II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием

«Защита населения от повышенного шумового воздействия»

17-19 марта 2009 г.
Санкт-Петербург

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

Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Россия, Санкт-Петербург, 17-19 марта 2009 г.) / под ред. Н.И. Иванова – Санкт-Петербург : Изд-во ИННОВА, 2014. – 660 с. ISBN 978-5-9906108-3-5.

Материалы конференции посвящены актуальным проблемам в области борьбы с шумом, связанным с отсутствием унификации расчетных методик в области шума, Федерального закона о шуме, слабости экономического механизма борьбы с шумом, несовершенством механизма контроля шума в городах, росту числа жалоб на шум и др. Участники конференции обсуждают много нового на пленарных и секционных заседаниях, на заседании круглого стола и семинарах. В конференции приняло участие около 200 человек из более чем 20 городов Российской Федерации, а также гости из Германии, Италии, Дании, Финляндии, Украины, Белоруссии. В сборник трудов конференции включено 82 доклада, которые были заслушаны участниками конференции на 3-х пленарных и 2-х секционных заседаниях. Материалы конференции будут полезны ученым, инженерам, аспирантам, студентам, занимающимся проблемами борьбы с шумом.

Организаторы конференции: Комитет по благоустройству и дорожному хозяйству правительства Санкт-Петербурга; Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности правительства Санкт-Петербурга; Управление федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Санкт-Петербург; ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург»; Международный институт звука и вибрации, США; научно-исследовательский институт строительной физики г. Москва; Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова; научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры, Санкт-Петербург; фирма «Интеграл», Санкт-Петербург.

ISBN 978-5-9906108-3-5
9 785990 610835

ISBN 978-5-9906108-3-5 © БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, ИННОВА, 2014

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

КОМИТЕТ ПО БЛАГОУСТРОЙСТВУ И ДОРОЖНОМУ ХОЗЯЙСТВУ ПРАВИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

КОМИТЕТ ПО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЮ, ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРАВИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

УПРАВЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ЗАЩИТЫ ПРАВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ГОРОДУ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

ФГУЗ «ЦЕНТР ГИГИЕНЫ И ЭПИДЕМИОЛОГИИ В ГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ ЗВУКА И ВИБРАЦИИ, США

НАУЧНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ Г. МОСКВА

БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ВОЕНМЕХ» ИМ. Д.Ф. УСТИНОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ И ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Фирма «ИНТЕГРАЛ», САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

«RUUKKI» г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

194292, Россия, г. С-Петербург
ул. Домостроительная, 16,
3-ий этаж
Промзона "Парнас"
Тел.: +7 (812) 346 69-69
Факс: +7 (812) 346 69-49
www.ruukki.com/ru

ООО «МАШПРИБОРТОРГ» г. МОСКВА

ООО «МАШПРИБОРТОРГ»
Россия, 105318, г. Москва,
ул. Ткацкая, 19
Тел.: +7 495 796 02 21
Факс: +7 495 644 33 03
info@mptorg.ru
www.mptorg.ru

ООО «ТРАНСБАРЬЕР» г. МОСКВА

Россия, 107497, г. Москва,
ул. Бирюсинка, 4
Тел/факс: (495) 462-35-64;
(495) 462-35-61
e-mail: tb@transbarier.ru
www.transbarier.ru

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ 8
ПРОБЛЕМА СНИЖЕНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ ПОЕЗДОВ
Иванов Н.И., Прокудин И.В., Дариенко И.Н., Куклин Д.А., Буторина М.В., Тюрина Н.В. .. 9
ПРОБЛЕМА СНИЖЕНИЯ ШУМА, ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕГО НА НАСЕЛЕНИЕ
Буторина М.В., Иванов Н.И., Минина Н.Н. 36
ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОВЫШЕННОГО ШУМА
Цукерников И.Е. 67
ACTIONS PLANS FOR URBAN NOISE REDUCTION AND CONTROL IN EUROPE
Sergio Luzzi 76
NOISE MONITORING IN CITIES: SOME EXPERIENCES
Andrea Cerniglia 87
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА
АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И ПОЕЗДОВ
Иванов Н.И., Куклин Д.А., Тюрина Н.В. 96
ШУМОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ – ЭЛЕМЕНТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
Поспелов П.И., Строков Д.М., Щит Б.А. 112
КОНЦЕПЦИЯ И РАЗРАБОТКА КАРТ ШУМА ГОРОДОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
Буторина М.В. 117
ЗАЩИТА ГОРОДОВ ОТ ШУМА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ
Терехов А.Л., Теребнев А.В., Емельянов О.Н. 141
МОНИТОРИНГ АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ
Васильев А.В. 148
ИСПЫТАННЫЕ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ЖИЛЫЕ КОМПЛЕКСЫ С ШУМОЗАЩИТНОЙ ФУНКЦИЕЙ. РЕАБИЛИТАЦИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ПО ШУМОВОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ. ПЛАНЫ ДОСТИЖЕНИЯ
Кочнев А.П. 160
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ САНИТАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
Куриленко Ю.В. 180
ОПЫТ СНИЖЕНИЯ ШУМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
Тупов В.Б. 190
НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КОМИССИИ
Галевко Ю.В., Щепкин А.И., Фесина М.И. 200
ПРИМЕНЕНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ
Грибов С.А., Рощина Н.В. 206
ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ МАЛЫХ ОБЪЕМОВ
Кришневский Б.А., Ягнятинский А.Л. 210
ОПЫТ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ, ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ
Изак Г.Д. 214
ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕГКИХ ОБЛИЦОВОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОДВЕСНЫХ ПОТОЛКОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПРОНИКАЮЩИХ ШУМОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ
Боганик А.Г. 224

КЛАПАН КИВ-125: ЭФФЕКТИВНОЕ СНИЖЕНИЕ УЛИЧНОГО ШУМА В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ
Киритёнок А.Ю. 229
О ВОЗМОЖНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ШУМА КОЛЕСНЫХ ПАР РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА
Колыхалин В.М., Давыдов В.В. 231
ТЕХНОЛОГИЯ И СИСТЕМА АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ШУМОВ В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
Гладилин А.В., Догадов А.А., Канев Н.Г., Миронов М.А. 238
АКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГВ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ШУМОВЫХ АНОМАЛИЙ
Явленский А.К., Белоусов А.А., Рогозинский Г.Г., Волков А.С. 239
МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ИСТОЧНИКЕ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ
Мурзинов В.Л. 245
СНИЖЕНИЕ ШУМА ПНЕВМОКОНВЕЙЕРА ПРИМЕНЕНИЕМ ЗВУКОПОДАВЛЯЮЩЕЙ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПАНЕЛИ
Асминин В.Ф., Мурзинов П.В. 251
ГРОМКОСТЬ И ВРЕДНОСТЬ ШУМА
Денисов Э.И., Степанян И.В. 257
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ЗАВОДА "АРКТОС"ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПОВЫШЕННОГО ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
Вельбель А.М., Щеглов А.В. 264
СИНТЕЗ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
Щевьев Ю.П. 267
АКУСТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА
Субботина Т.О., Бурак В.Е. 269
МЕТОД РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА
Комкин А.И. 275
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ВЕНТИЛЯТОРАХ И НАСОСАХ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ И СНИЖЕНИЯ ШУМА
Тимушев С.Ф., Соколов К.А. 278
ВЕКТОРНЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ – НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ
Кобяков И.Б. 283
УЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В РАСЧЕТАХ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ
Заплетников И.Н., Жидков Ю.В., Севаторова И.С. 290
ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОВЫШЕННОГО ШУМА
Цукерников И.Е. 297
СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГОРОДСКОГО И АВИАЦИОННОГО ШУМА ФИРМЫ "СВАНТЕК"
Думинов С.В. 306
К ВОПРОСУ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАЗРАБОТКИ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ПО ШУМУ И ИНФРАЗВУКУ
Гагарин С.А. 313

СНИЖЕНИЕ ШУМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЫБРОСА ПАРА В АТМОСФЕРУ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ ТЭС МАЛОЙ ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
Чугунков Д.В. 318
СНИЖЕНИЕ ШУМА И БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ САМОЛЕТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ДВИГАТЕЛЯМИ СВЕРХБОЛЬШОЙ СТЕПЕНИ ДВУХКОНТУРНОСТИ
Бакланов В.С. 325
ИССЛЕДОВАНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ФОНА ШУМА
Баженов А.А., Дроздова Л.Ф., Кирпичников В.Ю. 331
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦЫ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ МАЛОШУМНОГО ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ
Кирпичников В.Ю., Дроздова Л.Ф., Яковлева Е.В. 338
ТРАНСПОРТНЫЙ ШУМ КАК ОДНА ИЗ АКТУАЛЬНЫХ ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ
Рымарь А.И. 344
АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ШУМУ НА ПРИМЕРЕ КУРГАНСКОЙ ТЭЦ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ УЛУЧШЕНИЮ
Яхонтов В.И. 350
ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ШУМОВОЙ НАГРУЗКОЙ НА ОАО «КУРГАНМАШЗАВОД»
Яхонтов В.И. 354
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ VIMOS
Волковас В.В., Гульбинас Р.Ю. 357
ВОЛНОВАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕМА НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПЕРЕДВИЖНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ АВТОТРАНСПОРТА
Неганов С.Ю., Колыхалин В.М. 363
ОЦЕНКА ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ СТАДИОНОВ НА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
Кирюшина Н.К., Пузакова А.И., Степанов В.Н. 367
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ШУМОЗАЩИТЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ В ГОРОДЕ МОСКВЕ
Кирюшина Н.К., Пузакова А.И., Степанов В.Н. 372
ЭКСПЕРТИЗА РАСЧЕТОВ ШУМА ОТ ВНЕШНИХ БЛОКОВ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ
Клименкова О.И., Калашникова Н.К., Гончаренко И.А. 382
ОПЫТ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ
Харитонов В.В., Строканов В.Н., Вивич Ю.В. 388
АКУСТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СЕРИИ «ЭКОЛОГ»
Лайхтман В.И., Чигалейчик С.А., Сухарев М.В., Честнов К.О. 390
ВИБРАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
Дуля А.А. 394
К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИАЭРОДРОМНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
Сухорукова И.А. 405
ШУМ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК, МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕГО СНИЖЕНИЮ И НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
Кац И.Г., Веретина И.А., Калашникова Н.К., Руднева Е.А., Гончаренко И.А. 410
ОШИБКИ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА С ИСТОЧНИКАМИ ШУМА
Калашникова Н.К., РудневаЕ.А., Клименкова О.И., Гончаренко И.А., Понофедин И.А. 424
АНАЛИЗ ШУМА ПЕЧАТНЫХ МАШИН
Токолов А.Н., Цукерников И.Е. 430

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ
Цаплев В.М. 435
ВОЗДЕЙСТВИЕ ШУМА ВЫХЛОПА ГТУ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
Семин С.А., Тупов В.Б. 441
ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ ШУМА НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
Олейников А.Ю. 447
ОСОБЕННОСТИ СПЕЦИАЛЬНОГО ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ АКУСТИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ
Пименов И.К., Смолевский В.М. 456
ПРИМЕР АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЯ
Гладилин А.В., Канев Н.Г., Миронов М.А. 461
ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ЗВУКА, СОЗДАВАЕМЫХ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ, НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Марков С.Б. , Пшенин В.Н. , Пименов И.К. 467
УТОЧНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ УРОВНЕЙ ЗВУКА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА МНОГОПОЛОСНЫХ АВТОМАГИСТРАЛЯХ
ПРИБЛИЖЁННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЁТА АЭРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ВЫХЛОПА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
Ерофеев В.К., Генкин П.Г., Григорьев В.В., Петров С.К. 482
ПРИБЛИЖЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКРЕТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ
Ерофеев В.К., Генкин П.Г., Колосов В.М.. 491
СНИЖЕНИЕ ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ПОРТОВ
Соловей Н.А. 500
ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В АВИАЦИИ И ПУТИ ИХ СНИЖЕНИЯ
Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Пирожков М.В. 508
ИЗМЕРЕНИЯ ШУМА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК
Минина Н.Н. 510
ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА ВЫПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
Иванов Н.И., Петров С.К., Толоконников И.С. 516
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО ШУМА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ
Петров С.К., Толоконников И.С. 523
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ КАПОТОВ
Дроздова Л.Ф., Кудаев А.В. 529
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМА ПОЕЗДОВ
Буторина М.В., Иванов Н.И., Куклин Д.А. 536
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕР
ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА ПОЕЗДОВ
Куклин Д.А. 553
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Куклин Д.А. 562
РАЗРАБОТКА КАРТЫ ШУМА УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ
Буторина М.В., Куклин Д.А. 580

РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОЙ ШУМНОСТИ В КАБИНАХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН
Иванов Н.И., Курцев Г.М., Шашурин А.Е. 586
ЗАВИСИМОСТЬ ШУМА В КАБИНАХ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН ОТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
Шашурин А.Е. 597
РАСЧЕТ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН С ШУМОВИБРОАКТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ НА ЖИЛУЮ ЗАСТРОЙКУ
Элькин Ю.И. 602
СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ. ЗАЩИТА ОТ ВОЗДУШНЫХ И СТРУКТУРНЫХ ШУМОВ ПРИ ПОМОЩИ МАТЕРИАЛОВ ТИПА ПЕТРОФОМ, ПЕНОТЕРМ, ПОЛИФОМ И ПР.
Степура В.А. 607
НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШУМОЗАЩИТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ ООО «РУУККИ» В ФИНЛЯНДИИ
Гуринович Г.Л., Куклин Д.А.,Тюрина Н.В. 615
ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНТРОЛЯ ШУМА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЕВРОПЕЙСКОМ СОЮЗЕ
Брааш Й. , Манвелл Д. , Романенко Г.А. 623
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ШУМОВОГО И ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЧЕЛОВЕКА
Некрасов И.А. 624
РАЗРАБОТКА КАРТ ШУМА ГОРОДОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
Кирюшина Н.К. Степанов В.Н., Пузакова А.И. 625
АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭРОДРОМНОЙ СНЕГОУБОРОЧНОЙ УСТАНОВКИ
Иголкин А.А. , Крючков А.Н. , Родионов Л.В. , Ефанов С.В. , Шахматов Е.В. 626
ШУМОВАЯ КАРТА РАЙОНА ГОРОДА НА ОСНОВЕ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
Сальникова Е.Н., Сальников Б.А., Казначеев С.В. 627
ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВИБРАЦИЙ И ШУМА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
Гужас Данелюс 628
ИНФРАЗВУК В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ
Алексеева И.А., Минина Н.Н. 639
РОЛЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АКУСТИКЕ
Ермаков А.Д. 646
ИНДЕКС АВТОРОВ 658

ПРЕДИСЛОВИЕ

Промежуток между первой и второй конференциями «Защита населения от повышенного шумового воздействия» составил ровно три года. За эти годы в области борьбы с шумом произошло много интересных и важных событий: Правительство Москвы приняло постановление «О концепции снижения шума и вибрации в г. Москве». В Санкт-Петербурге создана уникальная карта шума города, появилось много новых интересных исследований в области шумозащиты, в стране все более уверенно внедряется новое поколение шумозащитных конструкций – акустические экраны, появились новые программы расчета шума и пр. В то же время остается масса нерешенных проблем: отсутствует унификация расчетных методик в области шума, не принят Федеральный закон о шуме, не создан экономический механизм борьбы с шумом, несовершенен механизм контроля шума в городах, число жалоб на шум растет и многое другое. Участникам конференции предстоит услышать много нового и будет что обсудить на пленарных и секционных заседаниях, на заседании круглого стола и семинарах.

В конференции принимает участие около 200 человек из более чем 20 городов Российской Федерации. В конференции также участвуют гости из Германии, Италии, Дании Финляндии, Украины, Белоруссии. В сборник трудов конференции включено 82 доклада. Почти все доклады будут заслушаны участниками конференции на 3-х пленарных и 2-х секционных заседаниях.

Надеемся, что материалы сборника трудов конференции будут полезны ее участникам.

Н.И. Иванов
К.Б. Фридман

ПРОБЛЕМА СНИЖЕНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ ПОЕЗДОВ

Иванов Н.И.[1], *Прокудин И.В.*[2], *Дариенко И.Н.*,[3]
Куклин Д.А.[1], *Буторина М.В.*[1], *Тюрина Н.В.*[1]
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова (1)
Петербургский государственный университет путей сообщения (2)
ООО «Институт полимеров» (3)

1. Введение

Железнодорожный транспорт – один из основных источников шума и вибрации в жилой застройке, источник постоянных жалоб населения.

Шум поездов зависит от типа подвижного состава, интенсивности и скорости движения. Для примера, в таблице 1 приведены уровни шума в Московском и Санкт-Петербургском железнодорожных узлах.

Таблица 1

Эквивалентные уровни звука (УЗ) в железнодорожных узлах

Железнодорожные узлы городов	Эквивалентные УЗ, дБА	Превышения, дБА
Москва	71-82	16-27
Санкт-Петербург	71-76	16-21

Причины шумообразования можно понять из рис.1.

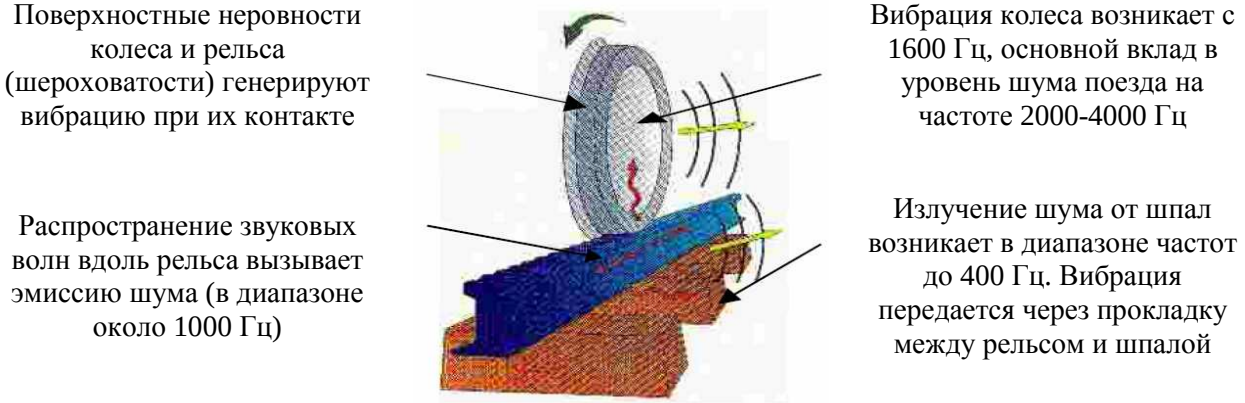


Рис. 1. Физический механизм возникновения шума качения

Основной источник шума - контакт колеса с рельсом, при этом около 30% звука излучается колесом, а менее 70%-рельсом и около 1-2% шпалами. При возникновении вибрации излучение происходит в следующих частотных диапазонах:

– колесо (1600-4000 Гц);
– рельс (свыше 1000 Гц);
– шпалы (до 400 Гц).

Скорость – основной параметр, влияющий на шум и вибрацию поездов. (рис. 2).

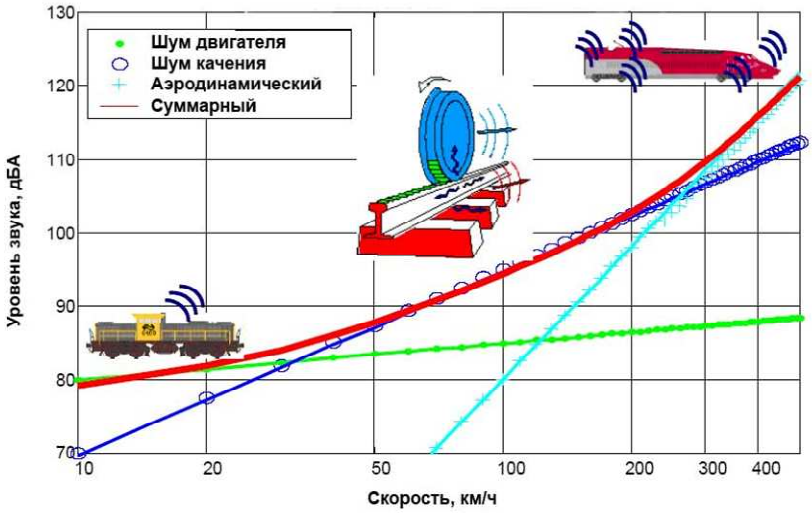


Рис. 2. Зависимость шума железнодорожного поезда от скорости

На скоростях до 50 км/ч превалирует шум двигателей и вспомогательных установок, в диапазоне от 50 до 200 км/ч – контакт колеса с рельсом, а при скоростях выше 200 км/ч начинает проявляться аэродинамический шум.

На шум поездов сказываются и др. факторы, которые перечислены в табл. 2.

Таблица 2

Факторы, влияющие на шум поезда

Источник	Диапазон частот, Гц	Величина, дБ	Высота источника, м
Скорость	63-500 1000-8000	5-10 15-20	0; 0,5; 2; 3; 4
Мосты	<2000	0-15	0
Визг на крутых поворотах	700-4000	0-30	0,5
Скрип тормозов	>10000	20-25	0,5
Ударный шум: плоскости колес	200-6000	0-15	0; 0,5
Ударный шум: стыки рельсов	200-6000	0-15	0; 0,5
Тип пути	-	+2-3 дБА	0
Демпфирование рельсов	<2000	0-6 дБА	0
Амортизаторы колес	2000-8000	0-3 дБА	0,5
Нагрузка на колеса	-	1-2 дБА	0,5
Температура воздуха	-	0,2 дБА	0; 0,5; 2; 3; 4

2. Пути снижения шума поездов.

Используя изложенную информацию в качестве общего представления о характере шума поездов, попытаемся оценить возможные пути решения этой проблемы. Эти пути имеют различные аспекты, но основные из них можно свести к следующим:

- технические нормы шума поездов;
- методы расчёта шума поездов при проектировании объектов транспортной структуры;
- применение методов и средств защиты от шума;
- организационно-технические меры.

3. Нормы шума подвижного состава

В РФ действуют нормы шума, воздействующего на население в окружающей среде [1] безотносительно к источникам шума и нормы вибрации [2] с очень слабой привязкой к источникам (табл. 3).

Таблица 3

Нормы шума и вибрации в РФ

Нормативный документ	**Допустимые значения, корректированные**	**Ориентировочное расстояние, норма, м**
СН. 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки	55 дБА	500
СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий	67 дБ (виброускорение)	100

В зарубежной практике широко используются технические нормы шума поездов [3-7].

На рис. 3 показаны технические нормы шума поездов, действующие в ЕС, в которых определена зависимость от скорости (растут с её увеличением) и типа поездов.

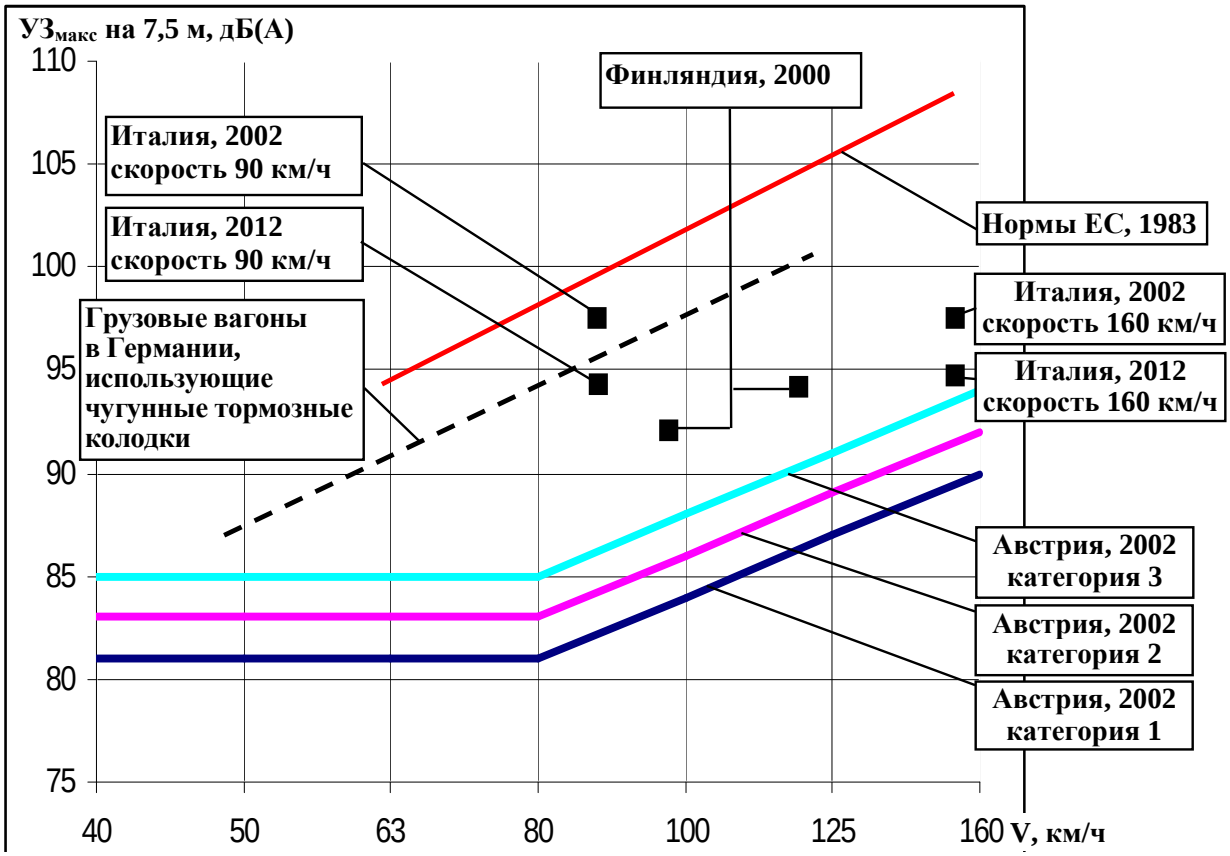


Рис. 3. Нормы шума ж.д. транспорта в странах ЕС
(зависимости предельно допустимых уровней шума (дБА) от скорости, км/час)

Наиболее унифицированные нормы шума поездов приняты в Германии [7]. В таблице 4 приведены специальные нормы для шума скоростных и грузовых поездов принятых в Германии. Эта информация, вместе с фактическими уровнями шума, представляет особый интерес для ОАО «РЖД», в связи с тем, что при переходе на высокоскоростное движение предполагается использовать и подвижной состав, производимый в Германии.

Таблица 4

Предписываемые технической спецификацией совместимости (TSI) в Германии предельные и фактические УЗ для высокоскоростного подвижного состава [7]

Скорость км/ч	Предельные значения УЗ, дБА на расстоянии 25м	Фактические УЗ, дБА
200	88*	–
250	89 (88**)	87-94
300	92 (91**)	91-95
320	94 (92**)	92-96

*Новый подвижной состав
**Модернизированный подвижной состав

Анализируя имеющиеся данные по нормам шума подвижного состава принятым в Германии, следует отметить следующее:

– наличие этих норм, безусловно, положительный момент для железных дорог Германии, нетрудно подсчитать, что, например, для грузовых поездов, норма шума в жилой застройке (59 дБА) [7] выполняется только на расстояниях нескольких сотен метров, а наличие специальных норм (84-87 дБА) позволяет эксплуатировать подвижной состав без нареканий со стороны контролирующих органов.

Очень важно, что специальные нормы были введены для высокоскоростного движения. По данным таблицы 4 фактические УЗ на расстоянии 25м при скоростях, например 300 км/ч могут достигать 91 дБА. Если представить движение этого подвижного состава по отечественным магистралям, то нетрудно подсчитать, что отечественные нормы для дневного времени (55 дБА) будут соблюдаться только на расстояниях свыше 1000м.

Из этого следуют два вывода: одновременно с введением в эксплуатацию сверхскоростных поездов необходимо разработать и принять соответствующие нормы шума, а также необходимо разрабатывать и осуществлять специальную шумозащиту для населения, проживающего вблизи железной дороги и эти меры необходимо реализовывать совместно. Даже при введении норм на 10-15 дБА менее жестких, чем действующие сегодня, санитарно-защитная зона по приведенному выше примеру будет продолжать оставаться в районе нескольких сот метров.

4. Методики расчётов шума поездов

Были выполнены расчёты шума поездов по различным методикам в сравнении с экспериментами (рис. 4). Как показывает анализ, результаты по разным методикам отличаются более чем на 10 дБА. Разница между экспериментами и отечественной методикой достигает более 6 дБА, т.е. необходимо создание новой отечественной расчётной методики шума поездов.

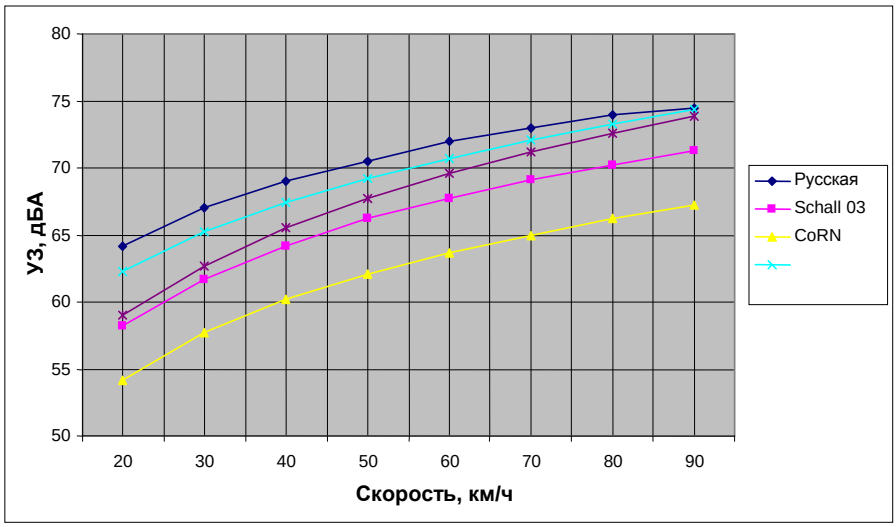


Рис. 4. Сравнение расчетных шумовых характеристик

5. Снижение шума и вибрации поездов

Классификация средств и методов защиты от шума поездов приведена на рис. 5.

Рис. 5. Классификация средств и методов снижения вибрации на железнодорожном транспорте

Из наиболее технически реализуемых следует отметить две меры:

1. шлифовка рельсов (пример шумоглушения показан на рис 6.

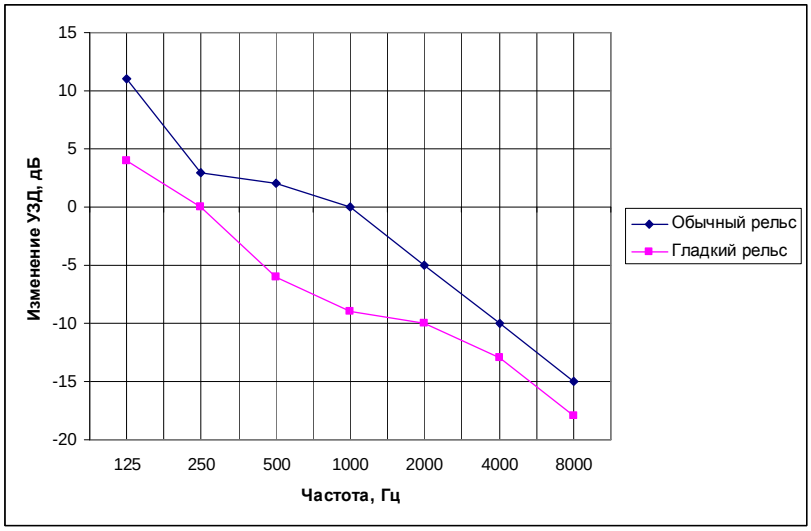
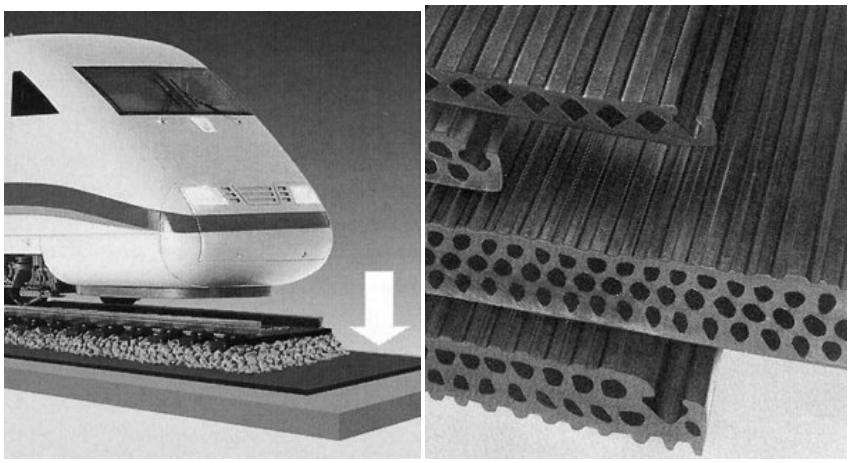


Рис. 6. Влияние шероховатости рельсов на шум поезда

Эффект от этой меры значителен и может достигать более 10 дБА.

На рис. 7 и 8 показаны шумогасящие маты, укладываемые между рельсами. На рис. 9 показано, что эффект достигает 5-15 дБ, что требует дополнительной проверки.



а *б*

Рис. 7. Шумогасящие маты, укладываемые
под балласт пути магистральных линий:
а – схема укладки; *б* – конструкция матов

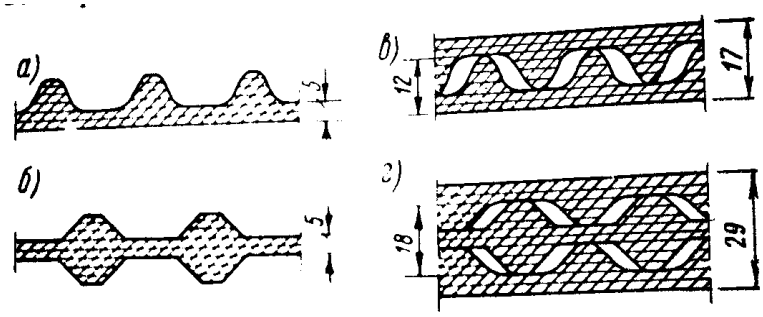


Рис. 8 Профили материала изолиф:
а – изолиф 1; *б* – изолиф 2; *в* – двухслойный; *г* – трехслойный;

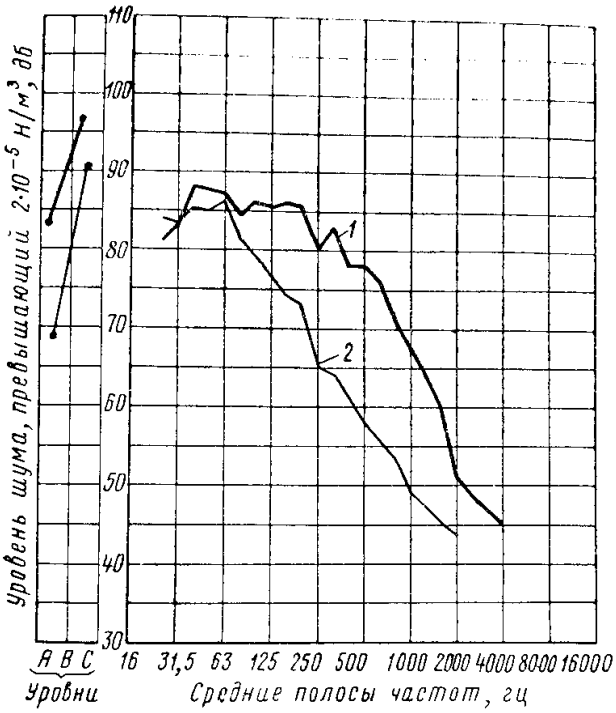


Рис. 9. Измерение уровней шума в Жювиси, проследование поезда со скоростью 60 км/ч, точка А (амплитудные значения):
1 – обычный балласт, первоначальное состояние; *2* – предлагаемая система

Специально выполненное звукоизолирующее остекление даёт надёжный и документально подтверждённый эффект 10 дБА, что немало, но для многих практических случаев влияния шума поездов на жилую застройку является недостаточным.

В практике шумозащиты наиболее эффективными и распространёнными мерами являются те, что применяются на пути распространения:

– насыпи и выемки;
– акустические экраны;
– зелёные насаждения;
– защита расстоянием.

Имеющиеся в литературе сведения об этих конструкциях настолько противоречивы, что они требуют специального изучения.

Классификация средств и методов защиты от вибрации показана на рис 10. Наибольший интерес представляют такие конструкции и меры виброзащиты как:

– затухание вибрации с расстоянием;
– применение элементов виброзащиты в верхнем строении пути.

Все перечисленные меры и методы шумо- виброзащиты были исследованы. Исследования проводились по заданию ОАО «РЖД» на выделенном участке Любань-Мстинский мост на главном ходу Октябрьской железной дороги. Исследования проводились для всех типов поездов по специально разработанной методике.

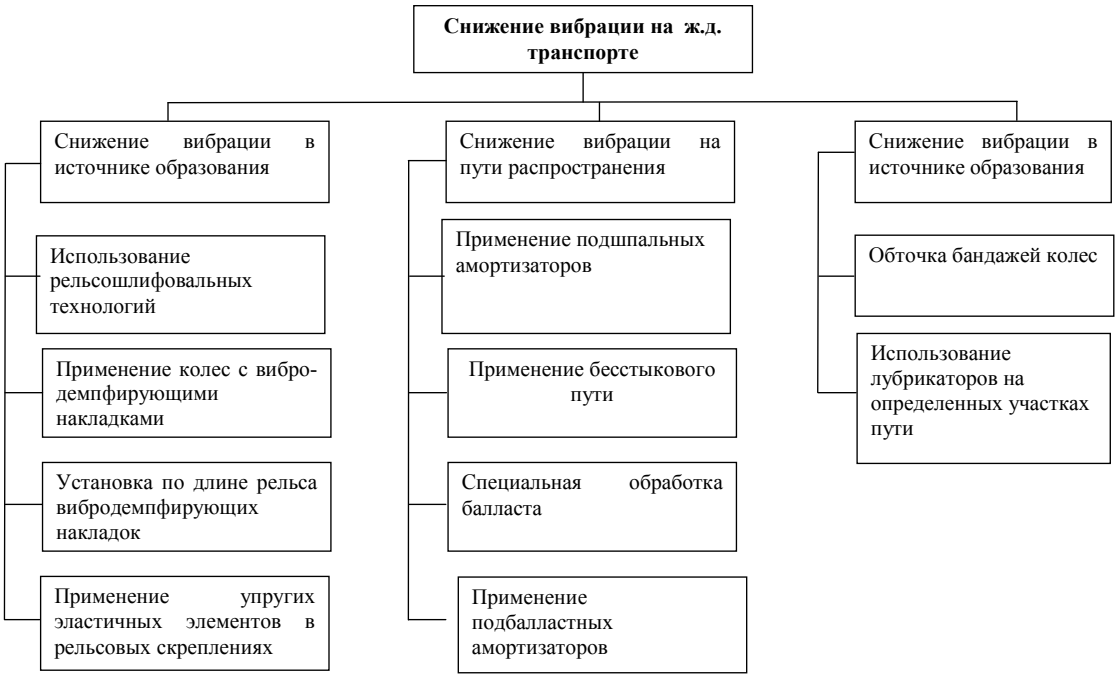


Рис. 10. Классификация средств и методов снижения вибрации на железнодорожном транспорте

6. Исследование вибрации

Для проверки отклонений от существующих в России норм были проведены полевые исследования по определению фактических величин виброускорения на удалении от оси пути в поперечном направлении по поверхности земли и на фундаменте и стене близлежащего здания при движении разных типов железнодорожных составов.

Измерения виброускорений на поверхности земли показали, что с удалением от оси пути, амплитуда вибраций для одной и той же частоты уменьшается (рис. 11). Разброс полученных экспериментальных данных при этом существенен и связан с ударным воздействием пары колесо-рельс для конкретных типов составов, особенно это характерно для крестовины стрелочного перевода. Однако следует отметить, что в пределах 20 м зоны от оси пути уровень виброускорения, зафиксированный на поверхности земли при прохождении всех типов составов по пути на выемке находится в пределах частот 2- 16 Гц в допуске санитарных норм. В районе крестовины стрелочного перевода этот диапазон частот сужается до 2-4 Гц.

Зафиксированные уровни виброускорений показывают, что при расположении зданий и сооружений на расстоянии до 20 м от оси пути они в момент прохождения железнодорожных составов испытывают воздействие вибрации в диапазоне частот от 2 до 63 Гц, и для ограждающих конструкций помещений зданий, расположенных в этой зоне необходимо данный факт надо учитывать.

В глубине земляного полотна при удалении от оси пути в поперечном направлении происходит также существенное гашение вибрации.

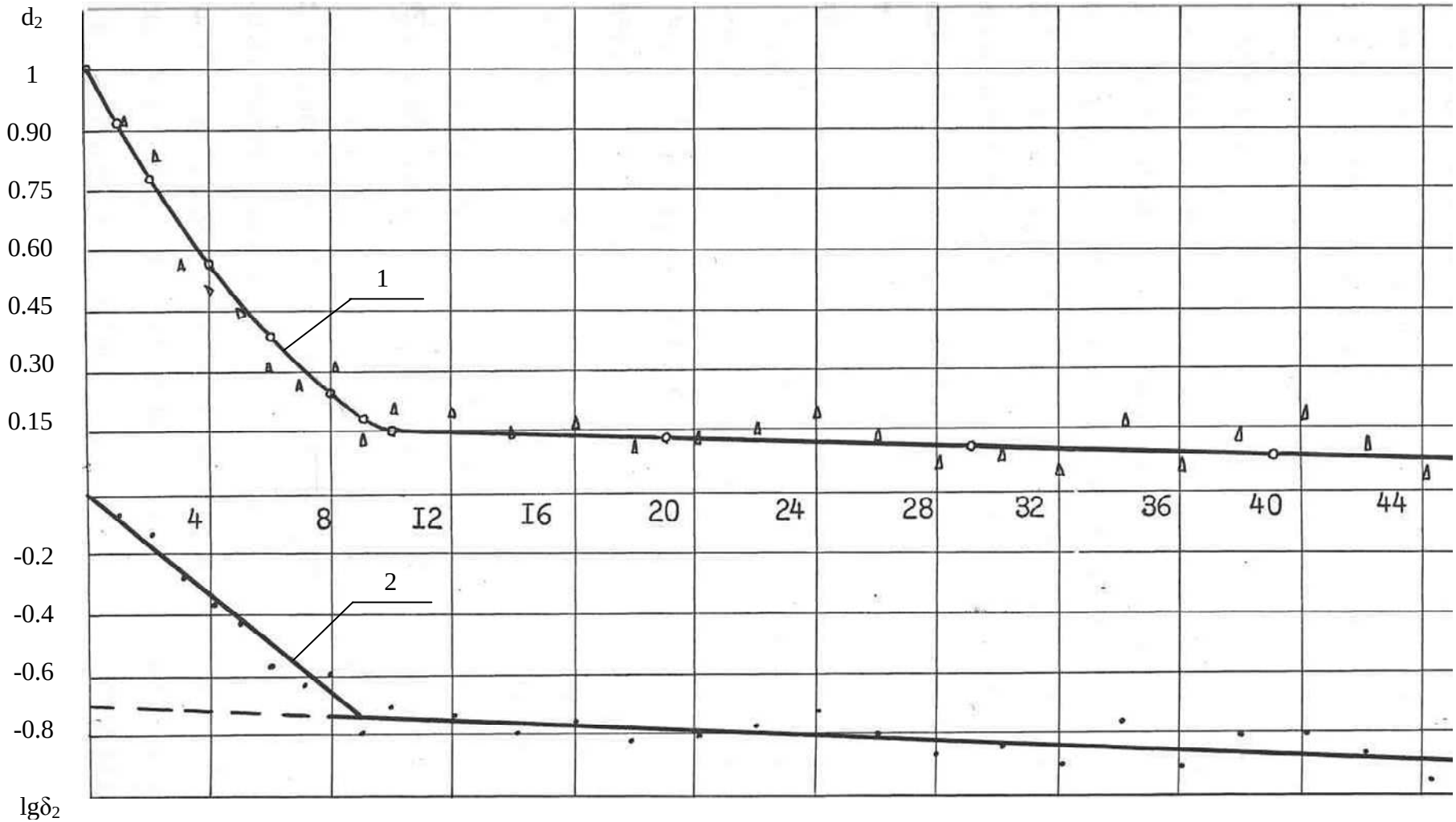


Рис. 11. Загасание колебаний в горизонтальном направлении перегон Бабино-Трубниково
(1 – обобщенная зависимость затухания колебаний при удалении от оси пути в поперечном направлении;
2 – обобщенная зависимость затухания колебаний при удалении от оси пути в поперечном направлении в полулогарифмических координатах)

7. Исследование снижения шума с расстоянием: влияние рельефа и зелёных насаждений.

При исследованиях снижения шума с увеличением расстояния было установлено:

– снижение шума зависит от типа поезда (табл. 5);

Таблица 5

Тип поезда	Снижение УЗ, дБА, на расстоянии, м			
	7,5	25	50	100
теоретические зависимости	0	–5,0	–8,0	–11
товарные (эксперимент)	0	–4,5	–9,0	–11,5
скоростные (эксперимент)	0	–5,0	–10,5	–14,0
электропоезда (эксперимент)	0	–7,0	–11,0	–15,5
пассажирские (эксперимент)	0	–4,5	–9,5	–13,0

– процесс снижения шума с расстоянием носит сложный характер, обусловленный несколькими физическими характеристиками (рис. 12).

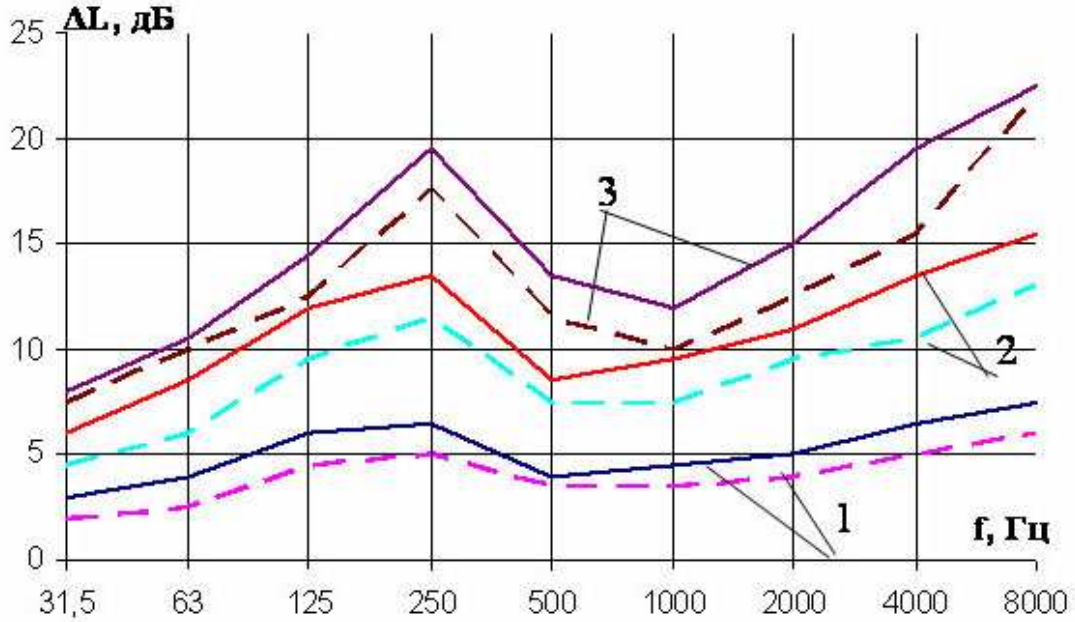


Рис. 12. Последовательное снижение УЗД на ровном участке (на примере скоростных и товарных поездов): 1-25м, 2-50м, 3-100м (линии – скоростные; пунктиром – товарные)

Эти особенности не учитываются в существующих методиках расчёта шума поездов, что приводит к погрешностям при расчётах.

На рис. 13 показаны процессы при прохождении поезда по насыпи.

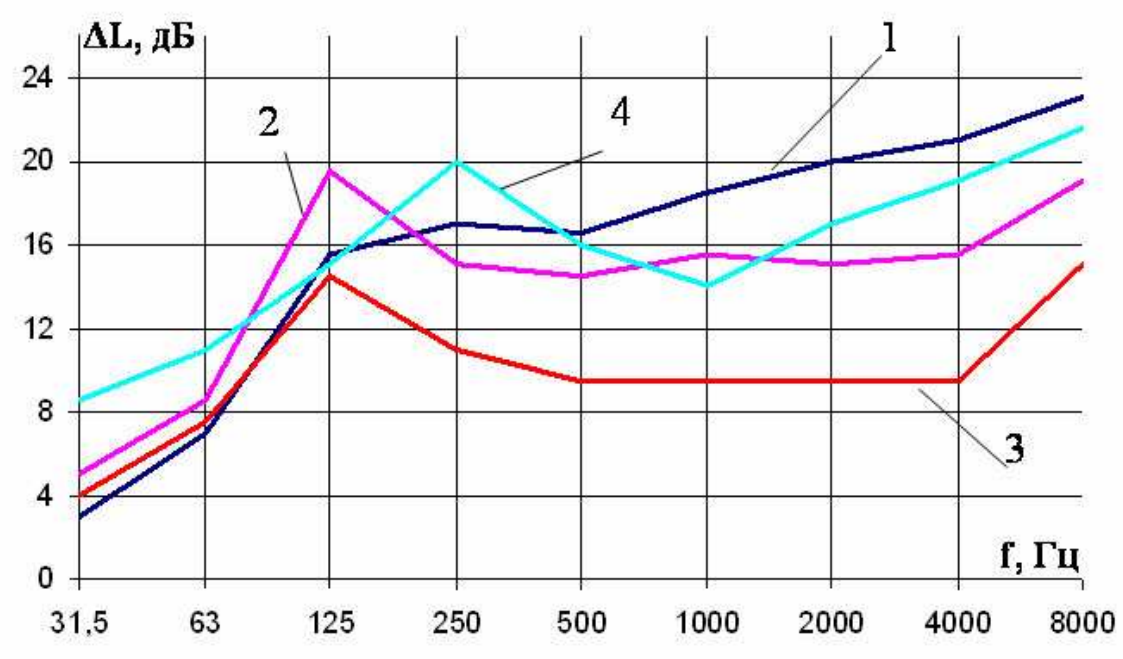


Рис. 13. Последовательное снижение (увеличение) УЗД при прохождении электропоезда по насыпи: 1 – 25м; 2 – 50м; 3 – 100м; для сравнения 4 - снижение УЗД от электропоезда на плоском участке

При прохождении поездов по насыпи кроме геометрического расширения фронта звуковой волны, действуют два противоположных механизма: создание верхней плоскостью выемки 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 нулевым местом) оказывается 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, последнее составляет для разных поездов 11,5–15 дБА. Насыпь увеличивает 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. 14 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.

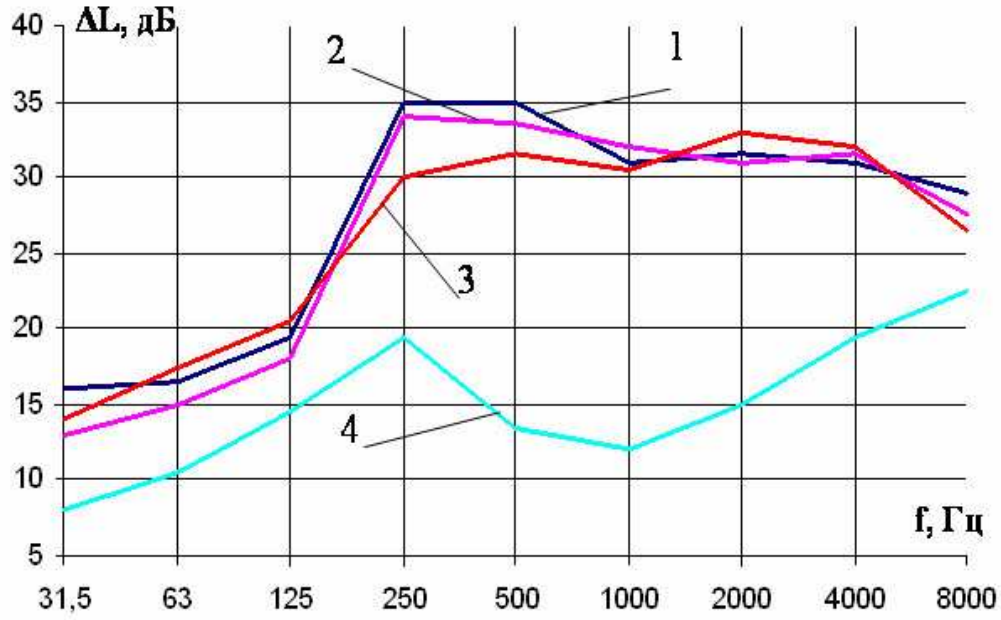


Рис. 14. Суммарное снижение УЗД, дБ, выемкой (с зелеными насаждениями) при увеличении расстояния от 7,5 до 100 м:
1 – электропоезда; 2 – пассажирские; 3 – скоростные; для сравнения: 4 – снижение УЗД на ровном участке при следовании скоростных поездов

На рис. 15 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.

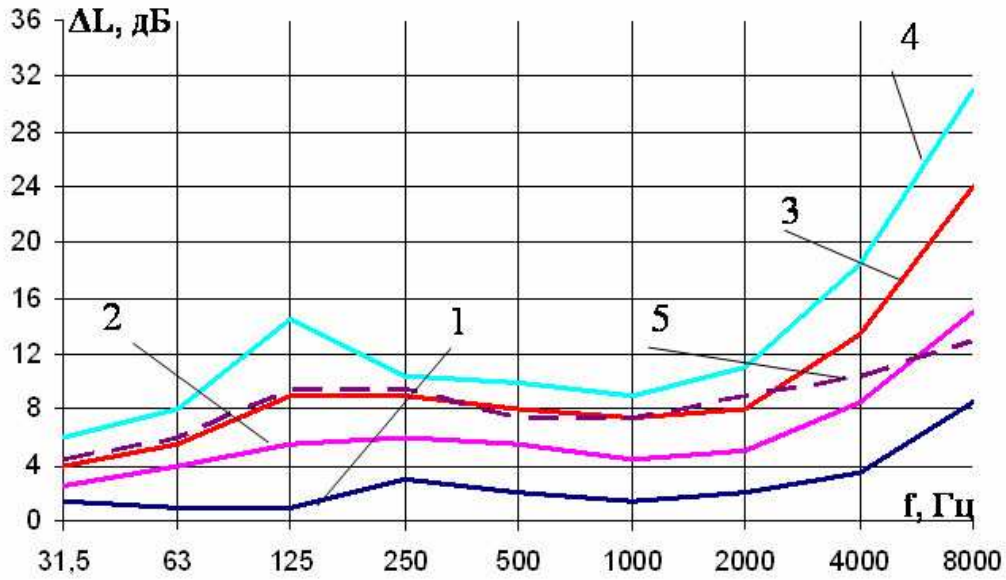


Рис. 15. Последовательное снижение УЗД в лесу с густым подлеском на примере товарных составов на расстояниях: 1 – 7,5м; 2 – 15м; 3 – 25м; 4 – 50м; для сравнения 5 – снижение УЗД на нулевом месте

8. Исследование акустических экранов (АЭ)

В практике применяются АЭ различных конструкций, изготовленные из различных материалов. Для испытаний были выбраны металлические и бетонные АЭ, установленные на станциях Чудово и Малая Вишера. Бетонный АЭ длиной 800 м и высотой 3,5 м установлен на расстоянии 5 м от оси ближнего пути (рис. 16). Металлический АЭ длиной 480 м, высотой 2,5 м, такое же расстояние (рис.17). Сравнительная эффективность АЭ показана на рис. 18. Металлический АЭ менее эффективен, что объясняется ошибками при его установке (наличие щелей между фундаментом и нижней частью АЭ). На рис. 19 показана сравнительная эффективность двух металлических АЭ: при правильно спроектированных и установленных металлических АЭ их эффективность достигает 8-16 дБ в средне- высокочастотном диапазонах, металлические АЭ эффективнее бетонных.

Рис. 16. Общий вид бетонного экрана

Рис. 17. Общий вид металлического экрана

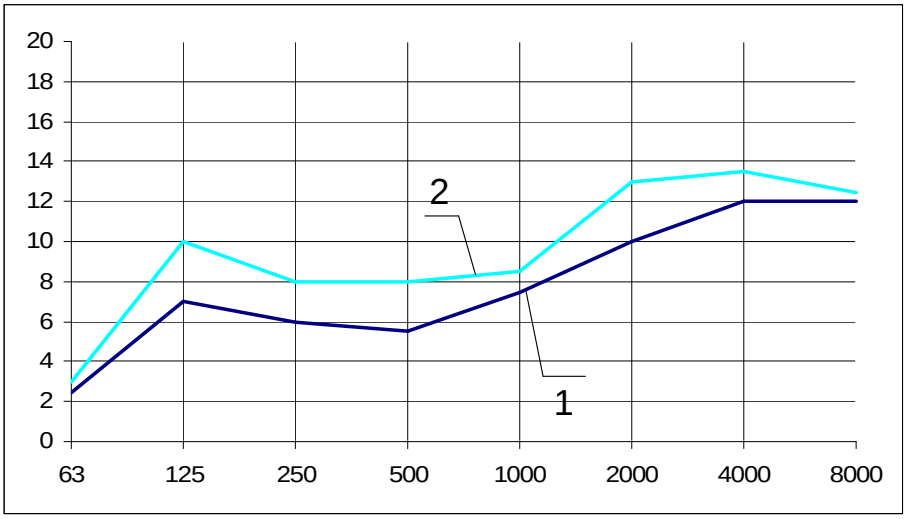


Рис. 18. Сравнительная эффективность металлического (1) и бетонного (2) экранов измеренная в точке на расстоянии 50 м от АЭ (I путь) Чудово

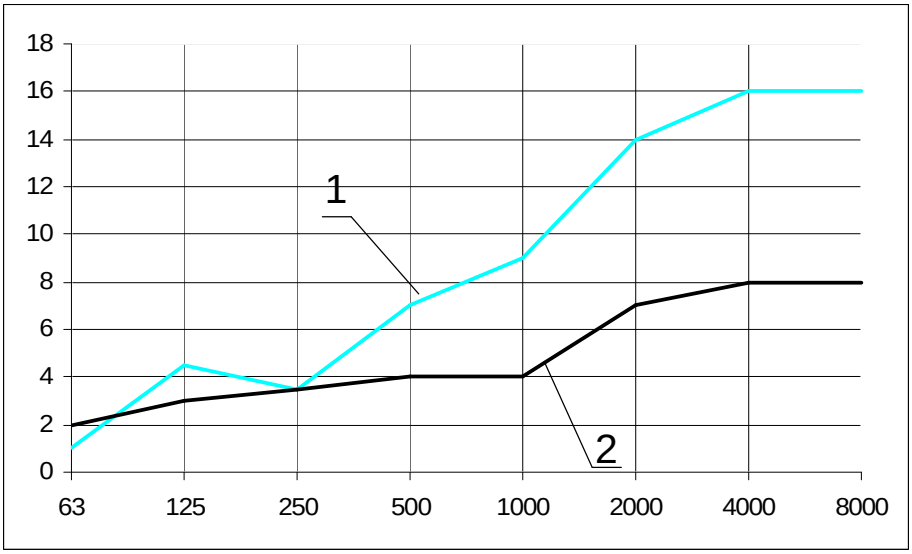


Рис. 19. Сравнительная эффективность АЭ на расстоянии 50 м (поезда по ближнему пути):
1 – на станции Mantsala (Финляндия);
2 – на станции Чудово, Октябрьской ж.д.

Применение АЭ на ж.д. транспорте имеет свою специфику.

Все расчеты АЭ ведутся в предположении, что поезд проходит по I пути.

Это во многих практических случаях ведет к серьезной ошибке; для АЭ установленных на станциях эффективность АЭ снижается на 5-8 дБА, т.е. именно на такую величину могут быть превышены нормативы шума в прилегающей застройке.

Эта особенность должна быть учтена в нормативах.

Сравнительный анализ эффективности испытанных конструкций показал, что АЭ являются основным средством защиты от шума в окружающей среды на ж.д. транспорте, а к дополнительным средствам можно отнести звукоизоли-

рующее остекление, вибродемпфирующие накладки на рельс, зеленые насаждения, установка в зонах, где имеется интенсивная жилая застройка дополнительных шумогасящих элементов (плиты из вспененного бетона, специально устроенные канавы). Применением сочетаний этих средств в любых случаях можно добиваться снижения шума от подвижного состава железнодорожного транспорта до нормы.Для решения проблемы снижения шума при высокоскоростном движении в настоящее время разработана новая конструкция металлического АЭ (рис. 20), свободная от выявленных недостатков и удовлетворяющая требованиям - большая эффективность, удобство при монтаже, надежность креплений, стойкость к дополнительным аэродинамическим воздействиям и т.д.

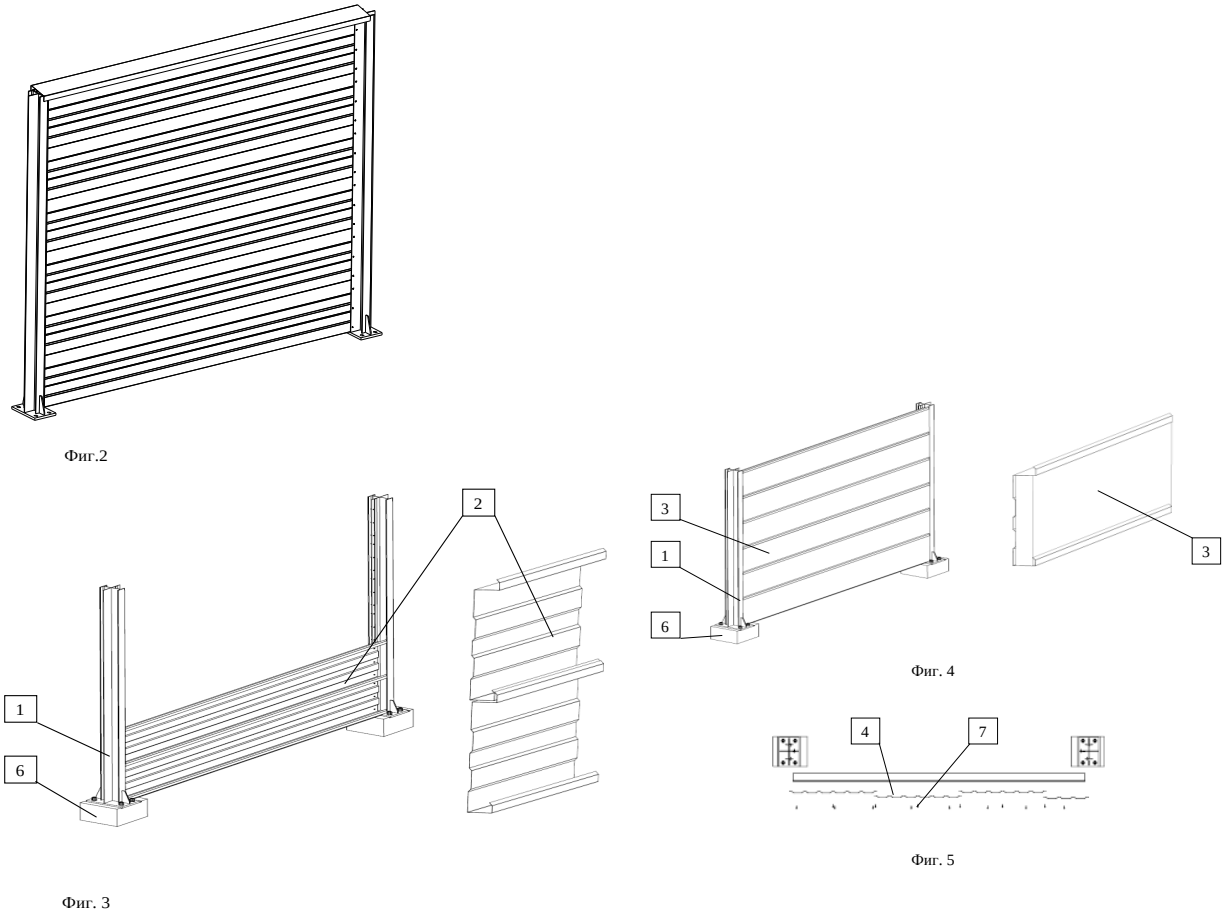


Рис. 20. Общий вид разработанного экрана
1 – опорные стойки, 2 – П-образных профили, 3 – шумозащитный наполнитель
4 – перфорированные профилированные металлические листы, 5 – металлический козырёк, 6 – точечный фундамент

По данной работе поданы 4 заявки на изобретение и полезную модель.

9. Исследование вибродемпфирующих вкладышей на рельсы

На рис. 21 показан вид резиновых вкладышей – вибродемпфирующих накладок на рельс, а на рис. 22 результаты стендовых испытаний. Испытания показали, что эффект зависит от твёрдости резины; при использовании твёрдой резины получено снижение УЗД на 2-5 дБ в высокочастотном диапазоне. Механизм действия жёсткого вкладыша состоит в поглощении вибрационной энергии при изгибных колебаниях рельса.

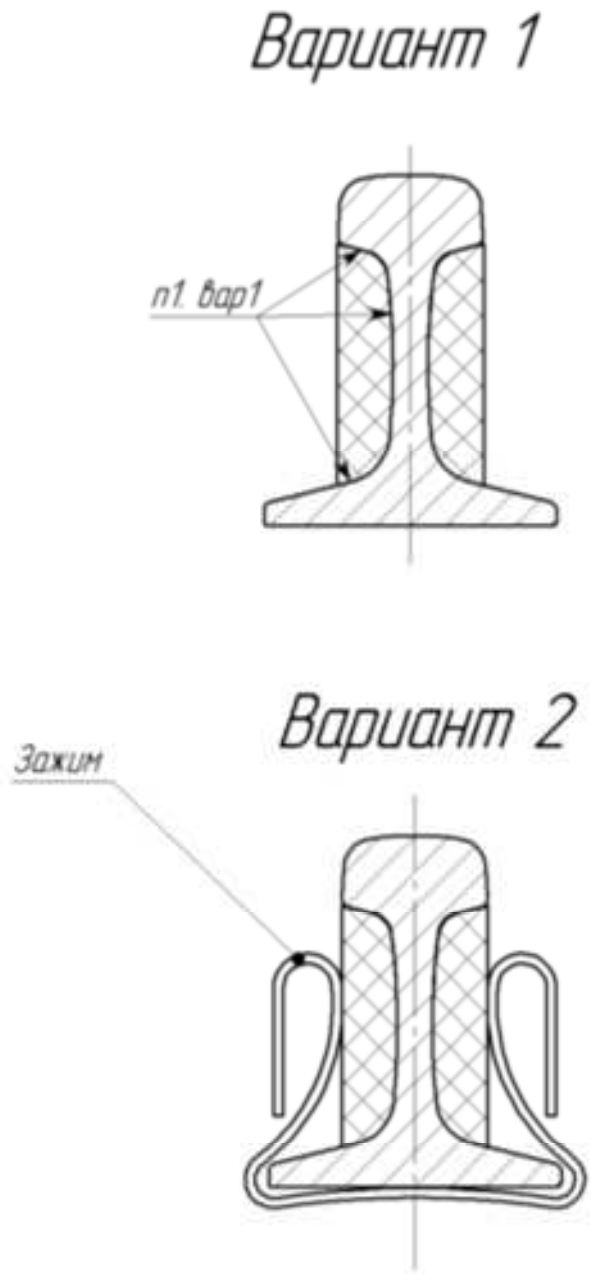


Рис. 21. Вибродемпфирующие накладки на рельс

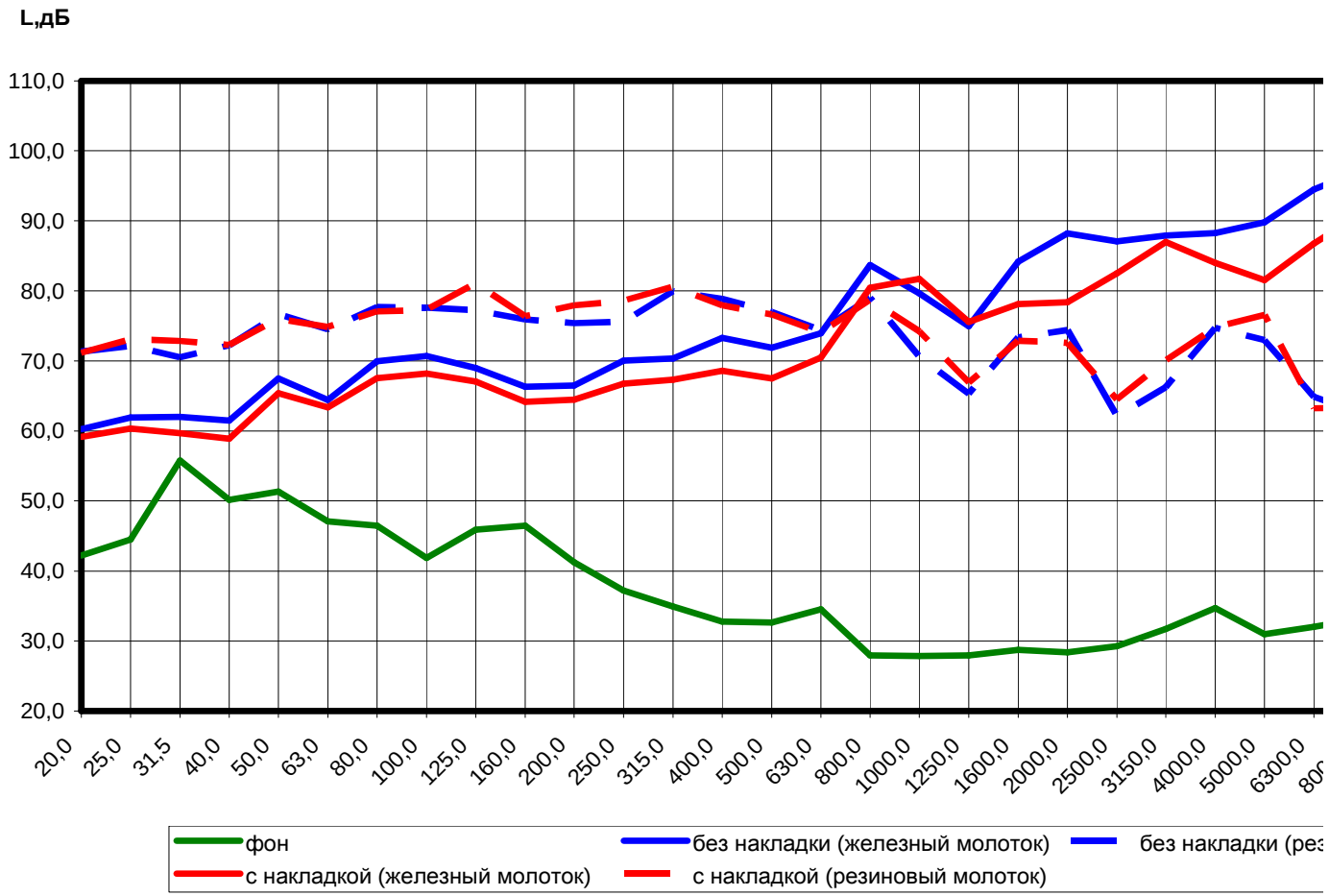


Рис. 22. Снижение УЗД рельса при применении накладки из жесткой резины

10. Разработка карты шума участка железной дороги

Основная цель при разработке карты шума – определение шума по всей территории, прилегающей к железной дороге у каждого строения. Отечественных программ, позволяющих это осуществить, не существует. Поэтому впервые в нашей стране для построения карты была использована известная во всем мире немецко-американская программа «SoundPLAN», специально адаптированная разработчиками под отечественную нормативно-техническую базу.

Программный продукт SoundPLAN 6.4 предназначается для построения карт шумового загрязнения воздушной среды и проектирования средств защиты от шума. Программный пакет работает под Windows 98/NT/XP и включает двух- и трехмерную графику, инструменты для расчета уровней шума и представления их в виде электронных таблиц, карт и схем. Программный продукт разработан в Германии фирмой Braunstein&Berndt LLC и адаптирован к российским методикам БГТУ «Военмех». Математические модели, лежащие в основе расчетов, основываются на государственных стандартах Российской Федерации. Для расчета уровней шума в программе SoundPLAN реализуются положения следующих нормативных документов:

1. Автотранспортный шум (Russian Road) – «Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов» (Министерство транспорта; Федеральный дорожный департамент. - М., 1995) п. 4.6.
2. Железнодорожный шум (Russian Rail) оценивается согласно «Справочника проектировщика. Защита от шума в градостроительстве» (М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.) п. 2.2.
3. Распространение шума оценивается согласно СНиП II-12-77 «Защита от шума» (М.: Госстрой, 1978) п.10.7
4. Промышленный шум (ISO 9613-2:1996) оценивается согласно положениям ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета»
5. Распространение шума внутри помещений рассчитывается согласно СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» (М.: Госстрой, 2004) п.7.
6. Авиационный шум оценивается в соответствии с требованиями ICAO, отраженными в «Справочнике проектировщика. Защита от шума в градостроительстве» (М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.) п. 4.5.

При помощи программного продукта были решены следующие задачи:

- составление трехмерного ландшафта территории;
- расчет шумовой карты от железной дороги;
- расчет эффективности шумозащитных экранов вдоль дорог;
- расчет затухания уровней шума при распространении с учетом рельефа местности (выемок, насыпей и т.д.).

Входные данные о геометрических параметрах местности вводились в программу при помощи сканирования подоснов, представленных в виде картографического материала на бумажном носителе. По отметкам высот была построен цифровая модель местности, которая принималась в расчет.

Выходные данные представляются в виде таблиц горизонтальных карт, отображающих акустическую нагрузку на данной территории.

Уровни шума железнодорожного транспорта рассчитывались при помощи стандартизированных методик, указанных выше. В расчет принимались следующие исходные данные:

Количество поездов на участке Любань – Мстинский Мост:

Любань – Чудово

- пассажирских 61 пара;
- пригородных 14 пар;
- грузовых 33 пары;
- путеизмерителей 1 пара;
- резерв локомотивов 1 пара.
- Чудово – Малая Вишера:
- пассажирских 67пар;
- пригородных 12 пар;
- грузовых 14 пар;
- путеизмерителей 1 пара;
- Малая Вишера – Мстинский Мост:
- пассажирских 67пар;
- пригородных 6 пар;
- грузовых 14 пар.

Поезда распределялись равномерно для дневного и ночного времени. С учетом интенсивности и скорости движения рассчитывалась шумовая характеристика потока железнодорожного транспорта, которая составляет 75,1 дБА в дневное время и 75,8 дБА в ночное время.

При построении карты шума вся территория 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 были получены линии равного уровня звука на территории с шагом в 5 дБА, что соответствует условиям нормирования шума.

На карте, таким образом, получены размеры санитарного разрыва для дневного и ночного времени, которые соответствуют изодецибелам 55 дБА и 45 дБА.

Карта шума отдельных участков представлена на рис. 23 и 24. Такая работа т.е. составление столь подробной карты шума участка железной дороги была выполнена в нашей стране впервые.

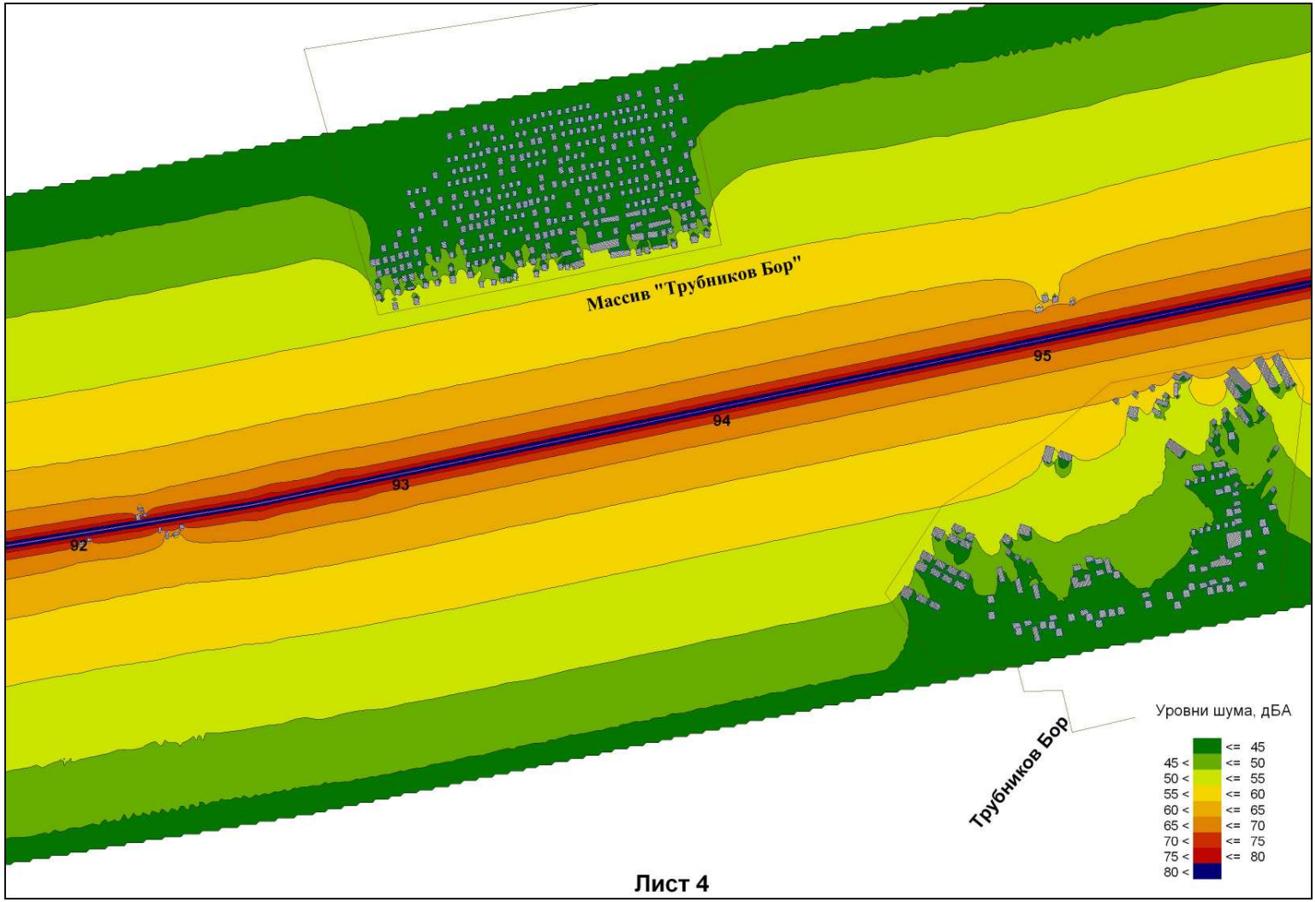


Рис. 23. Карта шума участка железной дороги в районе пос. Трубников Бор

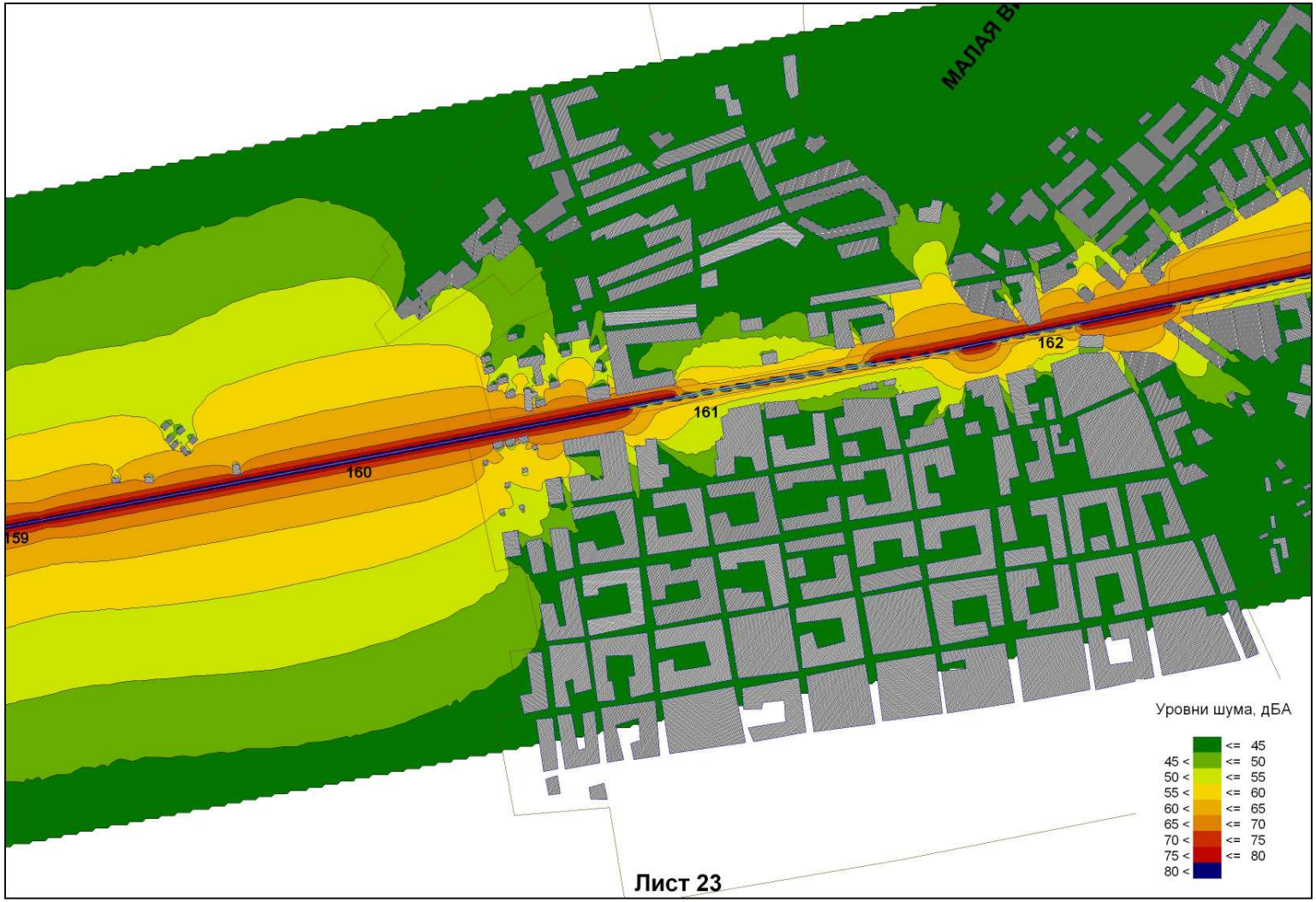


Рис. 24. Карта шума участка железной дороги в районе пос. Малая Вишера

11. Сравнительный эффект испытанных конструкций и искусственных сооружений и мероприятий

В табл.6 приведён сравнительный эффект рассмотренных мероприятий, конструкций и сооружений.

Таблица 6

Сравнительный эффект рассмотренных мероприятий

№ п/п	Наименование конструкции, искусственного сооружения, мероприятия	Ожидаемый максимально возможный эффект, дБА
1	Разработка технических норм шума поездов	10
2	Разработка методик расчёта шума поездов	6
3	Накладки на рельс	3-5
4	Зелёные насаждения	5-7
5	Остекление домов	10
6	Акустические металлические экраны	12-18
7	Выемки, насыпи	15-20

Следует отметить, что только совместное применение шумозащиты даёт возможность достичь снижения шума поездов до нормы. В качестве примера такого сочетания в табл. 7 показано применение АЭ, остекления и зелёных насаждений (летом), позволяющих достичь нормативных значений.

Таблица 7

Сводные данные по эффективности основных элементов шумозащиты

Уровни шума в жилой застройке на расстоянии 50 м	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	
Пассажирский поезд 17 вагонов										
без применения шумозащитных мероприятий	70,4	66,1	62	60,5	77,7	78,2	72,5	68,2	53,1	80,8
при применении АЭ	68,8	62,3	56,7	56,8	62,4	63,5	59,1	54,1	44,4	68,6
эффективность АЭ	1,6	3,8	5,3	3,7	15,3	14,7	13,4	14,1	8,7	12,2
при применении зеленых насаждений	68	69,8	61,4	58,3	69,7	70,5	68	57,3	38,6	73,9
Эффективность акустического экрана и зеленых насаждений	66,4	66,0	56,1	54,6	54,4	55,8	54,6	43,2	29,9	61,7
Допустимые уровни шума в дневное время СН 2.2.4/2.1.8.562-96 табл. 3. позиция 9	**90**	**75**	**66**	**59**	**54**	**50**	**47**	**45**	**44**	**55**
Согласно Примечанию 2 к табл. 3 СН2.2.4/2.1.8.562-96	**100**	**85**	**76**	**69**	**64**	**60**	**57**	**55**	**54**	**65**

12. Проект шумозащиты на участке Любань - Мстинский мост

Анализ карты шума показал, что характеристики шума составили:

– 69-75 дБА (без учёта скоростных поездов);
– 72-76 дБА (с учётом высокоскоростных поездов);
– 69-70 дБА (шум высокоскоростных поездов).

Был выполнен проект шумозащиты при введении скоростных поездов. Были определены ожидаемые УЗ в расчётных точках. Требуемое снижение шума в среднем составило:

– 20 дБА в дневное время;
– 29 дБА в ночное время.

В табл.8 приведена ведомость АЭ (табл. 8), а в табл. 9 приведены рекомендации по расселению или остеклению зданий.

Таблица 8

Ведомость экранов

Населенный пункт	Расположение по ПК магистрали		Длина экрана, м	Высота экрана, м	Площадь, м^2
	справа/вверху	слева/внизу			
Тоснинский район					
Любань	пк 808+00-пк 819+00		1100	5	5500
Любань		пк 807+00-пк 820+00	1300	5	6500
Любань		пк 822+00-пк 834+50	1250	4	5000
Любань	пк 827+00-пк 836+50		950	5	4750
Трубниково		пк 949+00-пк 959+00	1000	4	4000
Бабино		пк 989+50-пк 999+00	950	4	3800
Придорожная		пк 1087+00-пк 1092+00	500	4	2000
Новгородская область Чудовский район					
Мараевка	пк 1146+30-пк1168+00		2170	5	10850
Чудово		пк1159+00-пк1166 +30	650	4	2600
Чудово		пк 1171+50-пк 1178+00	650	4	2600
Чудово	пк 1176+50- пк 1212+00		3550	4	14200
Чудово		пк 1181+50-пк 1195+00	1350	4	5400
Волхов Мост		пк 1251+50-пк 1257+30	680	5	3400
Марьино	пк 1251+50-пк 1257+30		680	5	3400
Суворовка	пк 1325+00-пк 1338+50		1350	4	5400
Суворовка		пк 1325+00-пк 1338+50	1350	4	5400
Гряды	пк 1397+50-пк 1420+00		2250	4	9000
Гряды		пк 1400+00-пк1418 +00	1800	4	7200
Гряды		пк 1428+00-пк1436 +00	800	4	3200
Маловишерский район					
Б.Вишера	пк 1507+00-пк1520+00		1300	4	5200
Б.Вишера		пк1490 +00-пк 1517+50	2750	4	11000
М.Вишера		пк 1603+50-пк 1631+00	2750	5	13750
М.Вишера	пк 1622+50-пк 1632+50		1000	5	5000

Таблица 8 (продолжение)

Населенный пункт	Расположение по ПК магистрали		Длина экрана, м	Высота экрана, м	Площадь, м^2
	справа/вверху	слева/внизу			
Сюйска		пк 1708+50-пк 1714+50	600	5	3000
ст."Железнодор" и Сюйска	пк 1710+00-пк 1720+00		1000	5	5000
Красненка	пк 1725+00-пк 1738+50		1350	5	6750
Красненка		пк 1729+00-пк 1739+70	1970	5	9850
Бурга		пк 1801+00-пк 1818+00	1700	5	8500
Бурга	пк 1804+50-пк 1817+00		1250	5	6250
Мстинский мост		пк 1883+00-пк 1889+00	600	4	2400
Мстинский мост	пк 1883+00-пк 1889+00		600	4	2400
Итого				**41200**	**183300**

Таблица 9

Список станций с рекомендациями по расселению или остеклению зданий

Станция, населенный пункт, км	Дома, подлежащие расселению	Дома, подлежащие остеклению
Любань	10	30
км 87		3
Померанье		12
Трубников Бор		4
Бабино		16
км 102+40		2
Придорожная		3
Садовое товарищество км 115-166+50		60
Чудово		107
Садовое товарищество «Железнодорожник»		13
ПК 124		2
Ст. Волхово		10
Ст. Волхов Мост		3
Суворовка		15
Гряды		78
Большая Вишера	3	86
км 156+50		3
Малая Вишера	8	28
Сюйська		6
Красненка		44
Садовое товарищество «Железнодорожник» км 172		23
Бурга	10	46
Мстинский Мост		10
Итого	**62**	**604**

Итоги по установке шумозащиты или др.мероприятиям показаны в табл. 10.

Таблица 10

Разработанные в проекте меры и средства шумозащиты на участке Любань-Мстинский мост

Наименование конструкции или мероприятия	**Число домов, длина АЭ**	**Площадь АЭ, м^2**
Установка АЭ	41200	183300
Число домов, подлежащих расселениию	31	—
Число домов, подлежащих остеклению	604	—

Таким образом, для снижения шума был разработан типовой комплекс мер.

Выводы и рекомендации

1. Необходимо разработать технические нормы шума и вибрации поездов.
2. Необходимо разработать методики расчёта шума и вибрации поездов.
3. Для снижения шума рекомендуется применять комплекс мер, в числе которых: акустические экраны, звукоизолирующее остекление, озеленение, вибродемпфирующие накладки на рельс; выемки и насыпи.

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. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий
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. Interoperability of the conventional Trans-European speed rail system – Directive 2001/16/EC.
5. Commission Decision 2004/446/EC of 29 April 2004 specifying the basic parameters of the ‘Noise’, ‘Fright Wagons’ and ‘Telematic applications for freight’ Technical Specifications for Interoperability referred to in Directive 2001/16/EC (OJ L 193 p.1).
6. Directive 2004/50/EC of 29 April 0204 amending Council Directive 96/48/EC and Directive 2001/16/EC (OJ L 164, 30.4.2004).

7. Commission Decision 2006/66/EC adopted on 23 December 2005 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem ‘rolling stock – noise’.
8. Об охране окружающей природной среды Закон РСФСР от 19 декабря 1991г. №2060-1.
9. О санитарно–эпидемиологическом благополучии населения Закон Российской Федерации от 30 марта 1999г. №752-03.
10. Об охране атмосферного воздуха Закон Российской Федерации от 4 мая 1999г. №96-03.
11. Н.И. Иванов Инженерная акустика теория и практика борьбы с шумом. Учебник.– М.: Университетская книга, Логос, 2008.–424с.
12. Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно–методических документов. СПб: Компания «Интеграл», 2008, 1т–820с, 2т–822с.
13. Снижение уровня шума на железнодорожном транспорте Европы ЖДМ–2008, №3, с62–66.

ПРОБЛЕМА СНИЖЕНИЯ ШУМА, ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕГО НА НАСЕЛЕНИЕ

Буторина М.В[1]., Иванов Н.И.[1], Минина Н.Н.[2]
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова (1)
Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры, СПБ (2)

1. Введение

Проблема защиты от повышенного шума - серьезная проблема, решению которой уделяется внимание во всём мире. ЮНЕСКО сформулировало современную шумовую ситуацию в мире «Шум – бедствие современного мира и нежелательный продукт его технической цивилизации». Шум высоких уровней при длительном действии вызывает патологию, носящую название «Шумовая болезнь». Из всех экологических факторов шум – самый массовый. Его воздействию подвергаются от 50% до 70% населения развитых и развивающихся стран.

В нашей стране эта проблема приобретает угрожающей характер. Главный санитарный врач г. Москвы в 2007г заявил, что за последние 10 лет в городе в 2-3 раза увеличилось число сердечно-сосудистых заболеваний. По его данным шум влияет на продолжительность жизни, сокращая её на 8-12 лет. 70% населения столицы находится в зоне акустического дискомфорта. Эта ситуация характерна и для других городов Российской Федерации. Так по данным учёных Санкт-Петербурга повышенному акустическому воздействию в городе подвергается более 65% его территории.

В отличие от городов ЕС, США и др., где наметилась и ярко проявляется тенденция постепенного снижения уровней шума, воздействующих на население, в нашей стране наблюдается рост акустического загрязнения, достигающего в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге и др. крупных городах угрожающих для здоровья населения уровней.

2.Расходы на борьбу с шумом

Расходы на борьбу с шумом идут в двух основных направлениях:

– снижение стоимости изделий (автомобилей, пылесосов, самолётов и пр.)
– защита от шума среды обитания человека (жилищ,офисов и пр.)

Оценить точно стоимость шумозащиты в изделиях едва ли возможно, но понять порядок этих расходов можно из табл.1.

Таблица 1

Ориентировочная стоимость шумозащиты в некоторых изделиях

Наименование изделия	Снижение УЗ, дБА	Повышение стоимости изделия, %
1. Передвижные компрессорные станции	20-25	До 40
2. Реактивные пассажирские самолёты	30-35	До 20
3. Легковые автомобили	10-15	До 10
4. Строительно-дорожные машины	10-15	3-4

Из анализа табл. 1 видно, что стоимость шумозащиты может составлять от 3 до 40% стоимости изделия. Отсюда понятно, что такие расходы обходятся человечеству не в сотни млрд $, а на порядок больше (вероятно трлн $).

Более точную оценку можно дать для расходов на снижение акустического загрязнения в окружающей среде. Учтем, что стоимость 1 км акустического экрана составляет более 1 млн $, а стоимость одного звукоизолирующего окна более 1 тыс $. Объединенная Европа на установку экранов и остекления тратит от 40 до 50 млрд € в год (несколько менее 2% валового национального продукта).

В нашей стране эти расходы с каждым годом становятся всё ощутимее. Так по данным НИПИ ТРТИ (СПБ) около 20% сооружения автомобильных дорог в городе составляет расходы на шумозащиту. Можно предположить, что все человечество тратит на эти цели до 300-млрд $ в год.

При оценке расходов необходимо учитывать и компенсационные выплаты рабочим на потери, связанные со слухом (в США, например, такие выплаты составляют до 2 млрд $ в год), а выплаты суммарные во всех странах могут достигать, вероятно, несколько десятков млрд. Ориентировочные данные об основных затратах на борьбу с шумом сведены в табл. 2

Таблица 2

Затраты в мире на борьбу с шумом в год

Характер затрат	Ориентировочные суммы в долларах США
Улучшение акустических характеристик изделий	Несколько триллионов
Снижение акустического загрязнения окружающей среды	300-400 млрд
Выплаты, связанные с потерей слуха	Несколько десятков млрд

Расходы на борьбу с шумом составляют сотни миллиардов в год, но не смотря на эти очень солидные цифры проблема остаётся актуальной и по данным зарубежных специалистов эти расходы должны быть увеличены не

менее чем в 2-3 раза. Проблема борьбы с шумом, в первую очередь, экономическая. Траты на шум в какой-то степени показатель богатства страны

(н-р, сравните Германию, где установлены тысячи км акустических экранов, и Черногорию, где установлен один экран длиной 200 м).

2. Актуальность проблемы борьбы с шумом в России и Санкт-Петербурге.

По данным официальных органов в России в условиях акустического дискомфорта проживает 35 млн человек (примерно 1/3 городского населения). В числе неблагоприятных факторов по физическим полям шум занимает ведущие позиции. По основным физическим полям доли воздействия распределяются:

– шум – 83%;
– ЭМП – 15%;
– вибрация – 2%.

По официальным данным доля влияния факторов окружающей среды на заболеваемость:

– загрязнение атмосферного воздуха – 65%;
– акустическое загрязнение – 16%;
– загрязнение питьевой воды – 2%.

Интересно проследить структуру жалоб населения на шум.

Территориальное управление Роспотребнадзора по СПБ ведёт мониторинг источников шума на производстве, в жилых и общественных зданиях и на территории жилой застройки. Санитарно-гигиеническая обстановка в отношении воздействия на население физических факторов неионизирующей природы в СПБ оценивается как напряжённая.

Отмечается рост жалоб населения на повышенный шум. Структура жалоб граждан СПБ за последние 20 лет достигает 20% общего количества жалоб. В последние годы фиксируется рост числа жалоб до 2% в год. Этот прирост определяется в основном ведением строительных работ и шумом транспорта.

Из общего числа жалоб 70% приходятся на шум встроенных предприятий, расположенных на 1 этаже жилых зданий. Большее число жалоб здесь поступает от граждан живущих в центральных районах города. Источниками шума (это в основном предприятия питания и торговли) являются системы вентиляции, холодильники, кондиционеры и, конечно, музыка.

Увеличивается количество жалоб связанное с шумом строительных работ, работой компрессоров и дизель-генераторов, эксплуатацией инженерно-технического оборудования (встроенные котельные, лифты, насосное оборудование), недостаточной звукоизоляцией перегородок и ограждений.

Если проанализировать структуру жалоб населения Санкт-Петербурга на шум (кроме встроенных объектов), то получается интересная картина (табл.3)

Таблица 3

Структура жалоб населения СПБ на шум

Источник шума	% от общего числа жалоб
Автомобильный транспорт	69
Железнодорожный транспорт	16
Строительство	11
Авиационный транспорт	4

Основным источником шума и числа жалоб является городской транспорт. Ежегодно число людей подвергающихся шумовому воздействию возрастает на несколько десятков тыс. человек.

Результаты контрольно-надзорных мероприятий за проектируемыми и вновь возводимыми объектами, показали что основной причиной выявленных нарушений санитарного законодательства является неудовлетворительное качество проектирования и качество выполнения работ, отсутствие авторского контроля за строительством.

По официальным данным в настоящее время более 1 млн петербуржцев живут в условиях повышенного шумового воздействия (около 300тыс. под действием повышенного шума ж.д. - и авиатранспорта, 700 тыс. – автотранспорта). Наблюдения за здоровьем жителей показывают заболевания неврозами и гипертонической болезнью в зонах сверхнормативных показателей шумового воздействия.

Официальные цифры числа жителей подвергающихся сверхнормативному воздействию шума в нашем городе и в нашей стране представляются существенно заниженными. Это косвенно подтверждают данные измерений шума в гг. Москве и Санкт-Петербурге, на которых мы остановимся ниже. Принципиальным отличием от других проблем ОС и основной причиной неудовлетворительного состояния этой проблемы является следующее. Несмотря на то, что шум, вибрация, инфразвук являются компонентами окружающей среды, они, к сожалению, не входят в систему учётно-отчётной документации природоохранных органов, за этот вид загрязнения не установлена плата, а значит отсутствует экономические механизмы борьбы с шумом. Исправить это положение могло бы принятие закона о шуме. Все страны Запада приняли такие законы ещё в 70-х годах прошлого века. Основной принцип этих законов – “загрязнитель платит”. Сейчас в Государственной Думе находится проект закона, где предусмотрен экономический механизм борьбы с шумом, но его судьбу пока трудно предсказать.

И тем не менее, ситуация с проблемой защиты от шума всё больше привлекает внимание общественности, руководителей. Совсем недавно мэр Москвы Ю.М. Лужков назвал шум в Москве настоящим бедствием вторым после автомобильных пробок. В Москве принята «концепция» борьбы с шумом и вибрацией, там думают о создании “Акустических инспекций” и др. мерах борьбы с шумом. У СПБ есть свои интересные уникальные наработки, о которых будет сказано ниже.

3. Шум в Санкт-Петербурге: данные анализа карты шума

В 2006г. в Санкт-Петербурге впервые за всю историю города была проведена работа по разработке современной карты шума и зонированию территории по фактору шума с учётом всех существующих источников. Получены уровни шума практически у каждого здания города. Работа выполнялась по заказу комитета по городскому строительства и архитектуре (КГА), БГТУ “ВОЕНМЕХ” и институтом архитектуры. Карта аналогов в России не имеет, такие карты шума в мире были разработаны в то время только для Лондона и Парижа.

Первая карта шума в СПБ была создана в 1971г. За это время в городе были созданы ещё 3 карты шума с промежутками по времени примерно 10-15 лет. Все эти карты носили фрагментарный характер, охватывая не более 10% территорий и представляли уровни шума только вдоль наиболее нагруженных транспортных магистралей. Конечно, карты давали неполную и довольно однобокую информацию.

Современные карты требуют предоставления об уровнях шума на всей территории в 3-х мерном пространстве. Новая карта создавалась на основе расчётов и с выполнением контрольных измерений. При создании карты было выполнено 1375 контрольных измерений равномерно по всей территории города.

Все измерения производились в соответствии с действующей документацией. Измерениями были охвачены автотранспортные источники шума, источники шума железнодорожного, водного и воздушного транспорта, внешние уровни шума промышленных предприятий. Это позволило определить уровни шума от всех источников и получить данные для картирования территории города.

Основная цель при разработке новой карты шума - определение шума по всей территории города практически у каждого строения. Отечественных программ, позволяющих это осуществить, не существует. Поэтому впервые в нашей стране для построения карты была использована известная во всем мире немецко-американская программа «Sound-PLAN», специально адаптированная разработчиками под отечественную нормативно-техническую базу.

В качестве исходных данных для построения карты шума применялись результаты инструментальных измерений шума автотранспорта и стационарных источников. Уровни шума железнодорожного транспорта, электротранспорта и водного транспорта рассчитывались при помощи стандартизированных методик. Зоны влияния авиатранспорта наносились по имеющимся данным Ленаэропроекта.

Калибровка карт производилась при помощи замеров уровней шума на территории городской застройки. Выборочное сравнение расчетных характеристик с показателями натурных замеров шума на ряде магистралей дали хорошую сходимость результатов расчетов с фактическими измерениями уровней шума (среднеквадратичное отклонение не более 1,5-2 дБА).

При построении общей карты шума в расчет принимались все виды источников. При этом территория города разбивалась по сетке с шагом 50 м. Всего в расчете введено 775280 расчетных точек. После определения уровней шума в расчетных точках точки с равными уровнями звука соединялись изолиниями, в результате чего были получены линии равного уровня звука на территории города с шагом в 5 дБА, что соответствует условиям нормирования шума.

Для каждой защищаемой территории были установлены предельно допустимые уровни шума и определено превышение ПДУ, в результате чего получены границы зон, на которых соблюдаются нормативные уровни. Именно эта карта, отражающая соответствие уровней шума предельно допустимым, является картой зонирования территории по уровням шумового воздействия. Такой подход соответствует принятому Директивой ЕС по оценке шума в окружающей среде и позволяет наглядно представить территории, соответствующие акустически комфортным условиям проживания.

Фрагмент карты шума СПБ показаны на рис. 1.

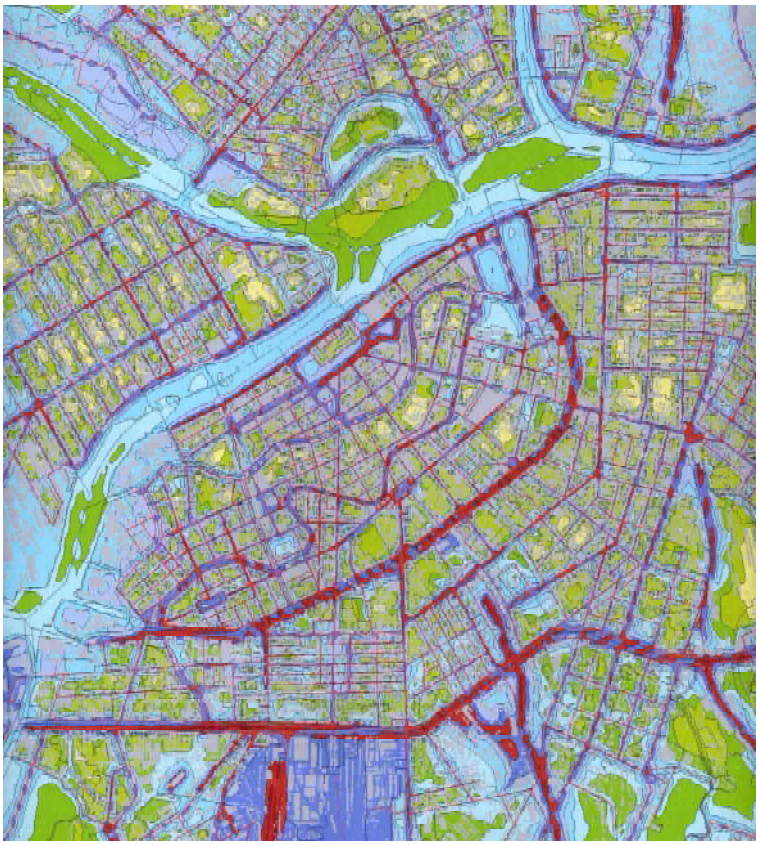


Рис. 1. Фрагмент карты шума СПБ

<u>В ходе разработки карт шума было установлено:</u>

1. Только 34,3 % нормируемых по шуму территорий имеют уровни ниже предельно допустимых (55 дБА).
2. Наиболее значимым источником шума в городской застройке является авиационный транспорт (32,3 % территории), далее следует

автомобильный транспорт (21,7 % территории), промышленные источники (14 %), железнодорожный транспорт (6,7 %), электротранспорт (0,4 %). Шум водного транспорта влияет лишь на 0,1 % городской территории (табл. 4).

Таблица 4

Влияние источников шума на шум в городе

Источник акустического загрязнения	% территории города
Авиационный транспорт	32,2
Автомобильный транспорт	21,7
Промышленные источники	14,0
Железнодорожный транспорт	6,7
Электротранспорт	0,4
Водный транспорт	0,1

3. Влиянию шума в большей степени подвержены Адмиралтейский, Центральный, Фрунзенский, Петроградский и Кировский районы города (под влиянием повышенного шума находится 80-100 % территории), менее подвержены влиянию шума Курортный, Выборгский, Петродворцовый, Приморский и Пушкинский и районы (на 10-30 % территории шум свыше 55 дБА).
4. Промышленные источники:
– в городе существует 48 нежилых зон, уровни звука на которых составляют 53,7-64,5 дБА;
– уровни шума в объектах шумозащиты превышают предельно допустимые вблизи 12 промзон (Новоизмайловской, Таврической, Красносельской, Предпортовой-1, Левобережной, Обуховской, Купчинской, Адмиралтейской, Арсенальной, Петроградская наб., Выборгской, Полюстрово);
– наиболее высокие уровни шума наблюдаются в Новоизмайловской промышленной зоне;
– уровни шума 4 промзон: Балтийская, Белоостров, Конная Лахта и Ручьи - соответствуют нормативным уже на границе объектов;
– теплоэнергетика: уровни шума ТЭЦ составляют 53-69 дБА, котельных - 50-60 дБА, электроподстанций - 59-66 дБА.
5. Автотранспорт:
– максимальные уровни шума в 78-79 дБА создаются автотранспортными потоками по скоростным дорогам (на перспективу увеличение до 85-86 дБА),
– магистральные улицы общегородского значения - 70-80 дБА,
– улицы районного значения - 60-70 дБА,
– местные и внутриквартальные проезды - 50-60 дБА,
– увеличение уровней шума на 2-3 дБА над среднесуточным наблюдаются утром с 8 до 10 часов, а также в вечернее время с 18 до 20 часов,

– в ночное время уровни шума снижаются на 6-8 дБА по сравнению с дневными.

6. Железнодорожный транспорт:

– площадные источники (сортировки) создают шум в ближайшей жилой застройке до 68 дБА, наблюдается значительное превышение нормативных уровней шума Московской и Витебской сортировочных станций (до 10-13 дБА). Сортировочная станция Финляндского вокзала не вносит существенного вклада в уровни шума на прилежащей территории;
– линейные источники (железнодорожные ветки) создают уровни шума в 71-76 дБА.

7. Трамвай:

– эквивалентные уровни шума изменяются от 63-67 дБА в центре до 62-72 дБА в спальных районах;
– при движении по обособленной полосе трамвай не дает существенного вклада в уровень шума автомагистралей при интенсивном движении;
– при функционировании в утренние часы, когда автомобильный поток не установился, в первом эшелоне жилой застройки наблюдается превышение уровней шума до 15 дБА. Данные о шуме основных источников приведены в табл. 5.

Таблица 5

Источники шума в городе

Источники шума	УЗ, дБА
Промышленные источники: ТЭЦ Котельные Электроподстанции	 53-69 50-60 59-60
Автотранспорт: Скоростные автодороги Магистральные улицы улицы Местные проезды	 78-79(85-86) 70-80 50-60
Железнодорожный транспорт: Сортировочные станции Ж.д. ветки	 68-70 71-76
Трамвай	63-72
Авиатранспорт	65-75
Стройплощадки	75-95

Сравнительный анализ шума показал, что СПБ, который занимает четвёртое место в Европе по уровню промышленного произволства, относясь к крупнейшим городам, занимает восьмое место среди наиболее тихих Европейских городов. Средние уровни шума в СПБ составляют 66 дБА, в Лондоне, который возглавляет список наиболее тихих городов – 57 дБА, в Париже 61 дБА.

Рекомендации по снижению шума в Санкт-Петербурге. Основные градостроительные мероприятия, применяемые для защиты населения от влияния включают разработку санитарно-защитных зон.

В настоящее время размер санитарно-защитных зон установлен лишь для 54 предприятий, у 6 из них СЗЗ выходит за границы предприятия, но не более, чем на 10-20 м. Размер санитарно-защитных зон железных и автомобильных дорог, установленный СНиПами, составляет не менее 100 м, однако, он может быть сокращен до 25 м в условиях плотной застройки. Для трамвая и водного транспорта санитарно-защитные зоны не устанавливаются. Шумовые зоны аэропортов находятся в настоящее время в стадии разработки.

В Санкт-Петербурге функционирует около 700 крупных промышленных предприятий, большая часть из которых объединены в 48 нежилых зон. Под влиянием повышенных уровней шума промышленных источников находится жилая застройка вблизи 7 промзон, а также 7 медицинских учреждений и 2 рекреационных объекта. Повышенные уровни шума в объектах шумозащиты обусловлены деятельностью 21 предприятия, в числе которых АО ГВС, АООТ «Пролетарский завод», ОАО «Обуховский завод», ЗАО «Фарфоровый завод», ОАО з-д «Арсенал», ОАО «Компрессорный завод» и др. Основным мероприятием по снижению шума промышленных предприятий является разработка и применение шумозащитных мероприятий (увеличение звукоизоляции ограждающих конструкций, применение локальных акустических экранов, применение глушителей вентиляционного оборудования, капотов и кожухов на шумном оборудовании, перенос компрессорных станций). В результате применения мероприятий шумозащиты предельно допустимые уровни будут соблюдены, а санитарно-защитные зоны предприятий могут быть сокращены.

В Санкт-Петербурге расположено 14 ТЭЦ и 24 котельных. Под влиянием повышенного шума 9 ТЭЦ (ТЭЦ-5, ТЭЦ-2, ТЭЦ-7, ТЭЦ-14, ТЭЦ-17, ЭС-3, ТЭЦ «ЦКТИ», ТЭЦ «Обуховский завод», Северо-Западная ТЭЦ) и 3 котельных (1-я Московская, 1 ЛМИ, 2 Красносельская) находится жилая застройка, 5 медицинский учреждений и 3 рекреационных объекта. Для снижения шума ТЭЦ рекомендуются к применению мероприятия по снижению шума в источнике (применение глушителей вентустановок, повышение звукоизоляции конструкций), а также на пути распространения (экранирование трансформаторов и градирен). Для котельных рекомендуются мероприятия по снижению шума в источнике (применение малошумного оборудования).

В городе насчитывается 133 электроподстанции, 75 из них открытые. 20 электроподстанций расположено непосредственно в жилой застройке, 4 из них (Чайковская, Василеостровская, Ломоносовская, Выборгская) создают повышенные уровни шума. Для обеспечения акустического комфорта необходимо внедрить шумозащитные мероприятия (применение малошумного оборудования, повышение звукоизоляции конструкций) на данных объектах.

Для снижения шума автотранспорта в Санкт-Петербурге рекомендуется:

1. Вынос транзитных транспортных потоков из центра в обход города (КАД, ЗСД, внутренняя дуговая магистраль);
2. Направление грузовых потоков в обход жилых районов на специальные грузовые трассы (Витебский пр., Митрофаньевское шоссе, магистраль вдоль Зелено-горской железнодорожной линии);
3. Развитие системы перехватывающих автостоянок на въезде в город и в центр города;
4. Строительство шумозащитных экранов вдоль наиболее нагруженных скоростных дорог и транспортных развязок, проходящих через жилую застройку (всего около 14 км экранов);
5. Применение шумозащитного озеленения вдоль автодорог (около 10 км шумозащитных посадок);
6. При реконструкции автодорог с интенсивным движением, проходящих внутри жилых кварталов города следует предусматривать шумозащитное остекление близ расположенных жилых зданий
7. Применение менее шумного дорожного покрытия при реконструкции автомобильных магистралей.

На данный момент в Санкт-Петербурге уже установлено около 20 км акустических экранов, применяемых для снижения шума автотранспорта (КАД, Дунайский пр., Волго-Донской пр., путепровод на пр. Стачек, Московское шоссе - пос. Ям-Ижора, Красносельское шоссе). Вдоль КАД организованы полосы шумозащитных зеленых насаждений длиной 17,3 км.

Снижение шума железнодорожного транспорта должно быть обеспечено:

1. Строительством железнодорожного обхода Санкт-Петербурга с выносом транзитного грузового движения из города за пределы Курортного и Петрод-ворцового районов.
2. Выносом за пределы городской застройки крупнейшей железнодорожной сортировочной станции Москва-Сортировочная в район г. Мги.
3. Преобразованием железнодорожного узла из тупикового в сквозной с организацией пассажирского сообщения по северному железнодорожному кольцу.
4. Переключением железнодорожных потоков с Варшавской и Финляндской дорог на Ладожский вокзал.
5. Установкой шумозащитных экранов вдоль существующих железнодорожных магистралей, проходящих вблизи жилой застройки (около 15 км экранов).

Для снижения шума электротранспорта составлен перечень зданий, подлежащих шумозащитному остеклению по 28 улицам города (к применению рекомендовано остекление 300 тыс. кв. м фасадов зданий). Кроме того, рекомендовано провести шумозащитное озеленение рекреационных территорий вдоль границ парков, прилегающих к трамвайным путям (55,3 га). Было рекомендовано также создание и внедрение конструируемого трамвайного полотна, обеспечивающее бесшумное движение трамваев, снятие трамвайных путей на узких улицах.

Результаты замеров уровней шума авиационного транспорта показали, что наблюдается значительное отличие существующих уровней шума (от 51 до 86 дБА) в границах зон влияния аэропорта. Населенные пункты Колпино, Пушкин и Шушары попадают в зону А (шумозащита не требуется), Ульянка - на грани зон А и Б (требуется шумозащита поликлиник), Старопаново - зона Г (жилая застройка запрещена). Таким образом, в первую очередь необходимо разработать проекты зон ограничения застройки вблизи городских аэропортов и организовать мониторинг уровней авиационного шума. Для снижения влияния авиашума на жилую застройку необходимо:

- выбирать трассы взлета и посадки самолетов в обход густонаселенных районов (Старопаново, Ульянка, Горелово, Сосновая поляна, Володарский, Стрельна, Александровская, Пушкин, Колпино);
- вывести из эксплуатации воздушные суда наиболее шумных типов, не соответствующие требованиям международных стандартов;
- установить специальные режимы взлета и посадки самолетов по более крутой траектории;
- установить акустические экраны в местах прогонки двигателей.

Административные мероприятия, направленные на улучшение качества жизни горожан должны включать следующее:

1. Проведение ежегодного мониторинга шума на территории города при помощи инструментальных замеров и построения карт шума источников.
2. Разработку нормативной документации, позволяющей объективно оценивать ожидаемые уровни шума.
3. Разработку программы защиты населения г. Санкт-Петербурга от шума.

Возможности использования карты шума Санкт-Петербурга. Разработанная карта шума должна стать действенным инструментом при разработке и внедрении шумозащитных мероприятий, поскольку она позволяет:

1. Осуществлять выбор точек для акустического мониторинга и проводить акустический мониторинг.
2. Оценить фоновые уровни шума в любой точке города при проектировании новой застройки.
3. Обосновать оценку высвобождения отдельных территорий под новое строительство.
4. Оценить 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.

Проведение работы по шумовому зонированию территории Санкт-Петербурга дало возможность строгого контроля над строительными и

проектировочными организациями в области обоснования планировочных решений и соблюдения санитарно-гигиенических норм по шуму. Перед руководством города открываются возможности, используя данные карты принимать обоснованные решения по расширению застройки, перераспределению транспортных потоков и пр. мероприятий, направленных как на улучшение качества жизни горожан, так и обоснование дополнительных инвестиций в строительство.

4. Шум в Москве: данные результатов исследований, анализ концепции снижения уровней шума и вибрации в г.Москве.

На одном из заседаний правительства Москвы, состоявшемся в конце 2007г, рассматривалась проблема шума в г. Москве. Власти бьют тревогу, столица грозит превратиться в самый громкий мегаполис Европы (“Российская газета”, 7 сентября 2007гг № 157). Ситуация в столице названа критической. 70% города находится в зоне акустического дискомфорта и шум в Москве только нарастает. Нахождение дома в зоне повышенного шума по данным риэлтеров снижает стоимость недвижимости на 10-15%, по данным “Мосэкомониторинга” в столице цены следует снижать в 60% жилых домов. (“Коммерсант” 20сентября, № 171).

При обсуждении проблем шума очень много обращалось внимания. На несовершенство законодательной базы в РФ, отсутствие закона о шуме.

Ведущие позиции в решении проблемы борьбы с шумом в Москве занимает НИИ строительной физики (НИИСФ). Специалистам, работающим в области борьбы с шумом, хорошо известны основополагающие документы в области борьбы с шумом, основным разработчиком которых был НИИСФ:

– СНиП II-12-77 “Защита от шума”;
– СНиП 23-03-2003 “Защита от шума”и др.

Ниже кратко излагается опыт работы НИИСФ по определению и снижению шума в г. Москве по данным доклада, сделанного директором И.Л. Шубиным на конференции “Защита населения от повышенного шумового воздействия”, которая состоялась в 2006г в СПБ.

Основной источник шума в Москве – автомобили. В Москве особенно ярко проявляются последствиея грандиозных социально-экономических изменений в нашей стране, в частности, резкий (более, чем в 5 раз) прирост парка легковых автомобилей. Сейчас в Москве 2,2млн автомобилей, а к 2020 году их число возрастёт до 3 млн. Это привело к сильной перегрузке многих магистралей, к росту шума. Учитывая, что темпы автомобилизации растут, шумовое загрязнение Москвы будет оставаться значительным.

Основным документом для оценки шума в городах являются комплексные карты шума. Одна из первых таких карт была разработана НИИСФ в середине 80-х годов прошлого столетия. В те годы интенсивность движения на наиболее загруженных магистралях составляла 7000 единиц при скорости 25-70 км/час.

Ограничений на въезд грузовых машин в город не было. Общая площадь зон акустического дискомфорта вдоль автомагистралей составила 28% от общей площади селитебных территорий. На этих территориях проживало около 1,8млн человек. Уровни шума составили 70-83 дБА.

К середине 90-х годов шум в Москве возрос в среднем на 2 дБА (до 72-85дБА). Увеличение зон дискомфорта на 3%, а население, живущее в зоне дискомфорта на 10%. Всё увеличение произошло за счёт увеличения интенсивности движения.

В 2004г. НИИСФ были вновь проведены измерения шума на основных транспортных артериях Москвы. Шум по сравнению с предыдущим периодом возрос на 1,8 дБА а для 25% наиболее загруженных магистралей до 4 дБА. Интенсивность движения составила почти 12 тыс. единиц в час, доля грузового и общественного транспорта, в среднем, снизилась до 15% (в прежние годы она составляла до 70%). Это показывает насколько возросла интенсивность движения и шум (табл. 6).

Таблица 6

Шум автотранспорта в Москве

Год	Интенсивность движения	Наличие грузового автотранспорта	Число жителей, млн/чел	УЗ, дБА
1985	7000	есть	1,8	70-83
1995	9000	есть	2,0	72-85
2004	12000	есть	2,2	74-87
2004	12000	нет	2,2	70-80

В то же время в Москве наметилась и положительная тенденция в снижении шума. За последние годы в Москве было запрещено движение грузовых автомобилей в центре, было построено третье транспортное кольцо, по которому передвигается основной поток грузовых автомобилей. В результате шум на Садовом кольце снизился на 6-10 дБА по сравнению с 80-ми годами. В целом в результате запрещения грузового движения в центре удалось снизить шум на 3-6 дБА.

Эти цифры наглядно показывают насколько эффективным (напомним от 3 до 10 дБА) может быть запрещение грузового движения. Дальнейшее снижение шума в г. Москве будет получено при завершении строительства Четвёртого кольца, что приведёт к выдавливанию грузового движения от центра к периферии.

Имеются серьёзные резервы снижения автотранспортного шума в источнике:

– снижение шума отечественных автомобилей;
– снижение шума в месте контакта шины с поверхностью дороги.

Для снижения шума на пути распространения устанавливаются:

– придорожные шумозащитные экраны;
– специальное шумозащитное остекление.

В Москве экраны установлены вдоль МКАД (13км), на Рижской эстакаде, на шоссе в районе аэропорта Шереметьева – 2 на площади Гагарина и т.д.

Экраны выполнены из бетона, металла, пластмассы, светопрозрачных материалов. Высота от 3 до 6 м. Акустическая эффективность экранов составляет от 5 до 11дБА и зависит от расположения экрана, числа полос движения автотранспорта, свойств поверхности территории и др. факторов.

В докладе отмечается важность соблюдения проектных рекомендаций строителями. Как негативный пример приводится опыт сооружения экранов на Бутовской открытой линии легкого метро. Здесь жилая застройка расположена на расстоянии 30-50м, дома высокие. В проекте были предусмотрены Г – образные 6м экраны. Были установлены экраны высотой 3 м, причём половину высоты составляли звукоотражающие светопрозрачные панели. Несоблюдение проектных рекомендаций привело к жалобам жителей на шум метро. Измерения показали на верхних этажах шум превышает нормы на 3-7 дБА в дневное время и на 13-17 дБА в ночное время.

Экраны целесообразно применять при невысокой (3-5 этажей) застройке. При более высокой застройке целесообразно выполнять звукоизолирующее остекление. Учитывая, что в Москве шум транспортных потоков достигает 75-85 дБА, а здания нередко расположены в нескольких метрах от магистрали, то требуемая звукоизоляция шумозащитного остекления должна достигать не менее 30-40 дБА в режиме вентиляции.

И в заключении, возвращаясь к итогам заседания правительства Москвы, отметим, что в проекте мер по борьбе с шумом вошли следующие мероприятия:

- утвердить методику акустического мониторинга г. Москвы передвижными лабораториями;
- использовать специальные звукопоглощающие дорожные покрытия (эффективность 3 дБА);
- установить дополнительные шумозащитные экраны (эффективность 16дБА);
- создать современную комплексную карту шума;
- ужесточить штрафы за нарушения, связанные с повышенным шумом;
- обратиться в Федеральные органы с просьбой о законодательных мерах борьбы с шумом;

5. Анализ методов и средств защиты от шума

Основной арсенал средств защиты от шума в городах:

- защита расстоянием (создание санитрано-защитных зон);
- зелёные нахождения;
- шумозащитное остекление;
- акустические экраны и экранирующие сооружения.

Разработка и организация санитарно-защитных зон (СЗЗ) и их сокращение одна из основных путей борьбы с шумом. В настоящее время в СПБ только в санитарно-защитных зонах предприятий проживают более 300тыс. человек. Администрация шумных объектов не уделяет достаточно внимания вопросу

сокращения СЗЗ, т.к. плата за необоснованно большие размеры СЗЗ у нас не установлена. Защищая жителей не новыми шумозащитными технологиями и конструкциями, а расстояниями. Эти предприятия действуют в ущерб городским интересам, т.к. СЗЗ становится зоной упущенной выгоды.

Так по данным СПБ Фонда реконструкции и развития на территории СЗЗ железных дорог, проходящих через город, можно было бы построить более 9млн. $м^2$ жилой площади.

