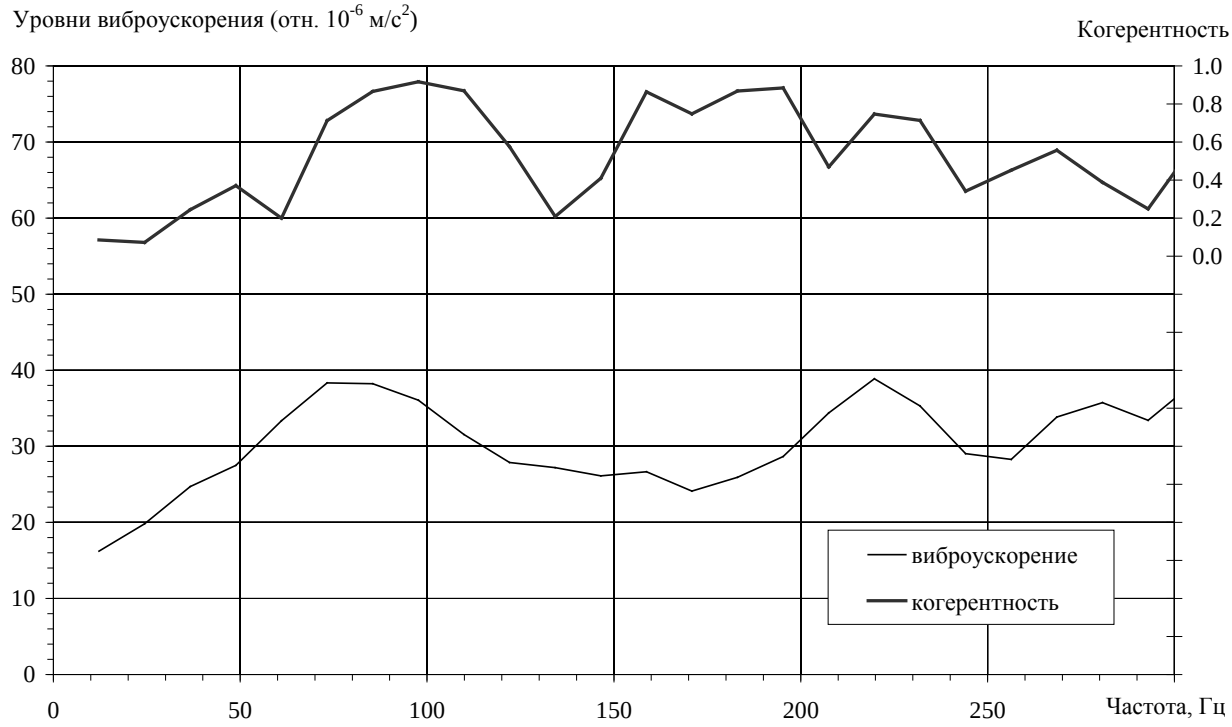


Рис. 7 Спектры виброускорения внутреннего стекла одной из створок и когерентности виброускорения со звуковым давлением на улице

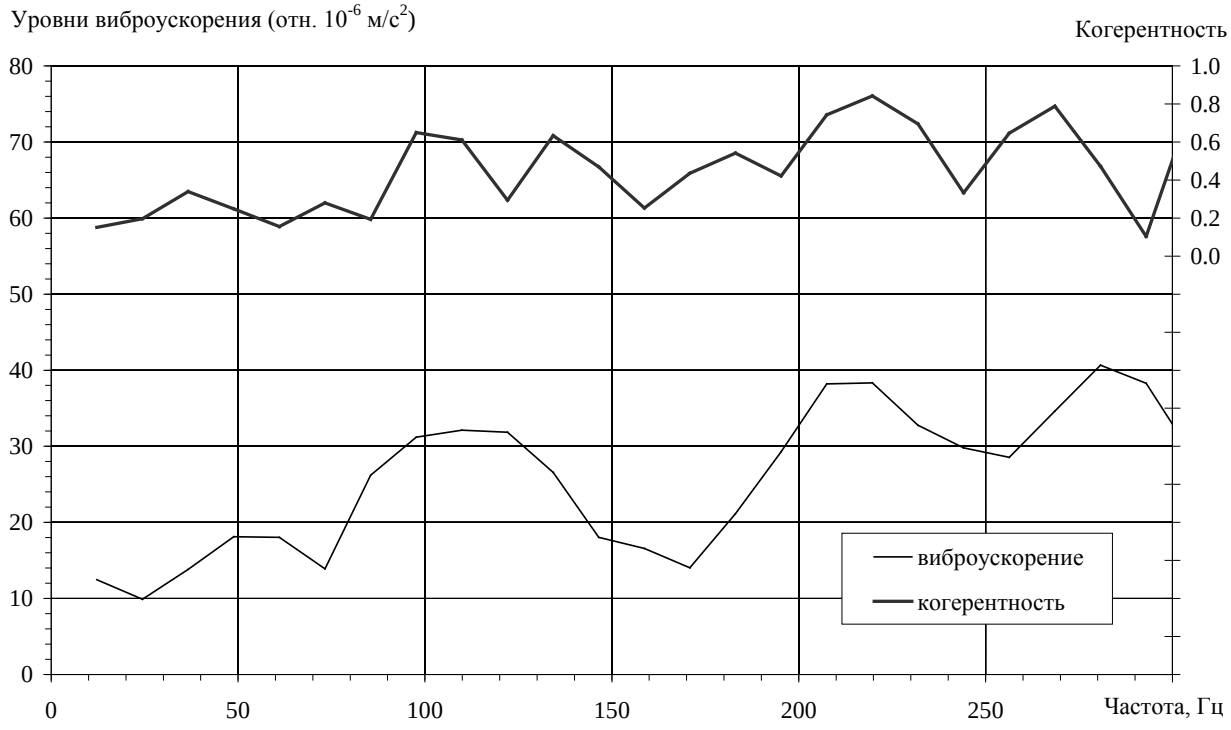


Рис. 8. Спектры виброускорения наружного стекла одной из створок окна и когерентности виброускорения со звуковым давлением на улице

К основным результатам выполненного комплекса исследований по определению влияния резонансных явлений в элементах остекления окон на их условную звукоизоляцию отнесем следующие.

1. В спектрах вибровозбудимости стекол окон содержится большое число максимумов резонансного происхождения (в диапазоне, ограниченном сверху частотой 1600 Гц, в спектрах вибровозбудимости пятнадцати обследованных однокамерных стеклопакетов зарегистрировано от 72 до 150 резонансных максимумов). Поддиапазоны с резонансными частотами изгибных колебаний стекол окон занимают значительную часть частотной области измерений.

2. Экспериментально зарегистрированные частоты минимальной условной звукоизоляции (ЗИ) окон, как правило, находятся в поддиапазонах резонансных частот изгибных колебаний стекол и створок.

3. Расчетные значения звукоизоляции по закону массы удовлетворительно совпадают с измеренными значениями условной звукоизоляции окон лишь на редких частотах диапазона, ограниченного сверху частотой около 500 Гц (примерно $0{,}16f_{кр}$). На большинстве частот расчетные значения ЗИ превышают измеренные значения. Наиболее вероятной причиной такого соотношения является уменьшение звукоизоляции окон, связанное с возникновением резонансных явлений в стеклах и створках.

Полученные результаты свидетельствуют о значимом влиянии резонансных явлений в элементах остекления окон на прохождение через них шумового сигнала.

Литература

1. И.И. Боголепов. Промышленная звукоизоляция. Судостроение, Ленинград, 1986.

2. А.А. Климухин. Акустические характеристики светопрозрачных конструкций (окон). http://www.yamax.ru (по материалам технического совещания в АПРОК 21 апреля 2001 г.).

3. Звукоизоляция и звукопоглощение. Учебное пособие для студентов вузов. Л.Г. Осипов, В.Н. Бобылев, Л.А. Борисов и др. Под ред. Г.Л. Осипова, В.Н. Бобылева. ООО «Издательство АСТ» ООО «Издательство Астрель», Москва, 2004.

4. И.И. Боголепов, Н.П. Столярова. Три метода определения необходимой звукоизоляции окон: плюсы и минусы. ГОУ С-Петербургский государственный политехнический университет.

5. А.Е. Якушин. Проектно-архитектурные мероприятия с целью защиты объектов по техническим каналам утечки информации. Автореферат.
6. Szecheny E. Approximate methods for the determination of the natural frequencies of stiffened and curved plates, Journal of Sound and Vibrations, 1971, vol.14, № 3, p.401–408.

Акустическое воздействие в закрытых надземных пешеходных переходах

Д.А. Князев, Ю.И. Элькин
Московский Автомобильно-Дорожный Государственный Технический Университет (МАДИ)

В последнее десятилетие в больших городах, в частности в Москве, произошло значительное увеличение количества частных автомобилей. С одной стороны это свидетельствует о росте благосостояния населения, люди становятся мобильнее, у них появляется больше свободного времени, улучшается настроение. В то же время с ростом количества автомобилей возникает большое количество проблем, требующих разрешения. Это и загрязнение атмосферного воздуха, и акустическое воздействие. Помимо этого с ростом количества автотранспорта возникает потребность в постоянном расширении и модернизации автомагистралей, строительстве развязок. Также необходимо создавать стояночные места во дворах и на прилегающих к автодорогам территориях. Поэтому всё больше места в городах отводится под инфраструктуру, связанную с автотранспортом, подчас за счёт сокращения площади, занятой зелёными насаждениями. Так, например, при расширении Ленинградского проспекта в Москве был ликвидирован сквер, разделяющий полосы движения. Также при реконструкции Ленинградского проспекта наземные и часть подземных пешеходных переходов были заменены надземными. С одной стороны, это обеспечило безопасность пешеходов и позволило ликвидировать светофоры, с другой стороны, значительно увеличилась длительность перехода дороги, особенно пожилыми людьми. Ликвидация светофоров позволила значительно повысить скорость движения автотранспорта по проспекту, вследствие чего существенно выросло акустическое воздействие на окружающую территорию.

Несмотря на то, что для прилегающих к автодорогам территорий и сооружений дорожной инфраструктуры (надземные пешеходные переходы, остановки общественного транспорта) не существует санитарных норм шумового воздействия, многие люди, в силу разных обстоятельств, вынуждены долгое время находиться на этих территориях (ожидание на остановках, частые пересечения дорог по надземным переходам, работа в киосках розничной торговли и т.д.). Поэтому определение шумового воздействия на придорожных территориях важно для последующей разработки защитных мероприятий.

При помощи шумомера «Октава 101А» были проведены измерения уровней шума на трёх закрытых надземных пешеходных переходах на Ле-

нинградском проспекте. Первый находится в районе Шебашевского переулка (рис.1, табл.1,2), второй - в районе 1-й Аэропортовской улицы (рис.2, табл.3,4), третий – между домами №56 и №54/1 по Ленинградскому проспекту (рис.3, табл.5,6). Средняя протяженность переходов 100 метров. Ширина всех переходов разная, но не менее 4 метров.

Измерение проводилось в 7 контрольных точках на каждом переходе:

- точки 1 и 5 – в метре от начала ступенек снаружи перехода;
- точки 2 и 4 внутри перехода, напротив ступенек;
- точка 3 – в центре перехода;
- точка 6 в непосредственной близости от перехода, в 7,5 метрах от центра крайне правой полосы при движении из центра, одновременно считалась интенсивность движения автомобилей из центра;
- точка 7 в непосредственной близости от перехода, в 7,5 метрах от центра крайне правой полосы при движении в центр, одновременно считалась интенсивность движения автомобилей в центр.

Время измерения в точках 1-5 - 30 сек., в точках 6-7 - 60 сек.

Ввиду отсутствия нормативов предельно-допустимых уровней шума для придорожных территорий, результаты измерения сравнивались с нормами (таблица 7) для территорий, прилегающих к жилой застройке, для рабочих зон в производственных помещениях (рабочие зоны (I)) и для рабочих мест водителей и обслуживающего персонала (пассажиров) легковых автомобилей и автобусов (рабочие зоны (II)).

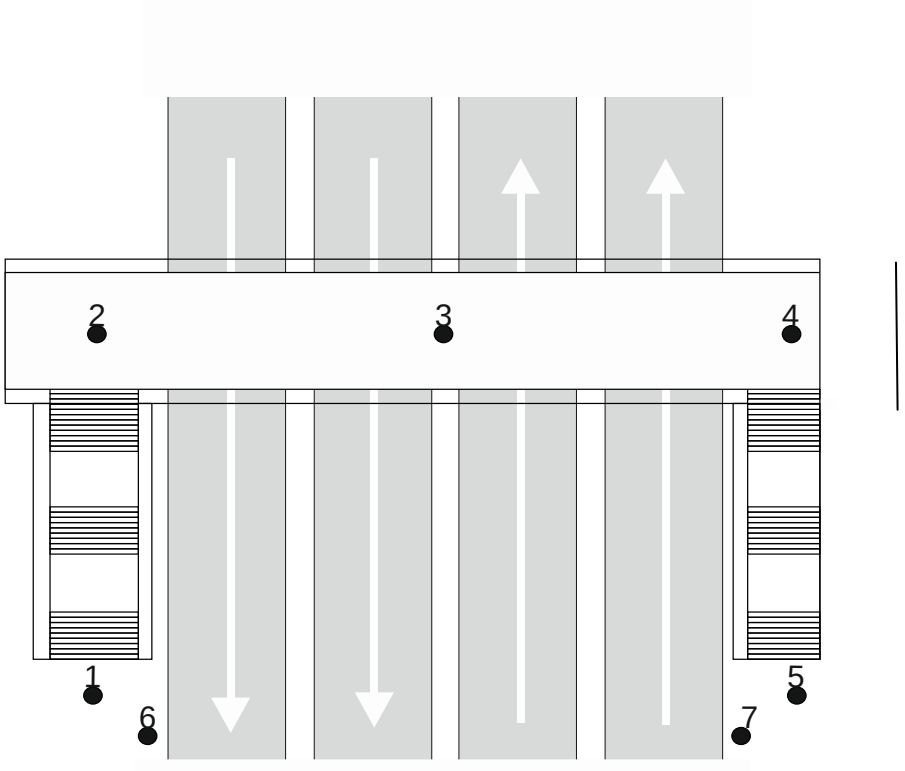


Рис. 1. **Контрольные точки в переходе в районе Шебашевского переулка**

Таблица 1.

Интенсивность движения во время измерения рядом с переходом в районе Шебашевского переулка

Направление движения	**Интенсивность движения, авт/мин**		
	Легковые	Грузовые	Автобусы/троллейбусы
Из Центра	101	3	Отсутств.
В Центр	99	4	Отсутств.
Сумма	200	7	Отсутств.

Таблица 2.

Уровень шума в контрольных точках перехода в районе Шебашевского переулка. Жёлтым цветом показано превышение уровня шума для рабочей зоны(I), красным цветом показано превышение уровня шума для рабочей зоны(II) , синим – для территории, прилегающей к жилым домам

Контрольная точка	**Уровень шума, дБа**											
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	**Lmin**	**Lэкв**	**Lmax**
1	76,4	76,1	74,6	72,2	72	76,2	68,8	58	55,7	75,3	78,2	80,8
2	70,6	75	74,3	74,6	75,9	79,8	71,1	57,3	49,2	78,1	81,2	83,4
3	72,7	75,6	74,8	76,8	79,1	83,1	74,5	62,8	55,1	80,6	84,2	86,3
4	69,6	75,3	72,4	74,1	75,2	78,9	70,8	56	45,2	77,7	80	82,2
5	75,8	81	75	72	73,4	76,8	71,2	63,5	60,9	74,8	76,8	79,4
6	72,9	75,2	74,4	73,1	74,5	78,3	71	58,8	54,3	77,6	80,8	84,1
7	75,4	78,1	73,6	72	74,3	77,8	71,1	61,1	57,4	76,6	79,8	82,5

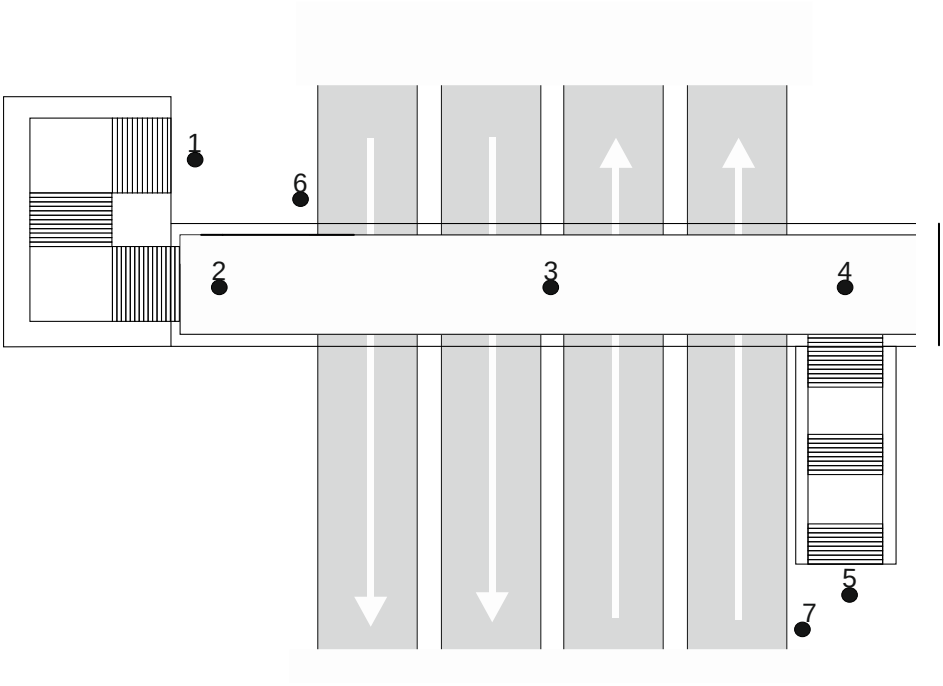


Рис. 2. **Контрольные точки в переходе в районе 1-й Аэропортовской улицы**

Таблица 3.

Интенсивность движения во время измерения рядом с переходом в районе 1-й Аэропортовской улицы

Направление движения	Интенсивность движения, авт/мин		
	Легковые	Грузовые	Автобусы/троллейбусы
Из Центра	124	8	1
В Центр	90	4	Отсутств.
Сумма	214	12	1

Таблица 4.

Уровень шума в контрольных точках перехода в районе 1-й Аэропортовской улицы. Жёлтым цветом показано превышение уровня шума для рабочей зоны(I), красным цветом показано превышение уровня шума для рабочей зоны(II) , синим – для территории,прилегающей к жилым домам.

Контрольная точка	Уровень шума, дБа											
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lmin	Lэкв	Lmax
1	69,4	73,2	73	73,4	75,7	79,1	70,5	60,6	55,9	76,6	78,8	81
2	66,4	73,7	70,7	71,8	72,3	75,7	67,5	53,5	43,6	74	76,2	78,1
3	69,7	79,2	75,2	77,7	81	83	73,8	62,3	55,7	83,7	84,7	87
4	67,8	76,3	70,2	73,8	75,4	78,7	69,8	55,9	46	76,9	79,1	81,7
5	69,2	72,7	71,6	72,2	73,9	76,4	68,1	60,5	58,2	72,5	78,8	82,1
6	72,1	80,3	76,2	76,2	76,2	79	71,7	63,1	63,3	79,7	83,1	91,6
7	71,8	75,1	74	74,9	75,7	79,5	73,3	61	56,1	78,2	81,5	84

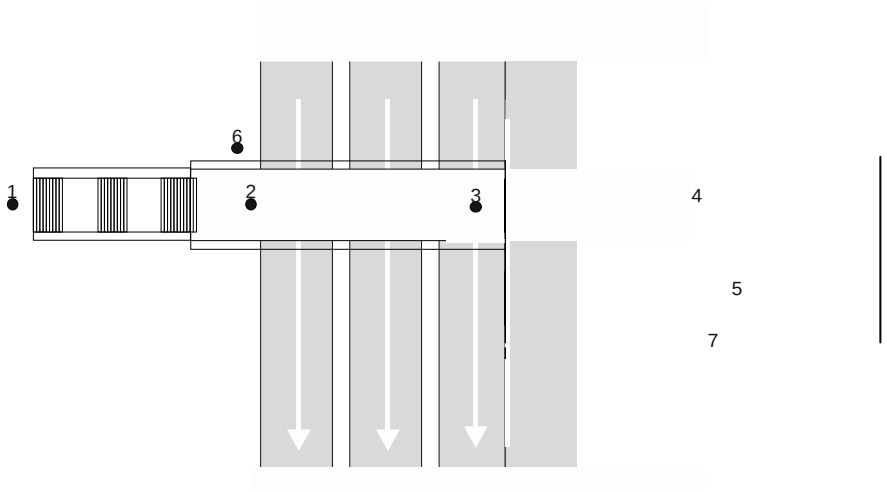


Рис. 3. **Контрольные точки в переходе между домами №56 и №54/1 по Ленинградскому проспекту**

Таблица 5.

Интенсивность движения во время измерения рядом с переходом между домами №56 и №54/1 по Ленинградскому проспекту

Направление движения	**Интенсивность движения, авт/мин**		
	Легковые	Грузовые	Автобусы/троллейбусы
Из Центра	130	1	1
В Центр	135	8	1
Сумма	265	9	2

Таблица 6.

Уровень шума в контрольных точках перехода между домами №56 и №54/1 по Ленинградскому проспекту. Жёлтым цветом показано превышение уровня шума для рабочей зоны(I), красным цветом показано превышение уровня шума для рабочей зоны(II) , синим – для территории, прилегающей к жилым домам.

Контрольная точка	**Уровень шума, дБа**											
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	**Lmin**	**Lэкв**	**Lmax**
1	69,5	66,3	62,2	63,5	62,2	64,5	54,6	43,5	34	64,6	65,6	66,3
2	68,4	69,9	70	69,1	69,1	70,9	61,2	49,8	44,6	72,2	74,6	77,4
3	70,7	79,5	75,4	76,6	78,9	81,9	71,9	59,4	51,9	80,3	83,4	86,2
4	68,9	73	68,7	70,5	70,3	73,2	63,1	49,6	39,5	72,5	74,5	76,6
5	71,9	72,6	65,3	61,2	62,3	65,2	56,3	44,6	38	66,9	68,9	71,5
6	76,4	78,8	75,7	72,3	74	78,2	71,3	61,5	57,4	77,3	79,7	81,2
7	77,6	80,2	75,7	77,2	77,3	78,4	70,9	60,7	59,3	80	83,2	86,1

Таблица 7.

Предельно допустимые уровни шума [1]

	Уровень шума, дБа										
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	**Lэкв**	**Lmax**
Рабочая зона (I)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	Не норм.
Рабочая зона (II)	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60	Не норм.
Территория рядом с жилыми домами	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70

Из результатов измерения видно, что независимо от конструкции перехода, в центральной его части (точка 3) зафиксирован самый высокий уровень шума. Особенно это видно в октавной полосе 1000 Гц, где значения превышают допустимый уровень даже для производственных помещений. Исходя из этого, можно сделать вывод, что частое пользование надземными переходами на Ленинградском проспекте может нанести вред здоровью. Поэтому встаёт вопрос о применении в конструкции закрытых надземных пешеходных переходов ограждений со звукопоглощающими свойствами.

Литература.

СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», Минздрав России, М., 1996 г.

Расчет внешнего шума строительно-дорожных машин, оборудованных звукоизолирующими капотами

Иванов Н.И., Кудаев А.В., Шашурин А.Е.
Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

1. Введение

Внешний шум строительно-дорожных машин (автогрейдеров, экскаваторов, погрузчиков, бульдозеров), не оборудованных виброактивными рабочими органами, находится в пределах 65-80 дБА, т.е. существенно превышает норму шума для живой застройки (55 дБА). Для снижения шума СДМ они оборудуются звукоизолирующими капотами (ЗИК). Для выполнения проектов организации строительства требуется выполнять акустические расчеты, которыми определяется шум в жилой застройке от работающих СДМ. Ниже изложен разработанный метод расчета внешнего шума. Расчеты выполняются при допущении о диффузорности звукового поля под капотом, корректность которого доказана экспериментом (табл. 1).

Усредненные характеристики звукового поля в подкапотном пространстве

СДМ разных типов

Таблица 1

Марка машины	Изменения уровней звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								УЗ, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Экскаватор 320C	±0,3	±0,5	±2,0	±2,5	±0,8	±1,0	±1,0	±0,6	±0,5
Бульдозер D5	±1,5	±1,7	±1,4	±3,1	±1,1	±1,7	±0,6	±1,4	±1,9
Погрузчик 962 G	±2,5	±2,1	±2,0	±2,3	±2,2	±1,6	±2,4	±2,4	±2,0

Получены отклонения уровней звукового давления (УЗД) не превышают ±2-2,5 дБ, а УЗ 0,5-2 дБА.

2. Расчет внешнего шума

Расчет выполнялся в точках, указанных на рис. 1

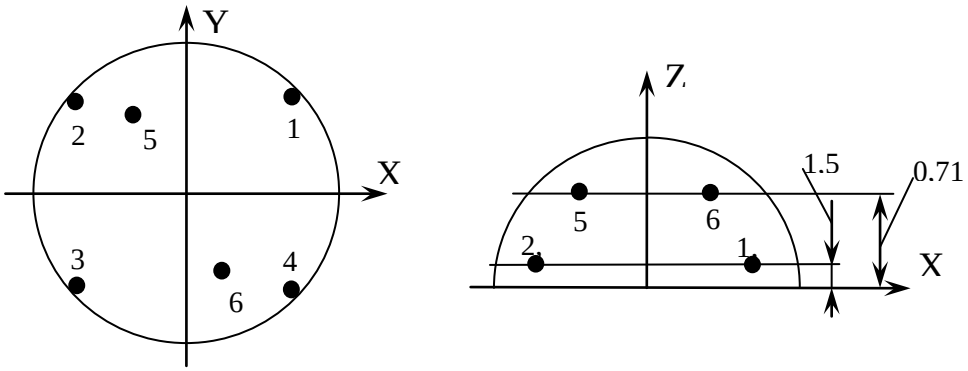


Рис. 1 Схема расположения расчетных точек (1-6)

Эти точки были выбраны в соответствии с современной нормативной документацией [1], по которому определяются измерения внешнего шума СДМ.

Разработка метода расчета уровней шума, создаваемого ДВС при наличии звукоизолирующего капота выполнялась с учетом следующих обстоятельств: рассматривается ЗИК, имеющий на внутренних поверхностях звукопоглощение, а в ограждающих конструкциях – вентиляционные проемы. Особенностью расчета является то, что:

Проемы могут быть расположены в боковых стенках капота, в верхней и нижней его частях. При различном расположении проема по отношению к расчетной точке (РТ) звук в последней может изменяться. Это корректируется введением в расчеты коэффициента дифракции проема ($\beta_{пр}$).

Второй особенностью является расположение проема вблизи отражающей поверхности. В таком случае образуется вторичный излучатель звука, рассматриваемый как мнимый источник.

Исходными характеристиками для расчета являются уровень звуковой мощности (УЗМ), дБ и корректированный уровень звуковой мощности источника, дБА ($L_{Wист}$, $L_{WAист}$). В расчетной точке получены УЗД, дБ или УЗ, дБА ($L_{РТ}$, $L_{АРТ}$). В каждой РТ значения УЗ (УЗД) могут несколько отличаться, в силу указанных выше обстоятельств (расположение проема в капоте, расположение отражающей поверхности), поэтому расчет выполняется для каждой из 6 РТ в отдельности.

При выполнении расчета приняты допущения:

– доля шума выпуска ДВС и других источников в РТ на 10 и более дБ (дБА) меньше, чем $L_{РТ}$, ($L_{АРТ}$);

– капот изготовлен из однородных материалов с одинаковой звукоизоляцией.

Расчетная схема приведена на рис. 2.

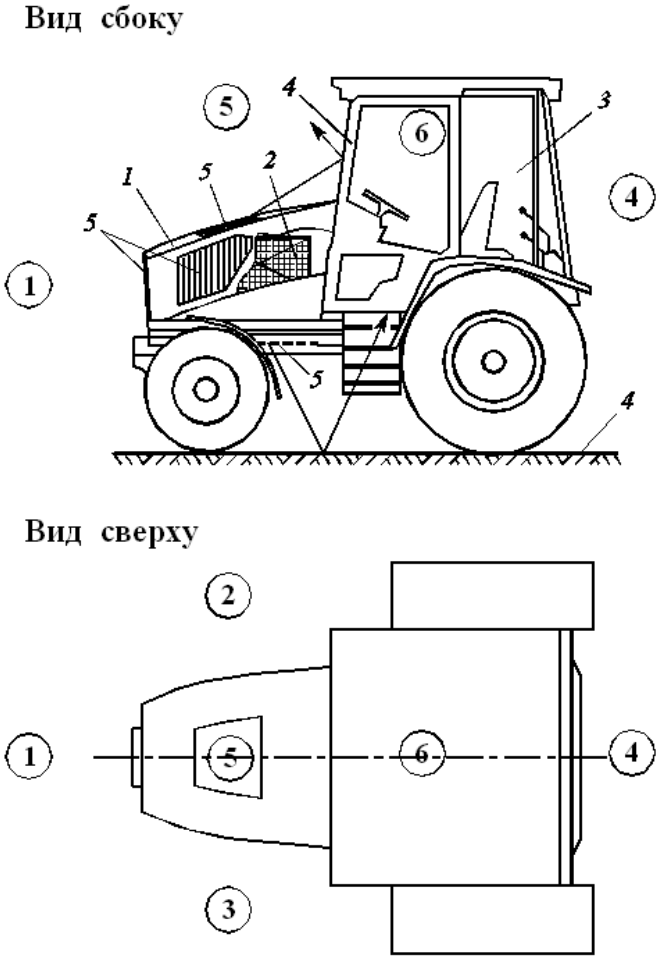


Рис. 2. Расчетная схема: 1 – ЗИК; 2 – ИШ; 3 – кабина; 4 – отражающая поверхность; 5 – проемы в капоте; (1) (6) РТ.