Применение зелёных насаждений в качестве средства защиты от шума можно было бы считать очень привлекательной для жителей мерой. К сожалению, практика применения зелёных насаждений показывает, что их акустическая эффективность невелика. Зелёные насаждения шириной 20м. обеспечивает добавочное снижение шума не более чем на 3-4 дБА. В реальных условиях эта мера является паллиативом с точки зрения шумозащиты.

Шумозащитное остекление в настоящее время едва ли не самый массовый способ борьбы с шумом. Их появление несколько лет назад вызвало эйфорию, которая начинает проходить. В его использовании имеются сложности, о которых необходимо знать. До установки герметичных окон баланс воздуха в помещениях поддерживался за счёт его притока через щели в оконных конструкциях. После установки современных герметичных окон приток воздуха практически прекращается. В последние годы появились специализированные встроенные устройства – шумозащитные клапаны, которые встраиваются в герметичные окна. Они обеспечивают необходимый приток воздуха и почти не снижают шумозащитных свойств окон.

По данным предприятий изготовителей эффективность окон с клапанами составляет в основном 23-27 дБА. Эта эффективность достаточна для многих требований, но для условий превышения шума 30-35 дБА значения эффективности недостаточны. В Москве территориальным управлением Роспотребнадзора при рассмотрении жалоб жителей на неэффективность работы клапанов были выявлены следующие нарушения:

1) при отсутствии или неработающей вытяжной вентиляции в зимнее время на клапанах выпадает конденсат, а в летнее время свежий воздух не поступает;
2) при герметичных окнах клапан должен быть открыт всегда, если его долго не открывать в помещениях образуется плесень;
3) регулирование клапана затруднено.

Акустические экраны (АЭ) для снижения шума начинают находить всё большее применение для снижения шума в городах. Появление первых акустических экранов в США, Германии, Японии относится к 60-м годам прошлого века. В нашей стране впервые в массовом порядке АЭ были применены в 90-х годах при строительстве МАД – общая их протяжённость составила 13 км. АЭ устанавливаются и вдоль железных дорог, вокруг шумных предприятий. В последние годы АЭ широко используются для снижения шума чиллеров. Опыт использования АЭ для снижения шума выявлено ряд недостатков и противоречий, которые необходимо учитывать заказчикам, проектировщиками и строителями.

В первую очередь речь идёт об эффективности АЭ в реальных условиях. Фирмы изготовители АЭ дают значения эффективности достигающее 25-30 дБА. В проспектах речь идёт о звукоизолирующих свойствах панелей, из которых изготовлен АЭ. В специальных акустических камерах определяется звукоизоляция элемента АЭ и указанные цифры не имеют к эффективности АЭ в натурных условиях. Действительно, эффективность АЭ определяется дифракцией звука на свободном ребре АЭ и эти значения существенно меньше полученных значений звукоизоляции АЭ.

Эффективность АЭ зависит от материала экрана (точнее сказать звукопоглощающих свойств материала АЭ), высоты АЭ, места установки АЭ и др. условий. На рис. 2 приведена эффективность АЭ, установленного вдоль железной дороги на станции Малая Вишера октябрьской ж.д.

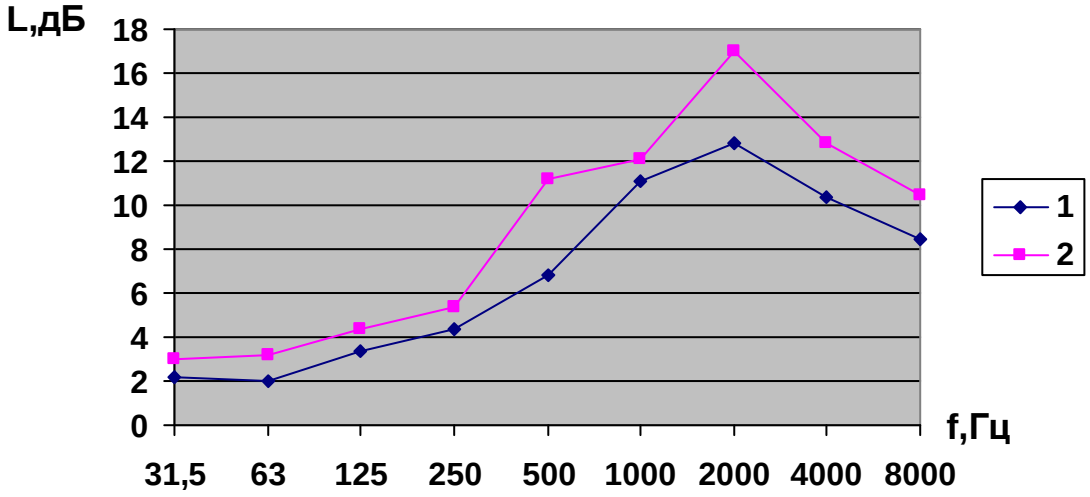


Рис. 2. Эффективность АЭ, установленного на станции Малая Вишера:
1 – усредненные значения (11дБА), 2 – максимальная (12,5 дБА)

Высота АЭ 3м, эффективность этого АЭ составляет 12дБА. АЭ изготовлен из металлических панелей со звукопоглощением. На рис. 3 и 4 показан общий вид АЭ, установленного на КАД

Рис. 3. Общий вид акустических экранов

Рис. 4. Общий вид акустических экранов

Высота АЭ 4м, АЭ комбинированный, установлен на насыпи высотой 3 м. Снижение шума этим АЭ показано на рис. 5.

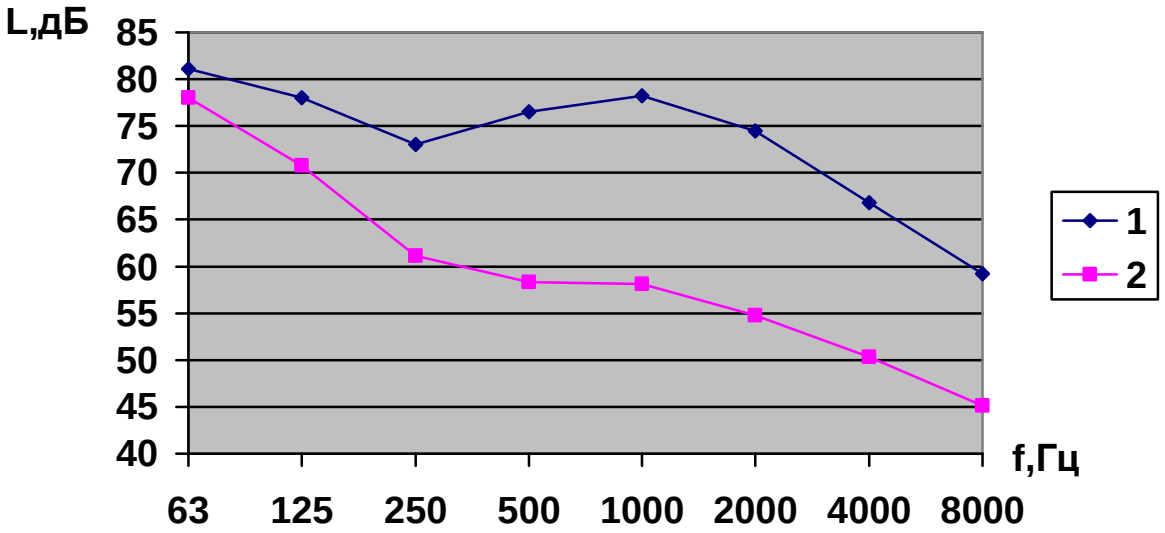


Рис. 5. Спектры шума в жилой застройке без АЭ (1) и с установленным АЭ (2)

Эффективность АЭ достигает 15-18 дБА. Большая эффективность этих АЭ объясняется тем, что они правильно рассчитаны, спроектированы и установлены.

Очень эффективны правильно спроектированные АЭ устанавливаемые вокруг чиллеров.

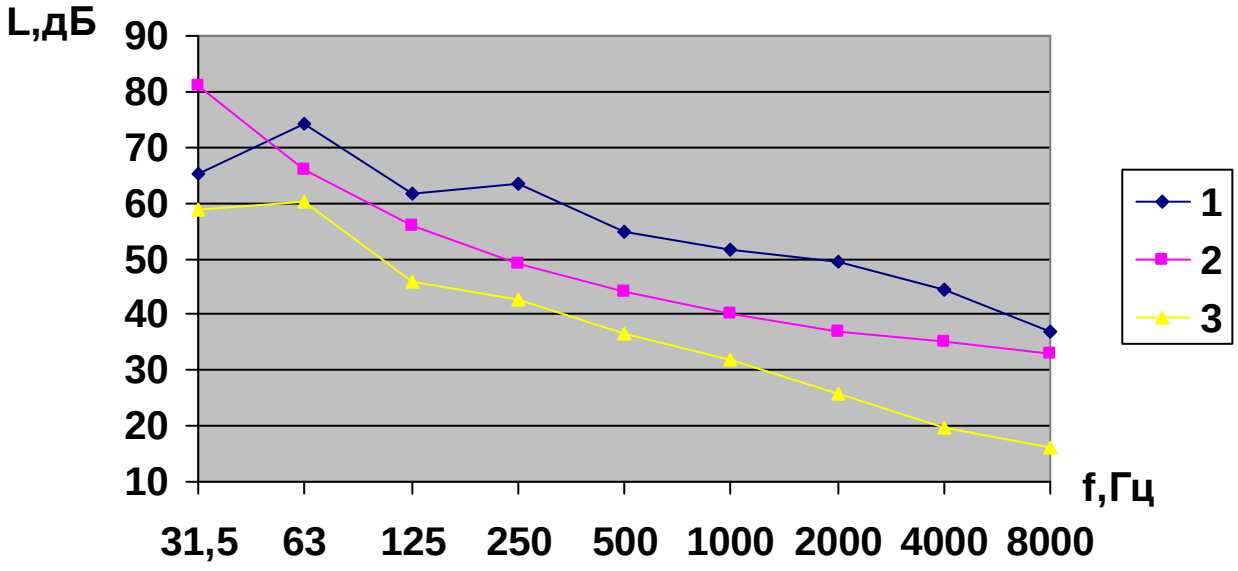


Рис. 6. Спектры шума в комнате института до установки (1) и после установки АЭ на чиллер (3) в сравнении с СН (2)

На рис. 6 показано снижение шума АЭ, установленным на крыше гостиницы “Англетер” (СПБ). Снижение достигает 20 дБА, шум в близрасположенном учреждении снижен до нормы во всех помещениях.

Опыт применения АЭ в Санкт-Петербурге показал, что они могут обеспечить достаточно большую эффективность, но их проектирование, установка и эксплуатация требуют постоянного независимого контроля.

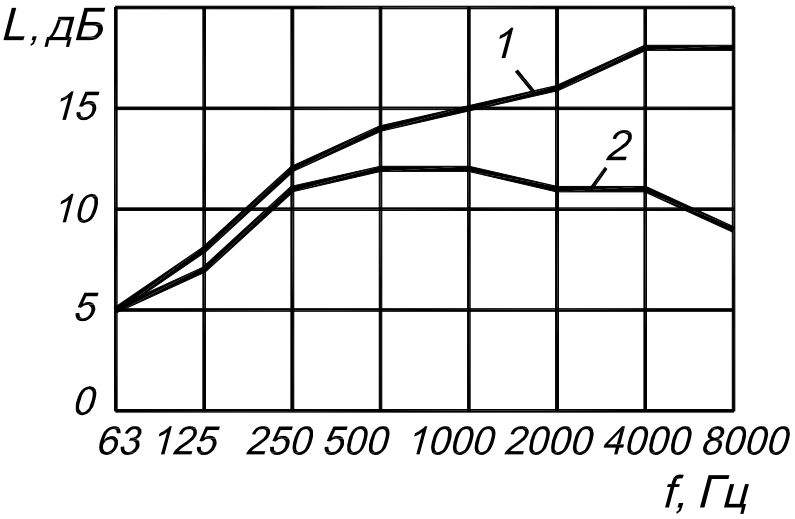


Рис. 7. Эффективность АЭ:
1 – без щели; 2 – со щелью высотой 300…500 мм

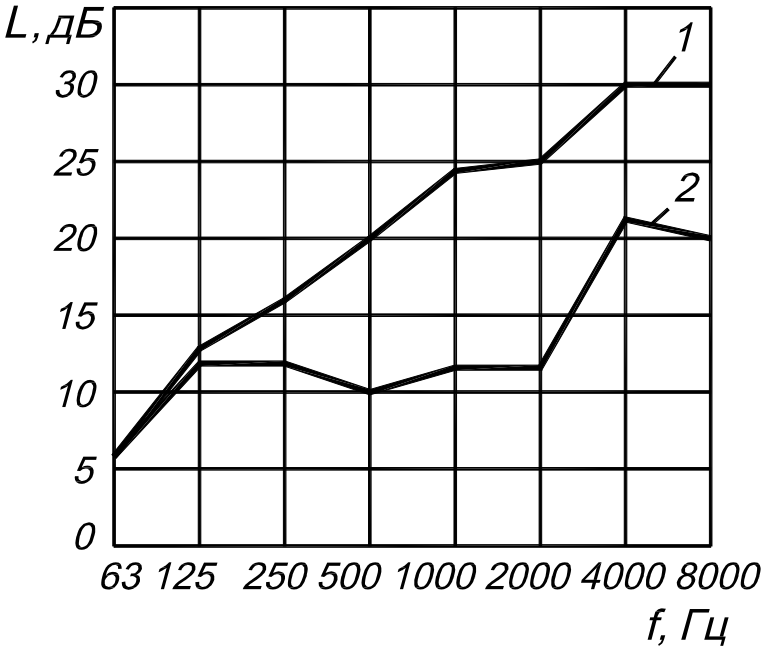


Рис. 8. Эффективность АЭ при измерениях:
1 – без проема, 2 – с проемом около 1 м^2.

На рис. 7 и 8 показаны результаты испытаний неправильно установленных АЭ. Если между АЭ и поверхностью имеется щель, то его эффективность снижается на 5-7 дБА. Если АЭ смонтирован с проёмом, то снижение эффективности достигает 10дБА. Звукоотражающие АЭ (например, из бетона) на 3-4 дБА менее эффективны чем АЭ изготовленные из звукопоглощающих конструкций. Опыт применения АЭ вдоль автомобильных и ж.д. дорог показывает, что они могут обеспечивать снижение до 15-20 дБА при соблюдении акустических и технологических требований.

Сегодня основная проблема АЭ - проблема монтажа, авторского надзора за монтажом, проверка эффективности АЭ в натурных условиях. Монтаж зачастую ведётся некачественно, авторский надзор отсутствует, а испытания установленных АЭ не проводятся. Результат нередко бывает печален.

Интересен и очень полезен опыт создания шумозащитных домов. Разработан проект такого жилого дома в Приморском районе по ул. Матроса Железняка. Дом длинной 300 м шириной 20м. является эффективным шумозащитным экраном от проходящей в 50м от него железной дороги. Он обеспечивает шумозащиту более 20 домов. Это направление шумозащиты очень перспективно для города.

Отметим большую эффективность использования выемок и насыпей для размещения транспортных магистралей. Эффективность этих сооружений может достигать 12-22 дБА. Перспективным представляется идея проложить для автотранспортных потоков специальные дороги, идущие по крышам вновь построенных домов, окружив эти трассы сплошными акустическими экранами.

В числе прочих мер снижение шума автотранспортных потоков и предприятий, можно упомянуть:

- вынос шумных предприятий за черту жилой застройки;
- рациональная организация движения транспорта;
- изменение скорости движения по магистралям;
- ликвидация “пробок”;
- проведение профилактических и капитальных ремонтов трамвайных путей;
- рациональная планировка вновь проектируемых жилых районов;
- использование новых видов транспорта (например, транспорт на электромагнитном подвешивании типа “Трансрапид”).
- создание автомобильных дорог со специальными шумозащитными компонентами покрытия.

6. Шум в строительстве.

Этот вопрос выделен в отдельный раздел т.к. число жалоб и претензий от населения на шум в строительстве растёт, но никаких реальных мер, кроме запрещения строительных работ в ночное время пока не принимается.

При проведении строительных работ используются машины: бульдозеры, самосвалы, автогрейдеры, компрессоры, краны, погрузчики, экскаваторы,

асфальтоукладчики, виброкатки и пр., оснащенные дизельными установками. Помимо машин при возведении искусственных сооружений используется сваебойное оборудование, также характеризующиеся шумом высокой интенсивности. Уровни звука, измеренные на расстоянии 7,5 м от этих машин и оборудования, достигают 75-100 дБА. Норма шума в жилой застройке в дневное время (в ночное время из-за повышенного шума строительные работы запрещены) составляет 55 дБА. Это означает, что повышенному шуму от строительства подвергается население, проживающее даже в домах, расположенных в сотнях метров от строительных площадок.

Учитывая высокий уровень шумовой нагрузки от строительной техники фактически невозможно достичь требуемой санитарной нормы акустического воздействия на жилую среду непосредственно на этапе начала строительства. Невозможно мгновенно внести какие-либо изменения в технологию строительства, подобрать менее шумные механизмы и установить приемлемую шумозащиту, когда строительство начато. Таким образом, основные подходы к оценке шумовой нагрузки от строительной техники и адекватные мероприятия по борьбе с шумом должны быть предусмотрены на стадии проектирования задолго до начала строительных работ

Строительные машины и механизм, автотранспорт, обслуживающий стройплощадки, характеризуются многообразием акустических характеристик. УЗ этих объектов лежат в диапазоне от 64 до 99 дБА. Шум сваебойного оборудования (дизель-молота) может достигать 103-105 дБА На рис. 9 показан внешний шум более 100 строительных машин и механизмов. Основная группа машин (40%) имеют УЗ равные 76-80 дБА, несколько меньшая группа (38%) 81-90 дБА. Относительно малошумные машины и механизмы (16%) 64-75 дБА. Отметим, что зарубежные машины фирм “Caterpillar” “Volvo”, “Komatsu” (без рабочих виброактивных органов – экскаваторы, погрузчики и др.) на 5-10 дБА менее шумные, чем отечественные.

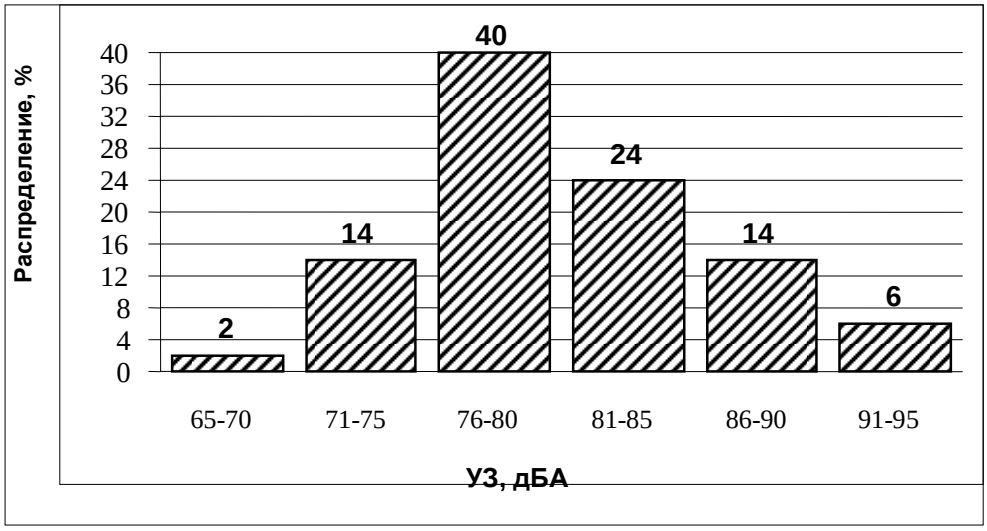


Рис. 9. Внешний шум строительных машин (выборка по 50 маркам)

Для выполнения работы по расчёту шума стройплощадок необходим акустический каталог, который в настоящее время отсутствует. Затруднён

также расчёт шума от стройплощадок. По всем методикам шум рассчитывается от отдельных источников; измерения показывают заниженные значения шума стройплощадок в жилой застройке. Это объясняется сложным характером затухания от стройплощадок. На рис. 10 показаны экспериментальные данные затухания стройплощадок.

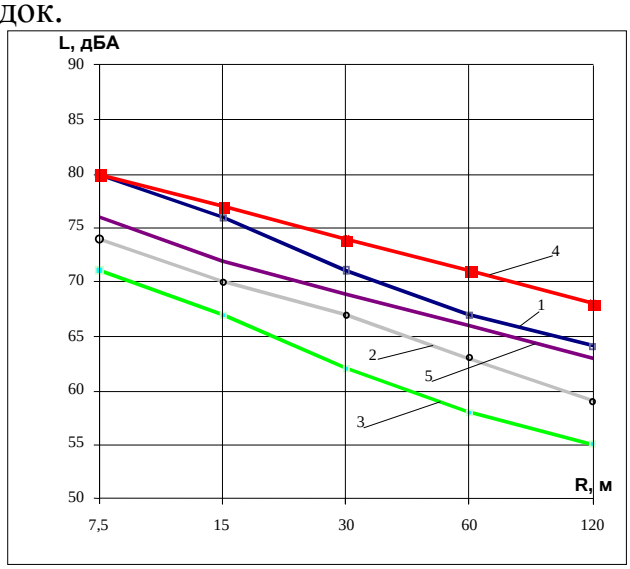


Рис. 10. Затухание звука от стройплощадок:
1 – укладка асфальта (число машин 5); 2 – земляные подготовительные работы; 3 – погрузочные работы; 4 – теоретический характер затухания (линейный источник); 5 – расчётное затухание (по предложенной формуле);

Полученные значения затухания не превышают 4 дБА удвоение расстояния (вместо 6 дБА для отдельных источников по имеющимся методикам).

Наиболее эффективным средством снижения шума стройплощадок, обеспечивающим снижение шума не менее чем на 10-15 дБА, является установка сборно-разборных АЭ, устанавливаемых на специальном фундаменте. На рис. 11 показан общий вид мобильного АЭ для снижения шума в строительстве, эффективность которого достигает 15 дБА.

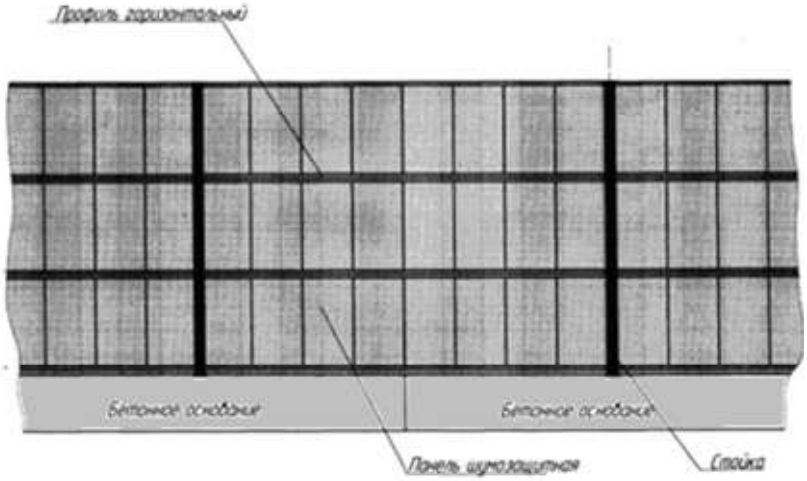


Рис. 11. Общий вид мобильного акустического экрана.

7. Проблемные вопросы расчётов шума при разработке рабочей документации

При выполнении расчётов шума возникают вопросы, которые нередко приводят к конфликтным ситуациям с контролирующими органами. Современная практика оценки уровней шума показывает, что эти сложности объясняются тем, что отсутствуют единые унифицированные методики и нормативные документы, закреплённые законодательно. При этом существует немалое разнообразие методик, приведённых в СНиПах, рекомендациях, методических указаниях, а также авторских методик, не гармонизированных между собой.

Расчёты по этим методикам не только приводят к разным результатам, но нередко различно трактуются проектными организациями и контролирующими органами. Приведём несколько характерных примеров последнего. Нет чёткого разделения ответственности за производимый шум. В условиях городской застройки несложно определить относительный вклад различных источников в общую картину шумообразования. Напрмер, в жилой застройке проходит транспортная магистраль, измеренные значения шума которой составляют 75дБА. Поблизости сооружается новая транспортная магистраль, вклад которой по расчётам составляет 60дБА. Суммарный уровень звука не изменится, но последняя не обеспечивает нормы шума в жилой застройке (55дБА). Налицо противоречие: контролирующие органы имеют полное право требовать снижения шума нового объекта до нормы (что приведёт к повышенным затратам), но жителям от этого легче не становится. Из этой ситуации есть казалось бы удобный для всех сторон выход – остекление домов, но у проектной организации формальное право сделать это остекление минимально эффективным (и максимально дешёвым). И что дальше?

Или ещё более яркий пример похожей ситуации. Проходит реконструкция автомагистрали. До реконструкции шум у фасадов жилых домов был 80 дБА, после реконструкции, благодаря установке АЭ, стал 65 дБА. Очевидно улучшение, но норма не достигнута. Отрицательное заключение обеспечено. Лучше ли жителям?

Рассмотрим более подробно проблемные вопросы при расчётах по видам источников шума.

1. <u>Автотранспортный шум.</u> Для оценки автотранспортного шума существует несколько основных законодательно закрепленных методик, содержащихся в следующих документах:

- СНиП II-12-77. Защита от шума /Госстрой России – М.: Стройиздат, 1978.
- 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.

- Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов / М. Минтранс, 1995.
- Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения / М. Минтранс, 2003.

При этом оценка шумовой характеристики по СНиП II-12-77 дает значительно завышенные значения, поэтому уже давно не используется, зато по этому документу зачастую оценивается распространение шума на местности. Остальные три документа предлагают методики как для оценки шумовой характеристики, так и для оценки распространения шума на местности. При этом результаты, полученные при применении данных методик, могут отличаться на 5-7 дБА.

2. <u>Железнодорожный шум</u> может оцениваться по:

- СНиП II-12-77. Защита от шума /Госстрой России – М.: Стройиздат, 1978.
- 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.

При этом – аналогично шуму автотранспорта – шумовая характеристика потоков железнодорожного транспорта оценивается по Справочнику, а распространение – по СНиПу.

3. <u>Расчет эффективности акустических экранов</u> может производиться по:

- СНиП II-12-77. Защита от шума /Госстрой России – М.: Стройиздат, 1978.
- 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.
- Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов / М. Минтранс, 1995.
- Пособие к СНиП II-01-95 по разработке раздела проектной документации "Охрана окружающей среды", М: ГП «ЦЕНТРИНВЕСТпроект», 2000.
- Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения / М. Минтранс, 2003.

При этом методики СНиПа, Справочника и Рекомендаций оценивают эффективность экрана в дБА, а Пособия и Методических рекомендаций – в дБ по спектру. Результаты, полученные по различным методикам, отличаются на величину до 7-10 дБ(дБА).

4. <u>Промышленный шум</u> может оцениваться по:

- СНиП II-12-77. Защита от шума /Госстрой России – М.: Стройиздат, 1978.
- "Каталог шумовых характеристик технологического оборудования" (к СНиП II-12-77), М. 1988.
- 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.
- Пособие к СНиП II-01-95 по разработке раздела проектной документации "Охрана окружающей среды", М: ГП «ЦЕНТРИНВЕСТпроект», 2000.
- СНиП 23-03-2003. Защита от шума /Госстрой России – М.: Стройиздат, 2004.

При этом СНиП II-12-77 заменяется на СНиП 23-03-2003, хотя СНиП II-12-77 уже вышел из обращения, а СНиП 23-03-2003 еще не утвержден. Пособие предлагает только расчет распространения шума. В Каталоге содержатся шумовые характеристики оборудования только в уровнях звука в дБА, что не очень удобно, поскольку промышленный шум обычно требуется оценивать по спектру. Поэтому обычно уровни звукового давления промышленного оборудования оцениваются по результатам измерений. Исключение составляет вентиляционное оборудование, шумовые характеристики которого содержатся в паспортах либо каталогах фирмы-производителя. СНиП 23-03-2003 указывает на необходимость разработки технических паспортов промышленного оборудования, в которых бы содержались его шумовые характеристики, однако, данная практика еще не получила распространения среди производителей оборудования.

5. <u>Распространение шума в помещении</u> оценивается по:

- СНиП 23-03-2003. Защита от шума /Госстрой России – М.: Стройиздат, 2004.
- СП 23-103-2003. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий / Госстрой России, 2003.

Основная проблема при применении этих документов заключается в том, что они позволяют оценить однослойные конструкции, оценка многослойных конструкций при этом значительно затруднена.

6. <u>Строительный шум</u> можно оценить по:

- СНиП II-12-77. Защита от шума /Госстрой России – М.: Стройиздат, 1978.

По данному СНиП оценивается только распространение шума. Каталога уровней шума строительного оборудования не существует.

Общие проблемы при оценке уровней шума:

- Важнейшей проблемой является выбор методики для оценки уровней шума из числа возможных.
- В методиках не содержится четких указаний на то, как следует оценивать шум – по уровням звука в дБА или по уровням звукового давления – в дБ.

- Иногда контролирующие органы требуют производить оценку уровней шума не только по эквивалентным, но и по максимальным уровням звука. Это имеет смысл при оценке непостоянного шума (железнодорожный транспорт, трамвай и т.п.), максимальные уровни которых содержатся в методических документах, для остальных видов шума определение максимальных уровней шума не представляется возможным.
- Бывает довольно затруднительно выбрать предельно допустимый уровень, относительно которого производится оценка. Это обусловлено тем, что все вышеуказанные документы содержат указания на нормы шума в различных помещениях, а также на поправки к таким нормам. Они зачастую отличаются от норм, приведенных в основном документе, используемом контролирующими органами, а именно СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, М, 1996.
- Ни в одной методике не содержится указаний, как определить размер санитарно-защитной зоны или разрыва по фактору шума.
- Затруднения вызывает расчет шума, проникающего внутрь помещений через форточку, поскольку определение звукоизоляции форточки по СНиП II-12-77 вызывает сомнения.
- Не определено понятие “территория, прилегающая к жилой застройке”, не указаны её границы.
- Нет ясности в применении отдельных формул (например, 15lgr или 20lgr и т.д.).

Всё это требует решения.

8. Опыт борьбы с шумом за рубежом

Эта тема требует отдельного и очень ёмкого доклада, поэтому изложение здесь будет в некоторой степени фрагментарно. Нам даже трудно себе представить в какой степени страны ЕС заражены “шумофобией”. В Лондоне – самом тихом мегаполисе мира жители района Хаукслау (около 200 тыс. жителей) в одном только мае месяце 2004года подали 3376 жалоб на шум. Во Франции (напомним) по проведенным опросам 40% населения считает повышенный шум настоящим бедствием. Европейский парламент объявил 2004г. – в Западной Европе – годом борьбы с шумом. По решению Европейской комиссии шум к 2020году будет снижен вдвое.

Вот цитата из научно – технического журнала “Magazin”: “Начиная с машины, которую Вы водите, и заканчивая самолётом, на котором Вы летите в отпуск или стиральной машиной и феном, которыми Вы пользуетесь ежедневно, мы все хотим, чтобы машины были более тихими, более безвредными для окружающих. Мы часто принимаем решения о покупке, основываясь на шуме, производимом изделием”.

Но и этого мало. Возникло и широко распространилось в США, Европе, Японии качество звука как характеристика изделия. В настоящее время звук, который издаёт изделие, является такой же важной характеристикой как и его мощность, цвет, вес, цена и т.д. Всё началось более 20 лет в автомобильной промышленности, где ведутся наиболее передовые работы над качеством звука. Причины заключаются в жёсткой конкуренции между производителем автомобилей. Поэтому, если издаваемый Вашим автомобилем звук лучше, у Вас больше шансов завоевать рынок".

В последние годы уделяется особое внимание качеству звука почти во всех сферах промышленности. Под качеством понимается не просто уровень, но приятность и раздражение, тональность, разборчивость речи и др.

Борьба с шумом ведётся по многим направлениям. В 70-х годах XX в. Законы о шуме были приняты в США, Японии, Англии, Франции, Германии, Нидерландах, Италии и др. Но этим там не ограничились. Законы о шуме имеет почти каждый город. И это не паллиативные Законы (типа принятых в СПБ, Москве и др. городах РФ в последние 5 лет "Законах о тишине в ночное время") – это очень серьёзные законодательные акты. Например, в принятом в 1972 году "Законе о шуме Нью-Йорка" рассмотрено:

- ограничение различного рода источников (компрессоры, транспорт);
- запрещение источников ненужного шума (звуковая реклама, звуковые сигналы, строительные работы и т.д.);
- система выдачи разрешений и сертификационных работ;
- процедура проверки, экспертиза и рассмотрение жалоб на шум;
- система штрафов за нарушение Закона.

Обратим внимание серьёзное отношение к этой проблеме властей. В городе Курбевуа (70тыс. жителей), являющимся пригородом Парижа, снижение транспортного шума имеет высокий приоритет. Мэр Курбевуа в его усилиях по гарантиям здоровой ОС для граждан зарегистрировал офицера полиции, как официальное лицо для оценки шумового воздействия. После прохождения специального обучения, сдачи экзаменов и приведения к присяге, офицер полиции, вооружённый инспекторским шумомером ф. "Брюль и Къер", полностью уполномочен выявлять и штрафовать нарушителей шума.

К этой проблеме приковано не только внимание законодателей и властей, но и общественности (имеются многочисленные организации), средств массовой информации.

Европейский Парламент также уделяет этой проблеме повышенное внимание. Ежегодно издаются директивы ЕС, направленные на регламентацию измерительных процедур, мер и средств борьбы с шумом. 21 мая 2002/49/ЕС Европарламент принял документ по снижению шума в окружающей среде. В этом документе требуется составление карт шума и разработки мер борьбы с шумом:

- в городах с населением более 100тыс. человек;
- крупных дорог с 8000 машин в день (3млн в год);
- крупных железных дорог пропускающих 30тыс. поездов в год;
- крупных аэропортов (50тыс. в год).

Самая последняя новинка европейских городов – звуковые карты, которые позволяют не только видеть шум, но и слышать, является очень серьёзным документом для углублённого изучения шума.

Очень серьёзную роль играет разработка стандартов ИСО по шуму. Их число велико, в настоящее время в нашей стране принята политика принятия стандартов ИСО в качестве национальных. Это не может не тревожить, т.к. серьёзная экспертиза этих документов в плане их гармонизации с существующей отечественной документацией практически отсутствует.

Большую роль в решении проблемы шума играют специальные программы. Например, программа “Тихое движение” в Германии ставит целью снизить шум на 3 дБА за счёт новых покрытий автодорог. Уже много лет работающая в Германии программа “Голубой ангел” сыграла большую роль в создании малошумных строительных машин. В Англии в рамках программы “Инициатива бесшумного самолёта” компании “Боинг”, ”Ролс-Ройс” и др. разработали концепцию бесшумного самолёта, неслышимого за пределами внешних границ аэропорта.

Очень серьёзной мерой борьбы с шумом в городах являются повсеместно устанавливаемые системы мониторинга. Масштаб этого мероприятия беспрецедентен: аэропорты, шумные перекрестки, автобаны, стройки и т.д.

Говоря о технических средствах борьбы с шумом отметим, несколько основных направлений:

- разработка новых видов малошумного транспорта (Парижское метро на пневмоколёсах, транспорт на электромагнитном подвешивании типа “Трансрапид”);
- установка звукоизолирующего остекления (тратятся колоссальные средства);
- установка акустических экранов;
- сооружение тоннелей;
- активная шумозащита;
- новые материалы.

Остановимся на последних мероприятиях. Установка АЭ приняла массовый характер. К концу прошлого столетия только на автомобильных дорогах США и Германии было установлено по 2 тыс. км АЭ, а в Японии – 4тыс км. Суммируя эти данные можно полагать в мире установлено порядка 100тыс. км. АЭ. Экраны в виде барьеров, насыпей, изготавливаемые из бетона, асбоцемента, дерева, кирпича, отходов, автомобильных шин, металла алюминия, пластиков. В последнее время поступает информация, что всё чаще для снижения шума автотранспортных потоков применяются тоннели. В Париже в районе близ Версаля сооружаются два тоннеля: Восточный (10км) и Западный (7,5км). Конечно, размещение автотранспортных потоков в тоннелях – кардинальное решение борьбы с шумом (остаётся снизить шум вентиляционных систем) – полученное снижение шума достигает 20-25дБА, что как минимум в 2 раза эффективнее АЭ.

Активные средства борьбы с шумом также находят большое применение. Эффективность этих средств в низкочастотном диапазоне достигает 10-15дБ, что зачастую невероятно важно (звукоизоляция плохо работает на низких частотах). Известные примеры электронной борьбы с шумом мощных агрегатов, трансформаторов и пр. Эти средства устанавливаются в салонах автомобилей, лифтах, самолётах и т.д. За этими средствами большое будущее.

И в заключении о новых материалах. На рис. 12 показан общий вид нового резонансного звукопоглотителя, показанного на международном конгрессе (2007) по борьбе с шумом во Флоренции. Эффективность этой системы показана на рис. 13. Недорогое, технологическое и чрезвычайно эффективное средство для снижения отражённого звука в помещениях найдёт широчайшее распространение в архитектурной акустике.

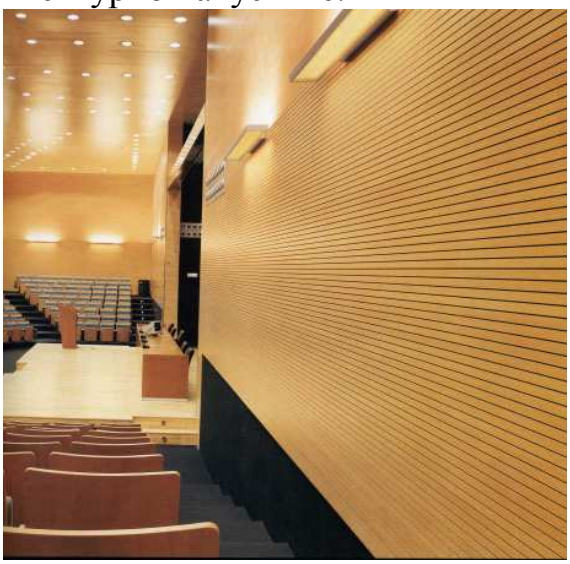


Рис. 12. Общий вид нового резонансного звукопоглотителя

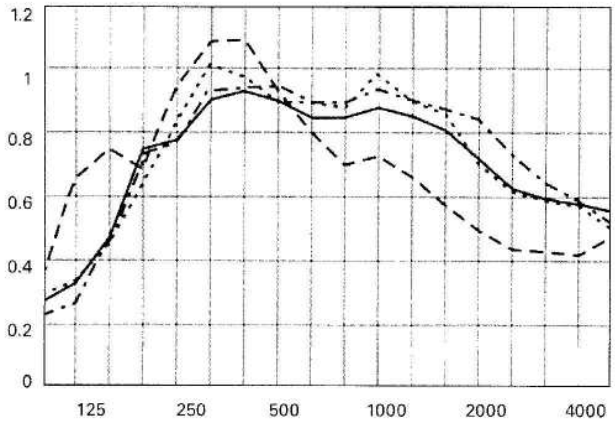


Рис. 13. Эффективность элементов звукопоглощения

9. Будущее борьбы с шумом

В ближайшем и обозримом будущем будут, вероятно, развиваться все направления борьбы с шумом, о которых упоминалось выше. Следует ожидать самого широкого развития машинного проектирования шумозащиты, ещё более

широкого использования активных методов борьбы с шумом, появления новых методов измерений. Большие перспективы у комбинированных активно-пассивных систем шумоглушения. Будут создаваться банки данных по шуму, более широко использоваться мониторинг акустического загрязнения окружающей среды. Сегодня понятно, что более глубокое обесшумливание машин, механизмов, транспортных средств требует и более широкой законодательной поддержки.

Но вместе с тем ясно, что скорость снижения шума будет замедляться. Мы вступаем в такую область, где каждый новый децибел снижения шума требует всё бóльших затрат (рис. 14). Скорее всего, мы столкнёмся с таким явлением, как «*минимально достижимый шум*», который нельзя уменьшить без изменения принципа работы устройства или без очень больших затрат. В конечном счёте, все усилия по шумозащите будут определяться экономическими соображениями, т.е. теми затратами, на которые будет готово пойти общество.

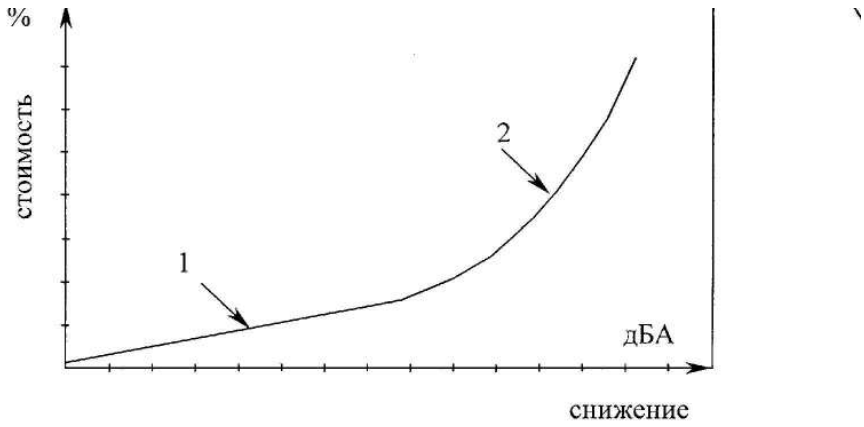


Рис. 14. Связь стоимости (%) со снижением шума (дБА):
1 – участок прямой, 2 – экспонента.

Интересно проследить, как изменялись (по годам) уровни шумового воздействия в XX веке и какой прогноз этих изменений можно сделать для первых десятилетий XXI века. На рисунке 15 приведен график изменения шума от конца 50-х и начала 60-х годов прошлого века и на начало XXI века для отдельных изделий.

Отметим достаточно резкое (на 10…20 дБА) снижение шума в 1960-80-е годы после появления первых Законов о шуме. Это объясняется и известным всем акустикам правилом «первых» дБ: первые дБ снижения даются легко, но чем дальше, тем снижение шума связано с большими трудностями из-за повышенной стоимости.

Если продлить кривые шума, то легко понять, что для автомобилей, реактивных пассажирских самолетов, строительно-дорожных машин и др. изделий наметилась и легко прослеживается тенденция очень медленного уменьшения шума (около 3 дБА каждые 7…10 лет). Эта тенденция подтверждается и принимаемыми, например, в ЕС документами по ограничению шума. При этом число источников шума в ближайшие годы будет

неуклонно возрастать, что позволяет утверждать: в ближайшие 2…3 десятилетия резкого снижения шума не следует ожидать, а акустическое загрязнение становится все более заметным негативным фактором загрязнения окружающей среды.

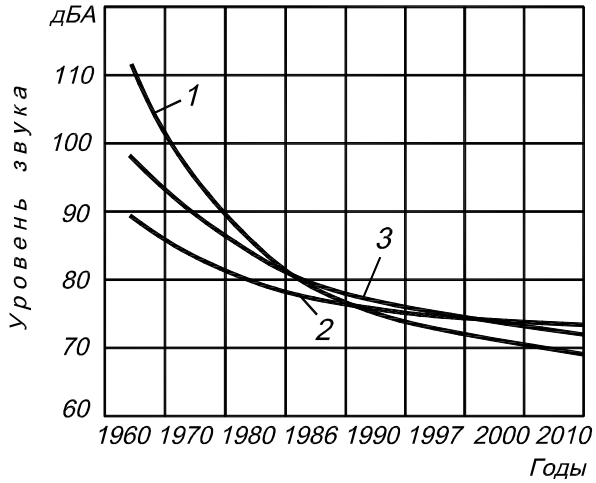


Рис. 15. Изменение шума во времени:
1 – реактивные пассажирские самолеты; 2 – легковые автомобили;
3 – строительно-дорожные машины

Литература

1. СНиП II-12-77. Защита от шума /Госстрой России – М.: Стройиздат, 1978.
2. 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.
3. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов / М. Минтранс, 1995.
4. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения / М. Минтранс, 2003.
5. Пособие к СНиП 11-01-95 по разработке раздела проектной документации "Охрана окружающей среды", М: ГП «ЦЕНТРИНВЕСТпроект», 2000.
6. "Каталог шумовых характеристик технологического оборудования" (к СНиП 11-12-77), М. 1988.
7. СНиП 23-03-2003. Защита от шума /Госстрой России – М.: Стройиздат, 2004.
8. СП 23-103-2003. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий / Госстрой России, 2003.

ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОВЫШЕННОГО ШУМА

Цукерников И.Е.
Научно-исследовательский институт строительной физики

В настоящее время более 20% жителей городов развитых государств, в том числе и в Российской Федерации, страдают от повышенных шумовых, инфразвуковых и ультразвуковых воздействий (далее – акустическое воздействие), которые вызывают серьёзные заболевания. Масштабы акустического загрязнения и тенденции его роста в Российской Федерации вызывают тревогу и требуют принятия безотлагательных мер. Достаточная законодательная и нормативно-техническая база стимулируют проведение необходимых исследовательских, проектных и практических работ по снижению акустического загрязнения окружающей среды. В докладе рассмотрено современное состояние дел в Российской Федерации в части законодательства и нормативно-технической документации в области защиты населения от повышенного акустического воздействия.

1. ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА

1.1. Федеральное законодательство

В настоящее время в законодательстве Российской Федерации содержатся отдельные нормы по охране окружающей среды от акустического загрязнения и защите человека от вредного акустического воздействия.

Так, акустическое загрязнение окружающей среды в соответствии с Федеральным законом от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» является одним из видов негативного воздействия на окружающую среду. Этим же законом установлены понятия нормативов допустимого воздействия на окружающую среду, а также обязанность органов государственной власти различных уровней принимать меры по предупреждению и устранению негативного воздействия на окружающую среду.

В Федеральном законе от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» содержится определение вредного физического воздействия на атмосферный воздух, к которому относится, в том числе, акустическое воздействие, а также устанавливаются предельно допустимые нормативы такого воздействия.

Федеральный закон от 30 марта 1999 года № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» регулирует отношения в области реализации предусмотренных Конституцией РФ прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду. В нем установлены санитарные ограничения к показателям факторов, негативно воздействующих на человека и правовые нормы по их обеспечению.

Вместе с тем положения указанных законов касаются всех факторов среды обитания, которые оказывают или могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду, состояние здоровья человека и/или будущих поколений. В этой связи в них установлены наиболее общие требования, которые применительно к акустическим факторам носят ограниченный характер [1]. В связи с этим объективно необходимо принятие федерального закона, ограничивающего шумовое воздействие на здоровье граждан. Несколько вариантов проекта такого закона находятся в настоящее время в комитете по экологии Государственной думы Федерального собрания Российской Федерации. Содержание и основные положения одного из них описаны в работе [1].

Во многих государствах имеются законы, ограничивающие шумовое воздействие на здоровье граждан, особенно находящихся в больницах, санаториях, домах отдыха, пансионатах, домах-интернатах, а также при строительстве, размещении и эксплуатации аэродромов и взлетных площадок. Такие законы существуют в Германии, Франции, Италии, Югославии, Венгрии, Словакии, США, Японии.

1.2. Региональные законодательные акты

В отсутствии специального федерального закона, регулирующего правовые отношения в области акустического воздействия, субъекты Российской Федерации пытаются урегулировать этот вопрос на региональном уровне. В качестве примеров можно привести закон г. Москвы от 12.07.2002 № 42 «Об административной ответственности за нарушение покоя граждан и тишины в ночное время в городе Москве» (который с 01.01.2008 г. в связи с введением «Кодекса города Москвы об административных правонарушениях» [2] носит название «О соблюдении покоя граждан и тишины в ночное время в городе Москве»), закон г. Санкт-Петербурга от 12.01.2004 № 793-2 «Об административной ответственности за нарушение покоя граждан и тишины в ночное время на территории Санкт-Петербурга». Главой администрации Н. Новгорода принято распоряжение от 08.09.1994 № 1968-р «О платежах за шумовое воздействие окружающей природной среды в г. Н. Новгороде».

В законе г. Москвы установлен период ночного времени с 23 до 7 часов, дан перечень помещений и территорий, защищаемых от нарушения покоя граждан и тишины в ночное время, указаны действия, нарушающие покой граждан и тишину в ночное время, а также установлена административная ответственность за рассматриваемое нарушение. Перечень помещений и территорий, защищаемых от нарушения покоя граждан и тишины в ночное

время включает помещения объектов проживания, отдыха, прохождения стационарного лечения граждан и пребывания детей, места общего пользования указанных объектов и прилегающие к этим объектам территории, а также площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов. К действиям, нарушающим покой граждан и тишину в ночное время на защищаемых территориях и в защищаемых помещениях в городе Москве отнесены любые действия, повлекшие нарушение покоя граждан и тишины в ночное время. Это использование различных звуковоспроизводящих устройств, и устройств звукоусиления, звуковых сигналов охранной сигнализации автомобилей, пиротехнических средств, производство ремонтных, строительных, разгрузочно-погрузочных работ, игра на музыкальных инструментах, крики, свист, пение, а также иные действия, сопровождающиеся звуками. Совершение действий, нарушающих тишину и покой граждан в ночное время в соответствии с [2] влечет предупреждение или наложение административного штрафа в следующих пределах: на граждан - в размере от пятисот до одной тысячи рублей; на должностных лиц - от двух тысяч до четырех тысяч рублей; на юридических лиц - от двадцати тысяч до сорока тысяч рублей.

1.3. Техническое регулирование

Определенные требования к акустическим характеристикам объектов технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации) предполагается установить в технических регламентах, принимаемых федеральным законом или постановлением Правительства РФ в соответствии с федеральным законом от 27 декабря 2002 года №184-ФЗ «О техническом регулировании». Действующий вариант программы разработки технических регламентов, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 28 декабря 2007 г. №1930-р, содержит 41 документ, в которых должны быть установлены требования, обеспечивающие в том числе безопасность излучений и механическую безопасность. Среди них такие регламенты как «О безопасности машин и оборудования», «О безопасности колесных транспортных средств», «О безопасности железнодорожного подвижного состава», «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта», «О безопасности внутреннего водного транспорта и связанной с ним инфраструктуры», «О безопасности морского транспорта и связанной с ним инфраструктуры» и прочие, устанавливающие требования по ограничению шума оборудования и транспортных средств конкретного типа. Так, например, в уведомлении о завершении публичного обсуждения проекта технического регламента «О безопасности колесных транспортных средств» отмечается, что он содержит положения, не предусмотренные международными стандартами - Правилами ЕЭК ООН к внутреннему шуму, которые учитывают особенности эксплуатации оборудования и транспортных средств в Российской Федерации.

2. Нормативно-техническая база

Нормативно-техническая база в области регулирования факторов акустического воздействия включает санитарные нормы (СН), санитарные правила и нормы (СанПиН), межгосударственные (ГОСТ) и национальные (ГОСТ Р) стандарты, строительные нормы и правила (СНиП) и своды правил (СП).

2.1. Нормативные документы

Федеральными нормативными документами, ограничивающими акустическое воздействие на человека являются: СН 2.2.4/2.1.8.562 [3] для шума, СН 2.2.4/2.1.8.583 [4] для инфразвука, СанПиН 2.2.4/2.1.8.582 [5] для ультразвука. Все нормы были введены одновременно в 1996 г. Устанавливаемые ими требования основаны на исследованиях, выполненных в основном во второй половине прошлого века. Отдельные принципиальные положения указанных нормативных документов не учитывают разногласия, возникшие в процессе их применения, и не соответствуют современным мировым требованиям. Анализ данных положений и предложения по их уточнению даны в работе [6]. Они включают:

– **для шума** – предложения исключить из СН 2.2.4/2.1.8.562 поправки на тональный и импульсный шум и уточнить определение импульсного шума, посредством удаления из него требования, чтобы уровни звука, измеренные соответственно на временных характеристиках "импульс" и "медленно", отличались не менее чем на 7 дБА. Первое предложение связано с тем, что в мировой практике (международные стандарты ИСО 9612 [7], ИСО 1996.1 [8]), введенной в России посредством изменения к ГОСТ 12.1.050 [9] и ГОСТ 31296.1 [10], принято учитывать импульсность и тональность шума посредством корректировки результатов измерений, а не норм. Такой подход более оправдан, так как импульсный и тональный шум могут действовать лишь в течение некоторого промежутка, меньшего полного интервала времени оценки, а нормы распространяются на весь интервал времени оценки. Необходимость уточнения определения импульсного шума вызвана тем, что указанное требование не позволяет квалифицировать отдельные группы сигналов длительностью менее 1 с в соответствии с классификацией, введенной ГОСТ 12.1.003 [11]. В силу действующего определения они не могут быть отнесены ни к импульсным шумам, ни к прерывистым шумам, длительность которых должна быть более 1 с. Кроме того, в МЭК 61672-1 [12] (вводимом в России в качестве национального стандарта ГОСТ Р 53188.1 [13] с 01.12.2009) отмечена непригодность

временной характеристики "импульс" для оценки риска нарушения слуха и определения «импульсного характера» шума.

– **для инфразвука** – предложение исключить из СН 2.2.4/2.1.8.583 возможность одночисловой оценки инфразвукового воздействия посредством сравнения с нормами только уровня звукового давления LpLin, измеренного по шкале шумомера «линейная». Как показано в [6], такая оценка во-первых метрологически не обоснована, во-вторых может приводить к неверным результатам, когда измеренное значение LpLin оказывается меньше нормативной величины, а уровни звукового давления в октавных полосах инфразвукового диапазона превышают нормы. Кроме того, необходимо исправить редакционную ошибку в определениях постоянного и непостоянного инфразвука;
– **для ультразвука –** предложение ограничить нормируемый частотный диапазон контактного ультразвука тремя низшими октавными полосами со среднегеометрическими частотами 16 кГц, 31,5 кГц и 63 кГц, поскольку ни в России, ни за рубежом нет поверяемой аппаратуры для диапазона частот, выше 90 кГц. Кроме того, не удалось найти в литературных источниках факты вредного воздействия контактного ультразвука для октавных полос со среднегеометрическими частотами, выше 63, кГц.

2.2. Технические документы

Технические документы (ГОСТ и ГОСТ Р, СНиП и СП) регламентируют требования к методам измерения и оценки факторов акустического воздействия. В настоящее время в Российской Федерации действует более 150 стандартов, СНиП и СП. В последние 15 лет ведется активная работа по гармонизации отечественной базы стандартов с международными и европейскими стандартами. В табл. 1 дано сопоставление числа межгосударственных и национальных стандартов с международными и европейскими стандартами в соответствии с классификацией областей стандартизации, принятой техническим комитетом ТК 358 «Акустика». Приведенные данные позволяют оценить уровень гармонизации и тенденции предстоящих работ в этом направлении. Наиболее гармонизированными являются стандарты на методы определения шумовых характеристик машин и мест пребывания людей (строки 2, 3 табл. 1), стандарты на средства защиты от шума и методы определения их эффективности (строки 5,6) и стандарты на методырасчета, оценки и планирования мероприятий по снижению шума на местности (строка 13). Уровень гармонизации этих стандартов превышает 60 %. Не гармонизированы стандарты на шум железнодорожного, воздушного, морского и речного транспорта, а также на шум в строительстве и акустические материалы.

Таблица 1

Сопоставление числа отечественных (ГОСТ и ГОСТ Р), международных (ИСО) и европейских (ЕН) стандартов

Назначение	ГОСТ, ГОСТ Р	ИСО	ЕН
Общие физические и методические аспекты акустики	6 (1)*	21	12 (5)
Общие методы определения звуковой мощности	12 (12)	14	12 (12)
Воздействие звука на людей	13 (8)	13	13 (11)
Аудиометрия	–	17	17 (13)
Средства индивидуальной защиты от шума	9 (3)	5	5 (2)
Защита от шума с помощью экранов, кабин, кожухов и глушителей	15 (10)	11	6 (6)
Шум автотранспорта	10 (2/4**)	10	8 (2)
Шум железнодорожного транспорта	2 (–)	2	2 (2)
Авиационный шум	10 (–)	2	1 (-)
Шум, излучаемый морскими и речными судами	2 (–)	3	2 (2)
Шум, излучаемый различными машинами, инструментом и оборудованием	45 (14/4***/1****)	47	25 (14)
Шум в строительстве	5 (–)	36	24 (17)
Шум на местности	6 (6)	9	1 (1)
Акустические материалы	6 (–)	4	3 (2)
Виброакустика	–	6	4 (4)
Всего	141 (56)	200	135 (93)

* В скобках дано число стандартов, гармонизированных с международными (ИСО, МЭК) или европейскими стандартами

**Под дробью указано число стандартов, гармонизированных с международными правилами ЕЭК ООН

***Под дробью указано число стандартов, гармонизированных с международными МЭК.

****Указано число стандартов, гармонизированных с европейскими стандартами

Общий уровень гармонизации европейских стандартов выше, чем отечественных. Исключение составляют методы оценки авиационного шума и шума на местности.

За последние два года введены в действие 17 межгосударственных и 11 национальных стандартов. 27 из них гармонизированы с международными

стандартами ИСО и один с европейским стандартом. Среди них все шесть стандартов, касающихся шума, воздействующего на человека на местности.

Два из них ГОСТ 31295.1 [14] и ГОСТ 31295.2 [15] устанавливают метод расчета затухания звука при его распространении на местности. Первый - вследствие поглощения звука в атмосфере при различных метеорологических условиях. Второй - вводит общий технический метод расчета затухания звука, применяемый для прогнозирования уровней шума на расстоянии от источников шума с известным излучением при метеорологических условиях, способствующих распространению звука. Метод позволяет производить расчеты в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 63 Гц до 8000 Гц для точечного или группы точечных источников. При расчетах учитывается геометрическое расширение звуковой волны, поглощение звука атмосферой, влияние земли, отражение звука от поверхностей, экранирование препятствиями. В приложении приведена дополнительная информация по распространению звука в жилых массивах, сквозь листву и в промышленных зонах.

Два стандарта устанавливают правила описания и методы измерения и оценки шума на местности. ГОСТ 31296.1 [10] определяет основные величины, используемые для описания шума на селитебной территории, и устанавливает основные методы и процедуры оценки шума. ГОСТ 31296.2 [16] вводит методы определения уровней звукового давления прямыми измерениями, экстраполяцией по результатам измерений или расчетом и является основой для оценки шума на местности.

ГОСТ 31297 [17] устанавливает технический метод определения уровней звуковой мощности промышленных предприятий и установок с множественными источниками шума с максимальными линейными размерами площадки предприятия ориентировочно от 16 до 320 м. Стандарт предназначен для определения уровней звуковой мощности предприятий, где основная часть оборудования работает вне помещений, например нефтехимических установок, камнедробильных установок и каменоломен, надшахтных копров. Он применим также для предприятий, на которых имеются установки с непрерывным или циклическим движением, например канатные скребковые экскаваторы или конвейеры, измерение шума которых может быть проведено по меньшей мере на одном рабочем цикле. Совместно со стандартами на методы определения уровней звуковой мощности источников шума, перечисленными в ГОСТ 23941 [18], данный стандарт позволяет получить исходные данные для оценки уровней звукового давления в окружающей среде, например по ГОСТ 31296.2.

ГОСТ 31301 [19] устанавливает мероприятия (методики, процедуры) по управлению шумом преимущественно установок и производств, работающих под открытым небом. Стандарт применяют в целях установления требований к мероприятиям по управлению шумом при проектировании новых и модернизации (в том числе расширении) существующих установок, для распределения ответственности между потребителем, подрядчиком и

поставщиком оборудования и установления требований к шуму конкретного оборудования исходя из требований к шуму установки.

На базе ГОСТ 31296.1, ГОСТ 31296.2 и ГОСТ 31295.2 разработан ГОСТ Р 53187 [20] с датой введения 1 декабря 2009 г., устанавливающий показатели и правила проведения шумового мониторинга в городах при комплексном воздействии всех источников шума, а также при воздействии отдельных подвижных и стационарных источников.

Перечисленные стандарты совместно со СНиП 23-03 [21] и СП 23104 [22] образуют достаточный комплекс технических документов для организации и проведения измерения и оценки шума, воздействующего на человека в среде его проживания, составления шумовых карт селитебных территорий, выделения на них зоны акустического дискомфорта с указанием в их пределах данных по числу людей или жилых единиц, подверженных воздействию повышенного шума и разработке мероприятий по защите населения от шума.

Литература

1. Н.И. Иванов, И.Е. Цукерников, И.Л. Шубин. О разработке федерального закона «Об охране окружающей среды от акустического загрязнения и защите человека от вредного акустического воздействия». Труды науч.-практич. конф. с международным участием «Строительная физика в 21-м веке» НИИСФ, М.: 2006.
2. Кодекс города Москвы об административных правонарушениях. Закон города Москвы от 21 ноября 2007 года N 45.
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
4. СН 2.2.4/2.1.8.583-96. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки.
5. СанПиН 2.2.4/2.1.8.582-96. Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения.
6. И.Е. Цукерников. О требованиях к акустическим параметрам в проекте специального технического регламента «О требованиях к безопасности объектов технического регулирования, необходимых для обеспечения санитарно – эпидемиологического благополучия на территории Российской Федерации». Стандарты и качество, 2006, 6, с.20-22.
7. ISO 9612:1997. Acoustics - Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment.
8. ISO 1996-1:1982. Acoustics - Description and measurement of environmental noise - Part 1: Basic quantities and procedures.
9. Изменение №1 ГОСТ 12.1.050 ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах.

10. ГОСТ 31296.1-2005 (ИСО 1996-1:2003). Шум. Описание, измерение и оценка окружающего шума. Часть 1. Основные величины и процедуры оценки.
11. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
12. IEC 61672-1:2002. Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications.
13. ГОСТ Р 53188.1-2008 (МЭК 61672:2002) Шумомеры. Часть 1. Технические требования (дата введения – 01.12.2009).
14. ГОСТ 31295.1-2005 (ИСО 9613-1:1993). Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой.
15. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996). Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.
16. ГОСТ 31296.2-2006 (ИСО 1996-1:2003). Шум. Описание, измерение и оценка окружающего шума. Часть 2. Определение уровней звукового давления.
17. ГОСТ 31297-2005 (ИСО 8297:1994). Шум. Технический метод определения уровней звуковой мощности промышленных предприятий с множественными источниками шума для оценки уровней звукового давления в окружающей среде.
18. ГОСТ 23941-79. Шум. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования.
19. ГОСТ 31301-2005 (ИСО 15664:2001). Шум. Планирование мероприятий по управлению шумом установок и производств, работающих под открытым небом.
20. ГОСТ Р 53187. Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий.
21. СНиП 23-03-2003. Строительные нормы и правила РФ. Защита от шума.
22. СП 23-104-2004. Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена.

ACTIONS PLANS FOR URBAN NOISE REDUCTION AND CONTROL IN EUROPE

Sergio Luzzi

INTRODUCTION

In most of the European cities annoyance is cause of discomfort and strongly affects health and quality of life of urban citizens, as it interferes with sleeping, resting, studying, and personal communication. Chronic exposure to noise is associated with increased risk of heart disease, hearing impairment and impacts on mental health, and these effects may be enhanced by interaction with other environmental stressors, such as air pollution.

The European Directive 2002/49/EC was adopted to define a common approach to avoid, prevent or reduce the harmful effects due to exposure to noise.

This Directive concern "environmental noise" that means unwanted or harmful outdoor sound created by human activities, including noise emitted by road traffic, rail traffic, air traffic, and from sites of industrial activity.

In recent years, new noise control measures, calculation models, and design methods have been developed in urban areas. In environmental policies, noise problems have been paid great attention at various levels. The importance of soundscape, acoustic comfort and sound environment design have been widely recognised, being this a step further from simply reducing urban noise level.

The paper moves from the evidence that in European countries there are now different national legislation disposals concerning environmental noise, which have to be respected as well as the Directive disposals. This situation leads to a uneasy coexistence of noise plans in the same area and to consider harmonization methods for noise action planning as a general need.

NOISE AND QUALITY OF LIFE IN CITIES

Cities occupy only 2% of the world’s surface but consume up to 75% of natural resources. Europe is highly urbanised: almost three quarters of European citizens live in urban areas today, and urban dwellers are expected to increase to represent 80% of the total population by 2020. In many respects the European Union can be seen as a Union of cities, about 1600 settlements with over 50 000 inhabitants are considered as functional urban areas. Towns and cities are the places where environmental challenges are focused and where quality of life is determined considering socio-economic and political factors. Quality of life and quality of the environment are strictly connected, reflecting if cities are functioning or do not. Towns and cities are also the places where the challenges of sustainable urban development must be addressed.

Some extimations of the costs of noise have been developed. In Norway, the "cost" of one extremely annoyed person has been estimated to be approximately 1.600 € per year. The annoyance caused by road traffic noise, corresponds to a cost of

more than 800 million €. This relationship can be used for cost-benefit calculations. In Germany approximately 3 % of acute myocardial infarctions per year may be attributed to road traffic noise. Also in Germany 60 % of the population are adversely affected by road traffic noise, and 10 % are highly affected. In the Netherlands, 29 % of the participants in a national survey are troubled by road traffic noise, The most troublesome seems to be noise from transport related sources

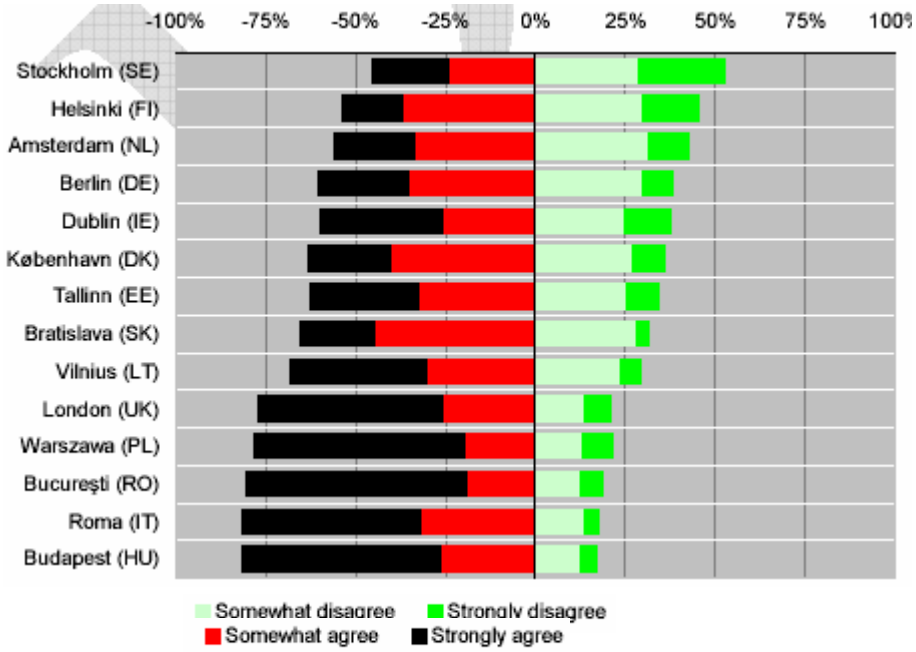


Figure 1. Perception of Noise as a “big problem” in some European Capitals

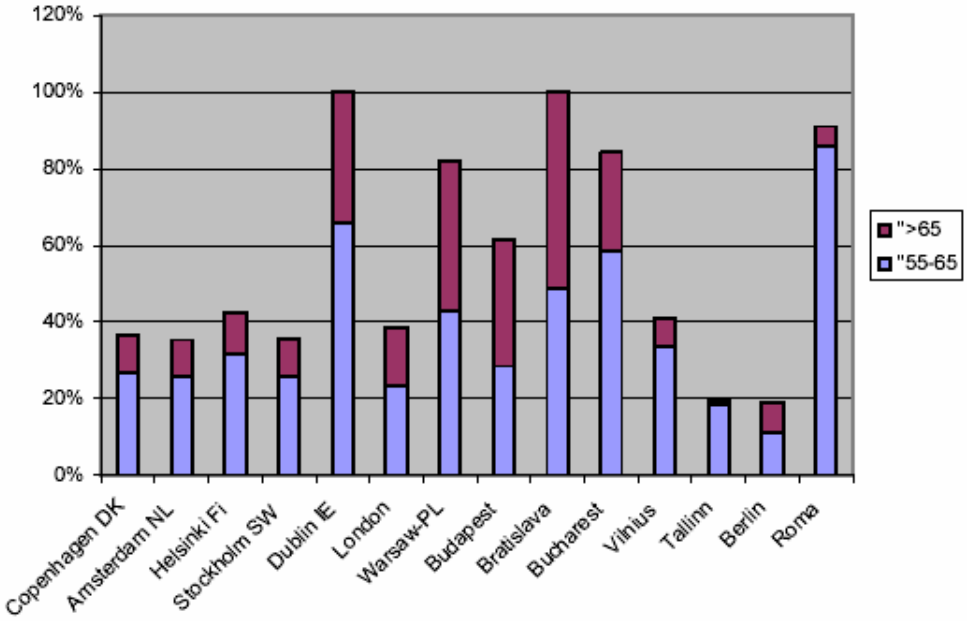


Figure 2. Sound traffic level in some European Capitals

European cities have become increasingly "loud". Today not only traffic noise, but also leisure and neighbourhood noise affects people, since noise surrounds them nearly 24 hours a day.

Road traffic is the dominant source of exposure in major urban areas. In 2006, the EU Thematic Strategy on the Urban Environment reported that exposure to continuous road traffic noise affected:

- 160 million people in the EU countries (40% of the population) at a level above 55 dB(A)- associated with significant annoyance;
- 80 million people (20% of the population) were exposed to continuous road traffic noise above 65 dB(A), associated with cardiovascular effects;

Continuous night-time road traffic noise affects 120 million people at levels above 55 dB(A), the threshold at which World Health Organisation considers sleep may be disturbed.

The Working Group Noise of EUROCITIES sent out a Noise Questionnaire to all member cities of EUROCITIES in 2008. The figure 3 shows that about 57% of the inhabitants of responding European cities are living in areas with noise levels above 55 dB. And even approximately 9% more than 65 dB. Extrapolations of these percentages all over Europe suggest that more than 210 million people in Europe are exposed to levels above 55 dB and 38 millions above 65 dB.

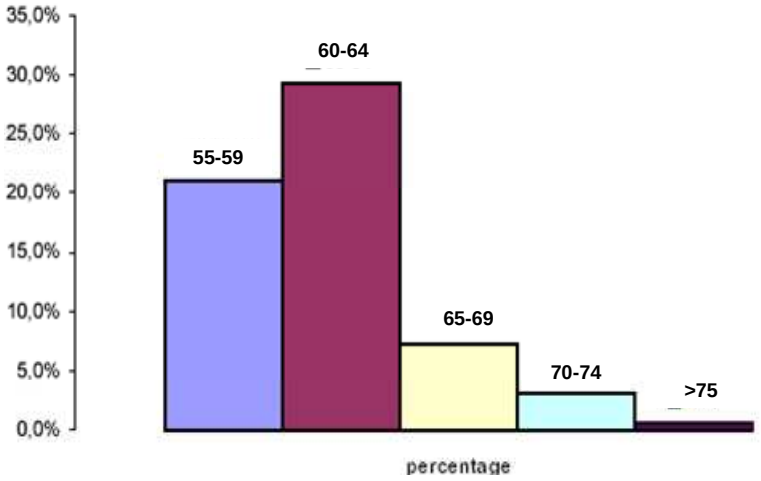


Figure 3. Percentage of exposed people in European cities

(Noise Questionnaire EUROCITIES 2008)

The solution, however, is not simple. Cities and towns are lively places, where people live and work; where all kinds of economic, social and cultural events take place; where trade and industries are established and where roads concentrate. Although most inhabitants of cities wish to live in a healthy environment, this is not the only demand of their living environment. Quality of life does not only mean healthy air and less sound, but also employment, possibilities for recreation such as shopping, entertainment and cultural outings.

The challenge of cities is to find acceptable and smart solutions for environment and health problems; to strike a balance between different kinds of policies and to integrate them into a single city plan that gains public support. In fact, mobility and transport which are the main sources of emissions are also basic elements in urban lifestyles.

ACTION PLANS FOR NOISE REDUCTION AND CONTROL

In 2002 the European Commission introduced the Environmental Noise Directive (END) relating to the assessment and management of and aiming to define a common approach to avoid, prevent or reduce the harmful effects of exposure to environmental noise. It requires member states to:

- determine exposures to noise in major urban agglomerations by noise maps assessing the number of people disturbed during both the day and night throughout Europe;
- adopt strategic action plans with a view to preventing and reducing environmental noise where necessary.

In this directive only airport noise, railway noise, road traffic noise and industrial noise originated by enterprises are considered. Other kinds of noise like construction noise, recreational noise, neighbourhood noise and, more generally, temporary events of noise are neglected. Thus, noise maps and action plans strictly according to the END do not cover the whole noise situation in cities.

Moreover, harmonization of National Law and Regulations with EU acoustic legislation, matching END Directive requirements with National standards and methods is a main problem in application of END that leads to three main categories of research output:

- harmonized procedures for the development of Integrated Strategic Action Plans, considering the combined requirements of END Action Plans, Noise City Plans and Transport Noise Reduction Plans;
- harmonized procedures for the designing of the planned solutions;
- guidelines in order to build a system for action plan applications, to support Regional, National and European Law reviews.

Actions can be direct or strategic. Besides technical measures like noise barriers, tunnels, low-noise paving, there are strategic actions like public transport improvement, walking and cycling streets, speed reduction, road travel restrictions and parking by fees. Local regulation can assist these objectives.

In the last few years important strategic actions have been defined and performed in European cities: London introduced a large low-emission zone, in which only few cars are permitted, and the congestion charge greatly reduced the number of cars in the city.

In Copenhagen the promotion of a walking and cycling infrastructure and very restrictive parking policies lead to a reduction of noise, extimated in 37%.

In Berlin the Soundscape Project "Nauener Platz" is now carried out to rebuild a difficult public space into a space which is dominated by social freedom. The urban acoustic phenomena are exploited for urban planning, working with sound art projects and acoustic design, combining knowledge in music, architecture and acoustics to investigate how sounds can interact with built structures, places and events to form communicative, shared, relational spaces in cities.

The general procedure of action planning can be derived by the Directive and adapted to local situations. In Figure 4 the flowchart of the Florence agglomeration Action plan is shown.

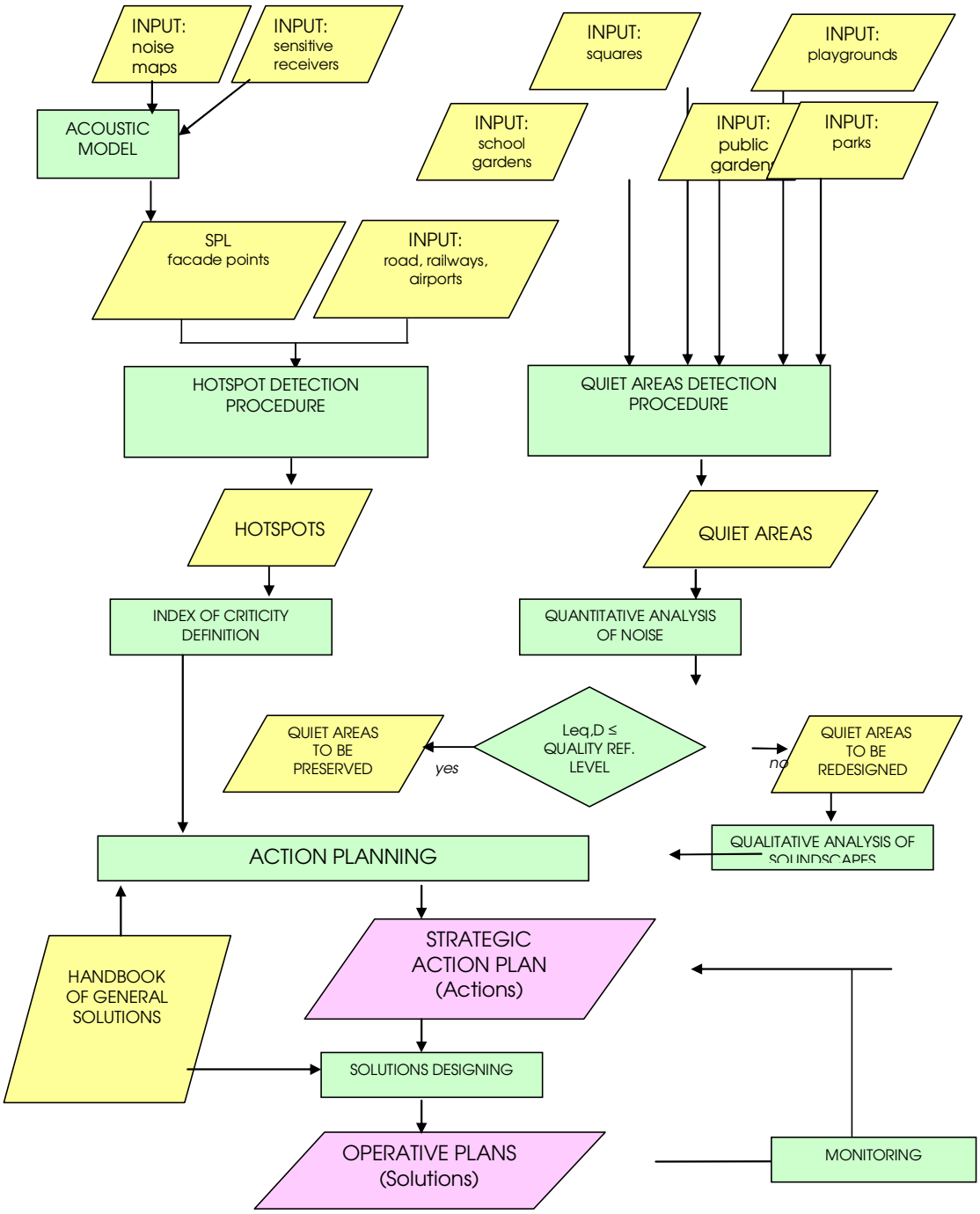


Figure 4 – Procedure flowchart of the Florence agglomeration Action plan

The Working Group Noise of EUROCITIES network is now collecting data in a Matrix of Common Strategies, containing experiences of the cities in detection, classification, prioritization of quiet areas and hotspots

The matrix is conceived not as a space for theoretical discussion but as a space for the definition of a roadmap, moving from choices operated by member cities towards joint procedures. This matrix take into account several factors:

a) level of noise
b) contribution from each different noise source,
c) relative and combined effects of different noise sources in a multisource scenario,

d) number of exposed people
e) number of exposed buildings,
f) population density,
g) type of area,
h) landuse,
i) upper limits, trigger or target levels contained in existing legislation,
j) distance of buildings from main transportation areas and links

Each city working on Action planning is required to send a paper about the adopted method with reference to the listed factors or to other factors that may be added to the list. Then the matrix has to be filled with synthetic normalized values that can be linked to a corresponding document or table or formula that shows the relative consideration of each factor in the adopted method.

The Criteria for the development of classification matrix consider first the cataloguing of quiet areas in categories:

1. Green structure
2. City parks
3. Areas close to water bodies
4. Footpaths
5. Squares and meeting areas
6. Cemeteries
7. Museum areas
8. Cultural areas
9. Small local playgrounds
10. Small local forest playgrounds
11. Garden allotments
12. Agriculture
13. Transition area to citysurrounding forest
14. Sensitive buildings (hospitals, schools) and green areas around them

The same has to be done for hotspots, considering for example Residential buildings where noise levels exceeds critical values (in France: 70 dB Lday or 65 dB Lnight), or Sensitive buildings (hospitals, schools) where noise levels exceeds critical values for sensitive receivers

The development of a prioritisation matrix is based on Noise Filters like:

A) Noise Level filter
B) Area filter
C) Cost-Benefit filter
D) Possible (practicable) measures
E) Combined filter

For the Noise Level filter, that requires a specification of noise limit, 55 dB(A) for Lday and/or 50 dB(A) for Lden, seem to be good and acceptable values, also considering the requirements of END.

For Area filter specifications, a minimum dimension of the area that lies within the above defined noise limit, in presence of at least one main source on the border (major road, railway). has to be specified (e.g. 10 hectares). Another possibility

(Minimum sub-Area filter) is given by the specification of a minimum area (i.e. 5 hectares) that lie within the noise limit when is located inside a wide annoyed area where less than 50% of the area falls within the specified noise band.

For the Cost-benefit filter, the specifications are:

a) identification of the noisiest locations
b) identification of location with most people affected by noise
c) identification of location of nearby sensitive buildings
d) definition of interventions
e) minimising calculated cost
f) medium and long term planning

For the Possible (practicable) measures filter specification are:

a) speed reduction measures
b) traffic flow relocation measures
c) traffic volume optimisation measures
d) improvements to running surface
e) low-noise road surfaces useful for high speed roads
f) low-noise road surfaces useful for low speed roads, as it is typical in urban areas
g) roundabouts in the place of traffic lights
h) environmental noise barriers.

In figure 5 some examples of pages of the matrix are shown.

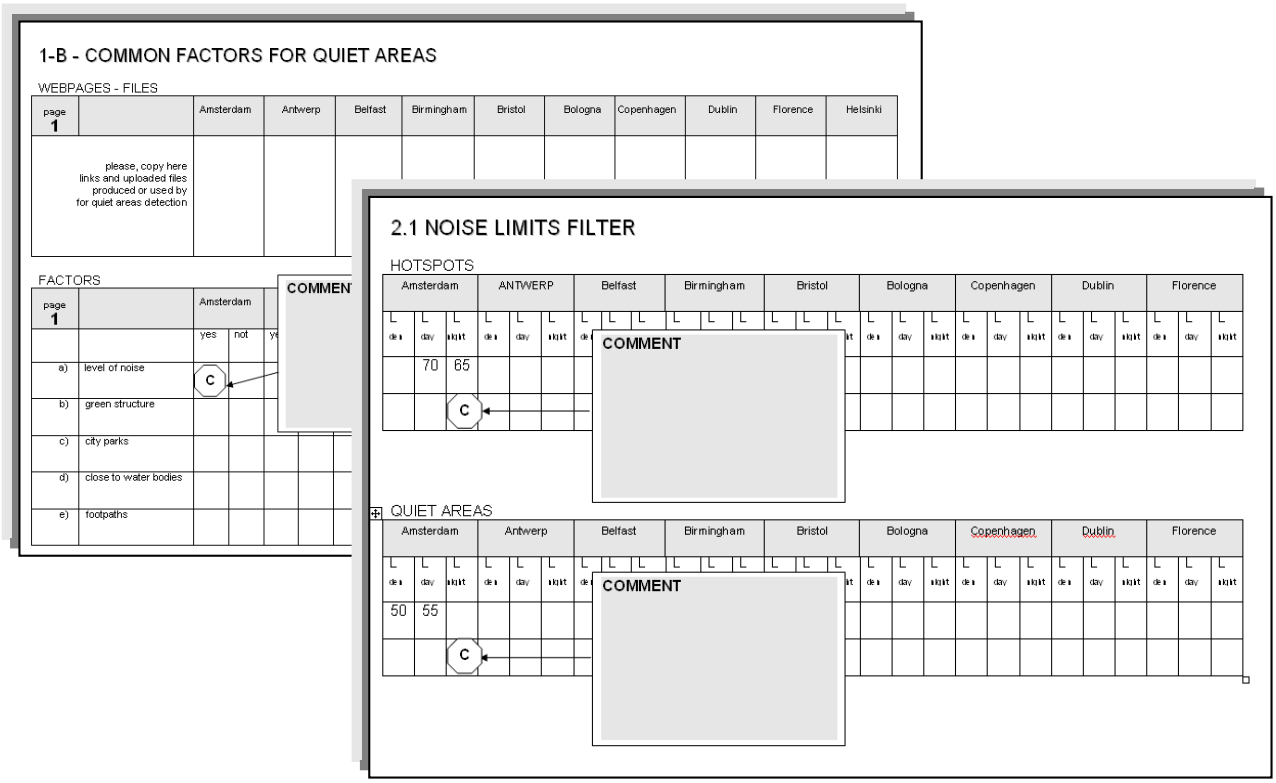


Figure 5 – Matrix for common strategies- examples of pages for users

SOUNDSCAPES FOR QUIET AREAS

Analyzing and comparing data, collected by Eurocities network WG Noise, concerning action planning experiences of main European cities and urban agglomerations, it is evident that Quiet Areas' detection and delimitation is one of the main problem connected to action plan's development. The EU Directive gives a definition of "quiet areas" as "… an area delimited by the competent authority, for instance which is not exposed to a value of Lden or of another appropriate noise indicator greater of a certain value set by the Member State, from any noise source" that lead to many specific researches and studies on characterization of quiet areas.

The City of Amsterdam has started a project Quiet Urban Areas as one of the actions resulting from of the Noise Action Plan. The project is supported by the Ministry of Environment and is based on the public participation: inhabitants are asked for their favourite quiet place and to photograph or describe it, quiet tours (i.e. walking through or along quiet places in or near the city) have been organised and a Internet website with information about quiet areas has been built.

In Florence's strategic action plan quiet areas have been studied and relative actions planned according to a soundscape based approach.

In the last decades various definitions arose and several trials of application of soundscapes were made all over the world. Nevertheless there is a notorious limitation in use of soundscapes as a technique for urban noise mapping and planning probably due to a diffuse and inexact underestimation of its concreteness.

The idea of developing soundscapes based methods for quiet areas is inspired by the growing interest and improved knowledge in the field of soundscapes analysis as well as by the need of producing plans that can be referred to people's perception of sounds and noise in the urban areas, identified as quiet ones.

In the proposed methods, a single area or sub-area is investigated applying to it a procedure that identify, recognise, characterise and localise the different types of sound, contributing to the multisource mixed sound environment.

Not only measurements of the overall effects of noise, in terms of sound level and frequency are considered, but also levels of perceived annoyance are considered.

Some significant soundscapes data of a quiet area, extracted by the freshly finalized Florence action plan, are described in the following pictures.

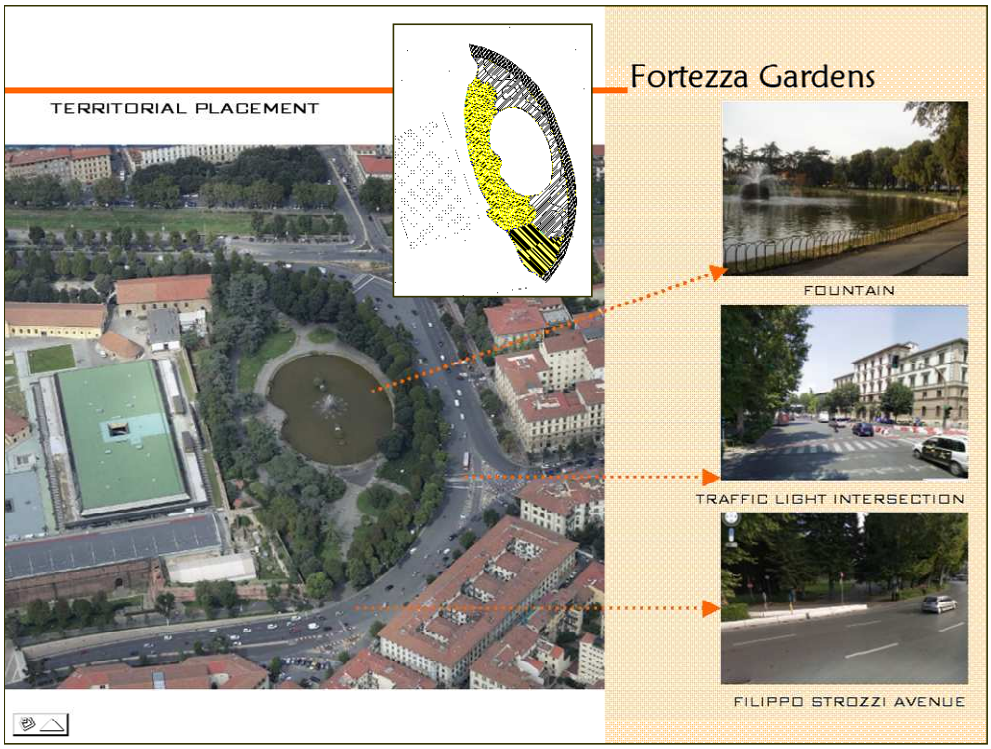


Figure 6 – Urban quiet area in Florence

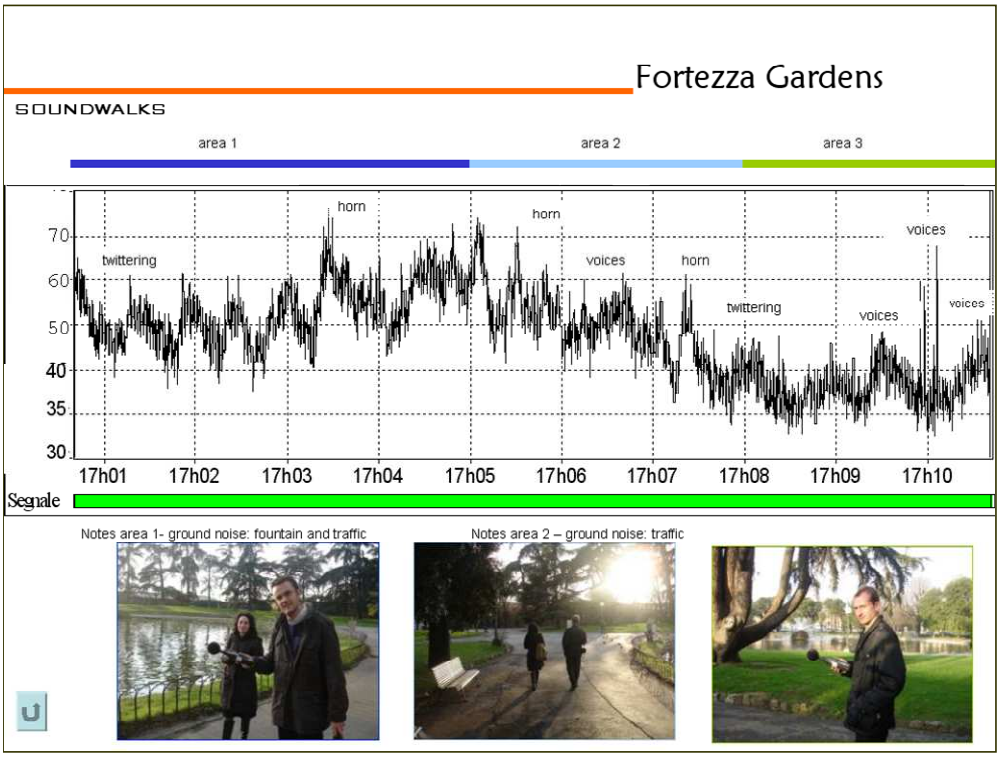


Figure 7 – Soundwalks in the quiet area

Moving from the psyco-acoustic point of view that consider the soundscape as a part of the landscape and apply to it all the perception rules, the different soueces of sound can be investigated and catalogued: birds singing and chirping, leaves rustling in the trees and the sweeping sound of bamboo are positive sounds in the common

perception. Hearing a train at distance, the bells of the church, yelling people at the market, playing children in the street is generally spoken, accepted as a fact of life. All these sounds, the natural, social and urban sounds, give positive contribution to the soundscapes. But what the soundscape only contains also noise, and sometimes soundscape is dominated by traffic noise, railway noise, etc.

During the soundwalks it is possible to make a sound sources (not only noise sources) characterization.

The non-anthropogenic sources (or elements) can be subdivided into five

groups: animals, vegetation, weather, physical/mechanical, and terrain. Each of these factors has direct and indirect acoustical effects on the overall soundscape as well as non-acoustical effects on the senses of the receiver (smell, touch, sight). These factors usually interact with the other elements, which creates the resulting perception of the soundscape.

The Man-made or anthropogenic causal factors can be categorized into four elements: Mobile sources, stationary sources, structures/materials, and noise control devices.

CONCLUSIONS

Action Plans are designed to manage, within their territories, noise issues and effects, including noise reduction if necessary, and shall aim to protect quiet areas against an increase in noise.

Different methods of action planning for noise reduction have been investigated and described and a matrix of knowledge referred to European cities noise plans have has been presented. As a final result of it, a summary of adopted – and “harmonized” - solutions can be presented.

The harmonization of Plans can lead to important savings in terms of costs for design and realization of designed solutions. Considering the high level of optimization that can be reached applying the methodology to large scale planning, an approximate quantification of the achieved reduction of costs can be found around one fourth of the cost of all interventions for a city agglomeration (like Florence).

Noise planning has to be included in a more general Urban Integrated Management Approach that provides general criteria for all administrative levels. Particular importance is given to the integration of plans.

Cities need to strengthen their efforts to introduce and disseminate good practice to reduce noise levels. Major areas of necessary cooperation include urban planning to reduce private transport and facilitate more walking, cycling and public transport. Public participation is also essential to ensure the representation of the interests of all. In these ways noise reduction and sound quality policies can become fully integrated into urban and transportation planning.

Municipal networks and international projects involving European and Non-European countries should join together and activate the development of innovative approaches to the sustainable development of cities.

Soudscape based approaches could be a good solution for quiet areas' planning considering not only noise annoyance and relevant regulations but also acoustic comfort, and soundscape with positive sounds. Sound prediction - sound modelling at microscale such as streets/squares as well as noise-mapping at macroscale such as a whole city/region.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank the Environmental Department of Florence City Council for the inspiration and the constant support given to his work of noise action planner and to the original and experimental development of it.

REFERENCES

1. R. M. Schafer "Our sonic environment and the soundscape: The tuning of the world", Destiny Books, Rochester, Vermont, 1977.
2. 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
3. P. Lercher, B. Schulte-Fortkamp: "The relevance of soundscape research for the assessment of annoyance at the community level". Proceedings of 8th ICBEN, Rotterdam, NL, 2003
4. R.Kull: "Natural and Urban Soundscapes" Acta Acustica United With Acustica Vol. 92, 2006.
5. United Nations Environment Programme (UNEP), 2008
6. European Environment Agency "Ensuring Quality of Life in Europe's Cities and Towns", 2008
7. J. Kang "Urban sound environment", Trevor & Francis, 2008
8. S. Karatsovis, C.Dyne. "Instrument for soundscape recognition, identification and evaluation: an overview and potential use in legislative applications" Proceedings of the Institute of Acoustics, 2008
9. L. Maffei "Urban and quiet areas soundscape preservation" VI Congreso Iberoamericano de Acústica, 2008
10. Florence City Council Strategic Action Plan, 2009
11. H. Wolfert "Noise in cities: general approach and European network solutions" in Proceedings of "European strategies for noise reduction and management", 2009
12. S. L:uzzi "Strategies for integration of noise plans" in Proceedings of "European strategies for noise reduction and management", 2009

NOISE MONITORING IN CITIES: SOME EXPERIENCES

Andrea Cerniglia
SCS Euroacoustic
a.cerniglia@euroacoustic.com

Noise pollution is a daily increasing problem, which should be adressed in very efficient way, in order to take the best possible measures to contrast its negative effects Thanks to modern technologies, which permits very sophisticated approches to environmental noise investigation, is now possible to achieve a vey deep knowledge of acoustic climate of an area, and thus design efficient solutions which take in account the cost-benefits parameter. In this paper some of these technologies will be discussed, with particular regard to continuous real-time noise monitoring, noise prediction models, and noise source identification.

Continuous real time noise monitoring

If a simple hourly L_{Aeq} is enough to describe how the noise changes during a day or a week, a more detailed information like 1/3 octave spectrum per second, can help to identify main causes of noise pollution. Figure 1 shows block diagram of a real time noise monitoring network, successfully implemented in Italy during past years [2], [3].

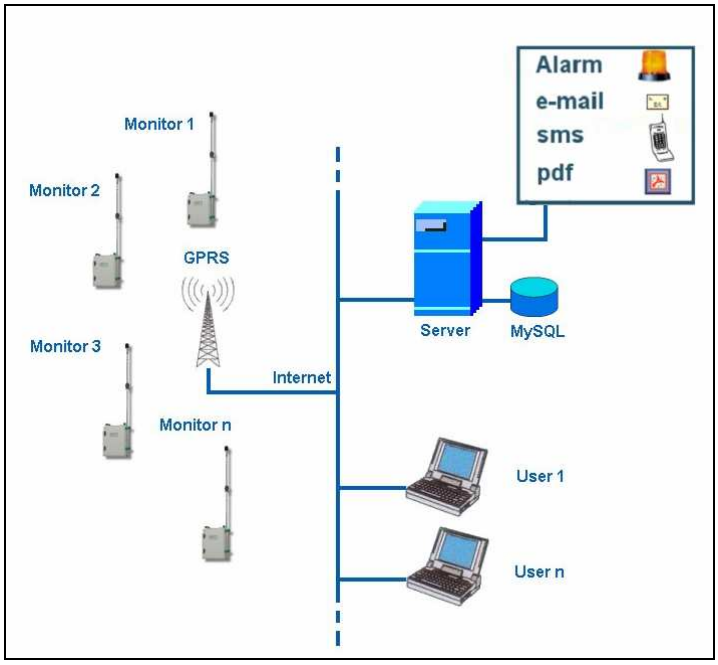


Figure 1. Realtime noise monitoring network

The above system uses GPRS network to send data continuosly to a web server; thanks to this feature the system makes possible to publish detailed noise data in real time (one 1/3 octave spectrum per second), as well as manage automated daily reporting or sms/email alarm at user definable conditions. The noise monitoring station itself, shown in figure 2, is based on a standard sound level meter equipped with outdoor michrophone, and interfaced with a purposely developed modem able to collect data from SLM, and manage GPRS connection with very low power consuption. The noise monitoring station can work successfully for more than one week with internal battery, or without limitation with mains power supply.

Figure 2. Real time noise monitoring stations

With such detailed information, is not so difficolt to identify many typical noise patterns. Figure 3 shows a sonogram of two aircraft passage: in the picture the doppler effect is easly recognizable.

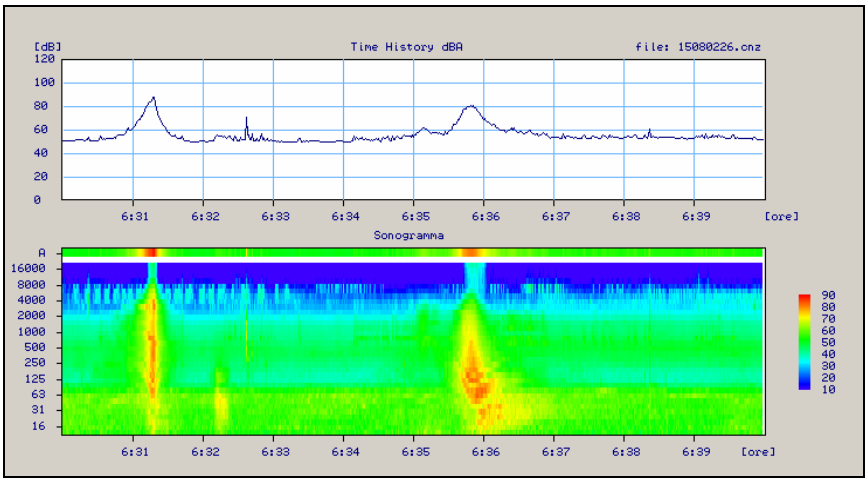


Figure 3. Aircraft passage

In the same way, figure 4 shows the passage of an ambulance. From the sonogram is possible to recognize the sweept siren, as a kind of *sine* in time- frequency domain.

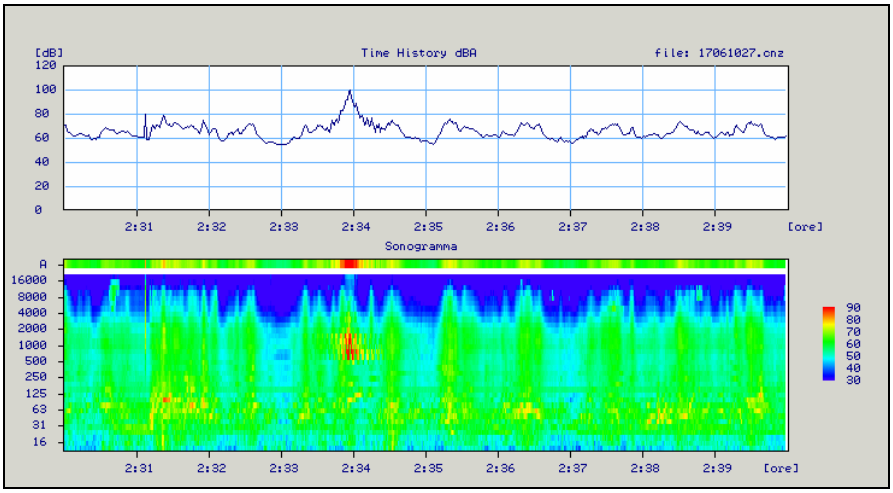


Figure 4. Sweept siren

Many other examples of typical sonograms are available on reference [3], while some working system are on-line at www.citynoise.net .

Other advanced computation based on the above acquired data, can include automated pattern recognition, as well as data syntyesis like conventional statistical analysis (distributive and cumulative curve vs time vs frequency), or percentilogram (time-frequency representation of selected L_n).

Noise prediction model

Noise prediction model are widely used in order to predict noise propagation in complex environment. Figure 5 shows a three dimentional noise map of a district of russian city of Togliatti [4][5]. Thanks to vertical maps, noise barrier investigation is bacame more easy.

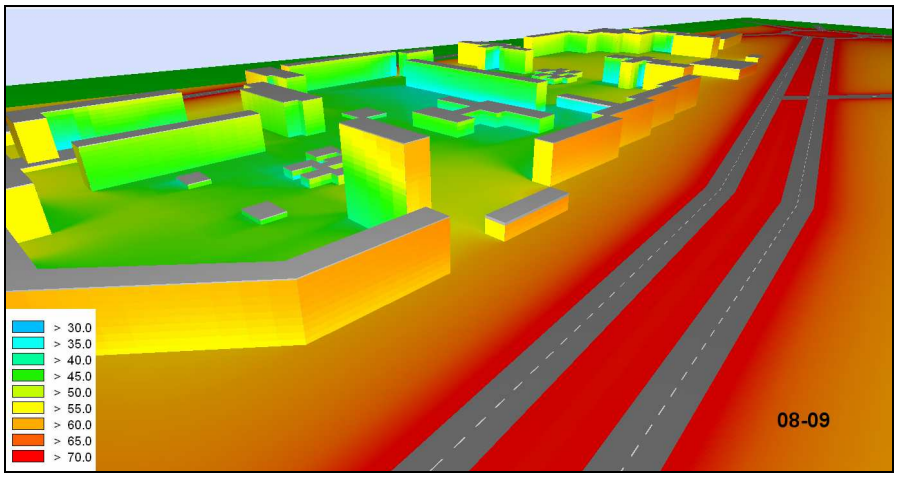


Figure 5. 3D noise map in Togliatti

A very intresting possibility come with the combination of continuos realtime monitoring system, with noise prediction model. In fact, if some noise partial map of an area are computed, each one related with only one source (i.e. road 1, road 2, etc), and if the above relevant sources are continuosly monitored (the sources should not be coupled), is possible to periodically re-scale partial maps before sum all together, in order to obtaining the global map updated as function of measured data. Figure 6 shows a web page with noise map automatically hourly updated.

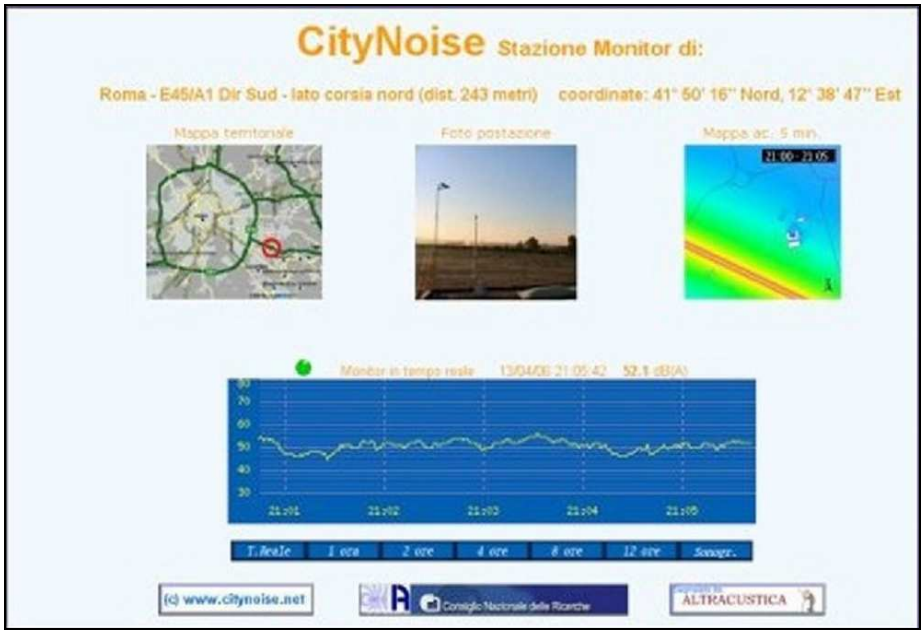


Figure 6. Webpage with noise data and dynamic noise maps

Sound source identification

In addition to the use of above metods, both in their simplest or sophisticated version, as well as stand alone or combined together, some times is necessary to investigate from where some noise is coming to a particular receiver. Acoustical beamforming technique can give a big help for this task, and can be counducted both in static or dynamic environment. The idea behind beamforming technique is quite simple, at least in its basic principle. Fig 7 shows what happens when a plane wave strikes a linear microphone array perpendicularly (top), with a certain angle (middle), and with the same angle but with appropriate phase delay added before sum all signals (bottom). From the image can be seen that, by adding properly computed delays, is possible to obtain in-phase response for any desired direction. Therefore, proper modification of delays, results in virtually movement in a different direction of the ‘virtual directional microphone’, matematically obtained as a combination of the omidirectional transducer in the array.

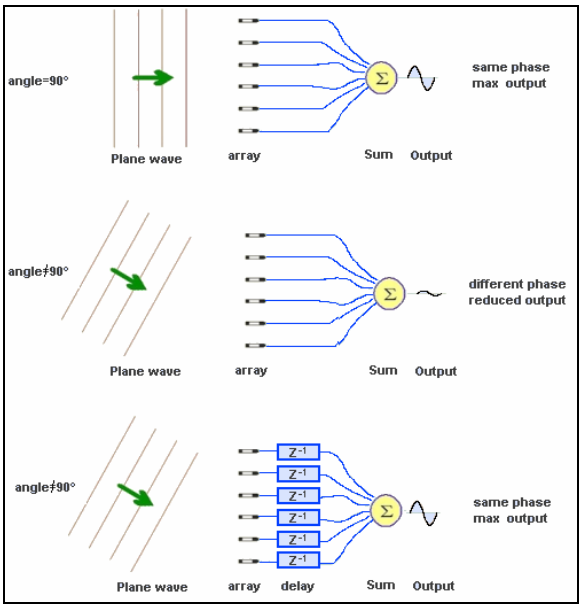


Figure 7. Beamforming technique:

In a real beamforming transducer, microphones are not on a line as in the above simplified example, but are located on a plane or, as for the system used in the following described measurements, on the space. The transducer described here consists of 31 microphones located on the surface of a sphere, assembled with 12 cameras in order to superimpose acoustic map obtained by interpolation of grid measurement, to the picture taken by the relevant direction camera. Thanks to this innovative configuration, is possible to analyze all the space around the transducer at the same time. Fig. 8 shows the complete system, which includes front-end and PC. The showed system can be assembled and disassembled in few minutes, and can be successful used inside a car, as well as for environmental applications and more.

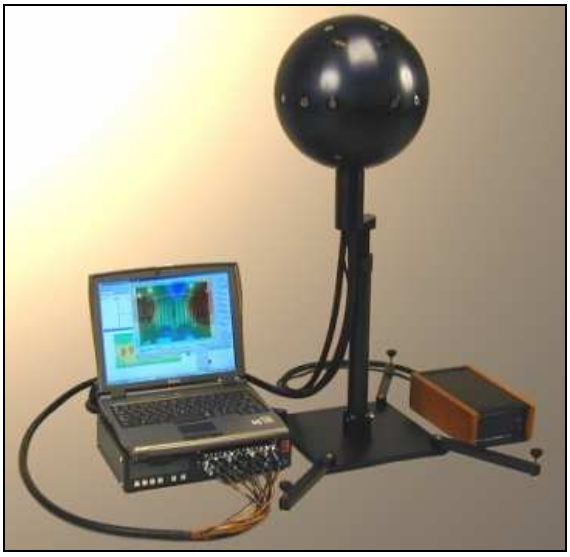


Fig. 8. System with spherical transducer

Figure 9 shows a measurement in a race track [6]. With the technique was possible to identify a secondary noise source related with a factory.

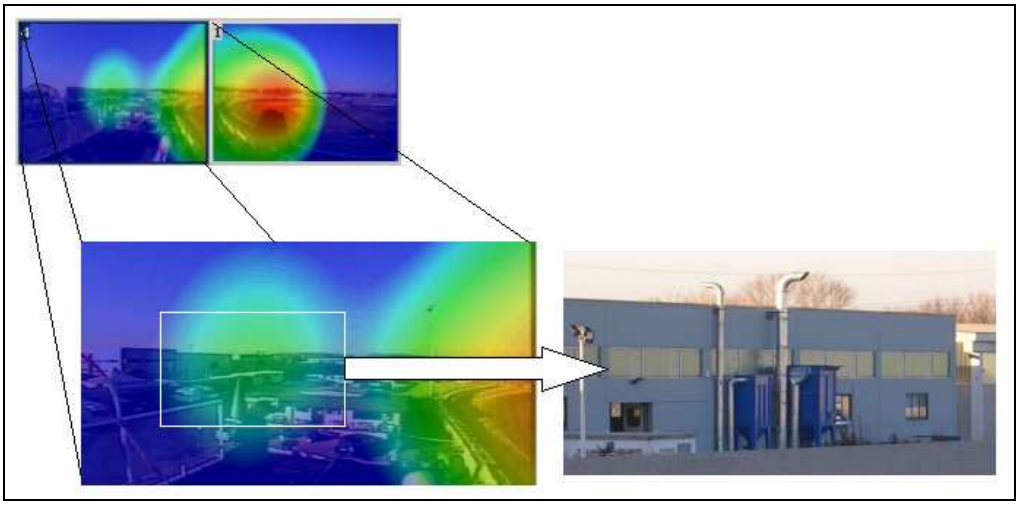


Fig. 9: Noise source identification

Results from beamforming system are not just *nice pictures*, but can be accompined with values for each investigated sub-rea. Figure 10 shows a measurement in a park, where the main background noise source has been found. All the analysis can be performed in 1/3, 1/1 octave or FFT.

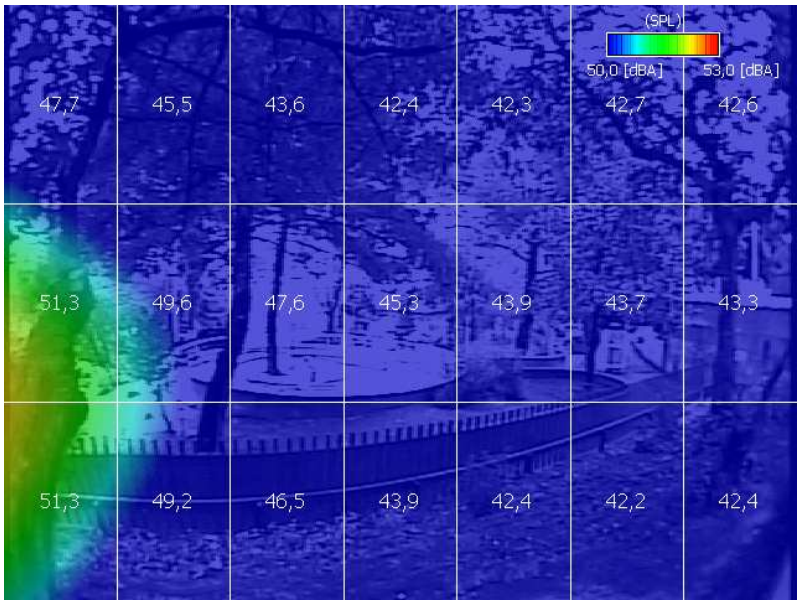


Fig. 10. Measurement in quite area

Last three pictures are about measurement on noise barrier; the first picture shows the difference between portion of a barrier with and without diffraction system at 1000 Hz 1/1 octave band.

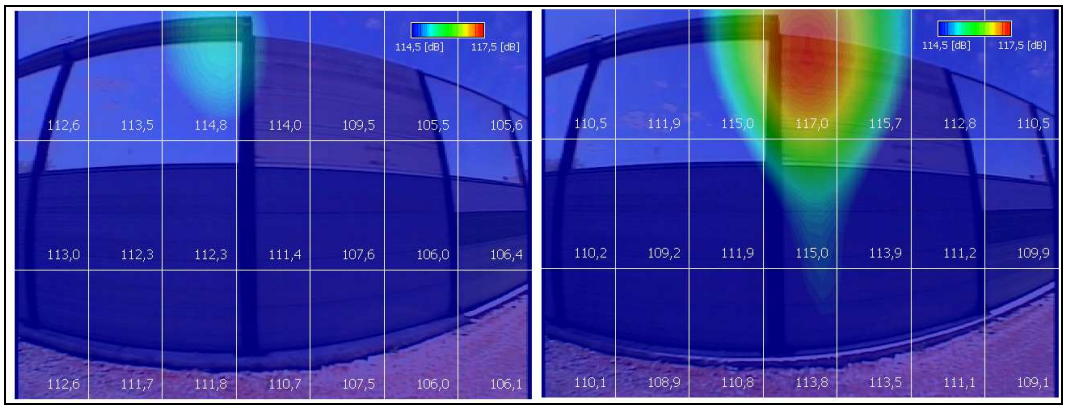


Fig. 11. Measurement on a barrier

Figure 12 shows some noise coming fron the bridge junction, at 1250 Hz 1/3 octave band. The red spot on the right side is due to the limited length of the noise barrier.

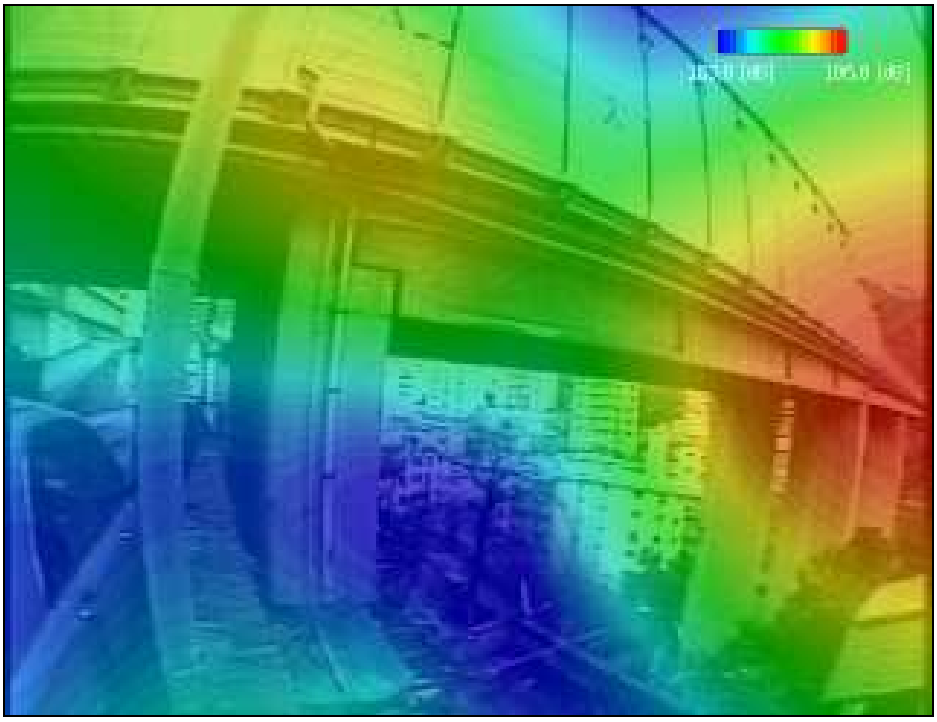


Fig. 12. Noise at bridge junction (1250 Hz)

Last picture 13, taken in the same position as for figure 12, shows some noise due to the water drain pipe. The analysis is for 1/3 octave 4000 Hz band.

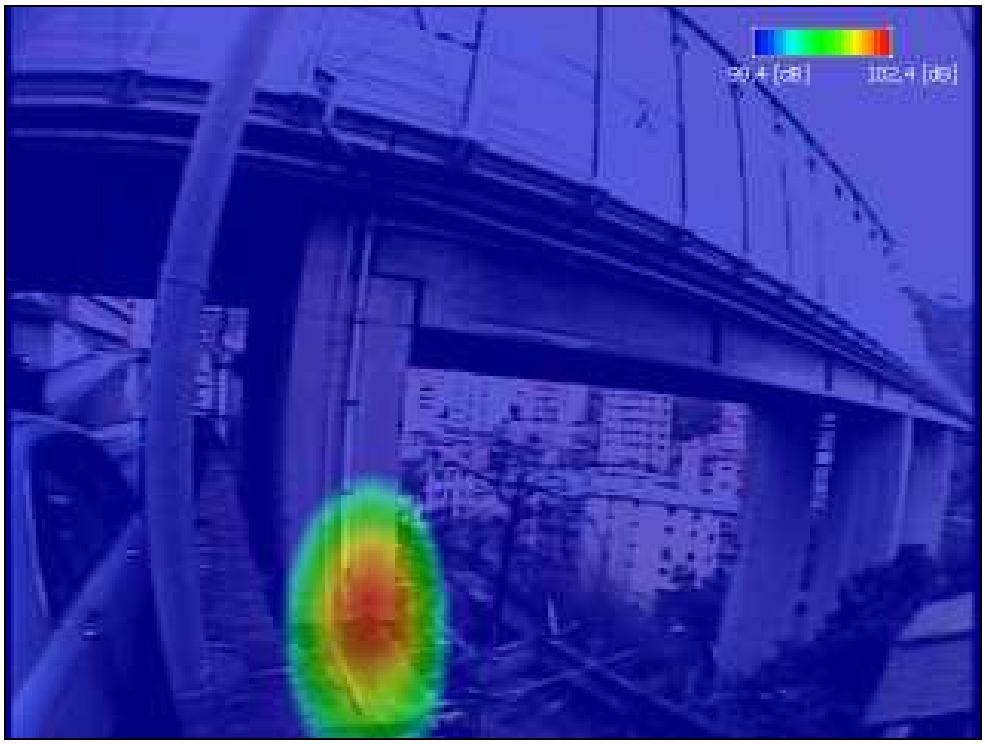


Fig. 13. Noise from water pipe (4000 Hz)

Conclusions

Advanced technologies, like high definition real time noise monitoring, stand alone or in conbination with noise predicion software, as well as beamforming system, can be a very useful tool for a better and deeper noise investigation, expecially in all those situation where source are not well known before the masurement itself. Moreover, the kind of graphical result representation, as the ones here presented, can be easly understand by not acousticians, which sometimes are the final customers who needs acoustic measurements, to find the reason for that terrible night insomnia because of some misterious unidentifiable noise.

REFERENCES

1. Giovanni Brambilla, Andrea Cerniglia, Patrizio Verardi, New Potential of long term real time noise monitoring systems, EuroNoise 2006 Proceedings, Tampere, Finland, May 2006
2. Andrea Cerniglia, Giovanni Brambilla, Patrizio Verardi, Real time monitoring publishing 8th International Symposium on Transport Noise and Vibration Proceedings, ISBN 5-900703-92-4, Saint Petersburg, Russia, June 2006
3. Andrea Cerniglia, Natalia Alekseeva, Some experience in continuos noise monitoring, 15th International Congress on Sound and Vibration proceedings, Daejeon, Korea, July 2008

4. Natalia Alekseeva, System for continuous monitoring of transport noise, Youth scientific and technical creative work, Moskow, June 2008
5. Andrea Cerniglia, Andrei Vasilyev, Natalia Alekseeva, Monitoring of Transport Noise in Large Cities: Comparison and Results of European and Russian Experience, Internoise 2008, Shangai, China
6. Anna Magrini, Andrea Cerniglia, Mariagiovanna Lenti, New techniques for the noise pollution monitoring of moving sources. Application to motor-bikes in a race-track. 36th International Congress on Noise Control Engineering proceedings, Istanbul, Turkey, August 2007
7. Andrea Cerniglia, Mariagiovanna Lenti, Noise sources investigation by beamforming method, Elpit 2007 proceedings, Togliatti, Russia, September 2007
8. Application examples of beamforming method, Acoustic '08 Proceedings, ISBN 978-2-9521105-4-9, Paris, France, July 2008
9. N.I. Ivanov, A.S. Nikiforov, "*Foundations of Vibroacoustics"*: Testbook. SPB.: "Polytechnika", 2000
10. Luzzi S., Vassiliev A.V., "*A Comparison of Noise Mapping Methods in Italian and Russian Experiences*", Proc. of International Scientific Conference "Forum Acusticum-2005", Budapest, Hungary, August 29 – September 2 2005

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И ПОЕЗДОВ

Иванов Н.И., Куклин Д.А., Тюрина Н.В.
Балтийский Государственный технический университет
"ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова
n_tyurina@peterlink.ru

Введение

По многочисленным данным более 40% населения городов проживает в условиях повышенного шумового загрязнения, вызванного средствами железнодорожного и автомобильного транспорта, что увеличивает число заболеваний, снижает комфортность проживания и требует применения эффективных шумозащитных мероприятий. Наиболее широко используемыми средствами снижения шума на пути распространения являются акустические экраны (АЭ), а также зеленые насаждения. Однако, противоречивые данные, встречающиеся в литературе, об эффективности использования данных средств, требуют проведения дополнительных исследований.

1. Общие сведения об акустических экранах

Акустический экран (АЭ) – физическая преграда конечных размеров на пути звука от источника шума до точки наблюдения или расчетной точки (РТ). АЭ, как и другие звукоизолирующие конструкции, работает на принципах отражения и поглощения звука, но, в отличие от других звукоизолирующих конструкций, АЭ имеет конечные размеры. На свободных ребрах АЭ звук дифрагирует, т.е. огибает ребра АЭ, частично попадая за экран. В результате совместного действия отражающих и дифракционных эффектов за АЭ создаётся акустическая тень, т.е. такая зона, где происходит ослабление падающего на АЭ звука. Эффективность АЭ в первом приближении может быть определена по формуле З. Маекава.

$$\Delta L_{экр} = 10\lg 10N, дБ \qquad (1)$$

где N – число Френеля;

$$N = \frac{2(A+B-d)}{\lambda}, \qquad (2)$$

A, B, d (см рис. 1), λ - длина звуковой волны, *м*;

$$\lambda = \frac{c}{f}, \qquad (3)$$

где c – скорость звука, *м/с*, (в воздухе c = 340 *м/с*), f – частота, Гц.

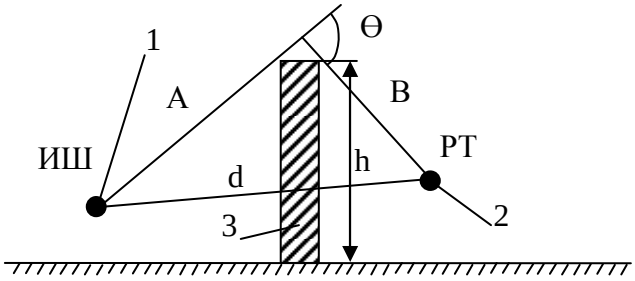


Рис. 1. Путь звукового луча от ИШ до РТ
А – кратчайшее расстояние между геометрическим центром источника шума и верхней кромкой экрана в м; В – кратчайшее расстояние между расчетной точкой и верхней кромкой экрана в м; d – кратчайшее расстояние между геометрическим центром источника шума и расчетной точкой в м

Эффективность АЭ зависит от параметров А, В и d, связанных с h–высотой АЭ. Важной характеристикой отображающей эффективность АЭ является угол дифракции (θ). Угол дифракции образуется двумя лучами: одного, соединяющего источник шума и вершину АЭ, второго – вершину АЭ и РТ.

Анализируя формулу (1) можно понять, что эффективность АЭ возрастает:

- с увеличением высоты экрана (h);
- с приближением ИШ к АЭ и РТ к АЭ;
- с увеличением угла дифракции (θ);
- с уменьшением длины звуковой волны (λ), т.е. увеличением частоты (f).

Эффективность АЭ также увеличивается, если в его конструкции присутствуют звукопоглощающие материалы, располагаемые со стороны источника шума.

Формула (1) получена для звуконепроницаемого АЭ, т.е. в предположении, что звук не проходит через АЭ, также предполагается что экран бесконечной длины, т.е. дифракция звука рассматривается только на верхнем ребре экрана. Если указанные условия не соблюдаются, то эффективность АЭ падает.

2. Экспериментальные исследования эффективности экранов

2.1. Методика проведения экспериментальных исследований эффективности экранов

Исследования эффективности снижения шума акустическими экранами при движении подвижного состава железнодорожного транспорта проводились

у станции Чудово, Октябрьская ж.д. и на станции Mäntsälä, Финляндия. Схемы установки измерительных шумомеров приведены на Рис. 2,3. В процессе экспериментальных исследований были проведены измерения эффективности двух типов экранов: бетонных и металлических со звукопоглощением.

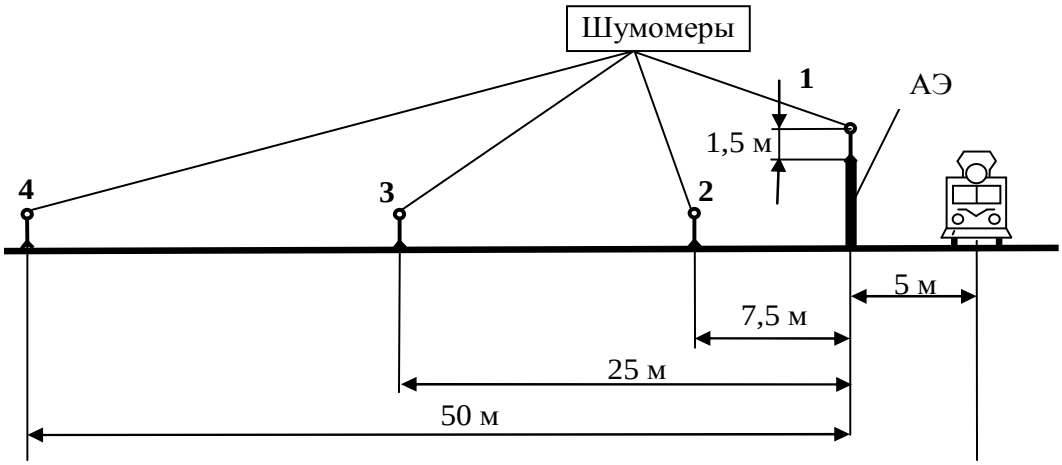


Рисунок 2. Схема расположения шумомеров при проведении исследований эффективности снижения шума акустическими экранами при движении подвижного состава железнодорожного транспорта на стации Чудово

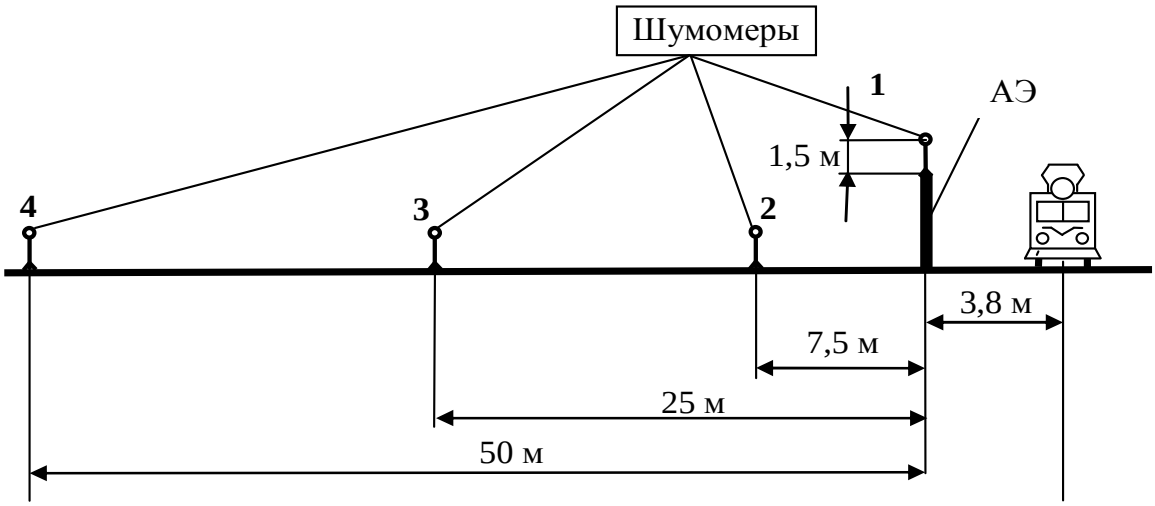


Рисунок 3. Схема расположения шумомеров при проведении исследований эффективности снижения шума акустическими экранами при движении подвижного состава железнодорожного транспорта на станции Mäntsälä (Финляндия)

Для испытаний шумозащитных акустических экранов существует два метода испытании – прямой и непрямой (Рис. 4).

Прямой метод применяют в случае, если экран еще не установлен, может быть передвинут или разобран. Измерения уровня звука (эквивалентного уровня звука или уровня звукового давления) до (далее – испытания без экрана) и после установки экрана (далее – испытания с экраном) проводят в контрольной и в

опорной точках одновременно (Рис. 5). При проведении испытаний с экраном и без экрана соблюдают требования идентичности характеристик источника шума, рельефа местности и метеорологических условий.

Если проведение испытаний в одной и той же контрольной точке с экраном и без экрана невозможно, испытания проводят непрямым методом для случая без экрана в другом месте, подобном исследуемому (рис. 5).

При проведении испытаний экранов осуществлялись измерения эквивалентного уровня звука (LpAэкв.) одновременно в контрольной и опорной точках при отсутствии экрана (без экрана) и при наличии экрана (с экраном).

Измерения в опорной точке проводились для анализа характеристик источника шума.

Место для проведения испытаний без экрана непрямым методом считают подобным месту, на котором устанавливают экран, если:

– по возможности оно находится рядом с местом установки экрана (на линии расположения экрана);
– имеет характеристики рельефа местности, а также условия отражения звука от земли или прочих поверхностей (бетон, асфальт, земля, песок, наличие растительности и ее плотность и пр.), определяемые характеристиками звукопоглощения и звукоизоляции этих поверхностей, а также их влажностью, подобные аналогичным характеристикам и условиям места установки экрана в секторе около ± 30° от перпендикуляра из контрольной точки к линии расположения экрана, а также на расстоянии 30 м вокруг контрольной точки (рис. 4).

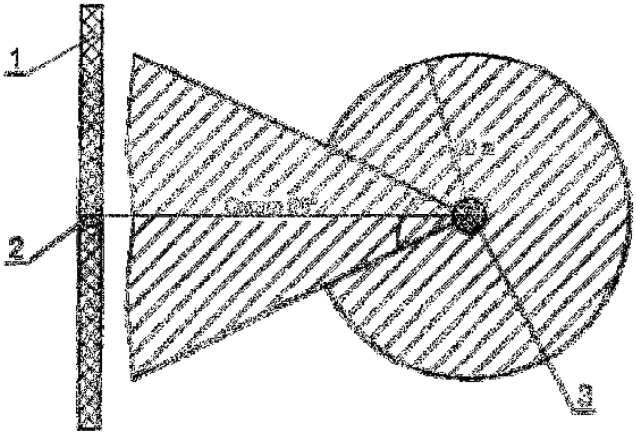


Рисунок 4. Схема участка местности,
выбираемой для проведения испытаний без экрана

Микрофон был направлен вертикально и расположен на расстоянии не менее 0,5 м от оператора, проводящего измерение.

Измерительные точки были расположены следующим образом:

– минимальная высота контрольной точки - 1,2 м.
– контрольная точка может быть расположена за экраном (рис. 2,3) в условиях полусвободного звукового поля, вблизи защищаемого от шума объекта или непосредственно на поверхности здания.

– если контрольная точка расположена вблизи защищаемого от шума объекта (например, здания), микрофон располагают в 2 м от ограждающих конструкций защищаемого объекта (например, наружной стены здания, витража, окна и т.д.).
– опорная точка должна быть расположена в вертикальной плоскости, проходящей через экран:
  - в месте, где экран оказывает минимальное влияние на звуковое поле;
  - на направлении перпендикуляра, проведенного из контрольной точки к линии экрана;
  - на достаточной высоте от земли для минимизации эффектов, связанных с влиянием рельефа местности на результаты измерений;
  - на максимальной высоте, чтобы угол между направлениями от источника шума на опорную точку и от источника шума на верхнюю кромку экрана был более 10° (рис. 5) для случая расположения экрана на расстоянии менее 15 м от источника шума.

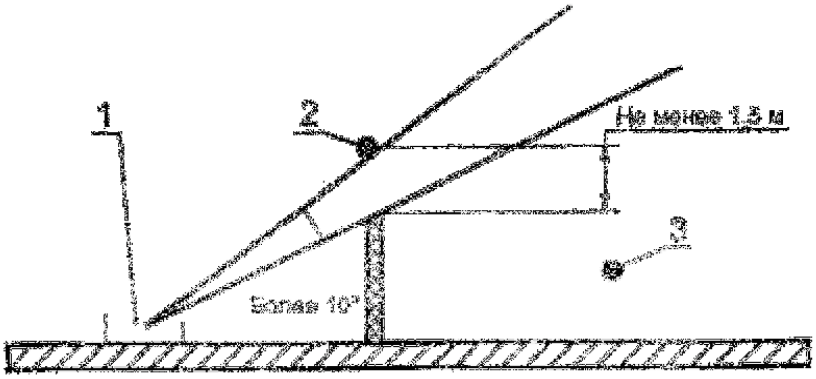


Рисунок 5. Расположение контрольной и опорной точек

Предпочтительным считают расположение опорной точки на расстоянии не менее 1,5 м от верхней кромки (или наивысшей точки) экрана (рис. 5). При проведении измерений в опорной точке микрофон может быть установлен на тонкой штанге длиной не менее 2 м, имеющей цилиндрическую поверхность.

2.2. Условия проведения экспериментальных исследований эффективности экранов

При проведении исследовании на станции Чудово были проверены два типа АЭ, установленных вдоль главного хода Октябрьской ж.д. Первый тип – бетонный АЭ длинной 800 м и высотой 3.5 м, установленный на расстоянии 5 м от оси пути на бетонном фундаменте. Бетонный АЭ установлен на 2-х путном участке перегона от станции Чудово в направлении на Малую Вишеру (рис. 6).

Рис. 6. Вид на бетонный АЭ

Второй тип экрана – металлический АЭ, длинной 480 м., высотой 2,5 м расположен на расстоянии более 5 м от оси пути. Конструктивно АЭ выполнен из металлических панелей, заполненных звукопоглощающим материалом. Металлический АЭ установлен непосредственно на станции Чудово, при проведении испытаний поезда проходили по нескольким путям (рис. 7).

Рис. 7. Вид на металлический АЭ на станции Чудово

Были также испытаны металлические экраны, изготовленные компанией Ruukki, установленные вдоль железной дороги на станции Mantsala (Финляндия). Конструктивно данные АЭ представляют собой металлические панели со звукопоглощающим материалом внутри. АЭ установлены на расстоянии 3,8 м от оси ближайшего пути. Нижняя часть (цокольный элемент) АЭ представляет собой стальной лист толщиной 4 мм. Далее установлены 4 секции высотой 460 мм каждая. Верхняя часть АЭ выполнена из акрила толщиной 15 мм. Общая высота АЭ составляет 3м. Испытанные на станции Mantsala АЭ показаны на рис. 8 и рис. 9.

Рис. 8. Общий вид акустических экранов на станции Mantsala (Финляндия)

Рис. 9. Общий вид акустических экранов на станции Mantsala (Финляндия)

3. Результаты экспериментальных исследований эффективности экранов

На основании полученных результатов экспериментальных исследований выполнено сравнение эффективности металлических АЭ со звукопоглощающим материалом различных конструкций для акустического экрана, установленного на ст. Чудово, и экрана, изготовленного компанией «Ruukki», установленного на ст. Mantsala в Финляндии. Также проведено сравнение эффективности экранов, выполненных из различных материалов (бетонных и металлических со звукопоглощением).

3.1. Бетонный АЭ, установленный на станции Чудово

Усредненная эффективность бетонного АЭ, полученная при следовании поездов по I или II пути на разных расстояниях от него, показана на рис. 10.

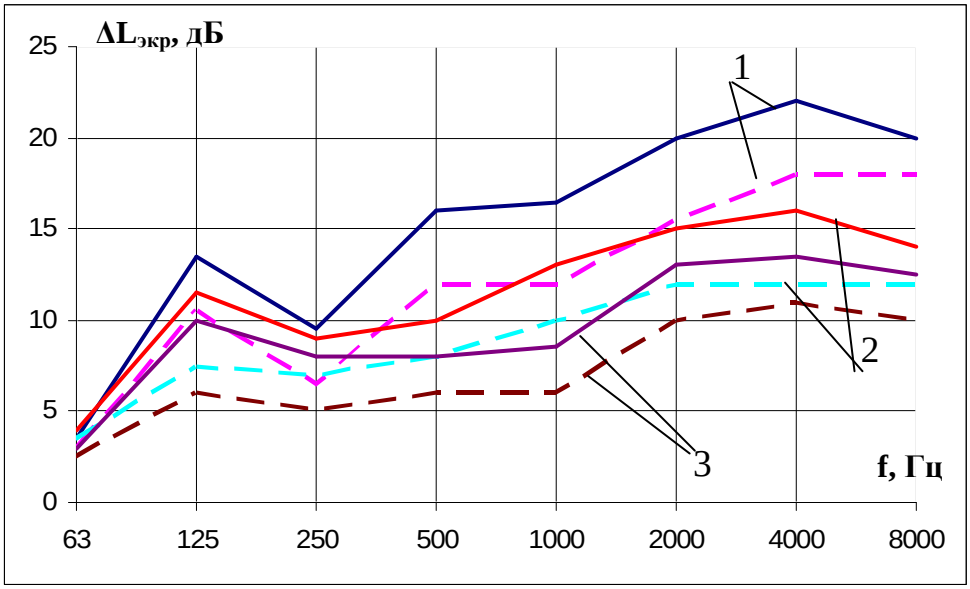


Рис.10. Эффективность бетонного АЭ на расстояниях: 1-7,5м, 2-25м, 3-50м (линии – I путь; пунктиром – II путь).

Эффективность бетонного АЭ при прохождении поезда по I пути на расстоянии 7,5 м составила 9,5–22 дБ (в диапазоне частот 125–8000 Гц), а на расстоянии 25 м 9–16 дБ, а на расстоянии 50 м 8–13 дБ (соответственно по уровням звука 17, 14 и 11 дБА). При увеличении расстояния до максимально эффективность АЭ уменьшилась на 6 дБА. Тем не менее, даже на расстоянии 50 м бетонный АЭ снижает шум на 11 дБА. (Снижение шума на 5 дБА воспринимается человеком по субъективному ощущению как снижение в 1,5 раза; на 10 дБА – в 2 раза; на 15 дБА –в в 3 раза; на 20 дБА – в 4 раза).

При движении поездов по II пути эффективность АЭ заметно снижается (рисунок 10). Наибольшее снижение отмечено в точке на расстоянии 7,5 м от АЭ. Оно достигает 3–4,5 дБ в диапазоне частот 125–8000 Гц или 5 дБА. Для расстояния 25 м снижение эффективности АЭ – 4 дБА, а 50 м – 3 дБА. Таким образом, бетонные АЭ обеспечивают определённое снижение шума в жилой застройке.

3.2. Металлический АЭ, установленный на станции Чудово

Результаты испытаний металлических АЭ показаны на рис. 11. Эффективность металлического АЭ в точке на расстоянии 7,5 м и при прохождении поезда по I пути составила 8–18 дБ в диапазоне частот 125–8000 Гц, на расстоянии 25 м 7,5 – 15 дБ и 6,5 –12,5 дБ на расстоянии 50 м. На расстоянии 50 м шум в жилой застройке снижен на 8 дБА.

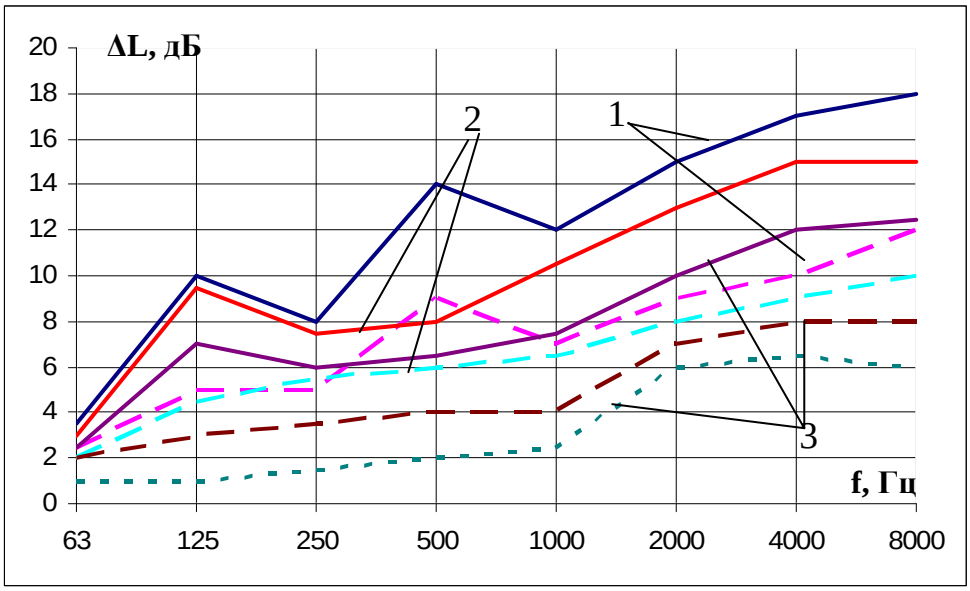


Рисунок 11. Эффективность металлического АЭ на расстояниях: 1-7,5м, 2-25м, 3-50м (линии – I путь; пунктиром – II путь, точками – IV путь).

При прохождении поезда по II пути на расстоянии 50 м эффективность АЭ снижается на 2,5–4 дБ в указанном диапазоне частот (2 дБА), а при прохождении по IV пути на 4,5–6 дБ в том же частотном диапазоне. При прохождении поезда по дальнему пути эффективность АЭ в точке на расстоянии 50 м составляет всего 4,5 дБА.

Эта особенность зависимости эффективности АЭ от пути, по которому походит поезд, характерна именно для АЭ, устанавливаемых вдоль железной дороге. Расчет и проектирование АЭ должно вестись с учётом этого обстоятельства.

3.3. Сравнительный анализ эффективности бетонного и металлического АЭ, установленных на станции Чудово

Сравнительный анализ эффективности испытанных на станции Чудово экранов показан на рис. 12 и приведен в табл. 1.

Оба АЭ неэффективны на частоте 63 Гц. Эффективность бетонного АЭ на 1–3,5 дБ выше, чем металлического в диапазоне частот 125–8000 Гц (рис. 12). Этот анализ выполнен для точки на расстоянии 50 м. Разница по интегральному показателю (УЗ) составила 3 дБА.

Полученные результаты, казалось бы, противоречат утверждению, что АЭ со звукопоглощением при прочих равных условиях всегда эффективнее, чем АЭ без звукопоглощения (например, бетонный).

Меньшая эффективность металлического АЭ объясняется, во-первых, тем, что он имеет несколько меньшую (на 1 м) высоту. Во-вторых, металлический АЭ смонтирован с наличием больших щелей в нижней части, что заметно снижает его звукоизоляцию. И, наконец, металлический АЭ установлен на станции без учёта движения поездов по соседним путям (II, IV и др.)

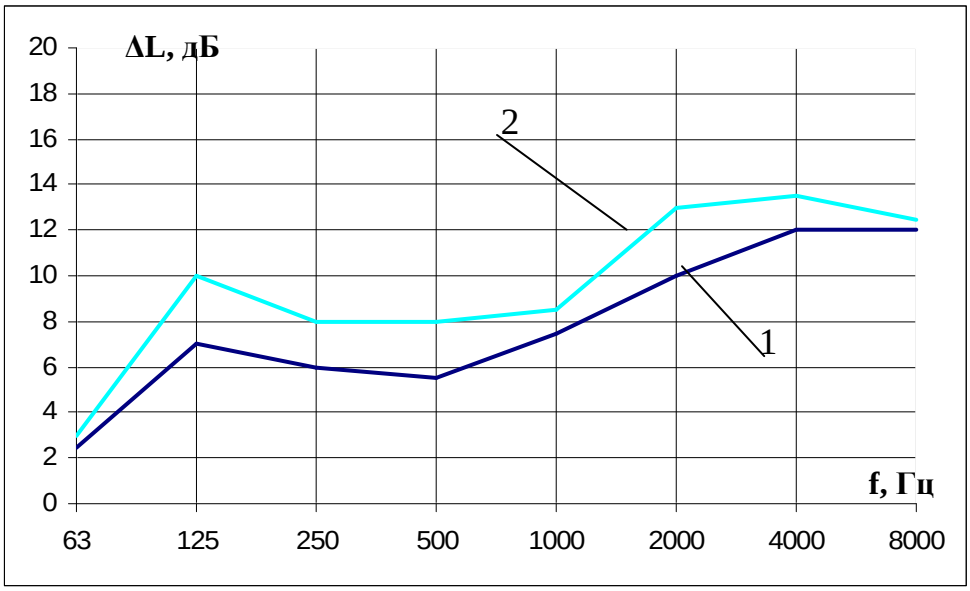


Рис. 12. Сравнительная эффективность металлического (1) и бетонного (2) экранов измеренная в точке на расстоянии 50 м от АЭ (I путь).

Сравнительная эффективность АЭ в дБА

Таблица 1

Тип АЭ	Расстояние, м	N пути	Эффективность, дБА
Бетонный	7,5	I	17,0
	7,5	II	12,0
	25	I	14,0
	25	II	10,0
	50	I	11,0
	50	II	8,0
Металлический	7,5	I	13,0
	7,5	II	8,0
	25	I	12,0
	25	II	8,0
	50	I	8,0
	50	II	6,0
	–	IV	4,0

Необходимо строго осуществлять контроль монтажа АЭ, чтобы не допустить проемов и щелей.

3.4 Металлический экран, установленный на станции Mantsala (Финляндия)

Металлические экраны широко применяются на железных дорогах Италии, Германии, Японии и при правильном проектировании (выбор длины, высоты,

расстояния от оси пути, конструкции экрана) и контроле монтажа обеспечивают высокое (до 12–15дБА) снижение шума в жилой застройке.

Сравнительная эффективность металлических со звукопоглощением АЭ, установленных на ст. Чудово Октябрьской ж.д. и ст. Mantsala (Финляндия), показана на рис. 13. Данные испытаний данных АЭ при прохождении различных поездов приведены в табл. 2.

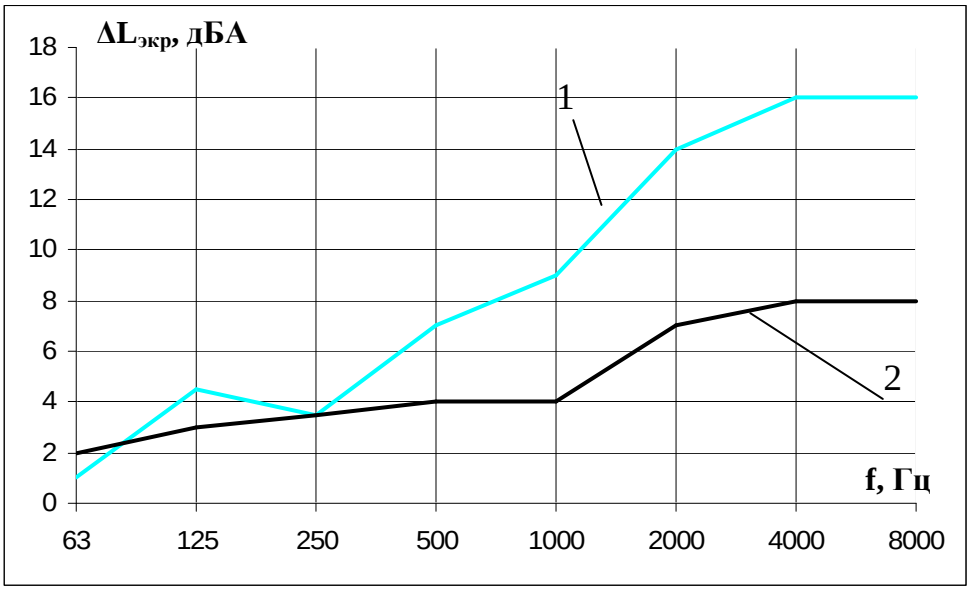


Рис. 13. Сравнительная эффективность АЭ на расстоянии 50м (поезда по II пути): 1 – на станции Mantsala (Финляндия);
2 – на станции Чудово, Октябрьской ж.д.

Сводные и усредненные данные эффективности акустических экранов на расстоянии 50 м от экрана при прохождении поезда по II пути на станции Mantsala (Финляндия)

Таблица 2

Тип поездов	Эффективность акустических экранов, дБ в октавных полосах частот, Гц								Эффективность акустических экранов, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Пассажирский	0,9	4,3	3,0	7,2	10,1	13,1	16,4	17	12,2
Пассажирский	1,1	3,2	3,1	6,3	9,6	12,6	16,2	16,2	11,4
Электропоезд	0,6	5,7	3,3	7,8	6,8	13,8	16,2	17,1	10,4
Электропоезд	0,8	5,5	4,0	6,1	6,9	14,1	14,2	13,8	10,9
Пассажирский	0,7	2,7	3,3	6,8	10,8	16,5	17,4	14,7	12,7
Электропоезд	0,7	5,6	3,7	7,0	6,9	14,0	15,2	15,5	11,3
Пассажирский	1,2	4,6	3,2	7,7	11,4	12,3	16,3	17,4	11,5
Средняя эффективность	**1,0**	**4,5**	**3,5**	**7,0**	**9,0**	**14,0**	**16,0**	**16,0**	**11,5**

Анализ экспериментальных данных показывает, что при правильном монтаже и правильно рассчитанной и спроектированной конструкции эффективность металлического АЭ достигает 11,5 дБА (на расстоянии 50 м), что выше эффективности бетонного экрана сходных длины и высоты на 3,5 дБА.

Сравнивая эффективность металлического АЭ в Финляндии и на станции Чудово (рис. 13) отметим:

– эти АЭ имеют примерно одинаковую эффективность в низкочастотном диапазоне 63-250 Гц;
– в средне-высокочастотном диапазоне (500-2000 Гц) эффективность первого достигает 7-16 дБ, а второго 4-8 дБ, т.е. почти в 2 раза ниже. Это объясняется правильным монтажом экрана, установленного на ст. Mantsala (Финляндия), т.к. наличие щелей и проемов начинает сказываться с частот 500 Гц и выше. Низкая эффективность экрана, установленного на станции Чудово Октябрьской ж.д., объясняется несовершенством конструкции и наличием щелей;
– по интегральной оценке (УЗ) эффективность экрана на станции Mantsala (Финляндия) составляет 11,5 дБА, а экрана на станции Чудово, Октябрьской ж.д. – 6 дБА (что почти в два раза ниже эффективности экрана на ст. Mantsala).

Таким образом, металлические со звукопоглощением АЭ, по нашему мнению, являются более эффективными, чем бетонные АЭ или АЭ изготовленные из других материалов за счёт наличия звукопоглощения.

4. Исследование характера снижения шума полосами зеленых насаждений

Для усиления эффекта снижения шума акустическими экранами, а также для улучшения эстетического восприятия установки экранов рекомендуется совмещать использование экранов с посадками зеленых насаждений. Поэтому было проведено экспериментальное исследование характера снижения шума полосами зеленых насаждений.

На практике вдоль железных и автомобильных дорог в основном встречаются зеленые насаждения шириной от 10 до 50м. В поставленном эксперименте выбран лес с густым подлеском.

При проведении экспериментов искусственный источник шума располагался на расстоянии 5 м от границы полосы зеленых насаждений и создавал постоянное звуковое поле.

Измерения проводилось синхронно 4 шумомерами, объединенными в одну измерительную систему и расположенными следующим образом:

– шумомер № 1 – на расстоянии 10 м от границы полосы зеленых насаждений (т.е. ширина полосы зеленых насаждений 10 м);

– шумомер № 2 – на расстоянии 15 м от границы зеленых насаждений (т.е. ширина полосы зеленых насаждений 15 м);
– шумомер № 3 – на расстоянии 25 м от границы зеленых насаждений (т.е. ширина полосы зеленых насаждений 25 м);
– шумомер № 4 – на расстоянии 50 м от границы зеленых насаждений (т.е. ширина полосы зеленых насаждений 50 м).

Схема расположения шумомеров приведена на рисунке 14.

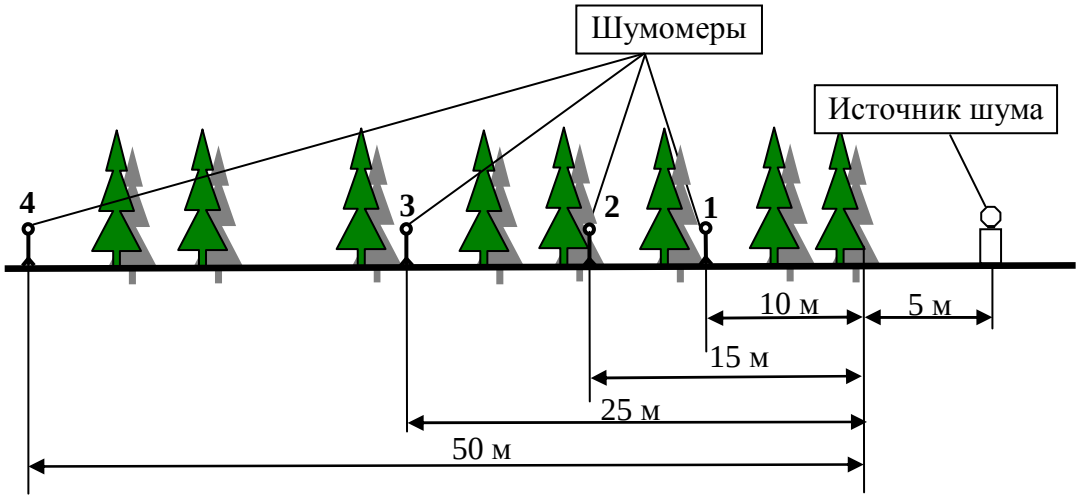


Рисунок 14. Схема расположения шумомеров при проведении исследований затухания шума при движении подвижного состава железнодорожного транспорта при наличии полосы зеленых насаждений

Физическая природа дополнительного (по сравнению с геометрическим расширением фронта звуковой волны) снижения звука при прохождении сквозь зеленые насаждения объясняется двумя независимыми механизмами:

– затухание звука за счет поглощения зеленым покровом;
– диффузное рассеивание звука при прохождении небольших по сравнению с длиной звуковой волны препятствий.

Затухание за счет поглощения звука зеленым покровом происходит на всех частотах, но т.к. коэффициент звукопоглощения листвы ($\alpha_л$) имеет небольшое значение на частоте 63 Гц, то на этой частоте снижение УЗД меньше, чем в остальном частотном диапазоне.

Небольшими препятствиями, где происходит диффузное рассеивание, являются стволы деревьев, длина звуковой волны менее их толщины в октавной полосе со среднегеометрической частотой 8000 Гц. На этой частоте наблюдается дополнительное затухание звука. На отдельных частотах возможны резонансные явления, тогда снижение УЗД уменьшается.

Исследования характера снижения шума полосой зеленых насаждений при создании звукового поля искусственным источником постоянного шума исследовалось на перегоне между железнодорожными станциями Ушаки и Рябово.

Иллюстрацией сказанному являются данные экспериментов приведенные на рис. 15 и в табл. 3.

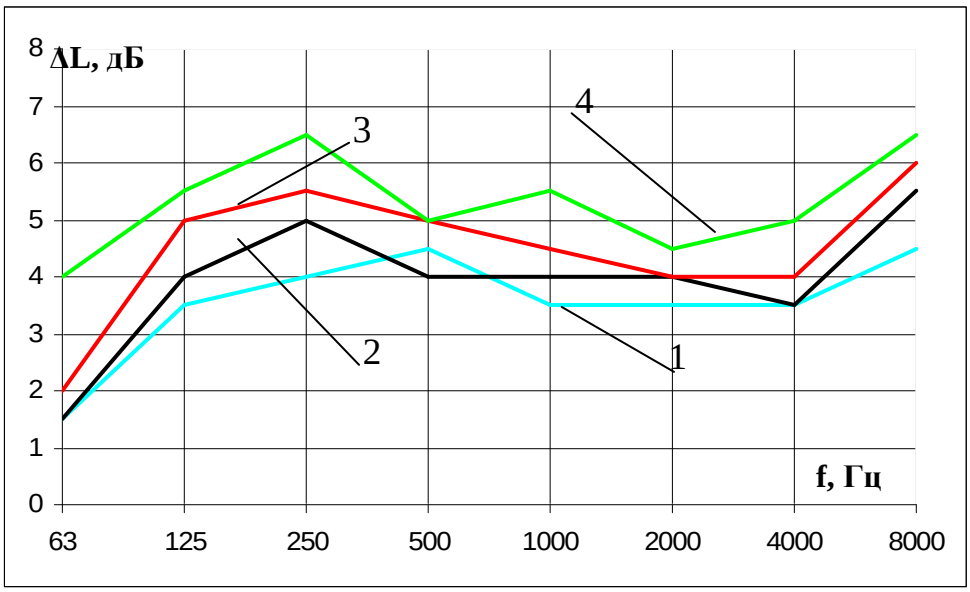


Рис. 15 Снижение УЗД лесным массивом глубиной: 1 - 10м; 2 – 15м; 3 – 20м; 4 – 50м.

Из рис. 15 видно, что малое снижение на частоте 63 Гц и увеличение на частоте 8000 Гц. На частоте 1000 Гц, возможно, отмечается резонансное похождение звука.

Оценка эффективности зеленых насаждений

Таблица 3

Расстояние, м	Снижение УЗД, дБ, в полосах частот								Снижение УЗ, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
10	1,5	3,5	4,0	4,5	3,5	3,5	3,5	4,5	4,5
15	1,5	4,0	5,0	4,0	4,0	4,0	3,5	5,5	5,0
20	2,0	5,0	5,5	5,0	4,5	4,0	4,0	6,0	6,0
50	4,0	5,5	6,5	5,0	5,5	4,5	5,0	6,5	7,0

Анализ показывает, что снижение УЗД с увеличением расстояния носит нелинейный характер. Для полосы лесных насаждений глубиной 50 м получено снижение УЗД 4-6,5 дБ (7 дБА), неглубокие лесные массивы 10-15 м снижают УЗД на 1,5-5,5 дБ (4,5-5 дБА), что меньше, чем отмечается в литературе.

Отметим, что эти величины снижения не являются существенными, но заметно могут снизить остроту вопроса акустического загрязнения в жилой застройке от подвижного состава железнодорожного транспорта в совокупности с установкой акустических экранов.

Выводы

1. Результаты сравнительных испытаний акустических экранов на станции Чудово показали:

– эффективность АЭ, зависящая от расстояния от измерительной точки до АЭ, снижается по мере увеличения этого расстояния за счет уменьшения угла дифракции, снижение составляет приблизительно 3 дБА при каждом удвоении расстояния;
– эффективность бетонного АЭ при прохождении поезда по I пути и на расстоянии 50 м от АЭ составила 10-13,5 дБ в диапазоне частот (125-8000 Гц), при прохождении поезда по II пути составила соответственно 6-10 дБ (8 дБА);
– эффективность металлического АЭ при прохождении поезда по I пути на расстоянии 50 м составила 5,5-12,5 дБ в указанном частотном диапазоне (8 дБА) при прохождении поезда по II пути и 1,0-6,5 дБ (4,5 дБА) при прохождении поезда по IV пути;
– меньшая эффективность металлического АЭ (-2 дБА) определяется несколько меньшей высотой, но самое главное – неправильным монтажом (проемы, щели) АЭ.

2. Испытания металлического АЭ конструкции «Ruukki» установленного на станции Mantsala (Финляндия) показали, что при приблизительно равной высоте, АЭ при движении поезда по II пути на расстоянии 50 м снижает УЗД на 4,5-16,0 дБ, УЗ на 11,5 дБА; такая эффективность является достаточной для снижения акустического загрязнения от подвижного состава ж.д. транспорта для многих практических случаев. АЭ – основное надежное и эффективное средство снижения акустического загрязнения окружающей среды на ж.д. транспорте. Основным направлением в конструировании АЭ – создание АЭ со звукопоглощением, которое не менее, чем на 3 дБА более эффективны, чем бетонные.
3. Применение АЭ на ж.д. транспорте и крупных автомагистралях имеет свою специфику. Как правило, расчеты эффективности АЭ ведутся в предположении, что источник шума расположен в наиболее близкой точке к экрану, то есть поезд проходит по I пути либо автомобиль следует по ближайшей к экрану полосе движения. Это во многих практических случаях ведет к серьезной ошибке, так как при большом количестве полос движения или большом количестве путей (то есть при удалении источника шума от экрана) эффективность АЭ снижается на 5-8 дБА. То есть именно на такую величину могут быть превышены нормативы шума в прилегающей застройке при преимущественном движении транспорта по дальним полосам или путям.
4. Разница в полученных результатах эффективности АЭ показывает, что при проектировании АЭ расчеты эффективности должны

производиться для самого удаленного от АЭ железнодорожного пути или самой удаленной полосы движения для автодороги, чтобы учесть наихудшее расположении источника шума. Эту особенность необходимо отобразить в специальной нормативной литературе.

5. Снижение УЗД полосами зеленых насаждений с увеличением расстояния носит нелинейный характер. Для полосы лесных насаждений глубиной 50 м получено снижение УЗД 4-6,5 дБ (7 дБА), неглубокие лесные массивы 10-15 м снижают УЗД на 1,5-5,5 дБ (4,5-5 дБА). Таким образом, применение зеленых насаждений не приносит заметного снижения шума, однако рекомендуется к применению в совокупности с установкой акустических экранов.

Литература

1. H. Kunst, European Transport and Rail Noise Policy, Proceedings of the workshop “Railway noise in urban areas: possible noise source reduction measures”, Pisa, November 9, 2006.
2. Н.И. Иванов Инженерная акустика теория и практика борьбы с шумом. Учебник.– М.: Университетская книга, Логос, 2008.–424с
3. Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно–методических документов. СПб: Компания «Интеграл», 2008, 1т–820с, 2т–822с
4. Снижение уровня шума на железнодорожном транспорте Европы ЖДМ–2008, №3, с62–66
5. ГОСТ Р 51943-2002 «Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности».

ШУМОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ – ЭЛЕМЕНТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Поспелов П.И., Строков Д.М., Щит Б.А.
Московский автомобильно-дорожный институт
(Государственный технический университет)
bcht@mail.ru

Стоимость шумозащитных сооружений на автомобильных дорогах редко превышает 1- 2% от стоимости строительства, что предопределило возможность их широкого применения в практике снижения транспортного шума в жилой застройке. Но изменение отношения к снижению транспортного шума заставляет вновь возвращаться к проблемам, которые стали заметны только с началом массового строительства шумозащитных сооружений.

Анализ проектных решений еще раз убедили авторов в том, что качество проектов автомобильных дорог можно обеспечить только с применением и внедрением в практику проектирования современных типовых решений (типовых проектов) отдельных элементов автомобильных дорог, в том числе и шумозащитных сооружений. Полное игнорирование необходимости такого шага, упование только на высокую профессиональную квалификацию проектировщиков и свободу выбора проектных решений, может привести не только к удорожанию стоимости строительства, но, как показывает практика, уже привело к низкому качеству проектов.

Под низким качеством проектов шумозащитных сооружений подразумевается не только недостаточное снижение уровней звука транспортных потоков в жилой застройке, но и возникновение дополнительных проблем на автомобильных дорогах, связанных со снижением уровня безопасности участников движения, обеспечением устойчивости сооружений, удорожанием эксплуатации дороги и т.п.

Реализация неудачных проектных решений вызывает негативное отношение к самой проблеме защиты населения от транспортного шума. Вместе с тем, необходимо отметить, что за шумозащитные сооружения иногда принимают декоративные сооружения, призванные обеспечить снижение доступности населения, либо шумозащитные сооружения используют для решения проблем не связанных с транспортным шумом.

Эта проблема связана с тем, что единственным документом, часто используемым проектировщиками, являются только санитарные нормы допустимых уровней шума. Все остальные документы, связанные с обеспечением безопасности движения, созданием системы водоотвода и т.д. просто игнорируются.

Основной тезис, который необходимо реализовать при проектировании шумозащитных сооружений, можно сформулировать следующим образом – шумозащитное сооружение – элемент автомобильной дороги.

Принятие этого тезиса включает:

- принципы размещения сооружения на земляном полотне или придорожной полосе;
- реализацию требований обеспечения безопасности водителей и пешеходов;
- устойчивости сооружений при наезде автомобилей;
- вписывание сооружения в окружающий ландшафт;
- использование жителями прилегающей к автомобильной дорогой застройки;
- минимальные затраты на эксплуатацию сооружения (мойка, очистка территории, водоотвод и т.д.),
- сплошность, отгон сооружения для предохранения от порывов ветра;
- обеспечение требуемой инсоляции (более поздняя вегетация растений из-за затенения;
- выбор материала, окраска экрана и даже отделка экрана и его проектное решение со стороны жилой застройки.

Все правила и положения, которые распространяются на проектирование любого сооружения на автомобильных дорогах, должны соблюдаться и при шумозащитные сооружения.

Акустические расчеты, как правило, составляют не более 5% от всего объема работ по проектированию сооружений и определяют только его основные геометрические размеры.

Размеры сооружения определяются достаточно точными акустическими расчетами с условием обеспечения требований санитарных норм, или существенным снижением шума.

Транспортный шум имеет две стороны. Одна из них это звук - акустические волны, распространяющиеся в воздухе, с другой это субъективное негативное воздействие на человека. В последнем случае акустический комфорт можно достичь без обеспечения требований санитарных норм

Иногда, чтобы обеспечить субъективное, не согласуемое с измеренными шумомерами снижением шума, достаточно закрыть источник шума от человека простым листом бумаги, и экранирование источника может оказаться более эффективным, чем строительство мощных шумозащитных сооружений. В связи с этим необходимо добиваться разумной комбинации объективного и субъективного снижения шума.

Результаты акустических расчетов в самом элементарном случае позволяют нам при заданных расстояниях до источника и застройки определить только высоту и протяженность плоскости, которая далее в проекте должна стать шумозащитным сооружением.

Основу метода расчета эффективности шумозащитных сооружении на дорогах составляет в основном метод Маекавы, имеющий ограничения, уменьшающие область применения:

- источник шума должен быть достаточно малых размеров, чтобы его можно было рассматривать как точечный;

- экран рассматривается как полубесконечная плоскость, его длина и высота должны быть значительными. Источник шума и точка расчета за экраном должны располагаться на такой высоте над поверхностью грунта, чтобы шумом, отраженным от поверхности грунта можно было пренебречь;
- потери при прохождении шума через экран должны быть достаточно велики, чтобы пренебречь их влиянием на уровень звука в расчетной точке;
- экран является шумоотражающим (звуковая энергия не поглощается на поверхности экрана, обращенной к источнику шума);
- толщина экрана меньше длины волны звука, хотя увеличение толщины и приводит к большему снижению уровней;
- источник шума и точка расчета находятся в плоскости перпендикулярной оси экрана;
- верх экрана имеет небольшой угол в вершине. При клиновидной форме, например, грунтовые валы требуют применения другой зависимости.

Шумозащитное сооружение это не только элемент автомобильной дороги, но и фрагмент жилой застройки, призванный соединить эти разные по назначению и качествам элементы в единую архитектурную систему. Требование функциональности со стороны автомобильной дороги обеспечивается техническими требованиями, которые предъявляются ко всем сооружениям на автомобильных дорогах:

- обеспечение высокого уровня безопасности движения (защита от наезда автомобилей на шумозащитное сооружение и повреждение автомобилей; отвод воды с проезжей части; очистка от снега; затемнение проезжей части и возможность образования гололеда; вопросы эвакуации пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях; отражение света фар от поверхности экрана и ослепление водителей встречных автомобилей и т. д.);
- вписывание шумозащитных сооружений в окружающий ландшафт, обеспечивающее высокие архитектурные качества на весь срок службы, обеспечения устойчивости сооружений, расположенных на земляном полотне или прилегающей полосе отвода;
- обеспечение отдельных социальных функций для жителей прилегающей застройки (доступность автомобильной дороги и общественного транспорта; обеспечение местного движения; затемнение прилегающей дороге территории и т. д.).

Опыт проектирования шумозащитных сооружений, их эксплуатации, анализ применяемых в настоящее время решений позволяет сформулировать отдельные проблемы, возникающие при их применении.

1. При проектировании шумозащитных экранов на земляном полотне автомобильных дорог в последние годы проектировщики нарушают основное правило размещения шумозащитных экранов. Минимальное

расстояние от кромки проезжей части до шумозащитного экрана не должно быть менее 2,5 м. Это расстояние позволяет:

– избежать сокращения расстояния видимости поверхности проезжей части при расположении экранов на кривых в плане;
– обеспечить пространство необходимое для размещения дорожных знаков стандартных размеров;
– выделить гарантированную полосу для размещения сооружений водоотвода и стоек ограждений безопасности;
– механизировано окашивать траву между экраном и ограждением;
– осуществлять посадку озеленяющих экран растений;
– обеспечить площадь достаточную для складирования снега, убираемого с проезжей части;
– снизить вероятность образования гололеда и затемнения проезжей части;
– это расстояние между ограждением и экраном обеспечивает устойчивость экрана при наезде автомобилей на ограждение.

Отклонение в меньшую сторону приводит к росту аварийности на дорогах и порождает проблемы, трудно исправимые при эксплуатации дороги.

2. Проблема стадийного проектирования шумозащитных в санитарных нормах вообще не решены, а процесс изменения уровней звука на автомобильных дорогах носит динамический характер и существует реальная возможность при значительном изменении интенсивности движения в период службы дороги поэтапного осуществления шумозащиты.

   В расчетах полностью отсутствует программа и перспективы снижения внешнего шума автомобилей. Экраны рассчитывают на автомобили, выпущенные в семидесятые годы, а с учетом того, что все шумозащитные сооружения проектируют на перспективную интенсивность движения, иногда 20-летнюю, то, следовательно, прогнозы внешнего шума транспортных потоков отстают минимум на 50 лет.

   Путь снижения транспортного шума за счет снижения шума отдельных автомобилей признан наиболее приемлемым, так как снижение шума происходит сразу во всей жилой застройке. Но технические возможности здесь ограничены.

3. В практике проектирования часто встречаются случаи, заставляющие отклониться от принятой в расчетах модели шумозащитного экрана – вытянутой плоскости, и перейти к другим решениям, как правило, уменьшающим акустическую эффективность экранов. Это, прежде всего, вынос оси шумозащитных экранов на земляное полотно, изломы экранов в плане из-за наличия автобусных остановок, газопроводов, необходимости проектирования разрывов в экранах по

длине. Не понимая физики работы сооружения, его часто разбивают на мелкие участки с разрывами для подъезда к отдельным домам.

4. Типовое решение отвода воды с проезжей части предусматривало разрыв в бортовом камне и устройство лотка для пропуска воды под панелями экрана. Такое решение не очень эффективно. К тому же, лотки часто оставляют открытыми, не засыпая их дренирующим щебнем, что создает дополнительные трудности при замерзании воды. Применение закрытой системы водоотвода приводит к значительному удорожанию сооружений и недостаточно эффективно при поперечных профилях земляного полотна характерных для загородных автомобильных дорог.
5. Положительный опыт защиты от шума на автомобильных дорогах привел к некоторой моде не только на строительство шумозащитных экранов, но и на применяемые материалы. Часто стали применять довольно дорогие экраны с поглощающими панелями даже там, где их применение не приведет к улучшению ситуации.
6. Экраны должны быть не только эффективными, но и экономичными, и долговечными .Полностью игнорируется такой тип экранов как грунтовые валы достаточно широко распространенные за рубежом.

КОНЦЕПЦИЯ И РАЗРАБОТКА КАРТ ШУМА ГОРОДОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Буторина М.В.
Балтийский Государственный технический университет
"ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова

Введение

Почти каждый городской житель непрерывно или периодически испытывает различные вредные акустические воздействия, которые не просто вызывают дискомфорт, но и приводят к серьезным заболеваниям. Психические расстройства, сердечнососудистые заболевания, ухудшение слуха, ослабление памяти – вот далеко неполный перечень действия акустического загрязнения. В результате длительного воздействия шума возникает заболевание, которое медики назвали «шумовая болезнь», признаки которой можно обнаружить у большого числа городского населения. Повышенный шум по степени и масштабам воздействия стоит в ряду с такими опасностями человечества, как СПИД, кислотные дожди, нарушение озонового слоя, загрязнение воды и др.

В докладе Европейской комиссии, посвященном проблеме шума на пороге XXI века, который был опубликован в 1997 году, отмечается, что более 20 % населения Объединенной Европы (т.е. около 80 млн. человек) страдает от повышенного шума. Данные Научно-исследовательского института строительной физики свидетельствуют, что в Москве общая площадь повышенного акустического загрязнения составляет около 30 % территории города, а число жителей, живущих в зоне повышенного шума, составляет около 3,25 млн. человек. Аналогичная ситуация сложилась и в Санкт-Петербурге – примерно 1,5 млн. жителей, проживающих на трети городской территории, подвергаются вредному воздействию шума.

Наиболее удобным источником информации об акустической ситуации на территории городов являются карты шума, они служат также действенным инструментом контроля и борьбы с шумом.

Конкретные средства защиты от шума необходимой эффективности могут быть предложены на основании расчета распространения транспортного шума в селитебную зону. Результаты расчета распространения шума в городской застройке целесообразно представлять в виде шумовых зон или карт шума, являющихся эффективным инструментом в борьбе с шумом. Они дают возможность обоснованно судить об условиях шумового режима селитебной территории, определять зоны с уровнями, превышающими нормативные и выбирать рациональные меры снижения шума.

1. Развитие шумового картирования в мире

Работы по составлению карт шума ведутся уже очень давно. Первыми картами шума можно считать результаты адресных замеров уровней шума, проведенные на территории города и представленные в табличном виде. Примером такой карты шума могут служить натурные замеры, проведенные в Ленинграде в 1971 г. (таблица 1).

Таблица 1

Ведомость натурных замеров уровней шума по данным Ленгорсэс (выборочно)

№ п/п	Номера точек замеров	Адрес
	I. Диапазон 65 - 70 дБА	
1.	22	6-я линия В.О. д.3
2.	23	6-я линия В.О. д.76
3.	27	ул. Васи Алексеева д.29
4.	246	ул. Новоселов д.45
	II. Диапазон 71 - 75 дБА	
5.	17	Ул. III Интернационала д.29
6.	18	Пр. Народного Ополчения д.131
7.	132	Ул.Скороходова д. 22
8.	137	Левашовский пр, д. 26/28
9.	213	Ул. Некрасова Д.14
10.	228	Греческий пр.
11.	249	5-я Красноармейская, 20
	III. Диапазон 76-80 дБА	
12.	4	пр.Стачек, д.9
13.	36	Благодатная ул. д.47
14.	199	Набережная Обводного канала д.211
15.	200	Набережная Обводного канала д.213
16.	257	набережная Кутузова
17.	178	Кондратьевский пр. д.35
18.	89	Антоновский пер. д.10
19.	224	Малый пр. д.7
	IV. Диапазон 81-85 дБА	
20.	1	Пр. Газа, д.2
21.	2	Пр. Газа, 21
22.	3	пр. Стачек д.4
23.	251	Ул. Марата, 15
24.	255	Пироговская набережная
25.	V. Диапазон 86-90 дБА	
26.	9	Краснопутиловская д.59
27.	11	ул. Зайцева д.9
28.	13	Автовская ул. д.24

В 1971 г. было проведено 232 замера в разных частях города. Результаты такого картирования нельзя назвать полными и представляющими наглядную картину уровней шума на территории города, поскольку, во-первых, замеры неравномерно распределяются по его территории, во-вторых, представляют уровни шума с точностью до 4 дБА только у жилых зданий, а, следовательно, определить уровни шума источников, оказывающих влияние в этих точках, и разработать мероприятия шумозащиты не представляется возможным.

Позднее карты шума стали представляться в графическом виде. При построении таких карт на них наносятся линии равного уровня шума, которые принято называть также «изодецибел».

Карты шума выполнялись также по результатам натурных измерений. Основной задачей натурных измерений являлось установление эквивалентных уровней звука на улицах и дорогах города, определяемых по измеренным уровням звука. На основании результатов измерений, оформленных в виде протокола, рассчитываются эквивалентные уровни звука согласно ГОСТ 20444-85. Измеренные уровни указываются на карте в соответствующих точках замеров. Процедура проведения измерений, измерительная аппаратура и методика обработки данных, подробно описана в «Руководстве по разработке карт шума улично-дорожной сети городов».

На рис. 1 представлена карта улично-дорожной сети Москвы с эквивалентными уровнями шума (дБА) на 1980-2000 г.г. Она основана на экспериментальной методике оценки шума. При ее составлении были оценены уровни шума лишь на крупнейших магистралях. Как показывает анализ этой карты, вариабельность данных по территории города низка. При этом проводилась оценка только автотранспортных источников шума. Уровни шума по городу составляют 77-86 дБА, что значительно выше предельно допустимых уровней. При помощи карты можно оценить акустическую обстановку не более, чем на 5 % территории города.

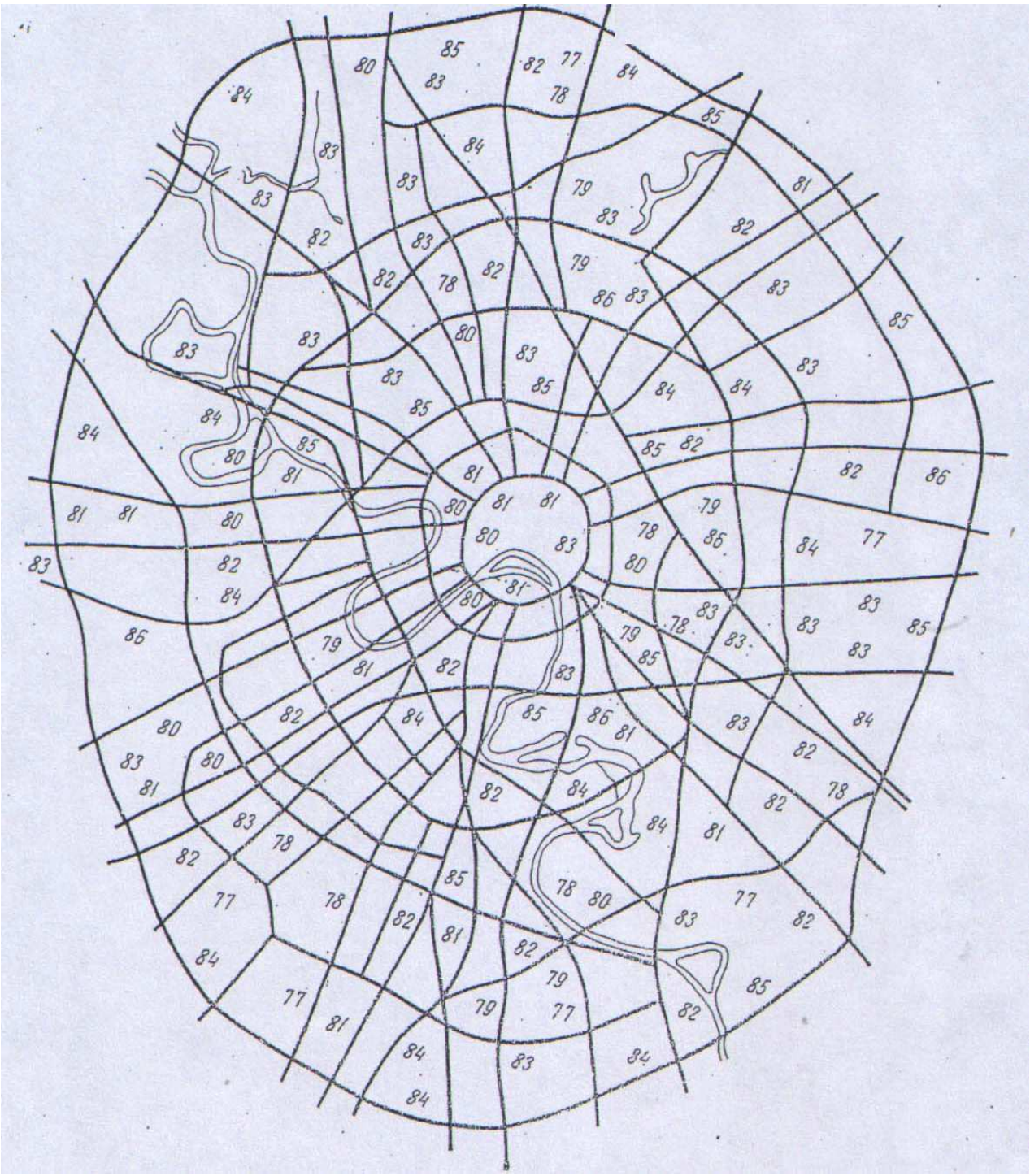


Рис. 1. Карта улично-дорожной сети Москвы
с эквивалентными уровнями шума (дБА) на 1980-2000 г.г.

Состояние шума в Санкт-Петербурге можно оценить по шумовой карте, составленной в 1991 году. На карте приведены выборочные данные по основным транспортным магистралям. Составление карт шума базировалось на данных акустических измерений уровней шума автодорог, поэтому она карты не может в полной мере отобразить акустическую обстановку в городе. Рассмотрим акустическую карту Санкт-Петербурга (рис. 2).

На карте цветными линиями (желтыми, оранжевыми, красными и синими) показаны эквивалентные уровни звука, дБА, измеренные на основных транспортных магистралях города. Цветным линиям на карте соответствуют следующие эквивалентные уровни звука:

– желтый – менее 65 дБА,
– оранжевый – 66-70 дБА,
– красный – 71-75 дБА,
– сиреневый – 76-80 дБА,
– синий – 81-85 дБА.

Из анализа шума по измеренным участкам нетрудно установить, что в основном шум на большинстве магистралей находится в пределах 65-80 дБА. При сравнении с принятыми нормами для жилой застройки в дневное время (55 дБА) мы видим, что превышение составляет 10-25 дБА.

Это говорит о довольно высоких уровнях шума на транспортных магистралях Санкт-Петербурга. В то же время нетрудно заметить ограниченность представленных результатов. По-видимому, эти данные следует отнести к наиболее шумным нагруженным магистралям города. Карта носит схематический характер, т.к. систематического изучения шума в нашем городе не ведется, она была составлена по данным одномоментных наблюдений для основных транспортных магистралей в часы пик с 15 до 19 часов в рабочие дни. Экспериментальной оценке была подвержена небольшая часть городской территории, составляющая всего несколько процентов площади города. В добавление к сказанному отметим, что карта в немалой степени успела устареть, т.к. шум на основных магистралях значительно изменился. Данная карта, построенная по результатам замеров, не дает возможности оценить ожидаемый уровень зашумленности данной территории на планируемый период, поскольку данная величина является расчетной и вычисляется по результатам прогнозов.

Аналогичная карта шума была построена НИПИ ТРТИ для Генплана Санкт-Петербурга в 2005 г, исходя из результатов замеров уровней шума. На карте представлены шумовые характеристики основных транспортных магистралей города (96 улиц), уровни шума которых составляют от 61 до 79 дБА. Магистрали разбиты на следующие группы и выделены цветом:

– менее 65 дБА желтый;
– 66-70 дБА коричневый,
– 71-75 дБА красный,
– 76-80 дБА синий.

На карте также изображены зоны повышенного воздействия авиационного шума. Однако по данной карте также сложно определить уровни шума в жилой застройке, поскольку измерениями было охвачено не более 5 % городской территории.

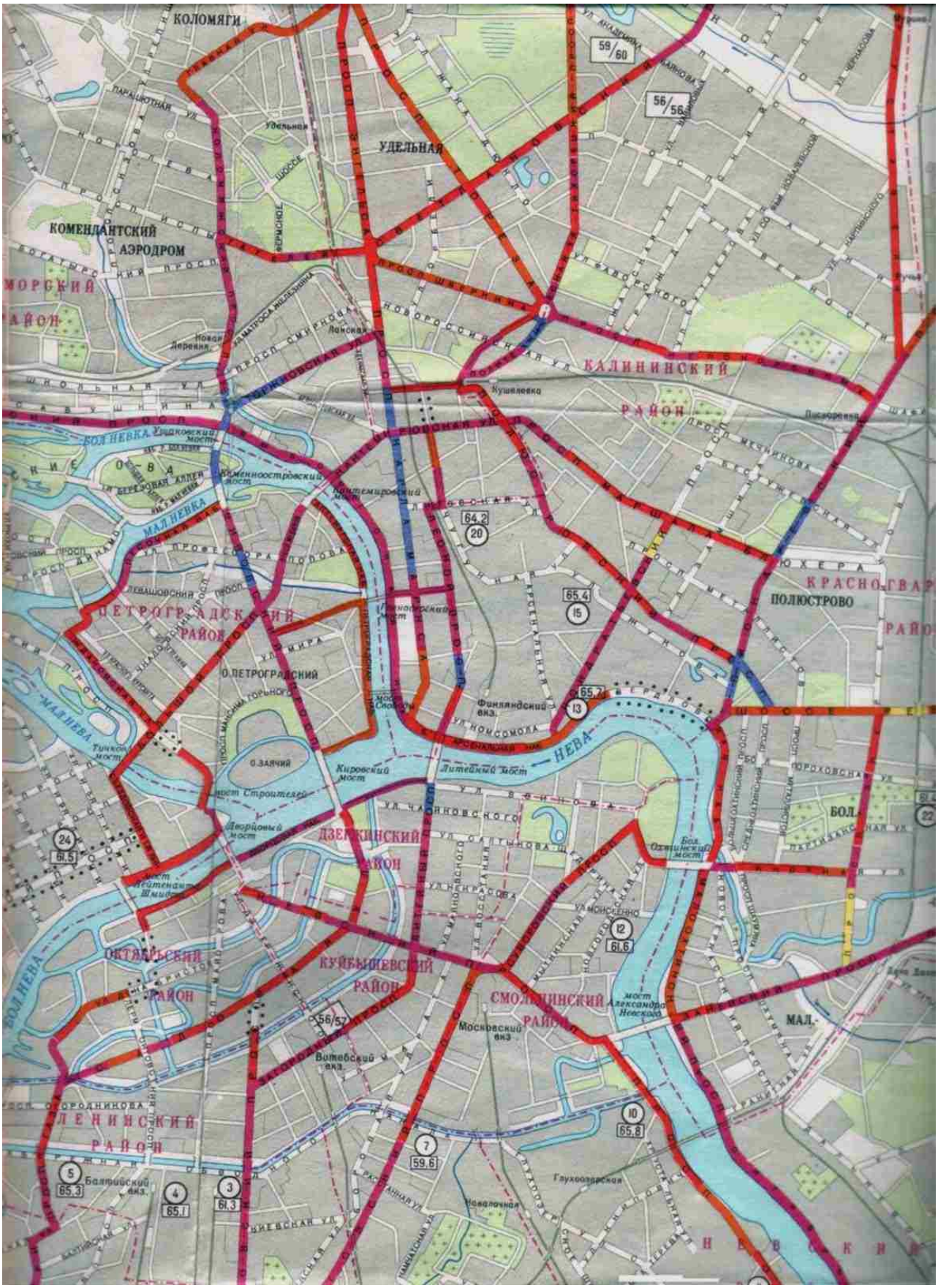


Рис. 2. Карта шума Санкт-Петербурга (1991 г.)

В 80-90-е годы прошлого века НИИСФ (Москва) проведена большая работа в области составления карт шумана различных этапах разработки проектов. В зависимости от целей планирования применяются шумовые карты различных масштабов. При этом крупномасштабная карта применяется при принятии решений о выборе места размещения новых источников шума и объектов, требующих защиты. Такая карта составляется на основе официального издания карты, изображающей существенные детали отдельных зданий, автодорожных сооружений и промышленных зон, сельхозтерритории, зеленые насаждения, а также горизонтали, указывающие высоту над уровнем моря. На шумовой карте обозначаются зоны с одинаковыми уровнями или вычерчиваются границы шумовых зон. При этом границы зон обозначаются кривыми между шумовыми зонами, кратными 3 дБ. Границы зон обозначаются их верхними и нижними пределами, а сами зоны выделяются различными цветами в зависимости от уровня шума / 8 /.

Карты шума небольших объектов также выполняют нанесением на плановую подоснову кривых равных уровней звука (в виде концентрических окружностей для точечного источника и параллельных прямых для линейного). Если на пути распространения шума расположены застройка, экранирующие сооружения, шумозащитное озеленение, то кривые равных уровней звука корректируются с учетом дополнительного снижения уровня звука. Расчеты распространения шума производятся по стандартизированным методикам. Эффективность снижения шума за домами, расположенными вблизи источника шума, рассчитывают так же, как и снижение уровня звука с помощью акустического экрана (СНиП II-11-77). Снижение шума за зданиями второго эшелона застройки без проведения дополнительных расчетов принимают равным 8-12 дБА. Значительные поправки вносят разрывы между домами до 30-40 м. Их принято рассматривать как точечные источники в зоне звуковой тени, снижение уровня звука в разрыве определяют по графическим зависимостям, построенным по результатам натурных измерений.

Специалисты НИИСФ построили типовые схемы примерного расположения кривых равных уровней шума в различных вариантах застройки, которые рекомендуется применять для построения карт шума примагистральных территорий на уровне 1-2 этажа. На следующем этапе построения кривых равных уровней из предложенных вариантов выбирается соответствующий тип застройки и определяется направление кривых за домами. Таким образом строится карта снижения уровня шума на примагистральной территории (см. рис. 3).

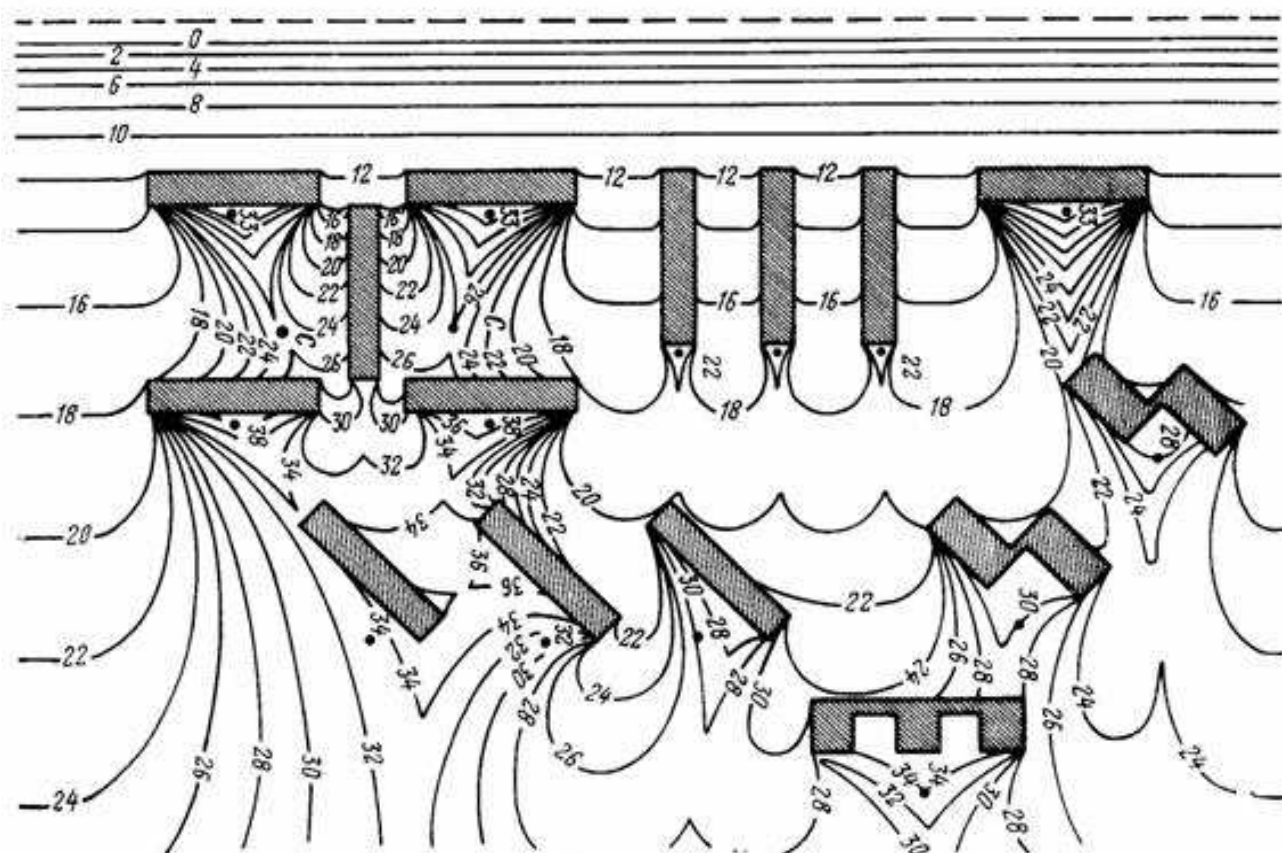


Рис. 3. Карта шума примагистральной территории

На основании описанного выше подхода и российских расчетных методик создаются программы для расчета карт шума. Однако российские программы позволяют представить карты шума лишь в виде изолиний равного уровня звука. На рис. 4 представлен пример карты шума, разработанной при помощи российской программы. Такой карты шума, в принципе, достаточно для определения границ санитарно-защитной зоны небольшого предприятия, однако, для условий плотной городской застройки такие карты шума недостаточно наглядны.

Проанализированные выше методы составления карт шума значительно устарели (1976 г.). Главным недостатком расчетных методов составления карт шума является то, что они основаны на устаревших расчетных методиках, дающих большую погрешность по сравнению с существующей ситуацией, осложняет задачу и их неприспособленность для автоматизированного расчета из-за необходимости получения табличных и графических данных на каждом шаге. Метод, основанный на замерах, вообще не является расчетным, т.е. не дает возможности прогнозировать ситуацию.

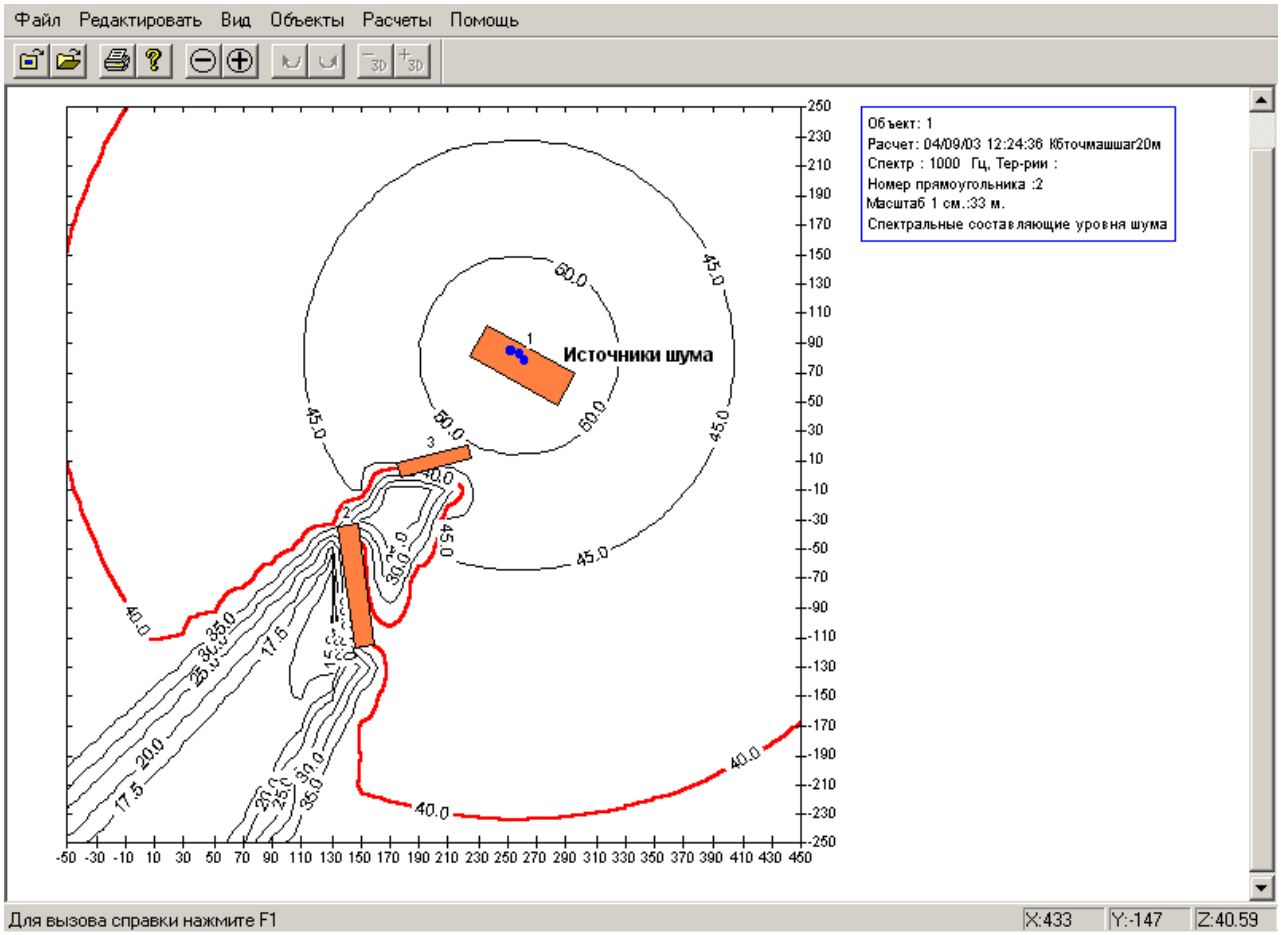


Рис. 4. Карта шума с нанесением линий равных уровней звука (российская программа расчета Гарант-Шум)

В числе основных недостатков таких карт следует также отнести неполноту имеющихся данных, как по основным источникам шума, так и по площади акустического загрязнения (измерениями было охвачено менее 5 % жилой застройки). Эти данные, вероятно, вполне годятся для приближенной оценки городского шума, но зачастую недостаточны для решения многих текущих проблем городской жизни, а также выполнения конкретных проектов, как, например, строительство автомагистрали в городской черте. Действительно, при проведении мероприятий по реконструкции территории и новому строительству, проектирующим органам и организациям необходимо располагать более полными сведениями об эквивалентных уровнях шума не только на отдельных транспортных магистралях, но и на территории жилой застройки.

Таким образом, 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.

2. Современные методы построения карт шума

Внимание Европейского Сообщества в последнее время все чаще обращается на борьбу с шумом. ЕС выпустил Зеленые Страницы по политике в области борьбы с шумом, Вышла Директива по оценке снижения шума в окружающей среде. Значительным шагом вперед стала разработка Директивы по Шуму в Окружающей Среде (2001 г.), в которой заложены основы и определена база для составления карт шума и регулярной отчетности стран ЕС об уровнях шума и источниках воздействия. Согласно этой Директиве все страны ЕС до 2008 г. должны разработать карты шума, а на их основе национальные планы действий по снижению шума, а также подавать отчеты об акустической ситуации. Последние годы представления такой отчетности показывают, что данное мероприятие является действенным инструментом контроля и снижения шума в Европе.

Директива ЕС 2002/49/ЕС является основой для создания карт шума. 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 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.

Для разработки шумовой карты города необходимо применять новые подходы и методы, разработанные с учетом мирового опыта мониторинга и оценки шума.

В современной практике используется два основных вида карт шума:

1. Оперативные карты шума, построенные по результатам натурных исследований, отображающие акустическую ситуацию на текущий период.
2. Карты шума на перспективный период, полученные в результате расчетов ожидаемых уровней шума.

Карты шума на текущий период, служащие для оценки существующего шумового режима и входящие в состав проектной документации при разработке технико-экономических основ развития города, выполняются по результатам натурных измерений. Основной задачей натурных измерений является мониторинг уровней шума. Мониторинг комплексного воздействия шума различного происхождения выполняется с целью исключения, предупреждения или снижения вредного воздействия шума на человека и окружающую среду. Для этого на базе единых методов контроля шума проводят составление оперативных шумовых карт на территории города, на основе которых выявляют зоны акустического дискомфорта и разрабатывают организационные, технические и строительные мероприятия по защите населения от шума.

Для удобства использования и хранения шумовые карты изготовляют в электронном виде. Карты шума на расчетный и перспективный период разрабатываются расчетными методами. Для разработки методики расчета карты используются нормы и стандарты, введенные в данной стране.

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) расчеты;
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.

Целью шумовой картографии является предоставление информации населению о шумовом режиме территорий. Шумовые карты используются для разработки стратегических планов в области борьбы с шумом.

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 ($L_{Аэкв}$) 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 (СНиП 23-03-2003 «Защита от

шума»). Следует отметить, что в настоящее время Комитетом по экологии Государственной Думы подготовлен Закон «О защите населения РФ от повышенного шума», в котором находит отражение западный опыт по разработке карт шума, так, например, в Закон внесен пункт об обязательном составлении карт шума для всех больших городов России.

В соответствии с Директивой 2002/49/ЕС наиболее прогрессивные города Европы – Лондон и Париж – уже разработали свои карты шума и представили их в сети Интернет для обеспечения доступа общественности к этим данным. Эти карты шума, полученные из сети Интернет, представлены на рис. 5 и 6.

Венгрия, Германия, Дания, Латвия, Румыния, Словения, Финляндия, Швеция и Эстония и разработали карты шума основных транспортных магистралей и представляют отчеты по результатам работы в Европейскую Комиссию.

Следует отметить, что применение западных расчетных методов в России требует значительной адаптации к местным условиям (действующим нормативам, шумовым характеристикам отечественных автомобилей и т.п.). Как было показано в предыдущих главах, 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 (Windows95/NT), включает удобную двух- и трехмерную графику, а также расчетные методики, позволяющие проводить картографирование зашумления и 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 силами специалистов БГТУ «Военмех» произведен перевод программы на русский язык и адаптация ее к российским расчетным методикам.

Рис. 5. Карта шума Парижа

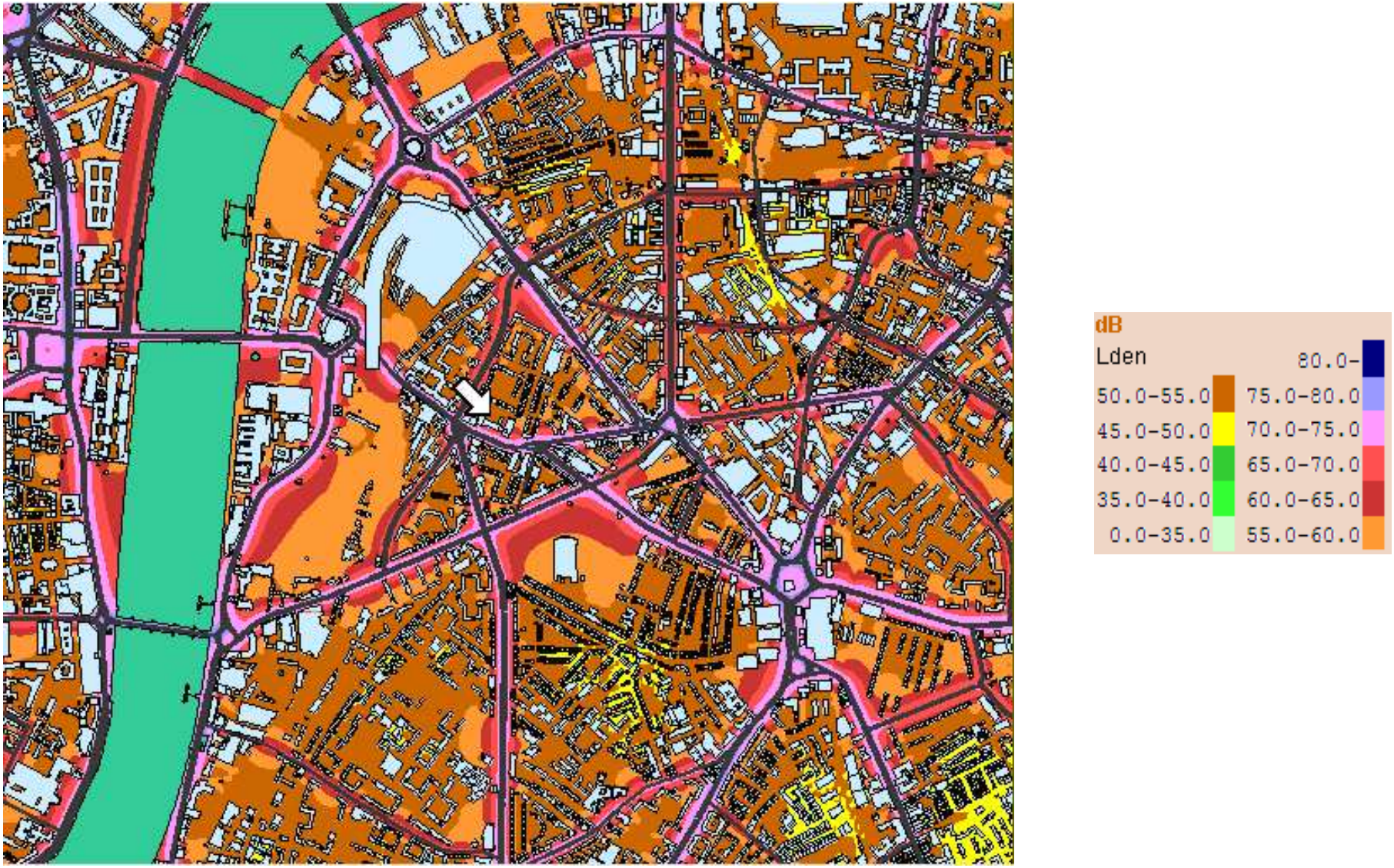


Рис. 6. Часть карты шума Лондона

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. 7.

Следует отметить, что при адаптации программы к российским стандартам было использовано несколько расчетных методик, представленных в различных нормативных документах, а именно:

1. Автотранспортный шум (Russian Road) – «Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов» (Министерство транспорта; Федеральный дорожный департамент. - М., 1995) п. 4.6.
2. Железнодорожный шум (Russian Rail) оценивается согласно «Справочника проектировщика. Защита от шума в градостроительстве» (М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.) п. 2.2.
3. Распространение шума оценивается согласно СНиП II-12-77 «Защита от шума» (М.: Госстрой, 1978) п.10.7
4. Промышленный шум (ISO 9613-2:1996) оценивается согласно положениям ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета»
5. Распространение шума внутри помещений рассчитывается согласно СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» (М.: Госстрой, 2004) п.7.

В РФ основной проблемой является отсутствие единой стандартизованной методики расчета уровней шума различных источников, которая удовлетворяла бы как проектировщиков, так и контролирующие органы. Результаты расчетов зачастую противоречат друг другу. Этот факт зачастую вызывает конфликтные ситуации при планировании и сдаче новых объектов особенно транспортного комплекса.

Использование сертифицированных программ также не всегда снимает вопросы контролирующих органов, хотя и является несомненным плюсом при разработке проектов.

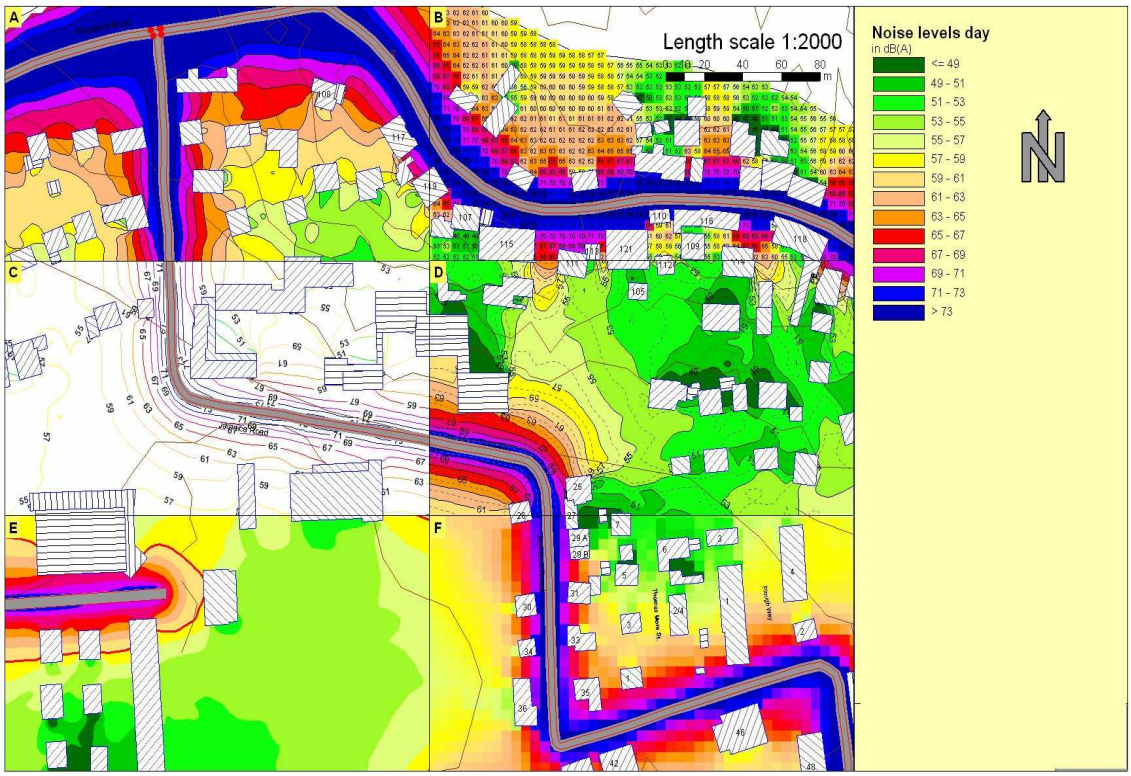


Рис. 7. Карта шума в жилой застройке,
разработанная с помощью программы SoundPLAN

3. Разработка карты шума Санкт-Петербурга

В 2006 г. в Санкт-Петербурге впервые за всю историю города была проведена работа по разработке подробной карты шума и зонированию территории по фактору шума с учетом всех существующих источников. Для оценки существующей шумовой нагрузки проведено более тысячи натурных наблюдений с инструментальными измерениями уровней шума по всей территории города. При помощи экспериментов и расчетов была произведена оценка шумовых характеристик автотранспортных, рельсовых, водных и промышленных источников шума.

Основная цель при разработке новой карты шума – определение шума по всей территории города практически у каждого строения. Отечественных программ, позволяющих это осуществить, не существует. Поэтому впервые в нашей стране для построения карты была использована известная во всем мире программа «SoundPLAN», специально адаптированная разработчиками под отечественную нормативно-техническую базу.

В качестве исходных данных для построения карты шума применялись результаты инструментальных измерений шума автотранспорта и стационарных источников. Всего было выполнено 1375 измерений. Измерения проводились шумомерами производства фирмы «Октава+» (Россия) и «Брюль и Кьер» (Дания). Все измерения производились в соответствии с действующей нормативной документацией. Измерениями были охвачены автотранспортные

источники шума, источники шума железнодорожного, водного и воздушного транспорта, внешние уровни шума промышленных предприятий. Это позволило определить уровни шума от всех источников и получить данные для картирования территории города.

Уровни шума железнодорожного транспорта, электротранспорта и водного транспорта рассчитывались при помощи стандартизированных методик.

При построении общей карты шума в расчет принимались все виды источников. При этом территория города разбивалась по сетке с шагом 50 м. Всего в расчете принимало участие 775280 расчетных точек. После определения уровней шума в расчетных точках точки с равными уровнями звука соединялись изолиниями, в результате чего были получены линии равного уровня звука на территории города с шагом в 5 дБА, что соответствует условиям нормирования шума. Для каждой защищаемой территории были установлены предельно допустимые уровни шума и определено превышение ПДУ, в результате чего получены границы зон, на которых соблюдаются нормативные уровни. Фрагмент карты шума приводится на рис. 8.

Калибровка карт производилась при помощи замеров уровней шума на территории городской застройки. Выборочное сравнение расчетных характеристик с показателями натурных шумовых замеров на ряде магистралей дали хорошую сходимость результатов расчетов с фактическими измерениями уровней шума (среднеквадратичное отклонение не более 1,5-2 дБА). Следовательно, подход к картированию шума и расчетные методики, использованные при разработке карты шума Санкт-Петербурга, с достаточной достоверностью отражают акустическую ситуацию и могут использоваться при составлении карт шума и расчетах ожидаемой шумности в других городах страны.

В ходе разработки карты шума было установлено, что эквивалентные уровни шума на территории города за последние 35 лет снизились на 8 дБА. Это объясняется выполненными за последние десятилетия шумозащитными мероприятиями по снижению шума в источнике: модернизацией техники, обновлением автопарка, применением малошумных машин и механизмов западного производства. Однако почти треть нормируемых по шуму территорий имеют уровни выше предельно допустимых. Наиболее значимым источником шума в городской застройке является авиационный транспорт (32 %), далее следует автомобильный транспорт (21 %), промышленные источники (14 %), железнодорожный транспорт (7 %), электротранспорт (1 %). В целом по городу наблюдается тенденция снижения уровней шума в центральных районах и некоторого увеличения ближе к окраинам.

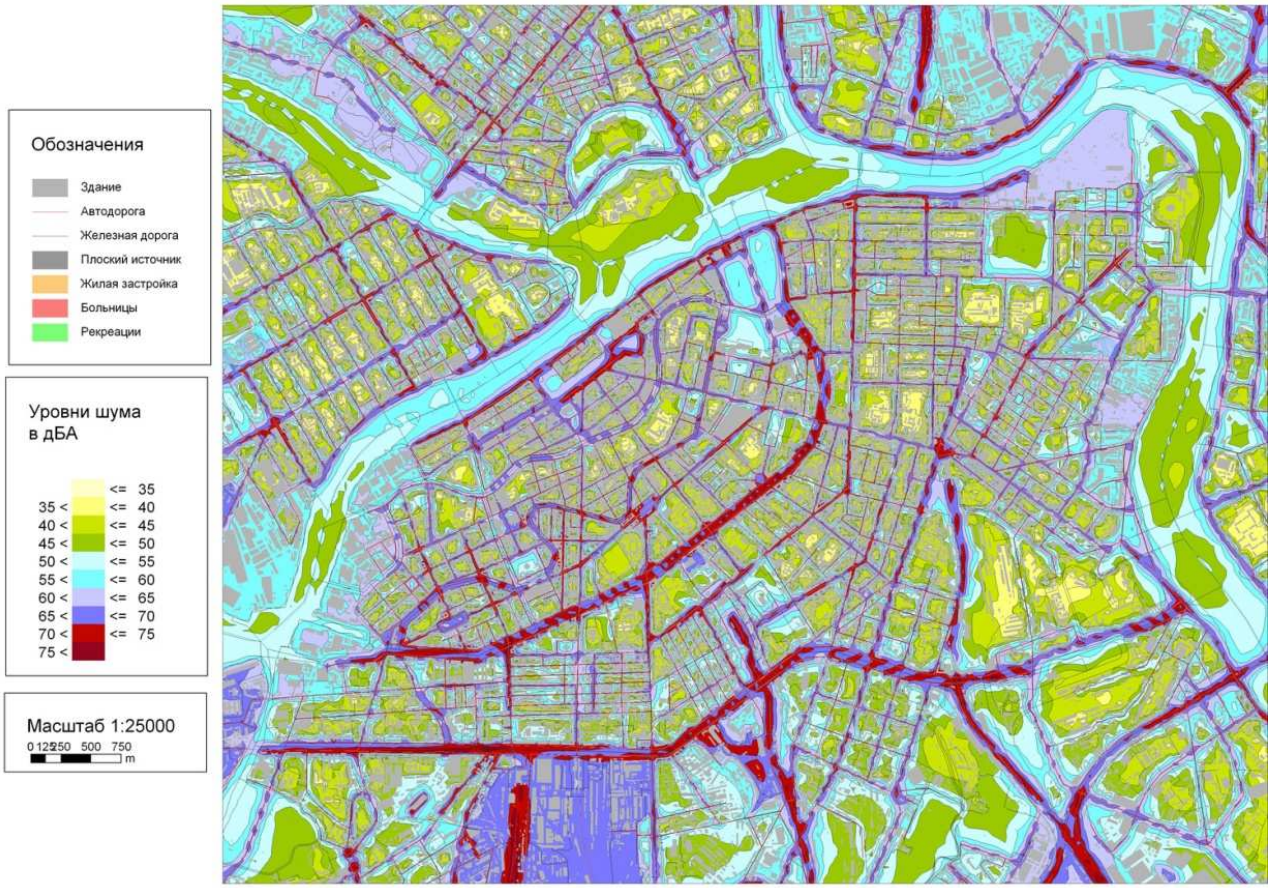


Рис. 8. Фрагмент карты шума для жилого квартала Санкт-Петербурга, построенный при помощи SoundPLAN

4. Практическое применение карт шума

По результатам разработки карт шума определяются основные мероприятия, направленные на снижение шума в городской среде. Основными направлениями борьбы с шумом являются:

1. Подавление шума в источнике при помощи конструктивных методов, установка технических норм машин и механизмов.
2. Снижение шума на пути его распространения (рациональное планирование территорий, установка экранов, использование насыпей и выемок).
3. Снижение шума в объекте шумозащиты (шумозащитное остекление домов, повышение звукоизоляции конструкций).

Для снижения шума автотранспорта и электротранспорта рекомендуется обеспечение отвода транспортных потоков от центра и жилых районов города, применение шумозащитных экранов, шумозащитное остекление зданий, применение малошумного дорожного полотна.

Снижение шума железнодорожного транспорта может быть обеспечено применением шумозащитных экранов, выносом грузовых железнодорожных станций за пределы центральной части города, вынесением грузового движения на обходные и дублирующие магистрали.

Для борьбы с авиашумом рекомендуется выбор трасс взлета и посадки самолетов в обход густонаселенных районов, исключение из расписания ночных рейсов, а также вывод из эксплуатации воздушных судов наиболее шумных типов. В местах прогонки двигателя следует устанавливать акустические экраны.

Основным мероприятием по снижению шума промышленных предприятий является разработка и применение шумозащитных мероприятий (увеличение звукоизоляции ограждающих конструкций, применение локальных акустических экранов, применение глушителей вентиляционного оборудования, капотов и кожухов на шумном оборудовании, перенос компрессорных станций).

Административные мероприятия, направленные на улучшение качества жизни горожан, включают следующее:

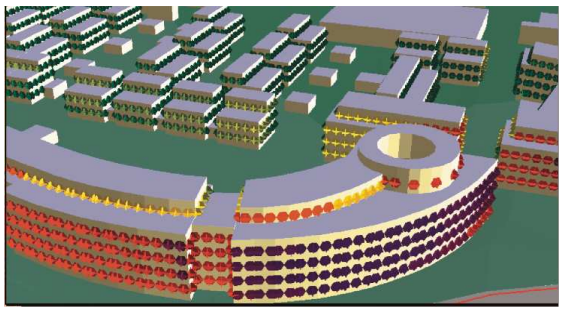
1. Проведение ежегодного мониторинга шума на территории города при помощи инструментальных замеров и построения карт шума источников.
2. Разработку нормативной документации, позволяющей объективно оценивать ожидаемые уровни шума.
3. Разработку программы защиты населения от шума.

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. Оценить фоновые уровни шума в любой точке города при проектировании новой застройки.
3. Обосновать оценку высвобождения отдельных территорий под новое строительство.
4. Оценить 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.

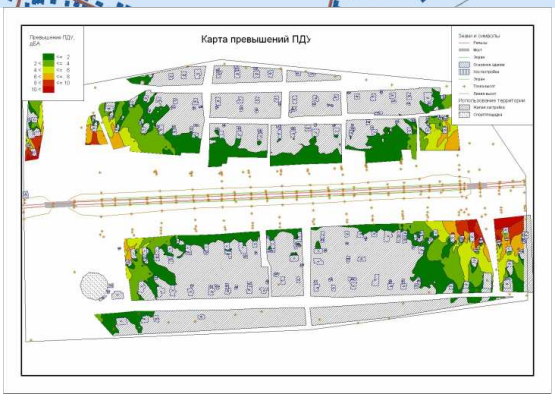
Карты шума позволяют:

Представить цифровую модель местности в виде 3-хмерной модели с учетом особенностей ландшафта.



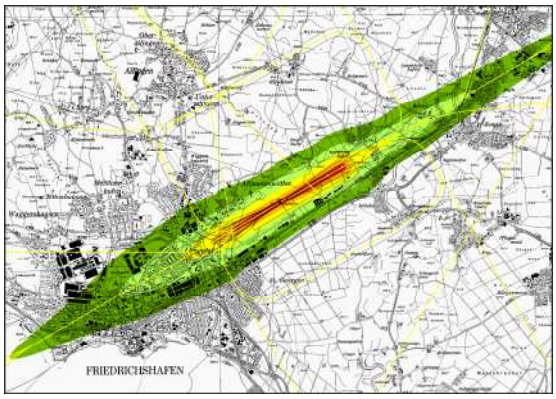
Рассчитать уровни шума на каждом этаже и отобразить полученные значения на 3-хмерной модели здания (фасадная карта шума), что позволяет точно оценить необходимую эффективность шумозащитного остекления.

Спроектировать акустический экран, оптимизировать его по критериям эффективности и стоимости



Оценить превышение ПДУ на селитебной территории

Оценить площадь территории, подверженной различным уровням шума



Оценить уровни шума авиатранспорта

При помощи карты шума можно наглядно представить эффективность шумозащитных мероприятий. На рис. 9 а) и б) представлены карты шума территории, прилегающей к трассе надземного экспресса, до и после применения шумозащитных мероприятий. Как видно из карт, применение акустических экранов позволяет сократить санитарный разрыв и обеспечить акустический комфорт на обширной территории вблизи источника шума.

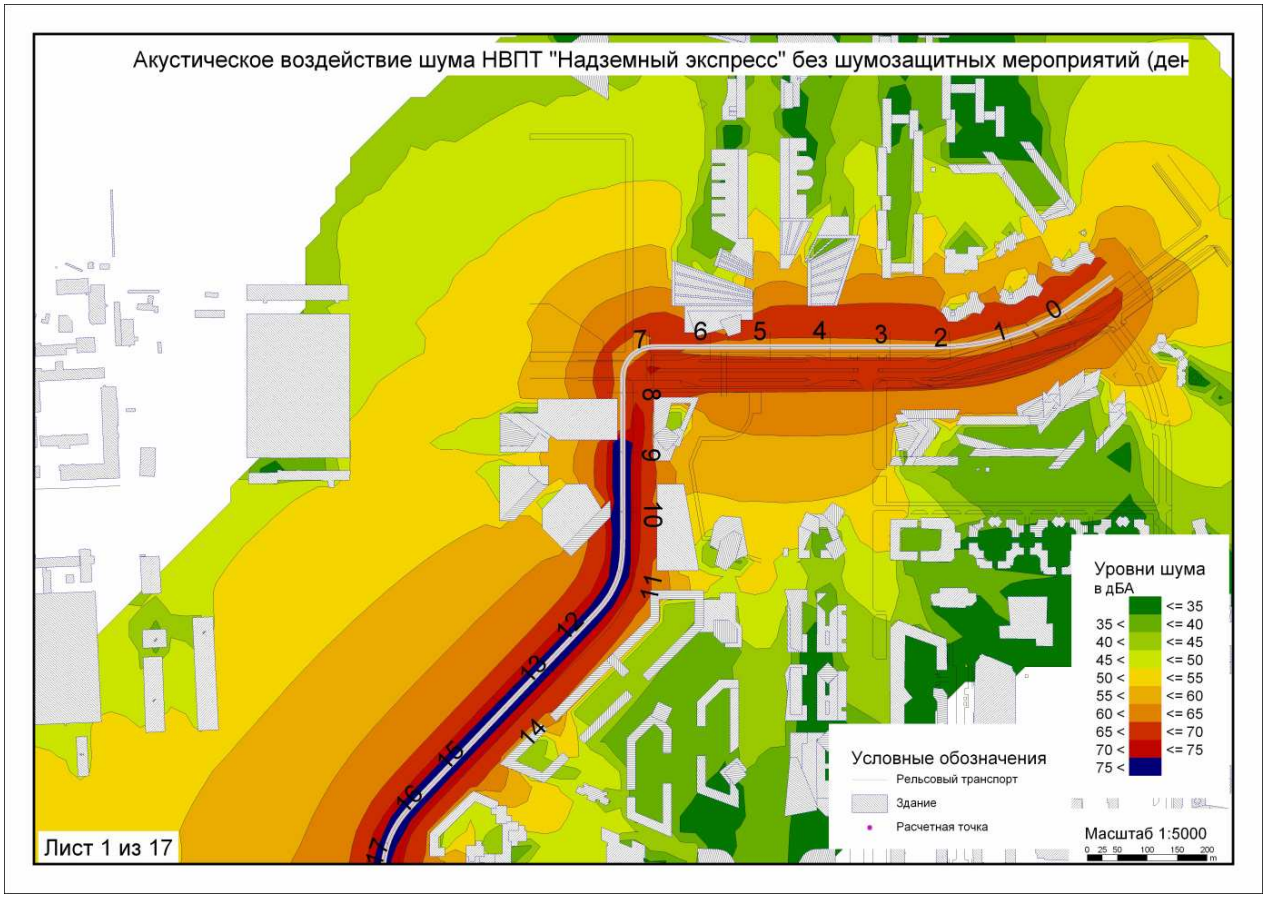


Рис. 9а. Карта шума до применения шумозащиты

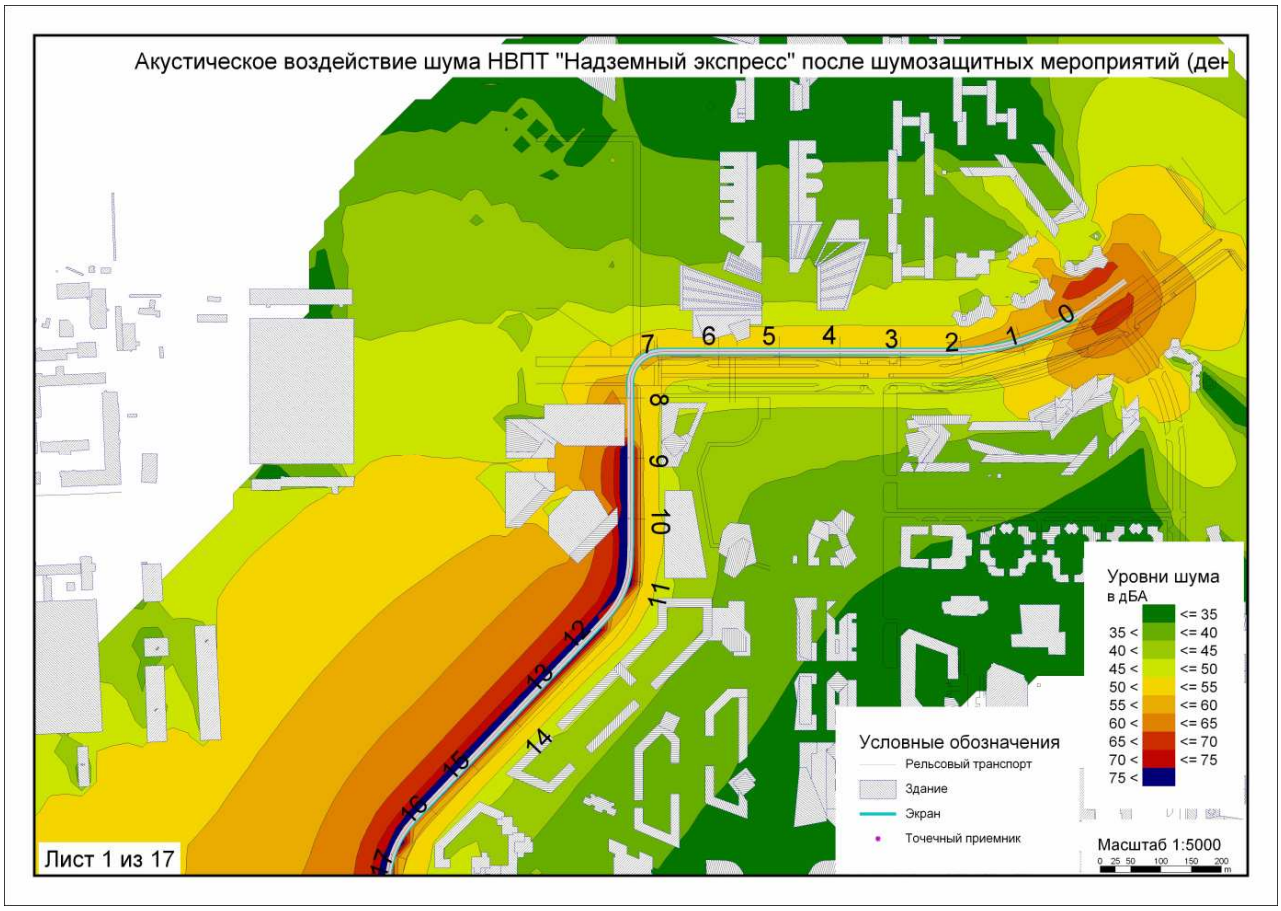


Рис. 9б. Карта шума после применения шумозащиты

Так, при помощи программы SoundPLAN была построена карта шума участка железной дороги (рис.10 а и б). Для картирования был выбран участок с жилыми зданиями высотой 2-5 этажей, расположенными на расстоянии 50 и более метров от железной дороги. Расчет уровней шума для дневного времени и построение карты шума производилось на основании российской расчетной методики. Произведенные измерения на данном участке показывают, что измеренные уровни шума отличаются от расчетных не более, чем на 2 дБА.

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.

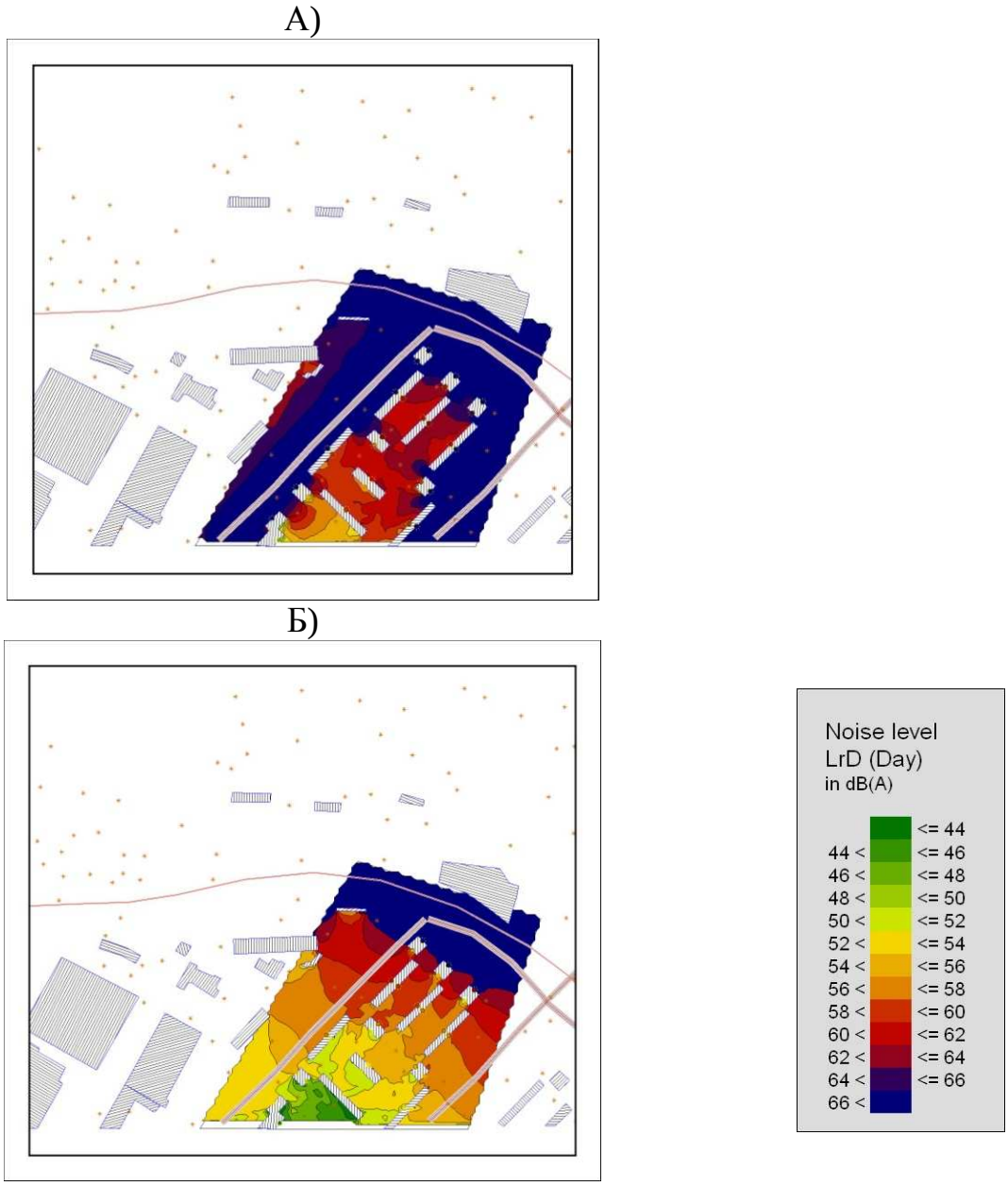


Рис. 10. Карта шума участка железной дороги: а) с учетом вклада автотранспорта, б) без учета вклада автотранспорта

Заключение

Карты шума являются действенным инструментом при оценке акустической ситуации и разработке мероприятий шумозащиты. При помощи карт шума можно оценить шумовое загрязнение как на всей территории крупного мегаполиса, характеризующегося большим разнообразием источников шума и их шумовых характеристик, так и вблизи небольших источников шума. Разработка и дальнейшее совершенствование расчетных методов и программного обеспечения для разработки карт шума является перспективным направлением развития практики борьбы с шумом.

Литература

1. ГОСТ 20444-85 «Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики». – М., 1985.
2. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. – М., 1995.
3. Руководство по разработке карт шума улично-дорожной сети города. – М., 1980.
4. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума». – М., Госстрой России, 2004.

ЗАЩИТА ГОРОДОВ ОТ ШУМА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Терехов А.Л., Теребнев А.В., Емельянов О.Н.
ООО «ВНИИГАЗ»
A_Terekhov@vniigaz.gazprom.ru

Проблема снижения шумового воздействия газотранспортного оборудования компрессорных станций (КС) магистральных газопроводов на окружающую среду в настоящее время является одной из наиболее актуальных при решении вопросов обеспечения санитарно-гигиенических и экологических требований и норм на строящихся и действующих объектах ОАО «Газпром».

Объективные требования защиты окружающей среды от технологического шума (шум входит в число факторов воздействия на окружающую среду, учитываемых природоохранными организациями), рост темпов ввода в эксплуатацию оборудования повышенной мощности, необходимость расположения организаций транспорта газа в густонаселенных районах вносят дополнительные ограничения на шумовые характеристики газотранспортного оборудования.

Шум технологического оборудования КС имеет высокий уровень и достигает 128 дБА в непосредственной близости от источника шума (1м от звукоактивной поверхности. Размеры санитарно-защитных зон КС по шуму без внедрения интенсивных мероприятий по шумоглушению могут достигать 6 км.

На распространение шума на местности влияют количество агрегатов, высокие уровни звуковой мощности ВЗК, шахты выхлопа, высота расположения над землей ВЗК и шахты выхлопа. С увеличением количества агрегатов уровни шума на территории жилой застройки возрастают. Увеличение звуковой мощности агрегатов также приводит к увеличению уровней шума на территории жилой застройки. Высокая эффективность средств шумоглушения приводит к снижению шума на территории жилой застройки. Высокое расположение шахты выхлопа над землей приводит к увеличению уровней шума в ЗЖЗ.

Таким образом, основными критериями, влияющими на уровни шума в ЗЖЗ, являются:

- высокие уровни звуковой мощности ГПА;
- количество установленных агрегатов;
- наличие и эффективность средств шумоглушения;
- высота шахты выхлопа над землей;
- срок эксплуатации агрегатов;
- наличие и эффективность глушителя шума выхлопа;
- рельеф местности.

Результаты исследований для расчетов УЗМ доминирующих источников шума при выполнении акустических расчетов КС представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты особенностей распространения шума КС на местности

Тип ГПА	Исполнение ГПА	Основные источники шума	Зона превалирования основных источников шума, м
ГТУ	Цеховое	Всасывание ГТУ Выхлоп ГТУ Технологическая обвязка нагнетателей Вспомогательное оборудование	250 – 500 1500 – 2000 250 100
ГТН	Индивидуальные укрытия	Всасывание ГТУ Выхлоп ГТУ Технологическая обвязка нагнетателей Вспомогательное оборудование	500 1000 – 1500 100 100
ГПА-Ц	Контейнеры	Всасывание ГТУ Выхлоп ГТУ Система охлаждения Ограждающие поверхности контейнера Технологическая обвязка нагнетателей Вспомогательное оборудование	500 1000 – 1500 500 500 500 100
Электропривод	Цеховое	Технологическая обвязка нагнетателей Вспомогательное оборудование	250 100
ГМК	Цеховое	Выхлоп ГМК Технологическая обвязка нагнетателей Вспомогательное оборудование	800 – 120 100 100

Расчеты санитарно-защитной зоны (СЗЗ) при проектировании компрессорных станций требуют наличия надежных данных о закономерностях распространения шума от компрессорных станций на местности.

В основу действующих в настоящее время методик акустического расчета положено соотношение звуковой мощности точечного источника и интенсивности звуковой энергии в дальнем звуковом поле с учетом его направленности, затухания звука в атмосфере и закона убывания интенсивности звука с расстоянием. При этом предполагается, что излучение звука происходит в свободное пространство. Установлено, что в условиях естественного открытого пространства, рассчитанные по указанным выше методикам, уровни звукового давления от КС на селитебной территории отличаются от измеренных значений. Упрощенное представление о

закономерностях распространения шума в открытом пространстве приводит к несоответствию ожидаемых расчетных уровней звукового давления с измеренными в натурных условиях. Это несоответствие обусловлено влиянием градиента плотностей слоев воздуха, влиянием ветра, турбулентности атмосферы, а также импеданса земной поверхности и других факторов.

В настоящее время наиболее распространенными являются так называемые пассивные способы уменьшения шума, т.е. установка различных глушителей, звукоизолирующих кожухов, экранов вибродемпфирующих покрытий на существующих машинах. Эти способы позволяют значительно снизить уровень шума лопаточных машин, но их применение приводит к увеличению массы и габаритов машин, дополнительному сопротивлению в газовоздушном тракте ГПА. Кроме того, для снижения шума эксплуатируемых агрегатов требуются большие материальные затраты.

Современное состояние исследований в области технической акустики, развитие компьютерных методов расчетов позволяют значительно повысить эффективность средств глушения шума за счет применения новых технических решений и уточненного расчета конструкций.

Соответствующие мероприятия позволяют снизить капитальные затраты на обеспечение санитарно-гигиенических и экологических норм по шуму при создании новых ГПА, а также оптимальным образом осуществить меры по снижению шума работающих агрегатов.

К основным направлениям исследований, ориентированных на создание эффективных систем шумоглушения процессов всасасывания и выхлопа газотурбинных ГПА, необходимо отнести следующее:

- снижение шума процессов всасасывания и выхлопа ГТУ в источнике его образования;
- разработка эффективных конструкций шумоглушителей, устанавливаемых в газовоздушных трактах (ГВТ) ГТУ;
- разработка точной методики расчета шумоглушителей сложной формы.

Результатами научных исследований ООО «ВНИИГАЗ» по данному направлению являются:

- методы численного решения задачи шумоглушения в трактах всасывания и выхлопа ГПА со звукопоглощающими элементами произвольной формы;
- методы определения фактических акустических свойств и область применимости элементов шумоглушения с ячеистой облицовкой;
- зависимости акустических характеристик пластинчатых глушителей от конструктивных параметров элементов глушения;
- методика расчета и проектирование эффективных глушителей шума и звукоизолирующих ограждений ГПА с газотурбинным приводом.

Данные результаты исследований внедрены в практику проектирования эффективных систем шумоглушения ГПА нового поколения и используются при реконструкции действующего парка ГПА.

Внедрение новых технических решений при ремонте систем шумоглушения агрегатов ГПА-Ц-6,3 позволило значительно улучшить (на 12-15 дБ) шумовые характеристики данных агрегатов.

Для обеспечения требований санитарных норм на территории близлежащих посёлков разработаны глушители шума процессов всасывания и выхлопа агрегатов ГТК-10, ГТ-6-750, ГТ-750-6, установленных на КС-15 (пос. Нюксеница) и КС-10 (пос. Сосногорск) ООО «Севергазпром».

Одним из способов уменьшения габаритных размеров глушителей процессов всасывания и выхлопа ГПА и, как следствие, уменьшения их себестоимости является создание малошумных ГВТ.

Разработанные рекомендации по созданию акустически совершенных ГВТ были использованы при проектировании новых агрегатов ГПА-4РМ производства ОАО «НПО «Сатурн».

Примером создания новых малошумных агрегатов являются опытные образцы ГПА серии «Урал» производства НПО «Искра» г. Пермь. Реализация предложений ООО «ВНИИГАЗ» в конструкциях средств снижения шума агрегатов ГПА-12Р «Урал»», ГПА-16РП «Урал», позволила снизить уровни звука на 15-18 дБ на близлежащей к цеху территории в сравнении с существующими аналогами.

Помимо перечисленных выше примеров внедрения разработок ООО «ВНИИГАЗ» по снижению шума при создании новых ГПА, рекомендации института использованы при разработке систем шумоглушения агрегатов ГПА-16 «Нева», ГПА-6,3 «Нева», разрабатываемых ОАО «Кировский завод», ГПА-16 «Волга», разработчик АО «Турбокомпрессор», ГПА-Ц-16С разработчик АО «СМНПО им. М.В. Фрунзе».

Одной из актуальной научно-технической задачей при защите городов от шумового воздействия КС является снижение шума трубопроводов технологической обвязки нагнетателей. Общее шумовое загрязнение окружающей среды от открыто расположенных обвязок трубопроводов на выходе КС, как правило, имеет высокую интенсивность и достигает 100-110 дБА.

Это безусловно является не только вредным для здоровья персонала, но и препятствует жилой застройке в окрестном районе. Результаты замеров показывают, что в зависимости от частотной области, уровень шума трубопроводов требуется понизить на 15-20 дБ.

Наиболее подходящим в данном случае является метод снижения шумоизлучения трубопроводов при помощи вибропоглощающих и звукоизолирующих конструкций, которые могут обеспечить требуемый эффект снижения шумности без существенных дополнительных капиталовложений.

Выполненный анализ [1, 2] позволяет сформулировать практические рекомендации по применению вибропоглощающих и звукоизолирующих покрытий трубопроводов.

При определении объема и параметров вибропоглощающих покрытий, предназначенных для уменьшения вибрации трубопроводов, целесообразно учитывать следующее:

- применение вибропоглощающих покрытий (мастик) на частотах ниже 800-1000 Гц является малоэффективным, а величина эффекта в этом частотном диапазоне достигается в основном за счет увеличения поверхностной массы трубопровода;
- для достижения эффекта снижения вибрации в широком диапазоне частот (выше 1000 Гц) рекомендуется применять однослойное вибропоглощающее покрытие;
- для достижения эффекта снижения вибрации в ограниченном частотном диапазоне рекомендуется применять армированное вибропоглощающее покрытие;
- оптимальная толщина однослойного вибропоглощающего покрытия составляет от 1,5 до 2 толщин стенки трубопровода;
- для покрытия следует применять вибропоглощающие материалы с собственным коэффициентом потерь не менее 0,4. В случае возможности выбора необходимо использовать материалы с большим коэффициентом потерь.

С учетом особенностей излучения шума трубопроводами, вибропоглощающие покрытия в первую очередь должны наноситься на вертикальные участки трубопроводов.

При определении объема и выборе конструкции звукоизолирующих покрытий целесообразно учитывать следующее:

- эффективность снижения шума, излучаемого трубопроводами, с помощью звукоизолирующих покрытий (кожухов), как правило, выше, чем у вибропоглощающих покрытий;
- базовая конструкция кожуха состоит из слоя звукопоглощающего материала (ЗПМ), нанесенного на трубопровод, и тонкой оболочки из металла;
- в общем случае ЗПМ может сочетать звукопоглощающие и теплоизоляционные свойства;
- толщина слоя ЗПМ должна быть не менее 5 см. Увеличение толщины ЗПМ приводит к экспоненциальному росту эффекта снижения шума.
- с учетом частотной характеристики шума толщина оболочки кожуха выбирается равной около 1 мм и выполняется из стали;
- при наличии кожуха вибропоглощающее покрытие может наноситься на оболочку кожуха и стенку трубопровода для повышения суммарной эффективности снижения шума.

Акустические обследования газотранспортных организаций показывают, что на фоне улучшения шумовых характеристик ГПА существенным, а иногда и доминирующим становится вклад вспомогательного оборудования в шумовое поле КС. К числу наиболее интенсивных источников шума вспомогательного оборудования КС относятся системы технологического сброса газа на КС.

Вопросу системы технологического сброса газа на КС до последнего времени не уделялось достаточного влияния в силу следующих обстоятельств:

– наличие интенсивных излучателей постоянного шума (элементы ГПА);
– кратковременность воздействия (длительность одного сброса обычно составляет около 2-5 минут и проводится при пуске, остановке или переключении ГПА на КС).

Результаты натурных испытаний показали, что с вводом в эксплуатацию нового поколения малошумных газоперекачивающих агрегатов системы сбросов газа на КС становятся доминирующим источником шумового воздействия на окружающую среду. Кроме того, наличие ограничений по максимальным уровням шума для непостоянных шумов, установленных современными требованиями санитарных норм, вносит дополнительные требования к характеристикам шумов, излучаемых системами сбросов газа, и предполагает установку эффективных систем шумоглушения на сбросных свечах.

Результаты расчетов ожидаемых уровней шума на территории промышленной площадки при работе ГПА–25НК показывают, что требования санитарных норм по шуму будет выполнены при заглушении систем сброса пускового газа и сброса газа с контура ГПА на 20-40 дБ.

Современное состояние проблемы подавления шума сброса газа на КС потребовало рассмотрения ряда задач, связанных с установлением свойств основных физических источников шума, разработкой и обоснованием параметров базовых технических решений по его снижению, определением специфических методов нормирования и акустических испытаний, связанных с технологическими особенностями режимов сброса газа. Проводимые на протяжении последних лет совместные работы ООО «ВНИИГАЗ» и ОАО «НПО ЦКТИ», направленные на решение этих задач, позволили в целом разработать как достаточно общую схему шумоглушителя газовых сбросов, так и методологию выбора и расчета его основных узлов [3].

Наиболее эффективным методом снижения шума сбросов газа на компрессорных станциях является использование глушителей комбинированного типа, сочетающих в себе дроссельные и диссипативные элементы.

Выполненный расчетный анализ основных узлов глушителя показывает [4], что его состав может различаться в зависимости от необходимой характеристики снижения шума. Так, при жестких требованиях к шумоглушению, связанных с относительной близостью селитебной территории, необходимо подключение ступени звукопоглощения, содержащей диссипативные элементы со звукопоглощающим материалом. В ряде случаев достаточно ограничиться дроссельным блоком. В качестве дроссельных элементов могут использоваться блоки ступенчатого либо непрерывного дросселирования.

При выборе параметров и контрольных испытаниях шумоглушителей необходимо учитывать технологические ограничения на продолжительность сброса газа и нестационарный характер шумового излучения.

Разработанные технические решения в их совокупности способны обеспечить необходимое снижение шума газовых сбросов на КС.

Сложные и многообразные вопросы борьбы с шумом КС следует решать комплексно. Для этого необходимо проведение исследований по изысканию методов дальнейшего снижения шума, как в источнике возникновения, так и с помощью средств звукоизоляции и звукопоглощения.