УЗД (УЗ) в і-той РТ определяется:

$$L_{PTi} = L_{W_{ист}} + 10\lg\left[\frac{\chi_{ист}}{2\pi r_{ист}^2} + \frac{4(1-\alpha_{кап})}{k_{кап}A_{кап}}\right] + 10\lg\left[(S_{кап} - S_{пр})\tau_{кап} + S_{пр_i}\beta_{пр_i}\right] -$$

$$- 20\lg\frac{R_{кап}}{r_o} - 8, \text{ дБ} \qquad (1)$$

где: $L_{W_{ист}}$ – УЗМ, дБ, источника;

$\chi_{ист}$ – коэффициент, показывающий характер излучения источника;

$r_{ист}$ – расстояние от ИШ до стен капота, м в сторону расчетной точки;

$\alpha_{кап}$ – коэффициент звукопоглощения под капотом;

$k_{кап}$ – коэффициент, показывающий степень приближения звукового поля под капотом к диффузному;

$A_{кап}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения капота, м^2;

$S_{кап}$ – площадь капота, м^2;

$S_{пр}$ – суммарная площадь проемов, м^2;

$\tau_{кап}$ – коэффициент звукопроводности стен капота;

$S_{прi}$ – площадь i-го проема, м^2;

$\beta_{прi}$ – коэффициент дифракции i-го проема;

$R_{кап}$ – расстояние от капота до РТ, м.

Принимается, что расстояние от любого проема до расчетной точки ($R_{кап}$) одинаково, $r_o = 1$ м.

3. Сравнение результатов расчета с экспериментом

Был осуществлен расчет внешнего шума СДМ (погрузчик_962G) с закапотированным двигателем и проведено экспериментальное определение уровней внешнего шума данной машины.

Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных представлено на рис. 3.

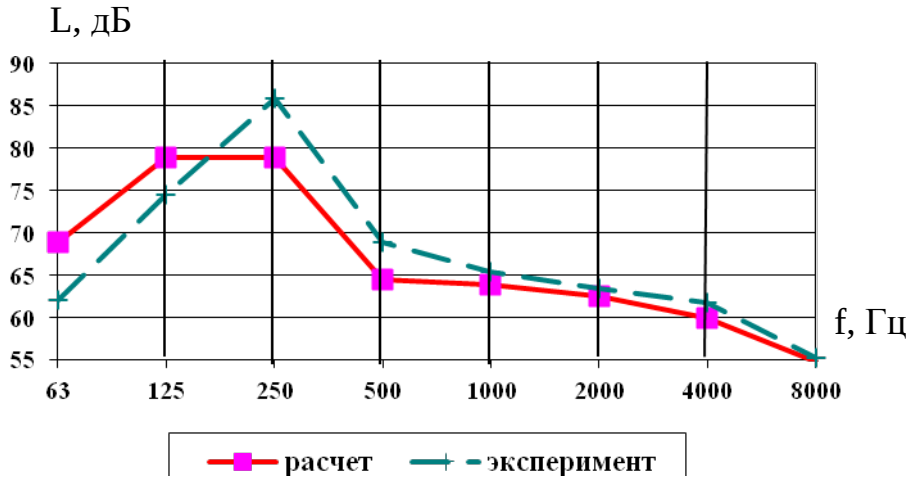


Рис.3 Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных

Анализ данных, приведенных на рис. 3, показывает хорошее совпадение.

Заключение

Был предложен метод расчета внешнего шума СДМ, позволяющий учитывать расположение машины в пространстве, характер звукового поля под капотом, расположение вентиляционного проема в ЗИК, площадь про-

ема, акустические свойства ЗИК. Проверка показала приемлемую точность.

Литература

1. ГОСТ 28975-91 Акустика. Измерение внешнего шума, излучаемого землеройными машинами. Испытания в динамическом режиме.

2. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики./ Учебник для вузов – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.

3. Кудаев А.В. «Снижение шума строительных машин звукоизолирующими капотами» Сборник докладов научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», СПб.: БГТУ, 2006.

Снижение шума силовых установок звукоизолирующими капотами

Дроздова Л.Ф., Кудаев А.В., Шашурин А.Е.
Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

1. Введение

На большинстве строительно-дорожных (СДМ) и подъемно-транспортных машин устанавливаются двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Более 60 % машин оборудованных ДВС, излучают шум, превышающий допустимые нормы. Было выполнено разделение вклада источников шума во внешнее звуковое поле нескольких типов СДМ (табл. 1).

Разделение вклада источников

Таблица 1

№ п/п	Тип и марка машины	Вклад источников шума, дБА			
		корпус ДВС	выпуск ДВС	всасывание ДВС	вентилятор
1	Бульдозер D5M	73	66	55	-
2	Погрузчик-экскаватор 438C	72	61	60	69
3	Погрузчик 962G	72	61	55	66
4	Автогрейдер 140H	74	67	62	68
5	Виброкаток S63CS (холостой ход)	74	68	60	-

Анализ этих данных показывает, что превалирующий вклад в процессы шумообразования во внешнее поле дает корпус ДВС (в среднем вклад корпуса на 6-11 дБ выше, чем например, вклад выпуска ДВС). Един-

ственной эффективной конструкцией шумозащиты корпуса ДВС является звукоизолирующий капот (ЗИК).

2. Снижение шума, проходящего через вентиляционный проем ЗИК

Звукоизолирующие капоты для обеспечения нормального теплообмена должны оборудоваться вентиляционными проемами, через которые проходят основная доля звука. Закрытие проемов конструкциями не препятствующими прохождению воздуха позволяет увеличить акустическую эффективность ЗИК. Были выполнены сравнительные экспериментальные испытания акустической эффективности следующих конструкций:

– жалюзи;
– глушителей;
– акустических экранов.

Обобщенные результаты испытаний приведены на рис .1

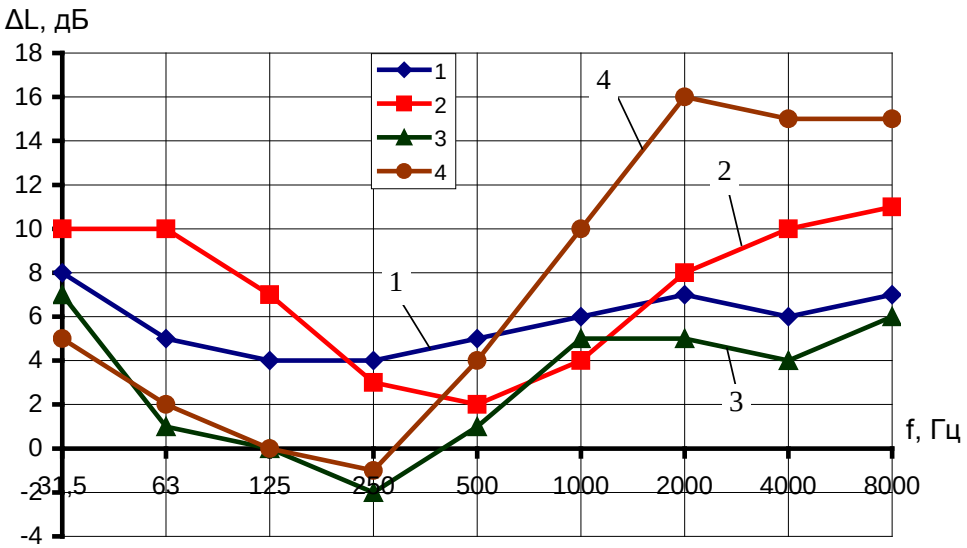


Рис. 1 Сравнительная эффективность шумозащитных конструкций:
1 – жалюзи (2 козырька), 2 – глушитель (абсорбционный четырехкамерный глубиной 200 мм), 3 – экран, облицованный ЗПМ (390х390мм) глубиной 200 мм, 4 – составной экран (2х 590х590).

Анализ сравнительных испытаний шумозащитных элементов показал, что:

– эффективность конструкций составляет по интегральной оценке от 4 до 9 дБА (от 1 до 16 дБ в средне-высокочастотном диапазонах 500-8000 Гц). Как правило, такая эффективность обеспечивает вполне приемлемое сниже-

ние шума, проникающего через открытый проем. При выборе конструкции защиты проема можно руководствоваться, в первую очередь, требованиями к конструкциям капота.

– применение конструкции не должно увеличивать свыше, чем на 50% скорость движения и расход воздуха через защищаемый проем;

– наиболее эффективными и при этом более простыми в конструктивном исполнении являются акустические экраны;

– эти конструкции обеспечивают снижение шума, проникающего через открытый проем на 8-10 дБА.

–в случае необходимости выполнения более жестких требований к снижению шума в проеме можно использовать комбинированные и составные экраны больших размеров.

3. Расчет эффективности встроенных АЭ

Расчетная схема эффективности встроенного акустического экрана установленного вблизи вентиляционного проема под капотом показана на рис. 2.

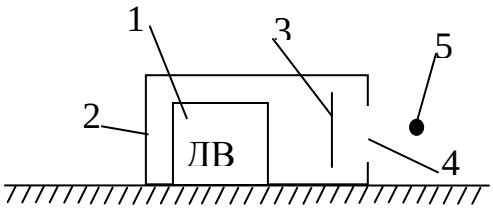


Рис. 2 Расчетная схема встроенного АЭ: 1 – ИШ; 2 – капот;

3 – АЭ; 4 – проем в капоте; 5 – РТ

Эффективность АЭ может быть представлена в виде:

$$\Delta L_{экр} = 10\lg\frac{I_{РТ}^{б/э}}{I_{РТ}^{с/э}},\ \text{Вт/м}^2 \qquad (1)$$

где $I_{РТ}^{б/э}$ – интенсивность звука, выходящего из проема в отсутствие АЭ, Вт/м^2;

$I_{РТ}^{с/э}$ – интенсивность звука, выходящего из проема с установленным АЭ, Вт/м^2.

Для расчета эффективности АЭ получена формула:

$$\Delta L_{экр} = 10\lg\frac{l_{экр}}{\lambda} + 10\lg\frac{r_{пр}}{r_o} - 10\lg p - 10\lg(1-\alpha_{экр}) - 10\lg arctg\frac{l_{экр}}{2r_{пр}} + 5 \qquad (2)$$

где:

$l_{экр}$ – длина ребра АЭ, м;

λ – длина звуковой волны, м;

$r_{пр}$ – расстояние от ребра до проема, м;

p – число свободных ребер АЭ;

$\alpha_{экр}$ – коэффициент звукопоглощения под капотом.

Расчетная эффективность АЭ на различном удалении от проема и отсутствия и наличия ЗПМ на экране представлена на рис. 3.

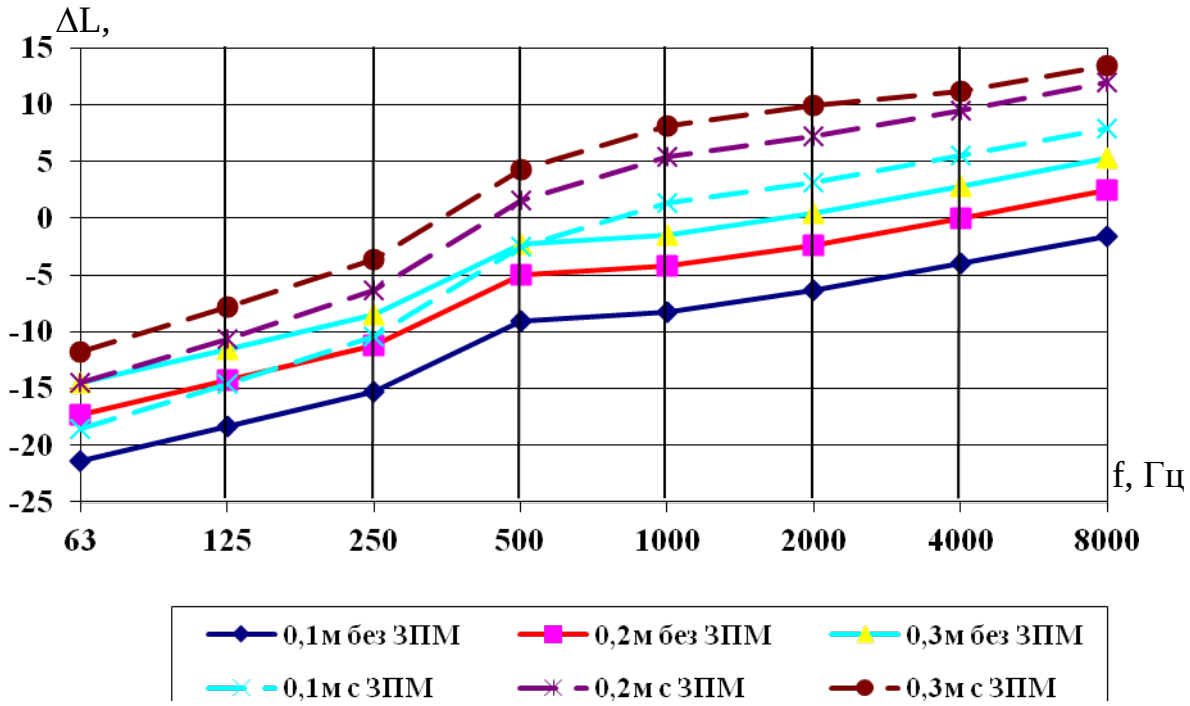


Рис. 3 Расчетная эффективность АЭ на различном удалении от проема и отсутствия и наличия ЗПМ на экране

Эффективность АЭ растет при увеличении его размеров ($l_{экр}$), наличия звукопоглощения ($\alpha_{экр}$) и снижения числа свободных ребер экрана (p). Проверка показала удовлетворительное совпадение результатов в диапазоне 500-8000 Гц.

Было поведено экспериментальное определение эффективности экрана, установленного на вентиляционном проеме капота, на расстоянии 0,3м от проема с наличием звукопоглощающего материала на поверхности экрана. Сравнительные характеристики расчетной и экспериментальной эффективности экрана представлены на рис. 4.

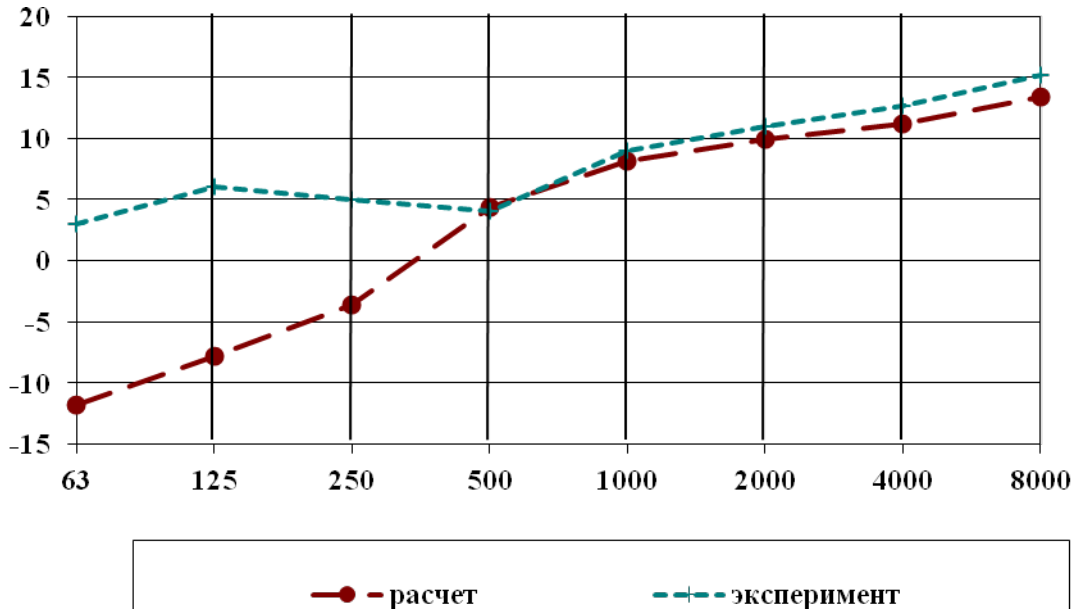


Рис. 4. Сравнительные характеристики расчетной и экспериментальной эффективности экрана (с ЗПМ)

Проверка полученных результатов показала удовлетворительное совпадение в диапазоне от 500 до 8000 Гц.

4. Проектирование звукоизолирующего капота

Был спроектирован ЗИК, на вентиляционные проемы которого устанавливались встроенные АЭ, а внутри капот был облицован звукопоглощающим материалом. Воздухообмен под капотом был рационально организован. Общий вид капота показан на рис. 5, а результаты акустических испытаний показаны на рис . 6.

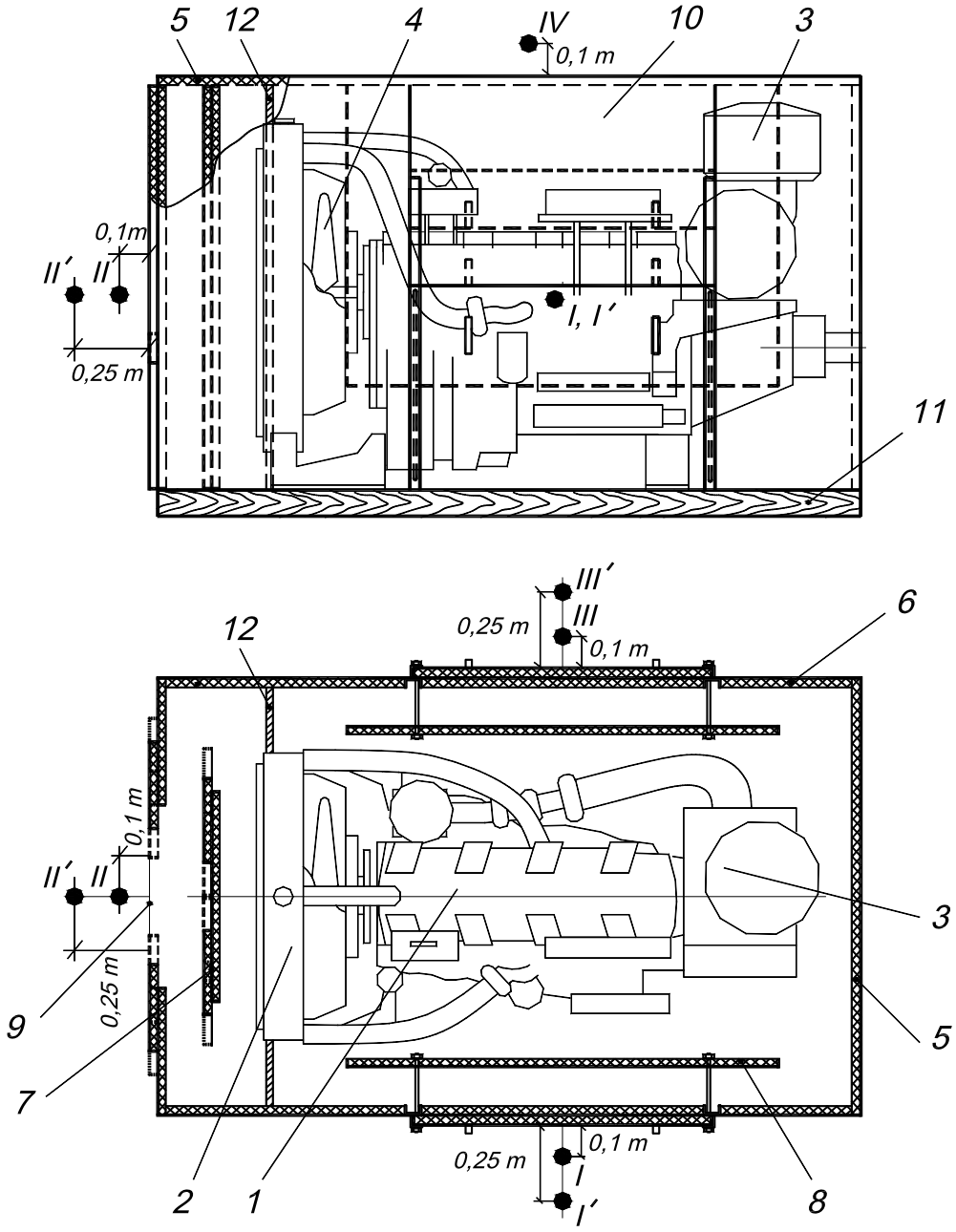


Рис. 5. Общий вид установки и схема измерительных точек акустических характеристик капота

1 - двигатель; 2 – радиатор; 3 – всасывающий фильтр; 4 – вентилятор; 5 – звукоизолирующий капот; 6 – звукопоглощающее покрытие; 7 - раздвижной акустический экран; 8 – неподвижный акустический экран; 9 – выхлопной вентиляционный проем; 10 -

всасывающий вентиляционный проем; 11 - деревянный брус; 12 – глухая перегородка (I-IV – измерительные точки).

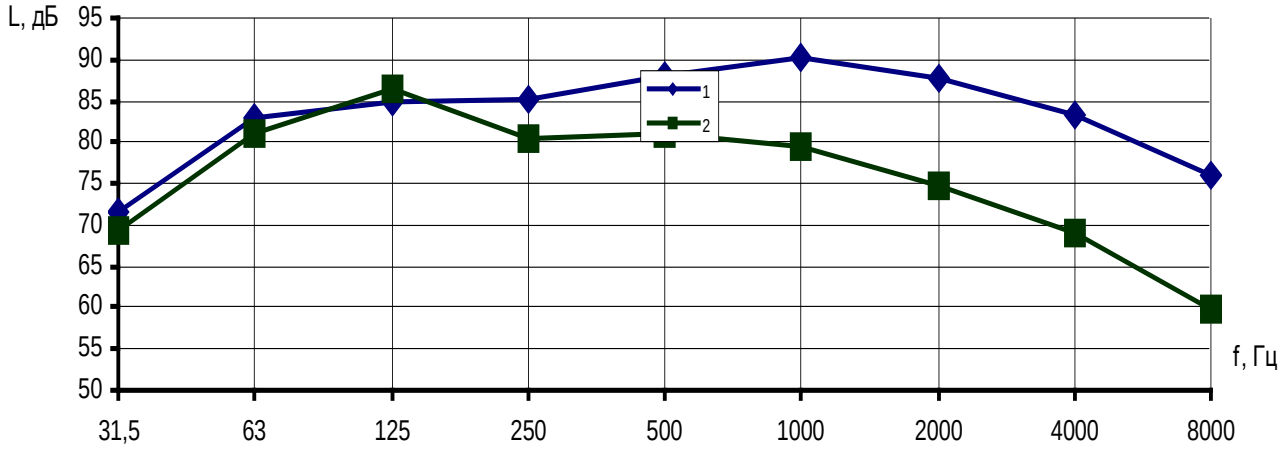


Рис. 6 Акустические характеристики двигателя с капотом и без капота. (1 - без капота , 2 - с капотом)

Как видно из данных, приведенных на рис. 6 эффективность капота составляет от 4 дБ до 16 дБ по уровням звукового давления и 10 дБА по уровню звука, а по данным тепловых испытаний теплообмен под капотом в пределах допустимых температур.

Заключение

Экспериментальным путем установлено, что применением встроенных в подкапотное пространство АЭ обеспечивается высокая акустическая эффективность ЗИК при минимальных потерях движения воздушных потоков. Испытания опытного ЗИК с учетом полученных данных позволило обеспечить снижение внешнего шума СДМ не менее, чем на 10 дБА.

Литература

1. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики./ Учебник для вузов – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.

2. Handbook of Noise and Vibration Control /Edited by Malkolm J. Crocker, NY, Willey, 2007, pp. 685-695.

3. Дроздова Л.Ф., Кудаев А.В. «Расчёт и проектирование звукоизолирующих капотов для снижения шума энергетических установок». Журнал «Безопасность жизнедеятельности» №8, 2009 год, стр. 40-47.

Средства акустической обработки помещений

Ю. П. Щевьев, К. И. Волосенко
СПбГУКиТ

Целью акустической обработки помещений является создание условий комфортного восприятия звука многоцелевых программ. Основными средствами, формирующими звуковое поле в замкнутом объеме, являются звукопоглощающие и звукорассеивающие конструкции. Звукорассеяние достигается отражением звуковых волн от стен и потолка, а так же оборудованием и аппаратами, находящимися внутри помещения. Применение звукопоглощающих конструкций, располагаемых определенным образом на стенах и потолке, позволяет управлять акустическими параметрами помещения, характеризующими качество акустики помещений. Задача акустического проектирования заключается в выборе формы помещения и акустического входного сопротивления покрытий стен и потолка, добиваясь передачи всех частотных составляющих источника звука без искажений, и в то же время, не теряла полностью эффекта усиления звука за счет отражения его от стен.

Основными показателями качества звучаний являются: - естественность и богатство тембров; - отношение полезный сигнал-шум; - пространственное впечатление; - прозрачность звучания; - правильный баланс громкостей отдельных источников; - локализация источников звука и, следовательно, согласование зрительных и слуховых восприятий.

В последнее время получили распространение объективные методы оценки акустического качества помещений, основанные на применении электронной аппаратуры. Качество описывается рядом параметров: ReverberationTime (RT_{60}), ReverberationTime (RT_{20}, RT_{30}), EarlyDecayTime (T_{10}), акустическое отношение, импульсная характеристика (ImpulseResponse), индекс четкости (OlarityFactor-C_{30}), индекс прозрачности (BrillianceFactor-C_{80}), индекс пространственности (SpatialImpression), боковая эффективность (LeadyEfficlishion) и т. д. Ведутся большие экспериментальные исследования по определению критериев качества, определяющих связь объективных параметров с субъективными ощущениями слушателя.

Процесс отражения и поглощения звуковых волн, на ограждающих поверхностях помещения, характеризуют двумя параметрами: частотной характеристикой коэффициента отражения и частотной характеристикой коэффициента поглощения. Эти параметры определяются входным акусти-

ческим сопротивлением $Z_{вх}(f)$ отражающей поверхности и связаны простыми соотношениями:

$$\beta(f)=\frac{Z_{вх}(f)-\rho_0 c_0}{Z_{вх}(f)+\rho_0 c_0};\quad \alpha(f)=1-\beta^2(f) \qquad (1)$$

Коэффициент отражения принято определять как отношения звукового давления отраженной волны к звуковому давлению падающей волны. Коэффициент поглощения $\alpha(f)$ определяется как отношение энергий (интенсивностей) поглощенных и падающих волн. Не трудно заметить, что при $Z_{вх}=\rho_0 c_0$ отражение от поверхности стены отсутствует (β=0).

Стены поглощения, выполненные из твердых массивных материалов (кирпич, бетон, железобетон) хорошо отражают звуковые волны, создают внутри помещения диффузное поле, среднестатистическое звуковое давление в котором усилено многочисленными переотражениями. Помещение становится гулким, не способным для восприятия речи и музыки быстрого темпа. Исследованиями установлены оптимальные значения времени реверберации в зависимости от объема зала, для звуковосприятия речевых программ 0,6 ÷1,2с и музыкальных программ 1,8÷2,5с, в зависимости от типа музыки. Звукопоглощающие материалы и конструкции, располагающиеся па стенах помещения, являются единственным и эффективным средством, позволяющим направленно формировать условия оптимальной реверберации.

В качестве звукопоглощающих материалов (ЗПМ) применяются легкие, воздухонасыщенные материалы на основе минеральных и органических волокон, пенополиуретана, пенопласта с открытыми порами. Волновое сопротивление, указанных материалов мало отличается от волнового сопротивления воздушной среды и обеспечивает условие отсутствия отражений волны.

Переменное давление в звуковой волне приводит к возвратно - поступательным колебаниям воздуха в порах ЗПМ. При обтекании воздухом волокон возникают вязкие силы трения, специфические потери энергии волны в местах сужения и разломов пор между волокнами. Волновое сопротивление, скорость звука, постоянная распространения ЗПМ с учетом потерь записывается в виде:

$$w_м = w_a - i w_r;\quad \overline{c}_м = {}_a - i_r;\quad \overline{\gamma}_м = \gamma_a + \gamma_r \qquad (2)$$

где a,r – обозначают активную и реактивную (мнимую) часть комплексной величины; $\gamma_a = \frac{2\pi f \eta}{2c}$ - активная часть постоянной распространения, определяющая затухание звуковой волны; η - коэффициент потерь.