Литература

1. Терехов А.Л. Исследования и снижение шума на компрессорных станциях магистральных газопроводов. – М.: ИРЦ Газпром. 2002 г. – 304 с.
2. Терехов А.Л., Демин В.М. Инженерная методика расчета эффективности средств звукоизоляции и вибропоглощения трубопроводов обвязки на компрессорных станциях // Диагностика оборудования и трубопроводов. – М.: ИРЦ Газпром. 2002 г. – №1. – С. 41 – 49.
3. Яблоник Л.Р. О влиянии параметров дроссельной насадки на снижение шума, генерируемого при сбросе пара и газа высокого давления // Сб. трудов XIII сессии Российского Акустического общества. – М.: МГУ, 2003г. – С. 14 – 19.
4. Яблоник Л.Р. Расчет шумоглушителей сброса пара // Труды ЦКТИ. – СПб.: ЦКТИ, 2002 г. – Вып.287. – С. 144-154.

МОНИТОРИНГ АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Васильев А.В.
Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия
avassil62@mail.ru

1. Введение

В настоящее время резко возросло и превратилось в серьезный негативный фактор акустическое воздействие на селитебную территорию [2, 3, 5]. Являясь одной из глобальных современных экологических проблем, наряду с такими, как парниковый эффект, озоновый слой, загрязнение гидросферы и атмосферы и др., акустическое загрязнение изучается незаслуженно мало, хотя оказывает на человека не меньшее влияние, чем разрушение озонового слоя или кислотные дожди. 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 - всё это привело к тому, что человек на работе, в быту, на отдыхе, при передвижении подвергается многократному воздействию вредного шума, своего рода акустической экспансии. Сбывается предсказание немецкого микробиолога Р.Коха, который в конце XIX века писал: «Настанет день, когда человеку придется с таким же ожесточением бороться против шума, с каким сейчас он борется против холеры и чумы».

Уровень шума возрастает вместе с прогрессом техники и развитием промышленности, а также с увеличением числа и мощности транспортных средств. В последнее время отмечается непрерывное повышение шумового фона городов. Уровень шума в городах возрастает ежегодно в среднем на 0,5 дБА в год. По прогнозам [5-7 и др.], тенденция к усилению шума в городах в ближайшие годы будет сохраняться. Шум сопровождает человека везде: на производстве, на территории жилой застройки, в жилом помещении, оказывая многообразное вредное воздействие [4].

Основной источник городского шума - автомобильный транспорт. Хотя за последние два десятилетия шум автомобилей снизился на 8-10 дБА, шум от автомобильного транспорта в крупных городах не уменьшился, а в отдельных случаях даже несколько увеличился, в связи с увеличением числа эксплуатируемых автомобилей [2, 6, 7 и др.].

Другим важнейшим фактором шумового воздействия на окружающую среду и жилые массивы в условиях современного промышленного города являются производственные предприятия машиностроения, химической промышленности, объекты энергетики и др. Интенсивное акустическое излучение создают силовые энергетические установки, выбрасывающие в окружающую среду газовоздушные смеси: низкооборотные компрессорные установки, воздуходувки, стационарные двигатели внутреннего сгорания,

системы вентиляции и пр. [1-7]. Особенно серьезную проблему представляет борьба с низкочастотными шумами поршневых машин, широко используемых в различных отраслях промышленности.

В настоящей статье описаны результаты мониторинга акустического загрязнения Самарской области.

Объектом исследований явились селитебная территория наиболее крупных городских округов Самарской области (Самара, Тольятти, Жигулевск и Сызрань) и акустические загрязнения, создаваемые на данной территории.

Основная цель работы: мониторинг акустического загрязнения на территории Самарской области и разработка мероприятий по его комплексному снижению.

2. Основные этапы мониторинга акустического излучения урбанизированных территорий

Мониторинг акустического загрязнения носит многоэтапный характер. Можно выделить следующие основные этапы:

1. Анализ источников акустических загрязнений, 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 акустических излучений. Обработка экспериментальных данных. Выдача заключений о соответствии нормативным требованиям.
4. Моделирование и расчет распространения акустических загрязнений на территории жилой застройки или производственного участка.
5. Построение карт акустических загрязнений.
6. Разработка мероприятий по снижению воздействия акустических загрязнений.

3. Измерения шума на территории Самарской области

Коллективом сотрудников НИЛ-9 ТГУ под руководством автора статьи проведены инструментальные измерения акустического загрязнения на территории Самарской области, в том числе на территории жилой застройки наиболее крупных городских округов области (Самара, Тольятти, Сызрань, Жигулевск), а также на территории Северного промышленного узла г. Тольятти и ряде производственных площадок ОАО "КуйбышевАзот" и ОАО "ЗПБО".

Всего было проведено более 1500 измерений, по каждому из которых составлены протоколы результатов измерений.

Измерялись спектральные и эквивалентные значения уровня звука. При проведении измерений соблюдались все необходимые требования. Метеоусловия определялись с помощью измерителя параметров микроклимата «Метеоскоп», поверенного ФГУП ВНИИ оптико-физических измерений.

Для проведения измерений использовался шумомер - анализатор шума "Октава 101АМ", заводской номер 04А391 с капсюлем микрофона типа ВМК-205 заводской номер 1476 и предусилителем типа КММ400, заводской номер 03168, поверенный ФГУ Самарским центром стандартизации, метрологии и сертификации.

В качестве измеряемого параметра использовались уровни звука L_A в дБА (одночисловые показатели), а также октавные и третьоктавные спектры звукового давления. Измерения проводились в дневное время в будние дни преимущественно в часы "пик" и во время обеденных перерывов, а также в ночное время. Измеренные уровни шума оценивались в соответствии с гигиеническими требованиями СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [8], согласно которым нормируемыми параметрами для непостоянного шума являются эквивалентные уровни звука $L_{A\ экв}$ и максимальные уровни звука $L_{Aмакс}$, дБА. Учитывались также требования СНиП 23-03-2003. В частности, в соответствии со СНиП 23-03-2003 для промышленных и энергетических предприятий с максимальным линейным размером в плане до 300 м включительно - эквивалентные уровни звуковой мощности L_{Wecv} и максимальные уровни звуковой мощности $L_{W\max}$ в восьмиоктавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63 - 8000 Гц и фактор направленности излучения в направлении расчетной точки Ф ($\Phi = 1$, если фактор направленности не известен).

Следует отметить, что в России в отличие от стран Запада не установлены отдельные гигиенические нормы для шума в вечернее время, а имеется только два периода оценки: дневной (с 7.00 до 23.00) и ночной (с 23.00 до 7.00). Между тем, вечерний шум (с 19.00 до 23.00) требует отдельной оценки и нормирования, так как в этот период времени многие горожане уже отдыхают после рабочего дня. Другое расхождение с западными нормами заключается в том, что там ночным считается шум начиная с 22.00 (у нас – с 23.00).

На территории городского округа Самара было проведено более 150 измерений уровней звука в более чем 60 точках. Анализ результатов измерений уровней звука показал, что превышение нормативных значений по эквивалентному уровню звука выявлено в точках измерений №8, Промышленный район, ул. Нововокзальная, дом №162 (69 дБА); №15, Октябрьский район, ул. Революционная, дом №10 (66 дБА); №19, Ленинский район, ул. Самарская, дом №270 (68 дБА); №17, Октябрьский район, ул. Ново-Садовая, дом №33 (67 дБА); №35, Красноглинский район, п. Южный, ул. Вторая Южная, дом №7 (67 дБА). Имеются также превышения спектральных уровней звука.

На территории городского округа Тольятти было проведено более 500 измерений уровней звука в более чем 200 точках. Анализ результатов измерений уровней звука показал, что превышение нормативных значений по эквивалентному уровню звука выявлено в точках измерений №11-А, Автозаводской район, Приморский б-р, дом № 48 (66 дБА); №15-А, Автозаводской район, ул. Дзержинского, дом № 31 (68 дБА); №16-А, Автозаводской район, Московский проспект, дом № 33 (66 дБА); №1-Ц, Центральный район, ул. Баныкина, дом №60 (68 дБА); №4-Ц, Центральный район, ул. Комсомольская, дом №125 (67 дБА); №5-Ц, Центральный район, ул. Комсомольская, дом №163 (67 дБА); №6-Ц, Центральный район, ул. Гагарина, дом №6 (66 дБА); №8-Ц, Центральный район, ул. Победы, дом №78 (67 дБА); №9-Ц, Центральный район, ул. Ленина, дом № 71 (70 дБА); №10-Ц, Центральный район, ул. Ленина, дом №91 (67 дБА); №11-Ц, Центральный район, ул. Карла Маркса, дом №50 (68 дБА); №12-Ц, Центральный район, ул. Карла Маркса, дом №76, лицей №19 (69 дБА); №18-Ц, Центральный район, ул. Ленинградская, дом № 36, район театра «Колесо» (68 дБА); №20-Ц, Центральный район, ул. Мира, дом № 100 (70 дБА); №5-К, Комсомольский район, ул. Матросова, дом №1 (66 дБА); №10-К, Комсомольский район, ул. Л. Чайкиной, дом №67 (68 дБА); №11-К, Комсомольский район, ул. У. Громовой, дом №20 (68 дБА); №13-К, Комсомольский район, ул. Ярославская, дом №11 (66 дБА); №3-Ш, поселок Шлюзовой, ул. Вокзальная, дом №7 (66 дБА); №5-Ш, поселок Шлюзовой, ул. Гидротехническая, дом №23 (67 дБА). Имеются также превышения спектральных уровней звука.

В остальных точках измеренные значения уровней звука соответствуют нормативным санитарно-гигиеническим требованиям, но для ряда точек измеренные значения предельно близки к максимально допустимым.

В некоторых точках обследуемой территории городского округа Тольятти производились измерения уровней звука в ночное время. Анализ результатов измерений показал, что ситуация с воздействием шума в ночное время является крайне неблагоприятной. В ряде точек измерений было зафиксировано значительное превышение нормативных значений как по эквивалентному уровню звука, так и по спектральным характеристикам. Так, превышение нормативных значений выявлено в точках измерений №11-А, Автозаводской район, Приморский б-р, дом № 48 (57 дБА); №10-Ц, Центральный район, ул. Ленина, дом №91 (62 дБА); №13-К, Комсомольский район, ул. Ярославская, дом №11 (59 дБА).

На территории городского округа Жигулевск было проведено более 40 измерений уровней звука в более чем 20 точках. Анализ результатов измерений уровней звука показал, что превышение нормативных значений по эквивалентному уровню звука выявлено в точках измерений №7, ул. Вокзальная, дом № 18 (68 дБА); №9 г. Жигулевск, ул. Комсомольская, дом №58 (70 дБА); №11 г. Жигулевск, район автовокзала (согласно схеме измерений) (66 дБА); №12 г. Жигулевск, пересечение трассы М5 и ул. Гидростроителей (73 дБА); №13 г. Жигулевск, район плотины Жигулевской ГЭС, возле въезда на

плотину (70 дБА). Максимальное значение уровня звука, равное 73 дБА, было зафиксировано в точке №12. Диаграмма спектральных характеристик уровней звука для точки №12 (октавный и третьоктавный диапазоны) показана на рис. 1.

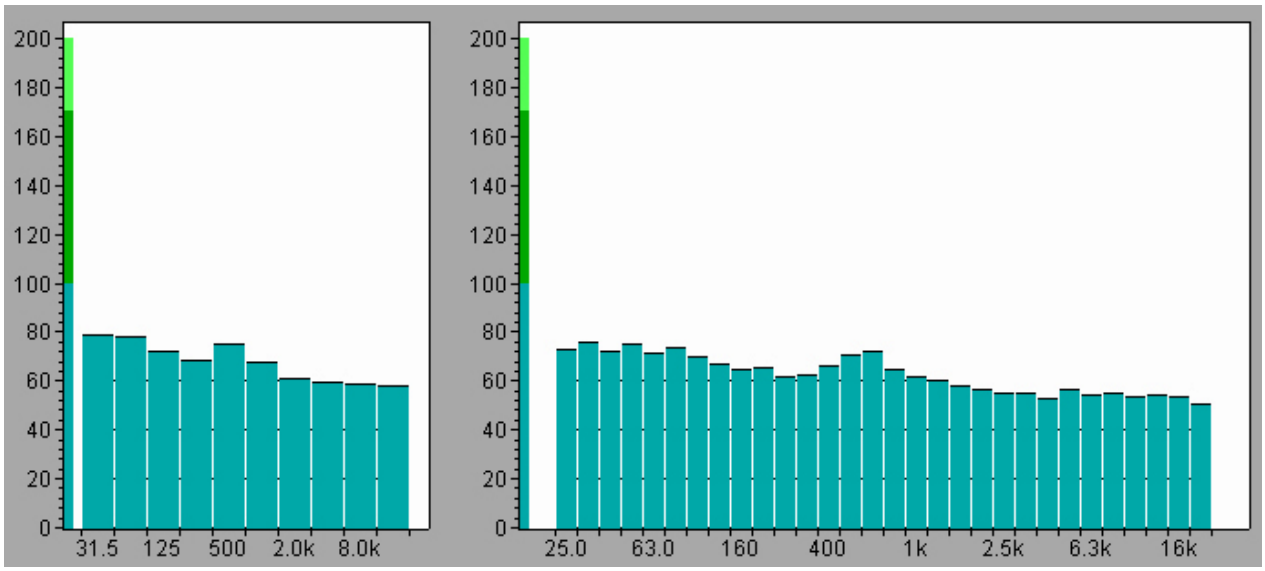


Рисунок 1. Диаграмма спектральных характеристик уровней звука для точки №12 г. Жигулевск, пересечение трассы М5 и ул. Гидростроителей (октавный и третьоктавный диапазоны)

В остальных точках измеренные значения уровней звука соответствуют нормативным санитарно-гигиеническим требованиям.

На территории городского округа Сызрань было проведено более 40 измерений уровней звука в более чем 20 точках. Анализ результатов измерений уровней звука на обследуемой территории городского округа Сызрань показал, что превышение нормативных значений по эквивалентному уровню звука выявлено в точках измерений №11 г. Сызрань, ул. Советская, дом №104 (66 дБА); №14 г. Сызрань, пр-т 50 лет Октября, дом №79 (67 дБА); №22 г. Сызрань, ул. Энергетиков, дом №11 (69 дБА).

В остальных точках измеренные значения уровней звука на обследуемой территории городского округа Сызрань соответствуют нормативным санитарно-гигиеническим требованиям.

Были также проведены измерения уровней звука на ряде производственных площадок. Для территории Северного промышленного узла г. Тольятти установлено, что с точки зрения воздействия на жилую зону наиболее серьезные проблемы создает низкочастотный звук в районе ОАО "Волгоцеммаш", на ул. 50 лет Октября, Центральная СТО, и возле Тольяттинского завода технологического оборудования, ул. Комсомольская [3]. На территории производственных площадок ОАО "КуйбышевАзот" и ОАО "ЗПБО" выявлен ряд рабочих зон с превышением допустимых гигиенических требований.

4. Построение карт акустических загрязнений территории самарской области

Главный недостаток существующих карт в том, что они отражают только текущее положение и позволяют лишь определить наиболее загрязненные участки и оценить уровень загрязнений, но не позволяют осуществлять эффективное прогнозирование. В связи с этим предлагается создание карт нового типа, разрабатываемых следующим образом: в определенных точках, расположенных в некоторой опасной с точки зрения уровня физических загрязнений 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 загрязнений [10]. Сущность их построения заключается в том, что измеренные данные накапливаются в точках, в которых непосредственно проводились измерения, а эти точки показываются на карте. В результате при проведении цикла измерений физических загрязнений можно получить графики изменения значений уровней физических загрязнений, что позволяет осуществлять достаточно точное прогнозирование динамики их изменений. К достоинствам предлагаемого типа карт относится также абсолютная точность значений в данной точке измерений, что позволяет разрабатывать эффективные мероприятия по их снижению.

Разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять автоматизированную обработку и оценку результатов измерений различных физических воздействий. Программа представляет собой сложный комплекс, который состоит из следующих основных модулей, интегрированных с другими модулями автоматизированного рабочего места «Physic City Test»:

Модуль ведения базы данных и автоматизированной обработки результатов измерений различных физических воздействий.

Модуль оценки соответствия проведенных измерений нормам экологического законодательства.

Логически форма разделена на 2 части:

– ввод точек (в модуле мониторинга заложена возможность привязки точек к карте);
– ввод измерений.

Результаты расчетов в зависимости от количества показателей представлены либо сразу в таблице измерений либо если их много то они вынесены в отдельную область результатов (размещена под таблицей измерений).

Для начала работы с тем или иным модулем программы необходимо в п. «Вид» главного меню выбрать подпункт «Карта…». Откроется окно мониторинга, см. рис. 2.

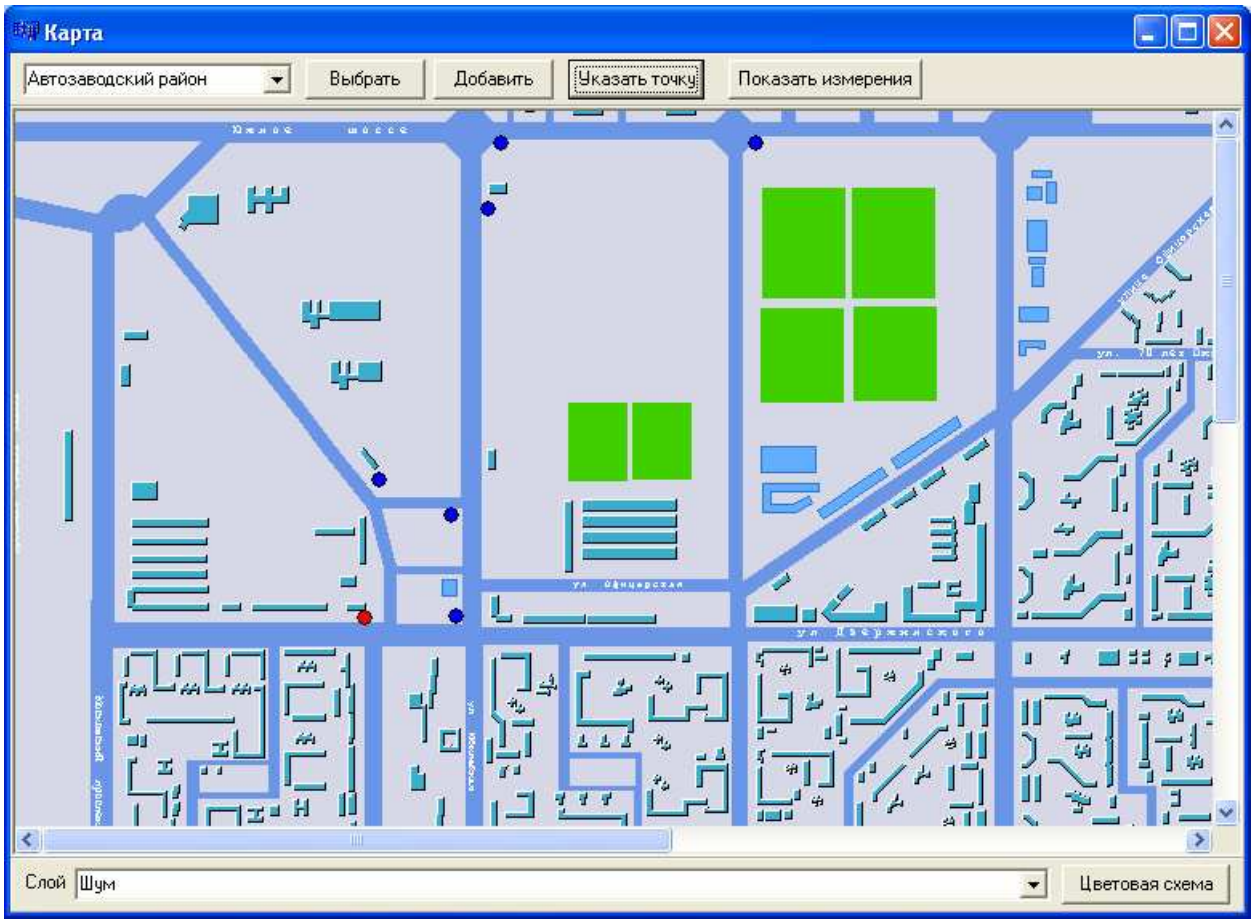


Рисунок 2. Вид окна мониторинга

Для общей оценки измерений во всех точках можно использовать режим цветовой схемы. Для отрисовки цветовой градации необходимо нажать кнопку «Цветовая схема», при этом все точки на карте будут отрисованы в соответствии с цветовой схемой и результатами измерений.

На модуль программы «Sound City Test» получено свидетельство №206611861 об официальной регистрации.

С использованием разработанного программного обеспечения построены карты акустических загрязнений городских округов Самара, Тольятти, Жигулёвск, Сызрань Самарской области. При построении карт зеленым цветом обозначены значения уровней звука в диапазоне до 60 дБА включительно, жёлтым цветом - значения уровней звука в диапазоне от 61 до 65 дБА включительно, красным – свыше 65 дБА.

В качестве примера на рис. 3 показана карта шума территории городского округа Самара.

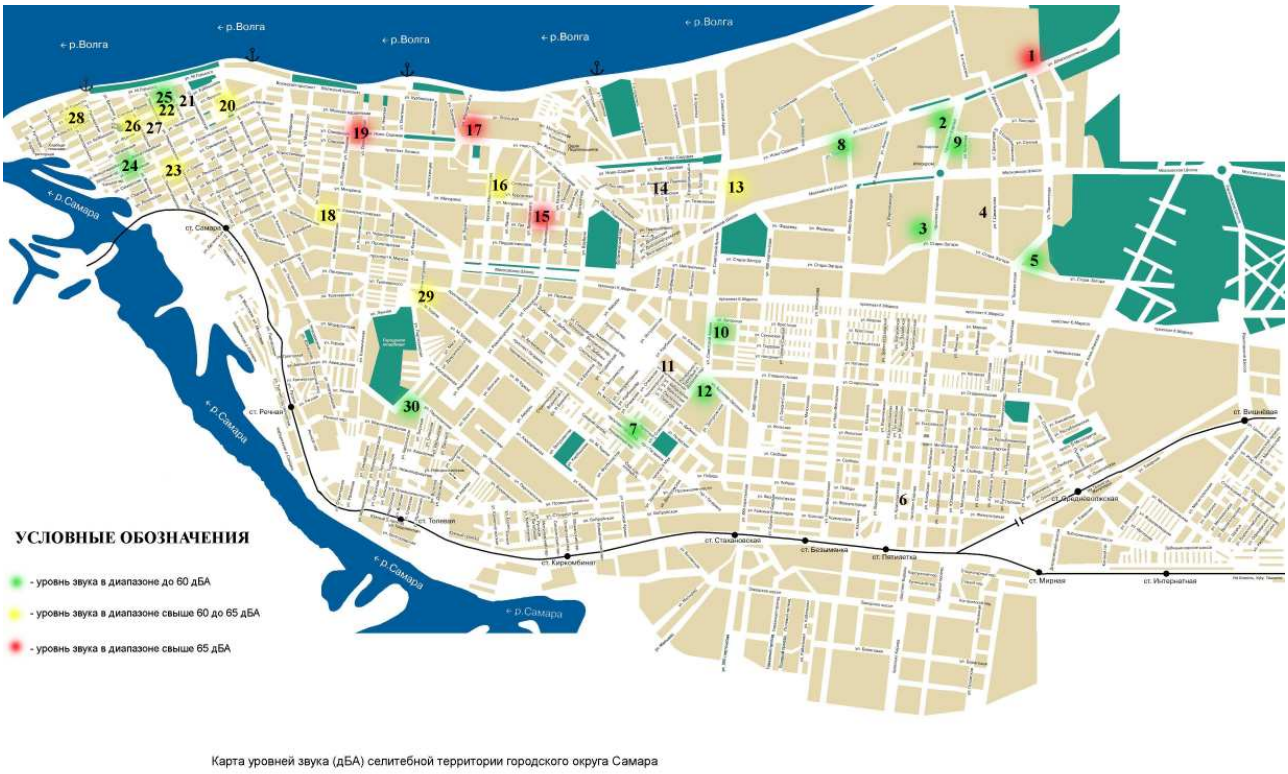


Рисунок 3. Карта шума территории городского округа Самара

5. Разработка предложений по снижению физических загрязнений в наиболее неблагополучных участках территории Самарской области

Методы защиты от воздействия акустических загрязнений можно разделить на следующие основные группы [1, 6, 7]:

1. Организационные мероприятия по защите от физических загрязнений.
2. Защита временем.
3. Защита расстоянием.
4. Мероприятия режимного характера.
5. Инженерно-технические мероприятия по защите населения от акустических загрязнений.
6. Мероприятия по оценке и прогнозированию уровня акустических загрязнений.
7. Средства индивидуальной защиты от воздействия акустических загрязнений.
8. Повышение индивидуальных защитных свойств организма человека.

На основании анализа результатов измерений и графических представлений были разработаны конкретные предложения по снижению

воздействия шума в наиболее акустически неблагополучных зонах Самарской области.

Рекомендовано использование следующего комплекса мероприятий:

1. Усиление звукоизолирующих качеств окон жилых домов, выходящих на автомагистраль;
2. Мероприятия режимного характера по недопущению генерации внутриквартальных источников инфразвука и низкочастотного шума в ночное время.
3. Использование шумогасящих дорожных покрытий. При этом рекомендации по выбору конкретного типа покрытия связаны с финансовыми возможностями и должны приниматься совместно со специалистами транспортных управлений мэрий городских округов Самарской области. Предварительная проработка показывает, что предпочтительным в данном случае является использование многослойных покрытий, обеспечивающих помимо звукопоглощения хорошие показатели по прочности, трещиностойкости и сцеплению с колёсами транспортных средств.
4. Использование различных типов шумозащитных экранов.

В качестве широких акустических экранов, обеспечивающих снижение шума в жилой застройке как за счет высоты, так и существенного дополнительного затухания на широком свободном ребре акустических экранов, могут рассматриваться высотные жилые дома по ул. Вокзальной, выемки, насыпи, нежилые здания различного назначения.

Весьма эффективным мероприятием является использование тоннелей, построенных открытым способом или щитовой проходкой. Помимо снижения уличного шума, использование подземного пространства для прокладки магистралей улучшает условия передвижения населения, способствует формированию здоровой, удобной и эстетически привлекательной городской среды, и отравления воздуха выхлопными газами автомобилей.

Наиболее распространено использование акустических экранов-стенок, которые могут иметь самое разнообразное конструктивное исполнение и изготавливаться из различных материалов. Простые стенки изготавливаются из таких материалов, как бетон, дерево и др. Основной недостаток таких конструкций - наличие звукоотражающего эффекта, который усиливается при параллельной установке подобных сооружений. Эффективность акустических экранов этого типа не превышает 5-12 дБА. Указанных недостатков лишены акустические экраны со звукопоглощением. Они изготавливаются сборно-разборными, как правило, из металла.

Однако в области низкочастотного шума традиционные типы звукопоглощающих экранов неэффективны, так как использование звукопоглощающих материалов дает достаточно ощутимый эффект заглушения в средне- и высокочастотном диапазоне шума. Дополнительное использование активных компенсаторов в этой конструкции дает возможность значительно снизить низкочастотный шум и инфразвук. Разработана конструкция

гибридного акустического экрана, содержащего, наряду со звукопоглощающим материалом, активные излучатели звука, расположенные на определенных расстояниях друг от друга и рассчитанные на снижение низкочастотного шума, обусловленного эффектом дифракции акустического экрана. Снижение шума в данной конструкции достигается не только за счет экранирующего эффекта, но и применения как минимум двух независимых контроллеров с использованием многоканального адаптивного сигнала для минимизации суммы среднеквадратичных значений уровней звукового давления в точках, расположенных вдоль дифракционной кромки акустического экрана. Типовая конструкция гибридного акустического экрана показана на рис. 4.

Гибридные акустические экраны, сочетающие заглушающие свойства акустических панелей со звукопоглощающим материалом и активных глушителей шума, излучающих звук в противофазе заглушаемому шуму, целесообразно, в том числе, использовать там, где необходимо достичь заглушения шума по всему частотному диапазону (в больничных корпусах, школьных классах и пр.).

Разработанная исполнителем конструкция гибридного акустического экрана, содержащего как звукопоглощающие элементы, так и систему активной компенсации низкочастотного шума и инфразвука, в настоящее время патентуется.

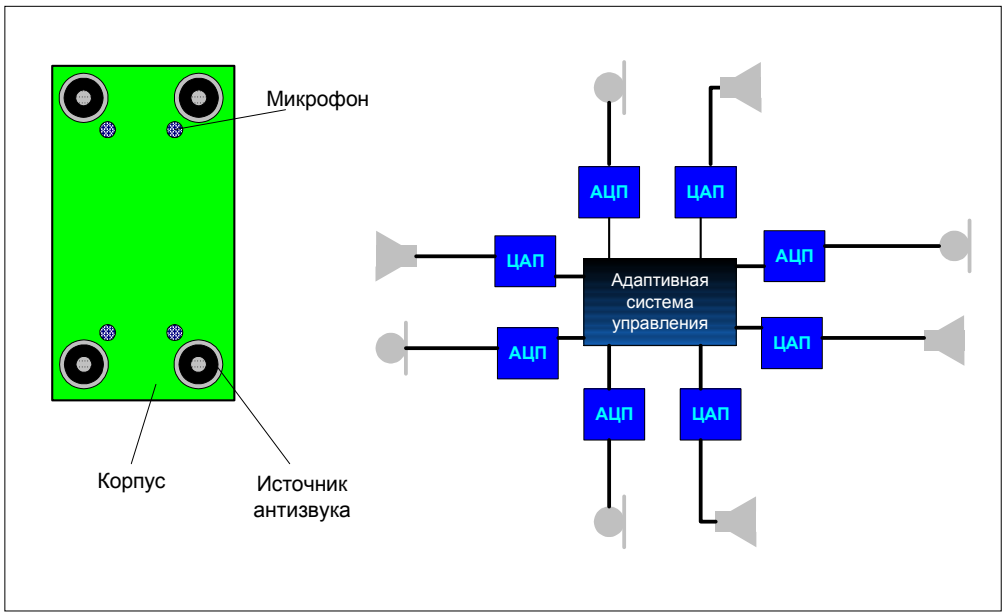


Рисунок 4. Конструкция гибридного акустического экрана

Поскольку внедрение вышеуказанного мероприятия существенным образом затрагивает внешний облик городов Самарской области, то при принятии окончательного решения о целесообразности внедрения данного мероприятия необходимы обязательные консультации специалистов управлений архитектуры.

Для принятия окончательного решения о целесообразности установки различных типов акустических экранов для тех или иных помещений необходимо проведение дополнительных акустических измерений внутри

помещений. Необходимо также улучшить звукоизолирующие качества окон жилых домов.

5. Шумозащитное зонирование.

Наряду с рекомендованными выше предложениями, для эффективного снижения шума в селитебной территории Самарской области следует рекомендовать:

– вынос шумных предприятий за черту жилой застройки;
– строительство специальных шумозащитных жилых зданий;
– использование административно-организационных мероприятий по снижению уровней шума за счет снижения интенсивности и шумности транспортных потоков.

Весьма эффективным мероприятием по снижению транспортного шума является развитие альтернативного транспорта, а также более интенсивное использование общественного транспорта.

Следует понимать, что любое шумозащитное мероприятие, связанное с совершенствованием конструкции автомобилей, организацией дорожного движения или ограничением распространения шума в жилую застройку, требует для своей реализации дополнительных затрат. Поэтому при выборе тех или иных мероприятий по снижению воздействия шума необходимо сопоставление затрат на их осуществление с эффектом, получаемым за счет уменьшения ущерба народному хозяйству от повышенных уровней шума в жилой застройке.

6. Заключение. Основные выводы.

Были проведены исследования по изучению акустических загрязнений на территории Самарской области. Анализ характеристик внешних источников шума осуществлялся путем проведения натурных измерений. Исследования проводились сотрудниками аккредитованной научно-исследовательской лаборатории НИЛ-9 "Виброакустика, экология и безопасность жизнедеятельности" ТГУ.

Проведен анализ результатов измерений. Сделаны заключения о соответствии измеренных уровней звука нормативным требованиям. Наибольшие уровни звука зафиксированы на селитебной территории Самарской области, примыкающей к транспортным магистралям.

Построены карты шума территории Самарской области. Разработаны предложения по снижению шума в наиболее шумоопасных зонах.

Проведенные исследования позволяют сделать общий вывод, что для ряда участков территории Самарской области наблюдается акустическое загрязнение.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ Р-ОФИ №07-08-97621 и в рамках гранта ведущих научных школ РФ 2008-9 гг.

Литература

1. Борьба с шумом на производстве. Справочник под ред. Е.Я. Юдина. - М.: Машиностроение, 1985. - 399 с.
2. 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.
3. Васильев А.В. Проектирование санитарно-защитной зоны Северного промышленного узла г. Тольятти с учетом требований к шуму и инфразвуку. В сборнике докладов научно-практической конференции с международным участием "Защита населения от повышенного шумового воздействия", г. Санкт-Петербург, 21-22 марта 2006 г., с. 314-322.
4. 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.
5. Воробьёв П.В., Иванов Н.И., Рудаков М.Л., Самойлов М.М. Влияние антропогенных физических полей на население большого города. В сб. докладов 4-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Новое в экологии и БЖД", 1999, т.1 с. 100-111.
6. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для вузов - СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.: ил.
7. Инженерная экология и экологический менеджмент: учебник под ред. Н.И. Иванова и И.М. Фадина, М.: «Логос», 2003, 528 с., ил.
8. 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. Москва, Минздрав России, 1997.
9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов".
10. 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.

ИСПЫТАННЫЕ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ЖИЛЫЕ КОМПЛЕКСЫ С ШУМОЗАЩИТНОЙ ФУНКЦИЕЙ. РЕАБИЛИТАЦИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ПО ШУМОВОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ. ПЛАНЫ ДОСТИЖЕНИЯ

Кочнев А.П.
ЛенНИИпроект
Kochnev_ap@lenproekt.com

Значительные территории Санкт-Петербурга для жилищного строительства в настоящее время не используются из-за сложившейся ранее практики недостаточно обоснованного увеличения санитарных разрывов и санитарно-защитных зон вблизи наземных и воздушных транспортных коммуникаций, промышленных предприятий. Современные санитарные нормы позволяют назначать санитарный разрыв исходя из минимального расстояния от источников воздействия до границы жилой застройки при условии соблюдения допустимых уровней вредных воздействий.

Мы, совместными усилиями, еще не решили все проблемы с известными источниками шумового воздействия, еще не все опасные предприятия выведены за пределы селитебных территорий, а в городе появились новые еще более мощные источники шума. Один из таких источников - кольцевая автомобильная дорога (КАД), «прорезавшая» жилые территории. Известные акустики до сих пор находятся в состоянии интенсивной творческой активности, направленной на решение научно-технических, технологических и организационных задач в связи со строительством КАД.

Цель размещения градостроительных жилых комплексов в застройке Санкт-Петербурга состоит в необходимости реабилитации значительных городских территорий вблизи мощных источников шума путем выбора или создания в проектных решениях новых и наиболее эффективных средств защиты от шума и вибрации, способствующих сокращению санитарных разрывов и санитарно-защитных зон транспортных коммуникаций и промышленных предприятий.

Достижение данной цели в наибольшей мере создает яркую инвестиционную привлекательность каждого проекта как важнейшую экономическую основу его реализации и экономическую основу своевременной реабилитации существующих городских территорий, по различным причинам ранее расположенных в экологически опасной близости от транспортных коммуникаций и промышленных предприятий.

Например, около 10% территории Санкт-Петербурга (зона **Б** - примерно 50км^2) находятся под воздействием избыточных максимальных уровней звука

при пролетах самолетов и вертолетов – это территории в Петродворце, Ломоносове, Красном Селе, в южной части города. Ясно, что капитальные вложения в шумозащитные средства на данной территории будут весьма существенно меньше, чем, например, в зоне **В**, где требуемое по нормам снижение шума значительно –от 10 до 15 и более дБА. На выбранных территриях зоны **Б** имеется достаточно развитая система инженерных коммуникаций, что также весьма существенно для принятия решения об инвестициях. В тоже время превышение максимальных уровней звука здесь относительно невелико, поэтому градостроительными и техническими средствами эффективное снижение авиационного шума достижимо даже на открытых участках относительно замкнутых пространств.

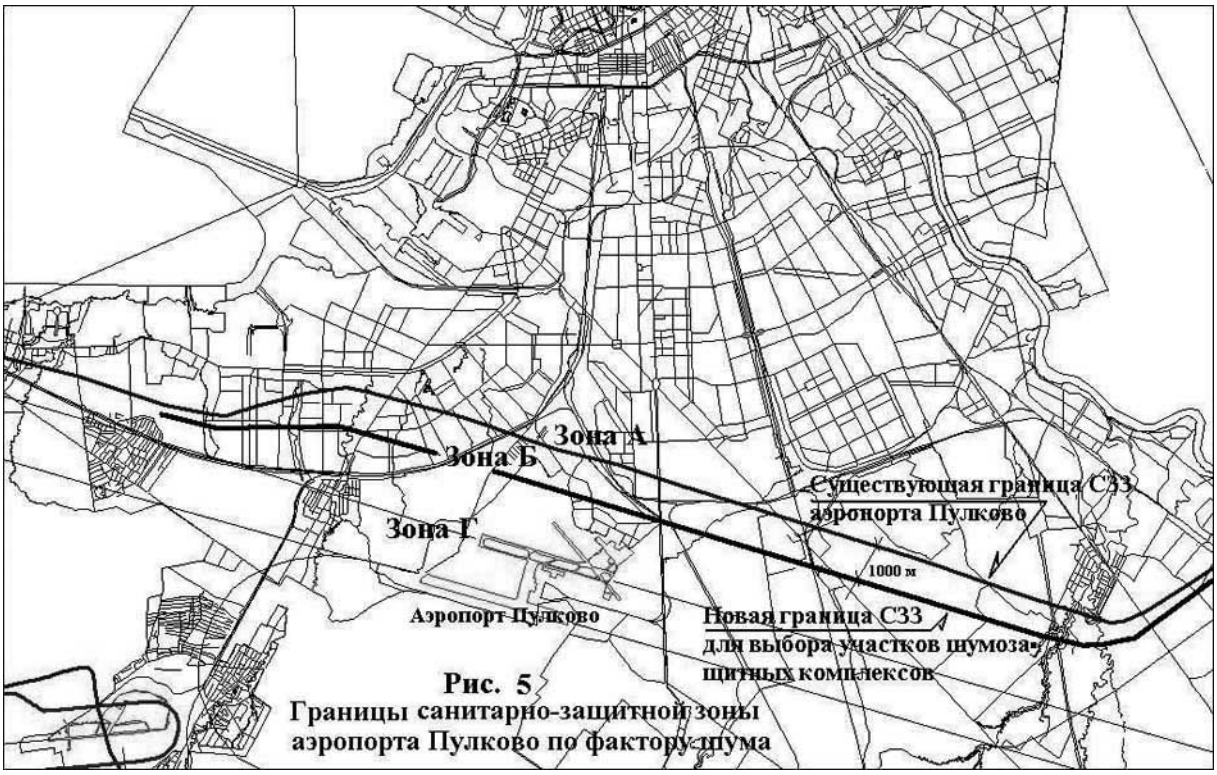


Рис. 5
Границы санитарно-защитной зоны аэропорта Пулково по фактору шума

В зоне **Б** примерно 50км^2 находятся под воздействием избыточных максимальных уровней звука при пролетах самолетов и вертолетов. Однако селитебные территории зоны Б в пределах границы СЗЗ аэропорта предложенными техническими и планировочными средствами вполне могут быть защищены от избыточных уровней шума.

Концепция выбора или создания новых средств шумозащиты территорий и помещений вблизи воздушных коммуникаций включает в себя создание принципиально нового формообразования здания в целом, новой его пространственной компановки в формате организации замкнутого пространства единого шумозащитного комплекса с элементами организации соцкультбыта, разработки новых объемно-планировочных элементов зданий для защиты от авиационного шума.

Можно отметить пять очень важных для дальнейших разработок принципиальных и практически важных положений:

Во-первых, для снижения шума авиации расстояние от источника шума при некоторых условиях не имеет существенного значения, как это принято для наземных источников шума. Для существующего в Пулково парка самолетов, с известными шумовыми характеристиками, снижение шума на территории жилой застройки возможно с помощью весьма ограниченного количества средств – акустическое экранирование территории вблизи зданий для дневного времени суток, а также акустическое экранирование и звукоизоляция помещений внутри этих зданий для ночного времени суток.

Во-вторых, превышение норм до 5 дБА на территории вблизи шумозащитного комплекса можно ликвидировать для дневного времени суток средствами экранирования. Поэтому шумозащитные комплексы должны иметь специальную форму и значительную этажность – 25 и более этажей. Некоторые части комплексов, конечно, могут иметь и гораздо меньшую этажность. Комплекс должен быть в какой-то мере самодостаточным по сфере обслуживания населения, чтобы некоторые части комплекса можно было бы замкнуть в пространстве для достижения максимального эффекта экранирования территории этого комплекса и расположенной вблизи существующей застройки.

В-третьих, если превышение норм для дневного времени суток на территории вблизи шумозащитного комплекса не превосходит 5 дБА по максимальному уровню звука и это превышение можно ликвидировать средствами экранирования, то для территорий в ночное время суток это превышение автоматически становится большим на 10 дБА. Нормы ночного времени «жестче» на 10дБА. Требуемое снижение шума на территории в ночное время суток 10-15 дБА. Для авиационного шума данная задача в полной мере, пожалуй, неразрешима.

В-четвертых, учитывая предыдущие три условия для практически реализуемых технических решений выбирается направление наиболее полной защиты населения на территории в дневное время и наиболее полной защиты населения в помещениях в ночное время суток. Для достижения цели применяется акустическое экранирование территории корпусом шумозащитного комплекса (обязательное и полное соблюдение нормативов дневного времени суток на территории) и выбирается акустическое экранирование и звукоизоляция помещений внутри этих зданий (обязательное и полное соблюдение нормативов ночного времени суток в жилых помещениях в соответствии с санитарными нормами).

В-пятых, обязательное и полное соблюдение нормативов ночного времени суток в жилых помещениях в соответствии с санитарными нормами достигается снижением шума на 35 дБА и более с помощью названных выше шумозащитных средств: акустического экранирования и звукоизоляции наружными стенами с оконными проемами. При этом акустическое экранирование на 5дБА и более можно обеспечить применяя специальные

экранирующие ярусы, располагаемые на фасаде зданий. Для звукоизоляции на 30 дБА и более используются окна с повышенной звукоизоляцией в режиме проветривания и остекленные лоджии шириной около 3-х метров.

Акустические экраны являются традиционными средствами защиты от шума наземных источников. Эффективность экрана для наземного источника шума связана с процессами интерференции и дифракции звука, происходящими на его краях. Бесконечный экран – наиболее эффективен. В соответствии с теорией Маекавы в точке №3 снижение шума экраном равно 5дБА. В точке №2 снижение шума экраном будет больше 5дБА.

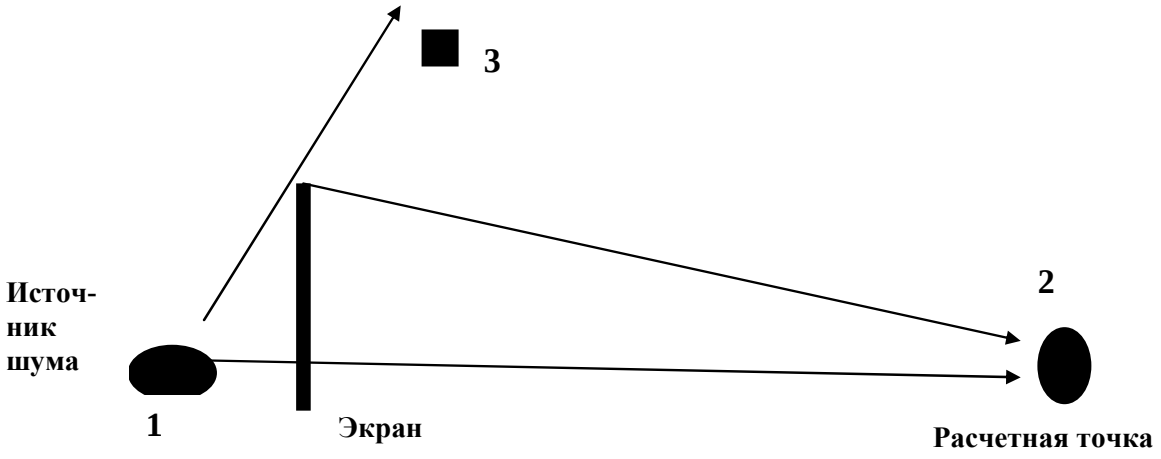


Схема акустического экрана для *наземных* источников шума

По принципу взаимности положения расчетной точки и источника шума принципиальная расчетная схема акустических экранов для снижения авиационного шума представлена на следующем рисунке.

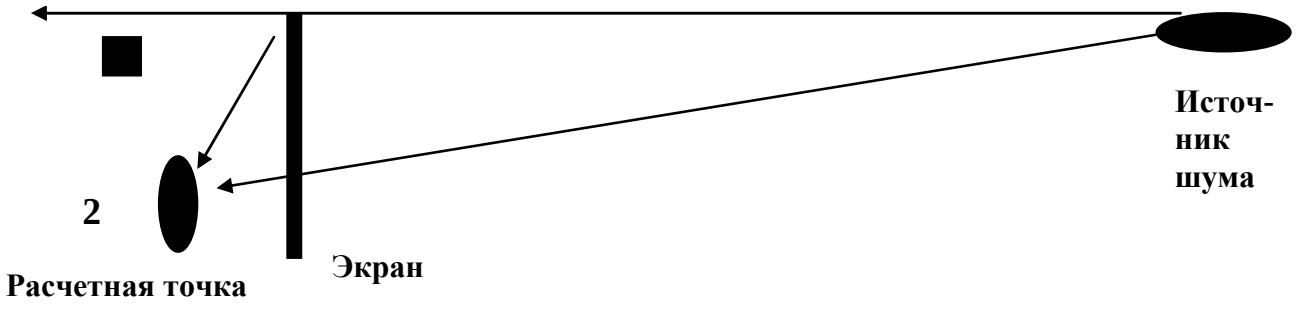
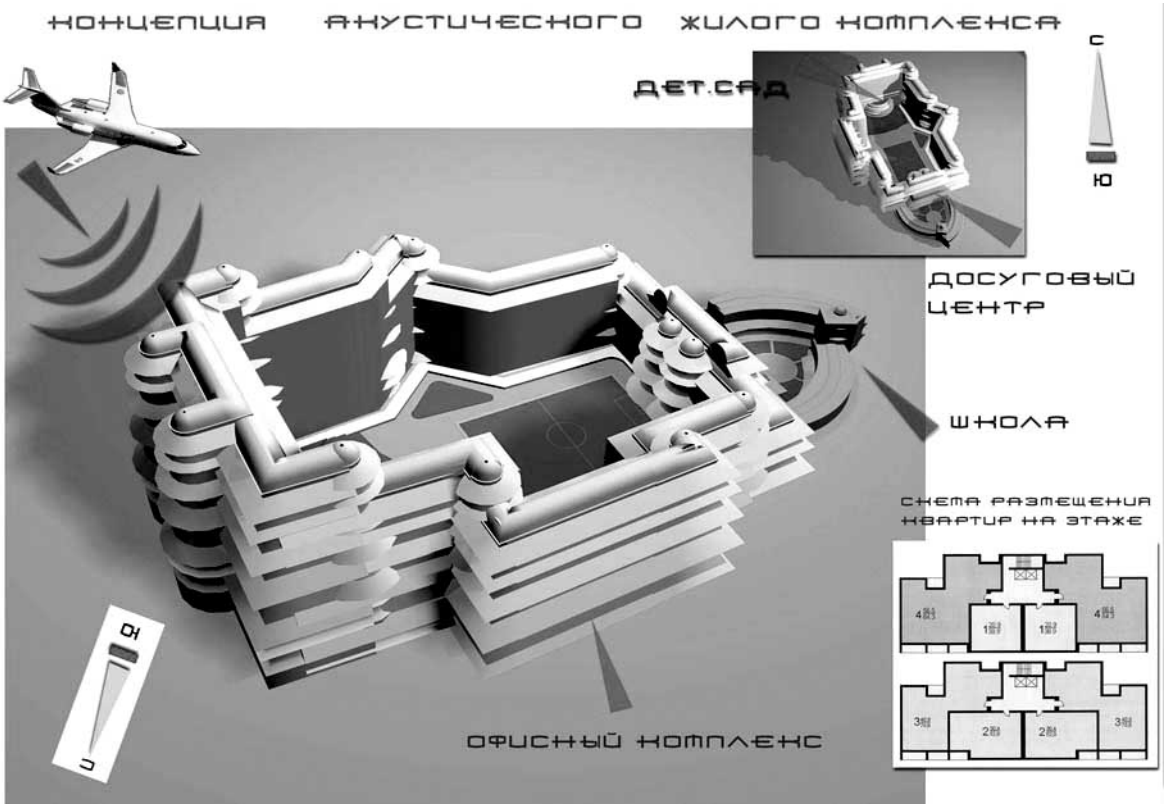


Схема акустического экрана для *воздушных* источников шума

В шумозащитном комплексе акустическим экраном для шумозащиты помещений является ярусный поэтажный экран на фасаде здания (см. схемы поперечных сечений зданий). Для защиты от шума территории внутри “двора” шумозащитного комплекса акустическим экраном является само здание шумозащитного комплекса. В соответствии с терией Маекавы в точке №3

снижение шума таким экраном также равно 5дБА. В точке №2 снижение шума экраном будет больше 5дБА.



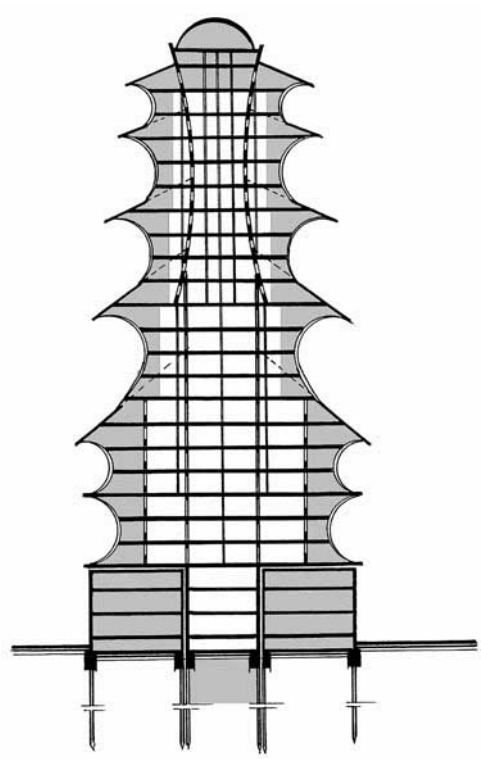
Пример использования внутреннего пространственного и планировочного решения жилого комплекса, позволяющего защитить его помещения и внутреннее пространства участка застройки от шума авиации и других высоких источников шума (замкнутое самодостаточное функционально пространство, поэтажные экраны).

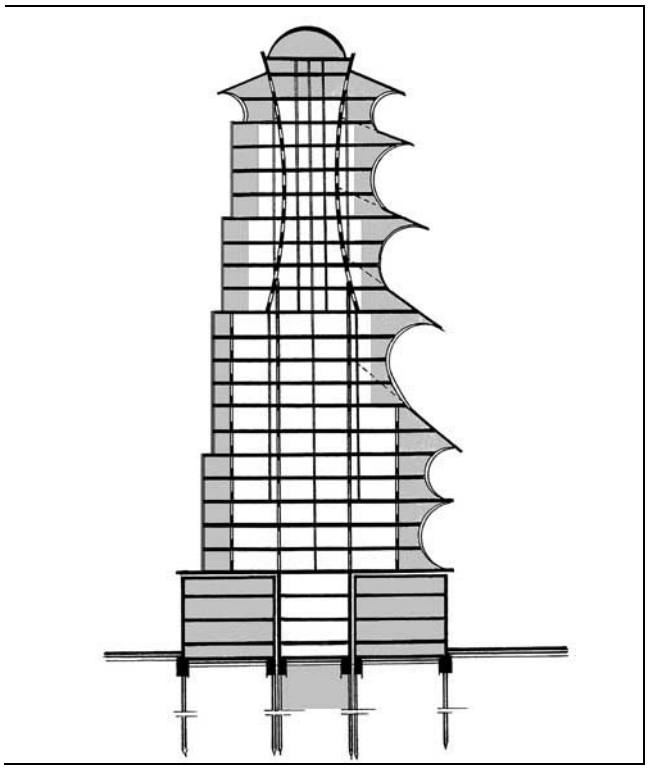
Создание замкнутой формы шумозащитного комплекса с организацией внутреннего «двора»-пространства позволяет приблизить эффективность ярусных экранов на фасаде и эффективность самого здания-экрана к акустической эффективности бесконечного экрана.

Для снижения эффекта отражения звука от поверхности земли первые этажи зданий не имеют жилых помещений.

Понижение этажности зданий в направлении от источника шума связано с необходимостью «выпустить» звук из внутреннего пространства комплекса после отражений от земли или от стен здания, обращенных внутрь двора и исключить возникновение стоячих волн в пространстве «двора».

Схема понижения этажности всегда будет зависеть от местоположения участка строительства шумозащитного комплекса и не может быть универсальной для всех условий строительства.





Предполагается, что данный комплекс в своем составе может иметь, по необходимости, симметричное и ассиметричное поперечное сечение каждого из зданий, суть и форма которых являются в данном случае наиболее предпочтительными (поэтажные экраны).

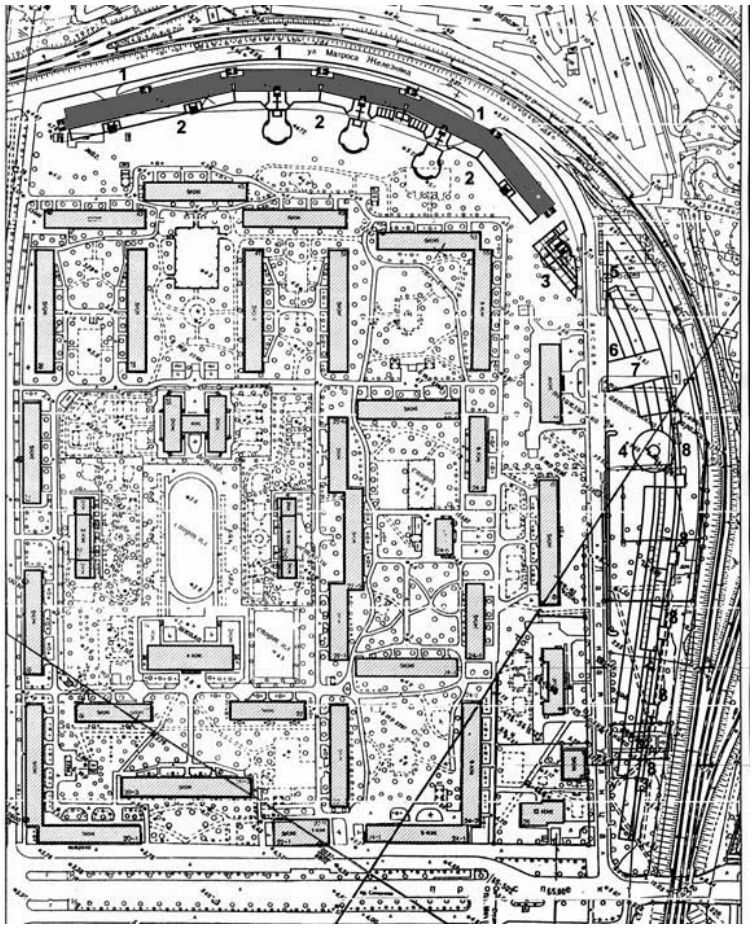
Архитектура шумозащитных комплексов предполагает высочайший уровень архитектурного мастерства и инженерной мысли у специалистов, которые будут разрабатывать проекты таких архитектурно-экологических. ниш даже вблизи аэропорта Пулково с обеспечением благоприятных санитарно-гигиенических условий пребывания людей.

В лаборатории экологии и акустики ОАО ЛЕННИИПРОЕКТ начата разработка программы для JBM, позволяющей сделать количественную и наглядную оценку загрязнения селитебных территорий при воздействии шума авиации и других высоких источников шума. Программа позволяет в динамическом режиме визуально наблюдать, как шумовая тень «накрывает» застройку в зависимости от задания высоты, направления (траектории) и скорости пролета высокого источника звука. Эту программу мы начали разрабатывать после предварительных переговоров по аэропорту г. Краснодара, как вы знаете, расположенного почти в центре города. Для чего удобна эта программа? Она незаменима при переборе большого числа вариантов застройки с целью определения наиболее подходящего из них для минимизации шумового загрязнения территорий, что почти невозможно (или весьма трудоемко и не очень наглядно) при других способах оценки. Достаточно вспомнить многочисленные карты шума, в которых с течением времени ничего нельзя изменить, или оценить какие-либо изменения.

Как отмечено уже, зона Б Пулковского аэропорта имеет площадь примерно 50 км^2.

Примерно столько же селитебных территорий (около 50км^2) находятся под воздействием избыточных уровней звука наземных транспортных коммуникаций.

Первый в Санкт-Петербурге и в стране специальный комплекс жилого и нежилого назначения с шумозащитной функцией, запроектирован и построен на улице Матроса Железняка при непосредственном участии автора и д.м.н., профессора Фридмана К.Б.



На рисунке представлен генеральный план существующей застройки квартала. Из рисунка очевидно, что существующая застройка «искусно» прикрыта от шума на железной дороге с помощью комплекса жилого и нежилого назначения из двух шумозащитных зданий общей протяженностью 800 метров (по улицам Ланской и Матроса Железняка).

По проекту около 70% поверхности наружных стен жилой части комплекса со стороны железной дороги имеют остекленные лоджии, являющиеся радикальным шумозащитным средством, наряду с установленными в основных стенах вентиляционными клапанами-глушителями. KIV-125 фирмы «Инженерное оборудование». KIV-125 – это

очень эффективный на низких частотах трубчатый глушитель с весьма малой площадью свободного сечения S=0,011м^2.

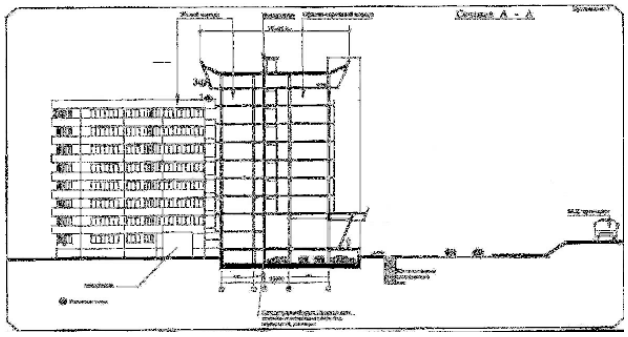
Комплекс успешно выполняет важнейшую функциональную нагрузку по защите не только жителей в нем самом, но и «прикрывает» от шума железной дороги еще 35 жилых зданий существующей в квартале застройки. Общая площадь здания около 80 тыс.м^2. Длина – 350м, этажность 12-22 этажа. Принципиальная архитектурно-планировочная схема и конструктивное решение здания одобрены положительным Решением Федерального института промышленной собственности (Роспатент) №2004112037/22 (013052) с приоритетом от 22.04.2004 года.

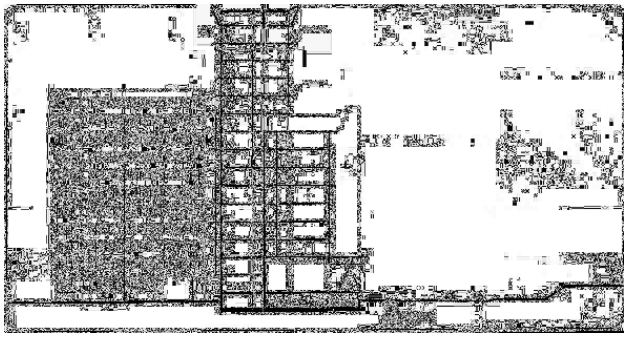
Для этой же цели - защиты существующей селитебной территории от шума – вдоль Ланской улицы дополнительно будет проектироваться еще один шумозащитный объект – шумозащитная линия комплекса общественного обслуживания населения с единым акустически непрерывным фасадом длиной более 450м и высотой около 19метров над уровнем земли.

Названные два здания на пересечении улиц Ланской и Матроса Железняка в будущем образуют акустически почти непрерывную, экранирующую шум, линию зданий и сооружений с общей длиной более 800 метров при средней длине источника шума (электропоезда) 150 метров. Таким образом, общая длина непрерывной линии защитных экранирующих зданий и сооружений значительно превышает длину источника шума, что гарантирует шумозащитный эффект.

Граничной частотой, с которой проявляется значимая эффективность «толстого» экрана-здания выбрана частота 63Гц с длиной волны 5.44метра. Графоаналитическим методом определена необходимая эффективная высота экрана $\mathbf{h_{эфф}}$ (не высота здания), равная 25.7м. В этом случае найдено, что $\mathbf{h_{эфф}/\lambda}$=4.72 , а экранирование звука «толстым» экраном равно около 25дБ на частоте 63Гц. Найденной таким образом эффективной высоте экрана $\mathbf{h_{эфф}}$=25.7м соответствует оптимальная “толщина” шумозащитного здания **W**=27,9м в уровне 9 этажа.

Технические решения здания, когда поперечное сечение разработано «в спокойной манере» в связи с удалением на 35-40 метров от железнодорожной колеи до стен жилой части комплекса.





Технические решения здания, когда поперечное сечение разработано более динамичным в связи с размещение его в непосредственной близости от автотрассы или автомобильной эстакады. Данный случай в проектной практике вполне возможен.

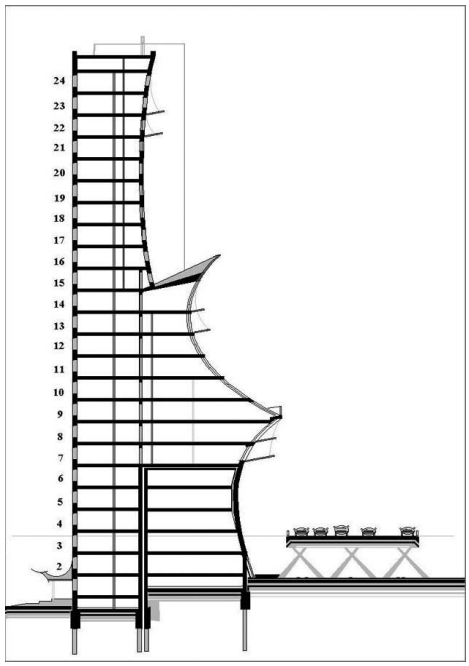


Фото макета комплекса жилого и нежилого назначения с шумозащитной функцией, запроектированного и построенного на улице Матроса Железняка

Фото построенного комплекса жилого и нежилого назначения с шумозащитной функцией на улице Матроса Железняка. На втором плане видна фоновая застройка, за которой будет располагаться проектируемый жилой комплекс градостроительного уровня значимости на 2 млн. м2общей площади из 40 зданий.

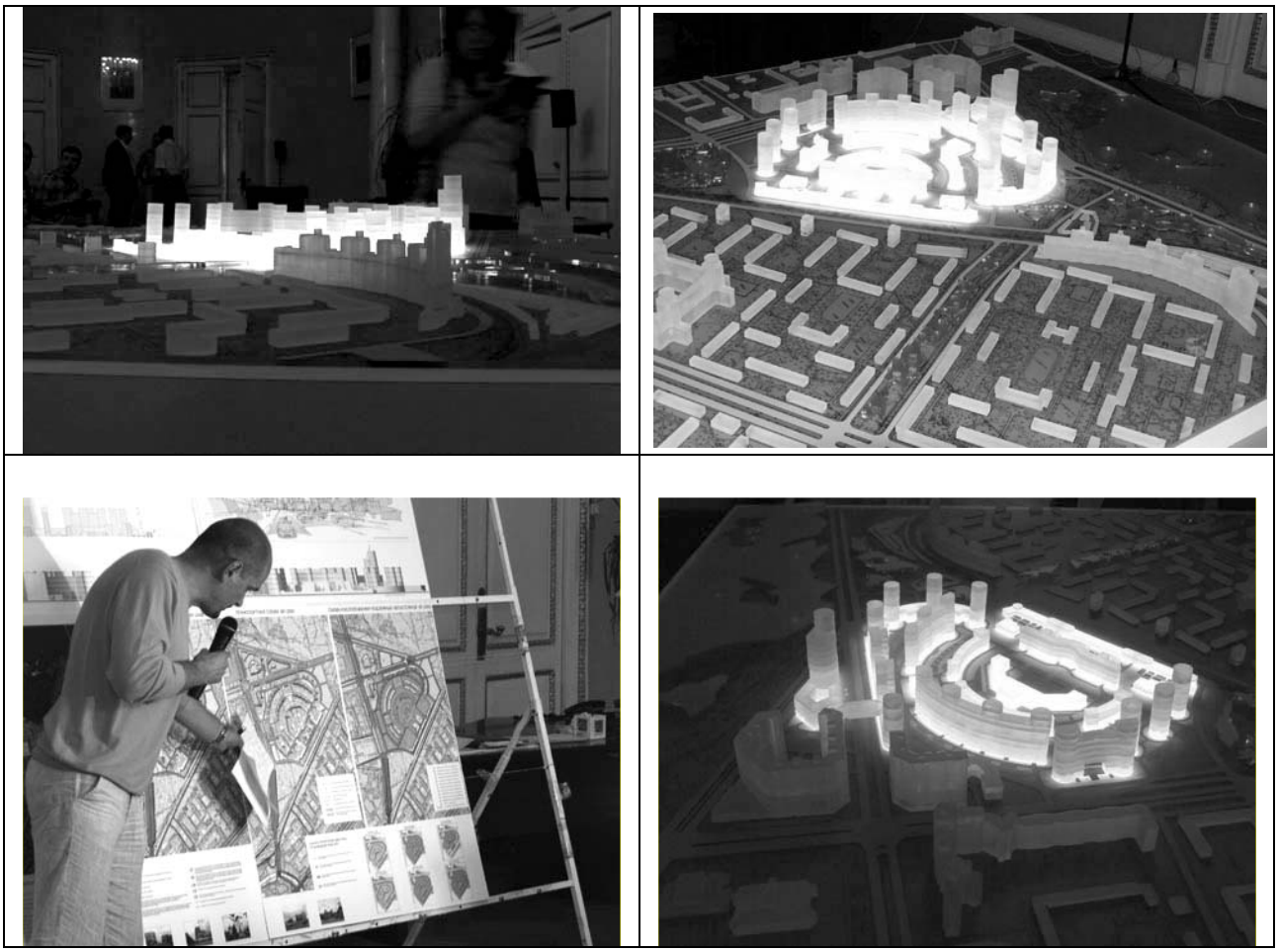
Фото головной 24-х этажной части возведенного комплекса жилого и нежилого назначения с шумозащитной функцией на улице Матроса Железняка.

Ближайшая колея железной дороги находится в 35-40 метрах от фасада жилой части и встроенных учреждений общественного обслуживания

На фото можно рассмотреть установленные во время возведения наружных стен (в уровне оконных перемычек) трубы клапанов-глушителей

На фото можно рассмотреть одно из жилых 5-ти этажных зданий, прикрываемых от шума железной дороги в существующей жилой застройке квартала

В ОАО ЛЕННИИПРОЕКТ создан и защищен в Градостроительном Совете Санкт-Петербурга проект первого не только в городе, но и в стране, жилого комплекса градостроительного уровня значимости, т.к. в своем составе имеет 40 зданий высотностью от 7 до 30 этажей и занимает очень большую площадь целого квартала, расположенного в треугольнике, огрниченном Богатырским и Коломяжским проспектами, а также - …ул. Матроса Железняка (территория бывшей овощной базы). Акустические задачи по защите от шума железнодорожного и автомобильного транспорта в проекте решены автором. Это первый такой крупный проект и пример комплексного реального проектирования полностью шумозащищенной жилой застройки с предполагаемой жилой площадью около 2 млн.м^2. Здесь применены шумозащитные средства, аппробированные на первом шумозащитном комплексе (на улице Матроса Железняка). Видимо не случайно первый в городе и в стране жилой комплекс градостроительного уровня значимости с шумозащитной функцией запроектирован, в том числе, и на продолжении улицы Матроса Железняка, вдоль той же железнодорожной линии.



Защита в Градостроительном Совете Санкт-Петербурга (докладчик Сарри М.В.) проекта первого не только в городе, но и в стране, жилого комплекса градостроительного уровня значимости, т.к. в своем составе имеет 40 зданий высотностью от 7 до 30 этажей и занимает очень большую площадь целого квартала, расположенного в треугольнике, огрниченном Богатырским и Коломяжским проспектами, а также - …ул. Матроса Железняка, «пробитой» по проекту до Коломяжского проспекта (на верхнем правом фото видны представленные ниже карты шума застройки).

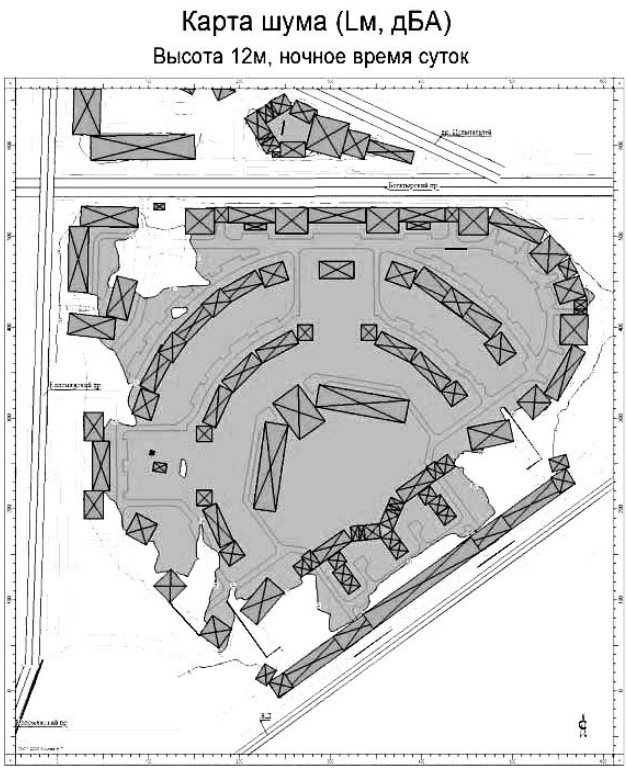
В правой части нижнего левого фото или на первом плане верхнего левого фото можно наблюдать макет комплекса жилого и нежилого назначения с шумозащитной функцией на улице Матроса Железняка, о котором информация дана выше.

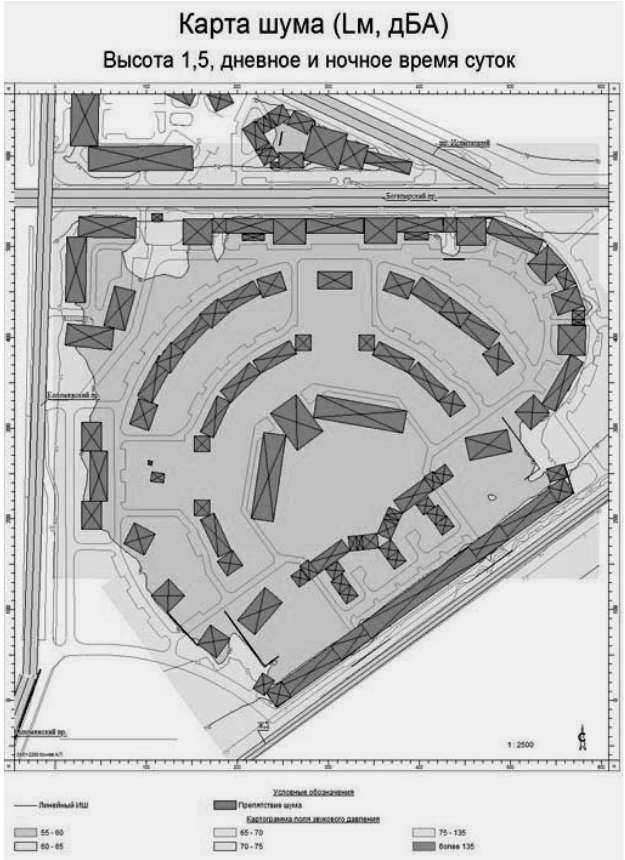
Фирмой «ИНТЕГРАЛ» при участии автора разработан и широко используется программный комплекс «ЭКОЛОГ-ШУМ», с помощью которого можно рассчитать составляющие шума не только в простых, но и в сложных случаях взаимного положения множества расчетных точек, источников и застройки. При этом учитываются экранирующие и отражающие свойства препятствий для шума.

Огромная трудоемкость акустических расчетов на крупных территориях рассматриваемого квартала со сложной структурой этажности и конфигураций

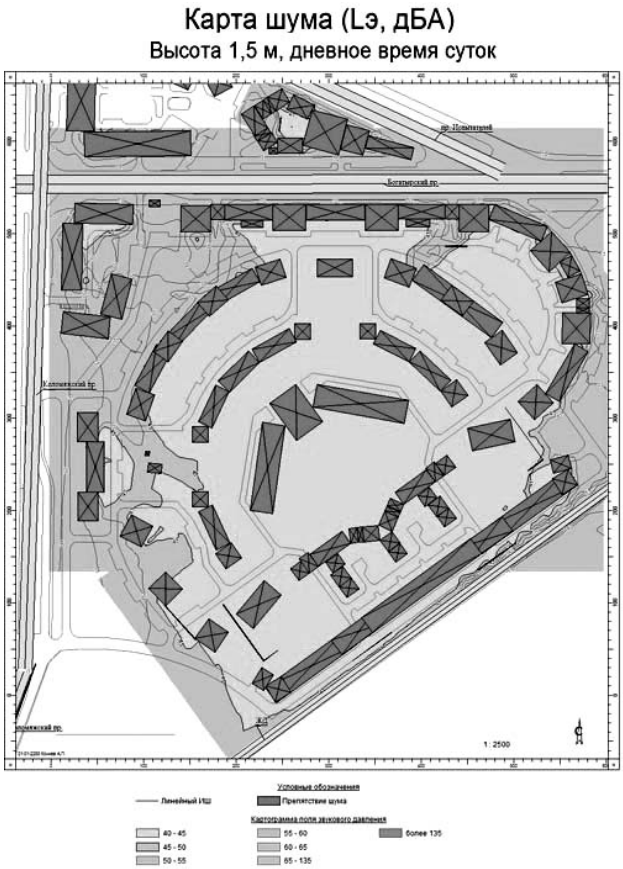
привела к необходимости интенсивно использовать здесь программный комплекс «ЭКОЛОГ-ШУМ». Результаты расчетов дают количественную и наглядную информацию о степени акустического загрязнения территории, так как программный комплекс позволяет рассчитать, проанализировать варианты застройки и выбрать наилучший. При этом оценена эффективность возможных вариантов экранирования шума и достаточность средств звукоизоляции с применением клапанов-глушителей, а также остекленных лоджий.

Представленные карты шума на территории квартала наглядно фиксируют значимость экранирования шума железной дороги с юго-восточной стороны, от улицы Матроса Железняка, с помощью 5-ти этажного гаражно-офисного сооружения. Одновременно с этим очевидна также акустическая эффективность постепенного повышения этажности зданий- до 30 этажей- вглубь квартала, начиная от гаражно-офисного сооружения.





Программный комплекс «ЭКОЛОГ-ШУМ» чувствителен и к положению нижней кромки экрана над поверхностью земли. В связи с этим на картах шума в северной зоне квартала видны отдельные «языки зашумленности» по максимальному и эквивалентному уровням звука из-за наличия в непрерывном фронте зданий по Богатырскому проспекту арок для проезда автомобилей и движения людских потоков.



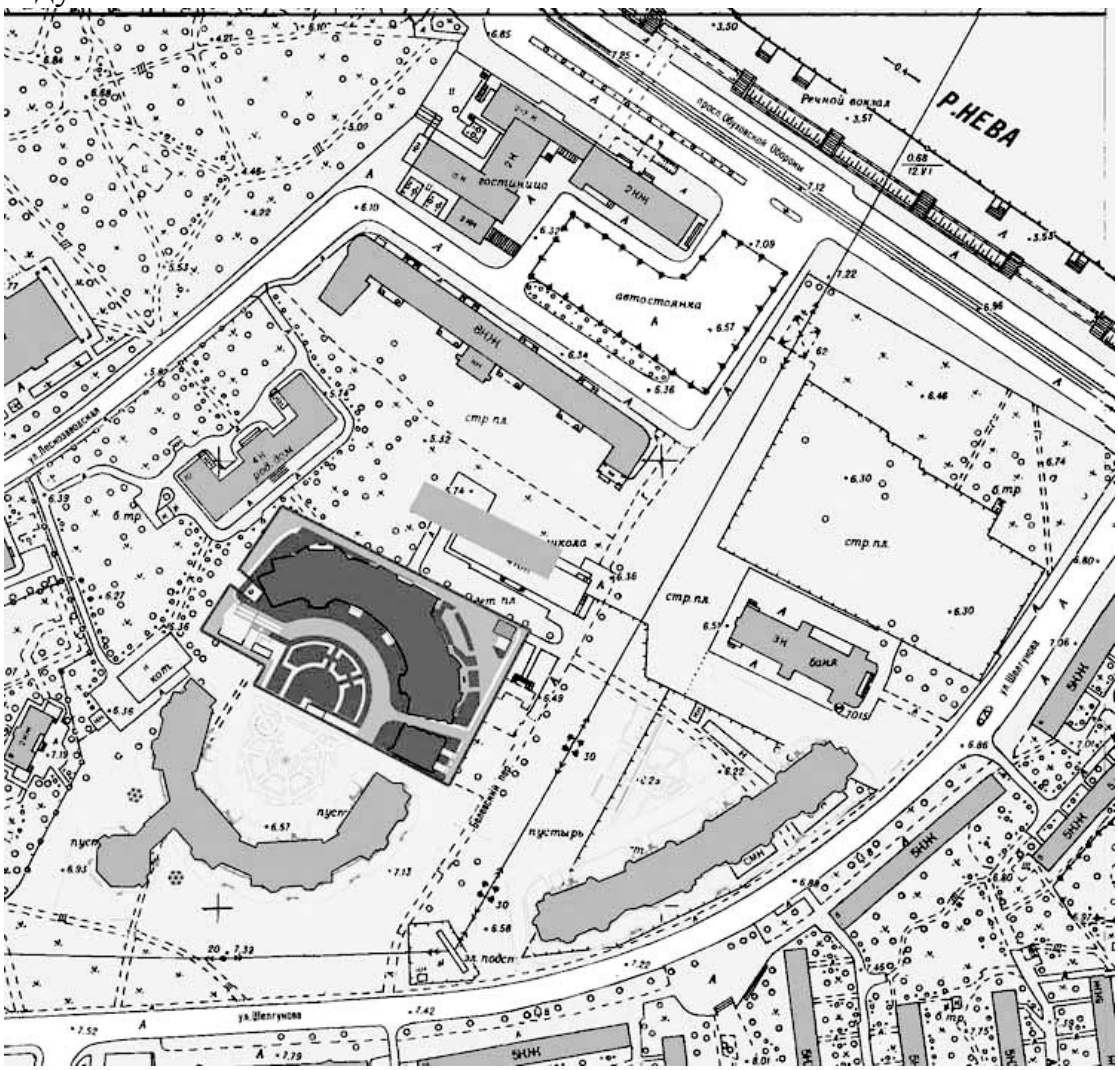
В итоге очень трудоемкой проектной работы и многочисленных расчетных экспериментов в жилом комплексе градостроительного уровня значимости, огрниченном Богатырским и Коломяжским проспектами, а также - ул. Матроса Железняка удалось применить целый ряд эффективных шумозащитных средств:

– так называемые «толстые» экраны-здания, например, весьма протяженное здание гаражно-офисного комплекса со стороны железной дороги, прикрывающее практически всю южную часть квартала. Применены также экраны-здания и со стороны Богатырского проспекта, и со стороны Коломяжского проспекта;
– плоские экраны в привычном исполнении, прикрывающие небольшие участки территории квартала, например, в зонах двух детских садов и школы;
– основным способом защиты от шума автотранспортных потоков на Коломяжском и Богатырском проспектах, а также шума железнодорожных поездов в зданиях и на территории квартала является весьма редко используемое градостроительное средство – постепенное повышение этажности зданий от магистралей в глубь территории застройки. В этом случае передний фронт достаточно низких зданий с относительно небольшим количеством жителей экранирует шум, служа защитными сооружениями для более

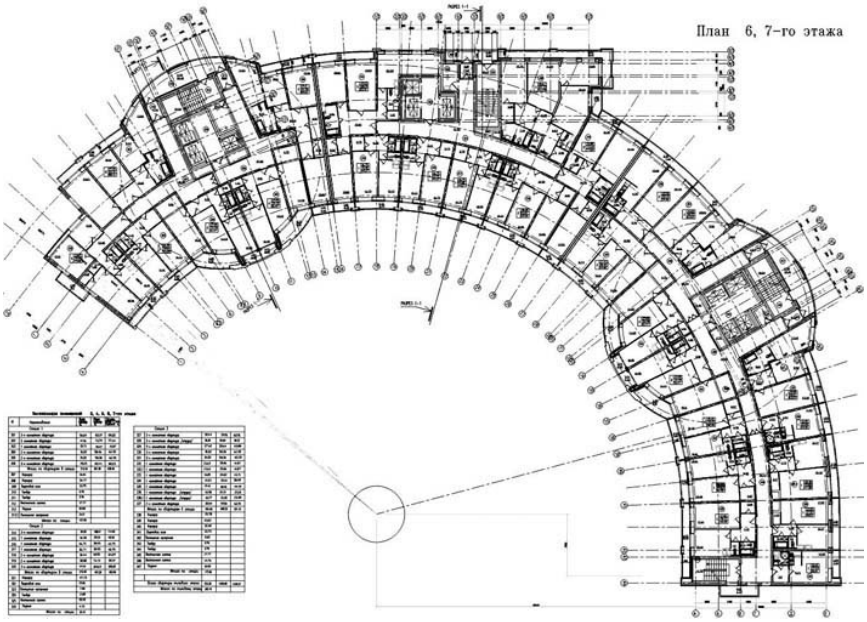
удаленных и значительно более многоэтажных зданий. На фото макетов это хорошо видно.

– конечно, мы широко используем в проекте клапаны-глушители, а также застекленные лоджии, которые, как теперь уже окончательно ясно, являются радикальным шумозащитным средством. Ведь в современных жилых комплексах около 65% поверхности наружных стен имеют застекленные лоджии. Их просто надо тщательно учитывать как шумозащитное средство и не сбрасывать, как говорят, со счетов.

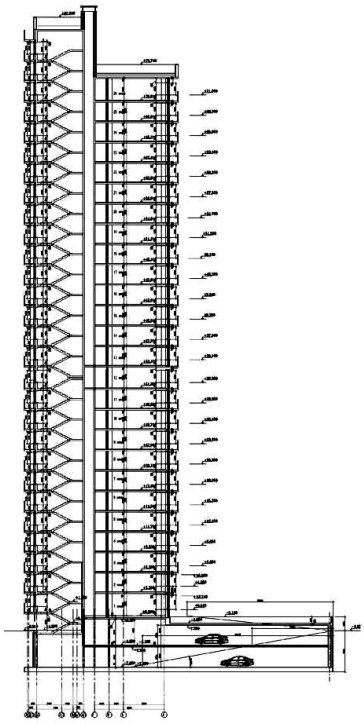
Можно отметить и еще несколько объемно-планировочных и конструктивно-технических проектных решений ОАО ЛЕННИИПРОЕКТ градостроительных жилых комплексов с шумозащитной функцией, разработанных при участии автора, например, на проспекте Обуховской Обороны и на проспекте Просвещения, строительство которых будет начато в 2009 году.



Генплан участка и план типового этажа жилого комплекса
на проспекте Обуховской Обороны



План типового этажа жилого комплекса на проспекте Обуховской Обороны



Поперечное сечение здания жилого комплекса
на проспекте Обуховской Обороны.

В этом проекте также очень большая площадь - около 65% поверхности наружных стен комплекса имеют застекленные лоджии, являющиеся радикальным шумозащитным средством, наряду с установленными в основных стенах вентиляционными клапанами-глушителями.

Фасады жилого комплекса на проспекте Обуховской Обороны

Фасад со стороны улицы Шелгунова

Фасады жилого комплекса имеют несколько необычный вид из-за весьма развитой фахверковой системы, позволяющей качественно и безопасно смонтировать остекление лоджий закаленным стеклом.

Фасад со стороны улицы Лесозаводской

Очень важно, что при акустических расчетах в жилых комплексах на проспекте Обуховской Обороны и на Проспекте Просвещения нами тщательно учтено именно остекление лоджий, как одно из основных средств шумозащиты в крупном городе. Такое средство действительно является реальным, дающим действенный практический результат наряду с хорошими вентиляционными клапанами-глушителями в основных стенах.

В заключение можно отметить, что программный продукт «ЭКОЛОГ-ШУМ», разработанный фирмой «ИНТЕГРАЛ» является на данный момент времени незаменимым инструментом для численного и качественного анализа применяемых шумозащитных средств в самых сложных и масштабных градостроительных ситуациях. Примером эффективного использования этого программного продукта является успешный результат применения его на градостроительном комплексе в квартале, ограниченном Богатырским, Коломяжским проспектами и улицей Матроса Железняка.

Спектр основных шумозащитных средств в градостроительной практике Санкт-Петербурга представлен включением в застройку, как традиционных плоских экранов, так и «толстых» экранов-зданий наиболее рациональных форм и конструктивных решений.

Определено существенное значение редко используемого градостроительного средства – постепенное повышение этажности зданий от магистралей в глубь территории застройки. В этом случае передний фронт достаточно низких зданий с относительно небольшим количеством жителей экранирует шум, служа защитными сооружениями для более удаленных и значительно более многоэтажных зданий.

Неожиданно хороший результат приносит использование (и тщательный учет) остекления достаточно широких лоджий, когда звукоизолирующий эффект основной наружной стены просто суммируется со звукоизолирующим эффектом остекления лоджий, ибо эти два элемента здания практически независимы по звукоизоляции. Данному выбору способствует уже широко распространившееся среди архитекторов прием остекления лоджий в многоэтажных зданиях на очень большой поверхности наружных стен (правила пожарной безопасности этому уже не препятствуют, как раньше).

В шумозащитном комплексе при вздействии авиационного шума предложено для шумозащиты помещений использовать ярусные поэтажные экраны на фасаде здания. Для защиты от авиационного шума территории внутри “двора” шумозащитного комплекса акустически эффективным «толстым» экраном является само здание разноэтажного шумозащитного комплекса при должной его ориентации относительно источника шумового воздействия.

Названные шумозащитные средства позволяют сейчас и позволят в будущем достигать акустической (санитарно-гигиенической) обоснованности размещения градостроительных жилых комплексов в застройке различных городов, когда необходимость реабилитации значительных городских территорий вблизи мощных источников шума совпадает с технической возможностью эффективно это осуществлять на практике.

Имеется и еще одно немаловажное обстоятельство для успешного подхода к решению масштабных задач шумозащиты градостроительными комплексами. Оно заключается в том, что архитектура шумозащитных комплексов предполагает высочайший уровень архитектурного мастерства и инженерной мысли у специалистов, которые будут разрабатывать проекты архитектурно-экологических ниш с обеспечением санитарно-гигиенического благополучия населения.

Программа для JBM, позволяющая сделать количественную и наглядную оценку загрязнения селитебных территорий при воздействии шума авиации и других высоких источников шума, разработка которой начата в ОАО ЛЕННИИПРОЕКТ, позволяет оперативно получить значимые количественные оценки и наглядно, в режиме реального времени, рассмотреть варианты крупных градостроительных комплексов (кварталы, районы городов и т.д.).

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ САНИТАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Куриленко Ю.В.
Группа ОКТАВА-ЭлектронДизайн
gkurilenko@octava.info

В докладе обсуждается проблема доказательности результатов измерений шума. Предложено решение этой проблемы путем применения технологий автоматической записи в память временных акустических историй и статистического анализа. В качестве иллюстраций приведено несколько практических примеров.

О доказательности результатов измерений

В наши дни особенно остро стоит вопрос о точности и доказательности измерений шума и вибрации.

Если в 60-70 гг. прошлого столетия эта проблема носила скорее научно-методический характер, то сегодня она получила четко выраженную юридическую и экономическую составляющую. По результатам измерения шума и вибрации определяются классы условий труда и назначаются разнообразные льготы работникам, принимаются градостроительные решения. Уровень шума все чаще становится фактором, влияющим на цену недвижимости и земли.

Неудивительно поэтому, что все чаще мы становимся свидетелями споров и судебных разбирательств о правильности экспертиз. Сегодня методические ошибки при проведении измерений могут вести к серьезному экономическому ущербу не в отдаленной перспективе, а в самом ближайшем будущем.

Современные методы санитарно-экологического контроля должны решать следующие задачи:

– точность;
– доказательность;
– массовость.

В нашем докладе мы хотим рассказать о решении этих задач с помощью отечественных средств измерения.

Требования к средствам измерений

Приборы, применяемые для санитарно-экологического контроля, должны измерять все нормируемые параметры, которые указаны в санитарных нормах [1], [2], а также удовлетворять соответствующим стандартам. Подробно вопрос о требованиях к шумомерам рассмотрен в [3] {1}. В нашем докладе мы хотим обратить внимание на ряд новаций.

Как известно, основным нормируемым параметром непостоянного шума является эквивалентный уровень звука. Измерительная практика второй половины 20-го века допускала применение неинтегрирующих шумомеров. Однако в наши дни такой подход уже невозможен. Изменение №1 к ГОСТ 12.1.050 и методические указания МУК 4.3.2194-07 требуют применять **интегрирующие** шумомеры для оценки непостоянных шумов, причем для оценки коммунального шума могут использоваться только шумомеры 1-го класса.

С 01 декабря 2009 года вступает в действие ГОСТ Р 53188.1-2008 (МЭК 61672-1:2002), устанавливающий общие требования к шумомерам. Этот документ заменит устаревший стандарт ГОСТ 17187-81. С его вступлением в силу все стрелочные приборы перестают считаться стандартизованными шумомерами, а измерениям, полученным с их помощью, нельзя будет сопоставить какую-либо категорию точности.

Серьезные изменения претерпели и требования к виброметрам. С 1 июля 2008 г. в России введена в действие новая система стандартов в области вибрационной безопасности. Виброметры, применяемые для оценки общей и локальной вибрации, теперь должны удовлетворять ГОСТ ИСО 8041. Подробный обзор новый системы вибробезопасности см. [4] и на сайте www.octava.info.

Автоматическая регистрация временных историй и статистический анализ

При санитарно-экологическом контроле в зависимости от характера шума необходимо измерять средние по времени (эквивалентные) и максимальные среднеквадратичные уровни звука. Точность и воспроизводимость этих измерений напрямую зависят от корректного выбора продолжительности замеров. Но как впоследствии доказать, что измерительный интервал был действительно корректен?

С подобной проблемой в свое время столкнулись гигиенисты, занимающиеся дозиметрией промышленных шумов. Первые дозиметры шума, появившиеся несколько десятилетий назад, получили достаточно прохладный прием. А все потому, что они выдавали только интегральный показатель, «дозу», и невозможно было определить, снимал ли рабочий дозиметр, кричал ли он специально в микрофон и т.д.

С развитием микропроцессорной техники проблема доказательности успешно решена: современные дозиметры шума не только накапливают интегральные показатели, но также сохраняют в своей памяти всю акустическую историю нескольких дней работы. В результате эксперт может сделать соответствующие коррекции: внести поправки на характер шума, исключить из расчета отдельные отрезки с искаженными измерениями и т.д. В наши дни дозиметрический метод является основным методом гигиенического контроля производственного шума в большинстве развитых стран.

Аналогичный подход сегодня можно с успехом применять и при мониторинге коммунальных шумов.

Большинство современных шумомеров обладают встроенными функциями автоматической записи в память и статистического анализа. Рассмотрим несколько наглядных примеров их применения

Многодневный мониторинг шума, вибрации и инфразвука

Недавно к нам обратился москвич с просьбой провести ночные замеры инфразвука и вибрации в его квартире. У жильцов соседних квартир никаких претензий не было. Специалистам по коммунальной гигиене хорошо знакомы такие случаи. Мы решили отработать на этом примере методику измерения.

В квартире были размещены два прибора ОКТАВА-110А. Измерения проводились в автоматическом режиме в течение двух суток и охватывали три ночных периода.

Первый прибор регистрировал:

– уровни звука в дБА и на временных характеристиках S, Leq
– уровни звукового давления в октавных полосах частот 2-250 Гц для тех же временных характеристик
– уровни звукового давления в 1/3 октавных полосах частот 1,6 – 315 Гц для тех же временных характеристик,
– уровни звукового давления в полосе FI (2-20 Гц) на характеристиках Exp(8), Leq.

Второй прибор регистрировал:

– корректированные уровни виброускорения на временных характеристиках Leq, СКЗ-1с, СКЗ 5 с, СКЗ-10 сек
– уровни виброускорения в октавных полосах частот 1 Гц – 125 Гц
– уровни виброускорения в 1/3-октавных полосах частот 0,8 – 160 Гц.

На рис.1 показана временная история изменения общего уровня инфразвука (2-20Гц). Эти данные наглядны и очень убедительны даже для не специалиста.

Как и ожидалось, измерения не выявили превышений уровней звукового давления в инфразвуковой области частот. Эквивалентные уровни инфразвука на характеристике FI (линейный) составляли 64-65 дБ (при норме 75 дБ), эквивалентные уровни в октавах 2-16 Гц также были на 5-10 дБ ниже ПДУ.

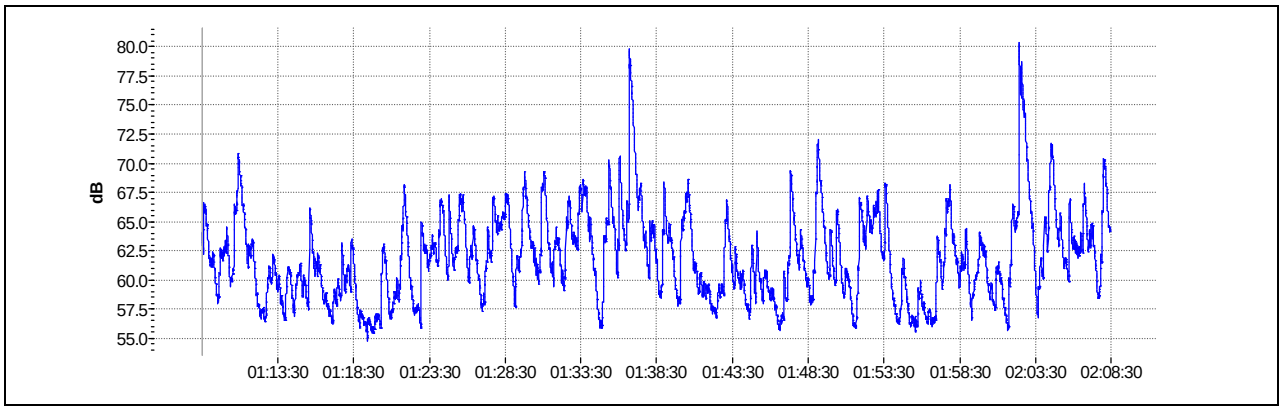


Рис. 1. Уровни инфразвука на характеристике FI
(экспоненциальное усреднение, 8с)

Аналогичный результат получен и в отношении вибрации. Среднеквадратичные уровни виброускорения Wk, Wd и Wm в обследуемом помещении составляли менее 1 мм/с^2 (рис.2), то есть соответствовали санитарным нормам. В течение каждого часа в ночное время фиксировалось несколько всплесков вибрации до 3-4 мм/с^2, что также является допустимым и очень низким показателем.

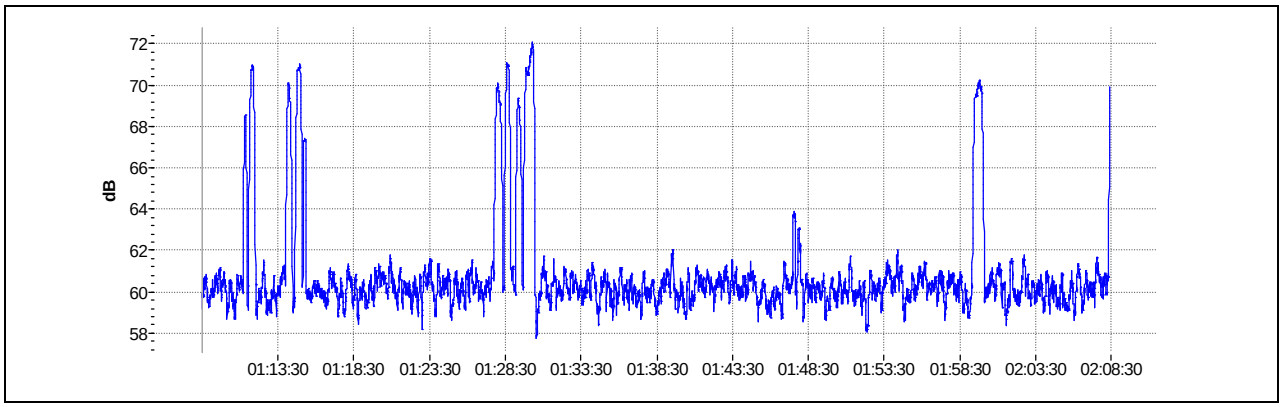


Рис. 2. Среднеквадратичные уровни виброускорения Wm в дБ отн. 1мкм/с^2

В то же время зафиксированы превышения санитарных норм для ночного шума (Таблица 1, превышения выделены жирным шрифтом)

Таблица 1

Дата	**Время старта**	**Lэкв,дБА**	**L1, дБА**
08.07.2008	1ч08 мин	39.8	52.0
08.07.2008	3ч08мин	33.2	44.0
09.07.2008	1ч08 мин	32.2	40.9
10.07.2008	1ч08 мин	29.9	40.5
10.07.2008	2ч08 мин	32.0	38.9

В таблице 1 представлены эквивалентные и максимальные уровни звука для 2-часлвых временных интервалов. Под максимальным понимался уровень, превышавшийся в течение 1% времени наблюдений, что соответствует терминологии санитарных норм. Определяемая таким способом величина является статистически достоверной, в отличие от случайного максимума, фиксируемого «на глазок».

Как видно из рисунков 3-4, основную часть ночного времени корректированные уровни звука в дБА не превышают 30 дБА и соответствуют санитарным нормам. Однако время от времени происходят акустические события, длящиеся 5-10 минут, в течение которых уровни звука резко возрастают на 25-30 дБ. Этот эффект присутствовал в каждую ночь измерения.

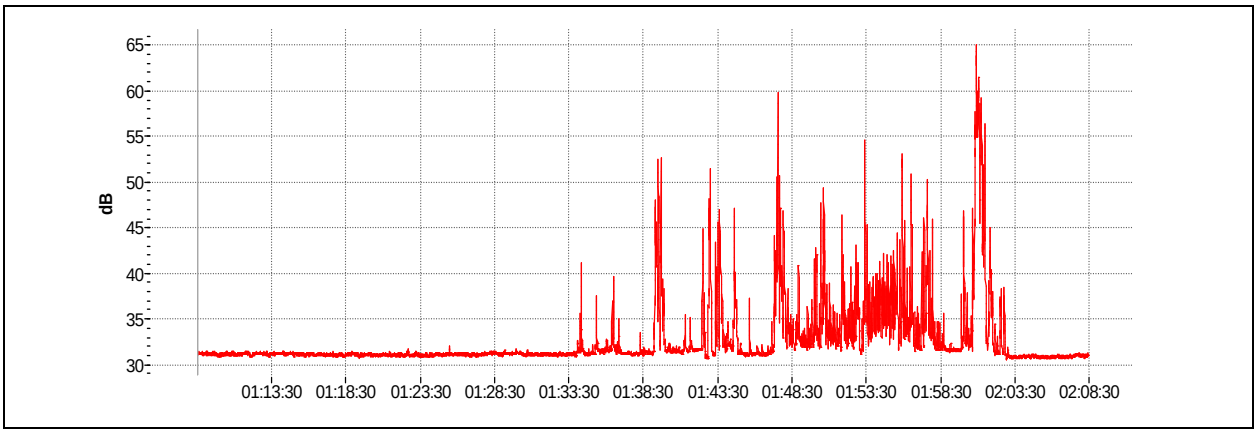


Рис. 3. дБА, Slow, 08 июля, ночь. Период повышенного шума

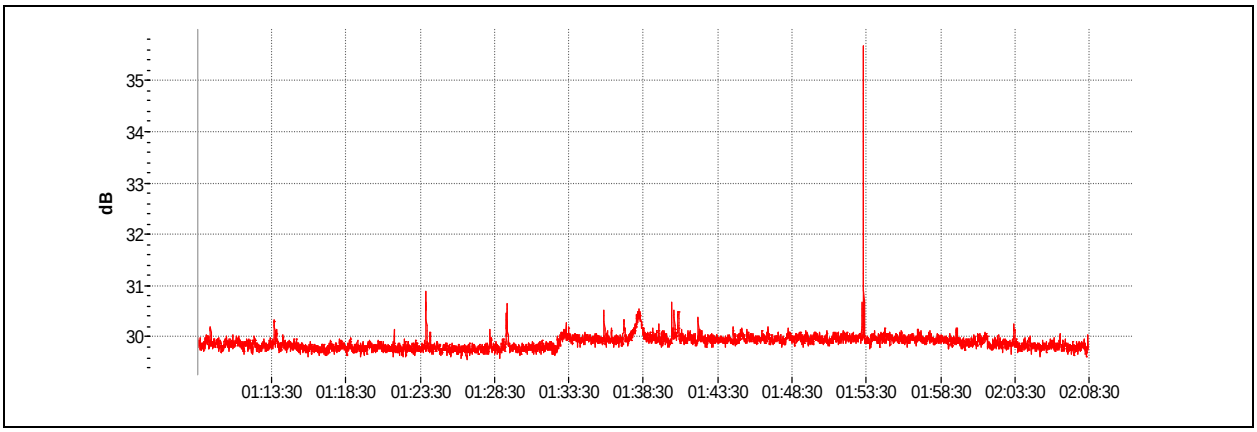


Рис. 4. дБА,Slow, 10 июля, ночь. «Тихий» период

При традиционном «ручном» измерении периоды повышенного шума легко было пропустить. Отметим также, что при «ручных» измерениях присутствие людей (попробуйте не дать жильцу «проконтролировать» ваши действия) неизбежно вносит искажения в измерения.

Несколько слов о самом измерительном процессе. Автоматический замер проводился в отсутствие оператора (что также повышало доверие заказчика к результатам). Мы не боялись злоупотреблений со стороны хозяина квартиры,

так как их легко было бы «вычислить» по временной истории и отсеять с помощью постобработки.

Настройка системы заняла 15 минут, а обработка результатов с помощью программного обеспечения 110_Util/ReportXL – не более часа.

Измерение вибрации здания при прохождении поездов метрополитена

Измерения проводились в одной из картинных галерей в центре Москвы. прибором ОКТАВА-110А, который работал в режиме «Общая вибрация». В качестве первичного преобразователя использовался вибродатчик со встроенной электроникой АР2037-100 чувствительностью 100 мВ/g.

Выбор данного оборудования был обусловлен тем, что прибор ОКТАВА-110А обладает очень низким уровнем собственных шумов (менее 1 мкВ в полосе 100 Гц), что позволяет измерять крайне слабые вибрации типовым вибродатчиком.

В трех точках (на исходном многослойном покрытии пола, на бетонной стяжке и на вновь создаваемом виброизолированном покрытии) произведены автоматические записи уровней виброускорения в октавных и третьоктавных полосах частот, а также корректированных уровней виброускорения. Каждая запись охватывала примерно 10 циклов проезда поездов метрополитена.

Результаты обрабатывались программой 110_Utilities/ReportXL.

Поскольку настоящий доклад посвящен методикам измерения, мы сконцентрируемся лишь на способах получения данных.

Автоматическая запись вибраций на временном интервале, охватывающем несколько циклов проездов метропоездов, достаточна для извлечения следующих величин:

– фоновых уровней вибрации в отсутствии поездов;
– максимальных уровней вибрации при прохождении поездов;
– характерных частот возбуждения строительных конструкций при прохождении поезда.

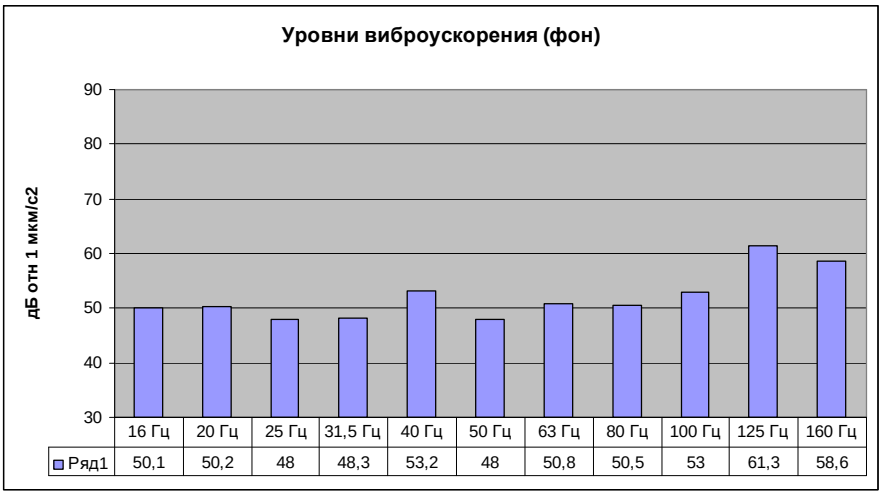


Рис.1. Уровни вибрации в отсутствии поезда

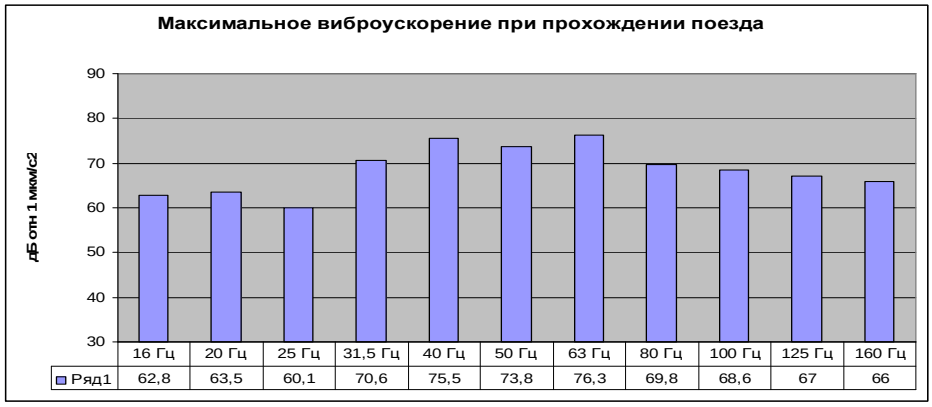


Рис.2. Уровни вибрации при прохождении поезда.

Фоновые уровни легко извлекаются из массива автоматической записи как процентили L99 или L95. Максимальные уровни – как процентили L1 или L5. Для статистического анализа мы применяли программное обеспечение 110_Utilities. С помощью него удобно проводить статистический анализ как для всего массива данных, так и для отдельных циклов прохождения поезда. Вся процедура обработки заняла не более 30 минут.

Графики временных историй изменения вибрации в различных октавных или третьоктавных полосах частот наглядно показывают, на каких частотах здание «чувствует» метрополитен

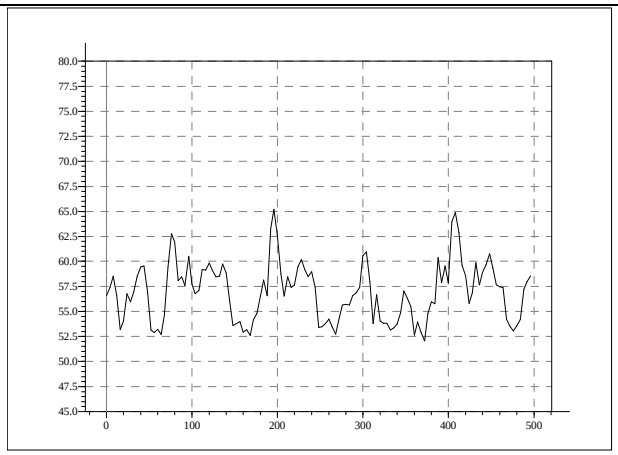


Рис. 3 Уровень виброускорения в октаве 16 Гц

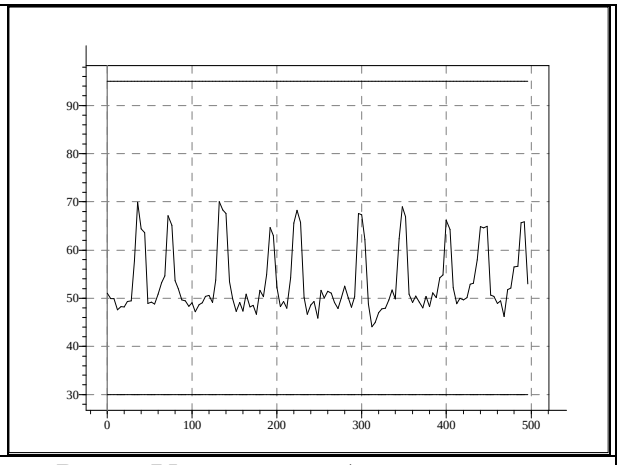


Рис.4 Уровень виброускорения в октаве 31,5 Гц

Хорошо видно, что уже на 16 Гц здание слабо реагирует на воздействие метропоездов, тогда как на 31,5 Гц каждое прохождение поезда сопровождается отчетливым ростом вибрации.

А вот как выглядит картина вибраций на более низких частотах 4 Гц и 8 Гц:

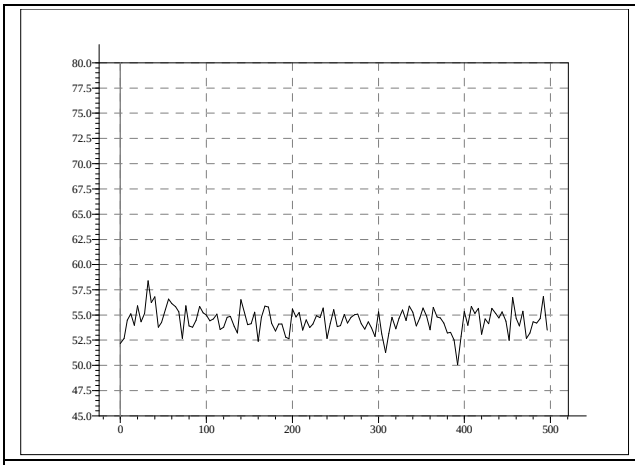


Рис.5 Уровень виброускорения в октаве 4 Гц ц

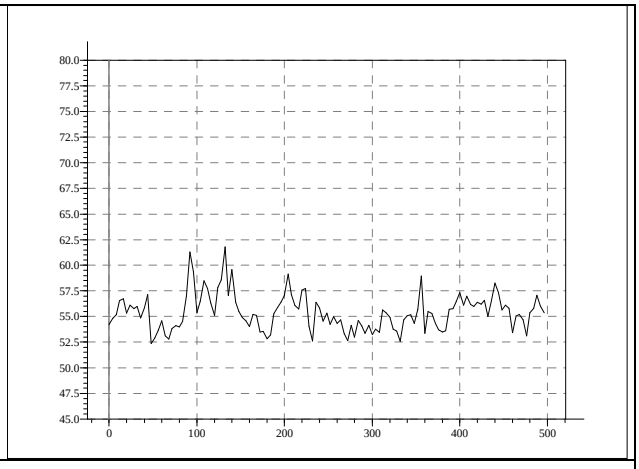


Рис.6 Уровень виброускорения в октаве 8 Гц

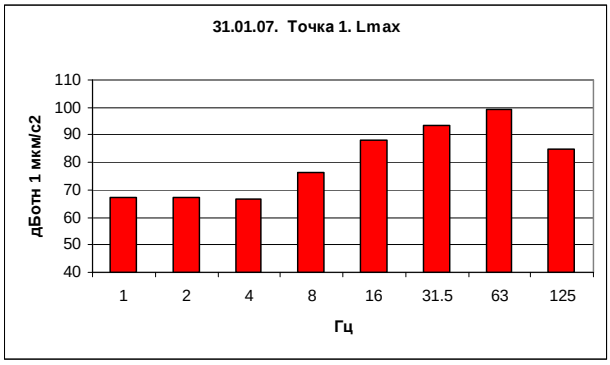
Как видим, на этих частотах вибрация при прохождении поезда практически не отличается от фоновой.

Измерение вибрации перед установкой прецизионного оборудования

Одно из московских производственных предприятий предполагало установить в своем помещении прецизионное калибровочное устройство. По техническим условиям вибрация на полу в этом помещении не должна была превышать соответствующих предельных значений в течение всей рабочей смены.

Измерения проводились в режиме автоматической регистрации приборами ОКТАВА-110А, к которым были подсоединены акселерометры АР2037-100 (100 мВ/g). Затем с помощью программного обеспечения 110_Utilities рассчитывались статистические максимальные (L5), средние (L50) и фоновые уровни виброускорения.

Рисунок 7 дает хорошую иллюстрацию необходимости статистического анализа. На левом графике показан спектр максимальных зафиксированных уровней виброускорения («случайный максимум»), а справа – уровней, превышенных в течение 5% времени (L5 – статистический максимум). Как легко видеть, максимальные значения, которые обусловлены случайными факторами, превышают реальные максимальные уровни почти на 20 дБ!



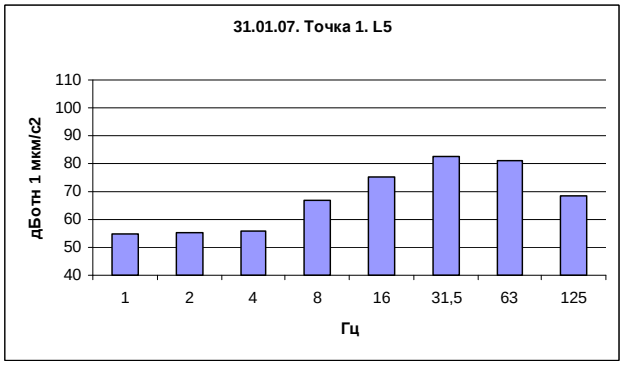
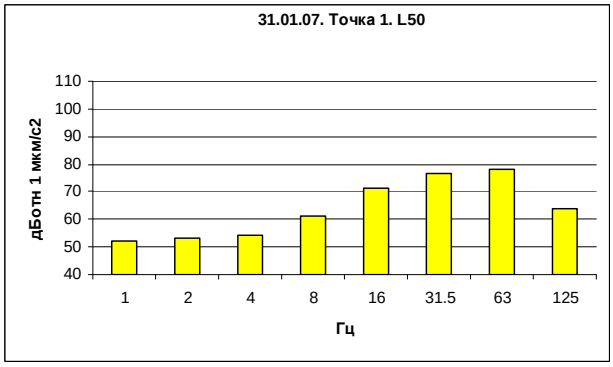
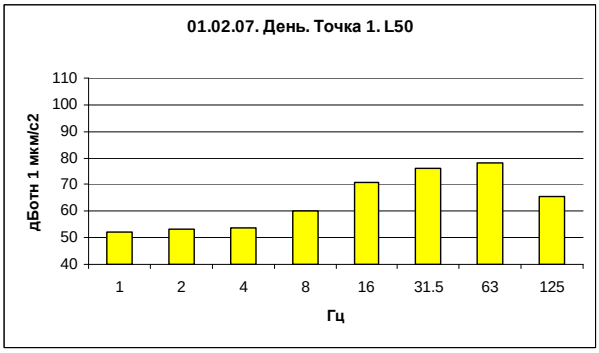


Рис 7. Случайные (слева) и статистические максимальные уровни в рабочее время

На рисунке 8 представлены спектры уровней L50 (уровни, превышаемые в течение 50% времени), измеренные в различные дни. Налицо очень хорошая воспроизводимость. Уровень L50 является надежной характеристикой вибрации, создаваемой постоянно работающим оборудованием.





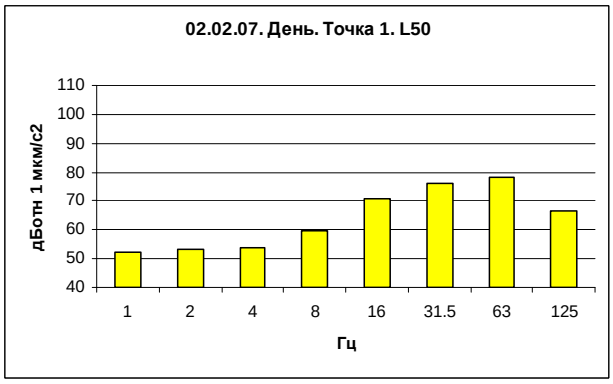
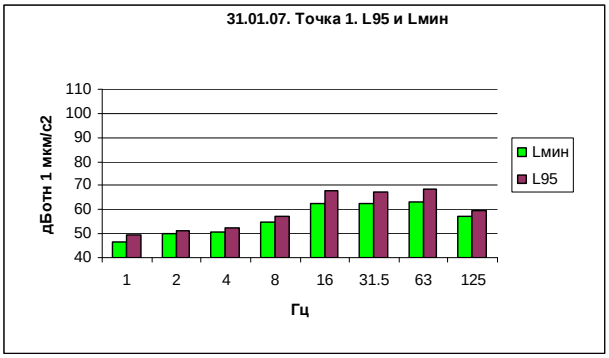
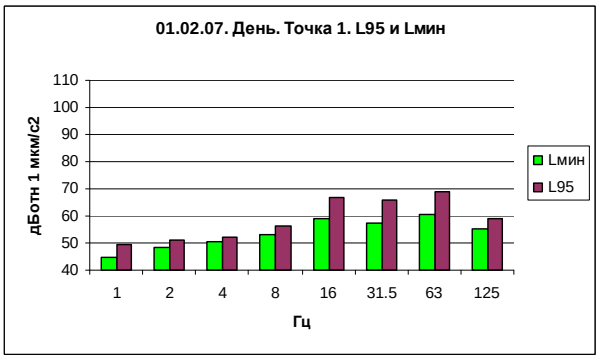
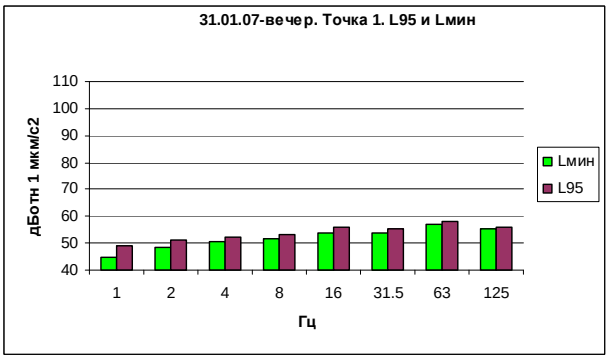


Рисунок 8. Средние (L50) уровни виброускорения

Из графиков рис.9 легко понять, каковы минимально достижимые урони вибрации в обследуемом помещении, насколько повышается вибрационный фон в рабочее время и т.д.







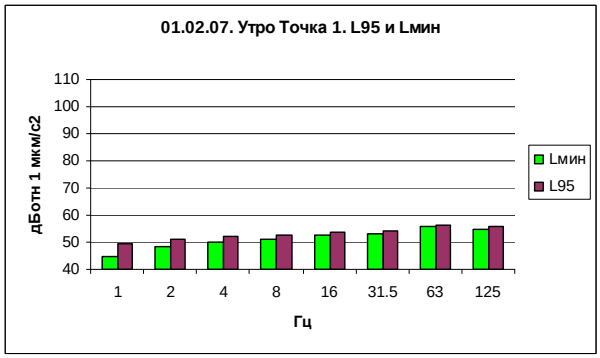


Рис.9. Минимальные уровни вибрации в рабочее (вверху) и в нерабочее время

Заключение

В нашем докладе рассмотрено несколько типичных измерительных задач, с которыми лаборатории санитарно-экологического контроля сталкиваются каждый день. Однако очень редко используются все возможности собственной измерительной техники. Мы надеемся, нам удалось показать, как с помощью совершенно простых функций, имеющихся почти в каждом современном приборе, можно получить надежный и доказательный результат, сэкономив львиную долю времени и сил.

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. Санитарные нормы
2. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы.
3. Ю.В.Куриленко. Каким прибором измерить шум на производстве?//Безопасность и охрана труда, 2008, №1, стр.53.
4. Ю.В.Куриленко. Новые стандарты в области вибрационной безопасности//Безопасность и охрана труда, 2008, №№ 2-4.

{1} Текст этой статьи опубликован также на сайте www.octava.info.

ОПЫТ СНИЖЕНИЯ ШУМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Тупов В.Б.
Московский энергетический институт (МЭИ), Москва, Россия
Tupovvb@migmail.ru

Шум является одним из важных факторов загрязняющих окружающую среду, снижение негативного воздействия, которого на окружающую среду обязывают законы «Об охране атмосферного воздуха» и «Об охране окружающей природной среды», а санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 устанавливают допустимые уровни шума на рабочих местах и территории жилой застройки.

Работа энергетического оборудования в штатном режиме связана с шумоизлучением, которое превышает санитарные нормы не только на территории энергетических объектов, но и на территории окружающего района. Особенно это важно для энергетических объектов находящихся в крупных городах рядом с жилыми районами. Использование парогазовых установок (ПГУ) и газотурбинных установок (ГТУ), а также оборудования более высоких технических параметров связано с увеличением уровней звукового давления в окружающем районе.

Некоторое энергетическое оборудование имеет тональные составляющие в своем спектре излучения. Круглосуточный цикл работы энергетического оборудования обуславливает особую опасность шумового воздействия для населения в ночное время.

В соответствии с санитарными нормами [1] санитарно-защитные зоны (СЗЗ) ТЭС эквивалентной электрической мощностью 600 МВт и выше, использующие в качестве топлива уголь и мазут должны иметь СЗЗ не менее 1000 м. ТЭС, работающие на газовом и газомазутном, топливе – не менее 500 м. Для ТЭЦ и районных котельных тепловой мощностью 200 Гкал и выше, работающие на угольном и мазутном топливе СЗЗ составляет не менее 500 м, а для работающих на газовом и резервном мазутном топливе – не менее 300 м.

Санитарные нормы и правила устанавливают минимальные размеры санитарной зоны, а действительные размеры могут быть больше.

Превышение допустимых норм от постоянно работающего оборудования тепловых электрических станций (ТЭС) может достигать: для рабочих зон 25-32 дБ; для территорий жилых зон 20-25 дБ на расстоянии 500 м от мощной тепловой электрической станции (ТЭС) и 15-20 дБ на расстоянии 100 м от крупной районной тепловой станции (РТС) или квартальной тепловой станции (КТС).

Поэтому проблема снижения шумового воздействия от энергетических объектов является актуальной, и в ближайшее время её значение будет возрастать.

Основными требованиями к глушителям, используемым в энергетике, являются:

– высокая акустическая эффективность;
– умеренное аэродинамическое сопротивление, которое не должно ограничивать или ухудшать эксплуатационные характеристики оборудования;
– минимальные массогабаритные размеры;
– надежность эксплуатации при относительно высоких температурах с учетом возможности возникновения коррозии;
– умеренные капитальные затраты на изготовление и установку;
– технологичность в изготовлении, компактность и легкость монтажа.

Вопросам снижения шума в мире уделяется большое внимание. В нашей стране известны работы по снижению шума от энергетического оборудования ЮжВТИ, НПО ЦКТИ, ОРГРЭС, ВЗПИ (Открытый Университет), НИИСФ, ВНИАМ др. [2,4-6].

Московский энергетический институт (МЭИ ТУ) с 1982 г. проводит комплекс работ для решения этой проблемы [3]. Здесь за последние пять лет разработаны и внедрены на объектах большой и малой энергетики новые эффективные глушители для наиболее интенсивных источников шума, а именно:

– паровых выбросов;
– парогазовых установок;
– тягодутьевых машин (дымососов и дутьевых вентиляторов);
– водогрейных котлов и других источников.