Входное акустическое сопротивление ЗПМ, расположенного на жесткой стенке,

имеет вид:

$$Z_{вх} = \bar{w} cth \bar{\gamma} l \qquad (3)$$

Идеальное согласование (β=0) указанной конструкции в диапазоне частот выполнить невозможно. При малых значениях толщины конструкции $cth\bar{\gamma}l \to 1$, поэтому эффективное поглощение однородного слоя ЗПМ достигается при толщинах звукопоглотителя, сравнимых с длиной волны звука в материале. На рис. 1 представлено схематическое изображение частотной характеристики коэффициента звукопоглощения, ЗПМ разных толщин.

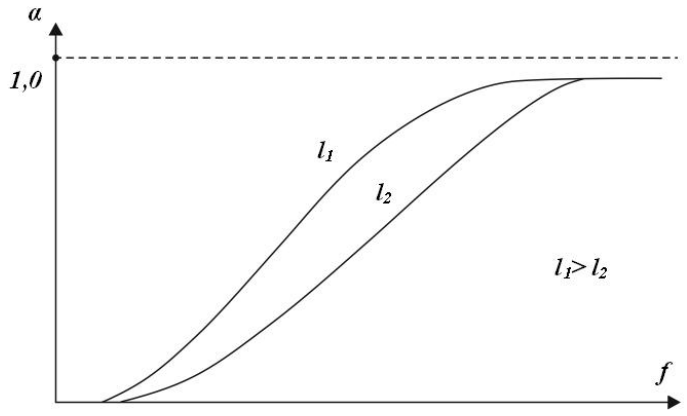


Рис.1 Частотная зависимость звукопоглощения однородного слоя разной толщины

При необходимости снижения уровня звука на низких частотах необходимо использовать неоднородную звукопоглощающую конструкцию (ЗПК), искусственно создаваемую на основе композиции слоев, обладающих разными волновыми свойствами.

Пример трехслойной композиции ЗПК представлен на рис.2.

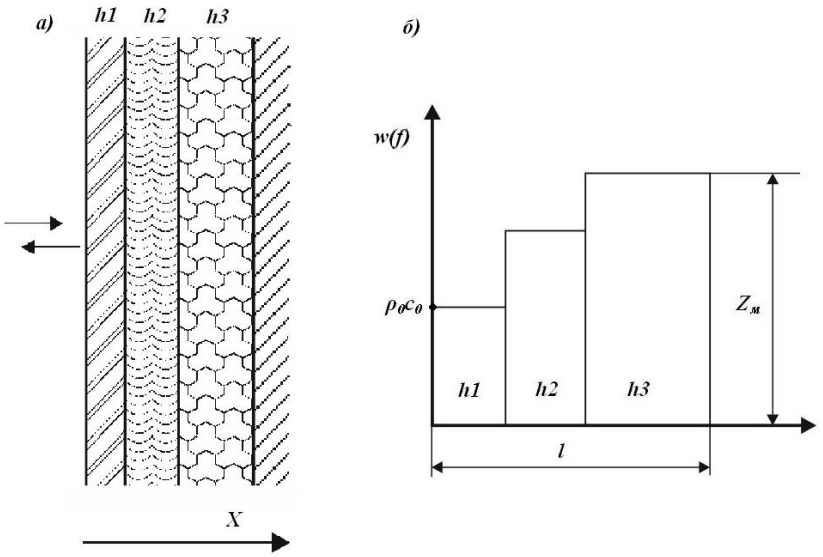


Рис.2 Многослойная нерезонансная конструкция звукопоглотителя (график а) и изменение в направлении *X* волнового сопротивления *w(x)* конструкции

Первый слой, встречающий волну, выполняет функцию согласования, поэтому выполнен на основе легкого воздухонасыщенного материала, волновое сопротивление которого близко к $\rho_0 c_0$. Последующие слои являются высокопотерными. Основой последних являются плотные материалы, обеспечивающие затухание звуковой волны, распространяющейся в направлениях *X* по толщине звукопоглотителя.

Проектирование и расчет ЗПК, обладающих высоким звукопоглощением на низких частотах при относительно малой толщине в конструкции, заключается в определении количества слоев, материалов слоев, порядка их расположения, геометрических размеров слоев.

В силу постоянного изменения свойств материалов по толщине $(\overline{w}(x) = \rho(x)\overline{c}(x))$ звуковая волна переотражается на границах слоев. Происходит фазовая интерференция волн, движущихся в разных направлениях, усиливающая эффект звукопоглощения. Коэффициент отражения $\overline{\beta}(x)$ неоднородной среды удовлетворяет нелинейному дифференциальному уравнению Рикатти:

$$\frac{d\overline{\beta}}{dx} + 2i\overline{\beta} - \frac{1}{2}\frac{d(\ln w(x))}{dx}(1-\overline{\beta}^2) = 0 \qquad (4)$$

В Работе [1] решена задача определения оптимального закона изменения параметров неоднородной ЗПК, который при задаваемой толщине *l*, частоте $f_{гр}$, сопротивлении $Z_н$ нагрузки обеспечивал бы минимальное отражение. Коэффициент отражения можно вычислить по формуле:

$$\beta = \int_0^l N(x)\exp\left(-2i\int_x^l \frac{\omega}{c(\tau)}d\tau\right)dx \qquad (5)$$

где $N(x) = \frac{1}{2}\frac{d(\ln c(x))}{dx}$ $\int_0^l (\ ) = -\frac{1}{2}\ln\frac{Z_H}{\rho_0 c_0}$

Расчет частотной зависимости коэффициента отражения неоднородной ЗПК выполнен при выполнении граничных условий *β(0)=0 и β(l)=1*. Решение задачи представим комплексным коэффициентом отражения $\overline{\beta}(x) = u(x) + i\vartheta(x)$. Тогда уравнение Рикатти принимает вид:

$$\frac{du}{dx} + \frac{4\pi f}{c(x)}\vartheta(x) + \frac{1}{2\rho(x)c(x)}\left[1 - u^2(x) + \vartheta^2(x)\right]\frac{d}{dx}\left[\rho(x)c(x)\right] = 0;$$

$$\frac{d\vartheta}{dx} - \frac{4\pi f}{c(x)}u(x) - \frac{1}{\rho(x)c(x)}u\vartheta\frac{d}{dx}\left[\rho(x)c(x)\right] = 0; \qquad (6)$$

$$u(x)|_{x=d} = \pm 1; \quad \vartheta(x)|_{x=d} = 0. \qquad (7)$$

Система дифференциальных уравнений (6) относится к классу Фукса и при граничных условиях (7) имеет единственное решение. Решение задачи по стандартной программе метода Рунге-Кутта плохо осуществимо, так как занимает продолжительное время из-за необходимости выбора крайне малого шага, что практически не позволяет отыскать все требуемое в постановке множества решений. Поэтому при расчетах необходимо использовать методы прогноза. Для начальных точек рациональным является использование формулы Эйлера, затем прогнозирование проводить по формуле Милна. Коррекция результатов осуществлялась по формулам повышенной точности, использующим значения производных в пяти точках. При проведении вычислений с помощью корректирующих формул используются стандартные программы для действий над матрицами.

Численный эксперимент показал, что при толщине поглотителя $l \geq \lambda$ характер волнового сопротивления *w(x)* приближается к экспоненциальному. При $l \approx \frac{1}{4}\lambda$ на

низких частотах наблюдается довольно резкое уменьшение эффективности ЗПК, объясняемое рассогласованием входного акустического сопротивления поглотителя с волновым сопротивлением воздуха. При уменьшении размеров ЗПК изменение *w(x)* приобретает осциллирующий характер. Реализация такого *w(x)* принципиально возможна лишь в композитной конструкции, состоящей из большого количества тонких слоев различных материалов, что исключает практическое применение такого поглотителя.

На рис. 3 приведены частотные характеристики неоднородной ЗПК толщиною 250 мм, состоящий из пяти слоев равной толщины различных, специально подобранных в соответствии с расчетом, материалов. На этом же рисунке приведена эффективность однородного поглотителя на основе базальтового волокна - одного из лучших звукопоглощающих мате-

риалов. Сравнение частотных характеристик коэффициента отражения указанных конструкции ЗПК показывает явное преимущество неоднородного поглотителя на низких частотах.

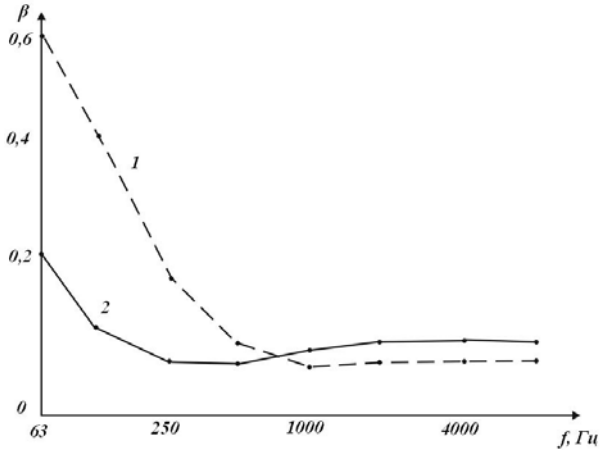


Рис 3 Частотная характеристика коэффициента отражения однородного (кривая 1) и неоднородного (кривая 2) звукопоглотителей.

Наиболее распространенным видом ЗПК нерезонансного типа являются звукопоглощающие клинья, выполненные из волокнистых материалов, ужесточенных топкой металлической проволокой. Эффективность клиньев толщиной 800мм не превосходит вышеуказанную многослойную конструкцию толщиной 250 мм. Звукопоглощающий клин реализует линейную зависимость $w(x)$. Таким образом, оптимальное распределение слоев в многослойной композиции ЗПК позволяет уменьшить толщину конструкции.

Получили широкое распространение объемные поглотители [2], выполненные в виде тел произвольной формы, подвешенных в пространстве помещения. Эффективность объемных ЗПК значительно превосходит эффективность плоских конструкций. Последнее обстоятельство объясняется эффектом нелокального поглощения звуковой энергии. Указанное явление наблюдается при падении звуковой волны па препятствие, размеры которого соизмеримы с длиною волны. Резкое изменение волновых свойств среды, наблюдаемое на границе воздух-препятствие, приводит к возмущенному состоянию звукового поля. Звуковая волна рассеивается, трансформируется в другие виды волн. Возникает три типа рассеяния энергии падающей волны. Один из них связан с зеркальным рассеянием, которое определяется законами геометрической оптики. Другой вид рассеяния сопровождается так называемыми «ползущими» волнами, которые огибают рассеивающее тело в различных направлениях, постепенно излучаясь в окружающую среду. Третий вид - так называемые волны типа Рэлея, которые входят в рассеивающее тело под определенными дискретными углами и распространяются вдоль поверхности. Поэтому применение звукопоглощающих материалов в виде объемных звукопоглотителей в значительной мере увеличивает их эффективность.

Эффективность звукопоглощения, сопровождающегося «краевым эффектом», будет определяться не только акустическими свойствами поверхностей конструкций, определяемых в основном волновыми параметрами используемых для изготовления последних материалов, но и от геометрических размеров поверхностей, взаимных расстояний между звукопоглощающими элементами, даже от расстояния исследуемой конструкции до источника звука.

Теорию и расчетные методики эффективности объемных ЗПК можно найти в работах [1,3].

Литература

1. Щевьев Ю. П., Белоусов Л. А. «Аналитические методы исследования шумозащитных конструкций» - М. «Политехника», 2004, 326 с.

2. Борилов Л. П. «Снижение шума в помещениях средствами звукоизоляции» -М. Стройиздат, 1987, 403 - 426 с.

3. Мехель Ф.П. «Звукопоглащающие материалы и их назначение» М. Стройиздат, 1987 316-402 с.

Исследования характера звукового поля в кабине

Шашурин А.Е.
БГТУ «Военмех»

В настоящее время в конструировании СДМ достигнут большой прогресс и на большинстве этих машин шум в кабине находится в диапазоне 70-80 дБА. Западные фирмы-производители СДМ рассматривают фактор акустического состояния на рабочем месте как объективный показатель конкурентоспособности своей продукции, что подталкивает их к совершенствованию акустических качеств машин, в том числе, и кабин. Но все методики по расчетам ожидаемого шума в кабинах машин очень сложны и индивидуальны. Для разработки методики расчетов для внутреннего шума, в первую очередь, необходимо определиться с характером звукового поля в кабине.

Выполнив анализ шума отметим следующее: звуковое поле в кабине образуется, как внутренними источниками (например, звукоизлучение кондиционера), так и внешними. Звук от внешних источников (выхлоп, моторный отсек и др.) проникает через все элементы ограждения кабины. Эти элементы являются вторичными излучателями звука. Звуковые волны в кабине, начиная с определённой частоты, многократно отражаясь от границ, образуют сплошное поле колебательного движения воздуха. Закон образования звукового поля в кабине определяется как свойствами источников шума, с одной стороны, так и геометрическими размерами кабины и ее отдельных ограждений. С другой стороны на этот процесс влияет также способность стен, потолка и пола поглощать звуковую энергию.

Воздушный объем образует колебательную систему с распределенными параметрами. Источники звука возбуждают колебания воздушного объема. Звуковые волны в кабине многократно отражаются от ограждающих поверхностей, приводят в колебательное движение воздушный объем. Воздушный объём обладает спектром собственных частот колебаний, но его колебания могут происходить как в режиме ниже первой собственной частоты, так и в режиме воздушных резонансов. Режимы воздействия ниже первой собственной частоты являются квазистатическими (квазидинамическими) чаще всего вызываемыми самими источниками шума низкой частоты. Особенностью образования звукового поля в кабине является наличие вторичных источников, линейные размеры которых сравнимы с размерами кабины. Звуковое поле от такого источника близко к плоскому звуковому полю. Это значит, что на процесс образования звукового поля в кабине отклик в спектре собственных частот воздушного объема имеет меньший вклад, чем в случае полей с внутренними источниками.

Фундаментальным свойством замкнутого объема, определяющим теоретический подход к рассмотрению происходящих в кабине акустических процессов является его свойство, называемое диффузностью. При прохождении через элемент объема большого числа звуковых волн или при прохождении через него плоской звуковой волны звуковое поле обладает свойствами изотропности и однородности. Изотропное однородное поле называется диффузным, количественной характеристикой которой является степень равномерности звукового поля в объеме кабины.