Сбросы пара энергетических котлов в атмосферу является наиболее интенсивным, хотя и кратковременным, источником шума, как для территории предприятия, так и для окружающего района.

Акустические измерения показывают, что на расстоянии 1 – 15 м от парового выброса энергетического котла уровни звука превышают не только допустимый, но и максимально допустимый уровень звука (110 дБА) на 6 – 28 дБА.

Поэтому разработка новых эффективных глушителей является актуальной задачей. Был разработан глушитель шума выброса пара (глушитель МЭИ) (рис.1). [7, 8].

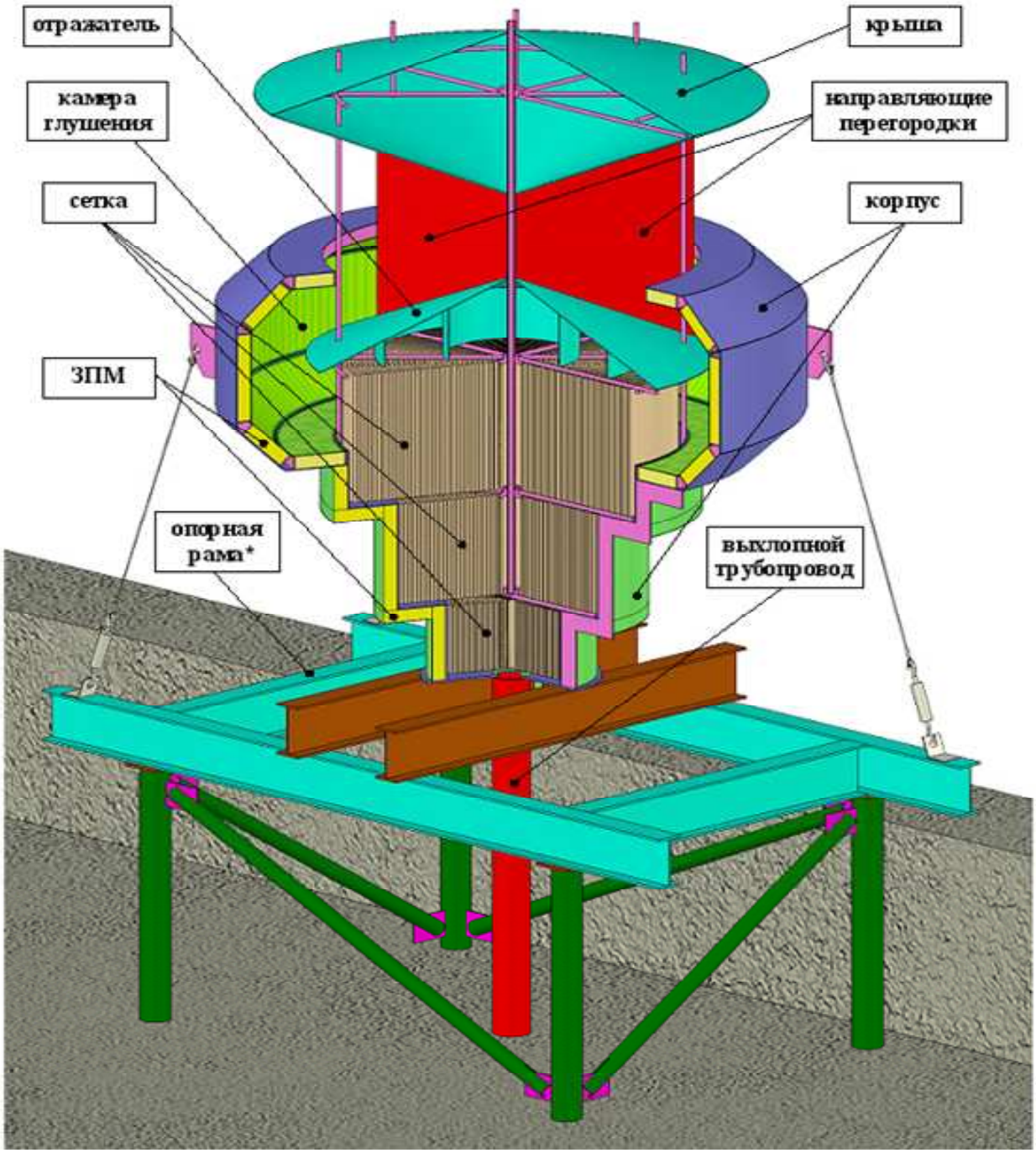


Рис.1. Глушитель шума выброса пара МЭИ

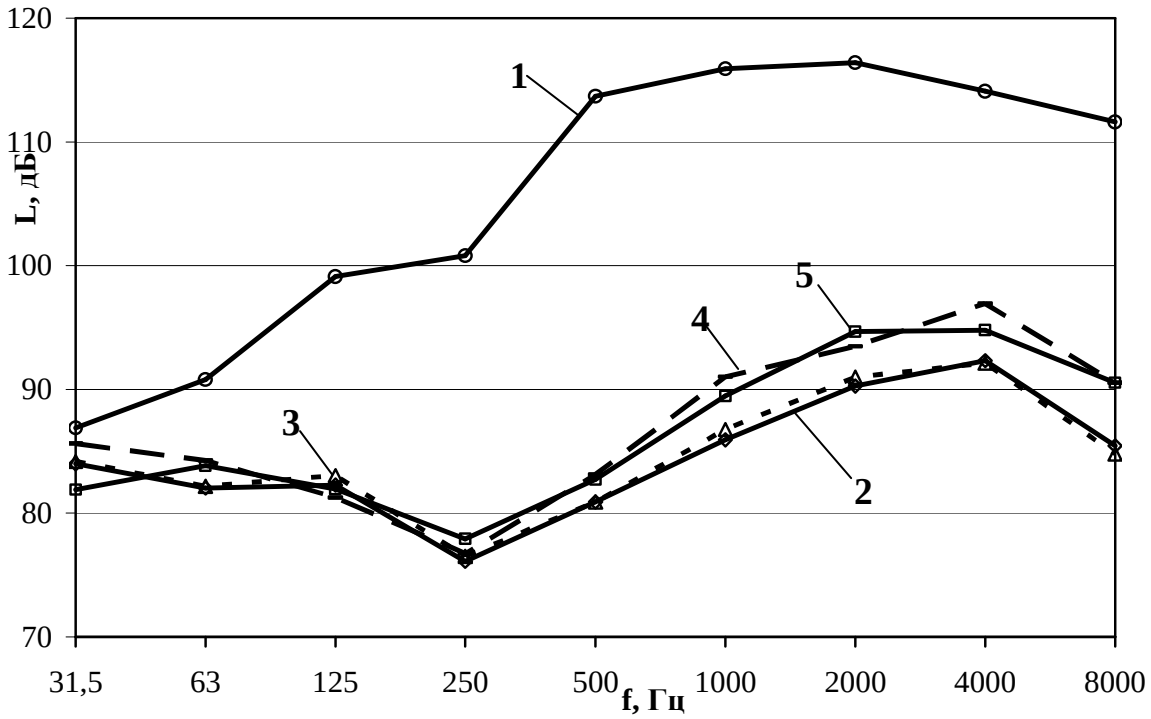
Глушитель содержит многоступенчатый корпус, составленный из соосно-расположенных обечаек, образующих ступени глушителя. Первая ступень глушителя имеет дренажный патрубок для отведения накапливающегося конденсата. В каждой ступени глушителя находится спирально свернутая сетка, которая способствует плавному расширению потока пара или газа. На выходе последней ступни глушителя расположен конический отражатель, снабженный цилиндрическими обечайками для снижения шума на низких частотах. На

внешней стороне отражателя расположены направляющие перегородки для снижения аэродинамического сопротивления глушителя. Последняя ступень глушителя снабжена камерой глушения, внутренняя поверхность которой покрыта звукопоглощающим материалом. Звукопоглощающий материал удерживается от выдувания с помощью стеклоткани и перфорированных конических и цилиндрических металлических обечаек и колец. Все ступени глушителя снаружи облицованы звукопоглощающим материалом. На выходе камеры глушения расположена крыша для предотвращения попадания атмосферных осадков внутрь глушителя. Для расчёта геометрических характеристик глушителя используется разработанная авторами программа «Расчет глушителей шума выброса пара в атмосферу».

Глушитель имеет различные модификации в зависимости от требуемого снижения уровня шума выброса и характеристик пара. В настоящее время глушители МЭИ установлены на ТЭЦ-7, ТЭЦ-9 ОАО Мосэнерго, Саранской ТЭЦ-2 ОАО «ТГК-6», а также энергетическом котле ОКГ-180 Новолипецкого металлургического завода (ОАО «НЛМК»). Расходы пара через глушители составляли от 154 т/ч на Саранской ТЭЦ-2 до 16 т/ч на ТЭЦ-7 ОАО Мосэнерго.

На рис.2 представлены глушители МЭИ на выхлопных трубопроводах после ГПК котлов ст.№№1, 2 ТЭЦ-7 филиала ТЭЦ-12 ОАО «Мосэнерго» (рис.2 *а*) и уровни звукового давления на расстоянии 1 м (рис.2 *б*) до и после установки парового глушителя. Эффективность этого глушителя шума МЭИ, полученная по результатам измерений, составила 1,3 – 32,8 дБ во всём спектре нормируемых октавных полос со среднегеометрическими частотами от 31,5 до 8000 Гц.

а)



б)

Рис. 2. Глушители МЭИ на выхлопных трубопроводах после ГПК котлов ст.№№1, 2 ТЭЦ-7 филиала ТЭЦ-12 ОАО «Мосэнерго» (*а*) и уровни звукового давления на расстоянии 1 м (*б*): 1 – без глушителя шума; 2 – с глушителем шума после ГПК №1 котла ст.№1; 3 – с глушителем шума после ГПК №2 котла ст.№1; 4 – с глушителем шума после ГПК №1 котла ст.№2; 5 – с глушителем шума после ГПК №2 котла ст.№2

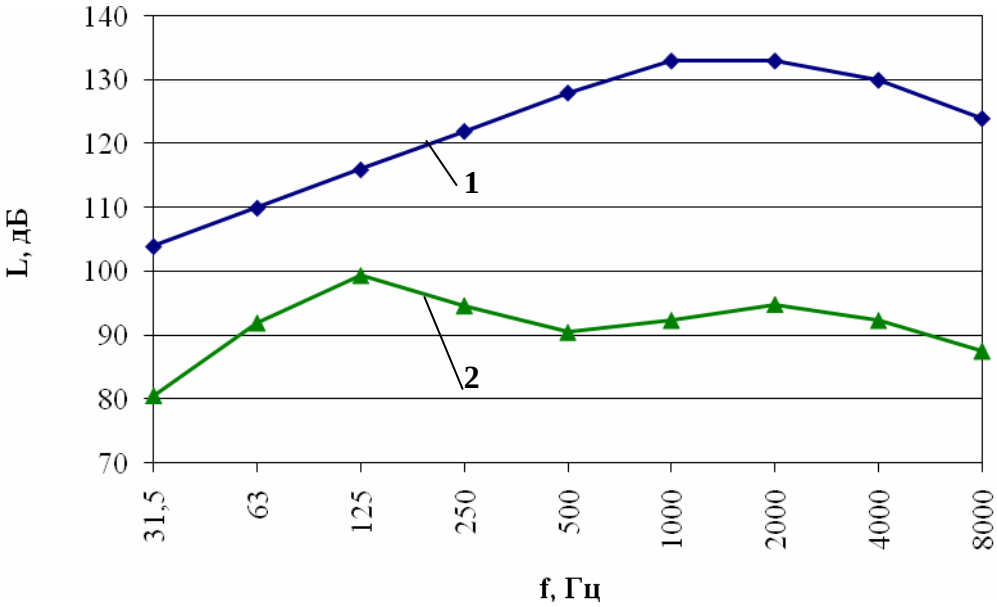
На котлах ст.№ 4, 5 ТЭЦ-9 ОАО «Мосэнерго» было внедрено несколько глушителей МЭИ на сбросе пара после главных предохранительных клапанов (ГПК). На рис.3 *а* показаны глушители на котле ст.№5 ТЭЦ-9 ОАО «Мосэнерго». Проведенные здесь испытания показали, что акустическая эффективность составила 16,6 – 40,6 дБ во всём спектре нормируемых октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5 – 8000 Гц, а по уровню звука– 38,3 дБА.

Глушители МЭИ по сравнению с зарубежными и отечественными аналогами имеют высокие удельные характеристики, позволяющие достигать максимального акустического эффекта при минимальном весе глушителе и максимальном расходе пара через глушитель [9].

Паровые глушители МЭИ могут быть использованы для снижения шума сбросов в атмосферу перегретого и влажного пара, природного газа и др. Конструкция глушителя может эксплуатироваться в широком диапазоне параметров сбрасываемого пара и применяться как на блоках с до критическими параметрами, так и на блоках со сверхкритическими параметрами. Опыт применения глушителей МЭИ показал необходимую

акустическую эффективность и надёжность работы глушителей на различных объектах.

а)



б)

Рис. 3. Глушители МЭИ на котле ст.№5 ТЭЦ-9 ОАО «Мосэнерго» (*а*) и уровни звукового давления на расстоянии 15 м (*б*): *1* – без глушителя шума; *2* – с глушителем шума

При разработке мер по шумоглушению ГТУ основное внимание было уделено разработке глушителей для газовых трактов.

В МЭИ разработаны конструкции глушителей выхлопных трактов для ГТУ с КУ Киришской ГРЭС ОАО «ОГК-6», ТЭЦ-9 ОАО «Мосэнерго» и ГТУ-ТЭЦ посёлок «Северный» [9].

Для ГТУ-ТЭЦ пос. «Северный», авторами проведен комплекс работ по снижению шума газовых трактов.

ГТУ-ТЭЦ посёлка «Северный», содержит двухкорпусной КУ конструкции ОАО «Дорогобужкотломаш», который устанавливается после двух газовых турбин FT-8.3 компании «Pratt & Whitney Power Systems». Эвакуация дымовых газов от КУ осуществляется через одну дымовую трубу.

Проведенные акустические расчёты показали, что для выполнения санитарных норм в жилом районе на расстоянии 300 м от среза устья дымовой трубы необходимо снизить шум в пределах от 7,8 дБ до 27,3 дБ на среднегеометрических частотах 63-8000 Гц.

Разработанный авторами диссипативный пластинчатый глушитель шума для снижения шума выхлопа ГТУ с КУ располагается в двух в металлических коробах шумоглушения КУ с размерами 6000х6054х5638 мм над конвективными пакетами перед конфузорами.

На Киришской ГРЭС внедряется парогазовый блок ПГУ-800 с КУ П-132 горизонтальной компоновки и ГТУ SGT5-400F (Siemens).

Проведенные расчёты показали, что требуемое снижение уровня шума от выхлопного тракта ГТУ составляет 12,6 дБА для обеспечения уровня звука 95 дБА в 1 м от устья дымовой трубы.

Для снижения шума в газовых трактах КУ П-132 Киришской ГРЭС разработан цилиндрический глушитель, который размещается в дымовой трубе внутренним диаметром 8000 мм.

Глушитель шума состоит из четырёх цилиндрических элементов, размещенных равномерно в дымовой трубе, при этом относительное проходное сечение глушителя составляет 60 %.

Расчётная эффективность глушителя составляет 4,0–25,5 дБ в диапазоне октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5 – 4000 Гц, что соответствует акустической эффективности по уровню звука 20 дБА.

Примером комплексной проработки является разработка МЭИ для снижения шума от дымососов на ГЭС-1 ОАО Мосэнерго. Здесь предъявлялись высокие требования к аэродинамическому сопротивлению глушителей, которые было необходимо разместить в существующие газоходы станции.

Для снижения шума газовых трактов котлов ст. №№ 6, 7 ГЭС-1 – филиала ОАО «Мосэнерго» МЭИ разработал целую систему шумоглушения (рис.4). Система шумоглушения состоит из следующих элементов: пластинчатого глушителя, облицованных звукопоглощающим материалом поворотов газовых трактов, разделительной звукопоглощающей перегородки и пандуса. Наличие разделительной звукопоглощающей перегородки, пандуса и звукопоглощающей облицовки поворотов газоходов котлов, помимо снижения

уровней шума, способствует снижению аэродинамического сопротивления газовых трактов энергетических котлов ст. №№ 6, 7 в результате исключения сталкивания потоков дымовых газов в месте их соединения, организации более плавных поворотов дымовых газов в газовых трактах. Аэродинамические измерения показали, что суммарное аэродинамическое сопротивление газовых трактов котлов за дымососами за счет установки системы шумоглушения практически не увеличилось. Общий вес системы шумоглушения составил около 2,23 т.

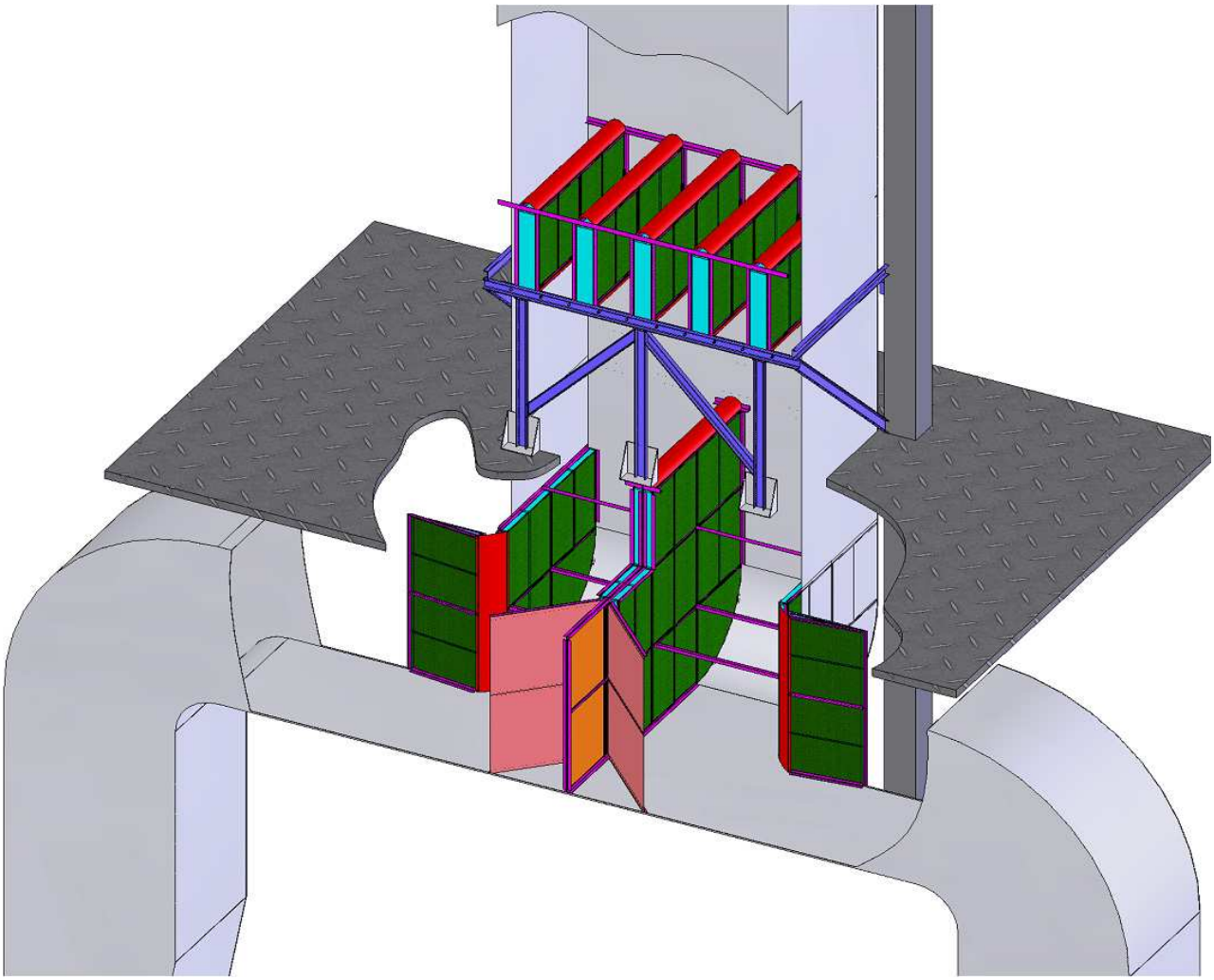


Рис.4 Система шумоглушения МЭИ
в газоходах котлов ст. №№ 6, 7 ГЭС-1 – филиала ОАО «Мосэнерго»

Опыт снижение уровня шума от воздухозаборов дутьевых вентиляторов котлов МЭИ дан в [11]. В статье рассмотрены примеры снижения шума воздухозаборов котлов глушителями конструкции МЭИ. Здесь приведены глушители для воздухозабора дутьевого вентилятора ВДН-25х2К котла БКЗ-420-140 НГМ ст.№ 10 ТЭЦ-12 ОАО Мосэнерго и водогрейных котлов: через подземные шахты (на примере котлов ПТВМ-120 РТС «Южное Бутово») и через каналы расположенные в стене здания котельной (на примере котлов ПТВМ-30 РТС «Солнцево»). Первые два случая компоновки воздуховодов

являются довольно типичными для энергетических и водогрейных котлов, а особенностью третьего случая является отсутствие участков, на которых может быть установлен глушитель и высокие скорости потока воздуха в каналах.

В настоящее время разработаны проекты по снижению шума от градирен и трансформаторов ТЭЦ-16 и ТЭЦ-23 ОАО Мосэнерго с помощью экранов.

Продолжалось активное внедрение глушителей шума МЭИ для водогрейных котлов [12-14]. Только за последние три года установлены глушители на котлах ПТВМ-50, ПТВМ-60, ПТВМ-100 и ПТВМ-120 на РТС «Рублёво», «Строгино», «Кожухово», «Волхонка-ЗИЛ», «Бирюлёво», «Химки-Ховрино», «Красный Строитель», «Чертаново», «Тушино-1», «Тушино-2», «Тушино-5», «Новомосковская», «Бабушкинская-1», «Бабушкинская-2», «Красная Пресня», КТС-11, КТС-18, КТС-24 г.Москвы и др.

Комплекс глушителей для снижения шума энергетического оборудования прошел практическое опробование. Глушители учитывают требования и специфику работы на объектах энергетики. В настоящее время всего эксплуатируются более 200 глушителей.

Литература

1. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-01. – М.: Минздрав России, 2001.
2. Григорьян Ф.Е., Перцовский Е.А. Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок. – Л.: Энергия, 1980. – 120 С.
3. Тупов В.Б. Снижение шума от энергетического оборудования. М.: Изд-во МЭИ. 2005. – 232 с.
4. Марченко М.Е., Пермяков А.Б. Современные системы шумоглушения при сбросах больших потоков пара в атмосферу // Теплоэнергетика. – 2007. – №6. – С. 34–37.
5. Лукащук В.Н. Шум при продувках пароперегревателей и разработка мероприятий по снижению его влияния на окружающую среду. Дис. кан. тех. наук: 05.14.14. М., 1988. 145 с.
6. Яблоник Л.Р. Шумозащитные конструкции турбинного и котельного оборудования: теория и расчет: Дис. док. тех. наук. – СПб., 2004, – 398 с.
7. Глушитель шума выброса пара (варианты): Патент на полезную модель 51673 РФ, Заявка №2005132019. Заявл. 18.10.2005 / В.Б. Тупов, Д.В. Чугунков. – 4 с.: ил.
8. Тупов В.Б., Чугунков Д.В. Глушитель шума выброса пара // Электрические станции. – 2006. – №8. – С. 41–45.
9. Тупов В.Б., Чугунков Д.В. Использование глушителей шума при сбросах пара в атмосферу//Новое в российской электроэнергетике. 2007. №12. С.41-49

10. Тупов В.Б., Чугунков Д.В., Семин С.А. Снижение шума от выхлопных трактов газотурбинных установок с котлами-утилизаторами // Теплоэнергетика. 2009. № 1. С. 24–27.
11. Тупов В.Б., Краснов В.И. Опыт снижение уровня шума от воздухозаборов дутьевых вентиляторов котлов// Теплоэнергетика.-2005.-№5.С.24-27
12. Tupov V.B. Noise problem from power stations in Moscow// 9th International Congress on Sound and Vibration Orlando, Florida, USA, 8–11, July 2002,PP 488-496
13. Tupov V.B Noise reduction from blow fans of hot-water boilers//11 th International Congress on Sound and Vibration, St.Petersburg, 5-8 July 2004, pp.2405-2410
14. Тупов В.Б. Способы снижения шума от водогрейных котлов РТС.//Теплоэнергетика, № 1,1993, С.45-48

НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КОМИССИИ

Галевко Ю.В.[1], *Щепкин А.И.*[2], *Фесина М.И.*[3]
НИЦИАМТ ФГУП "НАМИ", лаборатория виброакустики,
п. Автополигон, МО, Россия (1)
Сатр-Фонд, отдел сертификации, Москва, Россия (2)
ОАО АВТОВАЗ, отдел исследования шума и виброкомфорта,
Тольятти, Россия (3)
yu.galevko@rambler.ru

Введение

Шум автомобильного транспорта сегодня рассматривается в качестве основного негативного фактора загрязнения окружающей среды. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) признает шум как серьезную и широко распространенную опасность для здоровья людей. Транспортный шум может ослабить познавательное функционирование человека (обработка информации, понимание и изучение), что может оказать влияние и на безопасность дорожного движения. Для людей, живущих на улицах со средними шумовыми уровнями выше 65…70дБ(А), риск сердечных болезней находится в среднем на 20% выше, по сравнению с людьми, живущими на более тихих улицах. Приблизительно 50 000 человек в ЕС умирают преждевременно каждый год от сердечных приступов, вызываемых транспортным шумом. Еще почти 200 000 – страдают от сердечно-сосудистых болезней, связанных с транспортным шумом [1]. Социальные затраты от воздействия транспортного шума составляют приблизительно 30% стоимости дорожных происшествий стран ЕС.

Пути снижения шума, производимого автотранспортными средствами (АТС) в населённых пунктах, можно подразделить следующим образом:

- создание малошумных конструкций АТС;
- снижение шума от качения шины по дорожному покрытию за счет конструктивной и/или структурной оптимизации шины или дорожного покрытия;
- уменьшение шума на пути его распространения от АТС в жилую зону (барьеры, экраны, рельеф, расположение и звукоизоляция зданий);
- уменьшение шума соответствующим обучением водителей экономичным низкошумным приемам вождения АТС.

Принято считать, что самым рентабельными являются методы уменьшения шума в источниках их генерирования. Они являются также и самыми справедливыми, поскольку затраты оплачиваются теми, кто вызывает шум, а не жертвами шума. В это же время, весьма важными и большими шумо-

понижающими потенциалами обладают и все остальные пути ослабления шумовых воздействий, образуемых АТС. Именно этими направлениями и занимается Рабочая группа по шуму КВТ ЕЭК ООН.

Историческая справка

Современные требования к шуму АТС, которые включают как методы испытаний, так и допустимые уровни, ведут свою историю с начала 60-х годов, после их появления в 1964 году, в результате большого количества исследований, международного стандарта ИСО 362-64. Цель процедуры испытаний, заложенная в основе этого стандарта, сводилась к воссозданию условий вождения АТС, которые приводят к самому высокому уровню шума в условиях городского движения (по сути - режиму движения на разгоне АТС в зоне пешеходного светофора). Этот режим основан на том, что 90% шума, создаваемого АТС, генерируется его силовым агрегатом и системами газообмена двигателя внутреннего сгорания (ДВС). По этой причине, режимом испытания предусмотрено ускорение АТС при резком открытии дроссельной заслонки [2]. Этот метод испытаний вскоре получил широкое распространение в большинстве стран мира.

Присоединение Российской Федерации к международным соглашениям потребовало приведения в соответствие внутреннего законодательства в отношении нормирования шума автомототехники. Введение в России действия Правил ЕЭК ООН, регламентирующих допустимые уровни шума АТС, с учетом сроков указанных в этих стандартах, технически было достаточно сложно из-за проблем неудовлетворительного развития и отставания отечественной промышленности. По этой причине было предложено ступенчатое введение в силу нормативных требований по шуму, чтобы к 2005 году окончательно ввести в РФ допустимые уровни, действующие в настоящее время в странах Европы.

Совершенствование методики измерения внешнего шума автотранспортных средств

Для нормирования внешнего шума АТС действуют Правила ЕЭК ООН №51. Поправки серии 02 в Европе вступили в силу 18 апреля1995 г. В настоящее время закончился пересмотр Правил ЕЭК ООН № 51 в части изменения методики испытаний. На ноябрьской сессии 2006 года Всемирного форума по согласованию Правил (WP.29) эта методика включена как часть «В» к действующей части «А» Правила. С июля 2007 года получение официального сообщения о соответствии АТС Правилам №51 возможно только при проведении оценочной процедуры по методу «В» в дополнение к методу «А». В ЕС эта процедура вступает в силу с задержкой на год. По мере набора достаточных статистических данных мониторингового контроля уровней внешнего шума различных моделей АТС, будут предложены технически (и экономически) обоснованные значения лимитных значений уровней внешнего шума, замеренных по методу «В». Испытательная процедура по методу «В» - это принципиально новая методика

определения внешнего шума транспортных средств, которую предполагается сделать в будущем основой Правил ЕЭК ООН № 51 с последующим исключением испытательной процедуры метода «А». В дальнейшем эта методика может стать основной для Глобальных технических предписаний (ГТП), что было ранее подтверждено многими странами, в том числе и делегациями США и Японии. В новой методике заложена модель формирования внешнего шума АТС, в которой 50% шума создаётся ДВС, трансмиссией, системой газообмена ДВС (впуском и выпуском), а 50% - от динамического взаимодействия шин с дорожным покрытием в отличии от модели, которая была заложена в основу метода «А», где около 90 % шума, создаваемого АТС, генерирует силовой агрегат и элементы газообмена ДВС.

Как известно, достижение АТС действующих нормативных требований серии 02 Правил №51 было обеспечено, во-первых, за счет снижения шума генерируемого системой газообмена ДВС. Это привело как к увеличению габаритов и усложнению конструкции глушителей шума выпуска ОГ, так и к необходимости применения в них волокнистых материалов и высококачественных конструкционных материалов, способных эффективно сопротивляться коррозии. Не обошли вниманием и шум впуска, для снижения которого стали широко использоваться всякого рода акустические резонаторы (Гельмгольца, четвертьволновой), подключаемые к соответствующим воздуховодным трубопроводным участкам системы впуска ДВС. Во-вторых, достижение требований серии 02 было обеспечено уменьшением излучения структурного шума ДВС, как за счет конструктивного совершенствования его механизмов и корпусных деталей, так и за счет применения шумопоглощающих панелей, акустических экранов и капсул (преимущественно для дизельных версий ДВС). Это повлекло за собой развитие новой отрасли по производству звуко-вибропоглощающих и звукоизолирующих материалов и конструкций, которые сохраняют свои функциональные шумопонижающие свойства в достаточно широком диапазоне температур и сопротивляются действию агрессивных сред и механических воздействий. Также, в ряде случаев, эффект уменьшения АТС шума был обеспечен за счет понижения (в некоторых случаях до 30 %) частот вращения коленчатого вала на оборотах максимальной мощности ДВС, снижения передаточных чисел трансмиссионных агрегатов (коробок передач, ведущих мостов), проводимых в том числе и в угоду выполнения требований по токсическим выбросам ДВС.

Модификация методики испытаний однозначно повлияет как на подход в нормировании акустических показателей АТС, так и стратегию проведения НИРиОКР по снижению шума. По предварительным оценкам такие нормы могут быть на 3…5 дБ (А) жестче действующих в настоящее время, что может повлечь за собой значительные затраты производителей автомототехники по доработке конструкций АТС для выполнения установленных нормативных требований. Вступление в силу новой методики измерения шума (метода В) может привести к стратегическому изменению подхода по конструированию

малошумных АТС. В первую очередь, это может быть связано с возникшим перераспределением энергетических вкладов доминирующих источников излучаемого шума АТС при формировании его акустического баланса.

Нормирование шума, производимого шинами при их взаимодействии с дорожным покрытием.

На протяжении более 10 лет в Рабочей Группе по шуму транспортных средств КВТ ЕЭК ООН рассматривался вопрос о нормировании внешнего шума, генерируемого динамическим взаимодействием шин с дорожным покрытием. В настоящее время приняты Правила ЕЭК ООН №117 идентичные директиве 2001/43/ЕС, которые вступили в силу в 2005 году. Объектом данных Правил являются шины, спроектированные для АТС категорий M, N, O. В качестве оценочного режима испытаний, положенного в основу измерения внешнего шума шин, определено движении АТС на накате. Измерения проводятся на «абстрактном объекте», имеющем 2 оси и 2 колеса на каждой оси. При подходе автомобиля к линии начала процесса измерения двигатель должен быть выключен, а рычаг переключения передач в коробке передач должен быть переведен в нейтральное положение (режим наката). По результатам испытаний АТС на различных скоростях движения, используя регрессионный анализ, определяется приведенный к опорной скорости общий уровень внешнего шума шин.

Снижение внешнего шума АТС за счет строительства специальных дорожных покрытий

На заседаниях рабочей группы по шуму КВТ ЕЭК ООН начали обсуждаться вопросы глобальных шумопонижающих мероприятий, которые направлены на кардинальное снижение транспортных шумов в населенных пунктах. В частности, к этим мероприятиям относят создание низкошумных дорожных покрытий. Потенциалы «тихих» дорожных покрытий должны оцениваться как с точки зрения улучшения акустики, так и стоимости их строительства, обслуживания и продолжительного поддержания их в надлежащем состоянии. При этом, необходимо доказывать пользу федеральным и муниципальным властям в долгосрочном экономическом и социальном эффектах от строительства низкошумных дорожных покрытий, вскрыть имеющиеся издержки с позиций затрат, влияния на безопасность, проводить мониторинговый контроль акустических характеристик (в первую очередь - шероховатости) таких дорожных покрытий.

Исследования более 1000 участков дорожных покрытий (как асфальтобетонных, так и бетонных), проведенные на территориях Западной Европы и США, свидетельствуют что они характеризуются весьма большим диапазоном разброса уровней внешнего шума качения при движении на них одного и того же «эталонного образца» АТС. Результаты испытаний, проведенных на различных однотипных покрытиях дорог, указывают на разброс уровней шума 11…14 дБА - для бетонных и асфальтобетонных дорожных покрытий при контрольной скорости движения V=97 км/ч, что свидетельствует о большом потенциальном резерве снижения транспортного шума за счет модернизации структур дорожных покрытий [3].

Следует отметить, что во многих странах уже начата эксплуатация малошумных дорожных покрытий. Например, в Токио (Япония), основные шумоактивные магистрали содержат участки дорожных покрытий их двухслойного пористого асфальтобетона, отличающиеся улучшенными звукопоглощающими характеристиками. Имеется отработанная промышленная технология строительства таких низкошумных двухслойных пористых покрытий. Стоимость укладки низкошумных типов дорожных покрытий превышает примерно в 1,5 раза традиционные [4]. В Германии вопросом строительства низкошумных пористых покрытий автомобильных дорог занимаются с 1986 года [5]. Разработано 5 генераций низкошумного пористого асфальтобетона. Отмечается, что остаточная пористость покрытия с 15 % в настоящее время доведена до 22 % при существенно увеличенной долговечности полимера модифицирующего битум. В улучшаемых структурах двухслойных покрытий верхний слой и нижний слой существенно отличаются по фракционному составу смеси (средний размер щебня - 16 мм для нижнего слоя и 8 мм - для верхнего). В настоящее время перспективным направлением исследований по созданию усовершенствованных пористых асфальтобетонов может быть обеспечено развитием нанотехнологий. Этим, например, могут быть решены проблемы как долговечности, так и засоряемости (загрязнения) пористых структур, что обеспечит продолжительное сохранение их звукопоглощающих свойств [5]. В этой связи, можно также отметить положительный пример Нидерландов, которые заняты строительством многочисленных низкошумных дорожных покрытий. При этом, за счет введения в эксплуатацию малошумных дорожных покрытий, зарегистрирован эффект снижения шума от АТС в населенных пунктах Нидерландов до 5 дБ (А) [6]. В Великобритании на государственном уровне декларировано, что более 60 % основных автомагистралей Великобритании к 2011 году должно быть покрыто малошумными покрытиями [7].

Заключение

Транспортный шум - актуальная экологическая, социальная и экономическая проблема всей Европы. При этом, четверть европейского населения живет в непосредственной близости к очень загруженным автотранспортным дорогам, подвергаясь вредному воздействию шумовых излучений.

Ввиду того, что потенциал конструктивных мероприятий по уменьшению уровней внешнего шума АТС во многом уже себя исчерпал, дальнейшее снижение шума производимого АТС ожидается за счет применения малошумных шин. Также, все большее внимание начинают приобретать практические реализации усовершенствованных строительных методов улучшения акустических характеристик дорожных покрытий. Рабочая группа по шуму КВТ ЕЭК ООН, планомерно традиционно занимаясь выработкой усовершенствованных методов и норм на шум АТС, все большее внимание

уделяет методам снижения шума в населенных пунктах за счет применения новых технологий в строительстве (низкошумным дорожным покрытиям, экранированию отдельных шумоактивных участков автострад, планированию и архитектуре жилых застроек).

Многочисленными результатами исследований доказано, что эффект снижения шума АТС в существенной степени могут быть повышен за счет использования двухслойных пористых асфальтобетонных покрытий с использованием пористого эластичного покрытия, который может доходить до 8 дБ (А) на постоянных скоростях их движения и 4 дБ (А) - в режиме интенсивного разгона. Прогнозируется технически достижимое снижение уровней шума до 10 дБ (А) за счет комплексного промышленного освоения современных технологий производства малошумных конструкций АТС, низкошумных шин и дорожных покрытий, что в результате кардинально улучшит шумовую обстановку на селитебных территориях населенных пунктов.

Литература

1. Can you hear us? Why it is finally time for the EU to tackler the problem of noisefrom road and rail traffic, / T&E-European Federation for Transport and Enviroment publications , 2008, T&E 08/1, 12 p.
2. Галевко Ю.В., Щепкин А.И., Фесина М.И. Вопросы шума АТС в КВТ ЕЭК ООН (К 50-ти летию Женевского соглашения 1958 г.) Журнал Автомобильных инженеров, №4 (51), 2008 г, с.36-43
3. US Pavement Noise Research Informal document No. GRB-47-06(47th GRB, 19-21 February 2008 agenda item 8.)
4. Road vehicle noise reduction by low noise road surfaces in Japan, Informal document No. GRB-45-2 (45th GRB, 20-22 February 2007 agenda item 7)
5. Road surface characteristics and tyre road noise/Dr.-Ing. Klaus-Peter Glaeser, Federal Highway Research Institute BASt, Informal document No. GRB-45-5 (45th GRB, 20-22 February 2007 agenda item 7.)
6. Application of Low Noise Road surfaces in the Netherlands: Excellent results but not enough to meet the legal targets Informal document No. GRB-44-5 (44th GRB, 4-6 September 2006 agenda item 6.)
7. Traffic Noise U.K. Perspective on Surfaces Informal document No. GRB-44-6(44th GRB, 4-6 September 2006 agenda item 6.)

ПРИМЕНЕНИЕ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Грибов С.А., Рощина Н.В.
ОАО "Завод акустических конструкций"
roschina@zac-spb.ru

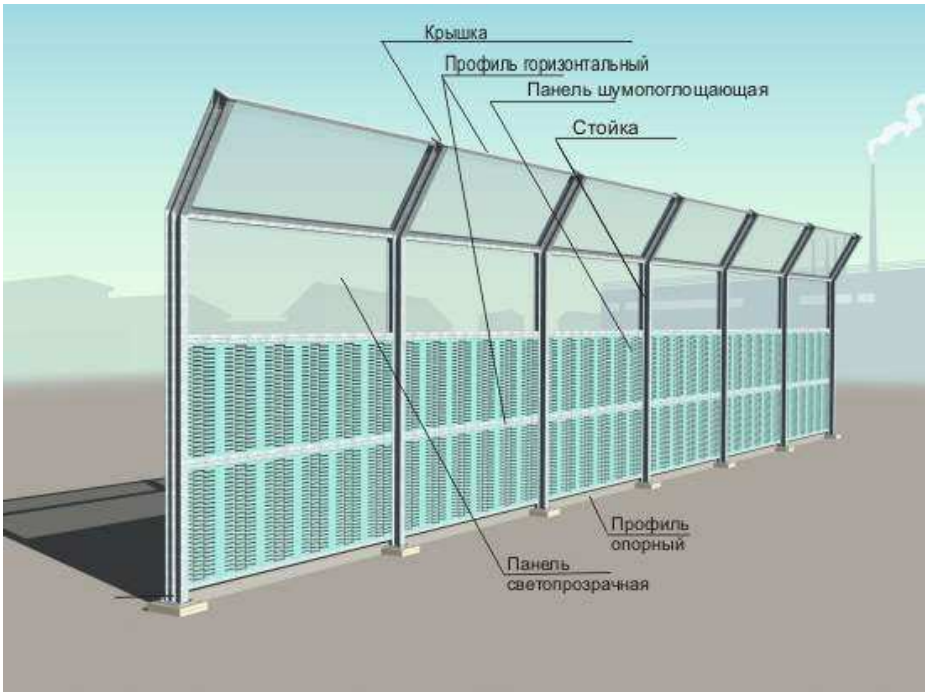
Экологическая безопасность строящихся магистралей является одной из наиболее значимых проблем. Шумовое загрязнение – проблема каждого крупного мегаполиса. Наиболее весомый вклад в уровень шума вносят транспортные магистрали, самолеты, промышленные площадки. Превышения шума в городской среде составляют от 10 до 30 дБА. Такой уровень губителен для здоровья человека, вызывая психические расстройства, сердечно-сосудистые заболевания, ухудшение слуха, ослабление памяти и иные расстройства.

Мировым сообществом признано, что наиболее эффективным средством борьбы с шумом является установка шумозащитных экранов вблизи жилой застройки, с целью изоляции населения от источников шума.

Шумозащитные экраны производства ОАО "Завод акустических конструкций" могут устанавливаться вблизи самых разнообразных источников шума: транспортных магистралей, строительных площадок, различных промышленных источников шума (вентиляторных, компрессорных установок и т.п.), препятствуя дальнейшему распространению звуковых волн и создавая тем самым благоприятную для жизни населения среду.

Экран ОАО «Завод акустических конструкций» состоит из следующих элементов:

1. Панелей:
   а) шумопоглощающих непрозрачных;
   б) шумоотражающих светопрозрачныхпрозрачных
2. Горизонтальных профилей (в которые устанавливаются панели).
3. Опорных профилей.
4. Стоек (в которые монтируются все остальные элементы экрана).



Панель шумопоглощающая

Основным элементом экрана, безусловно, является шумопоглощающая панель. Совокупность этих панелей составляет рабочее (с акустической точки зрения) полотно экрана. Если представить себе панель как объект строительной механики, то можно заметить, что на нее действуют две силы: ветрового давления и сила от массы полотна экрана (на ниже расположенные панели). Сила ветрового давления воспринимается панелью, передается на горизонтальный профиль и далее – на стойку.

Удачно выбранное коробчатое сечение панели позволило определить ее оптимальные размеры: 1000×500×58 мм при толщине металла 0,7 мм для стали и 1,0 мм для алюминия. Прочностные расчеты и экспериментальные проверки доказали работоспособность отдельной панели при нагрузке до 90 кг/м^2, а в составе экрана – до 116 кг/м^2.

Коробчатое сечение панели хорошо и тем, что позволяет успешно воспринимать нагрузки от массы полотна экрана, что особенно важно для нижнего ряда панелей, воспринимающих нагрузку до 100 кг/п.м.

Материал стенок панели - оцинкованная сталь со сложным полимерным покрытием типа PURAL (или без него). Покрытие PURAL имеет высокую стойкость к механическому износу от воздействия снега и льда,

ультрафиолетовому излучению солнца и воздействиям различных химических реагентов; практически не меняет цвет в процессе эксплуатации и имеет срок службы не менее 30 лет.

Изученный опыт применения панелей покрытых иной, в т.ч. порошковой краской показывает, что максимальный срок их службы до первой подкраски не превышает двух лет.

Звукопоглощающий элемент изготавливается, как правило, из минеральной ваты, заключенной в полиэтиленовою оболочку. Последняя препятствует намоканию звукопоглощающего элемента, "слеживаемости" и сползанию в нижнюю часть панели.

Эстетическая привлекательность экрана достигается благодаря широкой цветовой гамме покрытия панелей.

Панель шумоотражающая

Панель шумоотражающая представляет собой параллепипед из прозрачного листа, обрамленного по периметру вибродемпфирующим профилем.

Для изготовления панели применяются:

1. Полиметилметакрилатный лист (ПММА) – толщиной 12, 15, 20 мм;
2. Ячеистый поликарбонатный пластик толщиной 10-20 мм;
3. Сплошной поликарбонатный пластик толщиной 6, 8 мм.

Наилучшие эксплуатационные показатели имеет полиметилметакрилатный лист. Указанный материал отличается высокой ударной прочностью, светопроницаемостью, тепло- и морозоустойчивостью, хорошей стойкостью к воздействию химикалий и ультрафиолетовых лучей.

Габаритные размеры панели достигают 2050 мм. в высоту и 4000 мм. в ширину.

Горизонтальный профиль

Горизонтальный профиль представляет собой холоднокатаный швеллер, в который устанавливаются панели. Данный элемент является несущим в полотне экрана и передает аэродинамическую и ветровую нагрузку от панелей к стойкам. Горизонтальный профиль выполняет также роль демпфера, гасящего колебания каждой отдельно взятой части полотна экрана.

Наличие горизонтальных профилей позволяет существенно увеличить пролет между стойками экрана – до 4 м. и более.

Опорный профиль

Опорный профиль представляет собой стандартный горячекатаный швеллер №№ 6,5÷14 (в зависимости от высоты экрана и расстояния между стойками), воспринимающий нагрузку от массы полотна экрана. Другой

важной функцией опорного профиля является ликвидация зазора между нижним краем полотна экрана и грунтом (полотном дороги и т.п.). Это достигается благодаря наличию резинового двухслойного фартука, прикрепленного к швеллеру опорного профиля.

Стойка

Стойка экрана спроектирована таким образом, что позволяет без нарушения акустической герметичности поворачивать полотно шумозащитного экрана в вертикальной плоскости на любой угол.

Достигается это наличием специальных вертикальных профилей, крепящихся к несущей балке стойки. В качестве несущей балки используется двутавр, номер которого определяется в зависимости от воспринимаемых нагрузок.

Все несущие элементы экрана рассчитываются на прочность, что позволяет оптимизировать их геометрические размеры.

В архитектурном исполнении экраны могут быть как непрозрачными (состоять только из шумопоглощающих панелей), так и комбинированными (с панелями из светопрозрачного материала).

Последний вид особо часто применяется на транспортных магистралях с интенсивным потоком движения, снижая утомляемость водителей.

Отдельно необходимо сказать о сроке службы шумозащитных экранов. Звукоизоляционные материалы, используемые при изготовлении экрана, инертны к воздействию внешней среды и химическим реагентам, что гарантирует сохранение акустических свойств в течение 10 лет.

В заключение важно отметить, что предусматривать комплексные мероприятия по оздоровлению окружающей среды от вредных воздействий, в том числе шумовых загрязнений, следует на всех стадиях проектирования транспортных магистралей. Ибо только согласованные действия контролирующих органов, проектировщиков, а также предприятий-изготовителей средств защиты от шума могут дать результаты в борьбе с акустической загрязненностью современных городов.

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ МАЛЫХ ОБЪЕМОВ

Кришневский Б.А.[1], *Ягнятинский А.Л.*[2]
ООО «ЭРГОС» Россия (1)
ВГТУ Институт «Термоизоляция» Литва (2)

Малые объемы – объемные конструкции (кабины, посты управления и отдыха) до 10 м^3. Такие конструкции должны отвечать целому ряду эргономических показателей, в том числе и по защите людей от вредного воздействия шума и вибрации.

Звуковое поле внутри объемов (далее кабин) – это результат суммирования звуковой энергии, проникающей воздушным путем через ограждающие конструкции, и звуковой энергии, излучаемой этими конструкциями под действием вибрации (структурный шум).

Типовые средства защиты от вибрации позволяют получать уровни структурного шума в кабинах не более 70 дБА. Уровни воздушного шума, от которого требуется защита оператора при отсутствии кабины, достигают 90 – 95 дБА и более. Отсюда следует, что кабина должна обладать достаточно высокой звукоизолирующей эффективностью, не менее 20 – 25 дБА.

Под звукоизолирующей эффективностью понимается разность уровней звукового давления в контрольной точке пространства при отсутствии кабины и при ее наличии. На стадии проектирования эффективность может быть рассчитана по формуле:

$$\Delta L = 10\lg\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{q} S_{ij}\alpha_{ij} - 10\lg\sum_{i=1}^{n}\beta_i\left(\sum_{j=1}^{m} K_{O_{ij}} S_{O_{ij}} + \sum_{j=1}^{P} K_{ПР_{ij}} S_{ПР_{ij}} + \sum_{j=1}^{P}\tau_i S_i\right) - 3,$$

где α_{ij} – коэффициент звукопоглощения j-го участка на i-й ограждающей поверхности площадью S_{ij};

q – число участков;

n – число поверхностей;

β_i – коэффициент диорации звуковых волн в область акустической тени;

τ_i – коэффициент звукопроводимости i-поверхности;

K_{Oij} и $K_{ПРij}$ – соответственно коэффициенты звукопроводности j-го отверстия или проема, площадь которых S_{Oij} и $S_{ПРij}$, м^2.

Такая оценка эффективности кабины на стадии проектирования не позволяет учесть все конструктивные особенности ее реального исполнения. Поэтому на стадии экспериментального или опытного испытания машины при выявлении превышений уровней шума в кабине предельно допустимых уровней возникает практическая задача.

При минимальных затратах времени и усилий определить фактическую эффективность кабины и сравнить ее с потенциально достижимой эффективностью при известных характеристиках звукоизоляции ограждающих поверхностей. Далее мы уже можем сказать, в каких диапазонах частот резерв повышения эффективности имеется, а в каких нет, и в случае реализации резервов повышения эффективности, сможем ли мы уменьшить шум до требуемых уровней.

Рассмотрим такой подход на примере акустической доводки кабины траншейного цепного экскаватора ЭТЦ-208В на базе промышленного трактора Т-130М. В таблице приведены: величины потенциально достижимой эффективности кабины при исполнении ограждающих поверхностей из стального листа толщиной 1,4 мм и из стекла толщиной 5 мм; величины фактической эффективности, измеренные точечным источником с известной мощностью излучения; величины резервов повышения эффективности в диапазоне частот 125-8000 Гц.

Показатели	**Величины звукоизолирующей эффективности кабины, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц**						
	125	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
Потенциально достижимая эффективность, дБ	18	19	21	30	35	42	43
Фактическая эффективность, дБ	8	12	19	21	23	22	32
Резерв повышения эффективности, дБ	10	7	2	9	12	20	11

Характер изменения звукоизолирующей эффективности кабины по этапам акустической доводки показан на рис. 1. Доработка конструкции кабины, в результате которой была повышена акустическая герметизация поверхностей пола и подкапотной панели и была увеличена площадь звукопоглощающих конструкций, позволила реализовать резерв и повысить эффективность на частотах 125-500 Гц на 2-5 дБ, на высоких частотах – на 7-13 дБ.

Для снижения низкочастотного шума: была выполнена виброизоляция кабины на пружинной подвеске, и было выполнено вибродемпфирование задней панели, закрывающей топливный бак. В результате работы уровень шума в кабине был снижен с 96 дБА до 83 дБА. Исходные спектральные

характеристики, нормируемые и полученные характеристики после акустической доводки представлены на рис.2.

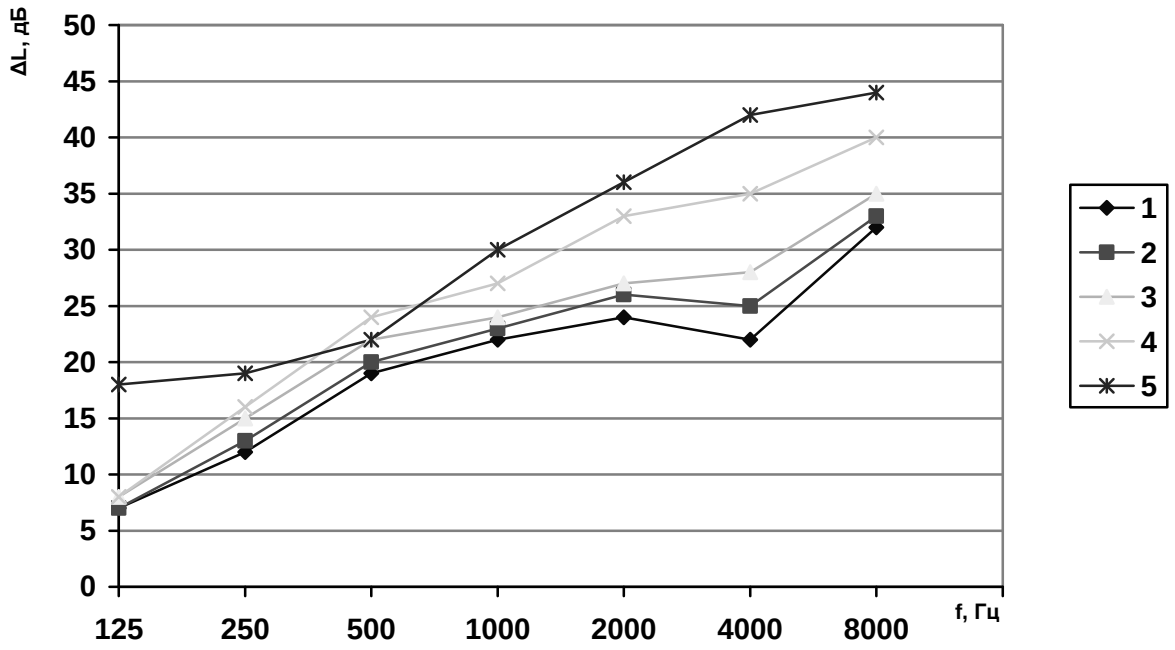


Рис. 1
1 – исходная звукоизолирующая эффективность кабины; 2 – после акустической герметизации пола; 3 – после уплотнения по контуру пола; 4 – после герметизации органов управления, подкапотного люка и дополнительного звукопоглощения, выполненного конструкциями ВГТУ института «Термоизоляция»;
5 – потенциально достижимая эффективность кабины

Из рис.2 следует, что, если бы мы реализовали резерв эффективности на высоких частотах в полной мере, то могли бы получить уровень шума в кабине 81 дБА. Для последующих усилий по снижению уровня шума нам пришлось бы заняться октавной полосой с частотой 500 Гц. Работу необходимо было бы вести по двум направлениям. Первое – увеличить звукоизоляцию основных акустически нагруженных поверхностей. Второе – исследовать, нет ли резонансных явлений, связанных с совпадением собственных мод колебаний воздушного объема кабины с частотами собственных мод колебаний панелей ограждающих поверхностей.

Как показывает практика, звукоизлучение стекол на 500 Гц несущественно, а металлические пластины до 3 мм могут иметь весьма заметные собственные моды колебаний на частотах до 1000 Гц. Минимальное вмешательство в конструкцию при этом возможно, если применить метод вибродемпфирования. Вибропоглощающее покрытие, имеющее толщину, равную четырем толщинам металла, позволяет увеличить звукоизоляцию на 6-8 дБ.

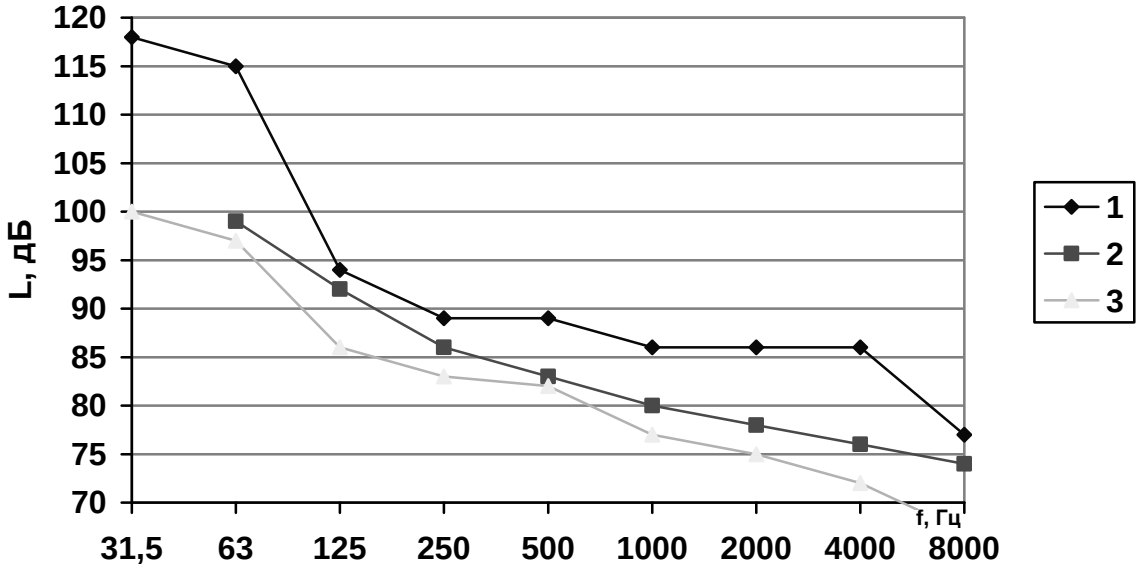


Рис. 2
1 – исходные шумовые характеристики ЭТЦ-208В, 2 – ПС-80
3 – полученные шумовые характеристики

ООО «ЭРГОС» уже 17 лет специализируется на выпуске вибропоглощающих материалов типа ВПМ, которые имеют высокую адгезию и высокий коэффициент потерь на пластине и стержне. Постоянно ведется работа с СПбТУ «Технологическим институтом» по улучшению характеристик материалов. Получены модификации материалов, которым можно придать любую цветовую гамму.

ОПЫТ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ, ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Изак Г.Д.
ООО «НАУЧНОЙЗ»

1. Шум в окружающем пространстве

Источники шума. В помещения шум проникает из окружающего пространства через окна и от источников шума, расположенных в здании.

Источниками шума в окружающем пространстве являются:

- транспортный поток;
- одиночные автомобили;
- трансформаторные подстанции;
- холодильные машины и наружные блоки систем кондиционирования воздуха;
- наружные устройства систем приема и выпуска воздуха систем вентиляции;
- промышленные предприятия;
- стройплощадки и др.

В жилых и общественных зданиях источниками шума являются: системы вентиляции и кондиционирования воздуха, обслуживающие помещения, венткамеры, лифты, насосы, холодильное оборудование и др.

На производственных предприятиях создает шум технологическое оборудование, установленное в цехах, и расположенное на территории предприятия. Из цехов через окна шум распространяется в окружающее пространство.

Расчет шума на территории. В соответствии с Методическими указаниями МУК 4.3.2194-07 [1], для определения шума, создаваемого на окружающей территории предприятием или инженерным оборудованием жилых и общественных зданий, необходимо выполнить расчет шума на территории предприятия или здания и далее на прилегающей селитебной территории. Заданными являются шумовые характеристики и координаты источников шума. Расчетом следует определить уровни звукового давления и уровни звука в дБА с учетом экранирования зданиями и сооружениями, размещенными на территории, по выбранной координатной сетке и последующего автоматического построения линий заданного уровня шума по всей рассматриваемой территории.

Расчет может быть выполнен с помощью программного комплекса «Эколог-шум», разработанного фирмой «Интеграл». Исходными данными для расчета являются:

- расположение источников шума;

– расположение зданий и сооружений, экранирующих источники шума, отражающих и рассеивающих звук;
– уровни звуковой мощности источников шума.

Для некоторых источников шума фирмой «Интеграл» уже разработаны или разрабатываются программные модули, которые позволяют определить уровни звукового давления, создаваемого ими в помещениях, определить средства снижения шума в помещениях и рассчитать уровни звуковой мощности, излучаемой в окружающее пространство. В сочетании с программным комплексом «Эколог шум» они позволяют определить уровни звукового давления на окружающей территории и в помещения близлежащих зданий.

Шум от транспортного потока. Шум, создаваемый транспортным потоком, зависит от интенсивности (количества проезжающих автомобилей в час), структуры (соотношения между грузовыми и легковыми автомобилями), расстояния от полосы движения до расчетной точки и скорости движения потока.

Модуль по расчету шума транспортного потока входит в программный комплекс «Эколог шум».

Шум от трансформаторных подстанций. Трансформаторные подстанции, которые размещают на территории жилой застройки, часто являются причиной повышенного шума в жилых помещениях, особенно в ночное время. Шум от трансформаторов излучается в основном через вентиляционные решетки и от двери, звукоизоляция которых значительно ниже звукоизоляции стен и кровли подстанции.

Влияние шума подстанций на жилые помещения ближайших домов зависит от уровней звуковой мощности, излучаемой источниками шума подстанции, и от ориентации ее относительно жилых зданий.

Для снижения шума, излучаемого подстанцией, используют звукопоглощающие панели, устанавливаемые на ограждения подстанции, и глушители шума в вентиляционные решетки. Глушители шума не должны увеличивать аэродинамическое сопротивление решеток.

Программный модуль «Шум от трансформаторной подстанции» в сочетании с программным комплексом «Эколог-Шум» позволит рассчитать шум, излучаемый подстанцией, наметить мероприятия по снижению шума и оптимально сориентировать ее относительно жилых домов.

Шум от устройств приема и выпуска воздуха систем вентиляции. Программный модуль «Внешний шум от вентиляции» разработан и позволяет рассчитать уровни звуковой мощности, излучаемой устройствами в окружающее пространство, которые являются исходными данными для программного комплекса «Эколог-Шум».

Шум от наружных блоков Сплит-систем кондиционирования воздуха. Во многих городах, в том числе и в Санкт-Петербурге, шум, на территории жилой застройки и в жилых помещениях превышает требования санитарных норм, главным образом от транспортных потоков. Заметный вклад в шумовую

обстановку, особенно в относительно тихих дворах, вносят наружные блоки Сплит-систем кондиционирования воздуха, которые устанавливают магазины, рестораны, кафе, офисы, жильцы квартир и т.д.

Наружные блоки размещают обычно на фасадах зданий во дворе вблизи окон своих и часто вблизи чужих квартир. Трудно встретить двор, в котором находилось бы менее 10-15 наружных блоков; их количество растет с каждым годом. На фасадах во дворе жилого дома на Итальянской улице д. 5 находится более 100 наружных блоков (рис. 1).

Уровни звуковой мощности шума, излучаемого наружными блоками, являются исходными данными для расчета шума в окружающем пространстве программным комплексом «Эколог-Шум». Представляя наружный блок как объемный источник звука, комплекс позволяет наиболее точно рассчитать звуковое поле в непосредственной близости от окон.

Рис.1. Наружные блоки Сплит-систем кондиционирования воздуха на фасаде дома по Итальянской ул. д. 5.

Сплит-системы кондиционирования воздуха устанавливают бесконтрольно, и в поле зрения надзорных органов они попадают только после обращения граждан с жалобами на повышенный шум.

Увеличение количества Сплит-систем в доме неминуемо приведет к неконтролируемому увеличению шума.

В настоящее время отсутствует стратегия установки Сплит-систем кондиционирования воздуха. Запретить установку нельзя, а контролировать каждого гражданина невозможно.

При строительстве новых зданий и реконструкции старых, целесообразно предусматривать общую систему холодоснабжения квартир, общественных помещений и встроенных магазинов, ресторанов и кафе. Обеспечение надежной звукоизоляции общих холодильных машин задача, хотя и сложная, однако вполне решаемая и контролируемая надзорными органами.

2. Шум в помещениях

Методика расчета шума в помещении. Для расчета уровней звукового давления и эквивалентных уровней звука в помещениях разрабатывается программный модуль «Шум в помещениях». В нем акустическое поле определено с учетом ряда последовательных отражений от ограждений помещения и от оборудования, расположенного в нем. Такое представление акустического поля позволяет рассчитывать шум в помещениях любой конфигурации и в помещениях, соединенных открытым проемом с помещением, где находится источник шума. Программный модуль дает возможность определить уровни звуковой мощности, излучаемой источниками шума, расположенными в помещении, в окружающее пространство через окна или открытые проемы, которые является исходными данными для расчета шума в окружающем пространстве программным комплексом «Эколог-Шум».

Акустическое проектирование цехов. При разработке акустической части проекта промышленного предприятия, жилого или общественного здания решают ряд проблем, основными из которых являются выбор оборудования с учетом акустических характеристик, и расстановка его относительно рабочих мест или помещений, в которых необходимо обеспечить выполнение норм по шуму.

Снизить шум, воздействующий на работника, от станка, на котором он работает, практически невозможно. Можно снизить шумовой фон в цехе, то есть шум, воздействующий на него от других станков.

Для этого следует расположить производственное оборудование и выполнить расчет ожидаемых эквивалентных уровней звукового давления в помещении цеха. Расчет следует производить для зоны, охватывающей всю площадь цеха. Полученная шумовая карта позволяет определить рабочие места, на которых шум превышает норму; по каким причинам и в каком диапазоне частот. В случае необходимости расположение оборудования следует изменить таким образом, чтобы превышение норм охватывало минимальное количество рабочих мест.

Для снижения шума от шумных механизмов, оказывающих существенное влияние на ближайшие рабочие места, используют акустические экраны и звукопоглощающие панели над шумным оборудованием, максимально приближенные к источникам шума. После внесения средств снижения шума в

расчетную схему шумовой карты цеха следует повторить расчет. Для рабочих мест, на которых шума от соседних станков превышает норму, необходимо разработать дополнительные средства снижения шума.

Для рабочих мест, где шум от собственного станка превышает норму необходимо внести изменение в конструкцию станка, если это возможно, или разработать организационные мероприятия, связанные с сокращением времени, нахождения рабочих в шумных зонах.

Шум в жилых и общественных помещениях. Источниками шума в жилых и общественных зданиях являются лифты, насосы, вентиляционное оборудование, холодильные машины и т.п. Их следует размещать в подвалах, на чердаках или технических этажах. Холодильные машины целесообразно размещать на кровле. Помещения, в которых установлено оборудование, не должны располагаться вблизи нормируемых по шуму помещений.

Шум от систем вентиляции и кондиционирования воздуха. В общественных зданиях следует ограничивать шум, создаваемый системами вентиляции и кондиционирования воздуха. На базе расчета ожидаемых уровней шума в обслуживаемых помещениях, необходимо определить средства снижения шума, распространяющегося в обслуживаемые системами помещения, и в помещения, через которые воздуховоды проходят транзитом.

Следует определить средства снижения воздушного и структурного шума, распространяющегося из венткамер.

Предполагается разработка программного модуля для расчета шума, распространяющегося по воздуховодам, в обслуживаемые помещения.

3. Структурный шум

Структурный шум от инженерного оборудования. Станки, компрессоры холодильных машин, механизмы подъема лифтов, насосы и тому подобные механизмы излучают не только воздушный, но и структурный шум, распространяющийся от опорных поверхностей механизмов по конструкциям здания и излучаемый ограждающими конструкциями в смежные и удаленные помещения.

Исходными данными для расчета структурного шума являются уровни виброскорости или виброускорения на опорных поверхностях механизмов.

Виброизоляция механизмов. Для снижения структурного шума механизмы устанавливают на амортизаторах. Некоторые типы машин производители поставляют с амортизаторами. В этом случае они гарантируют отсутствие резонансных колебаний механизма в рабочем диапазоне частот.

Если механизм устанавливают не на штатных амортизаторах, следует выбрать тип амортизаторов по грузоподъемности и жесткости в трех взаимно перпендикулярных направления, определить места их установки относительно центра масс механизма, рассчитать шесть частот свободных колебаний механизма, которые не должны совпадать с частотой возмущающих сил. Это

гарантирует отсутствие резонансных колебаний механизма, которые возможны в диапазоне частот 5-25 Гц.

Снижение структурного шума в звуковом диапазоне частот 63-8000 Гц за счет установки механизма на амортизаторах определить, в настоящее время, не представляется возможным из-за отсутствия методики расчета и обобщенной статистики результатов натурных измерений.

Звукоизоляция ограждающих конструкций жилых и общественных помещений. Требования к звукоизоляции помещений от соседних помещений устанавливает СНиП 23-03-2003 [2]. В нем указаны нормативные индексы изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями.

Значения индексов изоляции воздушного шума Rw для жилых зданий лежат в пределах от 50 до 62 дБ в зависимости от категории, характеризующей степень комфорт помещения, и граничащих с ним помещений.

Индексы изоляции воздушного шума перекрытий и стен определяют по ИСО 717, зная звукоизоляцию конструкции. Звукоизоляцию внутренних ограждающих конструкций в зданиях измеряют по ГОСТ 15116 или определяют расчетом по СП 23-103-2003 [3]. В качестве исходных данных для расчета используют конструкцию ограждения. Предполагают, что шум проникает только через рассматриваемое ограждение. Шум, проникающий в соседние помещения по конструкциям здания (по косвенным путям) при этом не учитывают.

Влияние шума, распространяющегося по косвенным путям. Во время проведения измерений звукоизоляции в гостинице Амбассадор были выполнены измерения шума в помещениях, не имеющих ограждений, граничащих с помещением, где установлен источник шума. Номера гостиницы были полностью меблированы и готовы к приему гостей. Источник шума: громкоговоритель, излучающий «розовый шум», находился на кровати и контакта с полом не имел. Номера гостиницы располагаются друг под другом и имеют одинаковую нумерация, отличающуюся только первой цифрой, которая означает номер этажа. Расположение гостиничных номеров приведено на рис. 2. Источник шума находился в номере 444. Для оценки влияния шума, распространяющегося по косвенным путям, были проведены измерения в номерах, которые не граничат с номером, где находится источник шума: 543, 545, 343 и 345.

543	544	545
443	444	445
343	344	345

Рис. 2. Расположение гостиничных номеров

Разность между уровнями звукового давления (УЗД) в номере 444, в соседних номерах и среднее снижение шума приведено в таблице 1.

Таблица 1

Снижение шума, дБ

Наименование	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц									дБА
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Снижение шума, распространяющегося по косвенным путям										
Снижение шума (444) - (543)	*32*	*39*	*52*	*53*	*56*	*65*	*70*	*73*	*72*	*57*
Снижение шума (444) - (545)	*31*	*38*	*51*	*53*	*59*	*69*	*71*	*74*	*72*	*58*
Снижение шума (444) - (343)	*28*	*39*	*48*	*47*	*56*	*62*	*68*	*72*	*72*	*54*
Снижение шума (444) - (345)	*28*	*39*	*51*	*52*	*57*	*64*	*68*	*74*	*72*	*57*
Среднее	*30*	*39*	*51*	*51*	*57*	*65*	*69*	*73*	*72*	*57*
Стены										
Снижение шума (444) - (443)	*25*	*26*	*37*	*38*	*43*	*48*	*52*	*52*	*60*	*43*
Снижение шума (444) - (445)	*26*	*32*	*37*	*44*	*48*	*58*	*63*	*68*	*69*	*46*
Среднее	*26*	*29*	*37*	*41*	*46*	*53*	*58*	*60*	*65*	*26*
Перекрытия										
Снижение шума (444) - (544)	*30*	*32*	*44*	*50*	*55*	*66*	*69*	*72*	*72*	*52*
Снижение шума (444) - (344)	*20*	*29*	*41*	*46*	*56*	*62*	*67*	*71*	*72*	*50*
Среднее	*25*	*31*	*43*	*48*	*56*	*64*	*68*	*72*	*72*	*51*

Аналогичные измерения были выполнены в трех группах помещений гостиницы «Амбассадор» и в гостинице «Эмиральд». Получены близкие результаты.

Снижение шума в помещениях, не имеющих общих ограждений в значительной части спектра совпадает со снижением шума в помещениях, граничащих с шумным через перекрытие. Это означает, что основной вклад в шумовое поле этого помещения вносит шум, проникающий по косвенным путям. Следовательно, повышение звукоизоляции перекрытия путем увеличения его массы или устройства плавающих полов, не приведет к увеличению звукоизоляции между помещениями без снижения шума, распространяющегося по косвенным путям.

Расчет структурного шума. Распространение шума по косвенным путям по своей природе не отличается от распространения структурного шума от опорных поверхностей механизма. Разница состоит в том, что в первом случае звуковая вибрация всех ограждений помещения возникает под воздействием воздушного шума в помещении, а во втором – в ограждающей конструкции, на которой установлен виброактивный механизм.

Методика расчета структурного шума, распространяющегося по строительным конструкциям, не разработана. Это существенно затрудняет выбор средств снижения шума, особенно в зданиях, к которым предъявляются жесткие требования по шуму (жилые дома, больницы, гостиницы и т.п.).

Методика расчета структурного шума может быть создана на основе метода, предложенного В. Вестфалем [4]. На ограждение помещения воздействует звуковая волна, которая вызывает в нем диффузное поле вибрации изгибных волн. Поле вибраций характеризуется средней плотность

энергии u_i. Для каждого ограждения можно составить уравнение баланса энергии, в котором предполагается равенство энергии, поступающей из смежных ограждений, энергии, уходящей с данного ограждения в соседние и затухающей в его материале в единицу времени.

Уравнение баланса энергии имеет вид:

$$\sum_{k=1}^{m} u_i l_{ik} c_i \tau_{ik} / \pi + u_i S_i \eta_i 2\pi f = \sum_{k=1}^{m} u_k l_{ki} c_k \tau_{ki} / \pi$$

где c_i, c_k -скорость распространения колебательной энергии в i-м и k-м ограждениях, соответственно;

S_i – площадь i-го ограждения;

τ_{ik} , τ_{ki} – коэффициенты прохождения изгибных волн по энергии через угловое соединение из i-го ограждения в k-е и из k-го в i-е, соответственно;

f – частота;

η_i – коэффициент потерь энергии i-го ограждения;

m – количество ограждений.

При разработке методики расчета необходимо учесть преобразование изгибных волн в толстостенных конструкциях здания в другие типы волн. Коэффициенты τ_{ik} и τ_{ki} и η_i для основных строительных конструкций и типов угловых соединений целесообразно определить экспериментально.

Построение цепочки уравнений следует начинать с ограждений помещения, в котором предполагается источник шума или виброактивный механизм, и заканчивать ограждениями помещения, в котором требуется обеспечить комфортные условия по шуму.

4. Нормативные документы

Расчет шума и звукоизоляции. При расчетах шума и звукоизоляции строительных конструкций используют СНиП 23-03-2003, СП 23-103-2003 и Руководства НИИ Строительной физики, разработанные 1983 г.

В последние годы появляются новые материалы и строительные конструкции, акустическая эффективность которых, определенная экспериментально не всегда совпадает с результатами расчета. В материале «Эффективная звукоизоляция строительных конструкций» издания «ROCKWOOL негорючие материалы ЗАО «Минеральная вата» на базе измерений звукоизоляции 19 типов каркасно-обшивных перегородок, выполненных НИИ Строительной физики, уточнено влияния заполнения воздушного промежутка минераловатными плитами, отмечено, что результаты измерений звукоизоляция отдельных конструкций выше расчетных по СП 23-103-2003. Полученные новые результаты должны быть внесены в нормативный документ.

Эксперты Роспотребнадзора строго следят за тем, чтобы расчеты шума выполнялись по нормативным документам Госстроя. Результаты теоретических и экспериментальных исследований других специалистов при экспертизе проектов, как правило, не принимают во внимание.

Номенклатура материалов, применяемых в строительстве, с каждым годом расширяется. Поэтому нормативные документы Госстроя по расчету шума целесообразно переиздавать или вносить в них изменения как можно чаще, дополняя их новыми материалами и методиками расчета шума.

Шум от стройплощадки. Период строительства здания разбит на этапы: подготовительный, земляные и сваебойные работы, строительство надземной части и т. д. Этапы строительства отличаются по продолжительности и по набору используемого оборудования. Разрабатываемый программный модуль «Шум стройплощадка» позволит рассчитать шума в жилых помещениях и на территории, примыкающей к стройплощадке для каждого этапа строительства.

При рассмотрении раздела защита от шума органы Роспотребнадзора требуют выполнения Санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [5]. Очень часто при возведении новых зданий и капитальном ремонте старых в центре города (рис. 3) обеспечить выполнение максимальных и эквивалентных за дневное время уровней звукового давления невозможно, поскольку строительство ведется непосредственно между жилыми домами.

В санитарных нормах СН 2.2.4/2.1.8.562-96 характеристикой непостоянного шума в зоне жилой застройки является максимальный и эквивалентный уровень звука за дневное время (16 часов, от 7 до 23 ч.). В течение дня уровень звука какое-то времени может быть достаточно большим, но меньше максимального. При работе шумного оборудования, чтобы эквивалентный уровень звука за дневное время уложился в санитарные нормы, потребуется сократить время его работы в течение дня. Например, если уровень звука, создаваемый экскаватором в жилой зоне на 10 дБА превышает требования норм, то для того, чтобы эквивалентный уровень звука за дневной период соответствовал нормам, время работы экскаватора в течение дня должно быть не более 1,6 часа. Это резко увеличит продолжительность стройки.

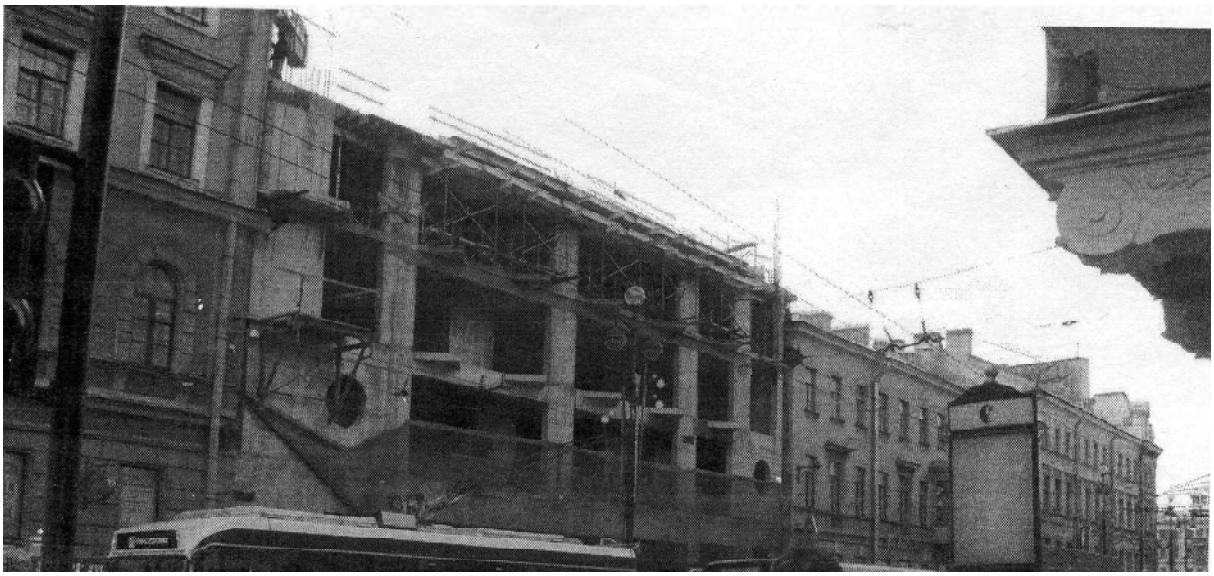


Рис. 3. Строительство гостиницы между Невским пр. и Гончарной ул.

Считаем целесообразным, временно на период строительства устанавливать в качестве нормативных требований по шуму от строительных площадок эквивалентные за год уровни звукового давления, действующие на население, проживающее вблизи них.

Такое нормирование будет стимулировать строителей предельно сокращать продолжительность этапов, на которых работает шумное оборудование.

Нормирование по эквивалентным уровням за год действует во многих европейских странах. В СССР в «Санитарных нормах шума на речных судах СанПиН 5186-90» так же в качестве нормативных требований были установлены эквивалентные уровни за год.

Шум от транспортного потока и источников шума, не связанных со стройкой, принимать во внимание не следует.

Для реализации предложения целесообразно разработать местные нормативные документы, по аналогии с Московскими нормами МГСН 2.04-97 [6], учитывающие современные требования к акустическому проектированию зданий, зон застройки и организации работ на стройплощадке, применительно к Санкт-Петербургу. К разработке нормативных документов следует привлечь ведущих ученых, специалистов проектных организаций, Роспотребнадзора и архитектурного надзора Санкт-Петербурга.

Литература

1. МУК 4.3.2194-07 Контроль уровней шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях. Роспотребнадзор. М 2007.
2. СНиП 23-03-2003 Защита от шума. М. Госстрой РФ. 2004.
3. СП 23-103-2003 Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. Госстрой РФ. 2003.
4. Westphal W. Ausbreitung von Korperschall in Gebauden. – Akustische Beihefte, 1957, Heft 1, S. 335-349.
5. 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. М., Минздрав России, 1997 г.
6. МГСН 2.04-97 Московские городские строительные нормы. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях. Правительство Москвы. 1997.

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕГКИХ ОБЛИЦОВОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОДВЕСНЫХ ПОТОЛКОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПРОНИКАЮЩИХ ШУМОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Боганик А.Г.
ЗАО "Акустические Материалы и Технологии", Москва, РФ
alex@acoustic.ru

Вследствие постоянного роста фоновых уровней шумов в помещениях, а также из-за недостаточного качества строительства вопрос дополнительной звукоизоляции стен и перекрытий в процессе ремонта и реконструкции является крайне актуальным.

Типовые решения практически всех известных производителей комплектных систем легких облицовок и подвесных потолков из гипсокартона (ГКЛ) на сегодняшний день полностью не решают задач по устройству дополнительной звукоизоляции ограждающих конструкций по следующим причинам:

- для устройства высокоэффективных конструкций дополнительной звукоизоляции требуется применение дополнительных конструкционных элементов (узлов), которые не предлагаются производителями типовых комплектных систем;
- применение специальных конструкций дополнительной звукоизоляции и точное соблюдение технологий их устройства требует б***о***льшей, чем в настоящее время, информированности и технической подготовленности исполнителей: проектировщиков и строителей;
- устройство эффективных конструкций дополнительной звукоизоляции имеет существенно более высокую стоимость, чем типовые системы облицовок. Это не только напрямую ограничивает применение данных конструкций, но и косвенно управляет причинами, указанными выше.

В тех случаях, когда задача обеспечения требуемой звукоизоляции ограждающих конструкций является принципиально значимой, одним из наиболее эффективных решений представляется «доработка» существующих типовых решений, позволяющая существенно увеличить дополнительную звукоизолирующую способность облицовок и подвесных потолков. При этом основные конструкционные элементы и материалы остаются типовыми, что существенно упрощает применение данной технологии звукоизоляции на практике.

При монтаже конструкций дополнительной звукоизоляции с помощью облицовок или подвесных потолков из гипсокартонных (гипсоволокнистых) листов принципиальное значение имеет устройство узлов крепления каркаса к

защищаемой поверхности. Наличие жестких связей (т.н. звуковых мостиков) между стеной (перекрытием) и каркасом облицовки существенно ограничивает ее звукоизолирующую способность, несмотря на применение внутреннего слоя звукопоглотителя, а также нескольких листов обшивки.

Через звуковые мостики звуковые вибрации практически без потерь передаются на финишные листы облицовки, после чего переизлучаются ими в защищаемое помещение. В таком случае из потенциально возможных 10 – 15 дБ дополнительной звукоизоляции (по индексу Rw) по факту остается от 5 до 10 дБ при общей толщине конструкции более 100 мм.

В теории, пути решения данной проблемы известны достаточно давно. В узлах крепления каркаса к защищаемой поверхности следует применять виброизолирующие прокладки, препятствующие распространению вибрации через соединения. Однако, на практике, в противоречие вступают два существенных требования. С точки зрения эффективной виброизоляции материал прокладки должен быть мягким, упругим и иметь достаточную толщину. При этом, со строительной точки зрения, он должен быть прочным, надежным во времени, а также обеспечивать требуемую жесткость и стабильность возводимых строительных конструкций. Последнее требование особенно актуально в контексте дорогостоящей финишной отделки (венецианской штукатурки, росписи и т.д.). Широко распространенное решение с применением упругих прокладок между «пяткой» прямого подвеса (стандартный элемент системы типы «Кнауф») и защищаемой поверхностью решает проблему частично (см. рис.1). В этом случае звуковой мостик возникает «через шуруп» и, тем самым, также ограничивает акустическую эффективность конструкции.

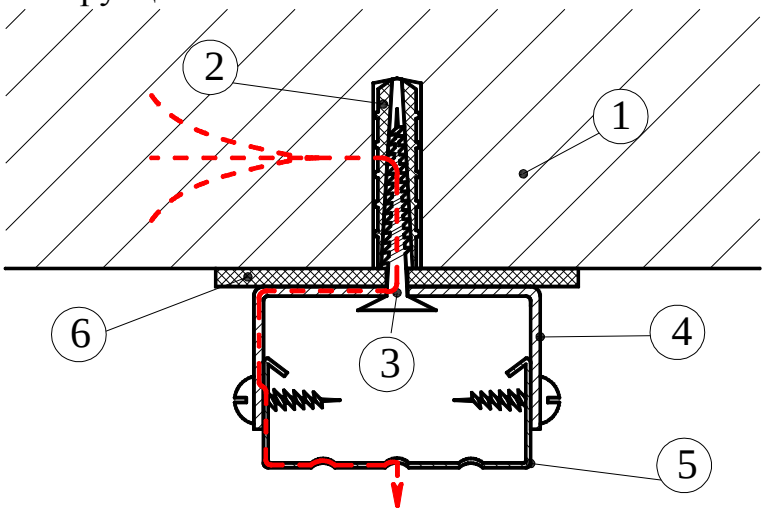


Рис. 1. Прохождение звуковых вибраций от защищаемой поверхности по каркасу типовой звукоизолирующей облицовки
1 – стена/перекрытие; 2 – дюбель; 3 – шуруп; 4 – прямой подвес типа «Кнауф»; 5 – направляющий профиль; 6 – упругая прокладка;

Новое разработанное и апробированное решение представляет собой подвес-крепление «ВИБРОФЛЕКС», представляющий собой металлическую обойму с упругим рабочим слоем, выполненным из специального эластомера

«Sylomer» (рис.2). Уникальные виброизолирующие свойства упругого элемента на основе полиуретана обуславливаются специальной технологией его производства. В отличие от однородных резиновых прокладок, для эффективной работы которых при вертикальной деформации требуется возможность расширения «вбок», слой материала «Sylomer» деформируется с изменением объема и поэтому может иметь любые линейные размеры. Вместе с тем, по своей жесткости данный материал более похож на мягкую (т.н. сырую) резину. Однако, в отличие от последней, со временем не «дубеет» и не теряет упругих свойств на протяжении всего срока службы (50 лет). Резонансная частота подвесов «ВИБРОФЛЕКС» при номинальной нагрузке находится в диапазоне 9 – 18 Гц, что обеспечивает эффект звуко/виброизоляции, начиная с частоты 50 Гц.

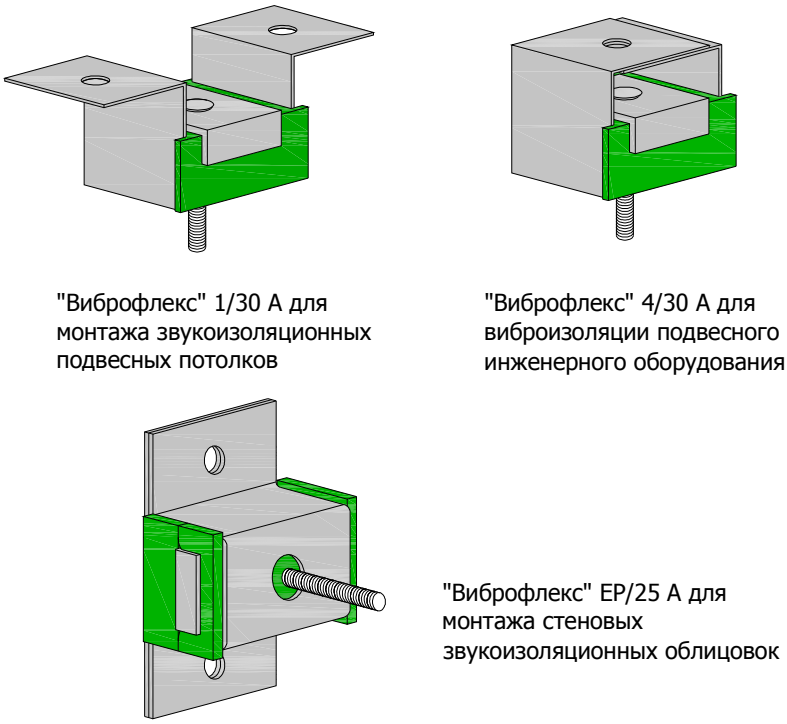


Рис. 2. Виброизолирующие подвесы/крепления «ВИБРОФЛЕКС»

На сегодняшний день выпускаются два типа креплений «ВИБРОФЛЕКС»: стеновой и потолочный, предназначенные, соответственно, для монтажа каркасных звукоизолирующих облицовок и подвесных потолков (инженерного оборудования). На рис.3 показана схема устройства конструкции звукоизоляционного потолка, где подвесы «ВИБРОФЛЕКС» интегрированы в стандартную подвесную каркасную систему типа «Кнауф». Следует отметить, что один подвес «ВИБРОФЛЕКС» рассчитан на рабочий диапазон нагрузки 15-30 кг, что в условии применения облицовочного слоя из двух гипсоволокнистых листов (ГВЛ) толщиной по 10 мм предполагает расход подвесов данного типа из расчета 2,3 шт/кв.м потолка.

На рис. 4 приведены графики натурных измерений звукоизоляции перекрытий в двух соседних помещениях одного здания. Разница в конструкции потолка заключалась в наличии/отсутствии подвесов

«ВИБРОФЛЕКС» в конструкции подвесных потолков из ГВЛ одинаковой толщины. Прирост звукоизоляции конструкции за счет применения виброподвесов составил около 6 дБ в самом важном диапазоне частот – от 160 до 800 Гц.

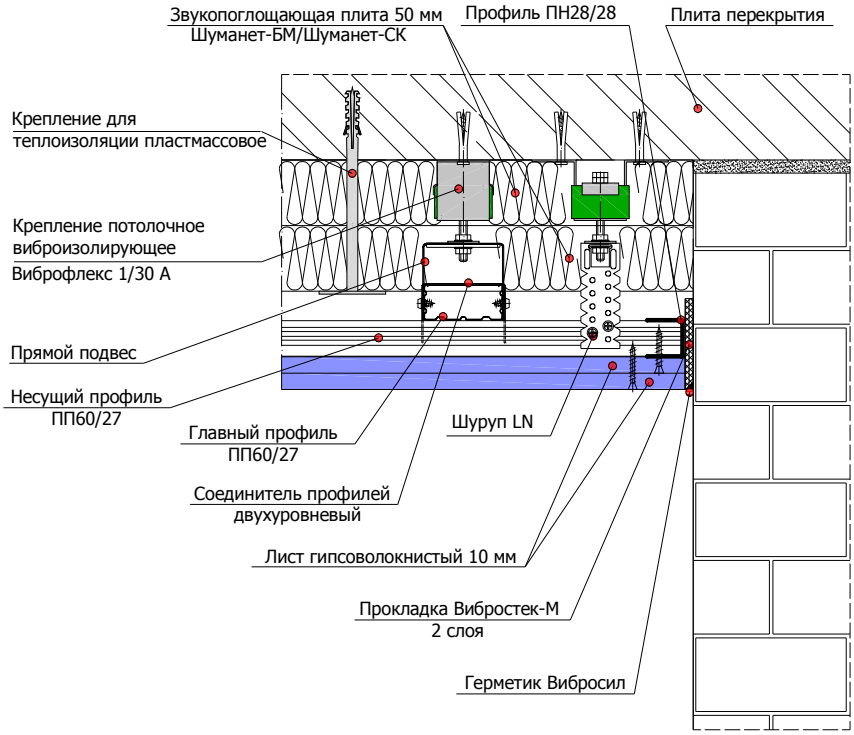


Рис. 3. Подвесной звукоизоляционный потолок на подвесах «ВИБРОФЛЕКС»

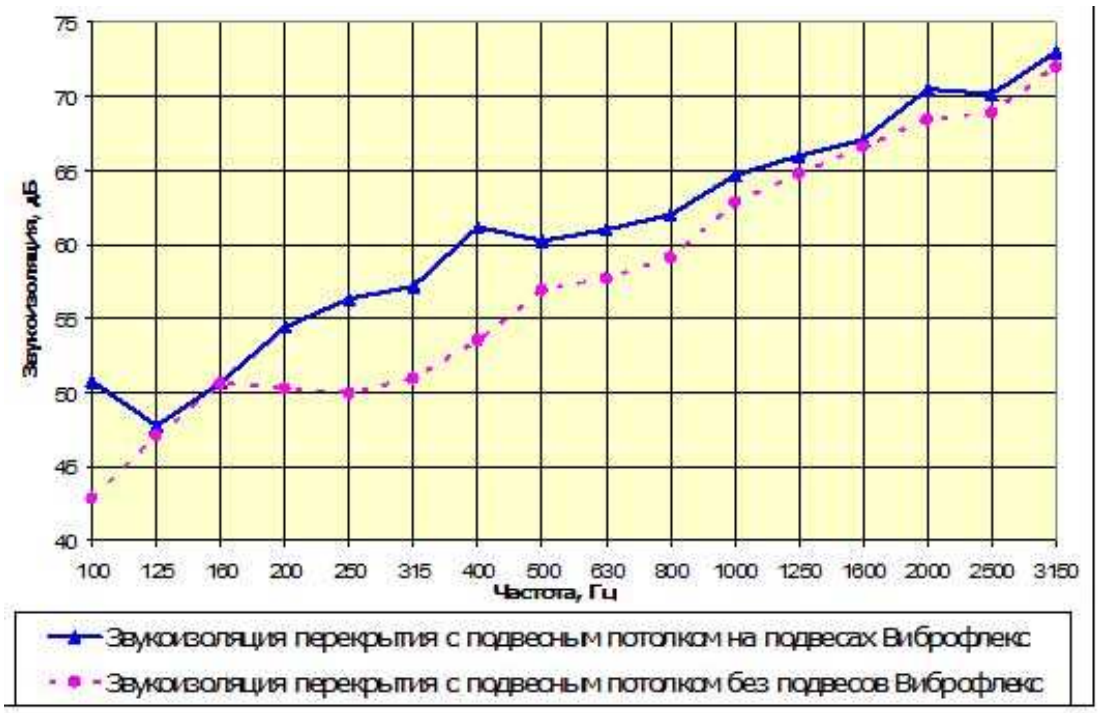


Рис. 4. Звукоизоляция монолитного ж/б перекрытия 250 мм
с подвесным потолком из ГВЛ

Помимо применения специальных виброизолирующих узлов крепления конструкция звукоизоляционного подвесного потолка имеет еще одно существенное отличие от типовых общестроительных решений: листы и каркас подвесного потолок примыкают к стенам, колоннам, а также любым вертикальным поверхностям только через упругие прокладки из материала «ВИБРОСТЕК» без дополнительного закрепления шурупами (рис.3). После монтажа данные стыки заполняются виброакустическим герметиком «ВИБРОСИЛ». Тем самым решается вопрос минимизации прохождения звуковых вибраций от стен на финишную поверхность звукоизолирующей конструкции.

Таким образом, с появлением новых технологических решений в виде виброподвесов «ВИБРОФЛЕКС», упругой прокладки «ВИБРОСТЕК» и виброакустического герметика «ВИБРОСИЛ» становится возможным выполнять более эффективные звукоизолирующие конструкции без дополнительного увеличения их толщины и массивности с сохранением основной номенклатуры элементов типовых легких каркасных облицовок и подвесных потолков.

Литература

1. Боганик, А. Г. Исследование звукоизоляции ограждающих конструкций с гибкими бескаркасными многослойными облицовками: дис. канд. техн. наук. / Боганик Александр Генриевич. – Москва, НИИСФ, 2006.
2. Звукоизоляция в жилых и общественных зданиях / В.И.Заборов и др. – М.: Стройиздат, 1979. – 254с.
3. Справочник по защите от шума и вибраций жилых и общественных зданий / под ред. В.И. Заборова. – Киев: изд. «Будивэльнык», 1989.

КЛАПАН КИВ-125: ЭФФЕКТИВНОЕ СНИЖЕНИЕ УЛИЧНОГО ШУМА В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Киритёнок А.Ю.
ЗАО Инженерное оборудование
spbvnt4@eneq.ru

В условиях больших городов наиболее эффективным средством защиты жилых помещений от внешнего шума является устройство наружных ограждающих конструкций помещений (стен и окон) с высокой звукоизоляцией. При этом, однако, остается нерешенным вопрос вентиляции помещений, поскольку санитарными нормами [1] требуется обеспечение нормативных уровней звука в жилых помещений именно при открытых вентиляционных устройствах, которые, в свою очередь, должны обеспечивать нормативное поступление свежего воздуха. Открытая же форточка, фрамуга или узкая створка снижает звукоизоляцию практически любого окна на 10дБА.

Как одно из решений сохранения высокого уровня звукоизоляции окон и, в то же время, обеспечения нормативного воздухообмена является использование автономного стенового воздушного клапана КИВ-125 (пр-во Финляндия). Основное предназначение клапана КИВ: поступление свежего наружного воздуха в жилые помещения.

Конструкция клапана:

1. Оголовок с фильтром G3 (EU 3) (располагается внутри помещения).
2. Пластиковый канал (труба) с теплошумоизоляцией (внутри стены).
3. Наружная алюминиевая решетка с москитной сеткой (на фасаде здания).

Устройство представляет собой абсорбционный глушитель, внутри которого расположено звукопоглощающее покрытие (минеральная вата кашированная нетканым материалом). Это конструкция выполняет две функции: защиту стены от промерзания и образования конденсата, а также глушение транспортного шума.

Специальные испытания показали, что акустическая эффективность устройства, по данным ГосНИЦ ЦАГИ (Государственный Научно-Исследовательский центр Центральный Аэрогидродинамический Институт) составляет 48 дБА, что превышает звукоизолирующую способность оконных проёмов со специальным шумозащитным остеклением [2]. Клапан широко применяется в массовом строительстве не только Москве и Санкт-Петербурге, но и в Ростове, Вологде, Архангельске, Новосибирске, Иркутске, Хабаровске. Причем с каждым годом наблюдается значительный рост и в объемах закупаемых клапанов и в расширении регионов его применения.

В Санкт-Петербурге такие клапана используются уже более девяти лет. Клапаны устанавливаются в жилые комнаты в наружные стены по высоте 2/3 от пола. В уже построенных зданиях с внутренней отделкой для сверления

стены применяется бурильная установка с алмазной коронкой. Например, во время строительства кольцевой дороги в р-не Обухово совместно со звукоизолирующими окнами были установлены клапаны КИВ. Выбор таких устройств был обусловлен не только соответствию нормативных требований по воздухообмену (производительность клапана составляет до 54 м3/час), но и высоким показателям акустических и теплотехнических характеристик.

Проведёнными в Санкт-Петербурге «Проектно-конструкторским технологическим институтом»(ЗАО ПКТИ) натурными испытаниями было получено, что индекс звукоизоляции клапана составляет 37 дБА, что достаточно для снижения самого интенсивного транспортного шума до нормы. Было также подтверждено, что даже для самых низкотемпературных воздействий (-39°С, например, Новосибирск) при нормируемых параметрах воздуха образование конденсата в защищаемом помещении не обнаружено.

Отметим, что прообразы таких клапанов применялись в России еще до революции, о чем свидетельствуют многочисленные решетки на фасадах старинных зданий. Такие системы были просто необходимы не только для вентиляции, но и для притока наружного воздуха для многочисленных печей и каминов, служивших основными приборами отопления. Дальнейшее развитие вентиляции жилых помещений в нашей стране, к сожалению, свелось к вентиляции за счет плохого качества столярных изделий (окон), в Европе (например, все в той же Финляндии) данные устройства со временем претерпели необходимые изменения модернизировались, улучшались и теперь это не только устройство для подачи кислорода, но и очистка от пыли, защита от промерзания и шума.

Сегодня в Санкт-Петербурге широко используются клапаны КИВ например, ул. Шпалерная, 60, наб. Мартынова, 70, литера А, ул. Матроса Железняка и др.). При этом дешевле использовать клапаны при строительстве объекта: при возведении стен закладывается труба с изоляцией, при фасадных работах - решетка, при внутренней отделки закрепляется оголовок.

В заключении, хотелось бы повторить, что с городским шумом в жилых помещениях можно и нужно бороться, необходимо своевременно обращать внимание на решение данного вопроса (строительство новых дорог, развязок вблизи жилых домов) и тщательно подходить к выбору шумоглушащих устройств, чтобы, решая одну проблему (шумоглушения) не создавать других (снижение качества окон, промерзание, отсутствие должного воздухообмена).

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. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник.: университетская книга, Логос, 2008. – 482.

О ВОЗМОЖНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ШУМА КОЛЕСНЫХ ПАР РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Колыхалин В.М., Давыдов В.В.
СПбГУКиТ
cap-007@mail.ru

До настоящего времени наиболее массовый и экономичный рельсовый транспорт в Российской Федерации вносит наибольшую составляющую в общий уровень фонового шума, особенно в городских и пригородных инфраструктурах. Несмотря на использование в вагонах и на рельсовых путях эффективных средств вибро- и звукоизоляции или поглощения, практически не исключено возникновение высокого уровня инфразвуковых и/или низкочастотных вибраций и воздушных шумов. Последние генерируются ударами (и взаимодействием) колесных пар вагонов о термо и технологические стыки, неровности, как в вертикальной («юзовой»), так и горизонтальной «волнистости» рельс в результате эксплуатационного износа, торможений и метеоусловий в воздухе и верхнем строении пути, а также из-за соударения вагонов.

По данным [1,2] наиболее высокий уровень шума отмечается в области контакта и подошвы рельс, колесных дисков, рам тележек и нижней рамы кузова вагонов. Так, под серединой пола пассажирского вагона, движущегося со скоростью 120 км/ч., уровень шума достигает 110…115 дБА, что примерно на 20 дБА выше, чем на его крыше, и на 10…15 дБА, чем у стен вагона. Спектр такого шума достигает максимума в октавной полосе 31,5 Гц и резко снижается примерно на 50 дБ в полосе 8000 Гц. На расстояниях в нескольких десятков метров от магистралей уровень звукового давления (УЗД) в низкочастотной области спектра составляет 80 дБ, а под эстакадами и в тоннелях регистрируется уровень шума до 110 дБ с максимумом энергетического спектра в полосе 8…50 Гц. Максимальный уровень шума при движении электропоезда ЭР2 со скоростью 60 км/ч. достигает 116 дБА на расстоянии 1 м от колес. Длительность ударных импульсов на стыках рельс составляет примерно 0,03 с., а при соударении вагонов достигает 0,06 с. при максимуме спектральной плотности шума в полосе до 33 Гц.

Одним из радикальных методов уменьшения ударного шума является применение длиномерных (до 800 м.) бесстыковых рельсовых «плетей» с укладкой на железобетонные шпалы со специальными амортизаторами, ослабляющими генерацию вибраций и шумов. Использование подобных на открытых пространствах приводит к уменьшению воздушного шума до 10 дБ,

однако, под эстакадами, в узких улицах и тоннелях ослабление уровня шума не превышает 2…3 дБ. В целом это объясняется более эффективной звукопередачей и излучением структурных шумов взаимодействия колес с рельсами в более длительной временной «связке», заметной на слух. Здесь скорость распространения возмущений более чем на порядок выше скорости звука в воздухе и вызывает «гудение» рельс. Кроме того, такие пути более резко реагируют на изменение атмосферных условий в воздухе и на почве, а стоимость их изготовления, монтажа и ремонта – более чем в 2…3 больше обычных. Более доступным и эффективным может служить метод авто- или взаимной компенсации звука, впервые предложенный Г. Ольсоном для электроакустических систем и развитый в дальнейшем для вибраций и звуковых полей в работах зарубежных и отечественных ученых, получивших практическое применение [3,4].

Основные предпосылки использования такого метода для уменьшения шума рельсового транспорта были заложены в исследованиях НИИСФ под руководством Е.Я.Юдина [5,6]. Здесь теоретические модели воздушного шума движущегося поезда представляются как совокупности некогерентных дипольных источников, образованных любой парой колес на одной оси и разделенных промежутком стандартной колеи. В этом варианте расчетные значения погонной (на 1 м. пути) акустической мощности шума оказываются заниженными (5…10 дБ) по сравнению с экспериментальными результатами измерений шума движения 30 поездов на магистрали с обычными (25 м.) рельсами [7] на различных расстояниях вдоль и перпендикулярно пути. Для варианта монопольного представления расчетные значения наоборот оказались завышенными по сравнению с натурными измерениями. Большую достоверность обеспечила смешанная модель шума как совокупности некогерентных точечных диполей и монополей с разбросом значений шумовой характеристики в пределах ± 4 дБА.

Таким образом, в рассмотренных моделях и реальных условиях дипольный (компенсационный) эффект проявился достаточно заметно, как по общему уровню шума, так и спецификой чередования максимумов и минимумов энергетического спектра с преобладанием в области низких (и очевидно) инфразвуковых частот.

Более полная практическая реализация дипольного эффекта может быть получена путем формирования когерентных пар ударных монопольных источников, образующие в свою очередь некогерентные дипольные источники с акустическими осями, направленными не поперек, а вдоль магистрали под сравнительно малыми (15…20˚) углами. Подобное достигается путем замены параллельных стыков на паре рельс – на последовательные, например, на правом рельсе относительно левого или наоборот (рис.1), со смещением на определенное расстояние в зависимости, главным образом, от скорости движения составов на данном участке магистрали. В свою очередь, отмеченное расстояние устанавливает корреляционную (по времени) взаимосвязь между акустическими импульсными сигналами.

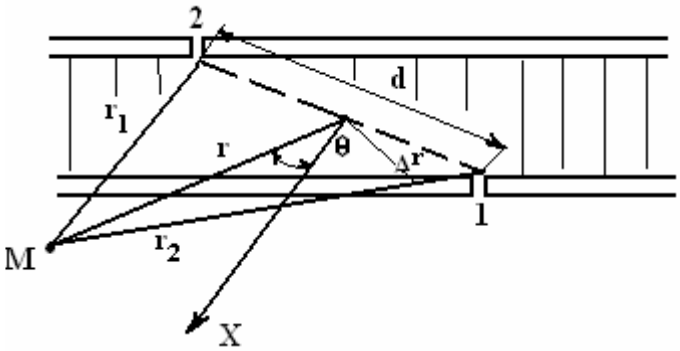


Рис.1. Определение акустического (корреляционного) взаимодействия двух импульсных источников (1,2)

Из рис.1 следует, что суммарное звуковое давление pc , как функция акустических мощностей и расстояния r, для некоторой точки M, смещенной под углом θ относительно нормали X к базе d, по принципу суперпозиции есть сумма давлений p1 и p2 от соответствующих источников с некоторыми фазами ψ1 и ψ2, т.е.

$$p_c = p_1 + p_2 = \frac{A}{r_1} e^{j(\omega t - kr_1 + \psi_1)} + \frac{A}{r_2} e^{j(\omega t - kr_2 + \psi_2)}, \qquad (1)$$

где A – некоторая постоянная; к = ω/c – волновое число в виде отношения угловой частоты ω к скорости звука в воздухе c.

Полагая направления r1 и r2 параллельными радиус-вектору r в дальнем поле, можно считать равными амплитуды давлений p1 и p2, так как Δr « r. Тогда A/r1 ≈ A/r1= A/r и разность хода между r1 и r2 относительно r есть приближенно: r1 = r + Δr , а r2 = r – Δr, следовательно, p1 отстает по фазе, а p2 опережает давление центрального (мнимого) источника на одну и ту же величину Δψ = ωΔt = (ω/c)Δr = kΔr. С учетом последнего, (1) примет вид:

$$P_c = \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr + \psi_0)} \left[e^{-j\left(\frac{\Delta\Psi}{2} - \frac{kd}{2}\sin\theta\right)} + e^{j\left(\frac{\Delta\Psi}{2} - \frac{kd}{2}\sin\theta\right)} \right] = \frac{2}{r} A e^{j(\omega t - kr + \psi_0)} \cos\left(\frac{\Delta\Psi}{2} - \frac{kd}{2}\sin\theta\right) \qquad (2)$$

где ψo =(ψ1 + ψ2)/2 – средняя начальная фаза; Δψ = ψ2 – ψ1 = kd – разность начальных фаз; Δr = (d/2)sinθ – интерференционная разность хода под углом θ.

Принимая равенство p1 = p2 = p для двух примерно идентичных источников, после несложных преобразований, будем иметь для амплитуды суммарного давления pm.c., как функции от Δψ, θ и ω:

$$p_{m.c.} = 2p\cos(\Delta\psi/2 - kd\sin\theta/2) \qquad (3)$$

При выборе расстояния d между стыками рельс в соответствии с примерно равными основными частотами ударных импульсов так, чтобы обеспечить Δψ =

π, и учета sin(90˚-θ)= cosθ для акустической оси двух источников, получим выражение для амплитуды разностного давления:

$$p_{m.p.} = 2p\sin(kdcos\theta/2)\,. \qquad (4)$$

Таким образом, противофазный режим взаимодействия источников переводит их из режима монопольного излучения в режим дипольного (градиентного) излучения с диаграммой направленности, близкой (при kd/2<1) к «восьмерке» вращения:

$$\Gamma_p = p_{m.p.}(\theta)/p_{m.p.}(0^o) = \sin(kd\cos\theta/2)/\sin(kd/2) \approx \cos\theta\,. \qquad (5)$$

Кроме того, зависимость (3) определяет «жесткую» мультипликативную связь давления pm.p. (также как и pm.c.) и общей акустической мощности источников Pa с интерференционной (корреляционной) составляющей. Так для нашего случая, опуская промежуточные выкладки, можно получить:

$$P_{a.p.} = \frac{4\pi p_p^2}{\rho c}(1-\frac{\sin(kd)}{kd}) \qquad (6)$$

Как видно, именно при выборе достаточной разности во времени прихода импульсов в точку наблюдения, т.е. Δψ→π в низкочастотном диапазоне, достигается наибольшая компенсация их основных составляющих и нечетных гармоник. В целом рассмотренный принцип корреляционного взаимодействия импульсных источников вполне соответствует известным теоретическим исследованиям и экспериментальным измерениям групповых систем громкоговорителей [8].

Для экспериментальной работы с моделью, выполненной в масштабе 1:100, использовалось речевое ателье кафедры акустики СПбГУКиТ с размерами 7×6×5 м. Стены и потолок ателье обработаны достаточно эффективным звукопоглотителем из перфорированных плит типа АГШ с зазором 50мм, заполненным минеральной ватой так, что высота подвесного потолка составила 4,7м. Данная акустическая обработка обеспечила время реверберации в диапазоне 250…4000Гц, не превышающее 0,4 с. при проникающем уровне шума не более 40 дБА.

Относительная оценка изменений временных огибающих и энергетических спектров, включая мгновенные (пиковые) значения суммарного звукового давления, для параллельных (рис.2, рис.3) и последовательных (рис.4, рис.5) стыков на рельсах проводилась при использовании компьютера и анализатора спектра 3360 (B&K). Измерительный микрофон устанавливался вдоль и поперек рельс на расстоянии 100 мм от параллельного стыка и в середине промежутка между последовательными стыками при движении четырехосной модели вагона по наклонной плоскости под углом примерно 30˚.

На рис.2 показаны временные огибающие давления во временном окне 4 сек. с максимальным размахом 20 дБ.

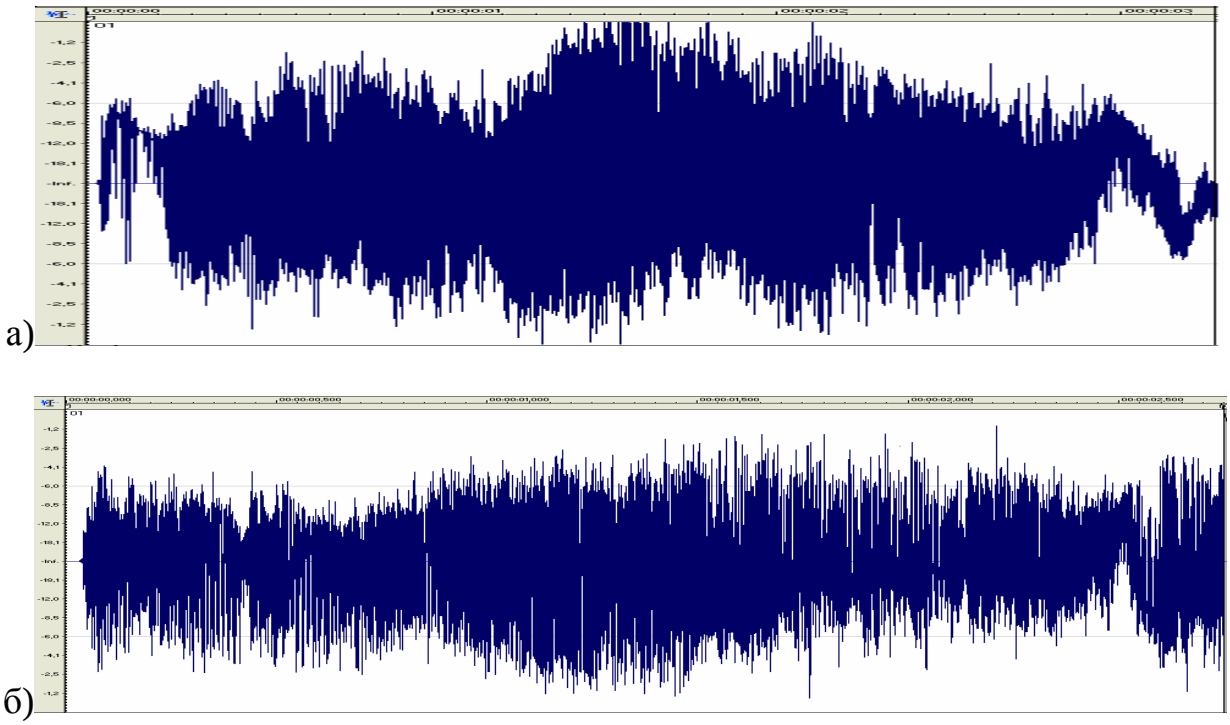


Рис.2. Временные огибающие суммарного звукового давления при расположении микрофона вдоль (а) и поперек (б) рельс для параллельных (типовых) стыков

Мгновенные спектры в октавных полосах наложены на записи энергетических спектров, полученных на компьютере в третьоктавных полосах с центральными частотами 125…16000 Гц (рис.3, рис.5).

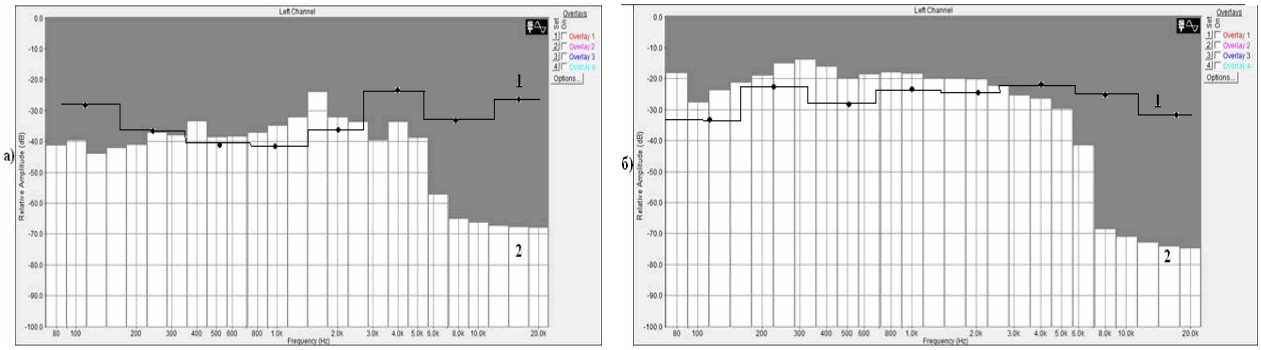


Рис.3. Энергетические (2) и мгновенные спектры (1) при расположении микрофона вдоль (а) и поперек (б) рельс для параллельных стыков

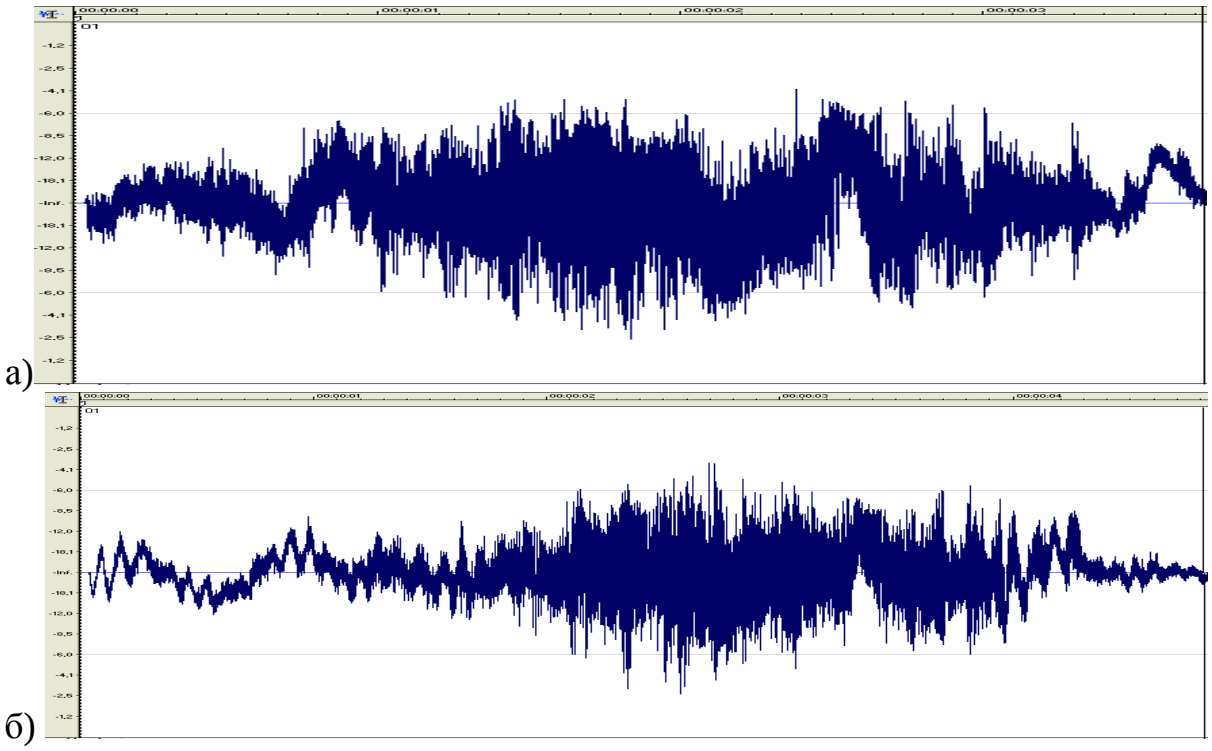


Рис.4. Временные огибающие суммарного звукового давления\
при расположении микрофона вдоль (а) и поперек (б) рельс
для последовательных (сдвиг 150 мм) стыков

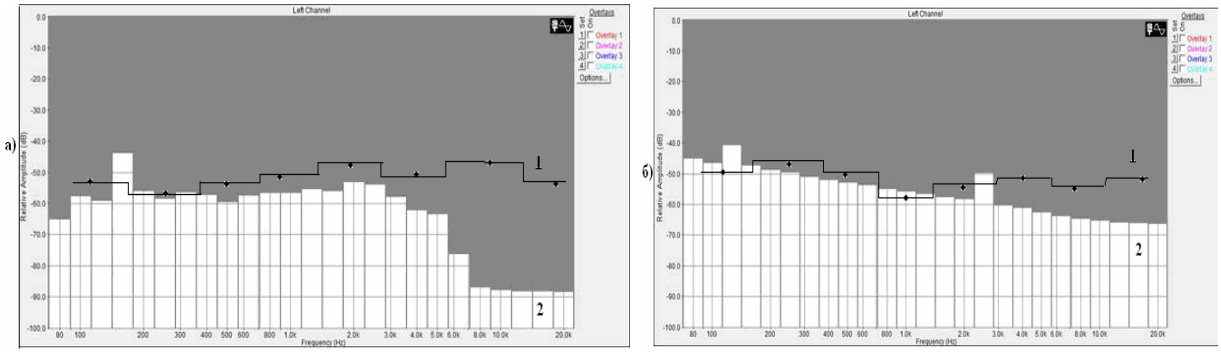


Рис.5. Энергетические (2) и мгновенные спектры (1) при расположении
микрофона вдоль (а) и поперек (б) рельс для последовательных
(сдвиг 150 мм) стыков

Из сравнения рисунков следует, что для последовательных стыков размах временной огибающей уменьшается примерно на 10 дБ, а энергетический уровень снизился в среднем на 20 дБ. Таким образом, имитационное моделирование ударов колес о стыки рельс в первом приближении удовлетворяет исходным предпосылкам о возможности уменьшения воздушного шума парами коррелированных импульсных источников.

Литература

1. Справочник по технической акустике: Пер. с нем./Под ред. М. Хекла и Х. Мюллера. – Л.: Судостроение, 1980.
2. Ахметзянов И.М., Гребеньков С.В., Ломов А.П. Шум и инфразвук. Гигиенические аспекты.-СПб.:БИП, 2002.
3. Olson H.E. System Responsive to Energy Flow of the Sound Waves.U.S. Patent.№1.892.644 (1932).
4. Борьба с шумом на производстве: Справочник /Е.Я. Юдин, Л.А.Борисов и др. Под общ. ред. Е.Я. Юдина.- М.: Машиностроение, 1985.
5. Сборник трудов. Защита от шума зданий и территорий.-М.:НИИСФ,1986.
6. Сборник трудов. Защита от шума в зданиях и на территории застройки.-М.:НИИСФ,1987.
7. СНиП 32-01-95.Железные дороги колеи 1520 мм.-М.:Минстрой РФ, 1995.
8. Скучик Е. Основы акустики. Т2. – М.: Мир, 1976г.

ТЕХНОЛОГИЯ И СИСТЕМА АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ШУМОВ В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Гладилин А.В., Догадов А.А., Канев Н.Г., Миронов М.А.
ФГУП АКИН
mironov@akin.ru

Разработан метод широкополосного активного гашения шумов, основанный на использовании резонансных рассеивателей и поглотителей звука с расширенной резонансной полосой. Расширение полосы обеспечивается специально подобранной обратной связью, управляющей излучающим элементом. Обратная связь может быть выполнена на аналоговых элементах, при использовании нескольких устройств нет необходимости в их перекрестных связях – каждое устройство является автономным. В отличие от большинства систем активного гашения звука и вибраций, в разработанном методе не требуется компьютерной обработки и управления сигналами. Изготовлены и испытаны действующие макеты устройств активного гашения звука в вентиляционных каналах. Испытания подтвердили их высокую эффективность, широкополосность и устойчивость.

АКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГВ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ШУМОВЫХ АНОМАЛИЙ

Явленский А.К., Белоусов А.А., Рогозинский Г.Г., Волков А.С.
С.Петербургский Государственный университет кино и телевидения
conpi@peterlink.ru

В области систем контроля и диагностики различных шумов к числу наиболее перспективных направлений следует отнести различные системы, построенные на алгоритмах искусственного интеллекта. Подобные системы могут существенно снизить нагрузку на оператора, или вообще изменить его функцию.

Существуют различные способы моделирования искусственного интеллекта. Наиболее распространенными по праву считаются нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткая логика. Возможны также различные гибридные модели, подразумевающие совместное использование тех или иных алгоритмов.

Как правило, основным источником для выполнения контроля и диагностирования являются акустические сигналы. Они могут быть непосредственно соединены с системой мониторинга, однако возможна запись информации или передача ее по сетям в сжатой форме.

Наибольший интерес представляет отслеживание динамики изменения акустического поля во времени. Существуют различные методы анализа звуковой информации. К наиболее распространенным следует отнести методы спектрального анализа. Как уже было замечено, важно отслеживать состояние акустического поля во времени. Следовательно, необходимо преобразование, обладающее временной локализацией событий $s(t) \mapsto S(a,t)$. В тех случаях, когда задача ставится подобным образом, как правило, прибегают к использованию вейвлетного анализа.

$$W_{a,b}[s(t)] = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) \cdot \psi\left(\frac{b-t}{a}\right) dt, \qquad (1)$$

где $\psi\left(\frac{b-t}{a}\right)$ - локализованная во времени короткая осциллирующая функция с нулевым интегральным значением (вейвлет). Его главное отличие от оконного преобразования Фурье – возможность получения различного разрешения по частоте, в то время как частотное разрешение оконного преобразования Фурье определяется шириной окна анализа length [k(b-t)]:

$$F[s(t)] = \int s(t) \cdot e^{-iwt} \cdot k(b-t) dt \qquad (2)$$

Анализирующее окно Фурье-преобразования имеет фиксированную длину и, следовательно, фиксированное разрешение по частоте.

Следует иметь в виду, что основной задачей вейвлетного анализа является выделение локальных особенностей функции. Поскольку любой вейвлет по определению имеет n первых нулевых моментов, то вейвлет-разложение в первом приближении может быть рассмотрено как многомасштабный оператор дифференцирования. Таким образом, большие значения коэффициентов вейвлетного разложения сосредотачиваются вблизи тех моментов времени, где функция терпит перегиб или имеет локальную особенность.

Применение алгоритмов трешолдинга позволяет сократить число ненулевых значений вейвлетных коэффициентов. Следует отметить, что на этом базируются алгоритмы вейвлетной компрессии данных. В нашем случае трешолдинг позволит сосредоточится на наиболее существенных участках вейвлетного спектра сигнала.

Массив коэффициентов вейвлетного разложения может достигать значительных размеров. Его объем определяется длиной выборки сигнала s(t) и выбранным количеством уровней декомпозиции M. Для обощения этого массива предлагается оперировать так называемым структурным (диагностическим) массивом. Он получается путем замены непосредственно массива вейвлетных коэффициентов на массив их статистических оценок X.

$$X = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{21} & \cdots & \gamma_{k1} \\ \gamma_{12} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{k2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \gamma_{1M} & \gamma_{2M} & \cdots & \gamma_{kM} \end{bmatrix}, \qquad (3)$$

где $\gamma_{i,j}$ – i-ая статистическая характеристика j-го уровня коэффициентов вейвлет-декомпозиции. В качестве статистических характеристик могут быть выбраны математическое ожидание, максимальное MAX[s(t)], минимальное MIN[s(t)] значения, среднеквадратичное отклонение, медиана и тд. Обычно при построении структурных массивов эти оценки вычисляются для каждого из M уровней разложения. Для более точного представления можно выделять области уже внутри каждого уровня. Однако, очевидно, это ведет к увеличению объема структурных массивов, что в общем случае является нежелательным.

После того, как в результате рассмотренного вейвлет-препроцессинга мы получили структурный массив, мы можем использовать его для дальнейшей классификации данных. Естественно, что все громкие и резкие звуки в чем-то похожи, однако система искусственного интеллекта может быть обучена разделять, к примеру, звук выстрела от хлопка. В качестве классификатора предлагается использовать искуственную нейронную сеть с нечеткими весами. Нечеткость, в общем случае, может быть обусловлена недостаточной информацией о состоянии объекта наблюдения.

Искуственная нейронная сеть должна уметь разделять нормальный акустический фон от аномального. Нормальный акустический фон соответствует обычному состоянию акустического поля, которое снимается направленным микрофоном(и). Ему могут быть присущи так же нестационарные процессы, шумы и тд. Например, громкие звуки хлопающих дверей. Цель работы с обучаемой системой искуственного интеллекта – научить ее разделить подобные акустические состояния от других, не свойственных нормальным, являющихся аномальными.

Топология сети определяется количеством входных данных x_i, другими словами, общим числом элементов структурного массива. В ходе обучения сети находятся веса w_i и выход каждого из нейронов сети (решение) в общем случае определяется как взвешенная сумма его входов

$$S = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot w_i \tag{4}$$

Рассмотрим в структурном виде алгоритм работы системы контроля и диагностики (рис. 1).

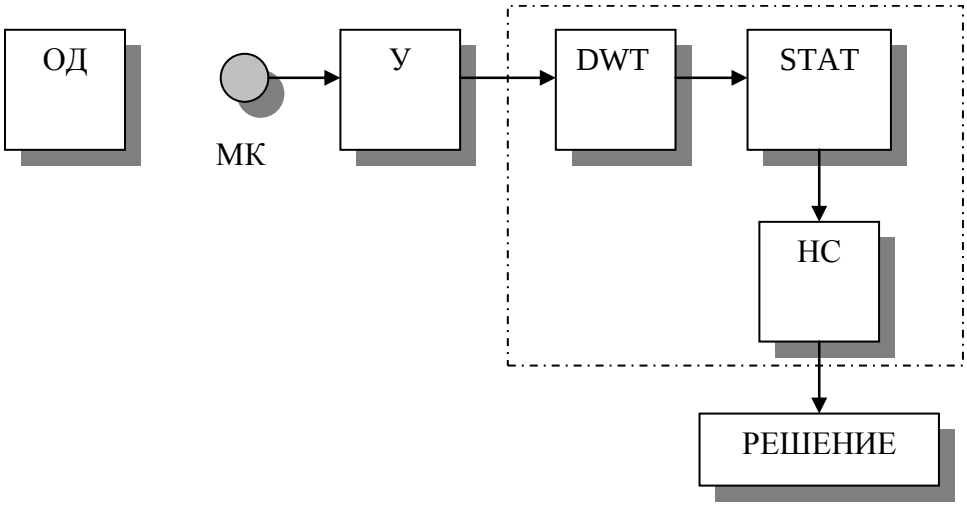


Рисунок 1. Структурная схема алгоритма контроля

Объект диагностирования (ОД) создает вокруг себя определенное, свойственное именно ему, акустическое поле. Это может быть шум двигателя или звук во дворе, где установлена система наблюдения. С помощью направленного микрофона (МК) акустические сигналы превращаются в электрические и поступают на усилитель (У). Далее через АЦП сигнал подается на блок компьютерной обработки (он обведен прерывистой линией). С помощью специального программного обеспечения, например СКМ Matlab или LabVIEW вычисляется быстрое вейвлет-преобразование сигнала (DWT), затем к массиву коэффициентов преобразования применяется статистический анализ (STAT).

Массив диагностических характеристик служит входом для нейросетевого классификатора (НС), основная задача которого – определение принадлежности текущего состояния ОД к одному из имеющихся классов и принятие решения на основании этого. Прежде чем нейронная сеть сможет классифицировать состояние шумовой картины, она должна быть обучена. Для ее обучения необходимо создать начальное множество образцов, принадлежность к классам которых известна. После того, как нейронная сеть пройдет обучение и покажет сравнительно низкие значения ошибок, можно ввести элементы нечеткой логики, это позволит приблизить сеть к реальным ситуациям. Существуют различные варианты совместного использования нейронных сетей и нечеткой логики. Одни из самых простых – использование нечетких весов и использование операций нечеткой логики вместо математических операций внутри сети.

В качестве примера рассмотрим модель системы акустического мониторинга. В ней направленный микрофон совершает сканирующее движение в диапазоне от 0 до 90 градусов. В микрофон всегда будет попадать стационарная шумовая компонента, которая промоделирована здесь с помощью белого шума. Кроме того, в зоне акустического наблюдения расположен точечный источник ВЧ шума. Интенсивность его звукового давления в значительной мере зависит от направления микрофона. Рассматриваются два временных интервала. Первый, когда звуковое поле создается только указанными выше источниками, и второй, когда добавляется непродолжительное низкочастотное воздействие, являющееся аномалией. Осциллограммы этих процессов можно наблюдать на рисунке 2.

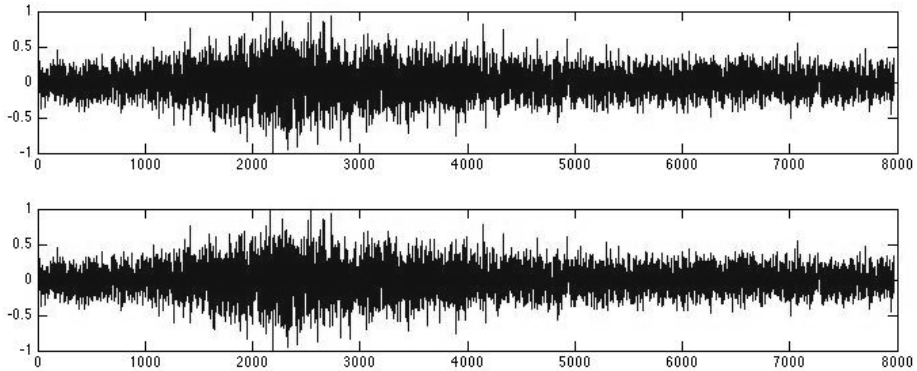


Рисунок 2. Осциллограммы двух состояний акустического поля

Применим вейвлет-препроцессинг для выделения информативных составляющих. В результате вейвлетного преобразования получены шкалограммы абсолютных значений коэффициентов вейвлетного разложения $\left|W_{a,b}[s(t)]\right|$. По оси абсцисс откладывается время (соответственно, угол поворота микрофона), по оси ординат – масштаб, величина обратно пропорциональная частоте (то есть большим значения масштаба соотвествует НЧ область), и по оси апликат – абсолютные значения коэффициентов. Для наглядности используется цветовая раскраска.

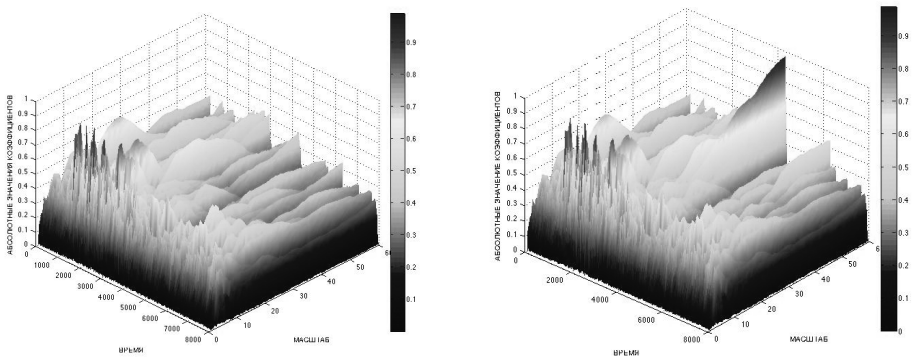


Рисунок 3. Шкалограммы двух состояний акустического поля

На шкалограммах, построенных в системе Matlab, отчетливо виден уровень белого шума в районе 0.3 – 0.4 от максимального значения по вертикальной шкале, высокочастотный сигнал точечного источника и его амплитудная огибающая, связанная с приближением и удалением его от оси направленного микрофона, а так же отсутствующая на левой шкалограмме, и присутствующая на правой НЧ компонента. Можно достаточно точно локализовать момент ее возникновения, а так же область частот.

Таким образом, шкалограммы акустических сигналов могут отличаться в различные моменты времени. По результам классификации ряд ситуаций можно отнести к аномальным.

Как уже было сказано ранее, оперировать с массивами вейвлет коэффициентов неудобно, главным образом в следствие их громозкости. Даже 5 уровней вейвлетного разложения сигнала длительностью 1 с при частоте дискретизации 8 кГц будут представлять собой матрицу размера 8000x5. Для сокращения объема данных применим методы описательной статистики, заменив отчеты каждого уровня вейвлет-коэффициентов на статистические величины, их характеризующие. В результате получаем структурные матрицы.

Сигнал без шумовой аномалии

	Max	Среднее	Ассиметрия	Эксцесс	Std
1	1.0455	0.1672	1.7136	6.8448	0.1493
2	0.9256	0.1659	1.2715	5.3005	0.1296
3	0.6872	0.1494	1.2320	4.8321	0.1164
4	0.5076	0.1364	0.9990	3.6104	0.1041
5	0.4232	0.1289	0.7542	2.9679	0.0946

Сигнал с аномалией в области НЧ

	Max	Среднее	Ассиметрия	Эксцесс	Std
1	1.0455	0.1672	1.7138	6.8459	0.1493
2	0.9256	0.1659	1.2721	5.3032	0.1296
3	0.6872	0.1494	1.2341	4.8389	0.1166
4	0.5747	0.1363	1.0274	3.8158	0.1046
5	0.5662	0.1329	0.9743	4.1073	0.0977

Следующая задача – определить те характеристики, которые наилучим образом различают (дискриминируют) два состояния. На графике ниже представлены зависимости относительных отклонений значенией используемых статистических показателей от номера уровня вейвлетного разложения (рисунок 4).

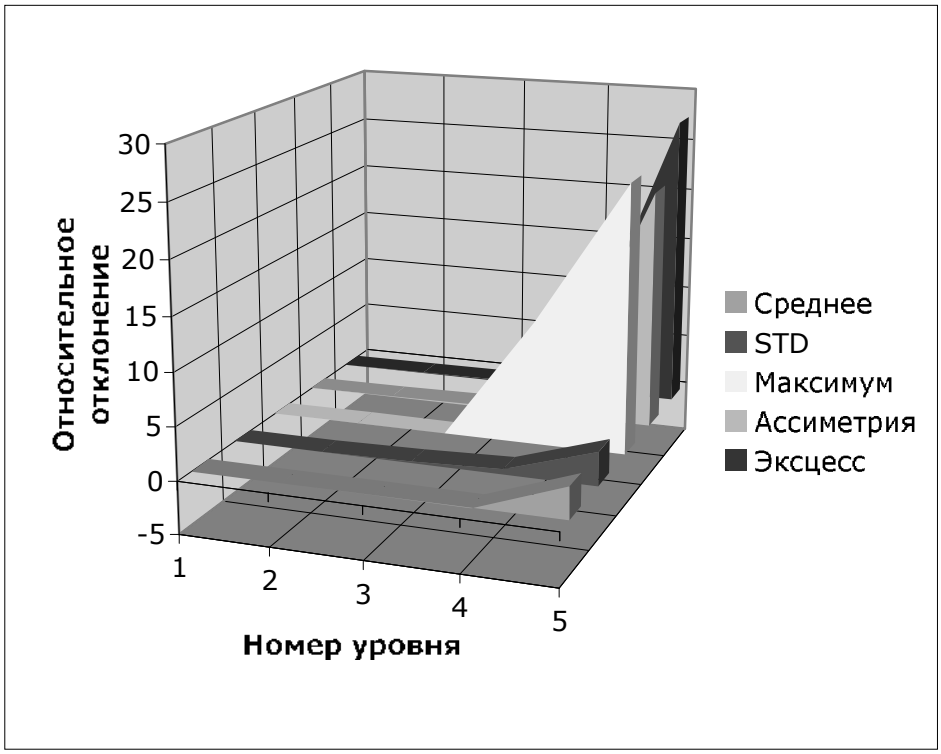


Рисунок 4. Зависимость относительных отклонений значенией используемых статистических показателей от номера уровня вейвлетного разложения

Из графика становится ясно, что наибольшее различие наблюдается в данном случае у максимума и моментов 3 и 4 порядков. Менее значимые среднее и среднеквадратичное отклонение могут быть вычеркнуты из структурной матрицы в целях сокращения ее объема. Далее нейросетевая система классификации, при условии что она обучена корректно, относит входные данные к тому или иному состоянию.

Следует подчеркнуть целесообразность использования элементов нечеткой логики для решение поставленной задачи. Дело в том, что условия работы в сложных, нелинейных системах накладывают свои требования на систему классификации. Диагностическая информация считается принадлежащей нечеткому множеству. В связи с этим, для принятия диагностического решения должны быть проведены фаззификация, нечеткий вывод и дефаззификация.

В случае, если на выходе нейронной сети мы имеем решение об аномальности акустического поля вблизи объекта контроля, система должна так или иначе отреагировать. Это может быть изменение траектории движения камеры, одновременный поворот соседних устройств наблюдения в сторону предполагаемой звуковой аномалии, запись в системном журнале и т.д.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ИСТОЧНИКЕ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Мурзинов В.Л.
Воронежская государственная лесотехническая академия
vlmurzinov@box.vsi.ru

Применение воздушной подушки в производственных системах транспортирования началось в середине прошлого века с момента подачи Бобровым В.П. в 1959 году заявки на изобретение «Способ транспортирования штучных грузов по наклонному лотку». По мере развития техники и технологий совершенствовались и создавались новые виды производственных систем транспортирования на воздушной подушке (ПСТ/ВП). В настоящее время существует достаточно широкий спектр конструктивных решений устройств внутрицехового транспорта, допускающего использование воздушной подушки.

Классификация ПСТ/ВП и их анализ с позиции шумообразования показали, что существуют определенные их виды, обладающие повышенным шумом, аэроакустическая составляющая которого является доминирующей [1]. К «проблемным» ПСТ/ВП с позиции акустического загрязнения можно отнести:

пневмоконвейеры;

ленточные конвейеры на воздушной подушке;

пневмотранспортные устройства линейных перемещений;

аэродинамические захватные устройства;

ориентирующие устройства.

Одними из возможных путей снижения их уровня шума в источнике являются:

изменение формы и конфигурации поверхностей, вдоль которых распространяются турбулентные струйные потоки;

экранирование аэроакустического излучения потоков элементами конструкции ПСТ/ВП;

автоматическое управление толщиной воздушной подушки.

К настоящему времени наиболее изученным турбулентным течением, генерирующим аэродинамический шум, являются затопленные струи, звуковая мощность которых определена на основании решения неоднородного волнового уравнения [2]. Следуя принятому сэром Дж. Лайтхиллом упрощению считается, что перемещающиеся с различной скоростью источники излучают звук в неподвижную среду. При этом учитываются допущения относительно эффектов рассеяния звука вследствие теплопроводности, вязкости, турбулентных возмущений в неоднородном волновом уравнении

$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2}-\frac{\partial^2 p}{\partial x_i \partial x_j}=\grave{A}+\acute{A}$, где A – тип взаимодействия в потоке «Турбулентность – турбулентность», $Б$ – тип взаимодействия в потоке «Сдвиг – турбулентность» [3].

Попытки предсказать шум турбулентной струи исходя из рассмотрения крупномасштабной структуры, основывались как на анализе неустойчивости границы струи, так и на представлении струи в виде ряда взаимодействующих вихрей. В настоящее время наиболее распространенное мнение заключается в следующем: в дозвуковых струях такая структура в основном управляет процессом генерации шума турбулентными пульсациями скорости, а сама не является непосредственным источником интенсивного акустического излучения. Неустойчивая крупномасштабная структура определяет процесс смешения струи с окружающей средой и образование мелкомасштабной турбулентности, являющейся генератором широкополосного шума. С помощью крупномасштабной структуры как бы раскрывается внутренний механизм развития турбулентности, основные принципы образования шума которой были сформулированы сэром Дж. Лайтхиллом.

Шум турбулентного пограничного слоя является распространенным видом излучения в ПСТ/ВП. При обтекании поверхности потоком, под турбулентным пограничным слоем возникает случайное по пространству и времени поле пульсаций давления звукового диапазона частот.

Одним из методов снижения шума в источнике является профилирование конфигурации внутреннего канала сопел. В качестве исходной формы внутреннего канала сопла можно принять обычное цилиндрическое отверстие, а затем методом поэтапного изменения его формы и анализа шумовых характеристик воздушной подушки, формируемой этим соплом, получить профили, обеспечивающие наилучшие шумовые характеристики.

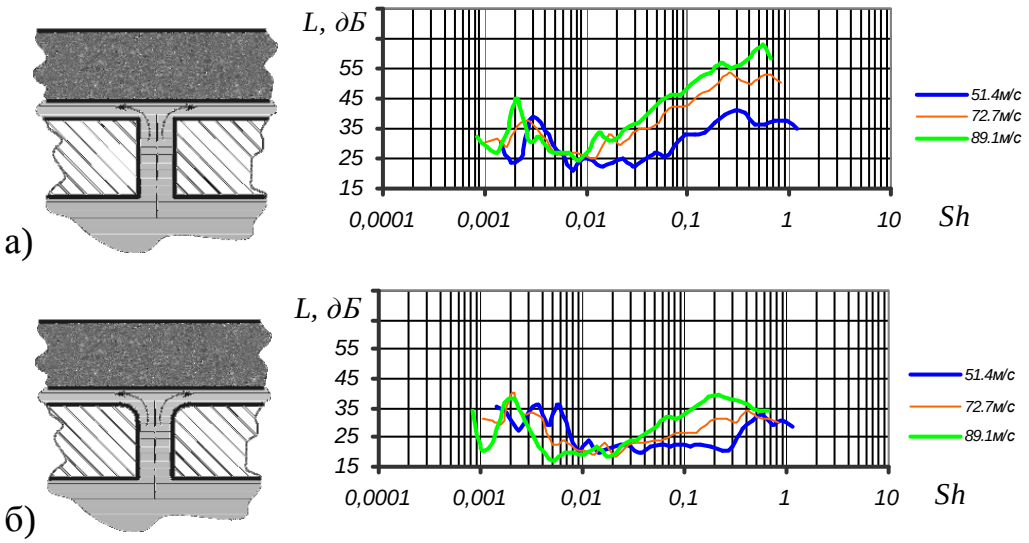


Рис.1. Схема сопла и ⅓-октавный спектр УЗД воздушной подушки.
а) – цилиндрическое сопло, б) – сопло со скруглённой кромкой.

Например, при использовании сопел со скруглённой кромкой для создания воздушной подушки был проведён анализ её ⅓ октавного спектра уровня звукового давления (УЗД), который показал явное улучшение шумовых характеристик. На рис.1 схематично показано сопло, формирующее воздушную подушку под изделием и ⅓ октавный спектр УЗД в зависимости от числа Струхаля $Sh = \frac{d}{U} f$, где d – диаметр внутреннего канала сопла, f – частота ⅓-октавной полосы, U – средняя скорость воздуха на срезе сопла.

Другим способом снижения шума в ПСТ/ВП является профилирование отклоняющей короткой стенки. Однако этот метод применим к ПСТ/ВП со струйным управлением, основанным на использовании эффекта Коанда. На рис.2 показаны фрагменты ПСТ/ВП с прямолинейной отклоняющей стенкой и профильной.

Как следует из описания работы ПСТ/ВП со струйным управлением, недостатком является острая кромка на короткой отклоняющей стенке, создающая в области отклоненного струйного потока вторичные течения.

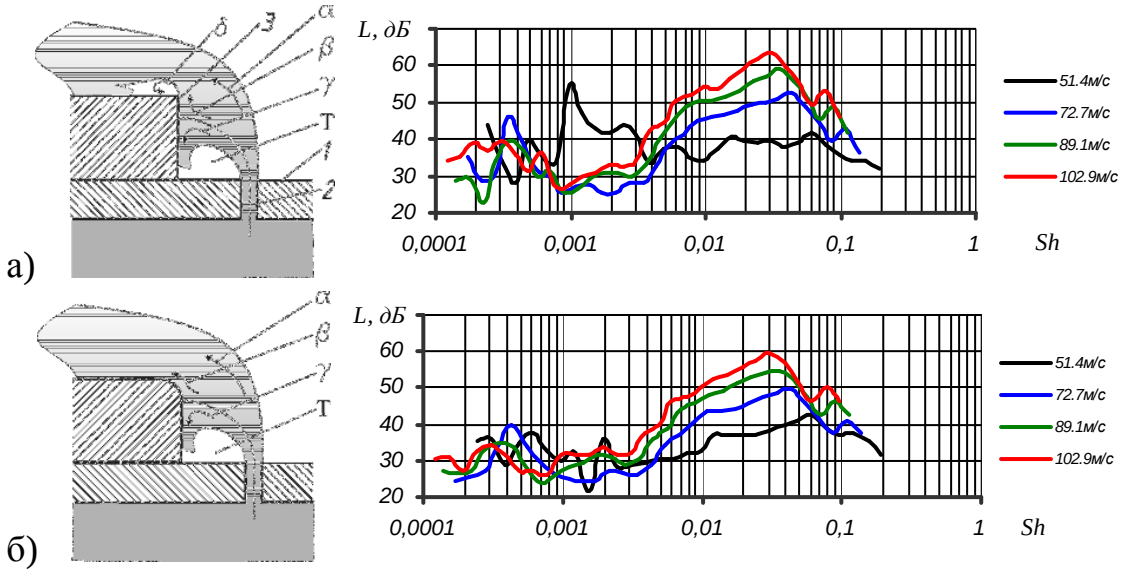


Рис.2. Фрагмент несущей поверхности ПСТ/ВП. а) – прямолинейная отклоняющая стенка, б) – профильная отклоняющая стенка. α – направление основного потока струи; β – вторичный поток; γ – эжектируемый поток; δ – зона дополнительной макротурбулентности, **T** – область пониженного давления, *1* – несущая поверхность, *2* – сопло, *3* – короткая отклоняющая стенка

На рис.2а показано, что на короткой отклоняющей стенке отклоненная струя формирует эжектируемый поток γ и вторичный поток β, который, взаимодействуя с основным потоком α, образует зону макротурбулентности δ, являющейся дополнительным источником шума. Наличие зоны δ в отклоненном струйном потоке повышает уровень турбулентности и, соответственно, уровень звука.

Для устранения зоны дополнительной турбулизации струйного потока, соответственно, снижения уровня аэродинамического шума короткая отклоняющая стенка выполнена со скругленной верхней кромкой (рис.2б).

Метод скрытия внутри конструкции ПСТ/ВП рабочих турбулентных струй дает положительный эффект при наличии на стенках ПСТ/ВП звукоизолирующих и звукопоглощающих материалов. Работа этих ПСТ/ВП также основывается на использовании эффекта Коанда.

Были проведены экспериментальные исследования по определению шумовых характеристик питающего сопла [4] для режимов его работы: режима «отсутствия транспортируемых изделий» и режима «создания воздушной подушки под транспортируемым изделием». Эффективность этого метода проявляется в том случае, когда используется звукоизоляционный и звукопоглощающий слои, устанавливаемые на стенках пневмокамеры и внутренних стенках конструкции. Кроме того, применение профильной отклоняющей стенки вместо прямолинейной в питающем сопле, также повышает эффективность этого метода в снижении уровня шума.

ПСТ/ВП с функцией стабилизации толщины воздушной подушки обеспечивают значительное уменьшение расхода воздуха и как следствие снижение уровня аэродинамического шума. Одним из устройств, способных стабилизировать толщину воздушной подушки в условиях изменяющегося удельного давления, создаваемого транспортируемыми изделиями на свою опорную поверхность, является пневмоконвейер [5], показанный на рис.3.

Этот пневмоконвейер кроме стабилизации толщины воздушной подушки обладает способностью отключать подачу воздуха при отсутствии транспортируемых изделий, что способствует устранению источников аэродинамического шума.

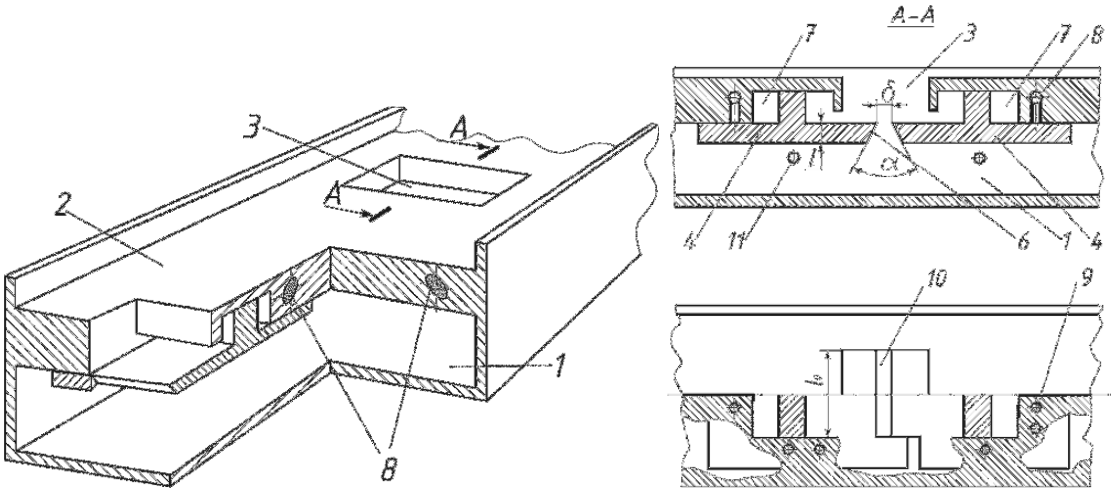


Рис.3. Пневмоконвейер с автоматической стабилизацией толщины воздушной подушки. 1 – пневмокамера, 2 – несущая панель, 3 – прямоугольные отверстия, 4 – подвижные пластины, 5 – выступ, 6 – торец подвижной пластины, 7 – камера управления, 8 – канал для подачи газовой смазки, 9 – сопло для газовой смазки, 10 – сопло, 11 – опорный штырь.

Устройство работает следующим образом. В камеру 1 подается сжатый воздух и одновременно канал 8 соединяется с пневмосистемой высокого давления. Избыточное давление, образующееся в пневматической камере 1, воздействуя на пластины 4, прижимает их к стенке 2 снизу. Наклонные поверхности торцов 6 пластин 4 образуют сопло 10. Течение между торцами 6 создает условия, при которых на пластины 4 будет действовать перепад давлений, стремящийся прижать пластины 4 друг к другу. Подача газовой смазки через каналы 8 и отверстия 9 к месту контакта нижней поверхности стенки 2 и поверхности пластин 4 обеспечит гарантированное смещение последних, благодаря чему сопло 10 закроется. Такой процесс автоматического закрытия будет происходить с каждым клапаном при создании избыточного давления в камере 1, т.е. при отсутствии транспортируемых изделий, расход воздуха из камеры 1 будет равен нулю и, соответственно, уровень аэродинамического шума будет практически нулевым.

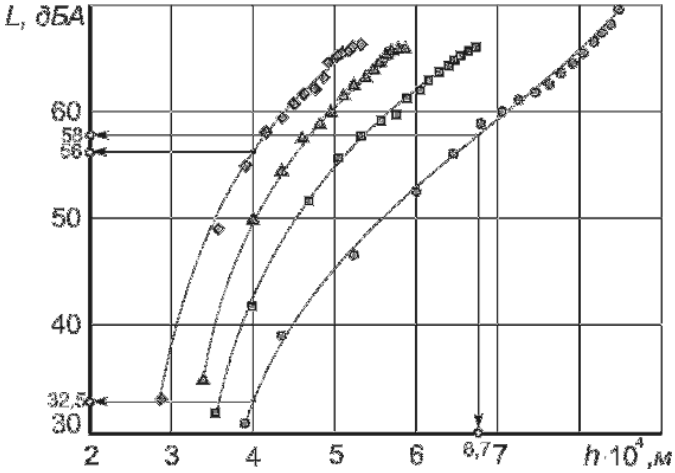


Рис.4. Экспериментальная зависимость уровня шума от толщины воздушной подушки при различных удельных нагрузках на опорную поверхность транспортируемого изделия.

● – $P_{уд}$=210 Па, ■ – $P_{уд}$=420 Па, ▲ – $P_{уд}$=630 Па, ◆ – $P_{уд}$=840 Па.

Зависимость между удельным давлением и шириной δ сопла 10 существует благодаря наличию наклонных стыкующихся поверхностей 6 пластин 4, имеющих между собой угол $\alpha > 0$, что обеспечивает сохранение толщины воздушной подушки при меняющемся удельном давлении.

Экспериментальные значения уровня аэродинамического шума одиночной затопленной воздушной струи, формируемой рабочим соплом при различных удельных нагрузках на опорную поверхность транспортируемого изделия, показаны на рис.4. На графике видно, что, например, для воздушной подушки толщиной 0,4 *мм* для изделий с удельной нагрузкой $P_{уд}$=840 *Па* уровень шумоизлучения составляет 56 *дБА*, а для изделия с удельной нагрузкой $P_{уд}$=210 *Па* будет – 58 *дБА*. При этом давление в пневмокамере для этих обеих нагрузок одинаковое, но толщина воздушной подушки для более легкого изделия будет 0,67 *мм*. Отсюда следует, если не управлять толщиной воздушной подушки, то

транспортирование более легких изделий будет и более шумным. Однако, если для изделия с $P_{уд}$=210 *Па* уменьшить подаваемый расход воздуха и, соответственно, толщину воздушной подушки до 0,4 *мм*, то уровень шума станет 32,5 *дБА*.

Таблица 2

Оценка вклада в снижение уровня шума производственных систем транспортирования на воздушной подушке от реализации различных методов

№ пп	Метод снижения уровня шума	Уровень снижения шума, *дБ*
1.	Профилирование внутреннего канала сопел – струйный поток, формируемый профилированным соплом при отсутствии транспортируемых изделий, – воздушная подушка, формируемая профилированным соплом, расположенным под транспортируемым изделием.	4÷6 16÷18
2.	Профилирование отклоняющей короткой стенки	3÷4
3.	Скрытие струйных потоков внутри конструкции систем транспортирования с использованием экранирования и звукоизоляции.	4÷5
4.	Стабилизация толщины воздушной подушки для одновременного транспортирования изделий с разной удельной нагрузкой.	12÷16

Величина снижение уровня шума ПСТ/ВП при использовании представленных выше методов показана в табл. 2.

Литература

1. Борьба с шумом на производстве [Текст]: Справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн и др.; Под общ. ред. Е.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
2. Lighthill M J. Jet noise AIAA Journal, 1963, vol 1, N 7, pp 1507—1517.
3. Мунин А.Г. Аэродинамические источники шума [Текст] / А.Г. Мунин, В.М. Кузнецов, Е.А. Леонтьев. М.: Машиностроение, 1981. 248 с.
4. Мурзинов В.Л. Метод снижения аэродинамического шума в пневмоконвейерах [Текст] // Безопасность труда в промышленности. – 2007, №3. – С.54–58.
5. Мурзинов В.Л. Снижение аэродинамического шума устройства транспортирования штучных грузов на воздушной подушке [Текст] // Безопасность жизнедеятельности. – 2007, №3. – С. 9–13.

СНИЖЕНИЕ ШУМА ПНЕВМОКОНВЕЙЕРА ПРИМЕНЕНИЕМ ЗВУКОПОДАВЛЯЮЩЕЙ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПАНЕЛИ

Асминин В.Ф., Мурзинов П.В.
Воронежская государственная лесотехническая академия
vlmurzinov@box.vsi.ru

Борьба с шумом является неотъемлемой частью безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды. Новые виды техники с форсированными параметрами по скорости, нагрузкам и т.д. часто обладают увеличенным уровнем шума [1]. Однако при проектировании новых видов техники с учётом современных требований и научных достижений обеспечивается снижение уровня шума оборудования современного производства.

В современном производстве существуют различные виды транспортных систем, среди которых присутствуют системы транспортирования штучных грузов на воздушной подушке, так называемые пневмоконвейеры (рис.1).

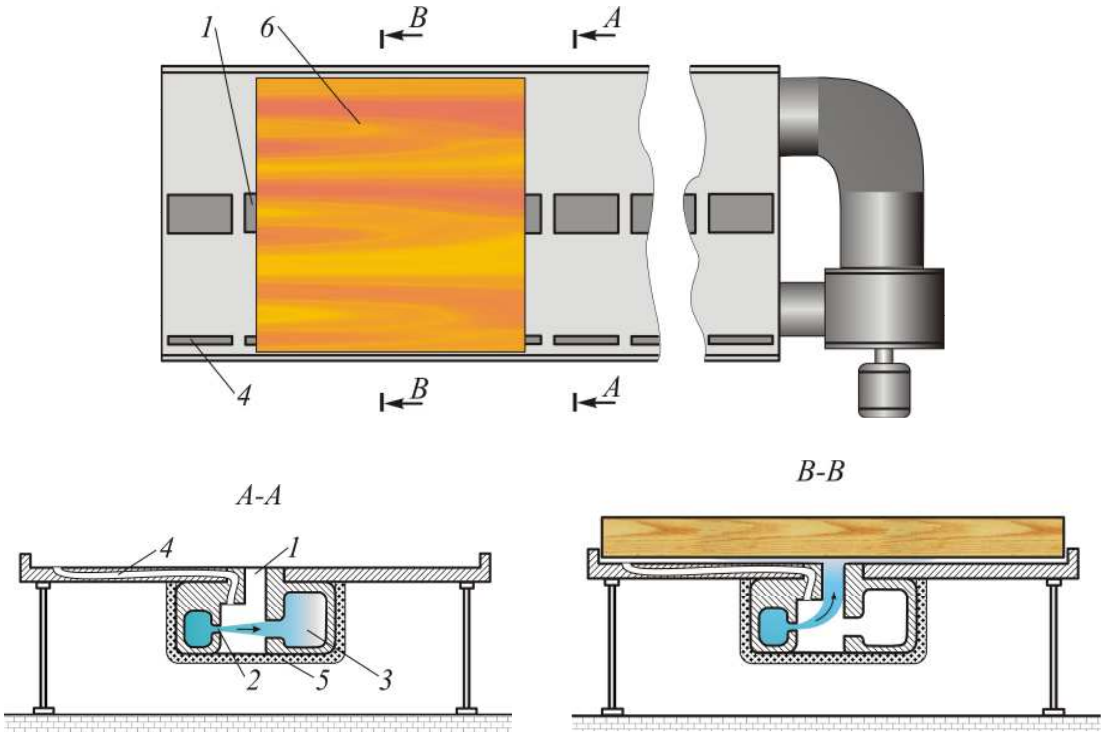


Рис. 1. Пневмоконвейер со струйным управлением. 1 – рабочее отверстие, 2 – питающее сопло, 3 – приемная камера, 4 – канал управления, 5 – звукоподавляющая облицовка, 6 – транспортируемое изделие. Сечение пневмоконвейера и положение струйного потока в режиме создания воздушной подушки под транспортируемым изделием.

К настоящему времени разработаны различные типы пневмоконвейеров с несущей воздушной подушкой. Конструкции этих пневмоконвейеров обладают низкой металлоемкостью, высокими динамическими характеристиками, позволяют совмещать операции транспортирования с технологическими операциями. При этом их работа сопровождается повышенным уровнем шума [2].

Физическая картина возникновения шума в пневмоконвейерах достаточно сложная. Аэродинамический шум, являющийся доминирующим, образован струйными потоками, в которых преобладает турбулентный режим течения [3]. Шум традиционных конструкций пневмоконвейеров складывается из аэродинамического шума открытых струй и шума струйных потоков, находящихся под изделием. Одним из методов снижения уровня шума в пневмоконвейерах является скрытие воздушных струй под их несущей поверхностью [4].

Течение воздуха в рабочих каналах несущей поверхности этого пневмоконвейера имеет два режима: нагнетание и режим холостого хода. В режиме нагнетания создается несущая воздушная подушка. В режиме холостого хода воздушная струя скрыта полностью под несущей поверхностью в рабочих каналах.

Процесс создания воздушной подушки происходит следующим образом. При отсутствии транспортируемого изделия над рабочим отверстием 1 (рис.1) струя воздуха, формируемая питающим соплом 2, распространяется прямолинейно и попадет в приемную камеру 3, по которой воздух поступает в газодувку.

Появление транспортируемого изделия над рабочим отверстием создает условия, способствующие переходу воздушной струи в отклонённое положение. Переход из одного положения в другое происходит под действием пневматического импульса, формируемого каналом управления 4.

Скрытие струйных потоков во внутренних полостях пневмоконвейера позволяет обеспечить экранирование звуковых потоков элементами самой конструкции пневмоконвейера. Однако это экранирование не всегда имеет достаточную эффективность. Для снижения уровня шума, создаваемого пневмоконвейером внешние элементы конструкции можно покрыть облицовкой из структурированной звукоподавляющей панели, конструктивная схема которой показана на рис.2.

Величину снижения шума пневмоконвейера, снабжённого звукоподавляющей облицовкой можно оценить по собственной изоляции облицовки. Согласно [1], собственная изоляция облицовки будет

$$R = 10\lg\left(\frac{1}{\tau}\right), \qquad (1)$$

где τ – коэффициент звукопроницаемости при диффузионном падении звука на облицовку. Учитывая величины давлений с противоположных сторон облицовки можно записать

$$\tau = \int_0^{\pi/2} \left(\frac{P_{np}}{P_n} \right)^2 \sin(2\theta) d\theta, \qquad (2)$$

где θ – угол падения звуковой волны относительно нормали к поверхности, P_{np} – давление в звуковой волне, прошедшей через облицовку, P_n – давление в падающей звуковой волне.

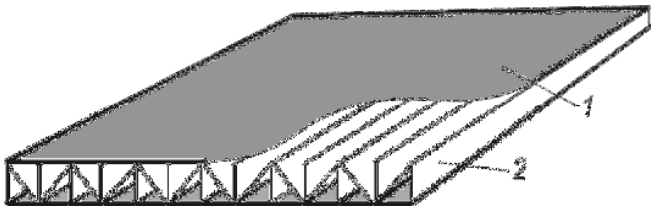


Рис. 2. Структурированная звукоподавляющая панель, используемая для облицовки. 1 – листовая панель, 2 – элемент из листового материала.

Примем допущение, что давление в падающей звуковой волне имеет линейный закон изменения от максимального значения $P_{n\text{-}max}$ при распространении волны вдоль нормали к поверхности облицовки до минимального – $P_{n\text{-}min}$ при приближении угла падения звуковой волны к $\pi/2$. Допускаемое соотношение можно представить в виде

$$P_n = P_{n-\max}\left[1-\left(1-\frac{P_{n-\min}}{P_{n-\max}}\right)\frac{2\theta}{\pi}\right] = P_{n-\max}\left[1-(1-\alpha)\frac{2\theta}{\pi}\right] \qquad (3)$$

Подставляя выражение (3) в зависимость (2) и выполняя интегрирование, получим

$$\tau = \frac{\pi^2}{2(1-\alpha)^2}\cos\left(\frac{\pi}{1-\alpha}\right)\left[\left(\mathrm{Si}\left(\frac{\pi\alpha}{\alpha-1}\right)-\mathrm{Si}\left(\frac{\pi}{\alpha-1}\right)\right)\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{\alpha-1}\right)+\left(\mathrm{Ci}\left(\frac{\pi\alpha}{\alpha-1}\right)-\mathrm{Ci}\left(\frac{\pi}{\alpha-1}\right)\right)\right] \qquad (4)$$

Принимая соотношение максимального и минимального давления в звуковой волне $\alpha = 0.01$, выражение (4) примет более простой вид $\tau = 15.07\left(\frac{P_{np}}{P_{n-\max}}\right)^2$, и подставляя его в выражение (1) определим величину изоляции облицовки

$$R = 10\lg\left[\frac{1}{15.07}\left(\frac{P_{n-\max}}{P_{np}}\right)^2\right] = -10\lg(15.07) + 20\lg\left(\frac{P_{n-\max}}{P_o}\right) - 20\lg\left(\frac{P_{np}}{P_o}\right),$$

где P_o = $2 \cdot 10^{-5}$ *Па* – среднеквадратичное звуковое пороговое давление, тогда запишем

$$R = \left(L_n - L_{np}\right) - 11.78 = \Delta L - 11.78, \quad (5)$$

где L_n – величина уровня звукового давления падающей волны на поверхности облицовки, *дБ*; L_{np} – величина уровня звукового давления прошедшей волны через облицовку, *дБ*.

Эксперименты по определению изоляции структурированной панели, используемой для облицовки, показали коррелированную зависимость величины снижения уровня звукового давления от частотного диапазона. Поэтому можно записать уравнение (5) в виде

$$R_f = \Delta L(f) - 11.78, \quad (6)$$

где f – частота ⅓-октавного спектра.

Аппроксимируя изменение величины снижения звукового давления квадратным полиномом, запишем

$$\Delta L(f) = 0.0833\xi^2 - 0.979\xi + 12.636, \quad (7)$$

где $\xi = \frac{\ln\left(\frac{f}{50}\right)}{\ln(1.2599)} + 1$. Выполняя необходимые преобразования, выражение (7) представим в виде

$$\Delta L(f) = 1.56[\ln(f)]^2 - 15.72\ln(f) + 49.1 \quad (8)$$

Окончательно зависимость (6) величины сопротивления структурированной звукоподавляющей панели от частоты в ⅓-октавных полосах будет

$$R_f = 1.56[\ln(f)]^2 - 15.72\ln(f) + 37.32 \quad (9)$$

Были проведены экспериментальные измерения величины $\Delta L(f)$ снижения уровня звукового давления при использовании структурированной звукоподавляющей панели. Результаты измерений в ⅓-октавном спектре для панели толщиной 30 *мм* показаны на рис.3, где так же представлены значения аппроксимации.

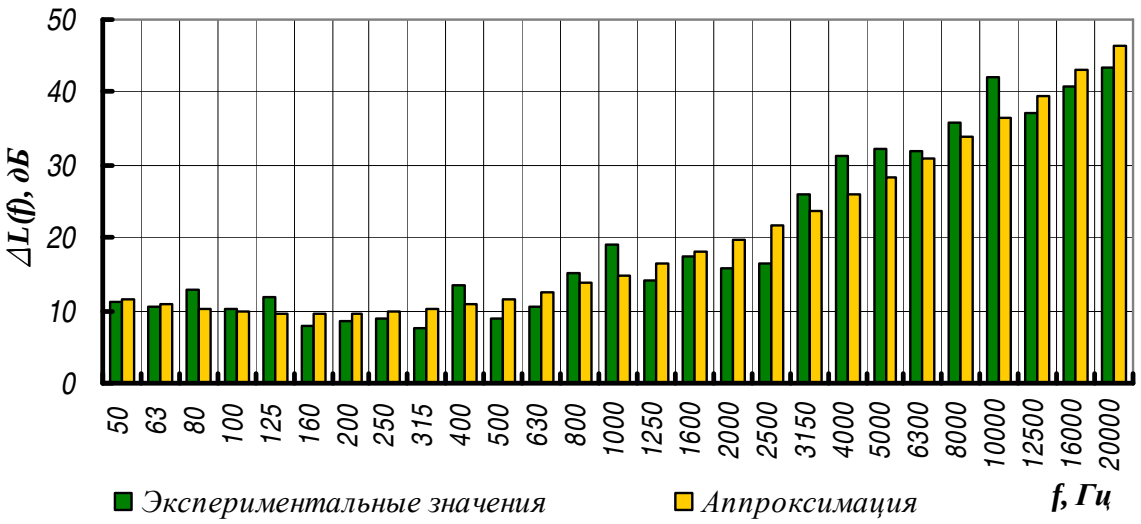


Рис. 3. Величина снижения уровня звукового давления в волне, прошедшей через структурированную панель. Аппроксимация и экспериментальные значения.

Сравнительный анализ, проведённый для определения величины снижения уровня звука для различных материалов, таких как гофрированная картонная панель, древесно-стружечная панель, пенопласт и звукоподавляющая структурированная панель показал, что последняя обладает лучшим комплексным показателем

$$\frac{\Delta L}{\nu},$$

где ΔL – величина снижения звукового давления, ν – масса панели, приходящаяся на один квадратный метр её поверхности. Сравнительные показатели представлены на рис.4.

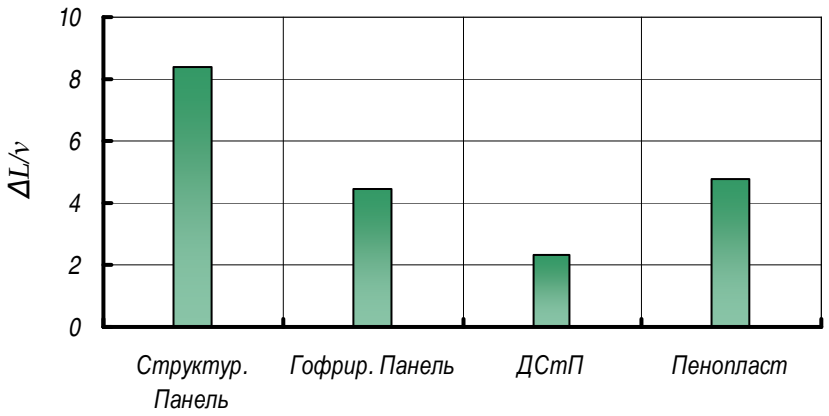


Рис. 4. Величина $\Delta L/\nu$, характеризующая снижение уровня звукового давления для звуковой волны, прошедшего через структурированную панель, гофрированную картонную панель, древесно-стружечную панель (ДСтП) и пенопласт

Рассмотренная звукоподавляющая структурированная панель позволяет эффективно снижать аэродинамический шум в устройствах пневмотранспортирования на воздушной подушке. В результате обработки экспериментальных данных получена аппроксимация снижения величины звукового давления в ⅓-октавном спектре звукоподавляющей структурированной панелью.

Литература

1. Борьба с шумом на производстве: справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн и др.; Под общ. ред. Е.Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
2. V. Asminin. Reduction of noise in pneumatic conveyors [Текст]/ V. Asminin, V. Murzinov, P. Enin// Proceedings of the Eleventh International Congress on Sound and Vibration. – St. Petersburg, Russia, 5-8 July 2004. – pp. 2199 – 2204. – ISBN 5–7325–0816–3
3. Мунин А.Г. Аэродинамические источники звука / А.Г. Мунин, В.М. Кузнецов, Е.А. Леонтьев. – М.: Машиностроение, 1981. – 248 с.
4. Мурзинов В.Л. Метод снижения аэродинамического шума в пневмоконвейерах // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – №3. – С. 54 – 58.

ГРОМКОСТЬ И ВРЕДНОСТЬ ШУМА

Денисов Э.И. [1], *Степанян И.В* [2].
НИИ медицины труда РАМН, г. Москва (1)
Московский государственный горный университет, г. Москва (2)
denisov28@yandex.ru

Историческая справка

Шум – нежелательный звук и эта проблема является одной из старейших в медицине труда и окружающей среды. Еще Плиний Старший (23-79 г.г. н. э.) в «Естественной истории» описал глухоту у рыбаков, живших и ловивших рыбу вблизи порогов и водопадов Верхнего Нила, т.е. подвергавшихся круглосуточному воздействию шума (Rosen G., 1974).

Люди издавна размышляли о природе слуха. Римский поэт и философ Тит Лукреций Кар (ок. 99—55 до н. э.) в поэме «О природе вещей» писал:

Слышится, прежде всего, всякий звук или голос, как только
В уши проникнув, своим они телом нам чувства затронут.
Ибо и голос, и звук непременно должны быть телесны,
Если способны они приводить наши чувства в движенье….

Он постулировал модель слуха, по которой разные тоны воспринимаются крупицами песка во внутреннем ухе; это как бы основы «корпускулярной теории звука», предвосхитившей фононы современной квантовой акустики [6].

Модели слуха

Сводка основных теорий слуха приведена в табл. 1.

Таблица 1

Основные теории слуха

Локализация	Теория (автор)	Основные положения теории	Источник
Периферический анализ	Акустический закон Ома (1843)	Простейшее слуховое ощущение вызывается гармоническими колебаниями, на которое ухо разлагает сложные звуки	Ohm G.S. Ann. Phys. (Leipzig), vol. LIX, p.513, vol. LXII p.1
	Резонаторная (Гельмгольц Г., 1863)	Базилярная мембрана состоит из «струн» разной длины и натянутости, которые резонируют на соответствующие частоты	Helmholtz H. On the sensation of tone. New-York: Dover, 1954.
	Бегущей волны (Бекеши Г., 1928)	Звуковая волна, проходя по перилимфе, вызывает колебания базилярной мембраны в виде бегущей волны. В зависимости от спектра звука максимальный изгиб мембраны происходит на ограниченном участке	Bekesy G. von Zur Theorie des Horens. Die Schwingungsform der Basilarmembran // Physik. Z., 1928, 29, 793-810.
	Физиологического резонанса клеток	Сенсорные клетки Кортиева органа обладают различной лабильностью и реагируют на разные частоты звуковых волн	Ухтомский А.А. Очерк физиологии нервной системы. Собр. соч., т. 4, 1945
Центральный анализ	Эвальд И.	Анализ звуковых волн происходит на уровне головного мозга	Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии. СПб: Изд-во "Питер", 2000
	Френкель Я. И.	Релаксационная теория	ДАН, новая серия, 1943, №4
Дуалистический подход	Ржевкин С.Н., 1960	Анализ низкочастотных звуков происходит на уровне головного мозга, высокочастотных – на уровне улитки	Слух и речь в свете современных физических исследований. М–Л, 1936.

Функции и динамика звеньев слухового анализатора

В табл. 2 приведены структура и функция системы преобразования акустических сигналов и формирования биологических эффектов, а также временная иерархия по представлениям физиологической акустики [5, 6] с учетом аппаратурной реализации при оценке разных видов шумов [3, 4].

Таблица 2

Функции и динамика звеньев слухового анализатора

Анатомическое образование	Функция (биомеханиче ская, физиологическая или психофизиологическая)	Постоянная времени (τ)	Временная характеристика шумомера
Наружное ухо Среднее ухо Внутреннее ухо	Передача звуковой энергии и ее преобразование	50 мкс 35 мкс 30 мкс	«пик»
Слуховая зона коры головного мозга	Громкостное восприятие и распознавание звуковых образов (громкостная адаптация)	40 мс	«импульс»
Мышцы среднего уха	Акустический рефлекс (защита внутреннего уха изменением импеданса среднего уха)	300 мс	«быстро» «медленно»
Звуковой анализатор в целом	Формирование ВСП слуха (снижение слуховой чувствительности за счет повышения порога слуха)	5 мин	Эквивалентный уровень звука или доза шума

На периферии анализатора постоянная времени очень мала, порядка 30-50 мкс и внутреннее ухо беззащитно перед очень короткими импульсами типа выстрелов, которые могут вызывать острые эффекты вплоть до акутравмы. Громкостное восприятие сигналов и распознавание их образов происходит медленнее на три порядка величины. Акустический рефлекс, т.е. сокращение мышцы стапедиус для защиты внутреннего уха от коротких громких звуков с уровнями выше 85 дБ, происходит еще медленнее на один порядок (около 300 мс).

При длительном действии громкого звука происходит снижение слуховой чувствительности с постоянной времени около 5 мин, т.е. медленнее еще на 3 порядка величины. Таким образом, звенья анализатора, выполняющие разные функции, обладают динамикой, которая различается на много порядков; неспецифические эффекты формируются через несколько лет экспозиции шума [1, 2, 3, 7].

Феноменология восприятия и воздействия шума

Известно [5], что с помощью зрения человек получает 85% информации об окружающем мире, а с помощью слуха – лишь 10%. Но если глаза можно закрыть в любое время и отдохнуть, то функция слуха активна круглосуточно, что может приводить к утомлению анализатора, а при высоких уровнях и длительности – к нарушениям здоровья. Экспозиция шума есть энергоинформационный процесс: роль информации преобладает при малых уровнях, энергии – при высоких (критерий вредности по ауральным эффектам – 80-85 дБА).

Физиологическая акустика изучает восприятие, в основном, желательных звуков (речи, музыки, сигналов); необходимо формирование гигиенической (по существу патофизиологической) акустики как самостоятельного раздела науки, изучающей вредное влияние шума на человека с целью его защиты (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение особенностей физиологической и гигиенической акустики

Показатели	Физиологическая акустика	Гигиеническая акустика
Класс явления	Восприятие (непосредственные эффекты кратковременного действия)	Воздействие (непосредственные и отдаленные эффекты хронического действия)
Основные эффекты	Неприятность, мешающее, раздражающее действие	Временное (ВСП) и постоянное (ПСП) смещение порога слуха, экстрааауральные эффекты
Критерии оценки	Субъективная громкость, шумность	Объективная вредность (нарушения здоровья)
Амплитудная характеристика	Логарифмическая по закону Вебера-Фехнера, порог 0 дБ	Линейная по дозе, порог вредности 80 дБА*
Частотная характеристика	Кривые равной громкости, шумности	Не уточнена
Временная характеристика	Секунды – минуты ($\tau \sim 40$ мс)	Часы-годы ($\tau \sim 5$ мин)
Адекватный показатель оценки эффектов	Громкость или уровень звука $6 < q < 10$	То же и доза шума ($q = 3$)

* в зависимости от вида жизнедеятельности, например, от 50 дБА при высокой степени нервно-эмоциональной нагрузки на работе

Если восприятие отражается законом Вебера-Фехнера по логарифмической шкале (или степенной функции С. Стивенса, что не меняет дела) [5, 6], то воздействие определяется дозой [4]. Из-за различия временных и амплитудных масштабов различаются и показатели адекватной оценки эффектов: при восприятии ими являются громкость и шумность при параметре эквивалентности уровня и времени $q = 6\text{-}10$, а при действии – дозные характеристики со значением $q = 3$ и менее для очень высоких уровней [4, 11].

Гигиенические нормативы

С 1956 г. в стране действуют первые в мире санитарные нормы шума на рабочих местах №205-56, разработанные Ленинградским институтом охраны труда (Славин И.И., 1956), затем появились нормы коммунальных шумов. В этом заслуга, прежде всего ленинградской и московской школ гигиенистов (Навяжский Г.Л., 1948; Орлова Т.А., 1958, 1965; Аркадьевский А.А., 1965; Андреева-Галанина Е.Ц., Алексеев С.В., Кадыскин А.В., Суворов Г.А., 1972; Шкаринов Л.Н., 1973; Карагодина И.Л., 1979; Меньшов А.А. с соавт., 1980 и

др.). Была развита концепция шумовой болезни [1], на смену которой пришла концепция специфического и неспецифического действия шума или ауральных и экстрааауральных эффектов, т.е. шума как фактора риска [4, 7].

Однако серьезной проблемой является доказательность эффектов: хорошо изучены ауральные эффекты – есть стандарт ИСО 1999:1990 по оценке потерь слуха от шума, меньше изучены экстрааауральные со стороны соматической и особенно психической сфер.

Экстрааауральные эффекты можно подразделить на [2]:

– сенсорно-информационные (громкость, шумность, неприятность, маскировка речи и звуков – ТВ, радио и др.);
– вегетативно-соматические реакции (повышение АД, учащение пульса, нарушение сна и др.); реакция пробуждения и испуга (arousal-reaction);
– влияние на плод и здоровье детей, задержка в развитии;
– психосоциальные (агрессия, депрессия, суицидальные настроения).

В целом при уровнях ниже 80 дБА темп прироста жалоб населения составляет 2 %/дБА, а при высоких уровнях – потерь слуха 1,5 %/дБА и соматических эффектов 0,5 %/дБА, т.е. жалобы – более чувствительный индикатор, чем специфические показатели реакции анализатора или неспецифические нарушения здоровья.

Импульсные и постоянные шумы

Различие их действия выявлено при высоких уровнях. Так, для анализа ПСП слуха от импульсных и постоянных шумов у рабочих шумных профессий были применены нейросетевые модели Кохонена и установлено различие эффектов по времени становления [9]. Изучена также роль пиковых уровней и числа импульсов в формировании потерь слуха у кузнецов; работа получила приз лучшей публикации года в этом гигиеническом журнале США [11].

В населенных местах проблема импульсных шумов возникает, например, при строительстве (взрывные работы, забивка свай и т.п.) и для их оценки могут быть использованы модели комбинаторики импульсов [10]. В этой связи следует особо отметить проводимую БГТУ разработку проекта ГОСТ на методы определения шума от стройплощадок.

Суточная доза шума

Известны показатели шума за сутки – эквивалентный уровень $L_{экв24}$ и L_{dn} – то же с поправкой на ночное время − 10 дБА. Но это показатели качества жилья или нагрузки на неработающее население (детей, пенсионеров и др.). Для работающего населения предложена суточная доза шума $ДШ_{сут}$ [2, 12], которая учитывает 3 вида жизнедеятельности: работу, отдых, сон. Она основана на учете уровней бодрствования и активации ЦНС, а также адаптационной энергии по Г.Селье. Суточная доза позволяет манипулировать в разумных

пределах акустической энергией за сутки для оптимизации шумового воздействия снижением той или иной компоненты и оценивать общий эффект.

Нерешенные проблемы и перспективы

Субъективная громкость и объективная вредность – детерминанты шума как нежелательного звука. О возрождении интереса к громкости свидетельствует разработка проекта стандарта ИСО по методам ее расчета (ISO/WD 531-1) взамен стандарта ИСО 532:1975. В проекте пересмотра стандарта за основу принята модель Мура-Глазберга [8], сходная с моделью Цвиккера, но значительно сложнее простой инженерной модели Стивенса [10]; проектом предполагается компьютерная поддержка расчетов громкости.

Назрела необходимость создания гипотезы или таксономии вредного влияния шума и выявления зависимостей «доза – эффект» для построения обобщенной теории восприятия и воздействия шума как научной основы гигиенической акустики – нового раздела акустики, изучающего акустический дискомфорт от шумового загрязнения и медико-социальные последствия для сохранения здоровья и благополучия населения.

Во Франции, где для населения городов шум является четвертым (после проблем зарплаты, отношений на работе и семейных проблем) фактором качества жизни, говорят: Le bruit nuit à la qualité de la vie (шум вредит качеству жизни). Поэтому борьба с шумом – борьба за качество жизни. Отметим, что рекомендация МОТ №171 «О ночном труде» (1990) предлагает работодателям содействовать работникам в звукоизоляции домов и оборудовании жилых комплексов для снижения шума. Это усиливает правовые основы требований населения по ограничению шума.

Шум – вечный фактор и проблему надо решать на благо нас и потомков. Роберт Кох отмечал: «Настанет время, когда человечество будет расправляться с шумом также решительно, как оно расправляется с холерой и чумой».

Литература

1. Андреева-Галанина Е.Ц., Алексеев С.В., Кадыскин А.В., Суворов Г.А. Шум и шумовая болезнь. – Изд-во «Медицина», Ленинградское отд., 1972. – 303 с.
2. Денисов Э.И., Чесалин П.В. Неспецифические эффекты воздействия шума // Гиг. и сан. – 2007. – №6. – С.54-56.
3. Карагодина И.Л. Борьба с шумом и вибрацией в городах. – М.: Медицина, 1979. – 160 с.
4. Суворов Г.А., Шкаринов Л.Н., Денисов Э.И. Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций. – М.: Медицина, 1984. – 240 с.
5. Цвиккер Э., Фельдкеллер Р. Ухо как приемник информации. М.: ИИЛ, 1971.

6. Шрёдер М.Р. Модели слуха // Proc. IEEE. – 1975. – V. 63, N9, pp.1332-1350 (рус. пер.: Труды ИИЭР. – 1975. - №9. - С.78-101).
7. Community noise. Ed. by B.Berglund & T.Lindvall. Doc. prepared for the WHO. – Arch. Center Sensory Res. V.2, Issue 1, 1995. – Stockholm, 1995. – 204 pp.
8. Moore B.C.J., Glasberg B.R. Modeling binaural loudness // J. Acoust. Soc. Amer. – 2007. – Vol. 121. - P. 1604-1612.
9. Shkundin S., Denisov E.I., Stepanian I., Volgariova A. Prospects of neural networks in noise assessment. In: Proc. EuroNoise 2006, SS 13-492, 30 May – 1 June, Tampere, Finland.
10. Stevens S.S. The measurement of loudness // J. acoust. soc. Amer. – 1955. – Vol.27. – N5. – P.458-462.
11. Suvorov G., Denisov E., Antipin V., Kharitonov V., Starck J., Pyykko I., Toppila E. Effects of peak levels and number of impulses to hearing among forge hammering workers // Appl. Occup. Environm. Hyg. – 2001. – V.16, № 8. – P.816-822.
12. Suvorov G., Denisov E. 24-h noise dose and risk assessment // Appl. Occup. Environm. Hyg. – 2003. – V.18. – N4. – P.232-233.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ЗАВОДА "АРКТОС"ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПОВЫШЕННОГО ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Вельбель А.М., Щеглов А.В.
Арктос
velbel@arktos.ru

Основной задачей систем вентиляции и кондиционирования воздуха является обеспечение комфортных условий среды в месте пребывания человека, то есть эти системы должны обеспечивать, как оптимальные условия самой воздушной среды (допустимые отклонения температуры в рабочей зоне, допустимая подвижность воздуха, предельно-допустимая концентрация вредных веществ, нормируемая относительная влажность воздуха), так и минимальное шумовое воздействие на человеческий организм. Оценка степени воздействия вентиляционного оборудования на параметры воздушной среды производится с помощью различных аэродинамических характеристик (нормируемый расход приточного воздуха, в т.ч. наружного, температура приточного воздуха, избыточная температура воздуха на притоке, интенсивность затухания температуры и скорости на притоке, дальнобойность приточного потока и т.д.), а оценка возможности этого оборудования минимизировать шумовое воздействие на человека, соответственно, с помощью различных акустических характеристик. Все эти характеристики определяются в ходе аэродинамических и акустических испытаний, для проведения которых необходимо наличие специальных испытательных стендов. Проведение таких испытаний необходимо не только для получения численных значений этих характеристик, которые используются при расчете и проектировании систем вентиляции. Результаты акустических испытаний используются, как для разработки новой, так и постоянной модернизации уже выпускаемой продукции с целью обеспечения комфортных условий среды обитания человека.

Именно этой цели и служит лабораторный комплекс завода «Арктос», введенный в строй в 2006 году и оснащенный самым современным измерительным оборудованием. Основу акустического стенда данного комплекса составляет заглушенная камера со звукоотражающим полом, размерами 8,5х4,5х4,5 м. Особенностью данной камеры является то, что в ней имеется возможность подачи воздуха с регулируемой величиной его расхода. Причем приточный вентилятор может работать как в режиме нагнетания, так и в режиме вытяжки.

Особенностью большинства элементов систем вентиляции и кондиционирования с точки зрения акустики является то, что они одновременно

являются устройствами, как непосредственно генерирующими шум при прохождении через них потока воздуха, так и снижающими шум, распространяющийся по вентиляционной сети. Задачей акустических испытаний является определение, как параметров излучения, так и затухания звука. Соответственно и измерительный акустический комплекс должен быть многофункциональным.

Следует отметить, что излучение источника характеризуют не только уровни звуковой мощности, определением которых, как правило, и ограничиваются при проведении акустических измерений, но и такой параметр, как показатель направленности излучения, определению которого в практике акустических измерений, в настоящее время, на наш взгляд, не уделяется должного внимания. А между тем он присутствует во всех методиках, описывающих процедуру акустических расчетов. В то же время, например, создание воздухораспределителей, имеющих отрицательный коэффициент направленности в направлении геометрической оси, то есть в направлении минимального расстояния до объекта, подвергающегося шумовому воздействию, позволяет уменьшить уровень этого воздействия и, соответственно, сократить затраты на мероприятия по шумозащите. (Например, на заводе «Арктос» разработаны воздухораспределители – АМР 300х300М, имеющие показатель направленности в направлении геометрической оси в области высоких частот от -4 до -7 дБ).

Таким образом, акустический стенд испытательного центра завода "Арктос" позволяет проводить измерения точным методом уровней звуковой мощности различных машин и механизмов, а также вентиляционных устройств при различных режимах их функционирования, определять показатель направленности излучения и измерять величину снижения шума различными элементами вентиляционной сети, в том числе и диссипативными глушителями шума.

Измерение акустических характеристик вентиляционного оборудования имеет свои особенности (очень низкий уровень излучаемого шума, значительное влияние на микрофон ветровой нагрузки, неопределенность понятия фонового шума). По этой причине применение ГОСТов «общего назначения», регламентирующих процедуру определения акустических характеристик машин и оборудования в заглушенной камере в «целом» (ГОСТ 31273-2003) в этом случае не всегда возможно. Это обстоятельство вызвало необходимость в разработке стандарта, который бы учитывал специфику проведения акустических измерений вентиляционных устройств. Такой стандарт был разработан на заводе «Арктос». Это ГОСТ Р 52987-2008 «Акустика. Определение шумовых характеристик воздухораспределительного оборудования. Точные меры для заглушенных камер». При разработке данного стандарта учитывался опыт проведения измерений на акустическом стенде завода «Арктос», полученные нами зависимости влияния различных факторов на точность проведения измерений.

Акустический стенд служит не только для измерения акустических характеристик выпускаемого заводом оборудования с целью представления полученной информации проектировщикам и расчетчикам систем вентиляции и кондиционирования. Значительное место занимают работы связанные с исследование причин шумообразования, выявлением основных путей распространения звуковой энергии и вклада различных источников или элементов конструкции в формирование звукового поля. Используемая в качестве измерительной система анализа «PULSE» фирмы «Брюль и Къер» позволяет проводить различные виды анализа звукового поля: октавный, третьоктавный, узкополосный, кепстральный, корреляционный и т.д. Проводимые исследования позволяют заводу постоянно улучшать акустические параметры выпускаемой продукции – теплового и воздухораспределительного оборудования.

А это в свою очередь позволяет оптимизировать параметры воздушной среды и акустическую обстановку в помещениях различного типа (производственных, жилых и общественных), то есть в тех местах, где человек проводит большую часть своей жизни.

СИНТЕЗ МНОГОСЛОЙНЫХ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Щевьев Ю.П.
Государственный институт кино и телевидения
noise2009@ntc-ecology.ru

Однородный звукопоглощающий материал обладает малым звукопоглощением на низких звуковых частотах. Достижение высокого звукопоглощающего эффекта возможно лишь при значительном увеличении толщины материала, сравнимой по величине со значением длины упругих волн, распространяющихся в последнем.

Применение многослойных конструкций позволяет достигать высокого звукопоглощения при относительно небольших габаритах звукопоглотителя в широком диапазоне частот. При распространении упругих волн в многослойных структурах происходят многочисленные переотражения волн на поверхностях, находящихся рядом составляющих слоев, выполненных на основе материалов, обладающих разными волновыми сопротивлениями. В результате создается сложная интерференционная картина поля в многослойной конструкции. Механизм переотражений способствует увеличению «эффективной» толщины конструкции, обеспечивая низкочастотное звукопоглощение при относительно невысоких толщинах композитной системы.

Синтез многослойных конструкций состоит в определении волновых и геометрических параметров элементарных слоев, обеспечивающих наперед заданную частотную характеристику коэффициента звукопоглощения (или коэффициента отражения, либо входного акустического сопротивления) композиции слоев, составленных определенным образом.

Известны методы синтеза акустических структур, свойства которых (скорость волны и плотность) меняются непрерывно. В работах [1-3] использован аппарат теории оптимального управления, позволяющий решить задачу определения закона изменения свойств неоднородного материала, обеспечивающего заданную акустическую характеристику монохроматической волны.

В работе [4] разработана теория синтеза, основой которой является решение обратной задачи восстановления переменного волнового сопротивления неоднородной среды по наперед заданной частотной характеристике коэффициента отражения.

Оптимизационная задача при дискретных свойствах элементарных слоев имеет ряд существенных отличий от традиционно рассматриваемых в теории оптимального управления. Эти особенности заключаются в следующем:

1. Фазовые переменные претерпевают разрывы на границах раздела слоев, причем величина разрывов зависит от управляющих параметров, каковыми служат физические свойства материалов по обе стороны разрыва.

2. Множество значений управляющих параметров дискретно.
3. Разные физические свойства конструкционных материалов связаны между собой нелинейной зависимостью, что приводит к нелинейности гамильтониана по управлению и, следовательно, к усложнению возможных оптимальных решений.

Такие особенности потребовали привлечь для вывода необходимых условий оптимальности аппарат игольчатых вариаций управления, т.е. вариаций конечной величины, заданных на множестве малой меры. Полученные необходимые условия обобщают принцип максимума Л.С. Понтрягина на многослойные системы.

Путем теоретического анализа вывели ряд отличительных свойств оптимальных многослойных систем. В частности, удалось доказать конечность числа слоев оптимальной конструкции, получить оценки этого числа. Для тех случаев, когда в распоряжении конструктора имеется большой набор материалов, анализ необходимых условий оптимальности дает правила, по которым можно выделить подмножество материалов из этого набора, пригодное для создания оптимальной системы.

На базе этих необходимых условий оптимальности построены эффективные численные процедуры расчета оптимальных конструкций, обеспечивающие достижение локального экстремума. Эти процедуры допускают включение в постановку задачи различного рода дополнительных ограничений, таких как ограничения на вес, стоимость, предельное число слоев и т.д.

В работе [5] решена задача определения структуры многослойной системы, при которой функциональные характеристики волнового процесса на выходе из системы были бы наиболее близки к требуемым.

В работе [6] дан пример расчета многослойной композиции, обладающей оптимальными звукоизолирующими и теплоизолирующими свойствами в широком диапазоне частот.

Литература

1. Мачевариани М.М., Миронова В.Д. Минимизация толщины неоднородного поглощающего слоя. -ПМТФ, №1, 1973.
2. Мачевариани М.М., Миронова В.Д. Оптимальное распределение показателя преломления в неоднородном слое. - Акустический журнал, №4, 1975.
3. Лурье К.А., Мачевариани М.М. Минимизация толщины неоднородного согласующего слоя. - ПМТФ, №1, 1969.
4. Щевьев Ю.П. Физические основы архитектурно-строительной акустики. -С.-Петербург, 2001.
5. Бабе Т.Д., Гусев Е.Л. Математические методы оптимизации интерференционных фильтров. -М., 1987.
6. Щевьев Ю.П. Аналитические методы расчета шумозащитных конструкций. -С.-Петербург, Политехника, 2002.

АКУСТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

Субботина Т.О.[1], *Бурак В.Е.*[2]
Брянский филиал ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по железнодорожному транспорту» (1)
Московский государственный университет путей сообщения (Брянский филиал МИИТ) (2)
web_b@rambler.ru

Характерной особенностью железнодорожного транспорта является повышенное акустическое загрязнение окружающей среды, рабочих мест персонала наземных служб и подвижного состава, а также мест пребывания пассажиров.

Актуальность исследований обусловлена уровнем современных требований к комфорту пассажиров и обслуживающего персонала.

Конструкционные особенности пассажирских вагонов предусматривают соответствие «Санитарным правилам по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте» (СП 2.5.1198-03). Однако, в процессе формирования составов и при эксплуатации вагонов, возникают технические проблемы, обусловленные старением вагонов, децентровкой, дефектами пути и т.п., что приводит на практике к ухудшению акустического режима. Кроме того, неблагоприятное воздействие на состояние шумового фона оказывают отдельные пассажиры во время передвижений по вагону, громких разговоров, в также при использовании индивидуальных аудиосистем.

Цель исследований – установить уровень шумовой нагрузки на проводников и пассажиров в технологическом режиме эксплуатации различных типов пассажирских вагонов.

Замеры осуществлялись во время движения:

– фирменном скором поезде № 99/100 «Иван Паристый», следовавшем по маршруту Москва-Брянск 09-10.10.2008 г анализатором звука и вибрации SVAN 912 AE № 2618. Погрешность измерения уровня акустического давления в диапазоне от 70-130дБА < ±0,4дБ. Замеры проводились в тамбурах вагонов, в рабочих и пассажирских купе;
– в скором поезде № 85/86 Брест-Волгоград, курсировавшем по маршруту 16.03.2008 г. Измерение уровня шума проводили в предпоследнем купе при закрытом окне и двери на уровне 0,8 м от пола измерителем уровня звука АТТ-9000. Погрешность измерений ± 1,5дБ.

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (п.6.2) нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные (по энергии) $L_{Аэкв.}$, дБА и максимальные уровни звука $L_{Амакс.}$, дБА. Причём оценка непостоянного шума относительно допустимых значений должна проводиться одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука. Превышение одного из

показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным нормам. В п.5.2 указанных СН отмечено, что характеристикой непостоянного шума **на рабочих местах** является эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА. В таблице 2 для помещений персонала вагонов поездов дальнего следования, служебных и т.п. помещений установлен норматив в 60 дБА.

В «Санитарных правилах по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте» (СП 2.5.1198-03) уточнено, что уровни звукового давления не должны превышать для пассажирского купе 60 дБА, для тамбуров 68 дБА, для межвагонных переходов 80 дБА, в помещениях, расположенных над тележками, 65 дБА.

Для обеспечения корректности и сопоставимости данных, нами дополнительно осуществлялось измерение минимального уровня шума, $L_{Амин.}$, дБА.

Результаты исследований

Анализ результатов замеров осуществлялся путём сравнения с допустимыми уровнями по СП 2.5.1198-03, а также методом ранжированного ряда.

Было установлено, что в 20% вагонах акустический режим по уровню эквивалентного звука выходит за границы, установленные нормативами. В первую очередь это касается рабочих и нерабочих тамбуров, где превышение составляло 8,0-10,0 и 11,0-13,0 дБА соответственно. Неблагоприятный акустический режим в рабочем купе проводника был зарегистрирован в одном купейном вагоне.

Для получения более объективной информации, по полученным данным был построен ранжированный ряд и осуществлена группировка вагонов по уровню акустического загрязнения (таблица 1).

Таблица 1

Результаты замеров шума в вагонах пассажирского поезда, дБА

Тип вагона	**Ранжир группа**	**Рабочий тамбур**			**Нерабочий тамбур**			**Рабочее купе**		
		$L_{Амакс.}$	$L_{Аэкв.}$	$L_{Амин.}$	$L_{Амакс.}$	$L_{Аэкв.}$	$L_{Амин.}$	$L_{Амакс.}$	$L_{Аэкв.}$	$L_{Амин.}$
СВ**	X_1	79,0	*76,0**	74,0	80,0	*79,0*	75,0	81,0	64,0	61,0
К***	X_1	79,5	*78,0*	72,5	83,5	*81,5*	76,5	71,5	*66,5*	65,0
$X_{1ср}$		**79,3**	***77,0***	**73,3**	**81,8**	***80,3***	**75,8**	**76,3**	***65,3***	**63,0**
К	X_2	65,8	62,8	57,3	66,5	64,5	58,5	59,0	54,3	51,3
ПК****	X_2	63,1	59,0	53,1	61,3	57,3	53,4	54,0	48,8	46,0
$X_{2ср}$		**64,5**	**60,9**	**55,2**	**63,9**	**60,9**	**56,0**	**56,5**	**51,6**	**48,7**
$X_{1-2ср.}$		67,1	63,7	58,2	66,9	63,9	59,3	57,8	52,0	48,5
ДУ		-	68,0	-	-	68,0	-	-	65,0	-

* - курсивом выделены значения, превышающие допустимые уровни (ДУ);
** - спальные вагоны;
*** - купейные вагоны;
**** - плацкартные вагоны.

Оказалось, что все вагоны поезда можно разделить на две группы, принципиально отличающиеся друг от друга по уровню шума на рабочих местах проводника.

Первую группу (x_1) образуют спальные вагоны и часть купейных вагонов. Для них характерно, как указывалось выше, превышение допустимого уровня по эквивалентному звуку. Кроме того, крайне велики значения максимального уровня шума, часто достигающие 80,0 и более дБА. Уровень минимального шума в тамбурах превышает норматив по эквивалентному шуму. Исходя из представлений о безопасности жизнедеятельности, подобный акустических режим недопустим для рабочего места любого работника в т.ч. проводника, подверженного действию иных многочисленных вредных и опасных факторов.

Вторую группу (x_2) составляет часть купейных вагонов и все плацкартные вагоны, в которых нет случаев превышения допустимых уровней ни по одной точке замеров шума на рабочих местах проводников. Более того, уровень максимального шума в рабочих тамбурах ниже, чем в аналогичных точках вагонов первой группы на 14,8 дБа, в нерабочих на 20,5 дБа, а в рабочих купе на 19,8 дБА. Уровень минимального шума ниже в среднем на 14,3-19,8 дБА. Т.е. в вагонах второй группы созданы благоприятные условия по исследуемому параметру для деятельности персонала.

Безусловный интерес вызывает акустическое состояние вагонов первой группы с учётом их высокой классности – спальные и часть купейных вагонов. Учитывая то, что указанные вагоны относятся к новым сериям, конструкционные особенности которых предполагают создание благоприятных акустических условий, можно предположить, что повышенный уровень шума создаётся из-за децентровки вагонов при формировании поезда. Выбор более благоприятного сочетания вагонов по условиям центровки и соответственно по уровню шума возможен эмпирическим методом, вполне приемлемым для одного поезда.

В **купейных** вагонах указанного фирменного скорого поезда была произведена оценка акустического режима пассажирского и иных видов специализированных помещений (таблица 2).

Таблица 2

Акустический режим помещений купейных вагонов, дБА

Тип помещения	**Ранжированная группа**	$L_{Амакс.}$	$L_{Аэкв.}$	$L_{Амин.}$
пассажирское	x_1	68,5	*66,5*	60,5
	x_2	56,5	49,0	44,5
инвалидное	-	51,0	50,0	47,0
буфет	-	53,0	50,0	48,0
штабное	-	36,0	33,0	32,0
ДУ		-	60,0	-

Было установлено, что в пассажирских купе благоприятный акустический режим по эквивалентному уровню звука характерен только для купейных вагонов второй ранжированной группы. В иных помещениях эквивалентный

уровень звука находится в пределах нормы. Наиболее благоприятный акустический режим характерен для штабного купе, что по данному параметру создаёт комфортные условия на рабочем месте бригадира поезда.

Не смотря на то что, максимальный и минимальный уровень шума по СП 2.5.1198-03 не нормируется, соотношение полученных данных весьма показательно (таблица 2).

Существенный негативный вклад в акустический режим пассажирского вагона создают внешние шумы. Во время движения поезда они менее заметны, чем на остановках. Так, в данной ситуации движение электропоезда на соседнем пути увеличивало эквивалентный уровень звука в купе на 25,7 дБА и создавало очевидный акустический дискомфорт в пассажирском вагоне.

Значительно ухудшить звуковой и психо-эмоциональный режим могут аудиосистемы, используемые пассажирами. В последнее время достаточно часто пассажиры прослушивают музыкальные произведения, используя отдельные модели сотовых телефонов в режиме радиоприёмника. Насколько велик вклад сотовых телефонов с функцией радиотрансляции в акустическое загрязнение пассажирского вагона было установлено в результате проведения замеров шума в скором поезде № 85/86 Брест-Волгоград (таблица 3).

Таблица 3

Результаты замеров уровня звука в купе пассажирского вагона

Условия работы радиотехнических устройств	**Движение поезда**	**Уровень звука, дБА**	
		$L_{Аэкв.}$	**$L_{Амакс.}$**
FM-радиоприёмник отключен	нет	34,3	53,6
FM-радиоприёмник включен	нет	**52,8**	**64,1**
FM-радиоприёмник отключен	есть	55,6	63,7
FM-радиоприёмник включен	есть	**62,2**	**73,6**
Поездное радио включено	есть	65,3	76,5
ПДУ*	при движении	60,0	-
ПДУ**	-	45,0	60,0

* - ПДУ по СП 2.5.1198-03 для пассажирского купе (п.п.5.1.51, приложение №7);

** - ПДУ по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 для номеров гостиниц и жилых комнат общежитий с 7 до 23 часов (таблица 3, строка 5).

Акустический режим в купе железнодорожного вагона во время остановки в ситуации без включенных радиотехнических устройств соответствовал всем вышеуказанным нормативам.

Включенный сотовый телефон в режиме радио повышал эквивалентный уровень шума на 18,5 дБА, т.е. в 1,54 раза и максимальный уровень шума на

10,5 дБА, т.е. в 1,2 раза, чем сразу же создавал дискомфортные акустические условия относительно ПДУ (таблица 3 СН 2.2.4/2.1.8.562-96).

Как известно, увеличение уровня звукового давления на 10 дБА соответствует изменению громкости шума в 2 раза. Т.о. акустический дискомфорт от работы сотового телефона в режиме радио увеличился в 3,7 раза.

Уровень шума, создаваемый работающим сотовым телефоном в купе в режиме радио во время остановки практически равен транспортному шуму, регистрируемому в купе во время движения.

Включенный громкоговоритель сотового телефона во время движения создаёт наиболее дискомфортные условия. Уровень эквивалентного шума достигает 62,2 дБА, что превышает на 2,2 дБА ПДУ по СП 2.5.1198-03 и на 6,6 дБА транспортный шум в купе вагона. При этом на 9,9 дБА увеличивает уровень максимального шума.

Для объективной оценки интенсивности шумового загрязнения пространства купе пассажирского вагона сотовым телефоном в указанном режиме проводилось сравнение с работой поездного радио при максимальной громкости (контроль). Было установлено, что поездное радио, предназначенное для оперативного информирования пассажиров об особенностях работы поездной бригады и оповещения на случай аварийных ситуаций создаёт шумовой эффект сравнимый с работой сотового телефона в режиме радио. Однако, у пассажиров есть возможность регулировать громкость трансляции, а у персонала поезда – отключать поездное радио в любое время. Законных прав для отключения индивидуальных сотовых телефонов, громко транслирующих в дневное время музыку, нет.

На основании проведенных технических замеров и анализа полученных данных считаем необходимым:

- рекомендовать пассажирам воздерживаться во время поездки от использования FM-радиоприёмника сотового телефона без совместимой минигарнитуры вследствие превышения предельно допустимого уровня звука и создания неблагоприятной психо-эмоциональной обстановки;
- рассмотреть вопрос об использовании предупредительных плакатов в вагоне о необходимости применять при работе сотового телефона и подобных ему акустических устройств в режиме радио средств индивидуального прослушивания.

Выводы

1. Акустический режим в 20,0% вагонов фирменного скорого поезда 99/100 Москва-Брянск не соответствует установленным нормативам по уровню эквивалентного звука.
2. Благоприятный акустический режим на рабочих местах проводника имеется во всех плацкартных вагонах поезда и в большей части купейных.
3. Группу вагонов с повышенным уровнем шума создают спальные и часть купейных вагонов.
4. Возможной причиной повышенного шумового загрязнения рабочих мест может быть децентровка вагонов при формировании состава.
5. Акустический дискомфорт от работы в купе пассажирского вагона сотового телефона в режиме радио увеличился в 3,7 раза.
6. Уровень эквивалентного шума в купе при включенном громкоговорителе сотового телефона во время движения поезда достигает 62,2 дБА, что превышает на 2,2 дБА допустимый уровень.

МЕТОД РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА

Комкин А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана
E9@mx.bmstu.ru

Глушители шума находят широкое применение в системах глушения газодинамического шума машин, например, в выхлопных системах автотранспортных средств. Повысить эффективность применения глушителей шума можно на основе достоверной оценки их акустических характеристик на этапе расчета и проектирования глушителей.

Наибольшее распространение при оценке акустической эффективности глушителей шума получил такой показатель как потери передачи *TL* [1], определяемые логарифмом отношения звуковой мощности падающей волны на входе глушителя к звуковой мощности волны прошедшей глушитель, при согласованной (безэховой) нагрузке на его выходе. Особенностью глушителей шума, особенно реактивных, является то, что глушение шума ими частотно избирательно. Это означает, что в одних частотных диапазонах производится существенное снижение шума глушителем, в других — шум практически не снижается. Все это снижает общую эффективность глушения шума, так как для ее повышения частотную характеристику глушителя наоборот надо делать более равномерной, без резких спадов.

Акустические характеристики глушителя [2, 3] зависят от его геометрических размеров и конфигурации. Для анализа таких зависимостей целесообразно использовать безразмерные параметры. При этом в качестве базового геометрического размера следует принимать поперечный размер (диаметр) патрубка $d_п$. Так, например, камерный глушитель длиной l и диаметром камеры d будет определяться следующими безразмерными параметрами: $m=d^2/d_п^2$, $n=l/d_п$ и $d_п/\lambda$, где λ − длина звуковой волны. Такой подход имеет то преимущество, что $d_п$ относится, как правило, к числу исходных величин, задаваемых на начальном этапе проектирования глушителя и остающихся неизменными. Поэтому если определить конфигурацию глушителя, выраженную через безразмерные параметры и удовлетворяющую требуемой акустической эффективности, то, используя величину $d_п$, можно перейти к действительным размерам глушителя, который также будет удовлетворять заданным требованиям.

Помимо того, что диаметр $d_п$ устанавливается в качестве базового геометрического размера, его предлагается использовать еще и с целью определения верхней границы частотного диапазона, в котором рассматриваются характеристики глушителя. При этом частотный диапазон ограничивается условием, чтобы в патрубках глушителя могли распространяться только плоские звуковые волны. С учетом этого длина волны

$\lambda_{гр}$, соответствующая верхней границе рассматриваемого частотного диапазона, могут быть связаны с диаметром патрубка $d_п$ соотношением:

$$d_п / \lambda_{гр} = \mu, \tag{1}$$

где μ − коэффициент, изменяющийся в пределах $0 < \mu \leq 1{,}22$ и определяющий какая часть частотного диапазона, соответствующего распространению в круглых патрубках плоских звуковых волн, учитывается при анализе акустических характеристик глушителя. При этом потери передачи глушителя являются функцией не частоты, а безразмерного параметра $d_п/\lambda$, изменяющегося в диапазоне от 0 до μ, и представляют собой универсальную характеристику глушителя, дающую возможность всестороннего анализа особенностей снижения глушителями такого типа и оценки их акустической эффективности.

Вместе с тем следует отметить, что использование такого показателя, как потери передачи, затрудняют объективную оценку акустической эффективности камерного глушителя, так как, с одной стороны заглушаемый шум является, как правило, широкополосным, а с другой стороны сами значения это показателя существенно меняются с частотой. Поэтому если стоит задача поиска геометрических пропорций в конфигурации камерного глушителя, удовлетворяющей требуемым акустической эффективности и габаритным ограничениям, то решение ее путем анализа частотной зависимости потерь передачи камерных глушителей представляется весьма затруднительным.

По этой причине предпочтительно использование интегральных показателей акустической эффективности глушителей, когда эффективность глушителя, в частности камеры расширения, оценивается одним числовым значением. К таким показателям относится обобщенные потери передачи *OTL*, рассмотренные в [3] и определяемые интегрированием в рассматриваемом частотном диапазоне потерь передачи *TL*, как функции частоты. В простейшем случае, когда потери передачи глушителя представлены в этом диапазоне *N* дискретными значениями, обобщенные потери определяются формулой:

$$OTL = -10\lg\left(N^{-1}\sum_{i=1}^{N} 10^{-0.1TL_i} \right). \tag{2}$$

Использование обобщенных интегральных показателей дает возможность получать более объективную оценку акустической эффективности глушителей шума, упрощает проведения синтеза конфигурации глушителя с требуемой эффективностью, избавляя от необходимости анализировать большое количество сложных графиков спектральных характеристик. Вообще для каждого глушителя существуют такие значения параметров конфигурации глушителя, при котором обобщенные потери принимает максимальное значение OTL_{max}. Так для камер расширения отношение длины камеры к ее

диаметру, при котором этот глобальный максимум обеспечивается, в зависимости от степени расширен *m*, изменяется в диапазоне от 0,39 до 0.42, т.е. такие камеры будут относиться к классу коротких. Для них также имеет место следующее соотношение:

$$OTL_{\max} = 10 \lg m \,. \tag{3}$$

Отметим, что в формуле (3), определяющей обобщенные потери передачи камеры расширения, величину под знаком логарифма можно рассматривать как квадрат коэффициента потерь τ^2, показывающий во сколько раз ослабляется амплитуда звуковой волны при ее прохождении через камеру. В данном случае коэффициент потерь $\tau = m^{1/2}$. Отсюда получим, что произведение коэффициента потерь τ на нормированную ширину рабочего частотного диапазона μ есть величина постоянная.

$$\tau\mu = \text{const} \tag{4}$$

Формулу (4) можно рассматривать как своего рода соотношение неопределенностей. Это соотношение показывает, что чем больше требуемое значение обобщенных потерь, тем уже частотный диапазон, на котором оно может быть достигнуто с помощью камеры расширения, и наоборот, чем шире рабочий частотный диапазон, тем меньше значения максимально достижимых обобщенных потерь на нем.

Литература

1. Munjal M.L. Acoustics of Ducts and Mufflers.− New York: Wiley-Interscience, 1987.− 328 p.
2. Комкин А.И., Юдин С.И. Камерные глушители шума // Безопасность жизнедеятельности. Прил. – 2005. – № 11. – С. 1-24.
3. Комкин А.И., Малько Е.В. Критерии оценки акустической эффективности глушителей шума // Сб. трудов XIX сессии Российского акустического общества. Т.3. – М. 2007. – С. 263–267.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ВЕНТИЛЯТОРАХ И НАСОСАХ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ И СНИЖЕНИЯ ШУМА

Тимушев С.Ф., Соколов К.А.
НИЦ НТ МАИ, Лаборатория Численного Моделирования, Россия
irico@mail.cnt.ru

Методы вычислительной гидродинамики и акустики в сочетании с программным обеспечением машинного проектирования в настоящее время все шире используются для оптимизации вентиляторов и насосов в условиях нарастающих требований по снижению уровня шума этой техники. В последние годы предложены методы, сочетающие решение уравнений Навье-Стокса с интегральными методами решения волнового уравнения для шума дальнего поля [1, 2].

Пульсации давления в проточной части насосов, вентиляторов и других лопаточных машин возникают вследствие различных нестационарных гидродинамических явлений. Одним из важных факторов вибро-шумовой характеристики насосов и вентиляторов являются пульсации давления и шум на частотах следования рабочих лопаток (ЧСЛ).

Метод численного моделирования пульсаций давления и шума в лопаточных насосах и вентиляторах основан на представлении нестационарного движения сжимаемой среды в виде векторной суммы вихревой моды (движение несжимаемой среды) и акустической моды. Колебания давления в этом случае будут представлять собой сумму вихревых возмущений давления (псевдозвука) и акустических волн. Используя локальный акустический импеданс, граничные условия для колебаний энтальпии ставятся с учетом псевдозвуковых возмущений. Такой подход дает возможность построить эффективный и более точный метод расчета по сравнению с обычными методами вычислительной гидродинамики. Акустико-вихревой метод был подробно экспериментально проверен на модели центробежного насоса и широко используется для анализа тонального шума центробежных вентиляторов и насосов в двумерном приближении [3 - 8]. В последнее время возросли запросы по моделированию шума в диагональных и осевых насосах и вентиляторах. Течение в таких лопаточных машинах является существенно трехмерным, особенно если учитывать характеристики потока, ответственные за генерацию шума. В связи с этим была предложена трехмерная версия акустико-вихревого метода.

Трехмерная модель основывается на разбиении векторного поля движения сжимаемой среды на вихревую (псевдо-звук) и акустическую моды

$$\mathbf{V} = \mathbf{U} + \nabla\varphi = \mathbf{U} + \mathbf{V_a} \qquad (1)$$

где

$\mathbf{U}$ - Скорость вихревого (поступательного и вращательного) движения несжимаемой среды

$\mathbf{V_a}$ - Скорость деформационного движения (акустическая мода)

φ - Акустический потенциал

Это позволяет вывести акустико-вихревое уравнение (2) относительно пульсаций энтальпии в дозвуковом изоэнтропийном течении сжимаемой среды.

$$\frac{1}{a^2}\frac{\partial^2 i}{\partial t^2} - \Delta i = \nabla(\nabla(\tfrac{1}{2}U^2) - \mathbf{U}\times(\nabla\times\mathbf{U})) \qquad (2)$$

Определенная таким путем амплитуда пульсаций энтальпии будет включать как амплитуду псевдозвуковых колебаний так и акустические волны.

Правая часть волнового уравнения (2) определяется из поля скоростей вихревой моды, полученного трехмерным методом вычислительной гидродинамики [9] на основе уравнений Навье-Стокса

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \nabla(\mathbf{U}\otimes\mathbf{U}) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho}\nabla((\mu+\mu_t)(\nabla\mathbf{U} + (\nabla\mathbf{U})^T) + \mathbf{F} \qquad (3)$$

с учетом уравнения неразрывности для вихревой моды движения

$$\nabla\mathbf{U} = 0 \qquad (4)$$

Соотношение (5) определяет турбулентную вязкость на основе стандартной k-e модели турбулентности [10]

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \qquad (5)$$

Уравнения Навье-Стокса решаются методом расщепления с использованием неявной схемы и аппроксимации высокого порядка для конвективных членов на прямоугольной сетке, которая адаптируется к криволинейным границам в результате измельчения начальной сетки; кроме того, приграничные ячейки, пересекаемые границей (например, поверхностью лопатки), разбиваются на произвольные многогранники, в которых обеспечивается консервативная запись конечно-объемных уравнений гидродинамики, что обеспечивает высокую точность решения даже при относительно небольшом количестве узлов расчетной сетки. В качестве начального приближения используется нулевое давление и скорость в расчетной области. Начальные значения для кинетической энергии и скорости диссипации турбулентности вычисляются автоматически на первой итерации. Граничное условие на стенке представляет собой численный эквивалент логарифмического закона для касательной к стенке компоненты скорости.

С использованием локального акустического импеданса Z_k граничное условие для колебаний энтальпии k – гармоники ЧСЛ может быть представлено в форме

$$\frac{\partial(i_k - I_k)}{\partial n} = -\frac{k}{aZ_k}\frac{\partial(i_k - I_k)}{\partial t} \qquad (6)$$

где I_k – псевдо-звуковое колебание энтальпии.

Трехмерная версия метода экспериментально проверена на осевых вентиляторах [11 – 14].

Результат сопоставления расчетных и измереных амплитуд первой гармоники ЧСЛ во входном участке трубы представлен на Рисунок 1. На графике показана расчетная кривая и экспериментальные точки, а также амплитуды с учетом среднеквадратичного отклонения s. Видно, что расчетные данные исключительно хорошо согласуются практически по всей длине входного участка трубы. Небольшое отклонение наблюдается в зоне 20 – 30 мм от входных кромок рабочих лопаток, где распределение амплитуды нестабильно из-за интерференции псевдо-звуковых колебаний и акустических волн.

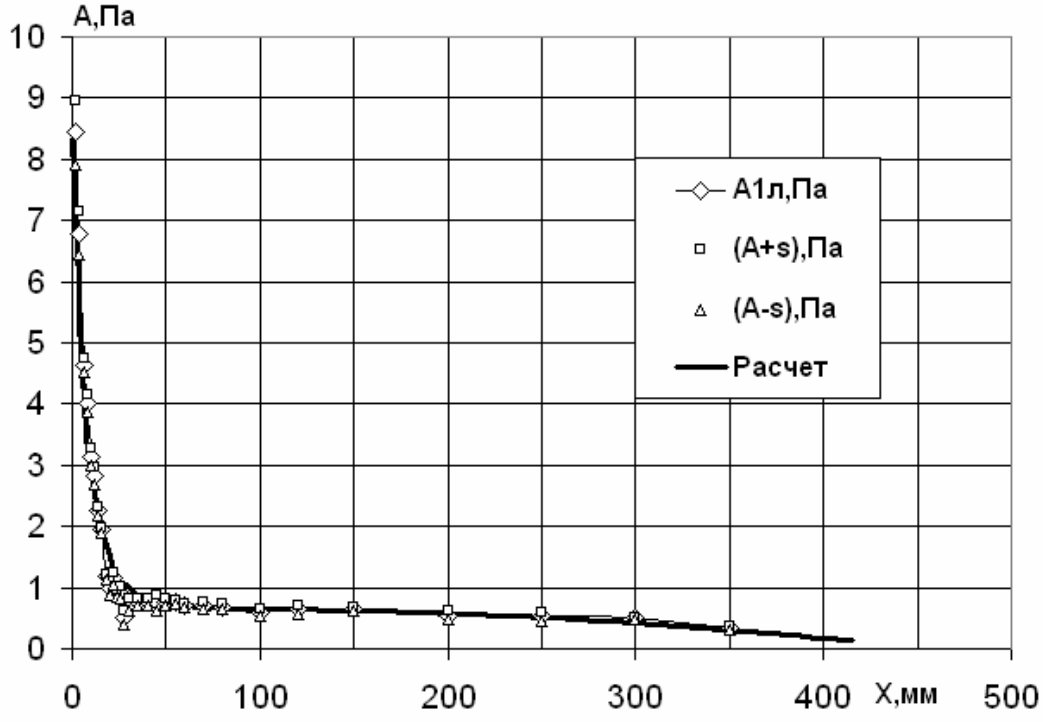


Рисунок 1. Амплитуда первой гармоники ЧСЛ

Можно сделать заключение, что акустико-вихревой метод позволяет с высокой точностью определять амплитуды ЧСЛ в вентиляторах и служить надежным инструментом снижения тонального шума вентиляционных систем в источнике его образования.

Литература

1. E. Manoha, S. Redonnet, C. Delahay, P. Segaut, I. Mary, S. Ben Khelil, P. Guillen *Numerical prediction of the unsteady flow and radiated noise from a 3D lifting airfoil*. Colloque: Bruit des Ventilateurs à Basse Vitesse, l'Ecole Centrale de Lyon, 8 et 9 novembre, 2001, Collection of papers
2. F. Perie, J. Buell *Combined CFD/CAA method for centrifugal fan simulation.* 29th international congress on noise control engineering, InterNoise 2000, Nice (France), Proceedings, 2000, v. 1, p.641
3. Тимушев С.Ф., Овсянников Б.В. Конечно-разностный метод расчета пульсаций давления на лопаточных частотах в спиральном отводе центробежного насоса. В кн.: Рабочие процессы в узлах и агрегатах двигателей летательных аппаратов./ Сб. трудов МАИ (каф.202), 1987.
4. Timushev, S.F., Ovsyannikov, B.V. *Pressure Fluctuation Numerical Simulation In A Centrifugal Pump Volute Casing.* Journal de Physique IV, vol. 2. Second French Conference on Acoustics. Arcachon (France), 1992
5. С. Ф. Тимушев, К. А. Соколов Расчет тонального шума на лопаточных частотах в отводе и напорном трубопроводе центробежных вентиляторов и насосов. XX Сессия Российского акустического общества Москва, 27 - 31 октября 2008 г.
6. Timouchev S., Tourret J. *Numerical Simulation of BPF Pressure Pulsation Field In Centrifugal Pumps*. 19th International Pump Users Symposium, February 2002, Houston, Texas
7. Serguei Timouchev, Jean Tourret, Goran Pavic, Andrey Aksenov. Numerical 2-D and 3-D Methods for Computation of Internal Unsteady Pressure Field and Near–Field Noise of Fans. Noise Control Eng. J. 54 (1), 2006 Jan –Feb
8. С. Ф. Тимушев Применение Акустико-Вихревого Метода К Моделированию Пульсаций Давления И Шума В Лопаточных Машинах С Дозвуковым Течением. XVI сессия Российского акустического общества Москва, 14-18 ноября 2005 года
9. Aksenov., A. Dyadkin., A. Gudzovsky . Numerical Simulation of Car Tire Aquaplaning. Computational Fluid Dynamics '96, J.-A. Desideri, C.Hirsch, P.Le Tallec, M.Pandolfi, J.Periaux edts, John Wiley&Sons, pp. 815-820, 1996
10. Wilcox, D. C. Turbulence modeling for CFD, DCW Industries, Inc., 460 p, 1994
11. С. Ф. Тимушев, А. К. Недашковский Расчетное и экспериментальное исследование пульсаций давления и шума в осевом вентиляторе. Сборник трудов XIX сессии Российского акустического общества. Том 3, Нижний Новгород, 2007
12. Serguei Timouchev, Anatoly Nedashkovsky, Goran Pavic Experimental Validation of Axial Fan 3D Acoustic-Vortex Method CFD-CAA Study.

Proceedings of 3rd International symposium on Fan Noise 2007, 19-21 September, 2007, Lyon, France

13. Yan Jiang, Mats Åbom, Leping Feng, Sergey Timouchev, Christophe Maliczak Investigation of Sound Generation from an Axial Fan for Engine Cooling. Proceedings of 3rd International symposium on Fan Noise 2007, 19-21 September, 2007, Lyon, France
14. С.Ф Тимушев, А.В. Ципенко, В.А. Князев О перпективах применения ПО FlowVision для решения задач оптимизации проточной части лопаточных машин при учете двухфазности потока, снижении пульсаций давления и излучаемой звуковой мощности и для снижения кавитационной эрозии в насосах. Всероссийская научно-практическая конференция «Инженерные системы – 2008», 7-10 апреля 2008г Тезисы докладов, Москва, 2008.

ВЕКТОРНЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ – НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ

Кобяков И.Б.
ООО Векторная Виброметрия
Igor.B.Kobyakov@vsvm.ru

Для определения режимов вибрации различных машин и механизмов в настоящее время используют пьезоэлектрические однокомпонентные виброакселерометры (рис. 1).

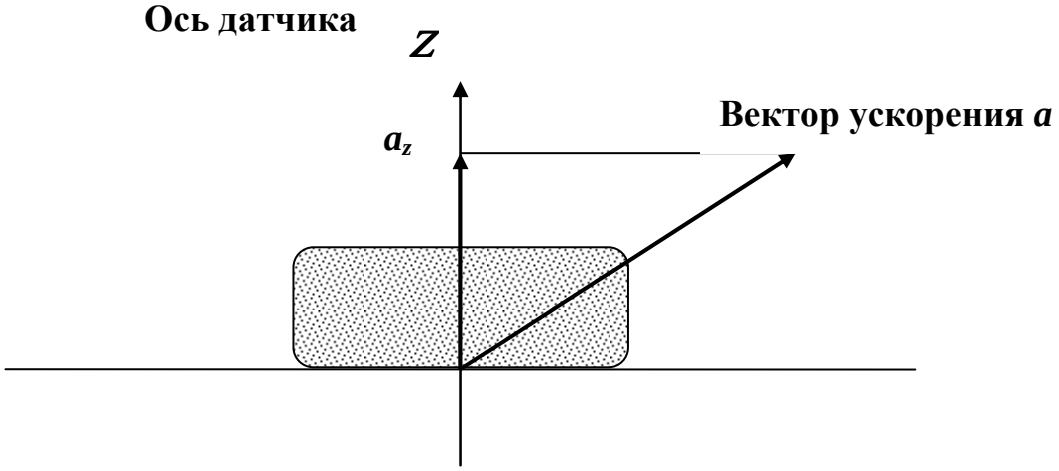


Рисунок 1

С помощью этих датчиков можно измерить лишь проекцию вектора виброускорения на ось датчика. Но одна эта проекция не позволяет определить ни величину, ни направление вектора виброускорения ***a***. Для решения этой проблемы требуется не однокомпонентный, а трехкомпонентный датчик. И тогда по трем проекциям вектора ***a*** можно получить его величину и направление в заданной системе координат. Однако, все известные трехкомпонентные виброакселерометры представляют собой сочетание трех однокомпонентных датчиков в одном корпусе. Так как при этом чувствительные элементы датчиков неизбежно располагаются в трех различных точках пространства, т.е. имеются три измерительные точки с несовпадающими координатами, законы физики запрещают рассматривать их показания в качестве проекций вектора виброускорения. Тем не менее это обстоятельство игнорируется, что, естественно, искажает информацию об уровне вибрации самолетов, вертолетов, турбин электростанций и т.д. в точках контроля.

Для создания векторного виброакселерометра необходимо выполнение следующих требований к чувствительному элементу:

– должен быть только один пьезоэлемент;
– для создания декартовой прямоугольной системы координат, форма пьезоэлемента должна быть в виде прямоугольного параллелепипеда;

– чувствительный элемент должен крепиться к основанию корпуса датчика нижней плоскостью, перпендикулярной вектору поляризации пьезоэлемента.

Такой датчик был создан в НПП «Векторная ВИБРОМЕТРИЯ» (патенты РФ №2061242 №2229136, патент США №7,216,542).

Принцип работы векторного датчика отражен в {1.2} и представлен на рис. 2.

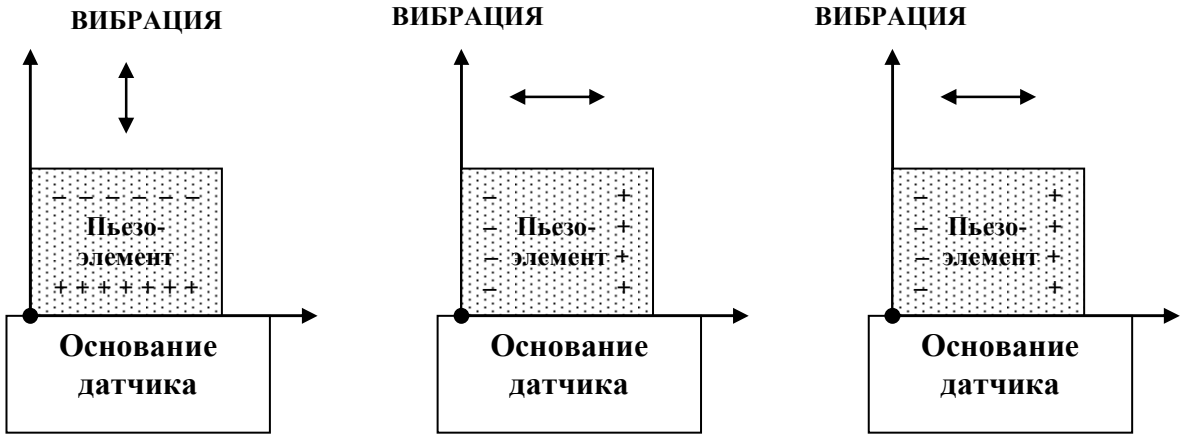


Рисунок 2

Если вектор виброускорения ***a*** направлен вдоль оси *Z*, то заряды возникают лишь на гранях, перпендикулярных оси *Z*; если вектор ***a*** направлен вдоль оси *Y*, то заряды возникают лишь на гранях, перпендикулярных оси *Y*. И, наконец, если вектор ***a*** направлен вдоль оси *X*, то заряды возникают лишь на гранях, перпендикулярных оси *X*. В каждом из этих трех случаев на остальных четырех гранях зарядов вообще не будет, что следует из теории симметрии и тензорного анализа. Таким образом, теоретически поперечная чувствительность датчика должна быть равна нулю, что можно представить в виде матрицы:

ВИБРАЦИЯ

		X	*Y*	*Z*	
ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ	*X*	100	0	0	
	Y	0	100	0	%
	Z	0	0	100	

Практически это укладывается в общие требования (<5%). Качество предлагаемых датчиков зависит от качества пьезоэлемента, кабеля, клея, разъемов и конструкции. Но даже при использовании отечественных комплектующих получены характеристики, превосходящие аналогичные у датчиков фирмы «Брюль и Къер», тип 4506 и фирмы «Эндевко», тип 2228С (см. таблицу 1).

Таблица 1

Технические характеристики	**Векторный акселерометр тип ВТКЗ**	**«Брюль и Къер» тип 4506**	**«Эндевко» тип 2228С**
Количество измеряемых осей	3	3	3
Количество пьезоэлементов	1	1	3
Основная чувствительность (датчик+усилитель), мВ/g	100	100	–
Максимальная поперечная чувствительность, %	5	5	5
Частота резонанса вдоль оси *Z*, кГц	58	10	21
Частотный диапазон (5%), Гц	5…20000		
Частотный диапазон (±5%), Гц			20…4000
Частотный диапазон (±10%), Гц		1…2000	
Температурный диапазон, °С	–60…+250	–54…+121	–55…+175
Температурный коэффициент чувствительности	0,05%/°С	1м·с$^{-2}$/°С	0,2%/°С
Размеры, мм	Ø22х26	17х17х14,5	–
Масса без кабеля, г	27	15	15

Но главное отличие векторного датчика от известных аналогов заключается не в том, что одни параметры лучше, а другие хуже, а в том, что только он имеет единую измерительную точку, что позволяет по трем проекциям получить величину и направление вектора виброускорения в этой точке. Следовательно, только датчик нового поколения позволяет получить **достоверную** информацию о режимах вибрации различных машин и механизмов. При использовании любых других датчиков связь между параметрами механических вибраций и электрическими сигналами виброизмерительной системы весьма сомнительна.

Датчик работает в комплекте с трехканальным усилителем заряда, имеющим симметричный (дифференциальный) высокоомный вход и несимметричный низкоомный выход. К усилителю прилагается блок питания постоянного тока ± 5 В.

Результаты использования векторных виброакселерометров в различных отраслях промышленности:

Впервые в мировой практике появилась возможность **достоверно** определять и анализировать недостатки авиационных двигателей в процессе их создания, в серийном производстве, а также в ходе их эксплуатации.

Например, применение векторного вибродатчика на предприятии «Рыбинские моторы» при проведении стендовых испытаний двигателя нового поколения для гражданской авиации позволило обнаружить **флаттер лопаток двигателя** и своевременно внести соответствующие изменения в конструктивные особенности данного типа двигателя.

В то же время использование **однокомпонентных** датчиков на этом же двигателе **данный дефект не выявило** (заключение Центрального института авиационного машиностроения, «Двигатель» №2 (38), стр. 8, 2005).

Последствия невыявления данного дефекта еще на стадии испытаний - очевидны.

На том же предприятии, векторные датчики использовались при определении режимов работы вертолетных двигателей.

Результаты испытаний вдоль оси Z представлены на рис. 3, вдоль оси Y – на рис. 4 и вдоль оси X – рис. 5.

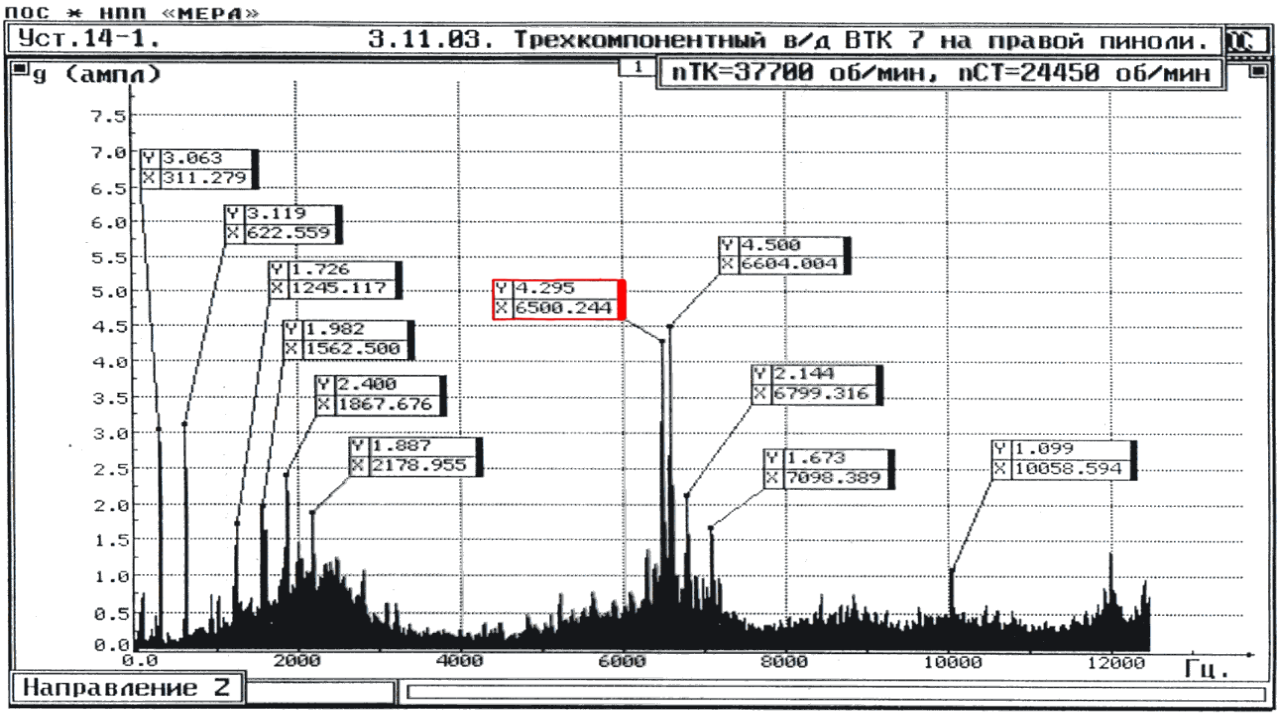


Рисунок 3

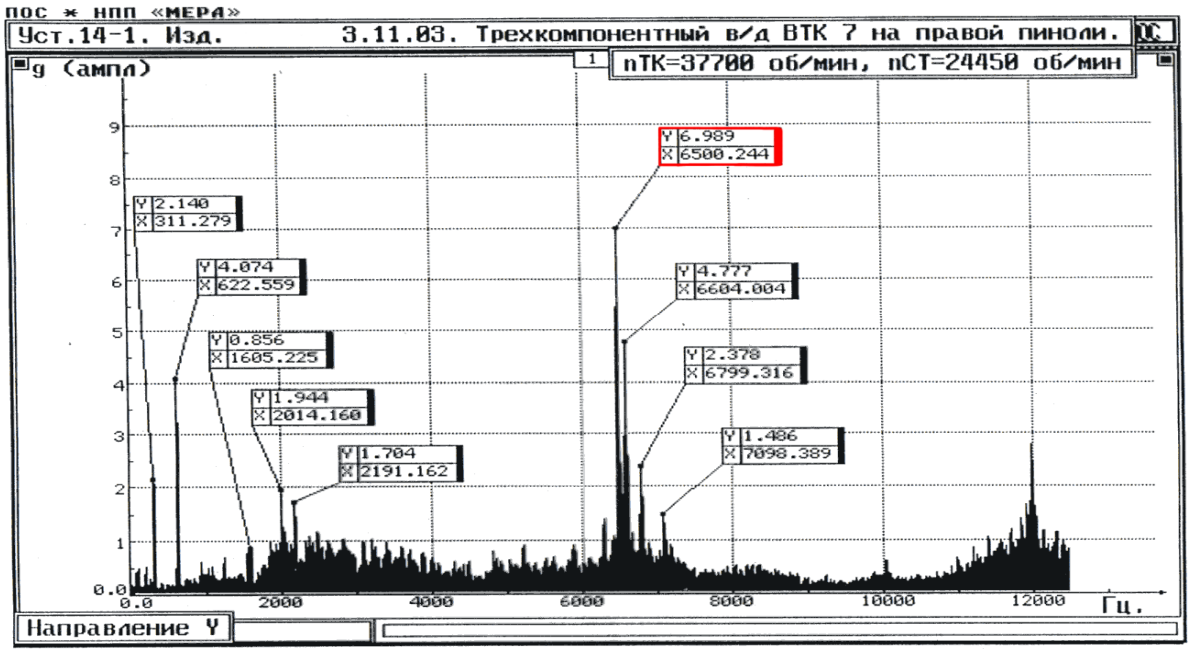


Рисунок 4

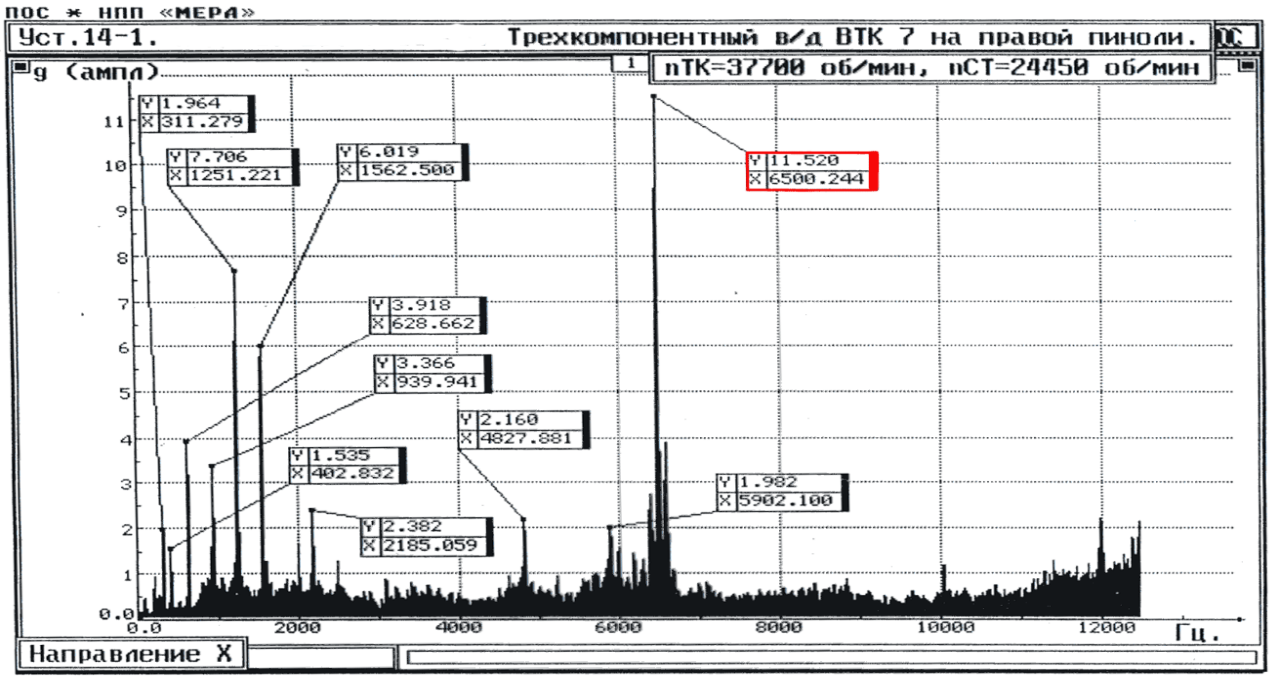


Рисунок 5

Возьмем произвольную частоту 6500 Гц, тогда ускорение вдоль оси Z равно 4,3g, вдоль оси Y – 7,0g и вдоль оси X – 11,52g. Тогда величина вектора ускорения равна 14,1g, что больше показаний однокомпонентного датчика (вдоль Z) в 3,3 раза.

Испытания на объектах транспортировки газа были проведены силами НИИГАЗ и показали **значительные преимущества** векторных вибродатчиков по сравнению с лучшими образцами трехкомпонентных (но не векторных) компании PCB (США).

Результаты подтверждены официальным заключением.

При балансировке турбины ГТ-100-3, мощностью 100 МВт, тепловой электростанции использование векторных вибродатчиков позволило выполнить эту процедуру в значительно более сжатые сроки.

При этом итоговая «… вибрация всех опор по всем трем направлениям её контроля оказалась существенно меньше нормативного значения – 4,5 мм/с, - что гарантирует длительную безаварийную эксплуатацию агрегата. Полученный результат может быть оценен как очень хороший – вибрация опор снижена в 2-2,5 раза без корректировки грузов …» (выписка из заключения Всероссийского теплотехнического института).

При выполнении работ по заданию Российского фонда фундаментальных исследований на базе использования векторных вибродатчиков был разработан уникальный экспресс-метод, позволяющий определить анизотропию прочностных характеристик композитных материалов, т.е. определять направления, наиболее опасные с точки зрения разрушения. Особенно это важно в аэрокосмической промышленности. «Композитный мир» №3/4 (16/17), стр. 24, 2008. Результаты представлены на рисунке 6.