Поэтому выполнялись исследования по определению характера распределения звукового поля в объеме кабины от искусственного источника звука (ИИЗ), установленного внутри кабины, и в реальных условиях имитации режима работы экскаватора. Схематичное расположение измерительных точек указаны на рис.1, а в табл. 1 приводятся результаты обработки. Выполнялось усреднение полученных спектров и расчет отклонений по 75% выборке, т.е. был выброшен из усреднения каждый четвертый результат.

При анализе звукового поля с ИИЗ отмечено, что в низкочастотном и среднечастотном диапазоне от 63 до 500 Гц при наличии источника внутри кабины неравномерность поля увеличивается до ±(2-3) дБ. Это объясняется тем, что на этих частотах расположены отдельные собственные резонансы кабины, что приводит к увеличению неоднородности звукового поля.

При определении неравномерности звукового поля в кабине и работе экскаватора по сравнению с ИИЗ ее характеристики несколько изменяются. В первую очередь следует отметить различную степень неравномерности звукового поля от работы установленного в кабине искусственного источника звука и при работе источников экскаватора. В первом случае неравномерность характеризуется отклонением ± (1-3) дБ в диапазоне 63-8000 Гц (± 1,5 дБА),а во втором (± 0,2-2 дБ) (± 1 дБА)., т.е. разница составляет 0,5-2 дБ. Это подтверждает предположение о том, что звуковое поле в реальных условиях более близко к диффузному, чем при экспериментах с ИИЗ. Это объясняется наличием плоских звуковых волн от элементов ограждения кабины.

При работе экскаватора степень равномерности звукового поля меняется с частотой. На самых низких частотах (31,5) воздушный объем колеблется как единое целое (поршневые колебания) и звуковое поле равномерно. На частоте 63 Гц наблюдается неравномерность звукового поля достигающая ± 4 дБ, это объясняется превалирующим вкладом вибрации, где каждый элемент ограждения кабины излучает звук с различной интенсивностью. В диапазоне частот 125-8000 Гц степень неравномерности уменьшается с частотой (чем больше частота, тем больше отражений в объеме), неравномерность на низких и средних частотах не превышает ± 1÷1,5 дБ, что позволяет уверенно считать звуковое поле в малых кабинах диффуз-

ным, начиная со среднегеометрической частоты 125 Гц. Это говорит о правомерности статистической теории акустики для выполнения расчетов в кабинах малых размеров: граничной частоты 125 Гц.

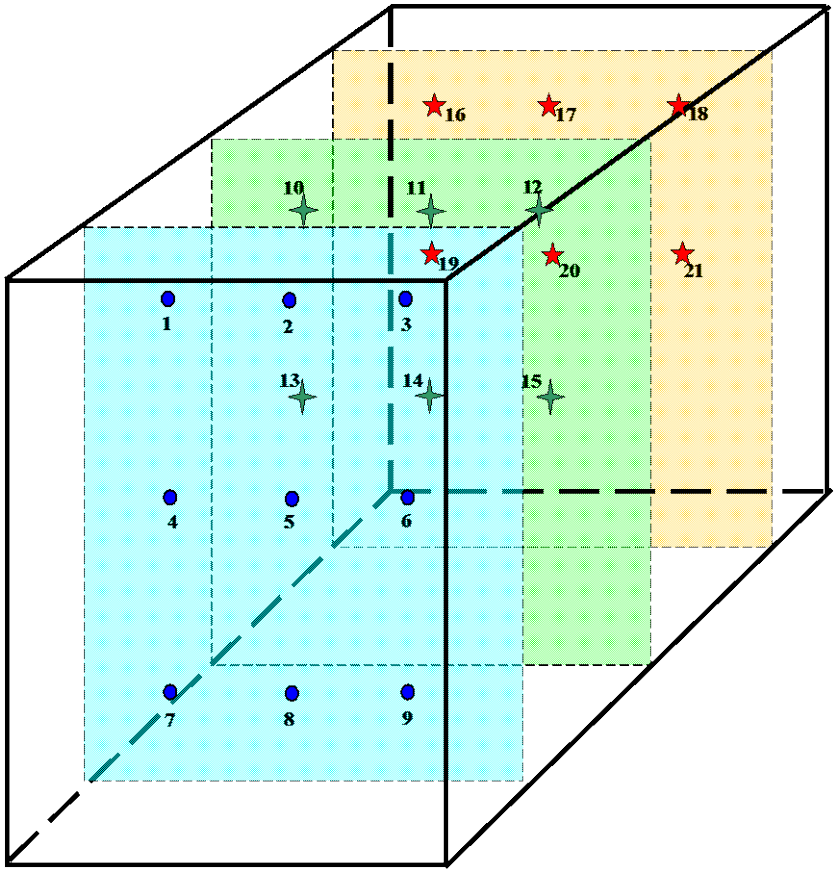


Рис. 1. Точки измерений
при исследовании равномерности звукового поля в кабине

Таблица 1

Усредненные значения УЗД и УЗ в кабине и отклонения от средних значений

Режим испытаний	**Усредненные уровни звукового давления и отклонения, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц**									Усредненные УЗ, дБА и отклонения
	31,5	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	
Искусственный источник звука	92 ±0,5	91,5 ±2,0	89 ±2	90 ±2,5	93,5 ±3	91 ±2,0	96 ±2	97 ±1	89 ±1	102 ±1,5
Имитационный режим работы	91,5 ±1	82 ±4	72 ±1,5	70,5 ±1,5	63 ±1	55 ±1,5	53 ±1	51,5 ±0,5	50,5 ±0,2	67 ±1
Разница	-	-	0,5	0,5	2	0,5	1	0,5	0,8	-

В выводах можно отметить, что степень равномерности звукового поля в кабине зависит от частоты:

– на частоте 31,5 Гц звуковое поле равномерное (поршневые колебания отдельного элемента ограждения);

– на частоте 63 Гц звуковое поле неравномерное, обусловлено неравным излучением элементов ограждения кабины из-за преобладания звуковой вибрации;

– начиная с частоты 125 Гц звуковое поле в кабине диффузное, следовательно, выполнение расчетов на основе статистической теории корректно.

Литература

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом.: учебник.– М.: Университетская книга. Логос, 2008. – 424с.

2. Handbook of Noise and Vibration. M. J. Crocker, Willey 2007, 1569p.

3. Шашурин А.Е. Автореферат на тему дисс. «Снижение внутреннего шума звукоизолирующими кабинами (на примере строительно-дорожных машин)». БГТУ «Военмех», 2010г.

Шумозащитные экраны. Обзор нормативной документации

Грибов С.А.
ОАО "Завод акустических конструкций"

В России за последние 15 лет появился новый вид Продукции – шумозащитные экраны, ранее в России отсутствующий.

Особенность этой Продукции заключается в том, что для ее проектирования необходимо знание трех научных дисциплин: акустики, аэродинамики, строительной механики.

К сожалению, специалисты имеющиеся в каждой их этих областей обладают познаниями каждый в своей области.

Сложность решения задач проектирования шумозащитного экрана заключается в том, что данные о работе подобных сооружений разбросаны по различным научным трудам, а зачастую просто отсутствуют.

Поэтому Заказчики и Проектировщики шумозащитных экранов не понимают друг друга, пользуются различными источниками информации и не понимают физики процессов, происходящих при работе шумозащитных экранов.

Более того, проекты, включающие в себя установку экранов, выпускаются часто без соответствующих акустических расчетов.

Второй пример непонимания сути работы шумозащитных экранов - перемещение из одного нормативного документа в другой понятия «поверхностная плотность», взятого из СНиП «Здания и сооружения».

В конструкции шумозащитных экранов этот термин неприменим. Так как эти данные относятся к области внутренней акустики и подразумевают применение однородных плотных материалов.

Экспериментальные данные по определению эффективности шумозащитного экрана, установленного на ст. Саблино показали, что уровень шума за акустическими панелями в центре экрана на 6-9 дБА ниже, чем уровень шума за габионом, установленным в основании шумозащитного экрана. Хотя минимальная поверхностная плотность панелей составляла 17 кг/м^2, а плотность габиона на порядок выше.

Третий пример – табличное задание коэффициентов звукопоглощения. Значение коэффициентов ничем не обосновано и не позволяет судить о степени эффективности звукопоглощения акустической панелью. Слепое копирование привело к тому, что приведенная в СП20.13330-2011 схема аэродинамических коэффициентов у отдельных частей экрана принята некорректно, т.к. она относится только к экранам, устанавливаемым на же-

лезной дороге с высокоскоростным движением и совершенно неприемлема для шумозащитных экранов устанавливаемых в стандартных условиях (Шумозащитные экраны у промышленных объектов, автомобильных дорог и т.п.), однако, составители СП20.13330-2011, копируя эту схему из зарубежных источников об этом не упоминули. Применение этих коэффициентов неминуемо вызовет необоснованное увеличение массы стоек и удорожание шумозащитных экранов.

Поскольку теория проектирования шумозащитных экранов отсутствует, естественно разработчики нормативной документации по шумозащитным экранам не имеют единого документа и вынуждены решать возникающие перед ними вопросы самостоятельно, в объеме своей компетентности.

Проведенный анализ документации по шумозащитным экранам, разработанной за последние 4 года показал острейшую необходимость в разработке теории проектирования шумозащитных экранов.

Появляются документы противоречащие друг другу и теоритическим положениям. Например, проект ГОСТ для целей исполнения технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» , находящийся в общем доступе в сети интернет, не содержит никаких конкретных требований к шумозащитным экранам и на 60% занимаемого объема состоит из добросовестно переписанных таблиц из строительных санитарных норм и правил. Анализ некоторых технических условий на проектирование шумозащитного экрана вызывает сомнение в достоверности приведенных данных. Например, срок службы экрана 50 лет ничем не подтвержден; вызывает сомнение и то, что панель, изготовленная из алюминия толщиной 1 мм и габаритными размерами 5*1 м при отсутствии ребер жесткости выдержит ветровое давление 140 кг/м^2.

Особняком стоит блок стандартов, разработанных на кафедре Н.И. Иванова Можно сказать, что они выгодно отличаются от других. Их можно применять при проектировании шумозащитных экранов. И если к стандартам по контролю и обработке результатов испытаний практически нет замечаний. То к стандарту, регламентирующему конструкцию шумозащитных экранов имеется ряд претензий, хотя, Н.И. Иванов прибегнул к помощи специалистов-практиков. Это позволило создать приемлемый стандарт.

Однако замечания, высказанные на совещаниях по написанию стандарта, были учтены не в полной мере.

Позволю себе остановиться на некоторых из них:

1. Стандарт не может считаться общероссийским стандартом, т.к. он охватывает только одну отрасль – железнодорожную. Он мог бы считаться общероссийским стандартом, если бы его можно применить на автомобильных дорогах, водном транспорте, аэропортах и др. объектах.

2. Стандарт в некоторых своих частях напоминает научный труд, который объясняет КАК проектировать экраны и не всегда предъявляет требования к ним. Например, приведены требования к величинам поверхностной плотности акустической панели, которые в дальнейшем нигде не упоминаются и не учитываются.

3. В стандарте отсутствует информация о минимально допустимом значении звукоизоляции акустической панели.

4. В стандарте ничего не сказано о требованиях к шумозащитным экранам, устанавливаемых на высокоскоростных железных дорогах, ссылка на СП 20.13330-2011 неправомерна, т.к. в этот документ относится к строительной отрасли, в нем ничего не сказано о скоростном движении и называется он «нагрузки и воздействия».

5. И в тоже время в стандарте не использованы материалы книги Brucken aus Stahlbelton und Spanndeton – авторы Karl Heinz, Ralph Holst, которые регламентируют аэродинамические нагрузки на шумозащитные экраны на высокоскоростных железных дорогах. Данная книга переведена на русский язык и доступна для прочтения.

6. В стандарте предлагаются два вида конструкций шумозащитных панелей, однако, это в стандарте недопустимо. Стандарт должен устанавливать требования к акустическим панелям: зависимость коэффициентов звукопоглощения от плотности и толщины звукопоглощающего материала, а также величины воздушного зазора между звукопоглощающим материалом и металлической стенкой.

7. Конструкция стоек не должна быть регламентирована стандартом, так как это вопросы конструирования, решаемые в каждом отдельном случае.

8. Стандарт не должен регламентировать конструкции шумозащитных экранов там, но должен учитывать возможность применения новых конструкций и материалов, которые должны оцениваться на основе общих принципов долговечности, безопасности и функциональных свойств. Индекс звукоизоляции.

При исправлении перечисленных выше недостатков, стандарт позволит решить все задачи, возникающие при проектировании шумозащитных экранов.

Таким образом, возвращаясь к началу доклада можно еще раз сказать:

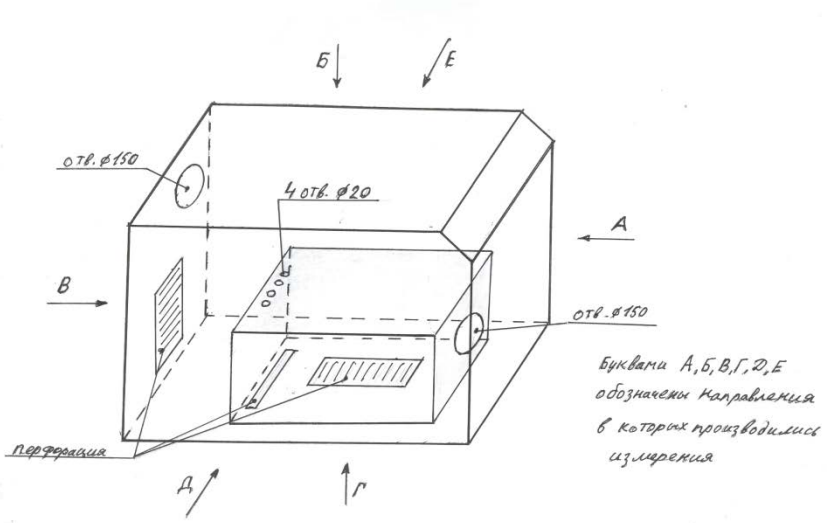
Промышленности необходима теоретическая база для проектирования шумозащитных экранов.

Снижение шума медицинского концентратора кислорода

Шарипов Х.А. Курцев Г.М.
ООО «МЕДЕКО» г.Казань
БГТУ «Военмех» г.Санкт-Петербург

Наша фирма в 2010 году приступила к разработке и изготовлению медицинского концентратора кислорода, аналогов в России нет. Установка представляет собой сложное техническое устройство в состав которого входят следующие основные узлы: воздушный компрессор, фреоновый осушитель воздуха, пластинчатый доохладитель воздуха, блок адсорбции, ресивер воздушный, ресивер кислородный, электронный блок управления и аварийной защиты. Установка представляет собой металлический шкаф на четырех колесиках с размерами: длина – 1100мм, высота – 1000мм, ширина – 600мм. Вес установки в сборе 300кг. (смотри фото).