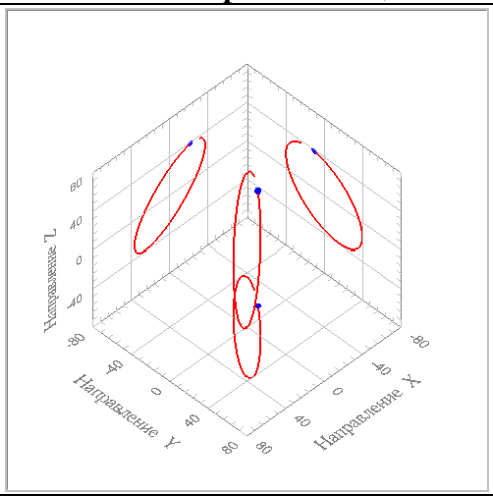
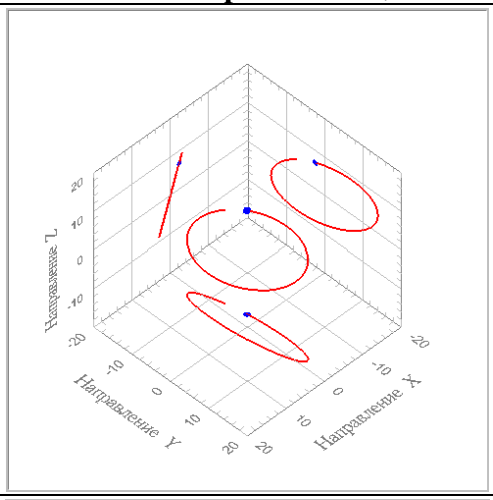
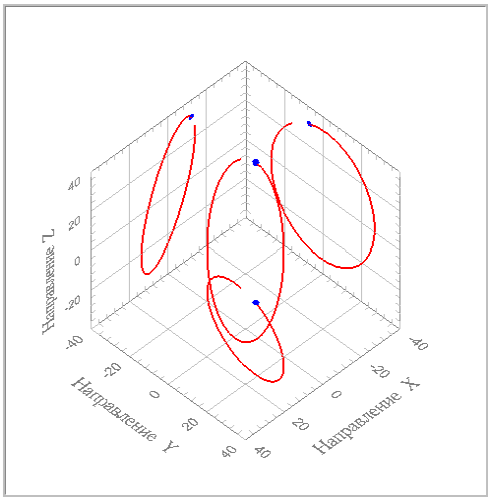
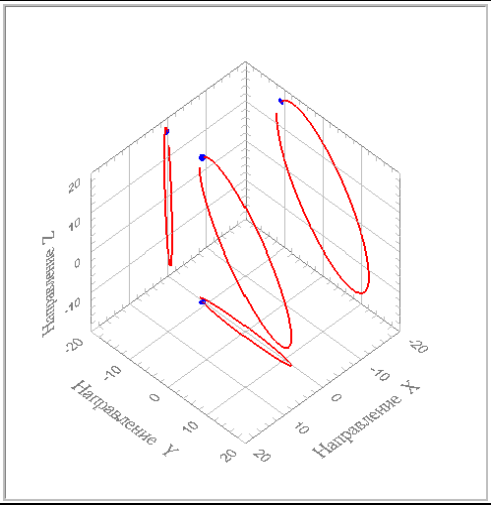
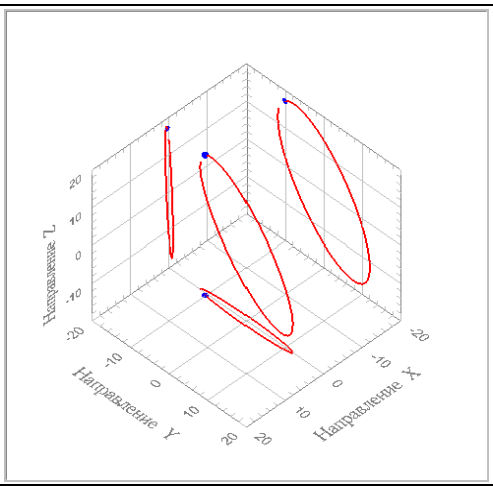
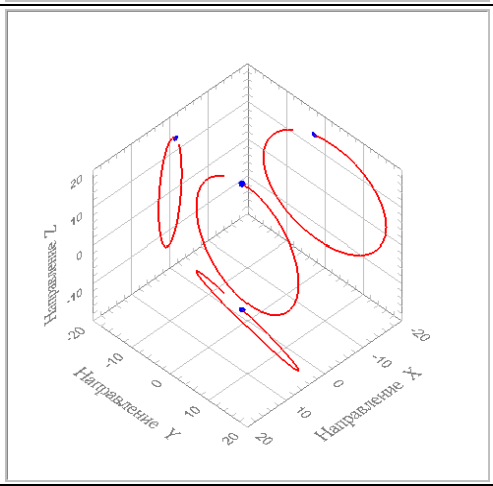
№ точки	Трехмерная траектория движения с проекциями, мкм	№ точки	Трехмерная траектория движения с проекциями, мкм
1		4	
2		5	
3		6	
в точках 1-3 «по вертикали» (цикл № 3)		в точках 4-6 «по горизонтали» (цикл № 4)	

Рисунок 6

Остается лишь добавить, что использование всех остальных типов вибродатчиков **не представляется возможным**.

Демонстрация работы векторных вибродатчиков на известных фирмах «Вибро-Метер» (Швейцария) и «Брюль и Кьер» (Дания) получила положительные отзывы. По их мнению, только векторные датчики способны решать задачи виброконтроля. Кроме того, в России датчик признан лучшим изобретением за 2005 год.

Исправление данной ситуации невозможно без принятия решения на уровне Правительства РФ о безусловном внедрении новейшей вибросистемы с обязательным использованием данного векторного вибродатчика в следующих отраслях промышленности:

- авиационная промышленность (двигатели ракет, самолетов и вертолетов);
- железнодорожная промышленность (рельсы);
- судостроительная промышленность (двигатели судов);
- нефтегазовая промышленность (газо- и нефтеперекачивающие агрегаты, трубопроводы);
- энергетика (балансировка роторов турбин);
- металлообрабатывающая промышленность (станки);
- строительство (фундамент и конструкции мест массового посещения).

УЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В РАСЧЕТАХ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Заплетников И.Н., Жидков Ю.В., Севаторова И.С.
Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени Михаила Туган-Барановского (ДонНУЭТ)
obladn@kaf.donduet.edu.ua

В расчетах виброакустических характеристик (ВАХ) машин с использованием динамико-акустического метода значительное влияние на точность расчетов оказывает коэффициент потерь колебательной энергии.

Динамическая модель оборудования пищевых производств представляется в виде одно или двухмассовых линейных систем, связанных упругими элементами. На первую массу воздействует периодическая возмущающая сила, изменяющаяся по гармоническому закону. В качестве последнего упругого элемента принимается пищевой продукт. Жесткость продукта, по нашим исследованиям, приближается к удельному сопротивлению перемещения рабочего органа в продукте. Диссипативные свойства системы учитываются коэффициентом потерь.

Акустическая модель машины представляется монопольным источником излучения. Синтез динамической и акустической моделей позволяет получить уравнения для расчета уровня звуковой мощности излучения в октавных полосах частот и корректированного уровня по А для внутренних источников шума и корпуса машины, а также машины в целом [1].

Коэффициент потерь в работах по виброакустике теоретически определяется как отношение амплитуды виброскорости на выходе V_2 системы к виброскорости на её входе V_1 [2].

Расчёты показывают, что теоретическая величина коэффициента потерь вносит большие отклонения расчетного уровня звуковой мощности от экспериментальных значений. Погрешность в определении ВАХ может достигать более 20%, что приводит к потере практической значимости расчёта.

Целью работы является повышение точности расчёта ВАХ на примере машин очистки картофеля.

Для определения действительного коэффициента потерь были проведены на стенде экспериментальные исследования картофелечисток 1 - МОК-150 и 2 - МОК-350 производительностью 150кг/ч и 350кг/ч соответственно. Машины выпускаются серийно Белорусским ПО торгового машиностроения г. Барановичи для стран СНГ и дальнего зарубежья. Вибродатчики ДН-3 устанавливались на электродвигателе(3) и корпусе (4) картофелечисток. Стенд представлен на рисунке 1.

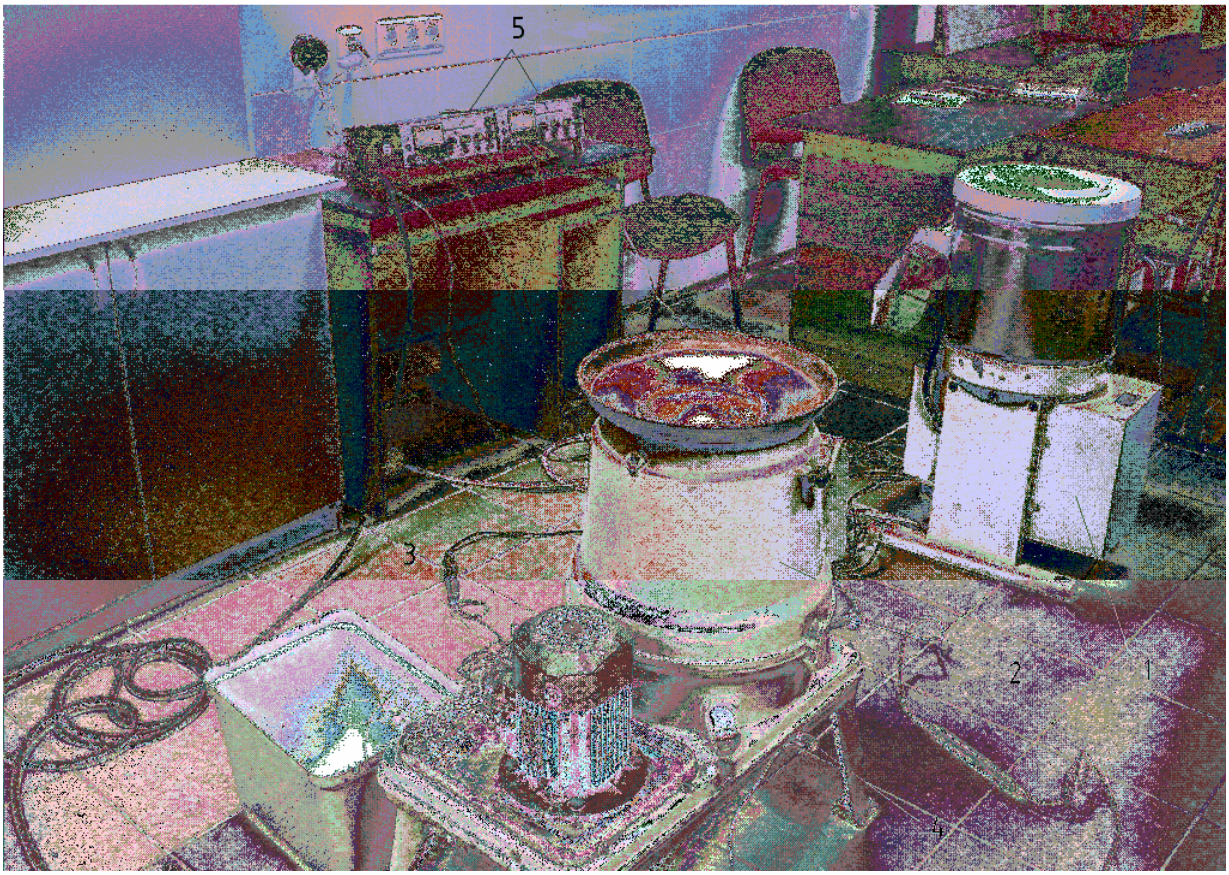


Рисунок 1. Стенд для измерения вибрационных характеристик картофелечисток

Измерялись виброскорости колебаний в горизонтальной плоскости одновременно двумя приборами 5 - ВШВ-М2. Картофелечистки работали без нагрузки. Один измерял виброскорость электродвигателя V_1 (вход в механическую систему), другой – виброскорость корпуса машины V_2(выход).

Результаты измерений виброскоростей V_1 и V_2, а так же графики аппроксимирующих функций в октавных полосах частот от 1 до 8000 Гц представлены на рисунках 2 и 3.

Анализ графиков 2 и 3 показывает, что на низких частотах вибрационные характеристики (ВХ) для обеих машин близки. Равенство или близость величин виброскоростей электродвигателей и корпусов машин на этих частотах свидетельствует о практически полном демпфировании возмущающей силы несущими конструкциями машин, а коэффициент потерь близок к 1, если машины работают без нагрузки. Электродвигатель машины МОК-150 с частотой вращения 950 об/мин (15,8 Гц) имеет две резонансных частоты на 8 и 4000 Гц, электродвигатель машины МОК 350 с частотой вращения 1410 об/мин (27,78 Гц) имеет резонансные частоты на 1, 1000 и 4000 Гц. Резонансные частоты электродвигателей в области низких частот достаточно хорошо демпфируются несущими конструкциями, о чём свидетельствуют графики изменения виброскоростей корпусов машин V_2.

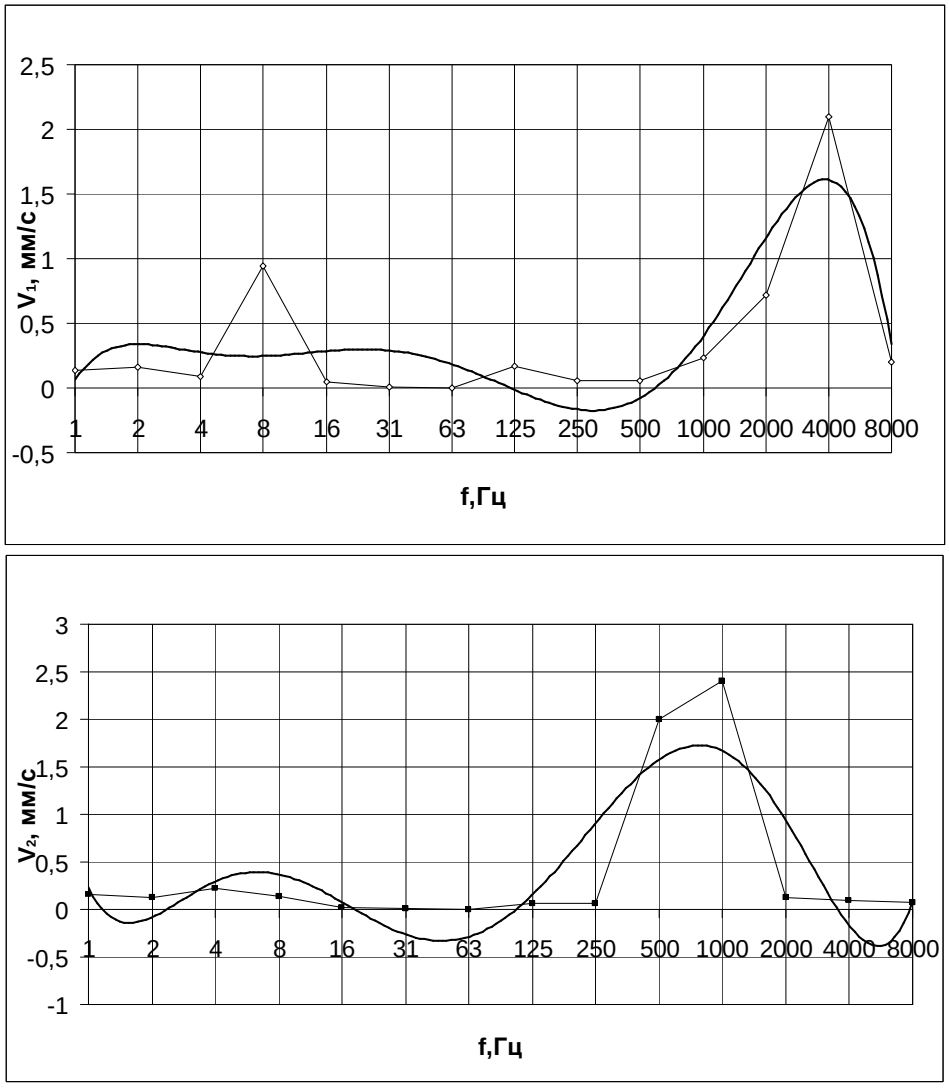


Рисунок 2. Графики изменения виброскоростией картофелечистки МОК-150

Однако на средних и высоких частотах влияние резонансных частот, создаваемых электродвигателями остаётся достаточно значимыми. У машины МОК-150 эти резонансные частоты электродвигателя на корпусе машины сдвигаются в область средних частот. В машине МОК-350 высокие частоты практически не демпфируются.

На рисунках 2 и 3 приведена графическая интерпретация аппроксимирующих функций изменения виброскоростей V_1 и V_2, представленных полиномами шестой степени.

Машина МОК-150:

$$V_1 = -5\cdot10^{-9}\cdot f^6 + 0{,}0037f^5 - 0{,}0575f^4 + 0{,}4269f^3 - 1{,}6032f^2 + 2{,}8507f - 1{,}5589;\ R^2 = 0{,}69 \quad (1)$$

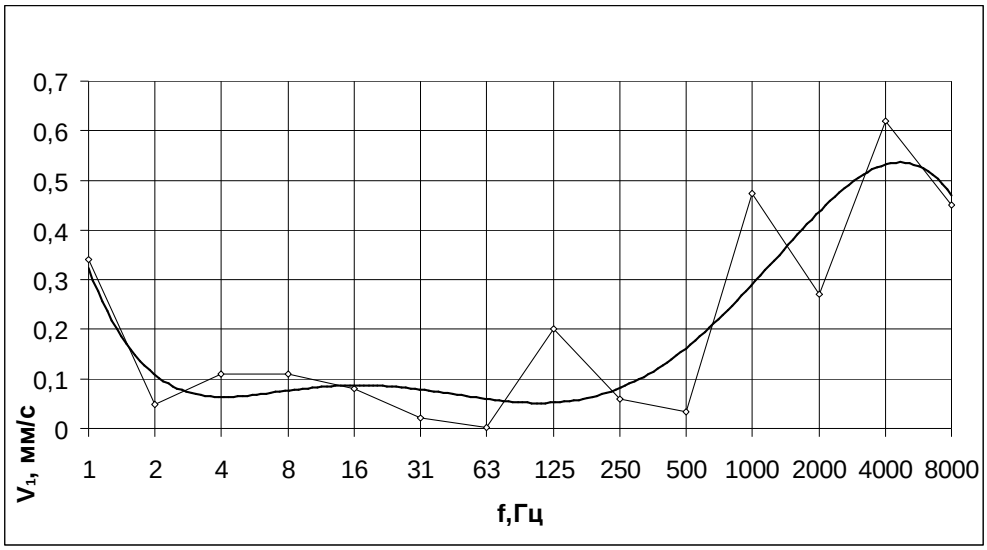
$$V_2 = 0{,}0002f^6 - 0{,}0083f^5 + 0{,}1353f^4 - 1{,}0458f^3 + 3{,}9238f^2 - 6{,}5456f + 3{,}76;\ R^2 = 0{,}6851 \quad (2)$$

Машина МОК-350:

$$V_1 = 10^{-6} \cdot f^6 - 0{,}0002f^5 + 0{,}0045f^4 - 0{,}0541f^3 + \\ + 0{,}3121f^2 - 0{,}8349f + 0{,}8955;\ R^2 = 0{,}761 \quad (3)$$

$$V_2 = -10^{-5} \cdot f^6 + 0{,}0004f^5 - 0{,}0066f^4 + 0{,}0536f^3 - \\ - 0{,}2286f^2 + 0{,}4483f - 0{,}1894;\ R^2 = 0{,}825 \quad (4)$$

где f – среднегеометрическое значение октавной частоты в Гц;
R^2 – коэффициент множественной корреляции.



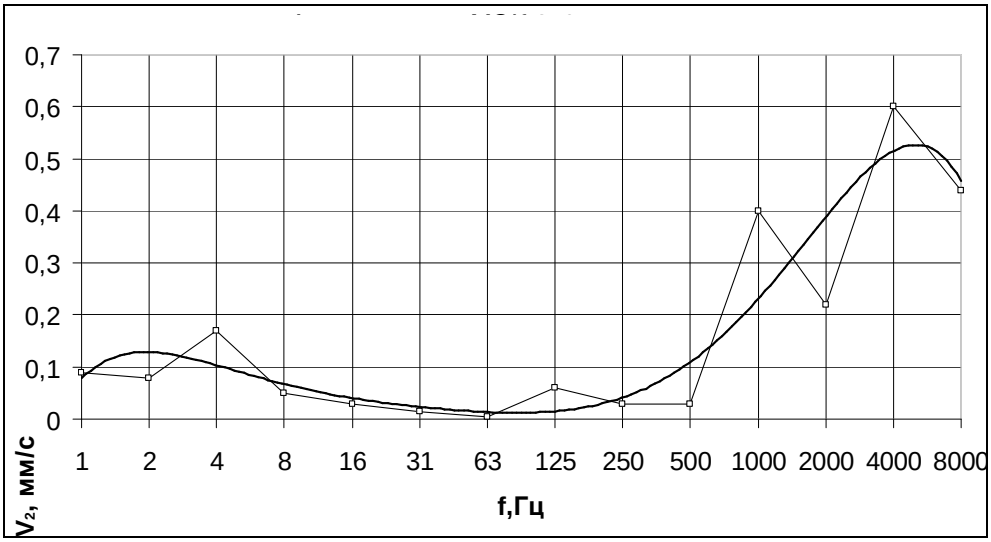


Рисунок 3. Графики изменения виброскоростей картофелечистки МОК-350

Полученные статистические зависимости обладают достаточной теснотой связи для использования в инженерных расчётах.

Анализируя графики изменения ВХ картофелечисток, обращает на себя то обстоятельство, что они имеют две зоны: одна – относительной стабильности

на низких частотах и вторая – волнообразного изменения на средних и высоких частотах. В связи с этим целесообразно интерпретировать эти зоны отдельными аппроксимирующими функциями (5-12).

Для машины МОК-150

на низких частотах

$$V_1 = 0{,}0004f^6 - 0{,}0149f^5 + 0{,}2083f^4 - 1{,}4251f^3 + 4{,}8583f^2 - 7{,}4452f + 3{,}9836;\ R^2 = 0{,}447 \quad (5)$$

$$V_2 = 0{,}0001f^6 - 0{,}0034f^5 + 0{,}0438f^4 - 0{,}2719f^3 + 0{,}8277f^2 - 1{,}1313f + 0{,}6224;\ R^2 = 0{,}807 \quad (6)$$

на средних и высоких частотах

$$V_1 = -0{,}1975f^4 + 2{,}07f^3 - 7{,}3225f^2 + 10{,}61f - 5{,}1;\ R^2 = 0{,}999 \quad (7)$$

$$V_2 = -0{,}2979f^4 + 3{,}7975f^3 - 16{,}672f^2 + 28{,}303f - 13{,}13;\ R^2 = 0{,}999 \quad (8)$$

Для машины МОК-350

на низких частотах

$$V_1 = 0{,}0002f^6 - 0{,}0071f^5 + 0{,}0973f^4 - 0{,}6616f^3 + 2{,}3071f^2 - 3{,}8479f + 2{,}4543;\ R^2 = 0{,}876 \quad (9)$$

$$V_2 = 0{,}0001f^6 - 0{,}0034f^5 + 0{,}0438f^4 - 0{,}2719f^3 + 0{,}8277f^2 - 1{,}1313f + 0{,}6224;\ R^2 = 0{,}807 \quad (10)$$

на средних и высоких частотах

$$V_1 = -0{,}0947f^4 + 1{,}1463f^3 - 4{,}8333f^2 + 8{,}3357f - 4{,}52;\ R^2 = 0{,}999 \quad (11)$$

$$V_2 = -0{,}0922f^4 + 1{,}107f^3 - 4{,}6138f^2 + 7{,}847f - 4{,}22;\ R^2 = 0{,}999 \quad (12)$$

В результате увеличилась теснота связи между исследуемыми параметрами и повысится точность расчёта ВХ.

Действительный коэффициент потерь $К_д$ колебательной энергии картофелечисток определяется по результатам экспериментальных исследований V_1 и V_2. Оказалось, что его величина может быть не только меньше 1, но на ряде частот и более 1. Это свидетельствует о том, что исследуемая механическая система не только может демпфировать колебания, но и возбуждать их. Изменение величины $К_д$ в октавных полосах частот для картофелечисток представлено на рисунках 4 и 5 вместе с аппроксимацией. Уравнения аппроксимации 13 и 14 приведены ниже.

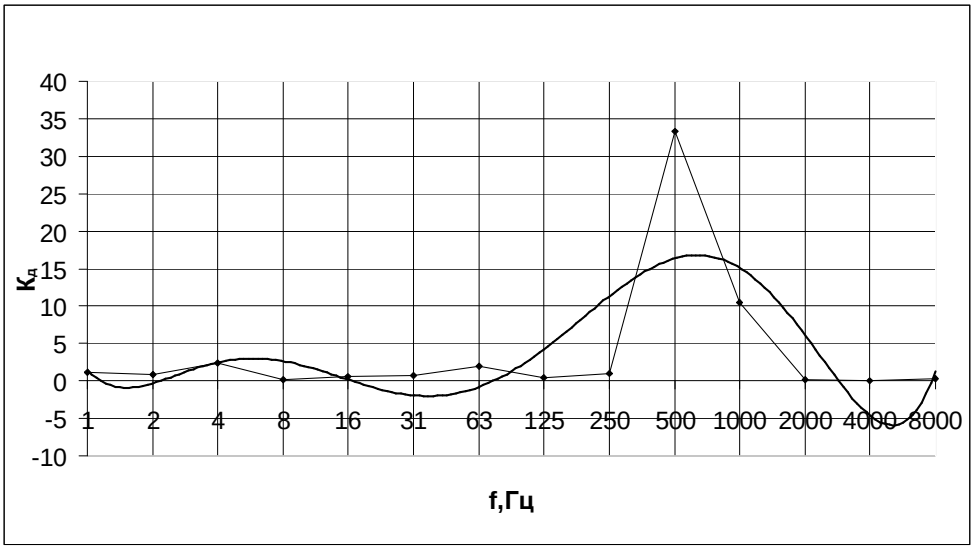


Рисунок 4. График изменения действительного коэффициента потерь в октавных полосах частот машины МОК-150

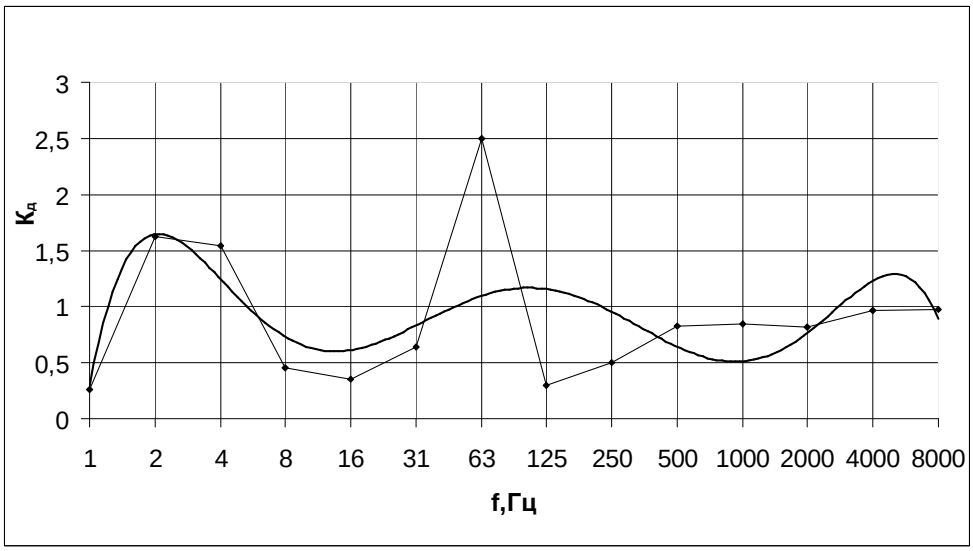


Рисунок 5. График изменения действительного коэффициента потерь в октавных полосах частот машины МОК-350

$$К_д = 0{,}0017f^6 - 0{,}0729f^5 + 1{,}1567f^4 - 8{,}6516f^3 + 31{,}349f^2 - 50{,}504f + 28{,}223;\ R^2 = 0{,}5016 \quad (13)$$

$$К_д = -0{,}0002f^6 + 0{,}0075f^5 - 0{,}1357f^4 + 1{,}1959f^3 - 5{,}285f^2 + 10{,}652f - 6{,}1456;\ R^2 = 0{,}3219 \quad (14)$$

Для машины МОК-150 на низких частотах 4, 63 Гц и на средних частотах 500 и 1000Гц действительный коэффициент потерь составляет соответственно 2; 2,3; 33,3 и 10,4. Величина $К_д$ для машины МОК-350 превышает единицу на низких частотах 2,4 и 63 Гц и составляет, соответственно 1,06; 1,7 и 2,5.

Полученные результаты означают, что указанные частоты носят резонансный характер и целесообразно применить в конструкции машин демпфирующие устройства. Особенно это касается машины МОК-150 на

средних частотах. Конструкция машины МОК-350 оказалась более виброустойчивой, чем машины МОК-150.

Идентификация источников высокого уровня вибрации машин МОК-150 и МОК-350 указывают, что она возникает на низких частотах от неуравновешенности рабочего органа – конического абразивного диска, на средних частотах (МОК-350) – от подшипникового узла.

Выводы

В машинах очистки картофеля типа МОК обнаружено наличие резонансных явлений на низких октавных частотах 4 и 63Гц, связанных с неуравновешенностью рабочего органа, также у машины МОК-350 ещё и с работой подшипникового узла на средних частотах.

Полученные эмпирические зависимости машин МОК могут использоваться для инженерного расчёта ВХ в октавных полосах частот.

Для повышения точности расчёта ВАХ целесообразно корректировать теоретический коэффициент потерь колебательной энергии по результатам действительного коэффициента, полученного экспериментальным путём.

Литература

1. Заплетников И.Н. Моделирование виброакустических процессов технологического оборудования пищевых производств: Монография / Донецк: ДонГУЭТ, 2001. – 141с.
2. Борьба с шумом на производстве: Справочник/Под общ. ред. Юдина Е.Я. – М.: Машиностроение, 1985. – 393с.

ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОВЫШЕННОГО ШУМА

Цукерников И.Е.
Научно-исследовательский институт строительной физики
itsukernikov@tochka.ru

В настоящее время более 20% жителей городов развитых государств, в том числе и в Российской Федерации, страдают от повышенных шумовых, инфразвуковых и ультразвуковых воздействий (далее – акустическое воздействие), которые вызывают серьёзные заболевания. Масштабы акустического загрязнения и тенденции его роста в Российской Федерации вызывают тревогу и требуют принятия безотлагательных мер. Достаточная законодательная и нормативно-техническая база стимулируют проведение необходимых исследовательских, проектных и практических работ по снижению акустического загрязнения окружающей среды. В докладе рассмотрено современное состояние дел в Российской Федерации в части законодательства и нормативно-технической документации в области защиты населения от повышенного акустического воздействия.

1. Законодательная база

1.1 Федеральное законодательство

В настоящее время в законодательстве Российской Федерации содержатся отдельные нормы по охране окружающей среды от акустического загрязнения и защите человека от вредного акустического воздействия.

Так, акустическое загрязнение окружающей среды в соответствии с Федеральным законом от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» является одним из видов негативного воздействия на окружающую среду. Этим же законом установлены понятия нормативов допустимого воздействия на окружающую среду, а также обязанность органов государственной власти различных уровней принимать меры по предупреждению и устранению негативного воздействия на окружающую среду.

В Федеральном законе от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» содержится определение вредного физического воздействия на атмосферный воздух, к которому относится, в том числе, акустическое воздействие, а также устанавливаются предельно допустимые нормативы такого воздействия.

Федеральный закон от 30 марта 1999 года № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» регулирует отношения в области реализации предусмотренных Конституцией РФ прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду. В нем установлены санитарные ограничения к показателям факторов, негативно воздействующих на человека и правовые нормы по их обеспечению.

Вместе с тем положения указанных законов касаются всех факторов среды обитания, которые оказывают или могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду, состояние здоровья человека и/или будущих поколений. В этой связи в них установлены наиболее общие требования, которые применительно к акустическим факторам носят ограниченный характер [1]. В связи с этим объективно необходимо принятие федерального закона, ограничивающего шумовое воздействие на здоровье граждан. Несколько вариантов проекта такого закона находятся в настоящее время в комитете по экологии Государственной думы Федерального собрания Российской Федерации. Содержание и основные положения одного из них описаны в работе [1].

Во многих государствах имеются законы, ограничивающие шумовое воздействие на здоровье граждан, особенно находящихся в больницах, санаториях, домах отдыха, пансионатах, домах-интернатах, а также при строительстве, размещении и эксплуатации аэродромов и взлетных площадок. Такие законы существуют в Германии, Франции, Италии, Югославии, Венгрии, Словакии, США, Японии.

1.2 Региональные законодательные акты

В отсутствии специального федерального закона, регулирующего правовые отношения в области акустического воздействия, субъекты Российской Федерации пытаются урегулировать этот вопрос на региональном уровне. В качестве примеров можно привести закон г. Москвы от 12.07.2002 № 42 «Об административной ответственности за нарушение покоя граждан и тишины в ночное время в городе Москве» (который с 01.01.2008 г. в связи с введением «Кодекса города Москвы об административных правонарушениях» [2] носит название «О соблюдении покоя граждан и тишины в ночное время в городе Москве»), закон г. Санкт-Петербурга от 12.01.2004 № 793-2 «Об административной ответственности за нарушение покоя граждан и тишины в ночное время на территории Санкт-Петербурга». Главой администрации Н. Новгорода принято распоряжение от 08.09.1994 № 1968-р «О платежах за шумовое воздействие окружающей природной среды в г. Н. Новгороде».

В законе г. Москвы установлен период ночного времени с 23 до 7 часов, дан перечень помещений и территорий, защищаемых от нарушения покоя граждан и тишины в ночное время, указаны действия, нарушающие покой граждан и тишину в ночное время, а также установлена административная ответственность за рассматриваемое нарушение. Перечень помещений и

территорий, защищаемых от нарушения покоя граждан и тишины в ночное время включает помещения объектов проживания, отдыха, прохождения стационарного лечения граждан и пребывания детей, места общего пользования указанных объектов и прилегающие к этим объектам территории, а также площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов. К действиям, нарушающим покой граждан и тишину в ночное время на защищаемых территориях и в защищаемых помещениях в городе Москве отнесены любые действия, повлекшие нарушение покоя граждан и тишины в ночное время. Это использование различных звуковоспроизводящих устройств, и устройств звукоусиления, звуковых сигналов охранной сигнализации автомобилей, пиротехнических средств, производство ремонтных, строительных, разгрузочно-погрузочных работ, игра на музыкальных инструментах, крики, свист, пение, а также иные действия, сопровождающиеся звуками. Совершение действий, нарушающих тишину и покой граждан в ночное время в соответствии с [2] влечет предупреждение или наложение административного штрафа в следующих пределах: на граждан - в размере от пятисот до одной тысячи рублей; на должностных лиц - от двух тысяч до четырех тысяч рублей; на юридических лиц - от двадцати тысяч до сорока тысяч рублей.

1.3 Техническое регулирование

Определенные требования к акустическим характеристикам объектов технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации) предполагается установить в технических регламентах, принимаемых федеральным законом или постановлением Правительства РФ в соответствии с федеральным законом от 27 декабря 2002 года №184-ФЗ «О техническом регулировании». Действующий вариант программы разработки технических регламентов, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 28 декабря 2007 г. №1930-р, содержит 41 документ, в которых должны быть установлены требования, обеспечивающие в том числе безопасность излучений и механическую безопасность. Среди них такие регламенты как «О безопасности машин и оборудования», «О безопасности колесных транспортных средств», «О безопасности железнодорожного подвижного состава», «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта», «О безопасности внутреннего водного транспорта и связанной с ним инфраструктуры», «О безопасности морского транспорта и связанной с ним инфраструктуры» и прочие, устанавливающие требования по ограничению шума оборудования и транспортных средств конкретного типа. Так, например, в уведомлении о завершении публичного обсуждения проекта технического регламента «О безопасности колесных транспортных средств» отмечается, что он содержит положения, не предусмотренные международными стандартами - Правилами ЕЭК ООН к

внутреннему шуму, которые учитывают особенности эксплуатации оборудования и транспортных средств в Российской Федерации.

2. Нормативно-техническая база

Нормативно-техническая база в области регулирования факторов акустического воздействия включает санитарные нормы (СН), санитарные правила и нормы (СанПиН), межгосударственные (ГОСТ) и национальные (ГОСТ Р) стандарты, строительные нормы и правила (СНиП) и своды правил (СП).

2.1 Нормативные документы

Федеральными нормативными документами, ограничивающими акустическое воздействие на человека являются: СН 2.2.4/2.1.8.562 [3] для шума, СН 2.2.4/2.1.8.583 [4] для инфразвука, СанПиН 2.2.4/2.1.8.582 [5] для ультразвука. Все нормы были введены одновременно в 1996 г. Устанавливаемые ими требования основаны на исследованиях, выполненных в основном во второй половине прошлого века. Отдельные принципиальные положения указанных нормативных документов не учитывают разногласия, возникшие в процессе их применения, и не соответствуют современным мировым требованиям. Анализ данных положений и предложения по их уточнению даны в работе [6]. Они включают:

– для шума – предложения исключить из СН 2.2.4/2.1.8.562 поправки на тональный и импульсный шум и уточнить определение импульсного шума, посредством удаления из него требования, чтобы уровни звука, измеренные соответственно на временных характеристиках "импульс" и "медленно", отличались не менее чем на 7 дБ*А*. Первое предложение связано с тем, что в мировой практике (международные стандарты ИСО 9612 [7], ИСО 1996.1 [8]), введенной в России посредством изменения к ГОСТ 12.1.050 [9] и ГОСТ 31296.1 [10], принято учитывать импульсность и тональность шума посредством корректировки результатов измерений, а не норм. Такой подход более оправдан, так как импульсный и тональный шум могут действовать лишь в течение некоторого промежутка, меньшего полного интервала времени оценки, а нормы распространяются на весь интервал времени оценки. Необходимость уточнения определения импульсного шума вызвана тем, что указанное требование не позволяет квалифицировать отдельные группы сигналов длительностью менее 1 с в соответствии с классификацией, введенной ГОСТ 12.1.003 [11]. В силу действующего определения они не могут быть отнесены ни к импульсным шумам, ни к прерывистым шумам, длительность которых должна быть более 1 с. Кроме того, в МЭК 61672-1 [12] (вводимом в России в качестве национального стандарта ГОСТ Р 53188.1 [13] с 01.12.2009) отмечена

непригодность временной характеристики "импульс" для оценки риска нарушения слуха и определения «импульсного характера» шума.

– для инфразвука – предложение исключить из СН 2.2.4/2.1.8.583 возможность одночисловой оценки инфразвукового воздействия посредством сравнения с нормами только уровня звукового давления L_{pLin}, измеренного по шкале шумомера «линейная». Как показано в [6], такая оценка во-первых метрологически не обоснована, во-вторых может приводить к неверным результатам, когда измеренное значение L_{pLin} оказывается меньше нормативной величины, а уровни звукового давления в октавных полосах инфразвукового диапазона превышают нормы. Кроме того, необходимо исправить редакционную ошибку в определениях постоянного и непостоянного инфразвука;
– для ультразвука – предложение ограничить нормируемый частотный диапазон контактного ультразвука тремя низшими октавными полосами со среднегеометрическими частотами 16 кГц, 31,5 кГц и 63 кГц, поскольку ни в России, ни за рубежом нет поверяемой аппаратуры для диапазона частот, выше 90 кГц. Кроме того, не удалось найти в литературных источниках факты вредного воздействия контактного ультразвука для октавных полос со среднегеометрическими частотами, выше 63, кГц.

2.2 Технические документы

Технические документы (ГОСТ и ГОСТ Р, СНиП и СП) регламентируют требования к методам измерения и оценки факторов акустического воздействия. В настоящее время в Российской Федерации действует более 150 стандартов, СНиП и СП. В последние 15 лет ведется активная работа по гармонизации отечественной базы стандартов с международными и европейскими стандартами. В табл. 1 дано сопоставление числа межгосударственных и национальных стандартов с международными и европейскими стандартами в соответствии с классификацией областей стандартизации, принятой техническим комитетом ТК 358 «Акустика». Приведенные данные позволяют оценить уровень гармонизации и тенденции предстоящих работ в этом направлении. Наиболее гармонизированными являются стандарты на методы определения шумовых характеристик машин и мест пребывания людей (строки 2, 3 табл. 1), стандарты на средства защиты от шума и методы определения их эффективности (строки 5,6) и стандарты на методырасчета, оценки и планирования мероприятий по снижению шума на местности (строка 13). Уровень гармонизации этих стандартов превышает 60 %. Не гармонизированы стандарты на шум железнодорожного, воздушного, морского и речного транспорта, а также на шум в строительстве и акустические материалы.

Таблица 1

Сопоставление числа отечественных (ГОСТ и ГОСТ Р), международных (ИСО) и европейских (ЕН) стандартов

Назначение	**ГОСТ, ГОСТ Р**	**ИСО**	**ЕН**
Общие физические и методические аспекты акустики	6 (1)*	21	12 (5)
Общие методы определения звуковой мощности	12 (12)	14	12 (12)
Воздействие звука на людей	13 (8)	13	13 (11)
Аудиометрия	-	17	17 (13)
Средства индивидуальной защиты от шума	9 (3)	5	5 (2)
Защита от шума с помощью экранов, кабин, кожухов и глушителей	15 (10)	11	6 (6)
Шум автотранспорта	10 (2/4**)	10	8 (2)
Шум железнодорожного транспорта	2 (-)	2	2 (2)
Авиационный шум	10 (-)	2	1 (-)
Шум, излучаемый морскими и речными судами	2 (-)	3	2 (2)
Шум, излучаемый различными машинами, инструментом и оборудованием	45 (14/4***/1****)	47	25 (14)
Шум в строительстве	5 (-)	36	24 (17)
Шум на местности	6 (6)	9	1 (1)
Акустические материалы	6 (-)	4	3 (2)
Виброакустика	-	6	4 (4)
Всего	141 (56)	200	135 (93)

* В скобках дано число стандартов, гармонизированных с международными (ИСО, МЭК) или европейскими стандартами

**Под дробью указано число стандартов, гармонизированных с международными правилами ЕЭК ООН

***Под дробью указано число стандартов, гармонизированных с международными МЭК.

****Указано число стандартов, гармонизированных с европейскими стандартами

Общий уровень гармонизации европейских стандартов выше, чем отечественных. Исключение составляют методы оценки авиационного шума и шума на местности.

За последние два года введены в действие 17 межгосударственных и 11 национальных стандартов. 27 из них гармонизированы с международными стандартами ИСО и один с европейским стандартом. Среди них все шесть стандартов, касающихся шума, воздействующего на человека на местности.

Два из них ГОСТ 31295.1 [14] и ГОСТ 31295.2 [15] устанавливают метод расчета затухания звука при его распространении на местности. Первый - вследствие поглощения звука в атмосфере при различных метеорологических условиях. Второй - вводит общий технический метод расчета затухания звука, применяемый для прогнозирования уровней шума на расстоянии от источников шума с известным излучением при метеорологических условиях, способствующих распространению звука. Метод позволяет производить расчеты в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 63 Гц до

8000 Гц для точечного или группы точечных источников. При расчетах учитывается геометрическое расширение звуковой волны, поглощение звука атмосферой, влияние земли, отражение звука от поверхностей, экранирование препятствиями. В приложении приведена дополнительная информация по распространению звука в жилых массивах, сквозь листву и в промышленных зонах.

Два стандарта устанавливают правила описания и методы измерения и оценки шума на местности. ГОСТ 31296.1 [10] определяет основные величины, используемые для описания шума на селитебной территории, и устанавливает основные методы и процедуры оценки шума. ГОСТ 31296.2 [16] вводит методы определения уровней звукового давления прямыми измерениями, экстраполяцией по результатам измерений или расчетом и является основой для оценки шума на местности.

ГОСТ 31297 [17] устанавливает технический метод определения уровней звуковой мощности промышленных предприятий и установок с множественными источниками шума с максимальными линейными размерами площадки предприятия ориентировочно от 16 до 320 м. Стандарт предназначен для определения уровней звуковой мощности предприятий, где основная часть оборудования работает вне помещений, например нефтехимических установок, камнедробильных установок и каменоломен, надшахтных копров. Он применим также для предприятий, на которых имеются установки с непрерывным или циклическим движением, например канатные скребковые экскаваторы или конвейеры, измерение шума которых может быть проведено по меньшей мере на одном рабочем цикле. Совместно со стандартами на методы определения уровней звуковой мощности источников шума, перечисленными в ГОСТ 23941 [18], данный стандарт позволяет получить исходные данные для оценки уровней звукового давления в окружающей среде, например по ГОСТ 31296.2.

ГОСТ 31301 [19] устанавливает мероприятия (методики, процедуры) по управлению шумом преимущественно установок и производств, работающих под открытым небом. Стандарт применяют в целях установления требований к мероприятиям по управлению шумом при проектировании новых и модернизации (в том числе расширении) существующих установок, для распределения ответственности между потребителем, подрядчиком и поставщиком оборудования и установления требований к шуму конкретного оборудования исходя из требований к шуму установки.

На базе ГОСТ 31296.1, ГОСТ 31296.2 и ГОСТ 31295.2 разработан ГОСТ Р 53187 [20] с датой введения 1 декабря 2009 г., устанавливающий показатели и правила проведения шумового мониторинга в городах при комплексном воздействии всех источников шума, а также при воздействии отдельных подвижных и стационарных источников.

Перечисленные стандарты совместно со СНиП 23-03 [21] и СП 23104 [22] образуют достаточный комплекс технических документов для организации и проведения измерения и оценки шума, воздействующего на человека в среде

его проживания, составления шумовых карт селитебных территорий, выделения на них зоны акустического дискомфорта с указанием в их пределах данных по числу людей или жилых единиц, подверженных воздействию повышенного шума и разработке мероприятий по защите населения от шума.

Литература

1. Н.И. Иванов, И.Е. Цукерников, И.Л. Шубин. О разработке федерального закона «Об охране окружающей среды от акустического загрязнения и защите человека от вредного акустического воздействия». Труды науч.-практич. конф. с международным участием «Строительная физика в 21-м веке» НИИСФ, М.: 2006
2. Кодекс города Москвы об административных правонарушениях. Закон города Москвы от 21 ноября 2007 года N 45
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
4. СН 2.2.4/2.1.8.583-96. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки
5. СанПиН 2.2.4/2.1.8.582-96. Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения
6. И.Е. Цукерников. О требованиях к акустическим параметрам в проекте специального технического регламента «О требованиях к безопасности объектов технического регулирования, необходимых для обеспечения санитарно – эпидемиологического благополучия на территории Российской Федерации». Стандарты и качество, 2006, 6, с.20-22
7. ISO 9612:1997. Acoustics - Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment
8. ISO 1996-1:1982. Acoustics - Description and measurement of environmental noise - Part 1: Basic quantities and procedures
9. Изменение №1 ГОСТ 12.1.050 ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах
10. ГОСТ 31296.1-2005 (ИСО 1996-1:2003). Шум. Описание, измерение и оценка окружающего шума. Часть 1. Основные величины и процедуры оценки
11. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
12. IEC 61672-1:2002. Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications
13. ГОСТ Р 53188.1-2008 (МЭК 61672:2002) Шумомеры. Часть 1. Технические требования (дата введения – 01.12.2009)
14. ГОСТ 31295.1-2005 (ИСО 9613-1:1993). Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой

15. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996). Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета
16. ГОСТ 31296.2-2006 (ИСО 1996-1:2003). Шум. Описание, измерение и оценка окружающего шума. Часть 2. Определение уровней звукового давления.
17. ГОСТ 31297-2005 (ИСО 8297:1994). Шум. Технический метод определения уровней звуковой мощности промышленных предприятий с множественными источниками шума для оценки уровней звукового давления в окружающей среде
18. ГОСТ 23941-79. Шум. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования
19. ГОСТ 31301-2005 (ИСО 15664:2001). Шум. Планирование мероприятий по управлению шумом установок и производств, работающих под открытым небом
20. ГОСТ Р 53187. Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий
21. СНиП 23-03-2003. Строительные нормы и правила РФ. Защита от шума
22. СП 23-104-2004. Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГОРОДСКОГО И АВИАЦИОННОГО ШУМА ФИРМЫ "СВАНТЕК"

Думинов С.В.
ЗАО "Алгоритм-Акустика", г. Москва, Россия
sduminov@svantek.com.pl

1. Вступление

Быстрое развитие современных мегаполисов и рост экономического потенциала страны приводят к неизбежному увеличению шумового воздействия на население. Это приводит к необходимости постояннного контроля за источниками шума.

Фирма "СВАНТЕК" занимается разработкой современной виброакустической аппаратуры, в том числе и стационарных систем мониторинга. В докладе представлена информация о новейшей портативной станции мониторинга шума с новыми возможностями дистанционной передачи данных, а также приведены примеры практического использования станции для мониторинга городского шума.

Вся представленная в докладе информация и технические данные основываются на собственном опыте фирмы "СВАНТЕК".

2. Станции мониторинга шума

Что такое "станция мониторинга шума"? Под названием "станции мониторинга шума" подразумевается электронный прибор, размещенный в непосредственной близости от источника (-ов) шума, способный измерять разные величины шума, регистрировать результаты в своей памяти, а также пересылать их на растояние с целью дальнейшего анализа. Таким образом станция мониторинга шума должна характеризоваться стабильной и автономной работой, устойчивостью к различным условиям окружающей среды а также актам вандализма. Станции используемые в переодическом мониторинге шума должны быть просты в использовании и транспортировке. Следует добавить, что станция мониторинга шума является елементарным составляющим системы мониторинга шума.

2.1 Семейство станции мониторинга шума SV 21 фирмы "СВАНТЕК"

Среди целой гаммы своих продуктов фирма "СВАНТЕК" имеет три модели станций для длительного и периодического мониторинга шума. Станция SV 210 предназначена для длительного измерения (мониторинга) шума и метеорологических параметров окружающей среды под «открытым»

небом в различных погодных условиях с автоматической беспроводной передачей измеренных данных на центральный компьютер. Станции SV 211 и SV 212 предназначены для кратковременного (до 3 недель) измерения шума и вибрации (SV 212) а также метеорологических параметров окружающей среды под «открытым» небом в различных погодных условиях с автоматической беспроводной передачей измеренных данных на центральный компьютер. Все модели станций SV 21x имеют возможность подключения метео модуля, позволяющего регистрировать метеорологические данные, такие как температура, давление и влажность воздуха а также статистики скорости и направления ветра.

Рисунок 1. Станции мониторинга шума фирмы "СВАНТЕК".
Станция длительного мониторинга - слева, периодического - справа

На рисунке 1 представлены станции длительного и периодического мониторинга семейства SV 21x фирмы "СВАНТЕК".

Области использования станций SV21x:

- мониторинг авиационного шума на территориях, прилегающих к аэропортам и находящихся на маршрутах взлета и посадки самолетов;
- постоянный мониторинг шума транспортных потоков на магистралях городов и населенных пунктов;
- постоянный контроль шумового загрязнения больших территорий, городов, крупных предприятий и заводов;
- постоянный контроль воздействия шума на людей в рабочих зонах

2.2 Конструкция станций мониторинга шума SV21x

Конструктивно станция мониторинга шума SV21x может быть выполнена либо в герметичном боксе, либо в герметичном кейсе (см. рисунок 1). На рисунке 2 представлена обобщенная схема станции мониторинга шума семейства SV 21x фирмы "СВАНТЕК". В корпусе станции расположены: шумомер 1 класса, аккумуляторная батарея, контроллер и модем (GPRS).

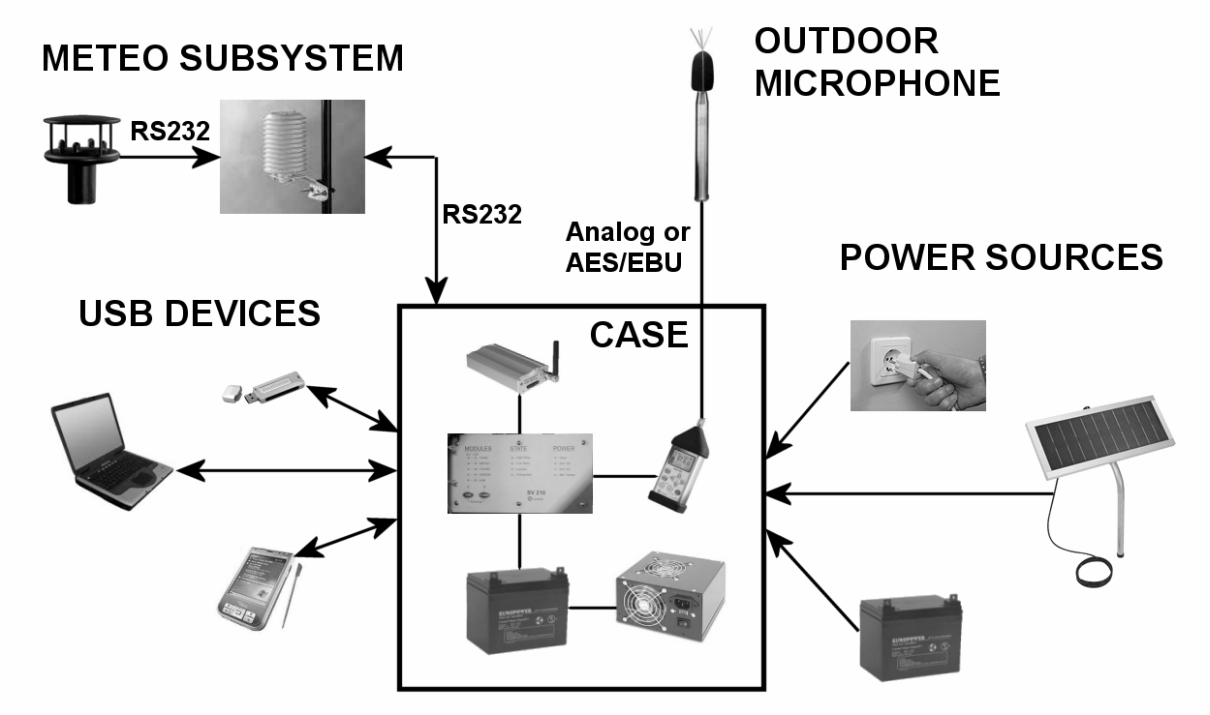


Рисунок 2. Схема станции мониторинга шума семейства SV 21x фирмы "СВАНТЕК".

Установленный внутри станции шумомер позволяет измерять уровни звука и уровни звукового давления в 1/1 и 1/3 октавных полосах частот.

Аккумуляторная батарея может быть использована как "backup" при существующим наружним источнике питания так и как основной источник питания станции сроком до 3 недель в зависимости от комплектации станции.

Контроллер станции осуществляет управление сбором и передачей измеренных данных от разных модулей. Дополнительно контроллер выполняет постоянное тестирование системы и выявляет возможные сбои и ошибки.

2.3 Некоторые технические характеристики станций мониторинга шума SV 21x

Избранные технические данные станций мониторинга шума SV 21x приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики станций мониторинга шума семейства SV 21x фирмы "СВАНТЕК"

Параметр/модель	**SV 210**	**SV 211, SV 212**
Размер, [мм]	475 x 385 x 240	410 x 325 x 175
Вес, [кг]	16	10
Класс герметичности, (IEC 60529)	IP66	IP67
Рабочая температура, [C]	-20 до +60	
Питание	AC, DC, солнечная батарея	DC, солнечная батарея
Время работы, [ч] (от встроенных аккумуляторов)	до 115	до 235

3. Действующая система мониторинга авиационного шума фирмы "СВАНТЕК"

3.1 Общее описание системы

На сегодняшний день в Польше функционирует система мониторинга авиационного шума фирмы "СВАНТЕК". Система производит мониторинг шума аэропорта города Вроцлава и небольшого, спортивного аэродрома в Варшаве. Система мониторинга шума включает в себя 4 станции постоянного мониторинга шума SV210 - по две в каждом аэропорту. Размещение станций производилось относительно положения взлетного полотна и направления воздушных корридоров в окрестностях аэропорта. И так на примере аэропорта в городе Вроцлаве, одна станция мониторинга шума размещена перпендикулярно взлетному полотну аэропорта на растоянии около 1 км от него, другая - в линии воздушного корридора в нескольких километрах от аэропорта. На рисунке 3 показана карта размещения станций мониторинга шума в окрестностях аэропорта города Вроцлава. Толстой черной линией обозначено взлетное полотно, тонкими черными линиями - воздушные корридоры а эмблема фирмы "СВАНТЕК" символизирует место положения станции.

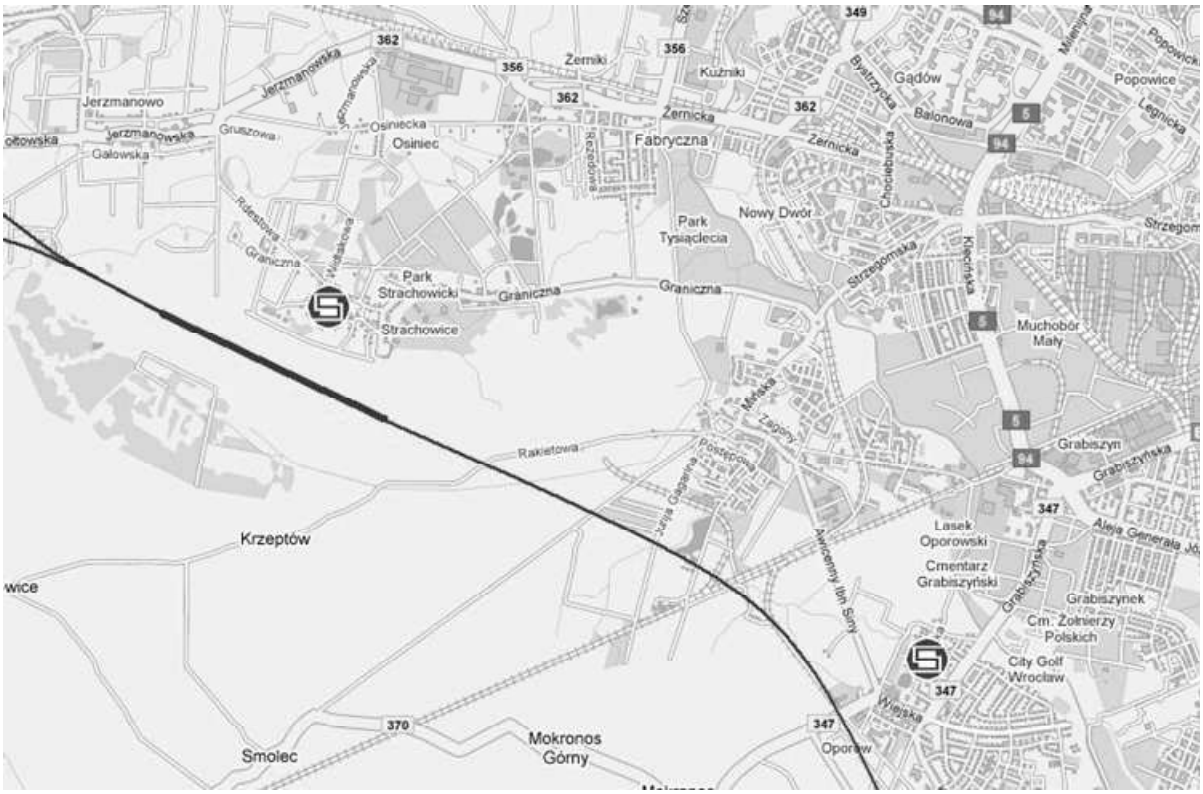


Рисунок 3. Размещение станций мониторинга шума
в окрестностях аэропорта города Вроцлава.

3.2 Основная идея системы

Основная идея системы мониторинга шума фирмы "СВАНТЕК" показана на рисунке 4.

Кроме станций мониторинга шума в состав системы входит центральный компьютер и сервер FTP (File Transfer Protocol). Главной задачей центрального компьютера является бесперебойный сбор информации со всех станций системы посредством Интернета и размещение этих данных на сервере FTP. Система работает в реальном времени с периодом сбора данных 1 час. Это означает, что центральный компьютер каждый час собирает и размещает новые измерительные данные на сервере FTP. Таким образом персонал отвечающий за последующую обработку акустических данных и составление рапортов имеет постоянный доступ к измерительным данным, которые обнавляются практически "on-line".

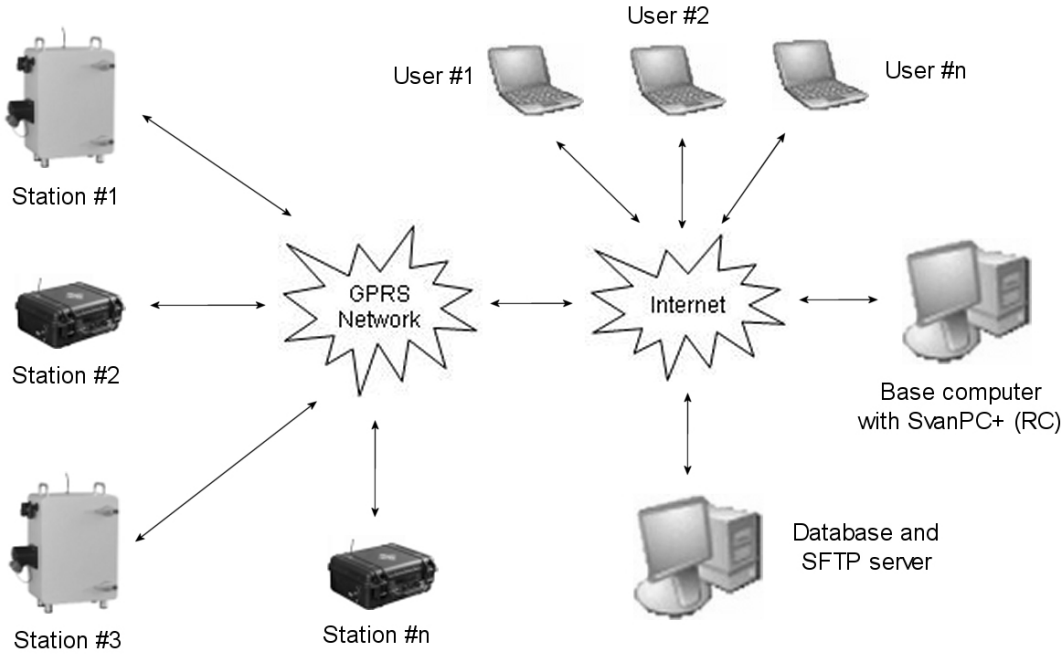


Рисунок 4. Система мониторинга шума фирмы "СВАНТЕК".

3.3 План развития системы

Система мониторинга шума фирмы "СВАНТЕК" постоянно развивается. В этом году планируется разместить 4 станции мониторинга шума SV210 в аэропорту города Гданьска в северной части Польши а также расширить мониторинг во Вроцлаве, доставляя еще 2 станции мониторинга шума SV210.

Следующим шагом в развитии системы мониторинга шума фирмы "СВАНТЕК" является автоматическая публикация результатов мониторинга в Интернете и доступ к этим данным через обычный веб-обозреватель.

4. Трэнды развития аппаратуры для мониторинга шума

Сегодня практически каждый електронный прибор проходит этапы интеграции и миниатюризации, одновременно увеличивая количество своих функций. Хорошим примером являются сотовые телефоны, которые в гонке за рынком предлагают все больше и больше разных функций таких как встроенные фотографические аппараты, сенсорные экраны, диктафоны и проигрыватели аудио/видео а также различного рода проводные и беспроводные интерфейсы комуникации: GPRS, Bluetooth, IrDa, USB, WiFi и другие. И все это в небольшом карманном приборе называемым сотовым телефоном!

Следуя мировым трэндам и выходя на встречу потребителям фирма "СВАНТЕК" изобрела портативную, интегрированную станцию мониторинга шума SV 200.

4.1 SV 200 - интегрированая станция мониторинга шума

На рисунке 5 показана главная идея портативной интегрированной станции мониторинга шума SV 200.

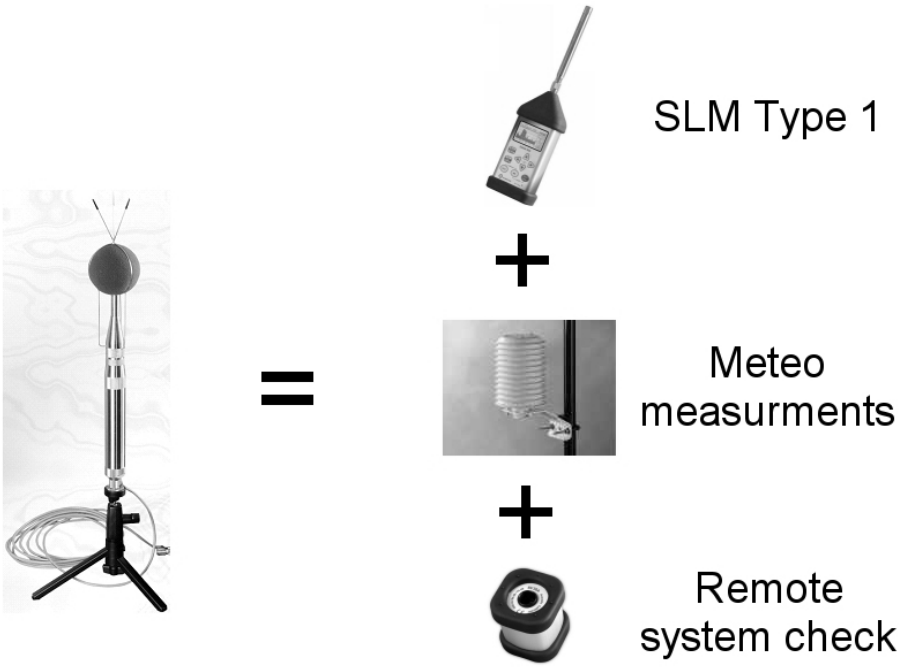


Рисунок 5. Главная идея станции мониторинга шума SV 200.

Станция мониторинга шума SV 200 включает в себя три основные функции: шумомер 1 класса, модуль метео и функцию удаленной "калибрации" системы. И все это интегрированно в небольшом корпусе всепогодного микрофона (см. рисунок 5)! К дополнительным функциям станции можно отнести защиту перед зарошением измерительного микрофона, защиту от перегрегрева и переохлаждения прибора а также многочисленные комуникационные возможности: GPRS, Bluetooth, LAN, WiFi и другие. Не даром стация мониторинга шума SV 200 носит рабочее название "Smart Microphone".

К ВОПРОСУ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАЗРАБОТКИ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ПО ШУМУ И ИНФРАЗВУКУ

Гагарин С.А.
Удмуртский государственный университет
2002gsa@mail.ru

При разработке санитарно-защитных зон (СЗЗ) промышленных предприятий обоснование границы зоны воздействия производства оценивается по химическим и физическим типам загрязнений. При этом следует отметить, что обеспеченность нормативной и специализированной литературой в оценке шумового загрязнения от промышленных предприятий значительно ниже по сравнению с аналогичными задачами при химическом загрязнении. Среди основных нормативных документов можно отметить СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [1] и СНиП «Защита от шума» [2, 3], а также МГСН 2.04-97 [4].

В настоящее время, в России проводится широкомасштабная работа по составлению СЗЗ как для отдельных предприятий, так и для промышленных узлов. Учитывая разнообразие и особенности функционирования предприятий можно выделить отдельные группы производств по общим характеристикам. Так СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 по производимой продукции рассматривает 12 типов производств:

- химические объекты и производства;
- металлургические, машиностроительные и металлообрабатывающие объекты и производства;
- добыча руд и нерудных ископаемых;
- строительная промышленность;
- обработка древесины;
- текстильные промышленные объекты и производства легкой промышленности;
- обработка животных продуктов;
- промышленные объекты и производства по обработке пищевых продуктов и вкусовых веществ;
- микробиологическая промышленность;
- производство электрической и тепловой энергии при сжигании минерального топлива;
- объекты и производства агропромышленного комплекса и малого предпринимательства;
- сооружения санитарно-технические, транспортной инфраструктуры, объекты коммунального назначения, спорта, торговли и оказания услуг.

С позиции учета источников шума и инфразвука можно для частных целей дополнительно использовать другие классификационные признаки, например, по тоннажности (массивности оборудования и перемещаемых грузов), с учетом временных характеристик, степени организации источников воздействия (на открытой территории, в помещении) и др.

Предприятия строительного цикла имеют специфические, по сравнению с другими производствами, особенности. Для них характерны широкополосный шум, перемещение массивных изделий, неравномерность работы во временном диапазоне, использование специфически «шумного» оборудования (смесители, вибраторы, отбойные молотки и др.).

При этом, как правило, при проведении инвентаризации источников физического воздействия учету подвергаются только источники шума, а такой компонент загрязнения как инфразвук если и учитывается, то только как фоновая составляющая прилегающей территории.

Ниже рассматриваются два типичных производства данной отрасли – завод ячеистого бетона и кирпичный завод (керамических материалов).

Распространение звуковой волны для них имеет свой характерный рисунок, который отличается в спектральном диапазоне и, что, не менее важно, во временном. На примере завода ячеистого бетона в городе Ижевске можно выделить основные производственные источники шума и инфразвука хронического воздействия и эпизодические.

Таблица 1

Источники шума характерные для предприятий строительной промышленности

Источники шума	Инфразвук, дБ”Лин”	Уровень звука, дБ”А”	Время воздействия, %
Завод ячеистого бетона			
бетоносмеситель	97,8	96	35
участок тяжелого бетона	100,3	97,8	85
вибростол	102,1	100,6	35
ручной вибратор	93,1	86,2	20
козловой кран	86,1	71,3	10
отбойный молоток	103,6	98,5	5
Ввоз-вывоз продукции (проходная)	78,5	54,63	Менее 5%
Кирпичный завод			
Электросварочные работы	97,2	88,6	10
Участок формовки (много-ковшовый экскаватор)	95,5	89,2	35
Участок сушки и обжига	89,9	88,7	85
Элеватор	89,2	86,9	85
Печная вагонетка	88,2	83,3	20
Газовые горелки	89,3	85,2	90
Термоупаковка	88,1	78,9	10
Ввоз-вывоз продукции (проходная)	72,9	57,18	Менее 5%

На рис.1 представлены фрагменты расположения заводов и близость жилой зоны.

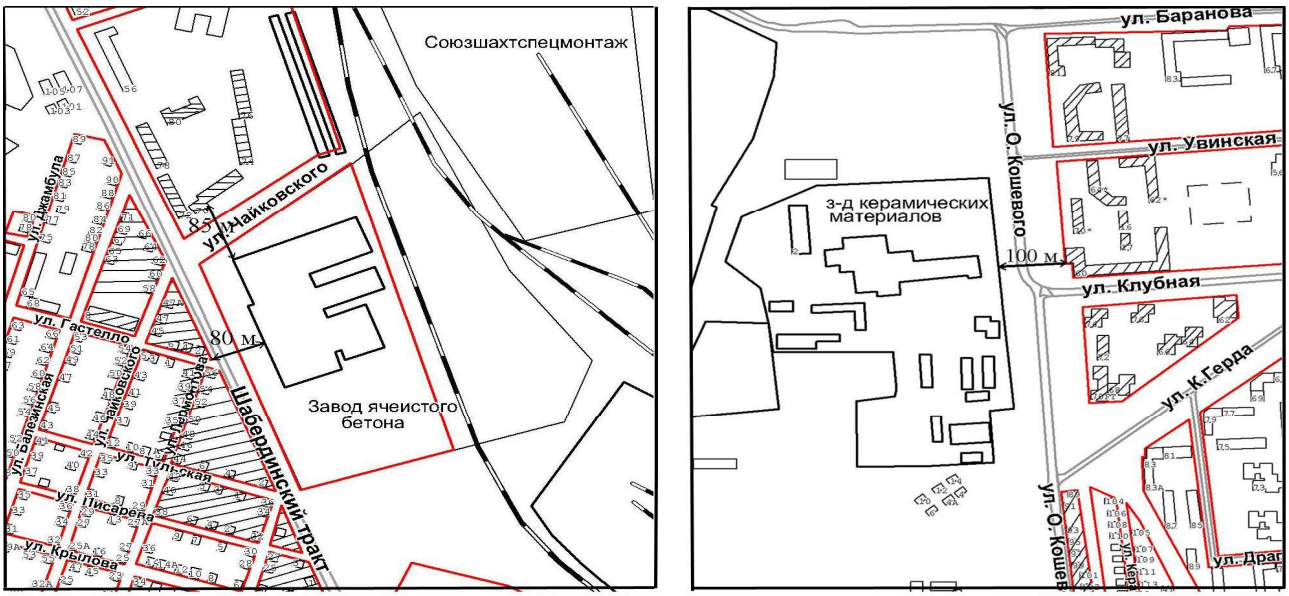
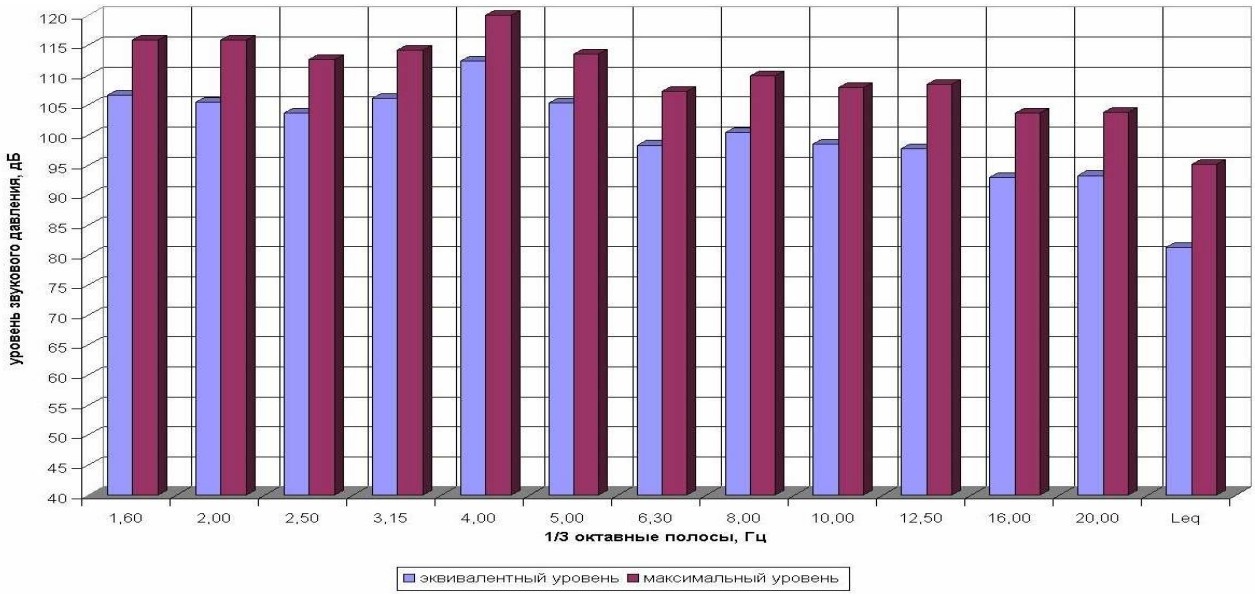


Рис.1 Расположение заводов Ячеистого бетона и Керамических материалов относительно жилой зоны

Основные источники шума подобных производств располагаются в помещении, как правило, благополучно вписываются и в нормативные размеры СЗЗ, и в условия плотной городской застройки, когда уменьшается размер санитарной зоны.

Сложнее обстоит ситуация с инфразвуком. Заводские помещения неспособны эффективно снижать данное звуковое давление, и как показано на рисунках 2, 3 возникает опасность превышения санитарных гигиенических нормативов в селитебной зоне.



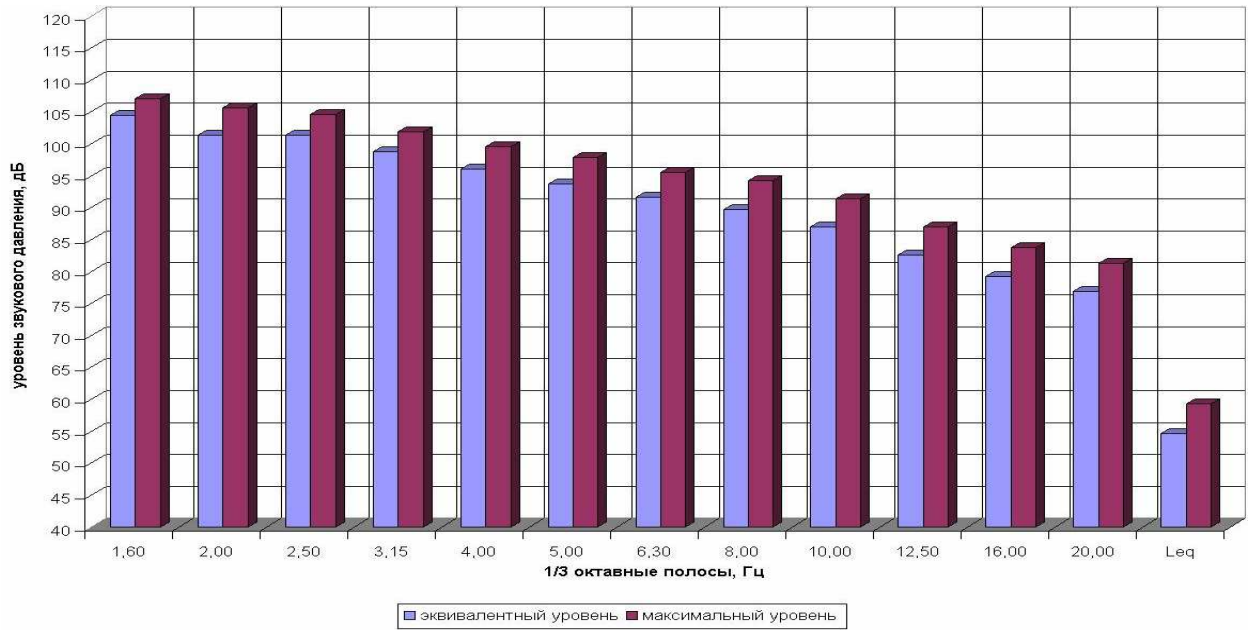


Рис. 2 и 3 Уровни звукового давления по инфразвуку на проходной завода Ячеистого бетона и у жилого дома (85 м).

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.583-96 утвержденные санитарные нормы и правила регламентации инфразвука на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки не должны превышать пороговых значений.

Таблица 2

Результаты замеров инфразвука от завода ячеистого бетона

Контролируемая территория	**Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со средне-геометрическими частотами, Гц**				**Общий уровень звукового давления, дБ**
	2	**4**	**8**	**16**	
Требования к территории жилой застройки	90	85	80	75	90
Проходная завода	105,55	112,36	100,48	92,95	106,45
В 7 метрах от жилого дома	101,32	96,02	89,69	79,27	94,35

По данным рисунков 3 и 4, а также по таблице 2 уменьшение СЗЗ по границе расположения ближайших жилых домов без природоохранных мероприятий (перенос места въезда-выезда грузового автотранспорта, использование железнодорожной линии, распределение отдельных видов работ во времени, перемещение наиболее шумных участков в отдаленные от жилой зоны участки и др.) с 300 метров до 85 невозможно.

При составлении СЗЗ предприятия по физическому фактору имеет смысл обратить внимание на следующие особенности:

– сопоставление полученных результатов инструментальных замеров с данными по аттестации рабочих мест (главный недостаток которых, это отсутствие информации по частотному разложению звука);
– учет временного фактора и выделение стационарных и эпизодических источников, а также сезонности работы предприятия;
– следующая особенность вытекает из второй – это учет на контрольных точках критерия безопасности по максимальному ПДУ звукового давления;
– четвертая особенность, характерная именно для подобных производств – выезд-заезд крупнотоннажного транспорта на территорию промплощадки, как следствие, необходим учет специфического источника инфразвука.

Таким образом, требуемый нормативный размер СЗЗ в 300 метров должен рассматриваться по трем составляющим - по эквивалентному и максимальному уровню звукового давления, а также по инфразвуку.

Литература

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов
2. СНиП II-12-77. Защита от шума/ Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 1999. - 52 с.
3. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. - М.: Стройиздат, 2003. - 52 с.
4. Пособие к МГСН 2.04-97 Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, М.: Мосархитектура, 1998. – 50 с.
5. 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. - 8 с.
6. СН 2.2.4/2.1.8.583-96 Инфразвук на рабочих местах, в жилых, общественных помещениях и на территории жилой застройки, Минздрав России, Москва, 1997. - 19 с.
7. Ахметзянов И.М., Гребеньков С.В., Ломов О.П. Шум и инфразвук. Гигиенические аспекты. – СПб.: Бип, 2002. – 100 с.

СНИЖЕНИЕ ШУМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЫБРОСА ПАРА В АТМОСФЕРУ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ ТЭС МАЛОЙ ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Чугунков Д.В.
Московский энергетический институт (Технический университет)
chugunkovdv@mpei.ru

Шум тепловых электрических станций (ТЭС) оказывает существенное воздействие на экологическую обстановку на территории жилых районов и промышленных зон.

На ТЭС шум создаёт ряд источников: устья дымовых труб (от газотурбинных установок – ГТУ, осевых дымососов, котлов-утилизаторов ГТУ), воздухозаборы дутьевых вентиляторов, корпуса тягодутьевых машин (ТДМ), компрессорные установки, газорегуляторные пункты (ГРП), трансформаторы, градирни, а также выбросы пара в атмосферу [1].

Выбросы пара являются самыми мощными источниками шума ТЭС и связаны со многими технологическими процессами, а именно:

- растопкой котлов;
- продувкой пароперегревателей котлов;
- срабатыванием главных предохранительных клапанов (ГПК – рис.1) и предохранительных клапанов промежуточного перегрева;
- редуцированием пара в редукционно-охладительных установках (РОУ) и в быстродействующих редукционно-охладительные установках (БРОУ);
- продувкой линий обеспаривания турбин;
- парокислородной предпусковой очисткой внутренних поверхностей котлов.

Рис.1. Недорасширенная струя пара, образующаяся при выбросе пара в результате срабатывании ГПК котла большой паропроизводительности

Расходы сбрасываемого пара на мощных энергетических котлах с большой паропроизводительностью имеют высокие значения – до 240 т/ч на каждый выхлопной трубопровод котла. Шум выбросов пара на таких котлах ТЭС определяется только шумообразованием струй пара, которые являются, как правило, недорасширенными (неизобарическими), неизотермическими и трансзвуковыми, скорость пара в струе возрастает свыше 1000 м/с, что соответствует числу Маха 1,6…1,7 [2]. Основная генерация шума такими струями начинается после достижения струей изобарического сечения, где происходит интенсивное смешение истекающего пара с окружающим воздухом [2].

Уровни звука вблизи выбросов пара составляют более 137 дБА, что превышает значение предельно-допустимого уровня звука в 110 дБА для

прерывистого шума, при этом общий уровень звуковой мощности выбросов пара соответствует 167 дБА и более [2].

Для снижения шума выбросов пара на ТЭС с котлами большой паропроизводительности применяют глушителей шума, принцип действия которых основан на плавном снижении статического давления, скорости пара за счёт наполнителя или специальных устройств – завихрителей, а также за счёт значительного увеличения проходного сечения. В некоторых глушителях дополнительно применяются ступени звукопоглощения. Для достижения требуемого снижения шума такие глушители имеют высокие массогабаритные характеристики.

В России наряду с энергетическими котлами ТЭС большой паропроизводительности существуют котлы ТЭС малой паропроизводительности, выбросы пара от которых также существенно превышают допустимые нормы, как на производственной территории, так и в окружающем жилом районе.

Проведенные авторами акустические измерения показывают, что уровни звука в 1 м от выброса пара энергетических котлов ТЭС малой паропроизводительности составляют более 120 дБА при расходах сбрасываемого пара до 20 т/ч.

Шум выбросов пара от котлов ТЭС малой паропроизводительности определяется образованием шума за счёт двух источников:

– истечением дозвуковой струи пара в атмосферу;
– генерацией шума турбулентным потоком пара за клапаном.

Шум дозвуковой струи пара зависит в основном от скорости истечения пара из выхлопного трубопровода.

Перепад давлений пара на предохранительном клапане, как правило, составляет 1,8 и более, что соответствует критической скорости истечения турбулентного потока пара за предохранительным клапаном. Возникновение критической скорости течения потока пара приводит к генерации сильного шума, который распространяется по выхлопному трубопроводу и излучается в окружающий район от среза выхлопного трубопровода.

Величина наибольшего влияния того или иного источника шума определяется скоростью пара в дозвуковой струи, снижением шума турбулентного потока за клапаном в выхлопном трубопроводе и др.

До настоящего времени вопросам снижения шума выбросов пара от котлов ТЭС малой папроизводительности уделялось мало внимания.

Для решения данной проблемы авторами разработана конструкция глушителя шума выброса пара для энергетических котлов ТЭС малой паропроизводительности, отличающаяся малыми массогабаритными характеристиками, а также учитывающая особенности образования шума выброса пара от котлов ТЭС малой паропроизводительности.

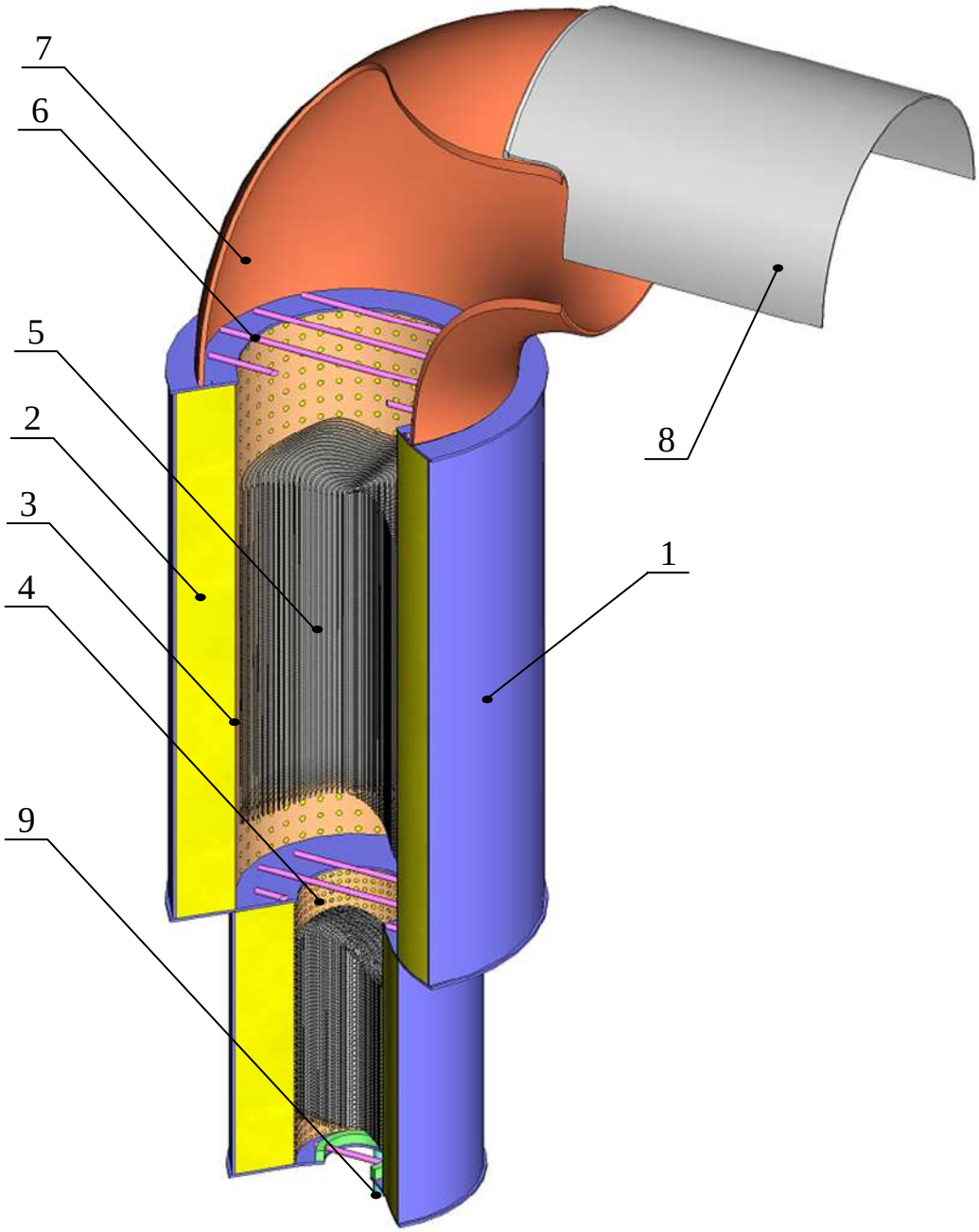


Рис. 2. Глушитель шума выброса пара конструкции МЭИ
для энергетических котлов ТЭС малой паропроизводительности

Разработанный глушитель (рис.2) содержит двухступенчатый цилиндрический корпус 1. Внутренняя поверхность каждой ступени облицована негорючим, негигроскопичным звукопоглощающим материалом 2. Звукопоглощающий материал защищается от выдувания с помощью стеклоткани 3 и перфорированных металлических обечаек 4 с коэффициентом перфорации не менее 25 %. Внутри ступеней глушителя находится спирально свёрнутая плетёная стальная одинарная сетка 5 номинальным размером стороны ячейки в свету 15–20 мм и диаметром проволоки 1,6–2 мм, способствующая плавному расширению потока пара. Сетка 5 в ступенях глушителя удерживается перегородками 6, выполненными из стальных

круглых прутков. Для направления выходного потока пара из глушителя шума в боковом направлении на выходе второй ступени глушителя устанавливается отвод (поз.7). На отводе 7 устанавливается козырёк 8 для предотвращения попадания атмосферных осадков во внутренние полости глушителя. Первая ступень глушителя снабжена дренажной трубкой 9 для отвода накапливающегося конденсата из глушителя.

Длина первой ступени глушителя составляет 0,5м, второй ступени – 1,5 м.

Вес конструкции глушителя составляет 300 кг.

Разработанный глушитель шума был установлен на выхлопных трубопроводах после ГПК энергетических котлов ст.№№1, 2 ТЭЦ-7 ОАО «Мосэнерго».

Энергетические котлы ст.№№1, 2 ТЭЦ-7 снабжены двумя ГПК, каждый из которых имеет пропускную способность 16 т/ч при номинальных параметрах пара на котле (давление 32 кгс/см^2, температура 390 °С). Таким образом, было установлено 4 глушителя шума.

После установки глушителей шума были проведены их испытания для определения акустической эффективности и надёжности работы (рис. 3).

Рис.3. Испытания глушителей шума выброса пара конструкции МЭИ, установленных на выхлопных трубопроводах после ГПК котлов ст.№№1, 2. ТЭЦ-7 ОАО «Мосэнерго»

Акустические испытания проводились частотным анализатором шума типа LD ViRTe 3000+ фирмы «Ларсон-Дэвис-Лэборэторис», погрешность измерения которого составляет ±0,1 дБ.

Акустическая эффективность глушителей шума выброса пара характеризуется разницей значений уровней звукового давления (УЗД) в точке контроля шума до и после установки глушителя. В качестве контрольной для выхлопных трубопроводов после ГПК служила точка на крыше котельного

цеха на расстоянии 1 м от каждого глушителя шума котлов. Измерения шума свободной струи пара (без глушителя) осуществлялись на крыше котельного цеха в 1 м от выхлопного трубопровода (рис.4).

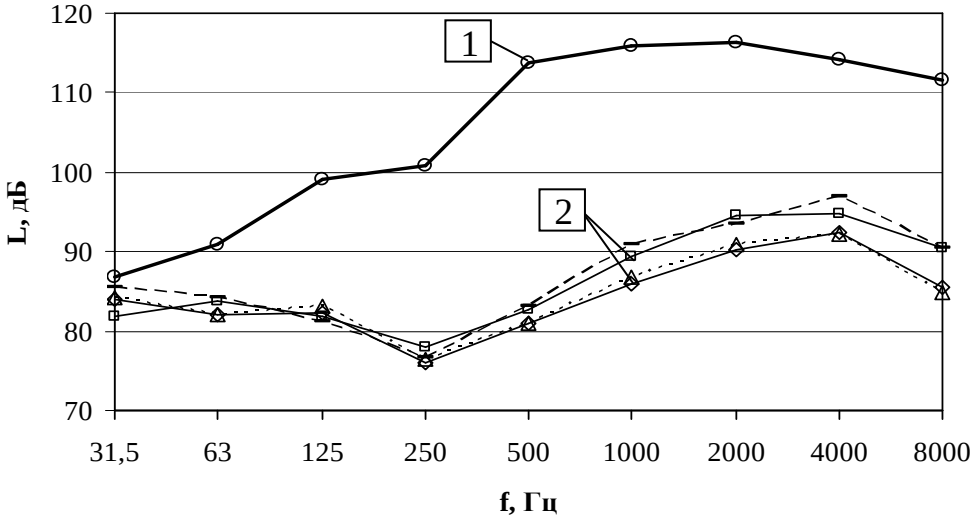


Рис.4.УЗД в 1 м от выброса пара котла малой паропроизводительности:
1 – без глушителя шума, 2 – с глушителем шума конструкции МЭИ

В табл.1 приведена акустическая эффективность каждого установленного глушителя шума, полученная по результатам акустических испытаний, в сравнении с требуемым снижением уровней шума. Из табл.1 видно, что акустическая эффективность глушителей по уровню звука составляет 21,2–25,5 дБА, по УЗД – 1,3–32,8 дБ для среднегеометрических частот 31,5-8000 Гц.

Таблица 1

Наименование	**Уровни звукового давления, дБ,в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц**									**Уровень звука, дБА**
	31,5	*63*	*125*	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*	*8000*	
Эффективность глушителя шума после ГПК №1 котла ст.№1, дБ	2,9	8,8	16,8	24,7	32,8	30,0	26,1	21,8	26,1	25,5
Эффективность глушителя шума после ГПК №2 котла ст.№1, дБ	2,7	8,6	16,1	24,3	32,8	29,1	25,4	22,0	26,8	25,3
Эффективность глушителя шума после ГПК №1 котла ст.№2, дБ	1,3	6,5	17,9	24,1	30,6	24,9	22,9	17,2	21,0	21,2
Эффективность глушителя шума после ГПК №2 котла ст.№2, дБ	5,0	7,0	17,2	22,9	31,0	26,4	21,7	19,3	21,1	22,0
Требуемое снижижение уровня шума выброса пара	***0,0***	***0,0***	***0,0***	***2,7***	***11,8***	***17,8***	***18,3***	***15,9***	***11,7***	***16,5***

Из табл. видно, что все установленные глушители шума гарантированно обеспечивают требуемое снижение уровня шума выброса пара.

В настоящее время в Российской энергетике ведутся работы по строительству новых парогазовых блоков (ПГУ). Для надёжной работы блоков

ПГУ на котлах-утилизаторах предусмотрены аварийные сбросы пара на контурах низкого, среднего и высокого давлений, а также в некоторых случаях на пакете промперегрева. Проведенные авторами расчёты уровней шума выбросов пара от котлов-утилизаторов по [3] показывают высокие уровни шума сбросов пара, поэтому котлы-утилизаторы блоков ПГУ должны быть оснащены глушителями шума выброса пара.

Выбросы пара от контуров низкого давления котлов-утилизаторов имеют относительно небольшие расходы – до 20 т/ч, в связи с этим, различные модификации разработанной авторами конструкции глушителя шума могут применяться для снижения шума выбросов пара от контуров низкого давления котлов-утилизаторов блоков ПГУ.

В настоящее время в МЭИ ведутся работы по комплексному снижению шума выбросов пара от котла-утилизатора блока ПГУ-800 Киришской ГРЭС с использованием модификации разработанной авторами конструкции глушителя шума для контура низкого давления.

Выводы

1. Рассмотрен механизм образования шума выбросов пара на котлах ТЭС малой паропроизводительности.
2. Проведенные авторами акустические измерения показывают, что уровни звука в 1 м от выброса пара энергетических котлов ТЭС малой паропроизводительности составляют более 120 дБА при расходах сбрасываемого пара до 20 т/ч.
3. Приведено описание и результаты испытаний разработанной авторами конструкции глушителя шума выброса пара для энергетических котлов малой паропроизводительности.
4. Отмечается, что различные модификации разработанного авторами глушителя шума могут применяться для снижения шума выбросов пара от контуров низкого давления котлов-утилизаторов блоков ПГУ.

Литература

1. Тупов В.Б. Снижение шума от энергетического оборудования. М.: Изд-во МЭИ. 2005.
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. Чугунков Д.В., Тупов В.Б. Расчет уровня шума струй пара при выбросах в атмосферу на ТЭС // Теплоэнергетика. – 2007. – №6. – С. 71–73.

СНИЖЕНИЕ ШУМА И БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ САМОЛЕТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ДВИГАТЕЛЯМИ СВЕРХБОЛЬШОЙ СТЕПЕНИ ДВУХКОНТУРНОСТИ

Бакланов В.С.
ОАО Туполев
baklanov@tupolev.ru

Применение двигателей большой двухконтурности обеспечило существенное повышение топливной эффективности, а также снижение шума самолётов на местности за последние 20 лет на 20 дБ.

В 2006 году вступили в силу новые нормы авиационного шума на местности(Том 1,4-ая Глава, Приложение 16 Норм ИКАО).

Инициатором существенного ужесточения норм (на 10 дБ) выступило Европейское сообщество, ссылаясь на высокую плотность населения в зоне Европейских аэропортов. За этой инициативой скрывается жёсткая конкуренция основных производителей самолетов: Боинга и Аэрбаса. В существенно более старом парке самолётов Боинга по сравнению с Аэрбасом сотни самолётов не удовлетворяли новым нормам.

В таком же положении оказались и старые российские самолёты, оснащенные двигателями малой степени двухконтурности (m~ 1,0…2,0).Все новые российские самолёты, выпускаемые серийно (Ту-204-120 с двигателями RR, Ту-204-100,Ту-214,Ту-204-300,Ил-96-300 с двигателями ПС-90А, степенью двухконтурности 4,5), оснащенные 2-х слойными звукопоглощающими панелями (в каналах воздухозаборников и во внешнем тракте двигателей) 2-го поколения, удовлетворяют нормам шума 4-ой главы с запасом 3…5дБ.

Эффективность шумоглушения необходимо увеличивать, так как уже обсуждается новое ужесточение Норм.

Сегодня приняты несколько Научно-исследовательских Программ по снижению шума на местности. Одним из основных направлений является переход от двигателей большой степени двухконтурности(4,5…6,0) к двигателям сверхбольшой степени двухконтурности(8…12).

Уже сегодня эксплуатируется ряд самолётов с двигателями двухконтурности 8,5…9(Боинг777, Боинг747,А-340).

Опыт эксплуатации самолётов нового поколения с двигателями сверхбольшой степени двухконтурности показал, что произошло существенное перераспределение характера шума. При существенном снижении шума струи двигатель остаётся основным источником шума, но теперь это шум вентилятора, в котором, кроме гармоник на частотах следования лопаток, наблюдается полигармонический ряд составляющих, возбуждаемый ударными волнами в широком диапазоне частот (так называемый пилообразный шум) [1].

Одна из необходимых мер борьбы с ударными волнами – снижение частоты вращения вала вентилятора, определяет тенденцию сдвига вибрационного спектра двигателя в низкочастотную область. Эти составляющие будут определять спектр динамического воздействия СУ, передаваемый через узлы крепления на конструкцию планера.

Для планера современного самолета (в виду его балочной конструкции) характерно наличие нескольких десятков форм колебаний в низкочастотной части спектра; взаимодействие некоторых из них с возмущающим воздействием силовой установки может привести к генерированию в кабинах самолетов дискретных низкочастотных составляющих шума (вплоть до инфразвуковых) высокого уровня .

Проведенные исследования в Португальском медицинском центре уже отмечают наличие повышенного уровня инфразвуковых составляющих шума в кабине экипажа в сравнении с пассажирским салоном на современных самолетах [2] (рис 2).

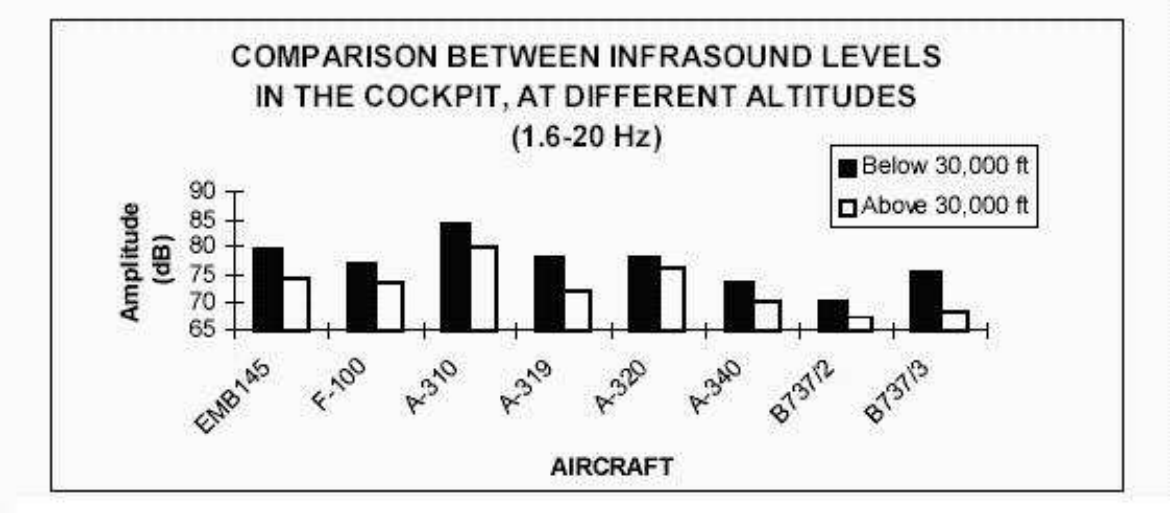


Рис. 2. Сравнение уровня инфразвука в кабине пилотов для разных самолётов

Полученные данные вызывают беспокойство в связи с возможным увеличением этих составляющих при переходе на двигатели сверхбольшой двухконтурности.

Вибрационный спектр турбовентиляторных двигателей, особенно большой двухконтурности, существенно расширяется вследствие применения двух-трёх-вальных схем со сдвигом в низкочастотную часть спектра в связи с уменьшением частоты вращения ротора вентилятора или возможным применением редуктора, что и будет определять низкочастотную часть спектра шума в гермокабине.

Новейшие исследования показывают, что низкочастотный шум в октавной полосе 31 Гц и особенно инфразвуковой диапазон с октавными полосами 8 и 16 Гц являются вредным фактором, влияющим на здоровье и работоспособность человека [2,3]. Это связано с тем, что объёмные частоты многих внутренних

органов человека лежат в инфразвуковом диапазоне. Также имеются данные об изменении проницаемости эритроцитарных мембран, ишемических изменениях в миокарде и перикарде, а также расслоении ткани перикарда под воздействием инфразвука.

Низкочастотные акустические колебания инфразвукового диапазона по характеру своего действия сходны с воздействием вибрации, т.к. оказывают непосредственное воздействие на систему черепно-мозговых нервов.

Сегодня нет обязательных международных норм, лимитирующие внутренний шум в кабинах самолетах. Обеспечение тех или иных условий по шуму показатель конкурентоспособности фирм-изготовителей или эксплуатирующих компаний. Уровень шума в кабинах пилотов устанавливает фирма-изготовитель с учетом мнения крупных авиакомпаний, которые ориентируются на соглашения с профсоюзом.

Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах лётного состава воздушных судов соответствуют требованиям ГОСТа 20296-81, но допустимые уровни инфразвука до 110 дБ [4] не соответствуют сегодняшним представлениям о роли инфразвука при воздействии на организм. Санитарные нормы Минздрава России [5], разработанные на основе новейших исследований воздействия инфразвука на организм человека, ограничивают суммарный уровень инфразвука, например, для работ интеллектуально-эмоциональной напряженности до 95 дБ.

Для обеспечения комфортных условий работы экипажа и безопасности полета при выборе силовой установки для самолётов нового поколения, наряду с решением проблем снижения шума на местности, необходимо включать разработку высокоэффективной системы виброзащиты экипажа и пассажиров.

Таким образом, при создании нового поколения самолётов с малошумными салонами потребуется преодолеть проблемы, так и нерешённые при создании винтовентиляторных самолётов нового поколения в 80-ые годы, когда разработка специальных мер по снижению шума, вызванного воздействием винтовентилятора, потребовала весовых затрат, превышающих доходы от топливной эффективности.

При выборе виброзащиты гермокабины самолета на первое место выходят средства снижения виброактивности двигателей и передачи вибраций по конструкции, где наиболее эффективным нам представляется встраивание блоков виброизоляции в узлы крепления двигателей.

Но какие бы средства виброзащиты (активные или пассивные) не применялись, для обоснованного выбора параметров блоков виброизоляции, необходима расчетная модель, учитывающая реальные динамические характеристики конструкций, как двигателя, так и планера в местах опорных связей [6].

Многолетние исследования [7] по определению динамических характеристик корпусов ряда двигателей различных степеней двухконтурности и конструкции планера магистральных самолетов позволили существенно уточнить расчетные модели современных авиационных конструкций в

диапазоне частот вращения роторов двигателей и определить тенденцию изменения динамических характеристик двигателя при увеличении его двухконтурности.

На основе полученных динамических характеристик сделаны расчеты ожидаемого шума от вибрационного воздействия двигателя [7,8]. Сравнение ожидаемого шума и экспериментальных данных показывает не только хорошую сходимость уровня роторной гармоники вентилятора на разных режимах работы двигателя, но и указывает на возможность генерирования низкочастотных составляющих высокого уровня при эксплуатационном уровне вибрации двигателя (рис. 4).

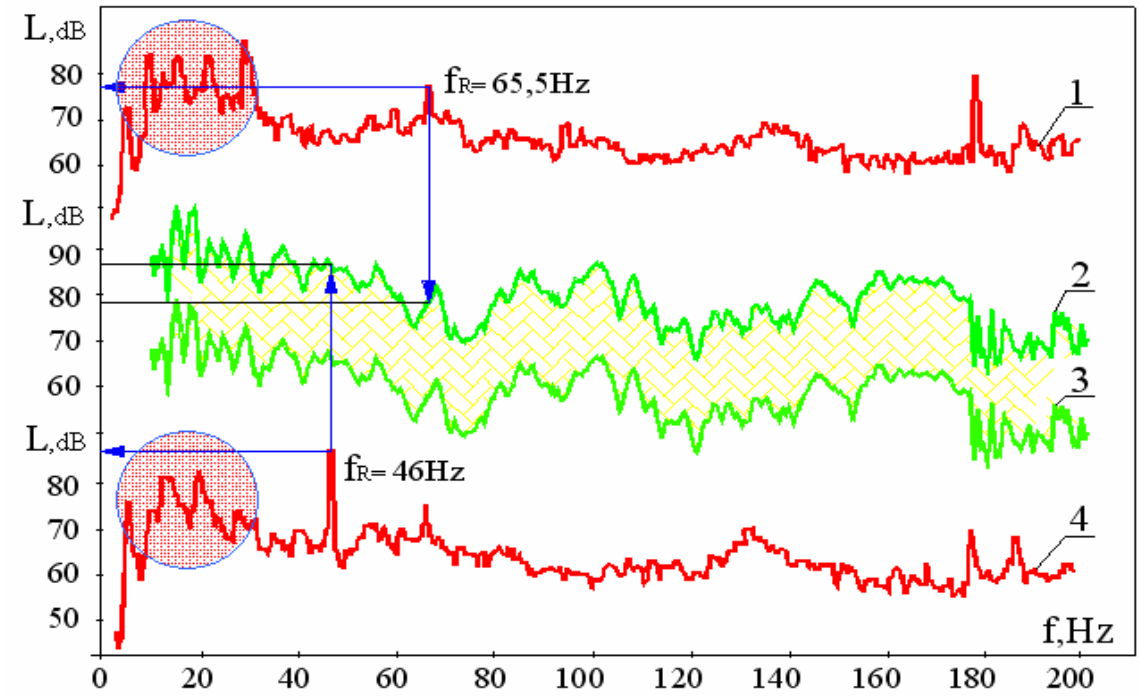


Рис. 4. Сравнение экспериментального и прогнозируемого (расчетного) структурного шума в кабине самолета
1, 4 – Экспериментальные данные, V_E = 10 мм/сек
2, 3 – Расчётные данные для уровня вибрации V_E = 10 мм/сек, V_E = 1 мм/сек соответственно

Это подтверждено новейшими исследованиями на самолёте-демонстраторе QTD2 (B-777 с двигателями GE90-115B, степень двухконтурности которых равна 9), где низкочастотные составляющие возвышаются в общем спектре на 30-40 дБ [9].

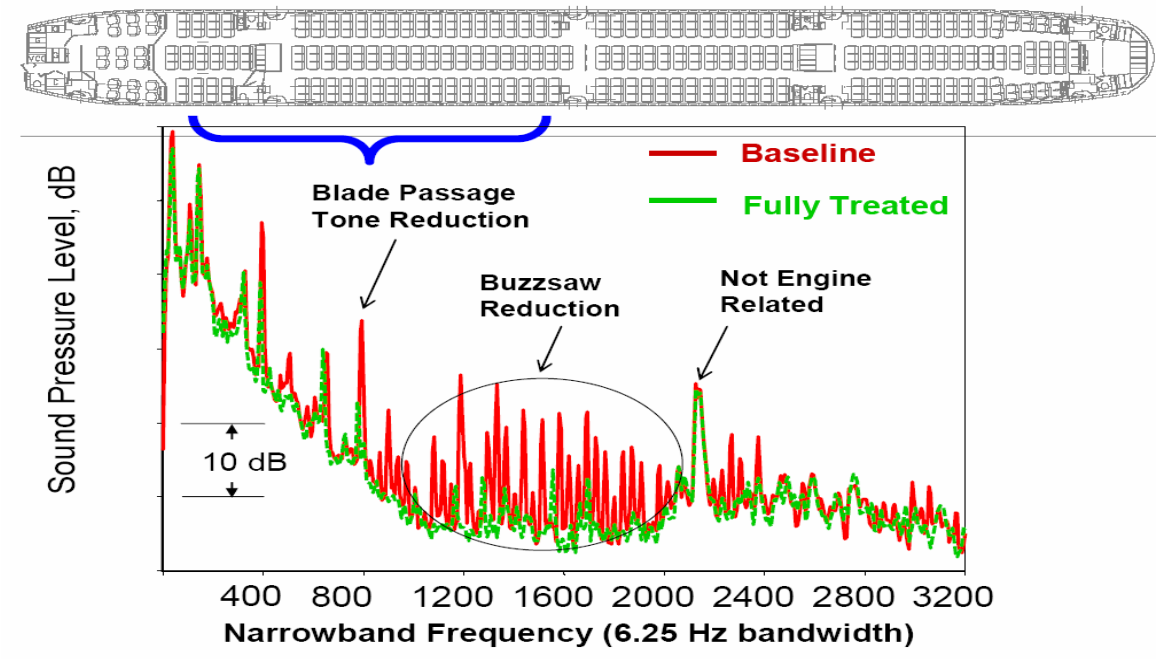


Рис. 5. Снижение шума в передней части кабины в результате установки акустически гладкого воздухозаборника [9].

В связи с этим допустимые уровни инфразвука на рабочих местах операторов, (например, экипаж самолета), выполняющих работы различной степени интеллектуально-эмоциональной напряженности должны существенно ужесточиться, в соответствии с санитарными нормами [5].

Выводы

Выбор силовой установки для самолётов нового поколения, кроме решения проблем внешнего шума, требует разработки высокоэффективной системы виброзащиты экипажа и пассажиров для поддержания комфортных условий и обеспечение безопасности полёта.

Основой системы виброзащиты должно стать виброизолирующее крепление двигателей разработанное с учётом реальных частотных характеристик планера и корпусов двигателей самолётов нового поколения.

Литература

1. S. Uellenberg, Buzzsaw Noise Predictions for Modern Turbofans. // 10th AIAA/CEAS Aeroacoustics conference (Manchester), AIAA-2004-3000.
2. Alves- Pereira M., Castelo Branko M.S., Motylewski J., Pedrosa A., Castelo Branko N. Airflow – Induced Infrasound in Commercial Aircraft // INTER-NOISE 2001 The Hague, The Netherlands, August 2001.
3. M. Alves-Pereira, Proc. of 11th International Congress on Sound and Vibration, St. Petersburg, Russia, 5-8 July 2004.

4. «Гигиена и эпидемиология на транспорте», Санитарные правила и нормы, СанПиН 2.5.1.051-96 Госкомсанэпиднадзор России, М., 1996
5. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.583-96 Минздрав России, М. 1997.
6. Baklanov V.S. Low-frequency vibroisolation mounting of power plants for new generation airplanes with engines of extra-high bypass ratio // J. of Sound and Vibration, 2007, V. 308, No. 3-5, p. 709-720.
7. Агафонов В.К., Бакланов В.С., Вуль В.М., Попков В.И., Попов А.В. . Исследование динамических и виброакустических характеристик самолета и двигателя методом тарированного тестирования. Доклады VIII конференции по аэроакустике, ЦАГИ, М., 1990, с.141-144.
8. V. Baklanov, A. Zayakin, E. Orlenko, S. Postnov. The calculation of structural noise in cabin for aircraft with high-by-pass ratio engines. *//* Proc. of 11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Monterey, California, May 23-25 2005, AIAA 2005-3034, pp. 1-9.
9. E. Nesbitt, Jia Yu and all, “Quiet Technology Demonstrator 2 Intake Liner Design and Validation” // 12th AIAA/CEAS Aeroacoustic Conference, 8-10 May, 2006, Cambridge, Massachusetts.

ИССЛЕДОВАНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ФОНА ШУМА

Баженов А.А.[1], *Дроздова Л.Ф.*[2], *Кирпичников В.Ю.*[3]
Российский федеральный ядерный центр – ВНИИ экспериментальной физики, г. Саров Нижегородской области, Россия (1)
Балтийский государственный технический университет им. Д.Ф.Устинова (Военмех) (2)
Центральный научно-исследовательский институт им.акад. А.Н. Крылова (3)
drozdovalf@yandex.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований минимальных уровней естественного фона шума в помещениях и на открытых площадках г.Сарова и г.Санкт-Петербурга при субъективном отсутствии источников шума.

Рассмотрены вопросы анализа указанных уровней, а также некоторые вопросы методики исследований и измерений.

Предложены рекомендации по применению полученных результатов исследований.

Введение

В настоящее время ведутся разработки самого тихого дисковода для компьютеров (менее 30 дБА). При тестировании таких дисководов одной из проблем является фоновый шум, уровни которого должны быть минимум на 6 дБ, а еще лучше на 10 дБ ниже уровня дисковода. Требуется ли для определения шумовых характеристик дисковода проводить измерения шума в заглушенной или полузаглушенной камере или можно найти помещения с уровнем фоновых шумов (уровнем звука, УЗ) 20 дБА? В различных студиях уровень фонового шума также должен быть не выше 30 дБА. Достижение таких уровней возможно только при качественной звукоизоляции помещений, связанной с большими трудозатратами. Чем тише район расположения указанных помещений, тем меньше эти затраты. Но даже самые тихие районы имеют естественный фон шума . Поэтому важно знать, какие уровни этого естественного фона, каковы их минимальные значения, каков их спектр, как спектр меняется со временем и т.д.

При назначении санитарных норм важно знать, до каких минимальных уровней можно ужесточать эти нормы, например, нормы по шуму для самых «тихих» жилых комнат квартир домов категории А. В ранее существующих отечественных санитарных нормах и правилах СНиП II-12-77 /1, 2/ допустимый уровень звука в частотной полосе А для территорий, непосредственно прилегающих к зданиям больниц и санаториев, был явно занижен и составлял 35 дБА. В более поздних – СНиП 23.03-2003 /3/ предельно допустимое

значение уровня звука ограничено значениями 40 дБА и 50 дБА для ночного и дневного времени суток, соответственно.

Имеется также целый ряд высокоточных технологических помещений, где критичными являются уровни шума (природных и промышленных микросейсм).

Во всех вышеуказанных случаях необходимо знать минимальные уровни естественного фона шума, но особенно это необходимо при решении вопросов защиты речевой информации. К сожалению, авторы не смогли найти публикаций с исследованиями минимальных уровней естественного фона шума (в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц). Можно было только предполагать, что минимальный уровень естественного фона шума реализуется в студиях и находится на уровне 20 дБА /4/.

Методика экспериментальных исследований

Что мы будем понимать под естественным фоном шума ? Естественный фон шума складывается из природного фона шума и техногенного фона шума , причем уровень техногенного фона постоянно возрастает. Так, например, шумы большого города или аэропорта слышны за несколько километров; низкочастотные вибрации от промышленных взрывов распространяются за десятки–сотни километров. Учитывая вышеизложенное, ясно, что при измерениях минимальных уровней естественного фона шума необходимо исключить воздействие «ближних» локальных (или распределенных) природных и техногенных источников шума. При проведении этих измерений нами рассматривались только те шумы, которые по форме близки к стационарным гауссовским (нормальным) процессам с широким спектром частот (без тональных и импульсных шумов), например, «квазибелый» или «квазирозовый» шум. На практике часто используется термин «фоновый шум», но этот термин не имеет никакого отношения к рассматриваемому вопросу. Наиболее близок к нашему термину термин «остаточный шум» (по ISO 1996) – это шум окружающей среды без наличия специфичного шума. Но и «остаточный шум», как правило, имеет достаточно большой уровень, так как при его измерении отключается только основной источник шума, а все остальные остаются.

При измерении минимально возможных значений естественного фона шумов необходимо знать значения собственных шумов применяемой измерительной аппаратуры. Дело в том, что уровни собственных шумов аппаратуры для надежных измерений должны быть, по крайней мере, на 6 дБ ниже уровня измеряемых шумов. Уровни собственных шумов широко применяемой на практике измерительной аппаратуры составляют 10–15 дБА для микрофонных измерительных трактов. Для шумомеров эквивалентные уровни собственных шумов имеют значения от 9 до 40 дБА. Для особых случаев измерения в специальных помещениях, например, в звуковых камерах, разработаны специализированные малошумящие микрофоны типа 4179 фирмы

«Брюль и Къер» (уровень собственных шумов минус 2,5 дБА). В дальнейшем, при проведении исследований было установлено, что большинство современных измерительных трактов обеспечивают надежное определение минимальных уровней естественного фона шума.

С целью исключения производственных, транспортных и других техногенных шумов исследования минимального уровня естественного фона шума проводились в самых «тихих» помещениях. Всего было обследовано 14 различных помещений, в том числе служебные помещения административных зданий, лаборатории, цехи, подземный вестибюль метрополитена, жилые помещения домов и учебные помещения. Минимальные уровни естественного фона были измерены также на семи открытых площадках, в том числе на территории предприятий, в поселках и лесных массивах. Измерения проводились во временные периоды, когда по субъективному восприятию операторов отсутствовала помеха от каких-либо внутренних или внешних источников шума.

Длина каждой временной реализации шума (записи) варьировалась по субъективному восприятию отсутствия помехи. Количество реализаций в каждом месте измерения варьировалось от 10 до 300. Из всех реализаций в данном месте выбирались либо та, которая имела минимальные значения, либо огибающая минимальных значений. Далее все выбранные реализации для конкретной категории помещения (площадки) сравнивались друг с другом и некоторые из них – с наибольшими уровнями – исключались из дальнейшего рассмотрения. Критерием дальнейшей статистической обработки полученного массива реализаций была их высокая «кучность» (разница между максимальным и минимальным значениями УЗ каждого массива реализаций меньше 3–5 дБ). Окончательно определялись наименьшие значения («минимум миниморум») уровней шума по всем массивам измерений.

Отметим, что при измерениях уровней звукового давления (УЗД) в соответствии с отраслевыми стандартами (ГОСТ 23337-78 /5/ и др.) упор делается на выбор такой точки измерения, в которой могут наблюдаться максимальные значения шума . В данной работе все делалось наоборот (т.е. выбирались такие точки измерения, в которых могли реализовываться минимальные значения исследуемых физических факторов).

Результаты исследований

1. Исследования естественного фона шума в помещениях, проведенные в 1999 г. в Санкт-Петербурге, показали, что практически во всех районах городской застройки превалирующую роль играют транспортные шумы. В связи с этим, измерить минимальные уровни шума в большинстве помещений в дневное время суток оказалось невозможным. В 2000 г. были исследованы уровни естественного шума в помещениях при воздействии транспортных потоков, и была произведена оценка доли таких шумов в черте городской застройки. На территории города были выявлены так называемые «черные

зоны» (уровень шума выше 65 дБА) и «серые зоны» (уровень шума выше 55 дБА). Было также показано, что расчетные значения уровней шума внутри помещений от воздействия транспортных потоков внутригородских магистралей и экспериментальные данные имеют достаточно хорошую сходимость (расхождение результатов не превышает 4 дБА).

При измерениях минимального уровня естественного фона шума (после исключения влияния производственных и транспортных источников) большую роль начинают играть следующие шумы техногенного характера:

– шумы систем жизнеобеспечения: вентиляционных установок, оборудования котельных, насосных станций, дросселей ламп дневного освещения и др.;
– шумы аппаратуры (шум вентиляторов в компьютерах и др.).

При проведении исследований были предприняты все возможные меры по сведению этих техногенных шумов к минимуму. Однако полностью избавиться от техногенных шумов не удается даже в подземных вестибюлях метрополитена (низкочастотный шум вентиляционных установок). Тем не менее, в исследованиях 2007–2008 г.г., по-видимому, удалось максимально приблизиться к оценке минимального уровня естественного фона шума. Как и следовало ожидать, наименьшие значения УЗ получены для жилых помещений «спальных районов» города, а также для учебных аудиторий в ночное время. «Кучность» полученных значений имеет разброс не более 3 дБА. Результаты измерения УЗ в дневное и ночное время практически совпадают. Это также косвенно свидетельствует о том, что полученные данные соответствуют минимальным уровням естественного фона шума в помещениях. В качестве примера в таблицах 1 и 2 приведены некоторые данные по измерениям уровня естественного шума в жилых помещениях в дневное и ночное время, соответственно. Получены следующие значения минимального УЗ (при доверительной вероятности 0,95): днем – 21 ± 3 дБА и ночью – 20 ± 3 дБА. Указанные значения УЗ хорошо коррелируют с данными для минимальных УЗ в студиях, приведенными в работе /4/.

Таблица 1

Дневное время, жилые помещения

Тип помещения	УЗД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									УЗ, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	32	33	27	22	18	14	14	12	13	23
2	30	33	28	21	14	9	9	12	13	21
3	30	34	33	17	14	10	11	12	12	20
4	35	33	23	17	13	10	10	12	12	20
5	34	43	23	13	8	7	9	12	12	19
СНиП 23.03-2003	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35
Студии /4/	53	37	24	16	12	10	10	10	10	20

Таблица 2

Ночное время, жилые помещения

Тип помещения	УЗД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									УЗ, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	27	29	24	21	14	11	10	12	13	21
2	30	30	26	20	12	10	10	12	12	20
3	26	28	20	16	11	8	9	13	13	19
4	32	30	18	11	9	7	9	12	12	20
5	29	31	23	20	15	13	11	10	12	20
СНиП 23.03-2003	69	51	39	31	24	20	17	14	13	25

2. При проведении исследований естественного фона шума на территориях (см. таблицы 3 и 4) имеется разброс статистических данных УЗ от 23 до 46 дБА.

Анализ условий и результатов измерений показывает следующее:

– основной массив статистических данных УЗ лежит в диапазоне от 36 до 46 дБА;
– «выбросы» УЗ с минимальными значениями 23 и 33 дБА получены в уникальных условиях; большую роль здесь играет так называемый эффект «отгороженности» – защищенности места измерений различного рода препятствиями (условными акустическим экранами) от источников «дальнего» и «ближнего» шумов; так, например, значение УЗ 23 дБА получено в условиях «поляны», т.е. отгороженности от «дальнего» шума с четырех сторон лесом и дачными домами, а УЗ со значением 33 дБА – в условиях «закрытого дворика», т.е. отгороженности от «дальнего» шума с четырех сторон

каменными домами; в обоих случаях минимальным был и вклад источников «ближнего» шума;

– учитывая, что в отечественных санитарных нормах и правилах СНиП II-12-77 допустимый уровень звука для территорий, непосредственно прилегающих к зданиям больниц и санаториев, составлял 35 дБА /1/, это значение УЗ рекомендуется считать минимальным уровнем естественного фона шума на открытых площадках.

Таблица 3.

Дневное время, открытые площадки

Тип объекта	УЗД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									УЗ, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	55	55	50	41	36	30	23	16	13	39
2	54	50	47	41	42	39	37	31	26	45
3*	46	38	30	32	28	27	24	21	19	33
4	44	48	39	38	40	38	35	34	36	42
5	43	42	42	43	42	40	39	41	40	46
6**	43	36	38	23	21	15	16	13	13	23
СНиП 23.03-2003	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
/6/	-	-	-	44	40	38	35	34	36	40

* результаты измерения получены в условиях «закрытого дворика»

** результаты измерений можно считать уникальными, так как из-за наличия лесного массива удалось провести измерения в отсутствии «дальнего» шума от техногенных источников при условии практического отсутствия «ближнего» шума, в том числе естественной природы (пения птиц, ветра и т.п.).

Таблица 4.

Ночное время, открытые площадки

Тип объекта	УЗД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									УЗ, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	44	44	37	29	30	28	25	24	25	36
2	55	54	45	38	38	35	26	23	24	40
СНиП 23.03-2003	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40

Для площадок, ограниченных со всех сторон эффективными акустическими преградами (закрытый двор, лесная поляна) минимальные значения уровня естественного шума составляют 23–33 дБА.

Заключение

Полученные значения минимального уровня естественного фона шума: в помещениях составляют 20 дБА и результаты измерения УЗ в дневное и ночное время практически совпадают, что касается прилегающих открытых территорий, то значения уровня естественного фона шума в дневное время колеблются от з9 до 46 дБА, в ночное время не превышают 40 дБА. Для территорий, ограниченных с трех- четырех сторон (закрытый двор, лесная поляна), минимальные значения уровня естественного фона шума составляют 23-33 дБА. Меньшие уровни регистрируются крайне редко (в ~2% случаев от общего числа измерений) и только в идеальных условиях полного отсутствия «ближних» и «дальних» источников шума (техногенных, природных, бытовых и т.п.).