После изготовления опытного образца установки выяснилось, что эквивалентный уровень звука исходящий от немецкого компрессора превышал на 10 дБА от указанного в его паспорте шума 76 дБА. Соответственно заложенная нами при проектировании звукоизоляция не справилась со своей задачей, уложится в требуемые санитарными нормами 65 дБА. Чтобы можно было понять, какие меры предпринимались нами для решения этой задачи, необходимо пояснить некоторые конструктивные особенности установки (смотри Эскиз концентратора кислорода).



Эскиз корпуса концентратора кислорода

Корпус установки изготовлен из листовой стали, все стенки толщиной 1мм, дно толщиной 3мм. На задней стенке корпуса установки расположено перфорированное окно с прямоугольными пазами шириной 5мм предназначенного для подачи воздуха в корпус. Далее воздух всасывается компрессором и вентилятором для охлаждения компрессора. Также на задней стенке расположено отверстие диаметром 150мм в котором установлен доохладитель воздуха с вентилятором, который направляет теплый воздух наружу установки. Внутри корпуса установки на дне расположен кожух компрессора стенки которого из стали толщиной 1мм. На дне кожуха компрессора два перфорированных окна с круглыми отверстиями диаметром 6мм. На передней его панели отверстие диаметром 150мм для вентилятора подачи воздуха для охлаждения компрессора. На верхней крышке кожуха 4 отверстия диаметром 20мм для всасывания воздуха компрессором.

Первый замер акустических характеристик установки дал следующий результат – 77дБА эквивалентного уровня звука со стороны А (там где расположена панель управления установкой) и сильную вибрацию стенок установки. По результатам замера видно что основной шум идет на частотах 63, 125, 250 Гц. Все замеры приведенные в данной статье произведены на расстоянии 1метра от установки, на высоте 0,8 метра, прибором «Алгоритм 01». В данном случае звукоизоляция стенок и пола кожуха компрессора и корпуса установки была произведена «Пенолоном» из сшитого вспененного полиэтилена толщиной 6мм, а виброопоры были рассчитаны и изготовлены специализированной фирмой из материала Sylomer L5.

Проведя анализ создавшейся ситуации и проведя ряд консультаций, как с заводом изготовителем компрессора, так и со специалистами по инженерной акустике, был произведен подбор звукоизоляционных материа-

лов разных фирм и разработан ряд конструкций глушителей для воздухоподводов и воздухоотводов. Виброопоры были заменены на АКСС-10М изготовитель ОАО «НИИРПИ» г.Санкт-Петербург. Это дало сразу положительный результат, вибрация стала незначительной.

Были произведены следующие варианты звукоизоляции кожуха компрессора:

1 вариант – на стальные стенки наклеивалась пористая резина толщиной 5мм, затем лист 0,4мм мягкой меди, потом 10мм сшитого вспененного полиэтилена;

2 вариант – на стальные стенки наклеивалась итальянская изоляция марки K-FONIK ST PB074 состоящий из трех слоев: 3мм пенорезина плотностью 4.4 кг/м³, свинцовый лист 0,34мм, пенополиуретан 10мм.

3вариант – стальные стенки кожуха заменены на 5мм пластик, на него наклеили звукопоглощающий материал Акустов- Рельеф П толщиной 70мм, основа 30мм остальное пирамидки, материал пенополиуретан.

4 вариант – стенки кожуха заменены на 10мм пластик и обклеины немецкой звукоизоляцией марки Cello Qualitat 471, высокоплотная полиэфирная основа 2мм и 38мм пенополиуретан.

5 вариант – стенки кожуха варианта 4 дополнительно снаружи проклеины звукопоглощающей изоляцией K-FONIK 240 толщиной 10мм, пенорезина плотностью 240кг/м³.

На корпусе установки также подбирались варианты звукоизоляции:

1 вариант – стальные стенки проклеивались сшитым вспененным полиэтиеном толщиной 10мм;

2 вариант – стенки проклеивались материалом K-FONIK 240 толщиной 10мм;

3 вариант – на стенки приклеивался пластик толщиной 10мм;

4 вариант – на стенки и пластик дополнительно наклеивался материал K-FONIK 240 толщиной 10мм;

5 вариант – на стальные стенки наклеивалась резиновая техпластина средней твердости толщиной 8мм и на нее материал K-FONIK 240 толщиной 10мм.

После каждого варианта звукоизоляции и модернизации глушителей производились акустические замеры, как отдельно, так и в разных вариантах. Все это анализировалось, но результат не радовал. Мы достигли определенного порога, а дальше улучшений не было.

Самые лучшие результаты были следующие:

Направление измерения	А	Б	В	Д	Е
Эквивалентный уровень звука, дБА	68,2	69,2	70,5	69,6	68,3

Анализ показал, что шум от компрессора уходит по трем направлениям:

1. Всасывание воздуха компрессором через 4 отверстия диаметром 20мм.

2. Это отверстие диаметром 150мм для подачи вентилятором воздуха для охлаждения компрессора.

3. Это выход горячего воздуха из под кожуха компрессора через плоский глушитель на дне установки.

Появилась еще одна очень серьезная проблема, перегрев компрессора. Чем лучше работает глушитель и звукоизоляция, тем быстрее происходит перегрев компрессора.

Для решения этой проблемы, а также чтобы убрать все три направления утечек звука из под кожуха компрессора, были произведены следующие изменения в конструкции установки. Перенесли всасывание воздуха компрессором под его кожух, а отверстия диметром 20мм все заглушили. Закрыли наглухо выход горячего воздуха на дне установки. Установили под кожухом компрессора два дополнительных вентилятора, один для перемешивания воздуха под кожухом, для ликвидации застойных зон, а второй вытяжной вентилятор установили на противоположной стенке от подающего воздух вентилятора. Выход горячего воздуха со второго вентилятора обеспечивает трехступенчатый глушитель новой конструкции. Что касается вентилятора подающего воздух на охлаждение компрессора, то там мы установили трубу глубиной 50мм (больше не позволило место) и заполнили его пластинами пеноникеля с размерами пор 4-6мм. Результат был бы намного лучше толщина пеноникеля была 100мм.

Получили следующие результаты:

Направление измерения	А	Б	В	Д	Е
Эквивалентный уровень звука, дБА	64,8	62,2	63,5	63,1	64,1

На решение всех проблем возникших в нашем случае потребовалось 10 месяцев. По полученным результатам мы смогли пройти все сертификационные испытания и сдать документы на регистрацию установки в Росздравнадзоре.

Проблемы совместимости шумоизоляции и обеспечения контролепригодности надземных трубопроводов компрессорных станций

Ангалёв А.М., Мартынов А.И., Соколинский Л.И.
ОАО «Оргэнергогаз»

Подавляющее большинство надземных трубопроводных обвязок газоперекачивающих агрегатов (ТПО ГПА) компрессорных станций (КС) ОАО «Газпром» оснащены тепло-шумоизоляционными покрытиями, предназначение которых – защита персонала станции от акустического и теплового воздействия, излучаемого трубопроводами. Изолируются, как правило, все надземные технологические трубопроводы ГПА. Контроль технического состояния этих трубопроводов осуществляется с использованием прорезанных в покрытии диагностических лючков, количество которых на простейшей полнонапорной обвязке центробежного компрессора (ЦБК) превышает 40 шт. Но даже такое количество контрольных точек недостаточно, т.к. не контролируется состояние сварных швов, качество монтажных работ, образование и развитие коррозионных процессов под изоляцией в местах ее отслоения от поверхности трубы.

В результате, при проведении работ по капитальному ремонту технологических трубопроводов (КРТТ) под изоляцией часто обнаруживается большое количество ранее неустановленных дефектов изготовления и монтажа, участков коррозионного износа, не допускающих возможности дальнейшей эксплуатации трубопроводов. Возникает потребность в незапланированном увеличении материальных и технических средств на КРТТ. Таким образом, при современном состоянии применения теплошумоизоляции ТПО ГПА КС задачи обеспечения санитарно-экологических требований входят в противоречие с задачами обеспечения надежности и безопасности эксплуатации КС.

На большинстве КС транспорта газа задачи теплоизоляции ТПО ГПА не стоят. Поэтому функции покрытий надземных участков ТПО ГПА этих КС могут заключаться только в обеспечении защиты от шума.

Рассматривая процессы акустических колебаний, излучаемых ТПО ГПА, следует учитывать, что интенсивность этих колебаний зависит в первую очередь от интенсивности пульсаций перекачиваемого газа и толщины стенки трубы. Частоты и амплитуды пульсаций газа определяются конструкцией проточной части нагнетателя, режимными параметрами его работы, скоростью потока газа и условиями акустических резонансов в газе.

Проведенные ОАО «Оргэнергогаз» натурные обследования акустического излучения от ТПО ГПА и акустических свойств используемых в ОАО «Газпром» покрытий трубопроводов (на основе битумной мастики, минеральной ваты, пеностекла) показали следующее.

1) В технической документации, паспортах и отраслевых стандартах отсутствуют акустические характеристики шумоизолирующих покрытий ТПО. Такое положение делает малодостоверными расчеты шумоизоляции при проектировании и практически невозможной оценку эффективности применения того или иного типа покрытий ТПО без выполнения экспериментальных исследований с частичным или полным снятием или нанесением изоляции.

2) Вне зависимости от наличия или отсутствия шумоизоляции, типа применяемой в настоящее время шумоизоляции, максимальные уровни звука у ТПО ГПА превышают 100 дБА, что как минимум на 20 дБА превышает допустимое значение 80 дБА по ГОСТ 12.1.003-83. Следовательно, покрытия ТПО ГПА должны обеспечивать снижение звука не менее чем на 25 – 35 дБА и соответствовать классу С по ГОСТ Р ИСО 15665. На рисунке 1 показано соответствие звукоизолирующих покрытий обследованных типов с установленными в ГОСТ Р ИСО 15665 значениями акустической эффективности.

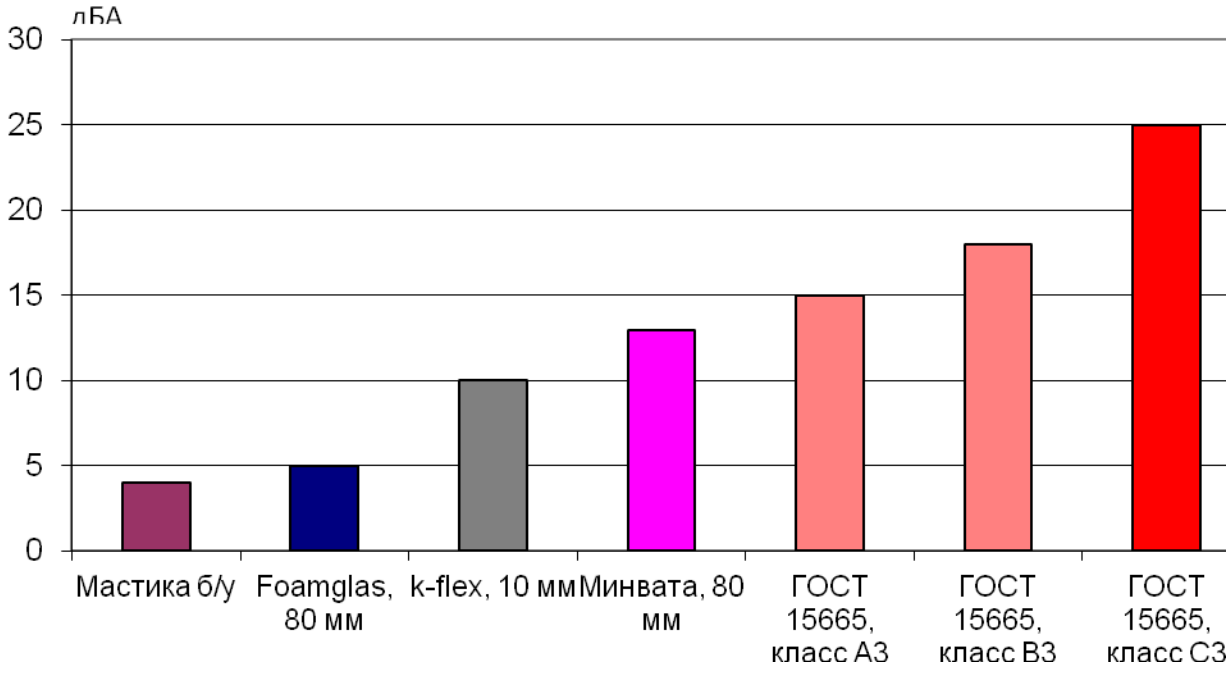


Рисунок 1 Значения звукоизоляции обследованных типов покрытий

Из рисунка 1 следует, что только покрытия из минеральной ваты могут быть отнесены к низшему классу А3 по ГОСТ Р ИСО 15665.

3) В октавных спектрах звукового давления у всех обследованных обвязок преобладают составляющие с центральными частотами 1000 и 2000 Гц. Эти составляющие и определяют уровень звука. Такой результат является вполне естественным, т.к. в этих частотных полосах располагаются доминирующие в спектре 1-я и 2-я «лопаточные» составляющие пульсаций газа, генерируемых практически всеми нагнетателями КС ОАО «Газпром». (Под «лопаточной» частотой понимается частота прохождения лопаток рабочего колеса нагнетателя мимо неподвижной точки). Следовательно, от любых средств шумоглушения требуется наибольшая эффективность в этих октавных полосах частот.

4) Эквивалентные уровни звука по маршрутам обхода, рассчитанные по применяемой в ОАО «Газпром» методике, превышают ПДУ вне зависимости от наличия или отсутствия шумоизоляции ТПО ГПА.

5) Принятые в ОАО «Газпром» методики и регламенты, по которым оценивается воздействие производственного шума на персонал, не учитывают применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), обязательное для людей, находящихся на промплощадке цеха. В результате, оценки акустического воздействия не соответствуют реальным условиям, а к шумоизолирующим покрытиям предъявляются необоснованно повышенные требования. Вместе с тем, такая корректировка должна выполняться в соответствии с п. 3.1. ГОСТ 12.1.003-83.

6) Уровни звука у выходных трубопроводов ЦБК, как правило, на 6 – 10 дБА выше, чем у входных трубопроводов.

7) Уровни звука у ТПО ЦБК с лопаточными диффузорами проточной части заметно выше (до 10 дБА) чем у ТПО аналогичных по технологическим параметрам ЦБК с безлопаточными диффузорами.

Для проверки обоснованности выбора того или иного звукопоглощающего материала (ЗПМ) был проведен анализ технических характеристик трех типов материалов, применяемых для звукоизоляции ТПО ГПА ОАО «Газпром» и соответствия этих характеристик требованиям нормативных документов. Сопоставлялись три материала:

- Foamglas – пеностекло с закрытыми порами;
- маты из минеральной ваты;
- K-Flex – вспененный каучук с закрытыми порами.

Характеристики ЗПМ по данным фирм-изготовителей и оценки соответствия этих характеристик нормативным документам приведены в таблице 1.

Таблица 1 Характеристики ЗПМ

Наименование	Характеристики							Соответствие требованиям нормативных документов		
	Плотность, кг/м3	Горючесть	Температура применения	Водопоглощение, % по объему за 24 ч	Паропроницаемость, мг/мчПа	Звукоизоляция, дБА (при толщине 100мм)	Долговечность, год	ГОСТ Р ИСО 15665	СТО Газпром 2-1.21-127-2007	ВРД 39-1.8-055-2002
Foamglas	100-160	НГ	-260… +430	0	0	5-17	На весь срок службы изолируемой конструкции	Не соответствует	Соответствует	Соответствует
Маты и плиты из стеклянного штапельного волокна	11-30	НГ (для марок с плотностью ≤30), Г1, Г4	-60…+320	≤36	0,52-0,7	12-23	50 и более	Соответствует, Класс А, В	Соответствует	Не соответствует
K-FLEX	65-80	Г1	-200…+105 (-200… +150)	≤2,2	0	≤32	>20	Соответствует, Класс А, В, С	Не соответствует	Соответствует

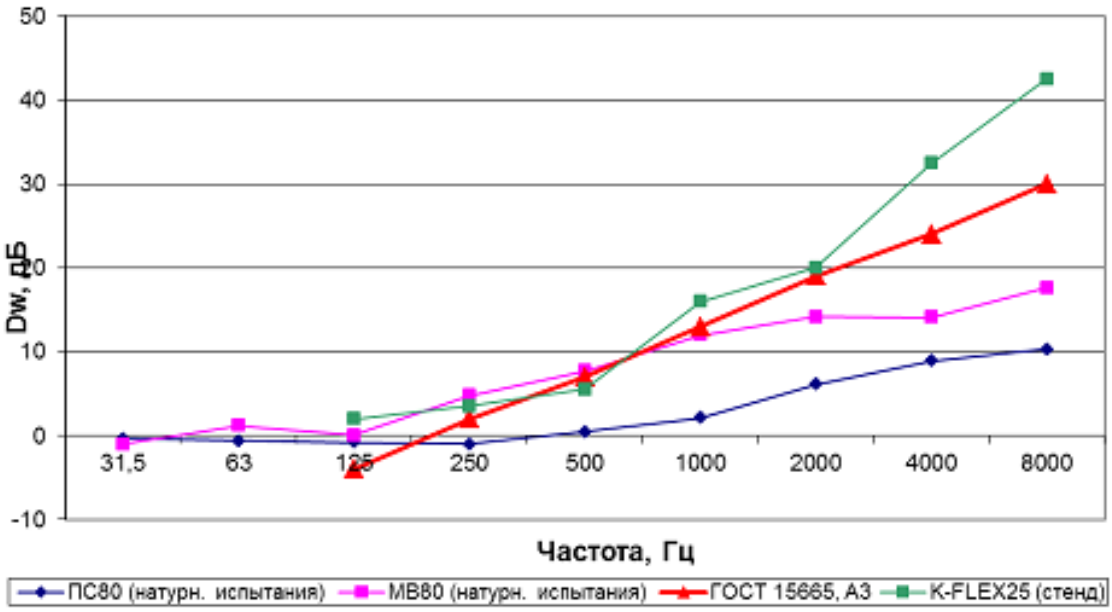
Как показали промышленные испытания покрытий на основе материала Foamglas, звукоизоляцию этого материала для условий работы КС ОАО «Газпром» следует принять равной нижней границе указанного в таблице 1 диапазона (5 дБА). Поэтому можно считать, что эти покрытия не соответствуют основному предназначению.

Покрытия на основе материала K-FLEX максимально эффективны по звукоизоляции, но не соответствуют СТО Газпром 2-1.21-127-2007 по параметру горючести. Не совсем ясно, на каком основании в СТО Газпром 2-1.21-127-2007 для покрытий ТПО разрешено применение только негорючих материалов. Материалы группы Г1, к которым относится K-FLEX, самостоятельно не горят и не образуют горящих капель расплава (см. ГОСТ 30244-94).

Покрытия на основе материала K-FLEX выпускаются в виде рулонов толщиной от 6 до 50 мм, легко монтируются, имеются протоколы стендовых испытаний, содержащие акустические характеристики различных покрытий на основе этого материала.

Покрытия на основе матов из минерального волокна не соответствуют требованиям ВРД 39-1.8-055-2002 по водопоглощению и паропроницаемости. Их применение способствует коррозионному износу поверхности труб. Однако при применении съемных конструкций это вредное воздействие можно минимизировать. Кроме того, применение съемных конструкций обеспечивает проведение периодического полного контроля технического состояния трубопроводов и минимизацию необходимого числа диагностических лючков, через которые к поверхности труб может поступать влага.

Анализ спектральных характеристик шумоизолирующих покрытий, рисунок 2, полученных на стендах и при промышленных экспериментах, показывает, что для гашения звука в октавных полосах с центральными частотами 1000 и 2000 Гц могут применяться покрытия на основе базальтовых матов и материала k-flex.



ПС80 – пеностекло толщиной 80 мм; МВ80 – минеральная вата толщиной 80 мм;

K-FLEX25 – k-flex толщиной 25 мм

Рисунок 2 Спектральные характеристики однослойных покрытий

Исходя из методики проведения измерений звука на КС, обработки и оценки этих измерений, характеристик звукоизолирующих покрытий ТПО, следует, что все мероприятия по снижению шума у ТПО направлены исключительно на защиту органов слуха людей, находящихся на промплощадке. Следовательно, правильное применение средств индивидуальной защиты органов слуха (наушников) является альтернативным применению шумоизоляции ТПО.

Нами были выполнены оценки акустического воздействия шума у конкретных ТПО ГПА на органы слуха человека с учетом паспортных акустических характеристик массово выпускаемых наушников. Коррекция результатов измерений давления звука у ТПО выполнялась согласно ГОСТ 12.1.003-83 и СТО Газпром 2-3.5-043-2005, п. 11.4.

На рисунках 3 и 4 показаны распределения уровней звука вдоль ТПО ГПА ГТ-6-750 и ГТ-750-6 по результатам измерений и по скорректированным данным. (На рисунках 3 и 4 К1, К2 – точки у кранов №1 и №2, Н – точки у нагнетателей).

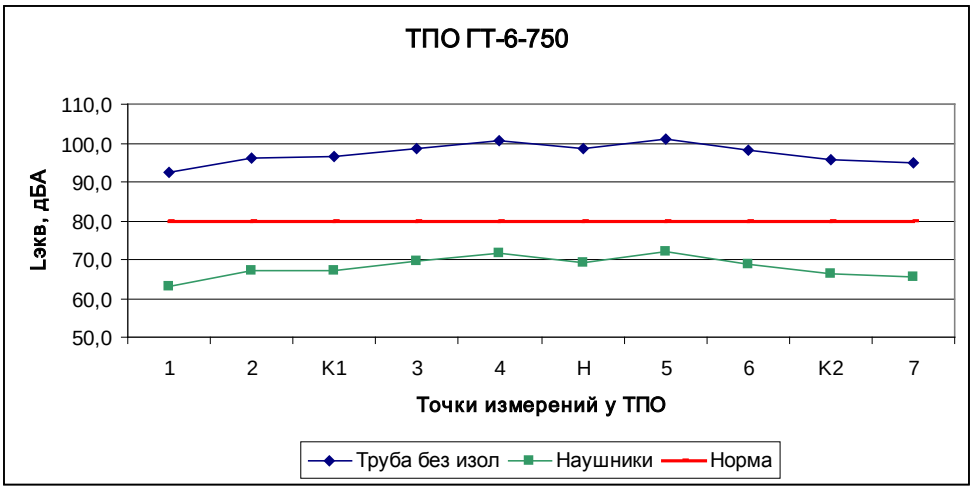


Рисунок 3 Распределение уровней звука у ТПО ГПА ГТ-6-750: без изоляции (Труба без изол); с учетом применения наушников (Наушники)

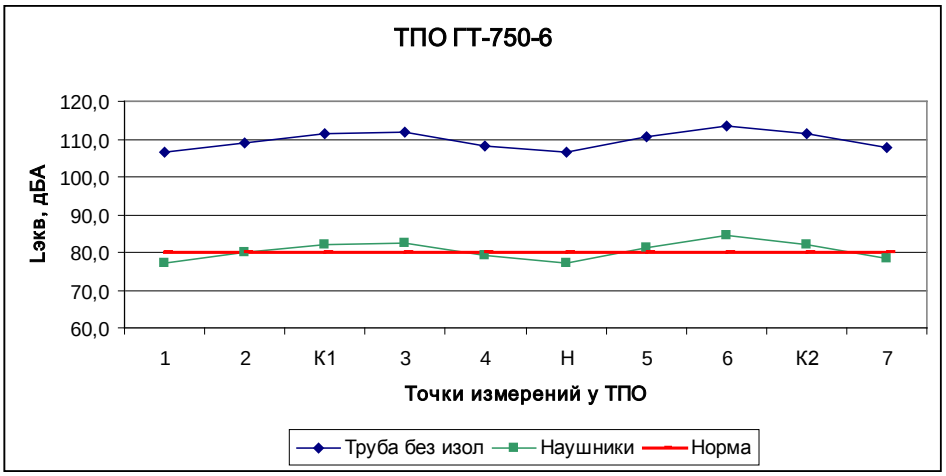


Рисунок 4 Распределение уровней звука у ТПО ГПА ГТ-750-6: без изоляции (Труба без изол); с учетом применения наушников (Наушники)

Отличие в уровнях шума у ТПО ГПА ГТ-6-750 и ГТ-750-6 при их одинаковой конфигурации, диаметрах и толщинах стенок труб вызвано тем, что нагнетатели Н-300 ГТ-6-750 – с безлопаточными диффузорами, а нагнетатели 370-17-1 ГТ-750-6 – с лопаточными.

Из рассмотрения рисунков 3 и 4 следует, что, задавшись допустимым уровнем звука у ТПО с учетом характеристик СИЗ, можно решать вопрос о необходимости применения шумоизоляции ТПО. Например, задавшись допустимым значением 80 дБА можно считать, что для ТПО ГПА ГТ-6-750 шумоизоляция не нужна, а для ТПО ГПА ГТ-750-6 шумоизоляция может быть нанесена только на участки ТПО от крана №1 до нагнетателя и от нагнетателя до крана №2. При этом требования к шумозащитным свойствам покрытия существенно снижаются.

Коррекция результатов измерений звука по маршруту обхода для точек маршрута, где применение наушников необходимо, привела к тому, что при такой методике расчета значения эквивалентных уровней звука Lэкв стали относиться к классу условий труда «Допустимо». В то же время, если Lэкв рассчитывается без коррекции на применение СИЗ, нанесение шумоизоляции в большинстве случаев не приводит к изменению класса условий труда. В таблице 2 приведены значения эквивалентных уровней звука по маршруту обхода, рассчитанные без коррекции и с коррекцией по акустическим характеристикам наушников.

Таблица 2 Оценка эквивалентных уровней звука Lэкв
по маршруту обхода машиниста

Тип ЦБК	Тип покрытия	ПДУ по СН, дБА	Lэкв, дБА	Класс условий труда
Н-370-18	Без покрытия	80	103,7	Вредные, класс 3.3
	Минеральная вата		99,5	Вредные, класс 3.3
	Без покрытия с учетом характеристик наушников		71,1	Допустимые, класс 2
291ГЦ2-385	Без покрытия	70	75,5	Вредные, класс 3.2
	Foamglas		74,6	Вредные, класс 3.1 (3.2)
	Без покрытия с учетом характеристик наушников		63,0	Допустимые, класс 2

По результатам проведенных исследований можно сформулировать следующие предложения, направленные на повышение надежности и безопасности эксплуатации КС за счет улучшения контролепригодности наземных технологических трубопроводов без ущерба для защиты персонала КС от генерируемого трубопроводами шума.

1) Провести паспортизацию типовых трубопроводных обвязок ГПА по шумовым характеристикам;
2) В методике расчета воздействия звука на персонал КС учитывать применение средств индивидуальной защиты для рабочих зон, где применение СИЗ обусловлено регламентом проведения работ;
3) Для всех типов звукоизолирующих покрытий ТПО должны быть получены акустические характеристики, подтвержденные результатами промышленных испытаний;

4) Решение о применении звукоизолирующих покрытий ТПО должно базироваться на акустических характеристиках покрытий и оценке требуемого снижения звука, выполненной с учетом применения СИЗ персоналом КС.

Использованные источники

1. ГОСТ 12.1.050-86 Система стандартов безопасности труда. Методы измерения шума на рабочих местах.
2. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
4. Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса, критерии и классификация условий труда.
5. Т.Т.Алиев, К.Ю.Греков, С.Ф.Жданов, Д.С.Бутусов, Л.И.Соколинский Новые экспериментальные исследования динамических процессов в оборудовании «высокой стороны» КС. Материалы Семнадцатой Международной встречи «Диагностика-2007», т. 2, стр. 153-162. ООО «ИРЦ Газпром», М.2008.
6. СТО Газпром 2-2.1-127-2007 Регламент проведения акустического расчета на стадии проектирования компрессорных станций, дожимных компрессорных станций, компрессорных станций подземных хранилищ газа. ООО «ИРЦ Газпром», М. 2007 г.
7. СТО Газпром 2-2.1-264-2008 Типовая методика расчета шумозащитных конструкций газотранспортного оборудования для условий Крайнего Севера. ООО «Газпром экспо», М. 2009 г.
8. ГОСТ Р ИСО 15665-2007 Руководство по акустической изоляции труб и арматуры трубопроводов.
9. ГОСТ Р 12.4.212-99 Средства защиты органа слуха. Противошумы. Оценка результирующего значения А-корректированных уровней звукового давления при использовании средств индивидуальной защиты от шума.
10. СТО Газпром 2-3.5-043-2005 Защита от шума технологического оборудования ОАО «Газпром».