Литература

1. СНиП II-12-77. Строительные нормы и правила. Защита от шума. Госстрой России, Москва, 2003.
2. Инженерная экология и экологический менеджмент. Под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадина. Логос, Москва, 2005.
3. СНиП 23.03-2003. Строительные нормы и правила. Защита от шума.
4. М.Ю. Ланэ. Акустика студий, шумоизоляция помещений. «625», № 1 (5), 1994.
5. ГОСТ 23337-78. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.
6. Е.Б. Кученков. Оценка эффективности защиты речевой информации по акустическому и вибрационному каналам. Специальная техника, № 1, 2005.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦЫ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ МАЛОШУМНОГО ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Кирпичников В.Ю. [1], *Дроздова Л.Ф.* [2], *Яковлева Е.В.* [1]
Центральный научно-исследовательский институт им.акад. А.Н. Крылова, С.Петербург, Россия (1)
Балтийский государственный технический университет им. Д.Ф.Устинова (Военмех), С.Петербург, Россия (2)
drozdovalf@yandex.ru

При разработке проекта обоснования размера санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия важной является оценка шумового воздействия предприятия на прилегающую к нему территорию. В качестве нормативов для определения размеров СЗЗ предприятия по шумовому фактору принимают предельно допустимые уровни шума для территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам. Авторами были проведены измерения шума на границе нескольких малошумных предприятий. Было установлено, что измеренные уровни фонового шума, как правило, превышают нормативные значения (с уровнем звука 40 дБА), используемые при определении размеров ССЗ предприятий и, следовательно, являются излишне жесткими, что приводит к завышению размеров СЗЗ таких предприятий по шумовому фактору.

Известно, что санитарно-защитная зона (СЗЗ) объекта (предприятие, сооружение и т.д.; далее – предприятие) является условным защитным барьером, обеспечивающим при его эксплуатации заданный гигиеническими нормативами уровень безопасности населения от химического, биологического и физического воздействия /1–3/. Для определения местоположения ее границы разрабатывают проект обоснования размера СЗЗ предприятия. Один из разделов этого проекта содержит оценку шумового воздействия предприятия на прилегающую к нему территорию.

Согласно Федеральному закону /4/ СЗЗ предприятия, использующего источники шумового воздействия, определяется с учетом степени шумовой комфортности прилегающей территории и обеспечения стабильного состояния на ней шумовой нагрузки. Выполнение этого положения в полном объеме, т.е. с учетом наперед заданной степени шумовой комфортности территории и шумовой нагрузки на нее предприятия, возможно только на стадии

проектирования предприятия. Действительно, в этом случае в рамках проекта расчетным путем могут быть выбраны источники шумового воздействия с характеристиками, необходимыми для требуемой минимизации уровней шумового поля предприятия. Выполнение приведенного положения Федерального закона /4/ при определении СЗЗ действующего предприятия, расположенного на селитебной территории, без внедрения на нем эффективных противошумовых мероприятий, что часто нереально, возможно лишь с учетом сохранения имеющейся степени шумовой комфортности территории, т.е. существующих уровней шумового поля, формируемого не только рассматриваемым предприятием, но и другими техногенными бытовыми и природными источниками шума, не имеющими отношения к предприятию. Во многих случаях вклад этих внешних источников в суммарный шумовой сигнал является определяющим и улучшение степени комфортности возможно только при внедрении противошумовых мероприятий, направленных на уменьшение этого вклада. В большинстве практических ситуаций внедрение таких мероприятий оказывается нереальным.

В качестве нормативов для определения размеров СЗЗ предприятия по шумовому фактору, как правило, принимают предельно допустимые уровни шума для территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам /5/. При этом для круглосуточно работающих предприятий, создающих постоянный шум, задаются его предельно допустимые уровни для ночного времени суток в соответствии с п. 9 таблицы 3 с учетом поправки «–5 дБА» примечания к указанной таблице санитарных норм /5/. Октавный спектр соответствующих предельно допустимых уровней звукового давления для нормируемого частотного диапазона, включающего полосы со среднегеометрическими частотами 31,5–8000 Гц, изображен на рисунке 1 сплошной линией. В качестве предельно допустимого значения уровня звука в частотной полосе А – интегральной частотной характеристики шума – при определении размеров СЗЗ предприятий принимается 40 дБА.

Сравним используемые для определения СЗЗ предельно допустимые значения уровней шума с результатами измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука в частотной полосе А на границе обследованных авторами малошумных предприятий. Под малошумными будем подразумевать предприятия с уровнями собственного шума на границе их территории, меньшими, чем уровни шума, создаваемого внешними источниками, не имеющими отношения к предприятию (например, санитарно-технические сооружения, объекты коммунального назначения, спорта, торговли и оказания услуг и т.д.). Уровни шумового поля обследованных предприятий с достаточно малым числом хорошо изолированных от окружающей среды источников определялись расчетным путем с использованием измеренных шумовых характеристик этих источников. Известно, что именно такой подход обеспечивает наилучшую точность акустических расчетов. (Действительно, фактические, т.е. измеренные, и паспортные шумовые характеристики источников могут отличаться друг от друга на 20 дБ и более).

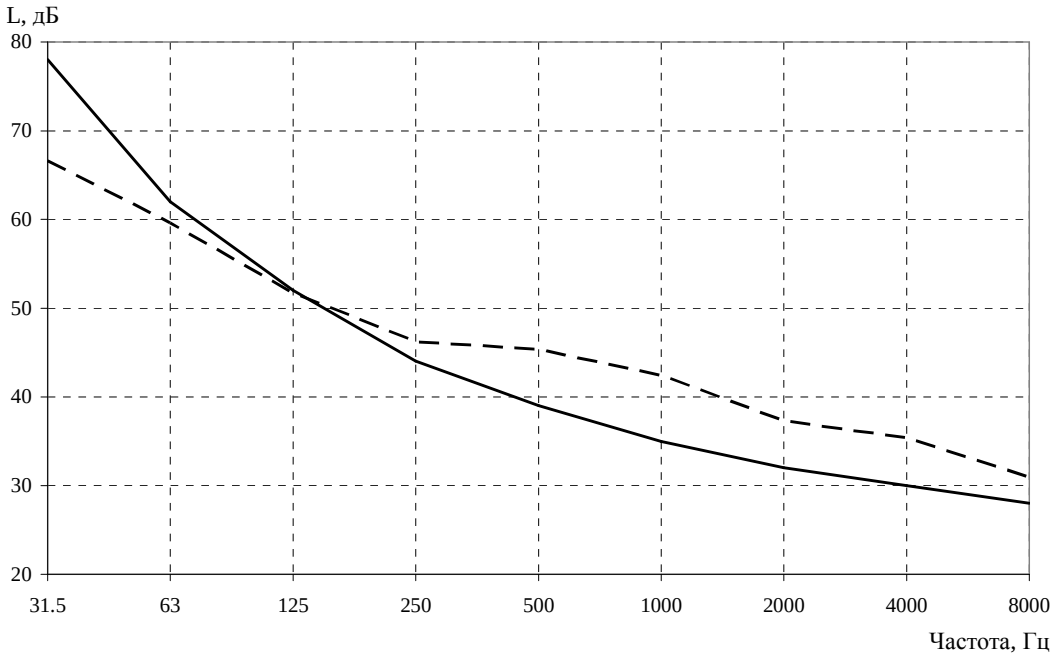


Рис. 1 Октавные спектры звукового давления
1 – спектр, используемый для определения границы СЗЗ предприятий (ночное время суток);
2 – обобщенный спектр средних уровней фонового шума на территориях, где находятся обследованные малошумные предприятия.

Измерения уровней шума были выполнены в 2007–2008 г.г. на границе десяти малошумных предприятий. Все они находятся на территории Ленинградской области: пять в черте городов Красное село, Колпино, Ломоносов, Пушкин; четыре – в поселках Горская, Осиновая роща, Песочный и один – в лесном массиве Ломоносовского района на расстоянии ~5,5 км от ближайшего населенного пункта. Предприятия, находящиеся в черте городов и поселков, располагались в зонах с мало интенсивным шумовым воздействием соседних предприятий и автомобильного транспорта. Во всех случаях влияние железнодорожного и авиационного транспорта на результаты измерений было исключено полностью.

Измерения были проведены в дневное, а в некоторых случаях и в ночное время суток, в периоды, когда по субъективному восприятию операторов отсутствовали ярко выраженные фоновые (транспортные и бытовые) шумы, создаваемые внешними источниками. (По результатам многократных измерений уровни, зарегистрированные в одном и том же месте в дневное и ночное (утренние часы) время суток, отличались друг от друга не более чем на погрешность акустических измерений, которая оценивается величиной порядка ±2 дБ). Несколько меньшие уровни шума регистрировались лишь в предутренние часы. Они отличались от результатов измерений в другое время суток на величину порядка 1–3 дБ.

Отметим, что определяющая роль внешних источников в шумовое поле на границе обследуемых предприятий не вызывала сомнений у операторов по их субъективному восприятию. Получение экспериментальных доказательств правильности этого вывода было возможно только при условии проведения специальных измерений на прилегающей территории. Из-за организационных, технических и других трудностей проведение подобных измерений, как правило, невыполнимо.

Спектр среднегеометрических значений октавных уровней звукового давления на границе обследованных малошумных предприятий изображен на рисунке 1 пунктирной линией. Усреднение выполнено с использованием результатов измерений в 67 точках. Из нескольких реализаций в конкретной точке измерения использовалась лишь та, которая соответствует минимальным уровням фонового шума от техногенных, бытовых и природных источников, не имеющих отношения к предприятию. По своей физической сути приведенный на рисунке октавный спектр звукового давления на границе территории малошумных предприятий является обобщенным спектром фонового шума на территориях, где эти предприятия находятся.

Обращаясь к рисунку 1, видим, что в октавных полосах 250–8000 Гц уровни фонового шума больше нормативных значений, принимаемых для определения размеров СЗЗ предприятий. Средняя, по шести октавным полосам, величина превышения уровней фонового шума над нормативными значениями равняется ~5 дБ, а наибольшее (8 дБ) превышение имеет место в полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц. В низкочастотных полосах 31,5 и 63 Гц уровни фонового шума оказались меньше приведенных на рисунке нормативных уровней. В полосе 125 Гц сопоставляемые уровни оказались одинаковыми.

Было выполнено также сравнение среднего значения уровня звука, дБА, на границе обследованных малошумных предприятий с его значением 40 дБА, принимаемым при определении размера СЗЗ предприятий. Среднее значение уровня звука вычислялось с использованием 115 измеренных величин, из числа которых лишь 11 (т.е. ~10%) были не больше 40 дБ. Отметим, что уровень звука, меньший, чем 40 дБ, был зарегистрирован в 7 точках на границе лишь одного предприятия, территория которого была со всех сторон окружена лесным массивом, а ближайшая жилая застройка находилась на расстоянии ~5,5 км от его границы. Эквивалентные значения фонового уровня звука на границе этого предприятия составили 30–34 дБА, а наибольшее максимальное значение оказалось равным 35 дБА. Среднее значение уровня звука на границе обследованных малошумных предприятий составило ~46 дБА, что больше величины, принимаемой при определении границы СЗЗ предприятий на 6 дБА (в 2 раза). Отметим, что превышения над средним значением ~46 дБА наблюдались в 18 точках измерения. Наибольшие превышения над средним значением (до 9 дБА) наблюдались на границе предприятия, территория которого озвучивалась автотранспортом кольцевой автодороги, расположенной за лесным массивом на расстоянии около полукилометра от предприятия (поселок Осиновая роща).

Отметим, что измерения уровней фонового шума на границе этого предприятия были проведены в летнее и зимнее время. Более высокими оказались уровни шума, измеренные зимой, что было объяснено уменьшением звукоизолирующей способности лесного массива (деревья без листьев) при практически одинаковой интенсивности движения автотранспорта.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Измеренные уровни фонового шума на границе обследованных малошумных предприятий, как правило, превышают их значения, используемые при определении размеров санитарно-защитной зоны предприятий.
2. Средняя величина превышений измеренных значений уровня звука в частотной полосе А над его нормативным значением 40 дБА составляет 6 дБА, а наибольшая – 15 дБА. Средняя (по точкам измерения и частотным полосам 250–8000 Гц) величина аналогичных превышений октавных уровней звукового давления над их нормативными значениями равняется 6 дБ.
3. Уровни шума, меньшие в сравнении с их предельно допустимыми значениями, используемыми для определения размеров СЗЗ предприятий, зарегистрированы на границе лишь одного из десяти обследованных предприятий, расположенного в лесном массиве вдали от населенных пунктов и автомагистралей.

С учетом полученных результатов можно заключить, что используемые для определения размеров СЗЗ малошумных круглосуточно работающих предприятий нормативные уровни шума (с уровнем звука 40 дБА) являются излишне жесткими, следствием чего является завышение размеров СЗЗ таких предприятий по шумовому фактору. Применение таких нормативов можно считать обоснованным для проектируемых предприятий, размещаемых вдали от населенных пунктов и автомагистралей, когда требуется сохранить существующую шумовую комфортность территории непосредственно за границей предприятий. По мнению авторов более логичными нормативными значениями шума при определении размеров СЗЗ таких предприятий (при условиях, что они создают постоянный шум и работают круглосуточно) являются предельно допустимые уровни шума для территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам (п. 9, с 23 до 7 час, таблицы 3 санитарных норма /5/) без учета поправки «–5 дБА» п. 3 примечания к указанной таблице. Указанную поправку предлагается учитывать лишь в отдельных случаях, когда возникает необходимость улучшения шумовой комфортности территорий, прилегающих к малошумным предприятиям, и реальным оказывается внедрение мероприятий по уменьшению уровней шума, создаваемого внешними источниками.

Авторы благодарят Ю.Н. Мукалова и Ю.В. Козунова за выполнение измерений, а также И.А. Пермякова, официальная позиция которого в рассматриваемом вопросе отличалась от нашей позиции и явилась основанием для выполнения настоящей работы.

Литература

1. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30.03.1999 г.
2. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» № 96-ФЗ от 04.05.1999 г.
3. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03, новая редакция.
4. Федеральный закон «Об охране окружающей среды от акустического загрязнения и защите человека от вредного акустического воздействия».
5. 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, 1997 г.

ТРАНСПОРТНЫЙ ШУМ КАК ОДНА ИЗ АКТУАЛЬНЫХ ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Рымарь А.И.
Управление Роспотребнадзора по Республике Коми
rymar@gsenkomi.ru

Транспорт является одной из крупнейших системообразующих отраслей, имеющих тесные связи со всеми элементами экономики и социальной сферы и по мере дальнейшего развития страны, расширения ее внутренних и внешних транспортно-экономических связей, роста объемов производства и повышения уровня жизни населения значение транспорта и его роль как системообразующего фактора будут только возрастать для любого субъекта и административной территории Российской Федерации.

Как указывает «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации № 1734-р от 22.11.2008 года, усиление глобальной конкуренции, охватывающей рынки товаров, услуг, капитала, и других факторов экономического роста, начавшаяся структурная перестройка мирового хозяйства, связанная с изменением баланса между экономическими центрами, возрастанием роли региональных экономических союзов, ожидаемым распространением новых технологий повлечет за собой и изменение национальных и мировых грузо- и пассажиропотоков, рост требований к качеству транспортного обслуживания.

Однако имеющиеся объемные и качественные характеристики транспорта, особенно его инфраструктуры, не позволяют в полной мере и эффективно решать задачи растущей экономики, являются существенными ограничивающими факторами роста экономики и требуют от российского транспорта существенной перестройки, связанных с принятием адекватных стратегических решений по развитию транспортного комплекса на долгосрочную перспективу.

С одной стороны, по мере расширения внутренних и внешних транспортно-экономических связей, роста объемов производства и повышения уровня жизни населения, значение транспорта и его роль как системообразующего фактора будут только возрастать, а с другой стороны будет возрастать его неблагоприятное влияние на качество атмосферного воздуха селитебных территорий, условия жизни и здоровье населения.

При этом одним из общетранспортных ориентиров будет являться развитие транспортной сети в соответствии с потребностями экономики и общества.

Создание условий для снижения уровня техногенного воздействия транспорта на окружающую среду и здоровье человека должно являться одной из главных (приоритетных) целей указанной программы.

Реализация этой цели предполагает выполнение комплекса научно-исследовательских подпрограмм, обеспечивающих разработку новых моделей, методик, технологий, средств и систем.

В Республике Коми, как регионе, имеющем наибольший ресурсный потенциал и низкую плотность населения, автомобильные и железнодорожные перевозки будут ориентированы на обеспечение освоения месторождений полезных ископаемых (нефти, газа, каменного угля, бокситов) и повышения доступности транспортных услуг для населения удаленных и труднодоступных районов. Предполагается развитие сети магистральных автомобильных дорог федерального и регионального значения, а также создание подъездов от населенных пунктов к железнодорожным станциям.

В 2016-2030 годах основными направлениями развития транспортной инфраструктуры станут:

- строительство и реконструкция объектов в аэропортах городов: Сыктывкар, Воркута, Усинск, Ухта;
- строительство технологических железнодорожных линий: Сыктывкар – Пермь (Соликамск); Сосногорск – Индига; Воркута – Усть-Кара; строительство дополнительных главных путей на участках Чум – Инта – Коноша;
- реконструкция на территории республики участков автодорог, включаемых в сеть дорог федерального значения, на направлениях: Северо-Запад – Сибирь (Санкт-Петербург – Котлас – Сыктывкар – Пермь – Ханты-Мансийск – Томск); Северо-Восток – Полярный Урал (Сыктывкар – Воркута с подъездом к Нарьян-Мару);
- строительство и реконструкция участков дорог, формирующих автодорожные маршруты по кратчайшему расстоянию: Сыктывкар – Архангельск – граница Финляндии.

Строительство системы магистральных газопроводов «Ямал-Европа» также потребует адекватного транспортного обслуживания на период строительства и эксплуатации системы (реконструкция существующих и/или строительство новых).

Количество личного автомобильного транспорта в городах будет только увеличиваться, что потребует кардинального изменения к проектированию схем транспортного движения, местам постоянного и временного хранения автотранспорта с целью минимизации отрицательного воздействия на условия проживания населения.

Территория Республики Коми в части обеспеченности транспортными услугами доступа к ним населения является довольно специфической. Объясняется это значительной ее протяженностью с меридиональном и широтном протяжении и наличием административных образований с ограниченным доступом населения к транспортным услугам.

На сегодняшний день 8 административных территорий (г.г. Воркута, Инта, Усинск, Печора, Ижемский, Усть-Цилемский, Вуктыльский и Троицко-Печорский Районы) из 20 не имеют никакого доступа к автомобильным дорогам федерального и/или республиканского значения. В перспективе они все получают доступ в том числе через сеть дорог республиканского значения (реализация направления: Сыктывкар – Воркута с подъездом к Нарьян-Мару).

В 7 административных территориях (г.г. Сыктывкар, Ухта, Сосногорский, Сыктывдинский, Княжпогостский, Сысольский, Прилузский районы) получит развитие суть существующих автомобильных дорог и/или будет предусматриваться строительство новых.

На настоящее время аэропорты имеются в 7 административных территориях (г.г. Сыктывкар, Воркута, Печора, Инта, Ухта, Усинск, Усть-Цилемский район). Предусматривается строительство и реконструкция объектов в аэропортах 4 административных территорий республики, три из которых в настоящее время расположены с грубейшими нарушениями санитарных норм и правил (г.г. Сыктывкар, Воркута, Ухта).

На сегодняшний день 9 административных территорий (Ижемский, Усть-Цилемский, Вуктыльский, Усть-Куломский, Корткеросский, Сыктывдинский, Койгородский, Сысольский, Прилузский районы) не имеют прямого доступа к железнодорожному сообщению.

На перспективу предусматривается строительство дополнительных главных путей, которые пройдут по территориям 7 административных образований (г.г. Воркута, Инта, Печора, Ухта, Сосногорск, Усть-Вымский, Княжпогостский районы), а также строительство новых железнодорожных направлений еще на территории 7 административных образований (г. Сыктывкар, Усть-Куломский, Корткеросский, Удорский, Усть-Вымский районы – направление: Архангельск – Сыктывкар – Пермь; Ижемский и Усть-Цилемский районы – направление: Сосногорск – Индига).

Таким образом, перспективы развития транспорта всех видов на территории республики показывают не только возможность большей части населения получить к нему доступ, но предполагают увеличение доли населения, которое может оказаться в зоне возможного неблагоприятного воздействия повышенных уровней шума от всех видов источников.

Это предположение основывается на фактических данных. За период 2003-2008 г.г. при контроле за уровнем шума в населенных местах (всего было выполнено измерений в 5171 точке) установлено, что на трети (30,2 %) точек измерения транспортного шума расположенных на территории жилой застройки, прилегающей к автомагистралям с интенсивным движением, и на четверти (25,3 %) точек измерения расположенных в эксплуатируемых жилых и общественных зданиях уровни шума не соответствуют гигиеническим нормативам, что свидетельствует о наличии постоянных источников воздействия повышенных уровней шума на население.

Актуальность шумового загрязнения среды обитания человека в городах республики возрастает из года в год. Шумовая нагрузка на население

складывается из промышленных источников шума (промышленные и энергетические предприятия, участки проведения строительных работ), шума от транспорта и внутридомовых источников (оборудование лифтов, системы вентиляции и кондиционирования жилых и общественных зданий, иные системы, обеспечивающие функционирование домов).

Проблема авиационного шума на территории Республики Коми является весьма острой в связи с размещением наземных служб авиационного транспорта непосредственно в черте некоторых населенных пунктов.

Анализ и оценка имеющихся материалов показали, что аэропорт г. Сыктывкара существовал сначала как грунтовый аэродром до середины 50-х годов прошлого века, а затем в 60-е годы превратился в аэродром с бетонной взлетно-посадочной полосой. К моменту принятия нормативных актов о санитарно-защитной зоне, прилегающая к нему территория была полностью застроена.

В настоящее время аэропорт эксплуатируется без обеспечения защитного барьера от шума. Отсутствует «Акустический паспорт аэропорта» с определением карты зашумления, которые являются акустическими критериями установления границы санитарно-защитной зоны аэропорта.

Отсутствие линии градостроительного регулирования, в пределах которой имелись бы зоны ограничения и запрещения строительства жилой застройки, позволяет органам исполнительной власти местного самоуправления выделять земельные участки, расположенные в непосредственной близости к территории аэропорта, под строительство жилой застройки.

Воздействию авиационного шума подвержено в наибольшей степени население столицы республики, в связи с тем, что аэропорт находится практически в центре города. Выполненными в 2007 году замерами фактического уровня шума, в том числе и в жилых помещениях, от воздействия аэропорта было установлено, что уровни шума существенно отличаются от типа воздушного судна и режима его использования (взлет или посадка).

При взлете самолета АН-24 в дневное время суток на территории жилой застройки были зарегистрированы уровни шума: максимальный 74 дБА, эквивалентный 42 дБА; при посадке этого же типа воздушного судна максимальный уровень шума составил – 80, а эквивалентный 49 дБА соответственно. При взлете самолета ТУ-134 в дневное время суток на территории жилой застройки были зарегистрированы уровни шума: максимальный 105 дБА, эквивалентный 68 дБА. При взлете самолета АН-24 в ночное время суток в жилом помещении были зарегистрированы уровни шума: максимальный 54 дБА, эквивалентный 39 дБА. Основной шум от воздушных судов создается в момент руления и выхода самолета на взлетно-посадочную полосу. Эквивалентные и максимальные уровни звука в этот период превышают предельно-допустимые значения на 5-9 дБА в жилых помещениях и на 5-28 дБА (эквивалентный) и 12-50 дБА (максимальный) на территории жилой застройки, в зависимости от типа воздушного судна.

Так примерно в 800 метрах от оси взлетно-посадочной полосы аэропорта, почти под трассой взлёта-посадки воздушных судов, в 2008 г. начал реализовываться проект малоэтажной застройки. По результатам выполненных измерений, сопровождавших санитарно-эпидемиологическую экспертизу материалов по выбору земельного участка, установлено превышение уровней эквивалентного и максимального звука в дневное время на 3 дБА и 6 дБА соответственно, создаваемые при взлете воздушного судна ТУ-134 и пролете над земельным участком, на котором проводились измерения. Таким образом, по результатам экспертизы было установлено, что территория предполагаемой застройки находиться в зоне повышенного воздействия уровней авиационного шума.

В месте с тем в соответствии с требованиями п. 1.4 ГОСТ 22283-88 «Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения» допускается превышение в дневное время установленного уровня звука на значение не более 10 дБ для аэродромов 1-го, 2-го классов, но не более 10 пролетов в один день.

Однако опыт практической работы показывает, что выполнение требований СН 2.2.4/2.1.8.562-96 к территории жилой застройки по отношению к такому внешнему физическому фактору, как авиационный шум, в настоящее время является затруднительным. В данном документе нет никаких дополнительных указаний относительно авиационного шума, хотя они присутствуют для оценки шума от автомобильного и железнодорожного транспорта. Отсутствие единой нормативной базы для оценки уровней звука делает затруднительной как разработку проектов, так и непосредственно саму оценку уровней воздействия звука при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы проектов.

«Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года», должна получить достойное санитарно-эпидемиологическое сопровождение в части: прогнозных оценок уровней шума, но не на территории жилой застройки с нормативом 55 и 45 дБА, а в жилых помещениях с нормативом 40 и 30 дБА; анализа и оценки предпроектных и проектных материалов развития и реконструкции транспортных систем – автомобильных и железных дорог (в ряде случаев предусматривается выполнить реконструкцию путем увеличения количества полос движения и изменения типа дорожного покрытия существующих автомобильных дорог федерального значения, уже расположенных в неблагоприятных условиях, и при аналогичной ситуации с железнодорожным движением).

Места размещения транспортной инфраструктуры (грузовые станции и порты водного и железнодорожного транспорта, пассажирские станции, порты и аэропорты регулярного сообщения) и трассы прохождения автомобильных и железных дорог уже в настоящее время должны быть определены с учетом всего накопленного опыта по эксплуатации существующих объектов и перспективных целей.

Шум, являясь физическим явлением, может быть описан математическим аппаратом и его поведение в окружающей среде может быть спрогнозировано, в том числе спрогнозированы и уровни (возможности) снижения.

Накопленный в настоящее время фактический материал достаточно лишь разумно обобщить и поставить его на защиту от неблагоприятного и вредного воздействия повышенного уровня шума на здоровье населения.

Разумное, логичное, а в ряде случаев и компромиссное решение по трассам прохождения железных и автомобильных дорог, развитию наземных служб авиационного сообщения, объектов инженерной инфраструктуры принятое с учетом основополагающих принципов транспортной стратегии, гигиенических нормативов и ошибок прошлого будет являться залогом эффективного развития общества.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ШУМУ НА ПРИМЕРЕ КУРГАНСКОЙ ТЭЦ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ УЛУЧШЕНИЮ

Яхонтов В.И.
Курганский институт государственной и муниципальной службы
kigms@zaural.ru

В силу того, что на существующих предприятиях теплоэнергетики используется специфическое, часто морально устаревшее оборудование (на ТЭЦ в качестве привода электрических генераторов используют турбины, теплоснабжение потребителей осуществляется за счёт тепла, отбираемого при охлаждении воздуха, сжимаемого компрессорами турбинной установки, и тепла паров, отработавших в турбине), которое по своим техническим характеристикам не может по фактору шума соответствовать нормативным требованиям, то эти предприятия относятся к потенциально опасным, имеющим вредные условия труда.

При анализе результаты замеров освещения, параметров микроклимата, электромагнитных излучений и напряженности электростатического поля, электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) и шума на рабочих местах выяснилось, что на Курганской ТЭЦ наиболее неблагоприятными являются такие факторы как: микроклимат, показатели световой среды, электромагнитное излучение и шум.

По результатам проведенных замеров хорошо прослеживается тот факт, что шум является доминирующим фактором условий труда на предприятиях теплоэнергетики (таб. 1).

В этом пункте необходимо сказать, прежде всего, о трех физических факторах производственной среды, по которым количество рабочих мест, несоответствующих санитарным требованиям, превысило 20%: микроклимат помещений, освещенность на рабочих местах, электромагнитное излучение, генерируемое видеодисплейными терминалами (ВДТ).

Таблица 1

Результаты замеров параметров условий труда по физическим факторам

Физический фактор производственной среды	Количество проведенных замеров	Из них не соответствует нормам	Не соответствует нормам, %
Микроклимат	551	155	28,1
Освещенность:			
естественная	287	172	59,9
искусственная	350	155	44
Электромагнитное излучение генерируемое ВДТ	38	18	47,4
Электростатический потенциал	38	0	0
Вибрация	33	6	18,2
Электрическое и магнитное поле промышленной частоты (50Гц)	6	0	0
Шум	**110**	**72**	**65,5**

На постоянных рабочих местах Курганской ТЭЦ и непосредственно у источников шума были проведены инструментальные замеры шума. Замеры проводились шумомером ВШВ-003М2 с ВПМ101 и микрофоном М101 с заводским номером 1394/20/7533 (ФГУ Центр Госсанэпиднадзора в Курганской области).

Проведенные инструментальные замеры шума в основных производственных цехах на рабочих местах и у источников шума можно представить таблицей 2.

Анализируя результаты проведенных замеров, стоит отметить тот факт, что практически на всех рабочих местах в турбинном и котельном цехах фактический шум на момент замеров превысил допустимый уровень в средней и высокой части спектра.

Для уменьшения воздействия производственного шума на работающих ТЭЦ предлагается проведение мероприятий по следующим направлениям:

– применение звукопоглощающих материалов на несущих конструкциях здания;
– установка звукоизолирующих кожухов на турбинные генераторы;
– установка комбинированных глушителей на трубопроводах дутьевых вентиляторов.

Таблица 2

Результаты инструментальных замеров шума

№ пп	Место проведения замеров	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями, Гц									УЗэкв, дБА
		31,5	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Турбинный цех. Отметка 9м											
1	1 очередь, р.м. машиниста у щита управления	76	71,5	72,5	69	69	68	64,5	58	47	72
2	Будка машиниста	86,4	72	66	60,7	56,8	54,2	51,5	52	49	62
3	Турбинный цех ТГ-5, 2 очередь, р.м. машиниста у щита управления	74,6	92,2	85,4	76,6	81	83	81	77	70	87
4	Турбогенератор (ТГ)ТГ-5	77,6	87	88,9	85	92	87,9	88,9	85,6	73,4	94
5	Будка машиниста	79,6	91,8	81	67	67	71	69	54,5	56,8	75
6	Блочный щит управления турбинами и котлами (БЩУ-1), 3 очередь	60,6	69,5	68,8	64	60,4	60,2	54	51,9	48,4	66
7	ТГ-7, 3 очередь, у генератора	82,9	93	94	83	83,3	84,9	87,6	84	76	92
8	ТГ-8, 3 очередь, у генератора	81	94,5	93	83	83,8	88,7	93	91,4	82,3	97
9	ТГ-9, 3 очередь, у генератора	80,4	86,8	87	80,4	82,4	82,3	80,6	78,8	70,8	87
10	БЩУ-2, 3 очередь	72,5	68	66,7	62,6	57,9	54,4	51,6	47,9	41,9	60
	Норма (для п. 2, 5)	**103**	**91**	**83**	**77**	**73**	**70**	**68**	**66**	**64**	**75**
	Норма (для п.6, 10)	**96**	**83**	**74**	**68**	**63**	**60**	**57**	**55**	**54**	**65**
	Норма (для других п.)	**107**	**95**	**87**	**82**	**78**	**75**	**73**	**71**	**69**	**80**
Котельный цех. Отметка 9м											
11	Электрокотел № 13, 4 очередь	84,6	89,8	90	84,9	82,5	84	86	89	84,8	93,5
12	Будка машиниста-обходчика 3 очереди	70,3	75	66,4	58	58	56,9	56	53,4	40	63
13	Снаружи у будки В районе электрокотла № 11, 3 очередь	83,3	85,7	79,4	76	78,2	80,3	82,7	79,5	65	87
14	Газопровод на котел № 10 3 очередь	84	86	84	79	83,7	92,7	96,8	96,7	84,4	101
	Котельный цех. Отметка 0м										
15	Электрокотел № 8, 3 очередь	86	81,4	82,7	77,9	77,9	83,8	85,3	83	70,6	90

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	Электрокотел № 11, 3 очередь, район дымососов	82,8	79,7	87,3	81,9	77,9	74,9	70,7	64,4	55,8	84
18	Электрокотел № 12, 3 оч., район дутьевых вентиляторов	89,6	89	95	90,9	83.7	83,8	78	70,6	60	88
	Норма (для п.12)	**103**	**91**	**83**	**77**	**73**	**70**	**68**	**66**	**64**	**75**
	Норма (для других п.)	**107**	**95**	**87**	**82**	**78**	**75**	**73**	**71**	**69**	**80**
19	Электрокотел № 13, 3 оч., район дутьевых вентиляторов	89,6	91,8	102,4	93,5	87	83,6	80	74,2	64,9	90
Турбинный цех. Отметка 0м											
20	Под маслобаком ТГ-9 3 очередь	81,4	93,9	85,6	80	80,4	82	82,8	86,8	86	91,6
21	Под маслобаком ТГ-8 3 очередь	79,9	89,4	86,4	80,9	80	80	79,7	83,4	87,6	90
22	Под маслобаком ТГ-7 3 очередь	85,3	98,4	92,7	83,3	83	83,2	83,6	84,5	84	91
23	Под маслобаком ТГ-6 Насосная группа, 3 очередь	80,2	88,4	91,3	84,9	85,3	86,9	82,5	76,8	69,8	90
24	Под маслобаком ТГ-5 2 очередь	75,4	82,7	86,2	75,9	75,6	79,8	81,2	81,5	75,2	87
	Норма	**107**	**95**	**87**	**82**	**78**	**75**	**73**	**71**	**69**	**80**

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ШУМОВОЙ НАГРУЗКОЙ НА ОАО «КУРГАНМАШЗАВОД»

Яхонтов В.И.
Курганский институт государственной и муниципальной службы
kigms@zaural.ru

ОАО «Курганмашзавод» сегодня – это крупный машиностроительный комплекс, в состав которого входят 10 заводов и 5 вспомогательных цехов, обеспечивающих полный производственный цикл от получения литых и штамповых заготовок, всех видов механической обработки до сборки и комплексных испытаний готовой продукции. Это крупнейшее предприятие Курганской области, один из лидеров ВПК РФ.

В составе ОАО «Курганмашзавод» входит ЗАО «Кузнечный завод», который имеет на своих участках оборудование:

- штамповочные молоты с массой падающих частей от 0,63 до 10 тонн;
- горячештамповочные пресса;
- горизонтально-ковочные машины и другое оборудование создающее производственный шум, намного превышающие допустимые нормы.

На сегодняшний день вырисовывается проблема в регулировании шумовой нагрузкой на ОАО «Курганмашзавод». Введение новых технологических процессов, механизация производственных процессов, рост мощности технологического оборудования, привели к тому, что человек на производстве и в быту постоянно подвергается воздействию шума высоких уровней.

Главную роль в управлении шумовой нагрузкой должно играть государство, но на сегодняшний день шумовая нагрузка регулируется по нормам двадцатилетней давности, самый свежий стандарт по нормированию производственного шума датируется 1989 годом. В то время как на предприятиях Евросоюза с каждым годом применяются жесткие требования к источникам шума и средствам защиты от шума. Снижение уровня шума в год примерно на 5 – 10 дБ (А), применяются новые стандарты.

У нас в стране нормативно – правовая база устарела, видимо нашим чиновникам трудно избавится от мнения: « если никто не требует сверху, значит это и не нужно, значит, проблемы не существует».

Производственные помещения на заводе построены по стандартам СССР, а с ростом количества и модификации выпускаемой продукции увеличилось количество оборудования, следовательно, увеличилась и шумовая нагрузка, и эти помещения не могут защищать в должной мере, потому что нет новых стандартов для специальных помещений. Все оборудование находится в одном помещении, хотя, например, пульты от станков с ЧПУ можно было бы вынести

в отдельное помещение, чтобы рабочие не находились поблизости со станками и прессами.

Непосредственно за территорией завода находятся жилые дома, частный сектор. Некоторые рабочие проживают в этих домах, если завод работает в ночную смену, то на этих людей выпадает двойная норма «шумовой атаки».

В данный момент на территории завода невозможно самостоятельно определить уровень шума, так как лаборатория располагает морально и физически устаревшей измерительной аппаратурой, с помощью которой невозможно получать правильные результаты измерений. Чтобы не нанести вреда здоровью, необходимо соблюдать правило: начиная с 90 дБ (А), увеличение шума на каждые 3 дБ(А) должно повлечь за собой сокращение рабочего времени в два раза. Например, при уровне шума 91-94 дБ (А) продолжительность работы (без дополнительной защиты) может равняться 4 часам ; от 94-97 дБ(А) – двум часам, а от 103 до 106 дБ(А) всего 15 минутам. Но за этим на заводе никто серьезно не следит.

Рабочие завода в обязательном порядке используют индивидуальные средства защиты от шума, но они примитивны и малоэффективны в широком диапазоне частот. Использование новейших средств защиты не регламентировано, поэтому закупают старые и дешевые, а они при существующих шумовых нагрузках мало эффективны.

В ходе исследования было опрошено по вопросам безопасности жизнедеятельности на предприятии, технике безопасности 50 работников ОАО «Курганмашзавод». В итоге опроса выяснилось, что у рабочих низкий уровень информированности о неблагоприятном воздействии шума и вибрации на здоровье и самочувствие человека, незнание того, что потеря слуха, вибрационная болезнь это заболевания, при которых должна быть гарантирована социальная помощь, некоторые даже и не задумываются об этом. Но журнал по технике безопасности ведется, но ведется он, получается, лишь на бумаге для проверок.

На заводе за последние 10 лет среди первично регистрируемых ежегодно профессиональных заболеваний 15 – 30 % приходится на заболевания органов слуха и примерно столько же – на вибрационную болезнь, хотя медицинские осмотры рабочих проводят 2 раза в год.

Таким образом видно, что проблема управления существует не только на ОАО «Курганмашзаводе», а по всей стране такая ситуация. Решение этой проблемы затрудняется еще и с финансовой точки зрения, особенно в кризис, но нельзя забывать о ней, иначе предприятия будут терять опытных специалистов, что повлечет за собой еще большие потери.

На предприятии существует озелененная санитарно-защитная зона, в некоторой степени препятствующая распространению шума за черту предприятия.

В этой сфере, на наш взгляд, основными задачами должны стать:

– осуществление действенного государственного контроля за процессом шумообразования в регионе;

- организация системы мониторинга за состоянием шумовой нагрузки в областном центре (в частности на промышленных предприятиях) и состоянием сопутствующих факторов;
- обеспечение шумовой безопасности при реализации генеральных планов развития городов, поселков, территорий промышленных предприятий;
- проведение широкомасштабных мероприятий по снижению шума от стационарных и передвижных источников.
- принятие необходимых мер по организации учета, контроля источников шума;
- принять дополнение к закону Курганской области «Об охране окружающей природной среды Курганской области», касающееся контроля шума в окружающей среде.

Выполнение этих мероприятий, на наш взгляд, обеспечит условия рационального, экономически целесообразного снижения акустического загрязнения, использования современных методов и средств снижения шума, позволит стабилизировать и улучшить экологическую ситуацию в целом, создаст благоприятные условия для жизни населения.

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ VIMOS

Волковас В.В., Гульбинас Р.Ю.
Каунасский технологический университет
ramunas.gulbinas@ktu.lt

Введение

В течение многих лет в области виброакустического мониторинга и диагностики работают ученые Литвы, среди них и сотрудники Института диагностики технологических систем (ИДТС) Каунасского технологического университета (КТУ). В результате его деятельности созданы высокочувствительные датчики, преобразователи акустических и вибрационных сигналов, переносные приборы измерения вибраций, системы автоматизированного виброакустического мониторинга, оригинальное програмное обеспечение и т. д.

В ИДТС КТУ создана серия стационарных систем виброакустической диагностики нового поколения, модификации которой внедрены на АО «Мажейкю нафта», на тепловых электростанциях АО «Летувос энергия», Каунасской ГЭС и других электростанциях. Системы отличаются многофункциональностю, удобным программным обеспечением и хорошими диагностическими возможностями. Они сравнительно недорогие, ценятся в Литве и успешно конкурируют с соответствующими иностранными продуктами.

Первая созданная нами система вибрационного мониторинга (СВМ) работает на тепловой электростанции г. Мажейкяй с 1994 года, позже была модернизирована, сертифицирована и полностью узаконена службой метрологии Литвы.

Созданные нами системы вибрационного мониторинга и приборы могут вызвать интерес руководителей предприятий России, поскольку ориентированы на международные стандарты, соответствующие вибрационным нормам машин тепловых и гидро электростанций.

Другое направление исследований ИДТС КТУ в области виброакустического мониторинга тесно связано с воздействием вибрации и акустического шума на организм человека, контролем шума на промышленных предприятиях, средствами и методами защиты от шума в производственных цехах и т. д. Лаборатория испытаний машин на уровни вибрации и акустического шума ИДТС КТУ соответствует требованиям стандарта LST EN ISO/IEC 17025:2006 и аккредитована на проведение испытаний вибрации и уровня акустического шума машин (свидетельство об аккредитации No. LA.01.051).

Лаборатория испытаний машин на уровни вибрации и акустического шума ИТСД КТУ проводит актуальные производителям и потребителям испытания. Для изготавляемой и поставляемой потребителям продукции (медицинской аппаратуры, прецизионнх измерительных и электронных бытовых приборов и др.) особенно важны испытания воздействия окружающей среды. Разрабатывая методы воздействия вибрации, создано специальное оборудование, способствующее проведению испытаний крупногабаритных (масса до 60 кг) объектов на воздействие синусоидальной и случайной широкополосной вибрации (численное управление). Например, проводились испытания медицинской аппаратуры и различных размеров (диагональ от 26‘‘ до 46‘‘) телевизоров на воздействие синусоидальной, случайной широкополосной вибрации и свободного падения (в упаковке).

Отдельную группу составляют бытовые холодильники и морозильные установки. Для них проводятся измерения излучаемого акустического шума и определение декларируемых величин.

ИДТС открыт для международного сотрудничества в рамках проектов Европейского Союза и возможных международных контрактов в области исследований вибрации и шума машин и технологических систем.

Системы вибрационного мониторинга оборудования тепловых электростанций и гидроэлектростанций

Как правило, на электростанциях работает небольшое количество персонала, осуществляющего обслуживание и контроль агрегатов. Контроль стал автоматизированным или автоматическим с оповещением персонала о возможных неисправностях. Предотвращение возможных аварийных ситуаций обеспечивается системами вибрационного мониторинга и диагностики машинного оборудования. По результатам непрерывного измерения и анализа вибраций, а также других важных параметров, представляется информация о состоянии контролируемого обьекта и принимается решение о дальнейшей его эксплуатации.

Для стационарного контроля за оборудованием электростанций в ИТСД КТУ разработаны и внедрены на предприятиях Литвы системы мониторинга. Для тепловых электростанций предназначена система **VIMOS – T**, а для ГЭС – система **VIMOS – HM**.

***Система вибромониторинга и диагностики* VIMOS – T.** Предназначена для непрерывного анализа виброактивности состояния турбоагрегата по измерению уровня абсолютных и относительных вибраций в различных его точках.

Система **VIMOS – T** выполняет следующие основные функции:

- непрерывный мониторинг и оценку технического состояния роторных систем: турбоагрегатов, питающих насосов, электродвигателей

вентиляционных установок и т. п.) по сопоставлению в назначенные моменты времени эксплуатационных параметров вибраций с допустимыми уровнями, определёнными технической документацией оборудования, международными и национальными стандартами;

- обнаружение неисправностей оборудования на ранних стадиях, оповещение персонала, анализ данных и тенденций развития ситуации;
- формирование базы данных для сопоставления результатов виброактивности в прошлом, настоящем и прогнозом в будущем;
- объединение подсистем мониторинга в общую систему и включение её в компьютерную сеть предприятия и Internet.
- В основу разработки системы положены:
- многотилетний опыт разработчиков, специализирующихся в области исследований вибраций и акустических процессов;
- сотрудничество с рядом фирм, известных в области измерений и диагностики, таких как Brüel & Kjær (Дания), Bently Nevada (США), Prüftechnik AG (Германия), Endevco (США), TECNICAD (Польша) и др.;
- работы наших специалистов в области стандартизации вибрационных измерений и оценки состояния оборудования по стандартам ISO, EN, LST, ГОСТ;
- европейская аккредитация (LST EN ISO/IEC 17025) в области испытаний уровня вибраций и акустических шумов машин.

Система мониторинга позволяет определять такие часто встречающиеся неисправности, как:

- механическая неуравновешенность ротора генератора;
- недопустимое положения вала в пространстве;
- влияние различных гармоник колебаний на стадии разгона и останова агрегата;
- недопустимое вибрационное состояние отдельных элементов турбоагрегата или питающей насосной ситемы;
- износ и ослабление опорных подшипников вала агрегата;
- повышенную вибрационную нагруженность отдельных частей гибкого вала турбоагрегата.

VIMOS – T является открытой системой агрегатного типа. Измерительными возможностями система охватывает все важнейшие элементы конструкции турбоагрегата.

Основные технические характеристики:

1. Количество каналов измерений 96;
2. Чуствительность вибродатчиков **VIMOS-K7** 8 mв/м/сек^2;
3. Диапазон измерения виброскорости 0...20 мм/сек;
4. Частотный диапазон 10...800 Гц;

5. Уровни измерений и индикация:

Цвет индикации и сигнализация	Техническое состояние	Уровни вибраций
Зелёный	Хорошее	менее 1,8 мм/сек
Жёлтый	Удовлетворительное	1,8 мм/сек...4,5 мм/сек
Красный и прерывистый звук. сигнал	Неудовлетворительное (предельное)	4,5 мм/сек...11,2 мм/сек
Красный и непрерывный звук. сигнал	Недопустимое	более 11,2 мм/сек

6. Основная погрешность измерений ± 10%;
7. Скорость вращения агрегатов 200...3600 об/мин.

Системы измерения и диагностики сертифицированы в Литве и имеют полное метрологическое обеспечение. В отличие от аналогов система **VIMOS – T** ориентирована на оптимальное информационное обеспечение персонала с автоматическим анализом вибрационного состояния турбоагрегата, с сигнализацией пороговых уровней и широкими возможностями автоматизированной обработки накопленных данных. В зависимости от программного обеспечения возможна обработка данных и анализ в on-line и off-line режимах. Всё программное обеспечение адаптируется для конкретного турбоагрегата или ряда агрегатов.

Система мониторинга и диагностики VIMOS – HM.

Предназначена для стационарного контроля гидроагрегатов с частотой вращения 125 об/мин. Контроль основан на автоматизированном анализе измерений биений вала (относительных колебаний вала), абсолютных вибраций несущих конструкций агрегата, вибраций элементов статора и подшипников, температур и давлений в различных точках агрегата, а также на формировании базы данных, возможностях их обработки и прогноза тенденций изменения контролируемых параметров.

Система **VIMOS – HM** представляет собою автоматизированный аппаратурный комплекс, осуществляющий анализ данных в реальном и нереальном времени. В реальном масштабе времени обрабатывается и анализируется вся необходимая оператору информация, представленая на экране монитора системы.

При этом осуществляется непрерывный контроль и анализ всех важных с точки зрения вибрационного состояния характеристик: уровней максимальных биений вала, биения вала на частоте вращения (2Hz), фазы вектора максимальных биений, абсолютной вибрации (виброскорости и размаха) опорных конструкций, частоты вращения вала, спектра и формы

регистрируемых колебаний. Отдельно следует отметить вибрацию статора генератора на частотах 2 Hz/100 Hz и его температуру.

Функции **VIMOS – HM**:

- непрерывный мониторинг абсолютных и относительных вибраций, температур и давлений в различных точах гидроагрегата;
- анализ виброактивности агрегата в реальном масштабе времени по требаваниям технической документации и международных стандартов с визуальной и звуковой сигнализацией предельных и недопустимых уровней вибрации;
- определение орбит движения вала в нескольких точках по его длине в реальном масштабе времени;
- контроль частоты вращения вала;
- контроль фазы колебаний;
- формирование графической информации по результатам статистической обработки измерений;
- формирование банка данных;
- работа с банком данных в нереальном масштабе времени;
- поддержка мониторинга двух (в проекте до 4^x) агрегатов;
- информационная поддержка базы данных в локальной компьютерной сети предприятия.
- Основные неисправности гидроагрегата, определяемые с помощью системы **VIMOS – HM**:
- механическая неуравновешенность ротора агрегата (рабочего колеса, ротора генератора);
- недопустимое пространственное положение вала (излом вала);
- повышенные динамические нагрузки, предельные и недопустимые вибрации гидротурбины;
- повышенная вибрация и нагрев составных частей статора генератора;
- перегрузка направляющих и опорных подшипников;
- износ и ослабление подшипников;
- резонансные колебания вала и составляющие спектра колебаний;
- форма колебаний во временной области.

Основные технические характеристики системы:

1. Измеряемые величины

1.1. биение вала:

- двойная амплитуда (2А) мм;
- фазовый угол угл. град.

1.2. вибрация несущих конструкций:

- среднеквадратичное значение виброскорости мм/сек;
- размах виброперемещения (2А) мкм;

1.3. температура железа статора и масла ^oC;

1.4. давление воды м (H_2O);

2. Измерение биений вала
2.1. количество каналов измерения 14;
2.2. пределы измерения датчиков биений 0,5...2,5 мм;
2.3. чувствительность датчиков биений 8 ± 0,4 в/мм;
2.4. частотный диапазон 0...100 гц;
2.5. основная погрешность измерения биений ±10%;
3. Измерение вибраций
3.1. количество каналов измерения 26;
3.2. чуствительность датчиков 10±1 мв/м/сек²;
3.3. частотный диапазон 1…300 гц;
3.4. основная погрешность измерения вибраций ±10 %;
4. Измерение температуры
4.1. количество каналов измерения 5;
4.2. пределы измерения температуры -10°С...+100°С;
4.3. погрешность измерения температуры ±2°С;
5. Точность измерения углового положения вала ±10°;
6. Точность измерения угловой скорости вала ±0,05%;
7. Уровни измерений и индикация:

Тех. состояние, Цвет и сигнализация	**Бие-ние конт. колец, мм**	**Биение подшипника генератора, мм**	**Биение вала у турбинного подшипника, мм**	**Вибрация несущих конструкций**		**Вибрация железа статора**	
				Виброскорость, мм/с	**Виброперемещение (2А), мкм**	**2 гц мкм**	**100 гц мкм**
Зелёный Хорошее	≤ 0,25	≤ 0,18	≤ 0,20	≤ 0,7	≤ 40	≤ 20	≤ 10
Белый Удовлетворит.	0,25..0,40	0,18...0,25	0,20...0,35	0,7..1,8	40…80	20...80	10..30
Желтый и звук. сигнал Неудовлетвор.	0,40..0,51	0,25..0,35	0,35..0,55	1,8...4,5	80..180	80...180	30…50
Крас-ный и звук. сигнал Недопустимое	> 0,51	> 0,35	> 0,55	> 4,5	> 180	> 180	> 50

Программное обеспечение орентировано на представление результатов мониторинга и диагностики агрегата.

ВОЛНОВАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕМА НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПЕРЕДВИЖНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ АВТОТРАНСПОРТА

Неганов С.Ю., Колыхалин В.М.
СПбГУКиТ
cap-007@mail.ru

Существующая тенденция увеличения экспорта нефтепродуктов Российской Федерации в страны дальнего и ближнего зарубежья приводит к необходимости совершенствования технических (общедоступных) средств оценки объема нефтепродуктов различного качества в накопительных резервуарах, а также экспресс-регистрации состояния наполнения и слива передвижных средств автотранспорта, особенно в зимний период и темное время суток. Существующая практика контроля объема жидких и сыпучих веществ в резервуарах акустическим способом базируется на возбуждении колебаний через открытое отверстие в резервуаре, при этом добиваются акустического резонанса в сосуде (резонатор Гельмгольца). Однако по правилам промышленной безопасности резервуары, содержащие нефтепродукты и их смеси, должны быть герметичны и исключать выброс сопутствующих газов в атмосферу.

Практическое отсутствие в нефтяной индустрии методов и средств дистанционного контроля массы остатка нефтепродуктов в передвижных резервуарах привело к рассмотрению сложной задачи при выгрузке присадки (на основе легких фракций нефти) из автоконтейнера – оценке объема остатка. Обычный визуальный контроль объема присадок (с помощью рулетки и калибровочных таблиц) при кратковременном открытии технологического люка приводит к значительным затратам времени и не обеспечивает необходимой точности. Более того, в процессе выгрузки, например, нейтрализатора к сероводороду, особое значение приобретает временной фактор – экспресс-регистрация номинальных (допустимых) доз в поток нефтепродукта, транспортируемого по трубопроводу из резервуара хранения на танкер (рис.1).

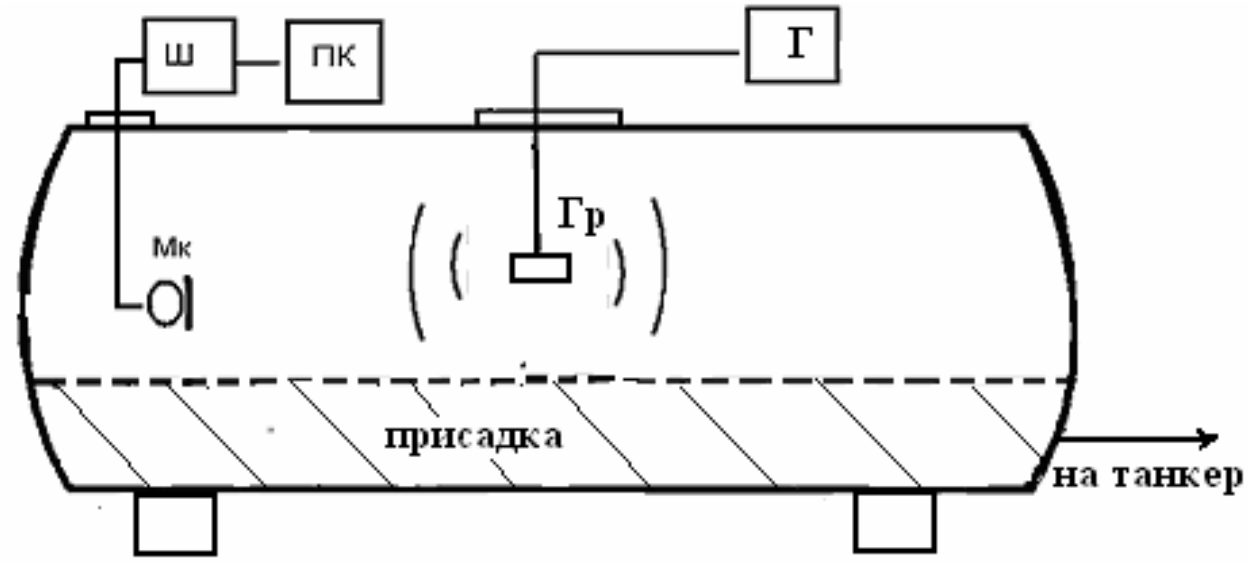


Рис.1. Схема измерений при расположение источника в центральной части автоконтейнера и микрофона – в торцевой: Ш – шумомер, ПК –компьютер, Гр – громкоговоритель, Мк – микрофон, Г – генератор

Здесь сложность практической реализации диагностики обусловлена тем, что на точность измерений существенно влияют технологические особенности: 1) повышение температуры присадки, содержащей легкие фракции нефтепродуктов, от 0˚С до +40˚С; 2) внешнее изменение температуры открытых воздушных объемов от -10˚С до +40˚С, сопровождающееся испарением легких фракций нефтепродуктов и воды (пар); 3) соответствующие изменения плотности присадки при повышенных и пониженных температурах.

Методика акустического моделирования звуковых полей в резервуарах позволила прогнозировать и обеспечивать достаточную точность измерения объема и остатка присадки в сложных внешних и технологических условиях. С целью определения влияния расположения источника в автоконтейнере (объем 24 м³) использованы подвижный искусственный источник (громкоговоритель) с возбуждением гармонического и шумового сигналов. Контролируется ΔN ($V_п$) – относительный (по давлению в «пустом» резервуаре) уровень звукового давления при разных объемах $V_п$ присадки посредством микрофона с частотно-избирательным измерительным устройством (стандартный шумомер с выходом на ПК).

Регистрация спектров и соответствующих уровней – в широкой или узких полосах или, точнее, разницы уровней давления ро (в практически пустом) и рі (в заполненном резервуаре), т.е. $\Delta N=20\lg(p_o/p_i)$ осуществляется в зависимости от степени заполнения емкости.

При расположении громкоговорителя в центральной части (под люком), а микрофона – у торцевой стенки записывается (ЧХ) по «скользящему» тону звукопередачи при 10 % заполнении присадкой (рис. 2).

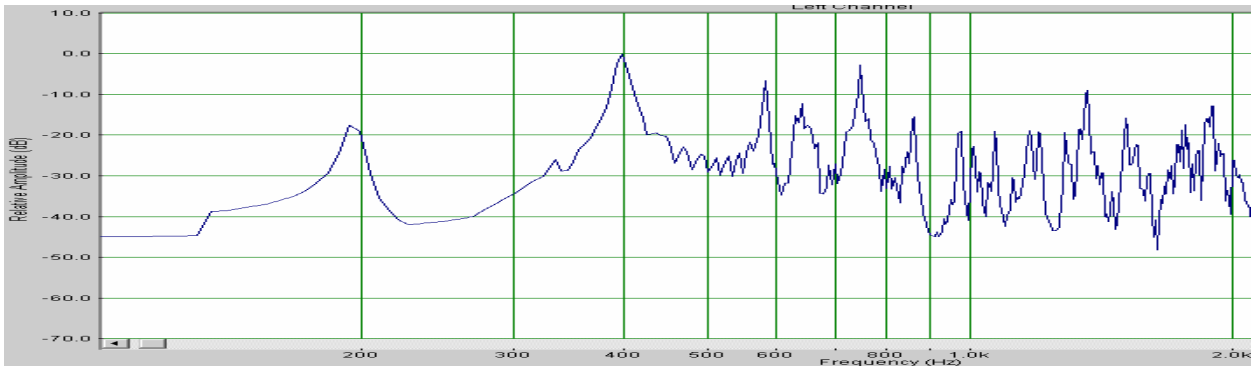


Рис. 2. Частотная характеристика звукопередачи при 10% заполнении автоконтейнера

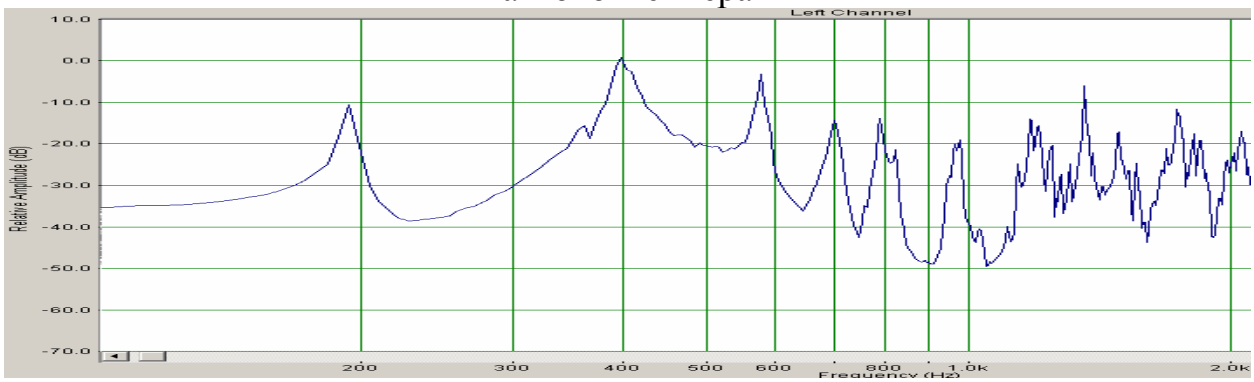


Рис. 3 Частотная характеристика звукопередачи при 20% заполнении

Как видно из рис.2, в области условно «низких частот» (до 600 Гц) преобладают дискретные аксиальные моды примерно одного уровня звукового давления. В области 600…1000 Гц наблюдается возникновение менее интенсивных радиальных мод, первая из которых возбуждается на частоте примерно 650 Гц и при уменьшении воздушного объема на 10% (рис.3) заметно повышается до 700 Гц. По оси абсцисс откладывается частота (Гц), по оси ординат – относительный уровень звукового давления ΔN(дБ).

Таким образом, наблюдается смещение экстремальных значений уровней звукового давления первых радиальных мод с 650 Гц до 700 Гц, при изменении объема на 10%.

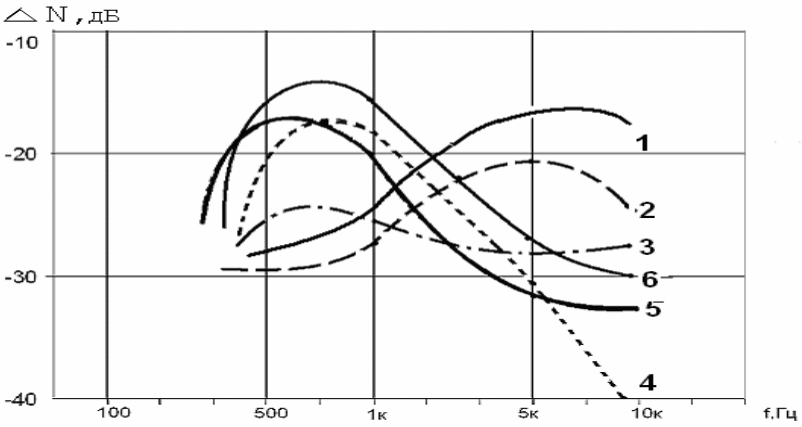


Рис.4. Усредненные спектры уровня звукового давления: 1-объем присадки 13 м³; 2 – объем присадки 10 м³; 3- объем присадки 8 м³;
4- объем присадки 6 м³; 5- объем присадки 3 м³; 6 – пустой резервуар

Усредненные огибающие к спектрам по данным измерений в 6 резервуарах показаны на рис.4. Очевидна определенная зависимость изменения звукового давления от частоты, при этом уровень присадки в автоконтейнере (оставшийся объем) контролировался по откалиброванной линейке. Из этого следует, что наиболее приемлемым подходом к реализации экспресс-регистрации является метод нормирования относительно известного воздушного объема резервуара (рис. 5).

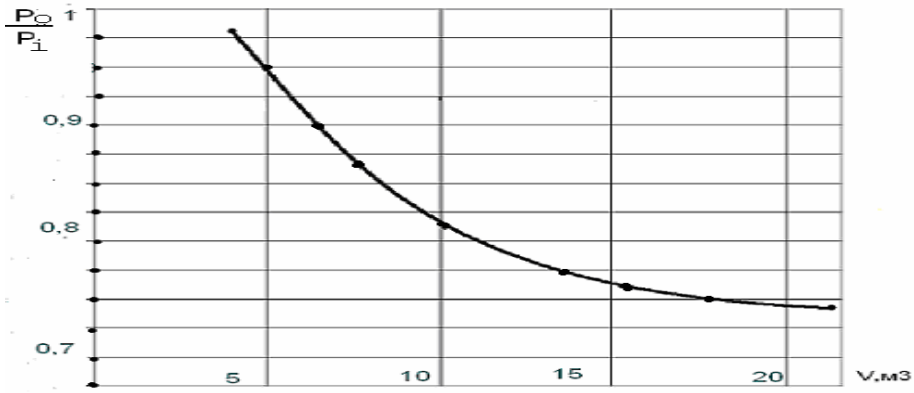


Рис. 5. Зависимость относительного уровня звукового давления от объема присадки

В области высоких частот, особенно для радиальных мод, наблюдается высокая плотность спектра, что означает слабую избирательность резервуара для высокочастотных составляющих первичного сигнала. В то же время на низких частотах преобладают аксиальные моды с достаточной энергией, но с незначительной плотностью спектра, что является основной особенностью резервуаров малых объемов и на низких частотах. Действительно, горизонтальное положение автоконтейнера и, соответственно, уровня присадки практически исключает влияние на результат диагностики низкочастотных аксиальных мод. Однако, более высокочастотные радиальные моды с достаточной точностью (по добротности) реагируют как на величину свободного воздушного объема, так и на объем присадки.

Литература

1. Колыхалин В.М., Давыдов В.В. Применение акустической диагностики к накопительным резервуарам нефтепродуктов. // Проблемы развития техники и технологии кинематографа: Сб. науч. тр./СПб. Гос.универс.кино и телевидения. – СПб.,2004.-Вып.17.-С.71.
2. Давыдов В.В. Акустика помещений. – СПб.: изд-во СПбУКиТ, 1998.

ОЦЕНКА ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ СТАДИОНОВ НА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

Кирюшина Н.К. [1], *Пузакова А.И.* [1], *Степанов В.Н.* [2]
ГУП "НИ и ПИ Генплана Москвы" (1)
Мосинжпроект, Москва (2)
nastya_e9@rambler.ru

В настоящее время все больше спортивных объектов в городе рассматриваются как источники акустического влияния на прилегающую территорию и застройку. В их числе находятся открытые стадионы для проведения соревнований различного типа и, прежде всего, многофункциональные. В соответствие с СанПиН 2.2.1/2..1.1.1.1200-03 для стадионов емкостью трибун до 500 зрителей величина санитарно-защитной зоны составляет 100м. При вместимости трибун более 500 мест величина санитарно-защитной зоны составляет 300 м.

Анализ градостроительных условий размещения стадионов в городе Москве показывает, что большинство современных стадионов располагается в окружении существующей жилой и общественной застройки, на территории и в помещениях которой уровни шума ограничены санитарными нормами. Для примера: расстояние от футбольного стадиона ЦСКА до жилой застройки составляет 45м; стадион Динамо расположен на расстоянии 50 м от жилого дома.

Величина санитарно-защитной зоны определяется акустическим воздействием на прилегающую территорию и застройку. Источником акустического воздействия являются зрители на трибунах стадиона. Сами спортивные соревнования не создают в пределах стадионов высокие уровни шума. Шум возникает как реакция зрителей на проходящие соревнования.

Измерения, проведенные ГУП НИиПИ Генплана Москвы совместно с Роспотребнадзором на спортивных площадках города, показали, что эквивалентные уровни звука по границам трибун со зрителями составляют от 62 дБА, при проведении конных соревнований до 86 дБА при проведении футбольных матчей команд высшей лиги. Максимальные уровни звука достигают 105 дБА.

При проектировании и реконструкции спортивных сооружений в пределах существующей жилой застройки весьма актуальной становится задача по прогнозу акустического воздействия указанных сооружений на прилегающую территорию. Особенно остро данный вопрос стоит при проектировании и реконструкции существующих многофункциональных стадионов с вместимостью зрителей несколько тысяч человек, на которых планируется проводить кубковые и международные футбольные матчи.

Стадионы указанного типа имеют чашеобразную форму трибун, размещаемых по периметру футбольного поля и приподнятые над ним. В

зависимости от вместимости стадиона и конфигурации трибун разница между нижней и верхней отметками трибун составляет десятки метров. Трибуны вновь проектируемых стадионов, как правило, перекрываются козырьками, оставляющими открытыми спортивное ядро стадионов

Распространение шума от криков болельщиков на прилегающую территорию происходит за счет его дифракции на верхней кромке трибун или их ограждения.

На настоящий момент времени отсутствует методика расчетов акустического влияния стадиона. В частности, не установлены шумовые характеристики трибун с болельщиками. Отсутствуют предложения по математическому описанию самого стадиона как источника шума, не ясно как аппроксимировать стадион – как площадной источник или как линейный, принимая при этом ограждение трибуны как источник шума.

Отсутствие методик привело к мысли о «лобовом» решении поставленной задачи, то есть проведению расчетов уровней шума на территории с учетом уровней, создаваемых каждым из болельщиков, т.е. рассматривая каждого болельщика как источник шума.

Принятие указанной модели расчета также определяется особенностью расположения источников шума. Типовая конструкция трибуны (Рис. 1) стадиона подразумевает расположение болельщиков на разном уровне относительно игрового поля и соответственно относительно расчетных точек расположенных на прилегающей территории. Такая пространственная дифференциация приводит к достаточно резкому изменению степени «экранированности» прилегающих территорий от криков фанатов расположенных на разных уровнях трибун.

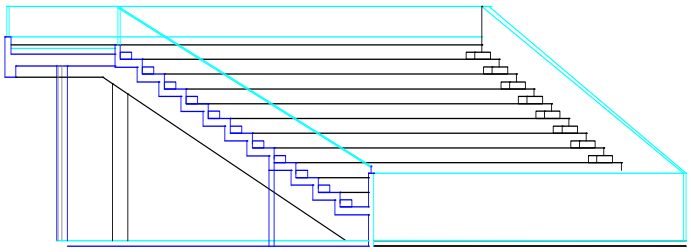


Рис. 1. Типовая конструкция трибуны стадиона

Приняв в качестве расчетной модели совокупность точечных источников шума, расположенных на трибунах стадиона, авторы столкнулись с двумя проблемами: определение уровня шума точечного источника и представление на акустической модели этих источников, число которых может составлять несколько десятков тысяч.

Определение шумовой характеристики точечных источников шума было выполнено решением «обратной задачи», то есть по имеющим замерам уровня шума на стадионе были рассчитаны эквивалентные уровни от каждого из болельщиков. Решение обратной задачи и определения уровня шума создаваемого болельщиком на стадионе осуществлялось при предположении,

что источник шума имеет не направленный характер и все источники равны между собой по уровню. С учетом указанных допущений были получены уровни звука, создаваемые единичным болельщиком, которые в дальнейшем использовались в расчетах.

Для представления стадиона как совокупность точечных источников шума в рамках программного комплекса «Сирена», по моделированию акустической ситуации в городской среде был создан специальный инструмент, позволяющий представлять на модели сектора трибун стадиона как совокупность точечных источников с заданными в пространстве координатами и интенсивностью.

Разбивка трибун стадиона на отдельные сектора позволили перейти от сложной формы чаше стадиона к набору элементарных графических элементов. В качестве графического элемента был использован не замкнутый четырехугольник (П-образный элемент показан на Рис. 2а).

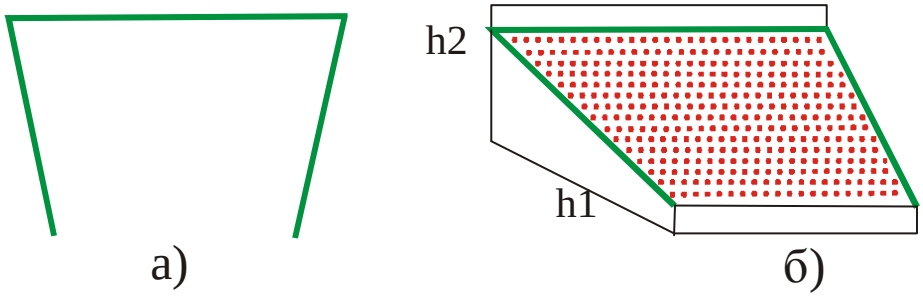


Рис. 2. Графическое представление секторов стадиона (а)
и переход к точечным источникам на расчетной модели (б)

Отсутствие одной из сторон в четырехугольнике позволили наглядно представлять направленность сектора (открытая сторона примыкает к полю стадиона) и соответственно рассчитывать высотное положение точечных источников шума. Каждый из секторов стадиона наделялся набором характеристик позволяющих однозначно определять пространственное положение точечного источника. В качестве таких характеристик использовались: высотные отметки первого ряда сектора (h1), высотные отметки последнего ряда сектора (h2), высота ограждающей конструкции, количество рядов в секторе (n), количество кресел в ряду (m) и собственно интенсивность единичного источника. Указанных характеристик, с учетом планового положения сектора на модели, достаточно для определения пространственного положения каждого из m*n источников шума и его акустической характеристики.

Используя такой подход проектируемый стадион, как совокупность точечных источников, вводился в акустическую модель путем графического нанесения конечного числа секторов стадиона (10-20) при этом достигалась высокая степень совпадения геометрии модельных объектов и проектируемого сооружения (рис. 3).

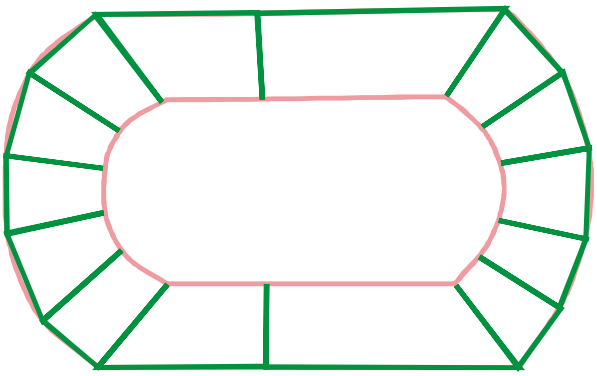


Рис.3. Представление стадиона на акустической модели

Дальнейшие расчеты по определению интенсивности шума в расчетных точках на территории, прилегающей к проектируемому стадиону, осуществлялась по хорошо изученным закономерностям по снижению шума в зависимости от расстояния до точечного источника шума с учетом наличия препятствий на пути его распространения. Следует отметить, что одним из препятствий, влияющих на снижение звука, является собственно сама трибуна стадиона.

Использование точечных источников шума расположенных в рамках трибуны стадиона позволяет вычислять для каждого из источников шума (болельщика) число Френеля и соответственно снижение шума за счет экранирование территории самой трибуной и ее ограждением, что весьма важно, учитывая чашеобразную геометрию трибуны.

Проводимые расчеты с использованием описанных выше построений выявили некоторые эффекты, связанные с использованием большого числа источников. Как известно расчет уровней звука на территории от нескольких источников выполнялся по формуле:

$$L_{Amep} = 10\lg\sum_{1}^{n} 10^{0.1LAi}, \text{ дБА}$$

где: L_{Ai} – уровень звука в расчетной точке от каждого источника шума, дБА.

В нормативной и справочной литературе приводятся рекомендации, что при разнице в уровнях звука от источников более 20 дБА указанные источники можно не суммировать. Действительно наличие дополнительного источника шума с интенсивностью меньше основного на 20 дБА приводит к увеличению результирующего значения на 0,043 дБА, что не существенно. Указанное обстоятельство справедливо при незначительном числе источников, не превышающих первый десяток. Но при расчете акустического поля от стадиона мы имели дело с иным порядком цифр, т.к. максимальная вместимость стадиона может составлять 10-20 тысяч болельщиков, то и количество точечных источников шума составляет 10-20 тысяч. При таком количестве дополнительный вклад от источников шума низкой интенсивности (разница в уровнях более 20 дБА) достигала 6-8 дБА, что существенно влияет на результаты расчетов.

Принятая модель расчета позволила определить санитарно-защитные зоны стадиона «Москвич», размещаемого на месте существующего спортивного комплекса. На рисунке 4 показаны изолинии равных уровней шума, создаваемого на стадионе полностью заполненного зрителями, во время футбольного матча. Емкость стадиона составляет 20 тысяч зрителей. Одна из трибун вместимостью 15 тысяч зрителей имеет козырек, защищающий зрителей от осадков. Высота козырька около 40 м. Остальные трибуны имеют высоту 5 м. На них располагается 5 тысяч зрителей. Граница санитарно-защитной зоны, проходящая по изолинии 55 дБА показана на рисунке. Часть существующих жилых домов попадает в СЗЗ, создаваемую стадионом по фактору шумового загрязнения.

Условием размещения стадиона на указанной территории является разработка мероприятий по уменьшению зоны санитарного разрыва, путем устройства дополнительного ограждения открытых трибун, или замену окон в жилых домах, попадающих в СЗЗ на окна с требуемым уровнем звукоизоляции.

Приведенный метод в дальнейшем требует уточнения, по мере накопления экспериментальных данных о поведении болельщиков при проведении различного рода соревнований и уровнях создаваемых на трибунах при проведении соревнований по различным видам спорта.

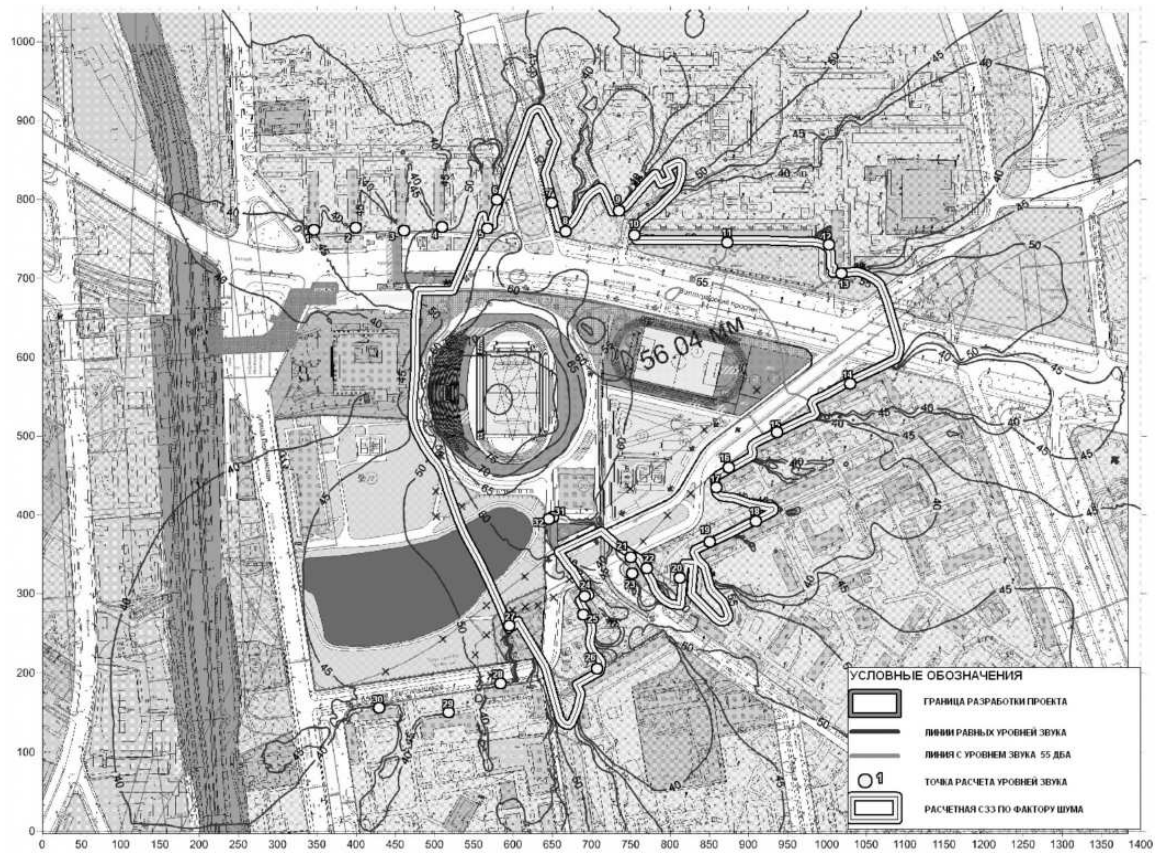


Рис.4. Карта шумности территории прилегающей к проектируемому стадиону «Москвич»

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ШУМОЗАЩИТЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ В ГОРОДЕ МОСКВЕ

Кирюшина Н.К. [1], *Пузакова А.И.* [1], *Степанов В.Н.* [2]
ГУП "НИ и ПИ Генплана Москвы" (1)
nastya_e9@rambler.ru

Масштаб проблемы снижения уровней шума в городе Москве определяется тем, что к настоящему времени 40% городского населения проживает в условиях превышения нормативных уровней шума. Величина этого превышения составляет 10 – 25 дБА.

Неизбежное в городских условиях близкое взаимное расположение источников шума и застройки, непрерывный рост интенсивности автотранспорта на улично-дорожной сети, увеличение плотности улично-дорожной сети и застройки обуславливают тот факт, что шумовое загрязнение в современном городе постоянно увеличивается. Понятие акустическое состояние среды становится одним из ключевых понятий качества жизни.

В этих условиях для решения вопроса снижения шума и обеспечения благоприятной акустической среды в городе Москве актуальным является создание комплексной системы мер, направленных на недопущение ухудшения качества жизни в городе по фактору шума, и разработке системы мероприятий, направленных на улучшение условий проживания населения. Помимо жилой застройки в зонах превышения нормативных уровней шума располагаются учебные заведения, больницы, детские дошкольные учреждения.

Задача снижения шума в городе является и важной социальной проблемой, так как большая часть протестных выступлений против строительства новых транспортных магистралей, объектов транспортной инфраструктуры вызвана негативным отношением к возможному ухудшению условий проживания на прилегающей территории, и, прежде всего, из-за опасений относительно увеличения уровней шума в жилье.

Градостроительный кодекс РФ требует при осуществлении градостроительной деятельности обеспечение безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду. Аналогичное требование к развитию города содержит и Градостроительный кодекс города Москвы.

Нормативы по проектированию планировки территории города Москвы устанавливают требования, в соответствии с которыми при проектировании новой застройки и реконструкции существующей должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие условия акустического комфорта для населения.

При разработке документов территориального планирования, проектов строительства объектов различного назначения необходимо учитывать прогнозное состояние акустической среды и увеличение шумовых характеристик основных внешних источников шума, предусматривать мероприятия по снижению уровней шума до показателей, обеспечивающих выполнение нормативных требований.

Основными источниками сверхнормативного шумового воздействия на территорию и застройку города Москвы являются:

– автотранспортные потоки, проходящие по улично-дорожной сети города, которая в настоящее время имеет общую протяженность 1310 км;
– железнодорожные магистрали и наземные линии метро, протяженность которых составляет 244 км;
– авиационный транспорт в зоне воздушных подходов к аэропортам: Домодедово, Внуково, Шереметьево, а также к аэропорту, на которых осуществляется обслуживание местных авиалиний – Остафьево;
– промышленные, коммунально-складские объекты, объекты тепло-энергетики.

Соотношение между источниками шума, по степени влияния на акустическое состояние окружающей среды в административных округах города Москве, показано на рис. 1.

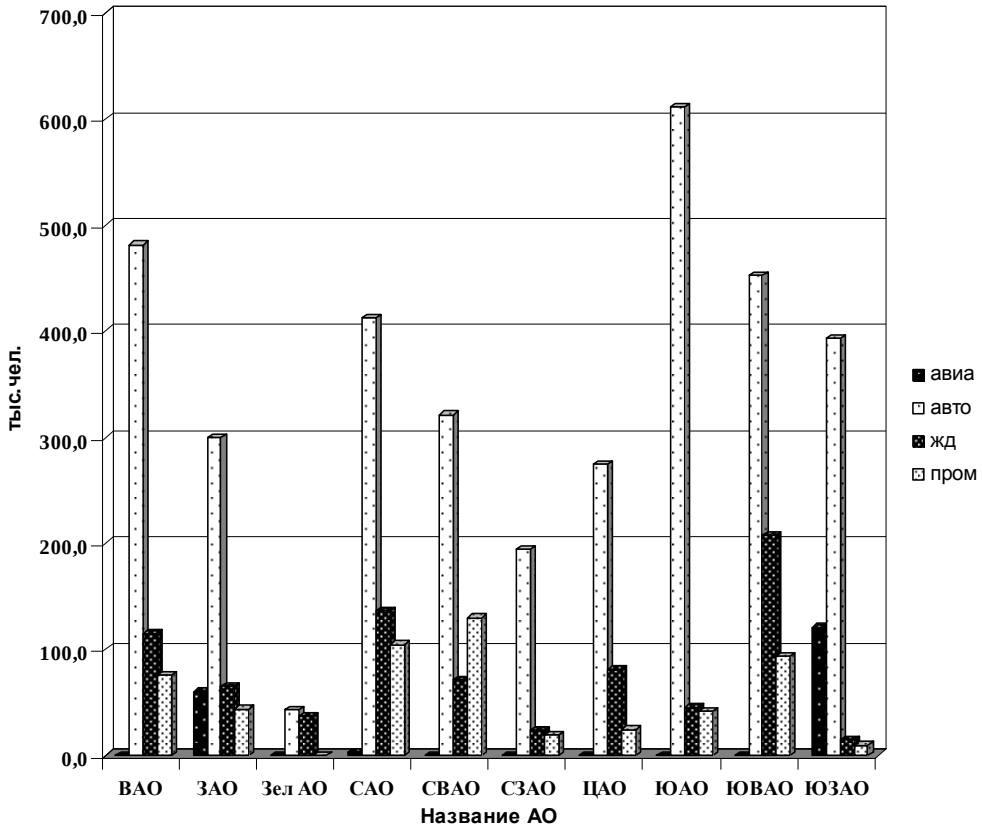


Рис.1. Численность населения, проживающего в зонах акустического дискомфорта по административным округам Москвы, создаваемыми основными городскими источниками шума (2008г.)

Основными факторами, влияющими на акустическое состояние на территории и в помещениях жилой застройки, являются:

- планировочное решение городской территории, которое предусматривает взаиморазмещение жилых, промышленных и коммунально-складских территорий города, структуру улично-дорожной сети;
- плотность улично-дорожной сети города;
- высотное размещение источников шума относительно территорий жилой застройки;
- планировочное и пространственное решение по застройке территорий, прилегающей к объектам внешнего городского транспорта, железнодорожным и автотранспортным магистралям;
- функциональное использование территорий, непосредственно прилегающих к источникам шума.

Усилия по уменьшению акустического воздействия на жителей города направлены на снижение уровней звука от основных источников городского шума, перечисленных выше, и, прежде всего, транспортного шума. Меры по снижению транспортного шума рассматриваются в настоящей статье.

Имеющиеся в настоящее врем тенденции к снижению уровней шума от отдельных транспортных средств, усовершенствование путей движения транспортных потоков всех типов, исчерпание пропускной способности существующих магистралей позволяет в настоящее время считать, что существенного увеличение шумовых характеристик основного городского источника шума – автотранспортных потоков на магистральной сети города не произойдет. В соответствие с Генеральным планом комплексного развития транспортной системы города Москвы, разработанной ГУП «НИ и ПИ Генплана Москвы» в 2008 году, рост уровней шума на основной сети составит не более 2 дБА. Вместе с тем на 5-7 дБА могут увеличиться уровни шума на местной сети города, из-за повышения плотности застройки и увеличения интенсивности выезда автомобилей на эту сеть с внутриквартальной территории.

В настоящее время в Москве, как и других странах мира, снижение шума от транспортных потоков в основном осуществляется на пути его распространения – придорожными сооружениями экранирующими шум или повышением звукоизоляции ограждающих конструкций зданий.

К настоящему времени для снижения шума в зданиях и на территории жилой застройки, на территории и в помещениях школ, в зданиях и помещениях больниц в городе Москве построено около 20 км шумозащитных экранов различных конструкций. Произведена замена более чем 80 тысяч окон обычных конструкций на шумозащитные. Для новых жилых домов, строящихся в зоне превышения нормативных уровней шума, в проектах предусматривается такой уровень

звукоизоляции окон и систем проветривания, при котором обеспечиваются нормативные акустические условия во внутренних помещениях.

Наибольший опыт использования средств снижения шума в различных градостроительных условиях, выбор параметров шумозащитных сооружений и их конструктивные решения сложился в процессе разработке проектов строительства участков третьего транспортного кольца и реконструкции городских магистралей, выполненных институтом Мосинжпроект. На основе вариантного проектирования, с учетом совокупности требований, предъявляемых к типу шумозащитных сооружений в зависимости от функционального использования прилегающей территории, условий прохождения крупных городских коммуникаций вдоль магистралей, типа и этажности прилегающей застройки производился выбор способа и методов защиты. При выборе типа шумозащиты во внимание принимались условия развития прилегающих территорий, предусмотренные проектами территориального планирования. Игнорирование этого фактора приводит к неэффективному использованию средств, затраченных на шумозащитные мероприятия, включенных в смету строительства магистрали.

Опыт реализации мероприятий по шумозащите показал, что доля этих затрат в общей сметной стоимости может составлять от 2-х до 25%. Наибольший показатель относится к магистралям районного значения, вдоль которых в непосредственной близости располагается жилая застройка. Меньший показатель характерен для общегородских кольцевых магистралей, имеющих высокую стоимость строительства из-за большого числа искусственных сооружений.

Для снижения шума на территории, прилегающей к 3-му транспортному кольцу и Большой Тульской улице, был запроектирован и выстроен светопрозрачный экран, установленный частично на участке, проходящем на уровне поверхности земли, частично на эстакаде. Придорожный экран размещен вдоль проезжей части магистрали и снижает шум от потока транспорта, проходящего по магистрали, на территории и в застройке на 12 дБА. При проектировании экрана было учтено, что все пятиэтажные дома, расположенные в микрорайоне, в дальнейшем подлежат сносу, и на их месте будут выстроены дома повышенной этажности, к которым сформулированы требования в части звукоизоляции окон в новой застройке. Вместе с тем, уже построенный экран позволяет снизить уровень проектируемой звукоизоляции и обеспечить нормативные требовании к уровням звука на территории и в помещениях школы и дошкольного учреждения.

Строительство экрана высотой 6 м для снижения шума от участка 3-го кольца при его прохождении вдоль территории Психиатрической больницы им. Алексеевского было предусмотрено с использованием рельефа территории, на которой размещаются здания больницы. Больница расположена на отметках, на 4-5 м превышающих высотные отметки полотна дороги. Для увеличения эффективной высоты экрана был дополнительно отсыпан грунт по границе территории больницы, на которой был установлен плоский экран (рис. 2.). Это

позволило обеспечить снижение уровней на территории и в зданиях больницы до нормативных значений (45 дБА) при том, что шумовая характеристика транспортного потока на данном участке составляет 82 дБА. Кроме того указанное решение позволило резко сократить плечо возки вынимаемого грунта на прилегающем участке третьего транспортного кольца. В качестве варианта рассматривалась возможность строительства вместо насыпи двухэтажного гаража с установкой экрана на его кровле, однако этот вариант не был принят по конструктивным соображениям.

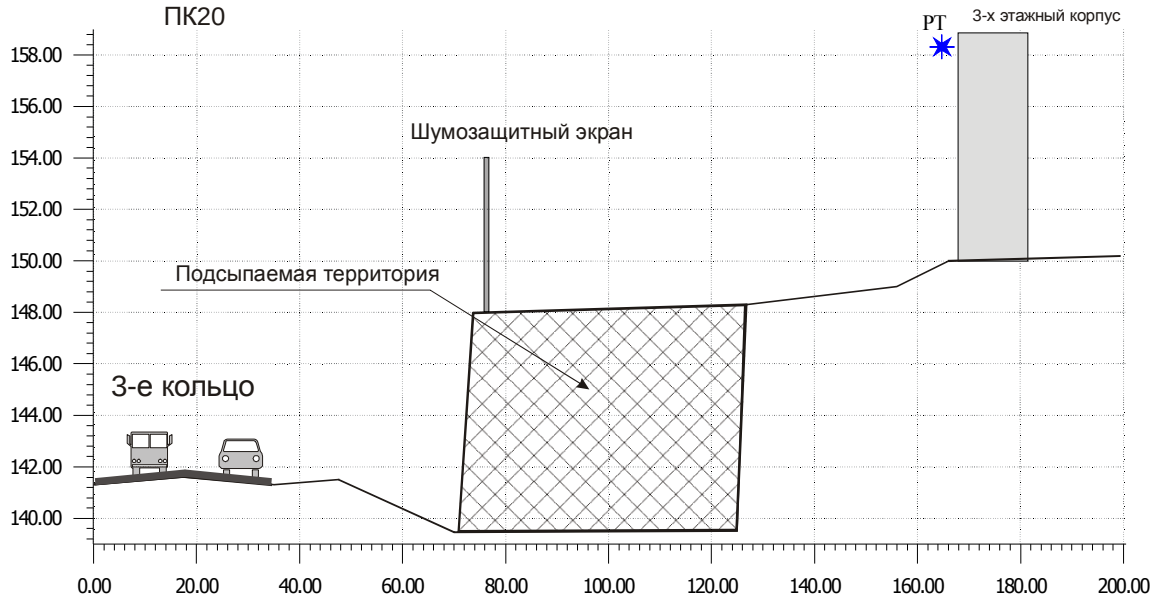


Рис. 2. Шумозащитный экран на бровки подсыпанного откоса вдоль территории больницы

Далее по трассе 3-го транспортного кольца устроен светопрозрачный экран высотой 6 м, защищающий от шума территорию Природного комплекса и спортивную школу.

Довольно сложно решался вопрос снижения шума при строительстве магистрали на участке от Комсомольского проспекта до Андреевского моста. На этом участке автомагистраль проходит вдоль Московской кольцевой железной дороги, в непосредственной близости от нее. При этом обе магистрали проходят в повышенных отметках по сравнению с существующей застройкой. Для исключения влияния обоих источников шума на акустическое состояние в прилегающей застройке были выстроены экраны со звукопоглощением вдоль железнодорожного полотна и автомагистрали. Так как между жилой застройкой и рассматриваемыми магистралями проходит улица Хамовнический Вал, то экраны позволили только исключить шум от вновь выстроенных объектов. В целом же уровни шума на прилегающей территории и в жилой застройке несколько увеличились по сравнению с моментом строительства 3-го транспортного кольца, за счет увеличения транспортного потока, проходящего по улице Хамовнический Вал.

Наибольший интерес из придорожных сооружений, расположенных на рассматриваемой магистрали, представляют экраны с козырьками, перекрывающими половину проезжей части, расположенные на выездах из тоннеля на пересечении 3-го кольца и Кутузовского проспекта. Эффективность этих сооружений достигает 18 дБА, что позволяет полностью исключить влияние шума от 3-го кольца на прилегающую территорию. Для снижения шума от боковых проездов вдоль них параллельно полуперекрытым участкам построены плоские стеклянные экраны высотой 6 м, исключающие влияние шума от боковых проездов на жилую застройку. Для того, что бы не происходило увеличения уровней шума в «коридоре», создаваемом экранами поверхность экрана, установленного вдоль 3-го кольца выполнена их звукопоглощающих материалов (Рис 3.). Специализированные шумозащитные сооружение, имеющее конструкцию, обеспечивающую перекрытие одного направления движения на магистрали, не нашло дальнейшего применения в практике шумозащиты из-за высокой их стоимости. Однако высокая акустическая эффективность такого сооружения заслуживает дальнейшего рассмотрения с целью использования подобных конструкций для защиты от шума.

Рис. 3. Придорожные экраны, расположенные на выездах из тоннеля на пересечении 3-го кольца и Кутузовского проспекта.

Для снижения шума от автотранспортного потока и движения поездов, проходящих по Смоленскому направлению Московской железной дороги в застройке, расположенной вдоль улицы Подвойского, был выстроен семи этажный гараж, расположенный вдоль третьего кольца, который позволил решить проблему хранения автомобилей для жилого района и осуществить его защиту от шума транспортных магистралей. С двух сторон к гаражу примыкают плоские экраны. Первоначально гараж проектировался открытого типа, однако, исходя из требования шумозащиты, стенка, обращенная к источнику шума, была закрыта панелями, исключившими проникание шума от движения железнодорожных поездов и автотранспорта в помещения жилых домов.

Идея проектирования сооружений двойного назначения нашла свое продолжение при проектировании 4-го транспортного кольца. На участке от Щербаковской улицы до шоссе Энтузиастов предусмотрено строительство 2-х многоэтажных гаражей над проезжей частью магистрали, что позволяет снизить уровни шума в жилой застройке и на территории Природно-исторического парка Измайлово, до нормативно – установленных показателей. Транспортная магистраль проходит на уровне первых этажей проектируемых сооружений (Рис.4). В двух подземных этажах и на пяти наземных расположены места для постоянного и временного хранения автомобилей (рис. 5).

Рис. 4. Плановое расположение проектируемых гаражей
над трассой 4-го транспортного кольца

При проектировании подобных сооружений возникает проблема защиты территории от шума, создаваемого вентиляционными системами гаражей и тоннельной части магистрали. В составе проекта предусмотрен комплекс мер, обеспечивающих снижение шума от вентиляционных систем, до уровней, при которых на прилегающей к магистрали территории обеспечиваются нормативные требования к допустимым уровням звука.

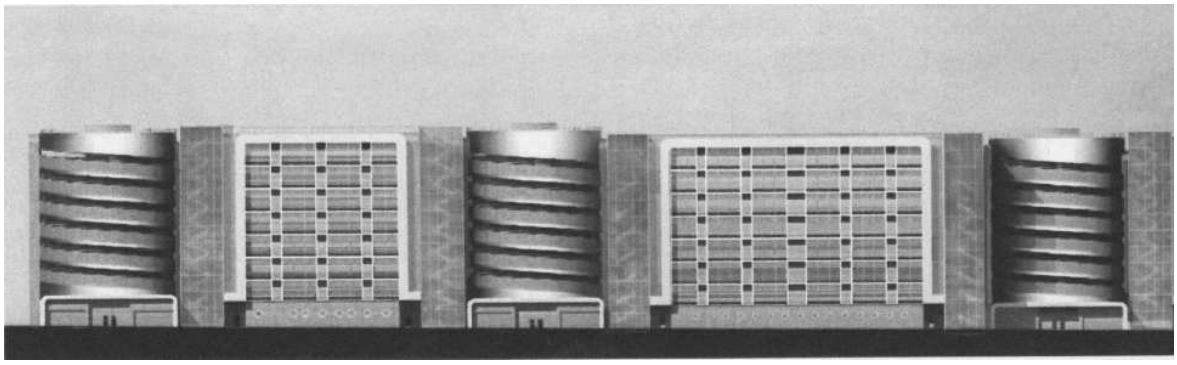


Рис. 5. Фрагмент фасада проектируемых гаражей
над трассой 4-го транспортного кольца

В условиях дефицита городских территорий в городе в Москве все чаще рассматриваются вопросы полного перекрытия автотранспортных и железнодорожных магистралей.

При этом решаются и другие проблемы, способствующие повышению качества окружающей среды и условий проживания на прилегающей территории. Прежде всего, это позволяет решить проблемы разобщенности территорий, расположенных по обе стороны от магистрали. Создаются дополнительные территории, на которых могут размещаться объекты различного назначения.

Дополнительные площади, образующиеся при устройстве перекрытий, могут использоваться для устройства объектов жилого, общественного, коммунального назначения, размещения транспортных магистралей. При этом условием устройства перекрытий является обеспечение требований безопасности по различным факторам при движении железнодорожных составов в условиях тоннелей. Кроме того, движение поездов, осуществление ремонтных и других работ внутри созданного тоннеля будет приводить к созданию вибрации, передающейся на конструкции перекрытия. Это означает, что в составе работ по перекрытию железнодорожных линий, станций и других объектов необходимо предусматривать противовибрационные и шумозащитные мероприятия.

Кроме того, для обеспечения транспортного обслуживания объектов, размещаемых на перекрытии необходимо строительство транспортных проездов, которые будут являться дополнительным источником шума по отношению в прилегающей территории и жилой застройке. В месте с тем в любом случае это позволит уменьшить требования к уровню звукоизоляции окон в домах, расположенных вдоль железной дороги и существенно сократить зоны шумового воздействия от железнодорожного транспорта. Суммарный эффект от создания перекрытия над железнодорожной магистралью оценивается с одной стороны положительным эффектом от перекрытия и выгодами от получения дополнительных площадей. С другой стороны, необходимы дополнительные затраты на реализацию технических мероприятий, связанных с необходимостью обеспечения нормативных требований по шуму и вибрации в условиях проживания в домах, расположенных на перекрытии и безопасных условий функционирования объектов железнодорожного транспорта внутри тоннеля.

В качестве примера возможного решения по перекрытию железнодорожной магистрали может рассматриваться проектное предложение по перекрытию участка Киевского направления МЖД на участке от Минской улицы до 3-го транспортного кольца.

При проектировании магистралей вопрос выбора типа искусственного сооружения при строительстве транспортных пересечений решается с учетом необходимости снижения уровней шума на территории. Как правило, при наличии застройки вокруг транспортных пересечений предпочтение отдается тоннельному варианту, так как строительство эстакад требует дополнительного

устройства экранов, что усложняет конструкцию сооружения. Появление новых технологий строительства магистралей с помощью щитовой проходки позволило существенно увеличить протяженность тоннелей при строительстве транспортных магистралей, что позволяет в числе прочих задач решать проблемы защиты от шума прилегающих территорий.

При решении задачи снижения шума в застройке выше пяти этажей, что характерно для условий города Москвы, наиболее рациональным средством явилась замена окон в домах, расположенных на прилегающей территории. При строительстве 3-го транспортного кольца были использованы окна со звукоизоляцией 25 дБА. На момент строительства отсутствовали окна и системы проветривания с большей эффективностью снижения шума. В настоящее время в городе Москве работают отечественные и иностранные фирмы, выпускающие окна и системы проветривания зданий со звукоизоляций до 30 дБА. Использование окон с подобным уровнем звукоизоляции предусматривается при решении вопросов шумозащиты при строительстве Звенигородского проспекта, реконструкции Ленинградского шоссе, в проектах строительства ввода магистрали Москва – Санкт-Петербург, Четвертого транспортного кольца, Северной и Южной Рокад.

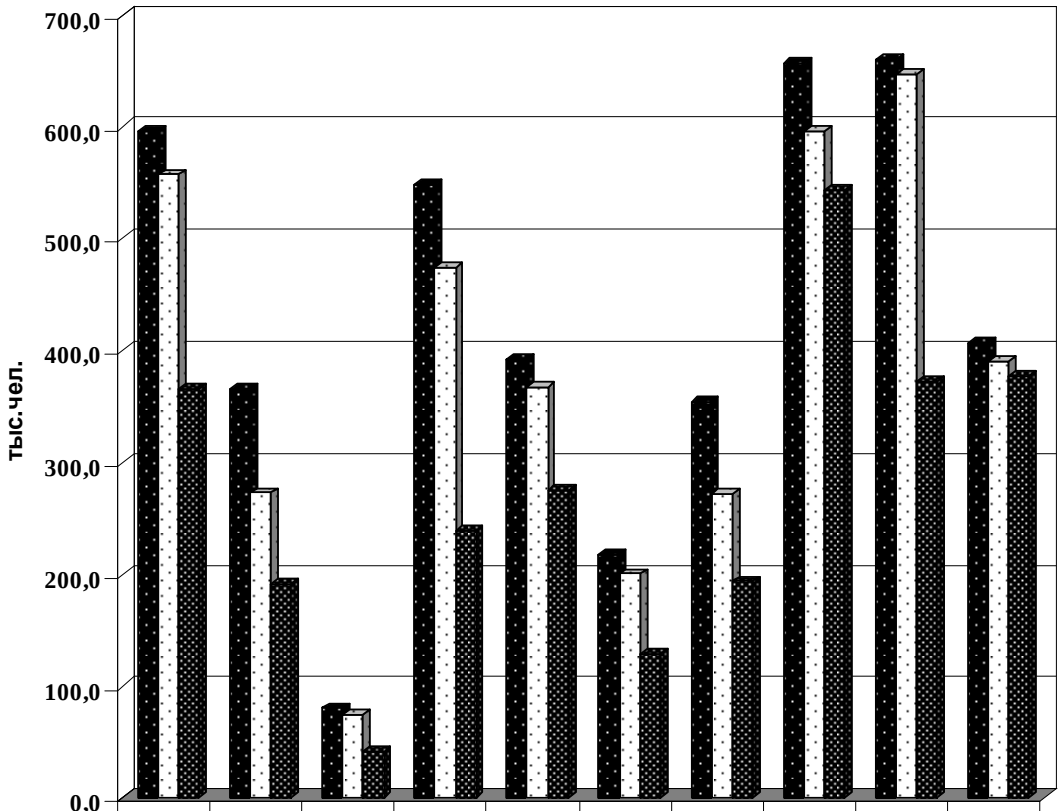
С учетом опыта защиты от шума территорий прилегающих к транспортным магистралям были определены объемы мероприятий, которые должны быть осуществлены при реализации следующих документов, разработанных в развитие Генерального плана Москвы.

В составе Генеральной схемы реорганизации Московского железнодорожного узла было предусмотрено, что новое строительство главных путей на радиальных направлениях железнодорожного узла будет проводиться при условии обеспечения нормативных уровней шума в прилегающей застройке за счет затрат на строительные работы. Для снижения шума в существующей жилой застройке в составе Генсхемы предусмотрена замена окон в 1474 домах, строительство 22 км придорожных экранов. Это позволит создать комфортные акустические условия для проживания 796 тысяч человек.

При разработке Генерального плана комплексного развития транспортной системы города Москвы установлено, что при планируемых объемах дорожно-мостового строительства, для обеспечения нормативных уровней звука в прилегающей застройке, должны быть предусмотрены дополнительные затраты для строительства к 2025 году придорожных экранов протяженностью 87 км, на замену 700 тыс. окон, посадке 1.5 км специальных шумозащитных полос зеленых насаждений. Это позволит обеспечить комфортные акустические условия к 2025 году дополнительно для 1млн. 250 тыс. населения.

Результаты внедрения мероприятий по защите от шума, предусматриваемые документами территориального и отраслевого планирования Москвы, позволят существенным образом улучшить условия проживания населения Москвы.

Изменение количества жителей проживающих в условиях акустического дискомфорта в результате реализации предусмотренных в рассмотренных документах мероприятий показано на рис. 6.



	ВАО	ЗАО	Зел АО	САО	СВАО	СЗАО	ЦАО	ЮАО	ЮВАО	ЮЗАО
2008	595,7	365,1	80,4	548,4	392,2	217,4	354,7	656,2	660,5	407,4
2015	557,2	272,7	74,8	473,7	367,1	200,5	271,3	596,1	646,7	390,4
2025	365,9	191,0	41,9	238,9	274,7	128,7	193,8	543,8	371,7	376,6

Рис. 6. Динамика изменения численности населения, проживающего в зонах акустического дискомфорта дорожно-транспортной системы города

Вместе с тем остается часть жителей, для которых вопрос обеспечения комфортных акустических условий остается актуальным. Это та часть сложившейся застройки, которая не охвачена на рассматриваемый срок проектами нового строительства и реконструкции либо самой застройки, либо прилегающих магистралей. Для нее должны разрабатываться целевые программы по защите от шума, которые в частности могут быть интегрированы программами капитального ремонта зданий. В любом случае вопрос финансирования этих программ заслуживает дополнительного рассмотрения и обоснования

ЭКСПЕРТИЗА РАСЧЕТОВ ШУМА ОТ ВНЕШНИХ БЛОКОВ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Клименкова О.И. [1], *Калашникова Н.К.* [2], *Гончаренко И.А.* [3]
1 – ООО ПБ "Центр экологических инициатив" (1)
2 – ФГУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве" (2)
3 – ГУП "НИ и ПИ Генплана.Москвы" (3)
o.klimenkova@ceieco.ru

При экспертизе проектной документации по шумовому фактору возникают вопросы, как правильно проводить расчёты, можно ли в акустических расчётах оценивать шум оборудования только по одному показателю: уровню звука (УЗ) на расстоянии 1м или уровню звуковой мощности (УЗМ) по шкале «А».

Как пример, рассмотрим порядок проведения экспертизы расчёта для конденсаторных блоков (тот же метод расчёта в отдельных случаях может применяться для чиллеров, драйкулеров).

1. Рассматривается проект установки агрегата (агрегатов) в составе проекта (предпроектных решений) строительства (реконструкции) объекта и предусмотренные в проектных решениях меры по снижению шума и вибрации агрегата. Эффективность снижения шума мероприятиями должна быть оценена в акустическом расчёте в подразделе «Защита от шума».

Ошибочно рассматривать только акустический расчёт без проекта. Отдельно представленный акустический расчёт является отчетом, и не может быть проектной документацией. В этом случае экспертное заключение дается не на проектные решения, а на выполненные в отчете акустические расчёты. В конце заключения на расчёт делается запись: Акустический расчёт не является разделом «Защита от шума» в составе проектных решений объекта. Указанный раздел «Защита от шума» подлежит согласованию в составе проектных решений в установленном порядке».

2. В составе раздела «Защита от шума» на все шумное оборудование должны быть приложены копии страниц из каталогов с шумовыми характеристиками или указаны расчётные формулы (и приложены расчёты) для определения шумовой характеристики агрегата. **Главная характеристика агрегата – его звуковая мощность.** Если уровень звуковой мощности рассчитывается, то представляются все технические характеристики, необходимые для расчёта (напор воздуха, давление, число оборотов вентагрегата, габариты агрегата и пр.).

Если в каталоге фирмы-изготовителя отсутствует уровень звуковой мощности по спектру или хотя бы УЗМ в дБА, а представлены только спектральные уровни звукового давления или уровень звука в дБА, измеренные на расстоянии **r** (должна быть указана численная величина расстояния **r** с описанием условий, в которых проводились измерения (в открытом пространстве или в помещении с описанием акустических характеристик

помещения), то расчет УЗМ по октавным полосам проводится следующим образом /4,5/:

Октавные уровни звуковой мощности LP,(дБ) источника в свободном поле, для которого известны уровни звукового давления L (дБ) на расстоянии r(м) от акустического центра источника, можно определить по формулам:

при r > $2l_{макс}$

$$L_P = L_m + 20\ lg\ r + 10\ lg\ \Omega, \quad (1а)$$

$$L_{PA} = L_A + 20\ lg\ r + 10\ lg\ \Omega, \quad (1б)$$

при r ≤ $2l_{макс}$

$$L_P = L_m + 10\ lg\ S, \quad (2а)$$

$$L_{PA} = L_A + 10\ lg\ S, \quad (2б)$$

При этом необходимо знать габариты источника в м, величину расстояния **r(м)** от источника до точки проведения измерений и средний спектральный уровень звукового давления (УЗД) в дБ или уровень звука (УЗ) в дБА. Если значения $\mathbf{L_i}$ или $\mathbf{L_{iA}}$ отличаются более чем на 5дБ или 5дБА соответственно, то средний спектральный УЗД в **m**-ой октавной полосе частот в дБ или УЗ В дБА опреде-ляются по формулам:

$$L_m = 10\lg[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{0.1\bullet L_i}] - K_1 \quad (3а)$$

$$L_A = 10\lg[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{0.1\bullet L_{iA}}] - K_1 \quad (3б)$$

где:

$l_{макс}$ – максимальный размер источника,м;

S – площадь измерительной поверхности вокруг агрегата, во многих случаях – это параллелепипед, м^2;

L_i – уровень звукового давления в дБ в m-ой полосе частот в i-ой точке измерений;

L_{iA} – уровень звука в дБА в i-ой точке измерений;

K_1 – постоянная в дБ, учитывающая влияние отраженного звука в рассматриваемой полосе частот или по шкале «А». Определяется K_1 в соответствии с ГОСТом на методы определения шумовых характеристик источников. K_1 = 0 дБ при измерениях на открытых площадках;

n – количество точек измерений на измерительной поверхности. Количество точек измерений принимается в соответствии с ГОСТом на методы определения шумовых характеристик источников.

Если значения L_i или L_{iA} отличаются не более чем на 5 дБ или 5 дБА соответственно, то величину L_m (дБ) и L_A (дБА) определяют по формулам:

$$L_m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_i\,] - K_1 \qquad (4а)$$

$$L_A = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_{iA}\,] - K_1 \qquad (4б)$$

Если измерительная поверхность, огибающая источник шума, является полусферической, то $\mathbf{S = 2\pi r^2}$.

Когда измерительная поверхность имеет форму параллелепипеда, площадь измерительной поверхности определяется по формуле (5):

$$S = 4\,(ab + ac + bc)\,(a + b + c) / (a + b + c + 2d), \qquad (5)$$

$$a = 0{,}5\,l_1 + d;\; b = 0{,}5\,l_2 + d;\; c = l_3 + d; \qquad (6)$$

где $\mathbf{l_1}$, $\mathbf{l_2}$ – размеры основания параллелепипеда в м; $\mathbf{l_3}$ – высота параллелепипеда в м; **d –** измерительное расстояние в м от источника шума.

Если исходные уровни звуковой мощности шума представлены в корректированых уровнях дБА, то расчетным путем по формуле (7) (определяются уровни шума по октавным полосам /4/:

$$L_P = L_{PA} + K(\Delta_{LA}) \qquad (7)$$

где $\mathbf{\Delta_{LA}}$ **–** показатель спектра шума, дБ.

$\mathbf{K(\Delta_{LA})}$ **–** спектральная поправка, дБ

Зная величины $\mathbf{L_{PA}}$(дБ) и $\mathbf{\Delta_{LA}}$ (дБ) определяем по табл. 1 спектральную поправку и затем по формуле (7) спектральную характеристику уровня звуковой мощности шума конденсаторного блока.

Таблица 1

Поправки $K(\Delta_{LA})$ для перерасчета из L_{PA}(дБА) в L_P(дБ)

Δ_{LA}, дБ	$K(\Delta_{LA})$ в дБ при среднегеометрической частоте октавных полос, Гц							
	63	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
2	-9,4	-7,7	-6,1	-4,7	-4,1	-6,8	-10,6	-14,4
3	-6,7	-5,3	-4	-3,7	-4,1	-7,4	-11,6	-16,1
4	-4,1	-3,3	-2,6	-2,8	-4,3	-7.9	-12,4	-17,1

Таблица 2

Классификация акустических спектров шума конденсаторных блоков по значениям показателя спектра Δ_{LA}

Характеристика спектра	Категория оборудования	Δ_{LA}, дБ
Средне-и низкочастотный с максимумом в полосе 125÷1000 Гц	Прессы с усилием более 400кН; грохоты; молоты; буровые, сортопрокатные, прядильные и основовязальные станки; ковочные, формовочные, дробильные, закаточные машины, **высокоскоростные осевые вентиляторы**	2-3
Низко- и среднечастотный с максимумом в полосе 125÷500 Гц	Раскройные, строгальные станки; станы трубного производства; слябинги; бумажные машины; сырьевые мельницы; ножницы машиностроительного и металлургического производства; турбоагрегаты; **низкоскоростные осевые вентиляторы**	3-4

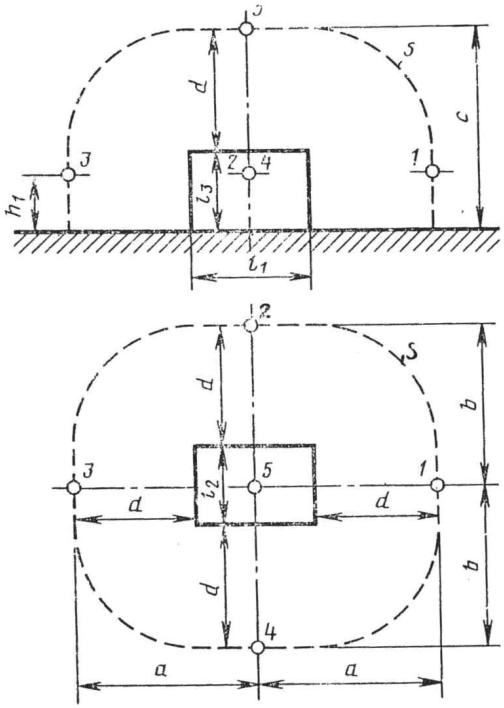


Рис. 1. S – измерительная поверхность, 1-5 – точки измерения, l_1, l_2, l_3 – размеры огибающего источник шума параллелепипеда, d – измерительное расстояние, a, b, c –характеристические размеры измерительной поверхности

В каталогах конденсаторных блоков низкой производительности фирмы – изготовители приводят в большинстве случаев уровни звука (УЗ) в дБА. Однако, как правило, они не указывают условия, в которых проводились измерения шума (расстояние от точки измерения до источника шума, в

помещении или на улице, акустические свойства помещения (если в помещении измерения) и т.д. Такие приведенные в каталогах уровни звука являются некорректными и не могут применяться для расчетов.

3. Расчет шума от блоков, проникающего в конкретную расчётную точку, проводится по формуле /6/:

$$L_i = L_{Pi} - K \lg r + 10 \lg \Phi - 10 \lg \Omega - \beta_a r/1000 - \Delta L_{экр} \qquad (8)$$

где L_i – значение октавных уровней звукового давления в расчетной точке от рассматриваемого источника, дБ;

К – коэффициент, меняющийся от 10 до 20 в зависимости от вида источника, окружающих условий и др. факторов;

L_{Pi} – значение октавных уровней звуковой мощности источника шума, дБ

r – расстояние от источника шума до расчетной точки;

Ф – фактор направленности источника шума, безразмерный, определяемый по опытным данным. Для источников шума с равномерным излучением звука следует принимать Ф=1;

Ва – затухание звука в атмосфере, дБ/км. Если $r \leq 50$м, то βа=0.

Ω – пространственный угол излучения звука, принимаемый для источников шума, расположенных:

- в пространстве – Ω=4π;
- на поверхности территории или ограждающих конструкций зданий и сооружений – Ω=2π;
- в двухгранном углу, образованном ограждающими конструкциями зданий и сооружений – Ω=π.

$\Delta L_{A\ экр}$ – снижение шума за счёт экранирующих сооружений.

4. При обнаружении превышения допустимых уровней шума разрабатываются специальные меры (замена блока на менее шумный, перенос блока в более удаленное место, установка экрана-козырька П- образной формы и др).

5. Обязательно включение в проектную документацию меры по виброизоляции кронштейна от стен здания, к которым крепится блок, и виброизоляция наружного блока от кронштейна.

Выводы

Разрабатывается и предоставляется на экспертизу проектная документация с комплексом мероприятий по снижению шума, эффективность которых подтверждена акустическими расчетами.

Главной шумовой характеристикой блоков является спектральный уровень звуковой мощности.

Если предоставляется уровень звуковой мощности, корректированный по шкале «А», нужно выполнить перевод в спектральные уровни по методике, изложенной выше.

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". Минздрав России, Москва, 1997.
2. Защита от шума. Строительные нормы и правила СНиП 23-03-2003. Государственный комитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Госстрой России). Москва, 2004
3. Защита от шума. Строительные нормы и правила СНиП П-12-77, часть II, глава 12. Госстрой СССР, Москва, 1978
4. «Звукоизоляция и звукопоглощение». Учебное пособие для студентов вузов. Москва, , издательство «АСТ-Астрель», 2004.
5. ГОСТ 12.1.028-80. Шум. Методы определения шумовых характеристик источников шума. Ориентировочный метод. Госстандарт СССР. Издательство стандартов, Москва, 1984.
6. И.А. Веретина, И.А. Гончаренко, Н.К. Калашникова, О.И. Клименкова, Е.А. Руднева. Четыре метода расчета санитарно-защитной зоны по шумовому фактору вокруг объектов с источниками шума и оценка вибрационной зоны. //Материалы научно-технического семинара в г. Севастополе «Актуальные проблемы защиты от шума зданий и территории застройки» , М, 2007.

ОПЫТ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Харитонов В.В., Строканов В.Н., Вивич Ю.В.
ОАО Гипроспецгаз, Санкт-Петербург, Россия
hvv@gsg.spb.ru

Газотранспортная отрасль – одна из ведущих отраслей энергетического сектора российской экономики. ОАО «Гипроспецгаз» (г. Санкт-Петербург») является ведущим отечественным институтом, специализирующимся на проектировании высокотехнологичных объектов транспортировки нефти и газа.

За время существования Гипроспецгаза по его проектам построены десятки тысяч километров магистральных газопроводов, среди которых – Бухара-Урал, Игри-Серов, Ямал-Европа, СРТО-Торжок, «Голубой поток», а также более ста промышленных предприятий, сто пятьдесят нефтебаз, четыре крупных хранилища газа.

В настоящее время институт разрабатывает проекты, связанные с освоением месторождений полуострова Ямал, арктического шельфа, работает над созданием системы газоснабжения Восточной Сибири и Дальнего Востока, проектом строительства газопровода Nord Stream.

Необходимым элементом эффективного управления объектами на производственных предприятиях газотранспортной отрасли является безопасность труда работников и всесторонняя оценка нанесения возможного вреда их здоровью и учет необходимости создания и применения мероприятий по охране труда на всех этапах жизненного цикла объекта.

Одним из факторов охраны труда является технологический шум.

Объекты газовой отрасли, в том числе компрессорные станции магистральных газопроводов, являются источниками повышенного шумового воздействия на работников предприятия и внешнюю среду.

Проблеме снижения шумового воздействия объектов газовой отрасли на окружающую среду, соблюдению экологических, санитарно-гигиенических и технологических требований при проектировании в институте уделяется особое внимание.

Опыт проектирования промплощадок технологических объектов транспорта газа показал необходимость детальной оценки и учета показателей шума при проектировании в следующих случаях:

– при определении границ СЗЗ;
– при обосновании зонирования территории и разработке генплана, определении размещения сооружений технологической, вспомогательной, административно-хозяйственной зон;
– при определении наличия необходимости и объема мероприятий по шумоглушению;

– при определении условий труда работников;
– при выборе оборудования системы оповещения и управления эвакуацией (при пожаре).

Структурная схема оценки и учета показателей шума при проектировании объектов представлена на рисунке 1.

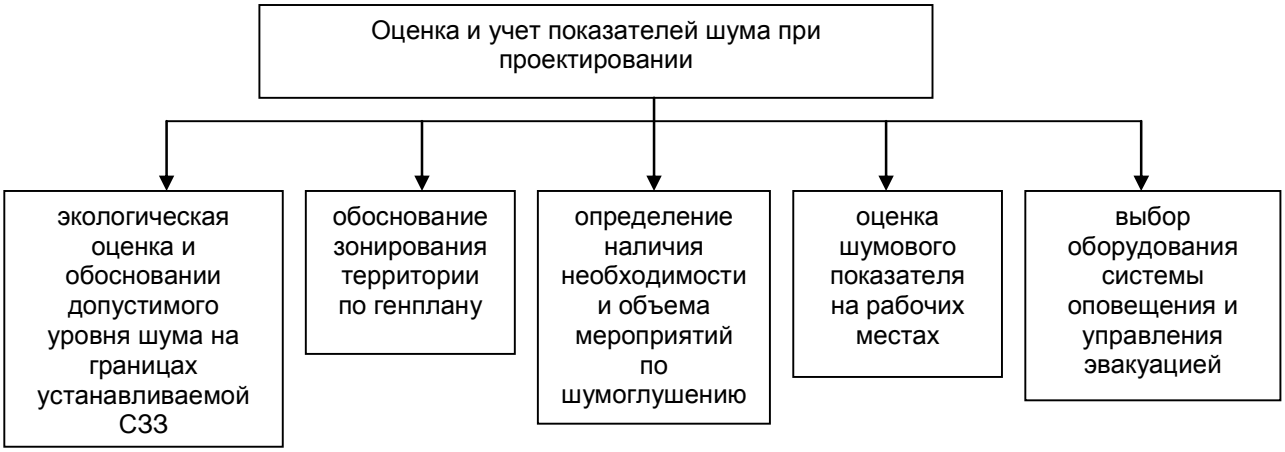


Рисунок 1. Структурная схема оценки и учета показателей шума при проектировании объектов

Эти аспекты проектирования объектов определены соответствующими нормативными документами, и представление данных материалов требуется Главгосэкспертизой при получении разрешения на строительство.

В статье проводится анализ требований нормативных документов в части оценки показателей шума для названных разделов проекта.

Необходимый комплекс мероприятий по снижению шума, а также его акустическая эффективность для рассматриваемых объектов определяется на стадии проектирования расчетным методом с использованием программных комплексов, по данным, представляемым производителями оборудования объектов газовой отрасли, и сведениям о конструктивных мероприятиях по уменьшению шумовой нагрузки на работников и окружающую среду (шумозащитных мероприятиях).

В статье рассматриваются особенности получения исходных данных, выполнения проектных расчетов, представления результатов.

Проектная оценка показателей шума используется при обосновании и определении стоимостей строительства и эксплуатации объекта, компенсационных выплат.

Разработанные мероприятия по уменьшению шумовой нагрузки на работников проектируемого объекта позволяет оценить и производить управление профессиональным риском для работников предприятия.

Оценка и учет шума технологического оборудования является составной частью расчета показателей эффективности объекта транспорта газа и имеет безусловно важное значение.

АКУСТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СЕРИИ «ЭКОЛОГ»

Лайхтман В.И., Чигалейчик С.А., Сухарев М.В., Честнов К.О.
Фирма "Интеграл"
eco@integral.ru

Фирма «Интеграл», лидер в области разработки программных средств для экологов, выпустила комплекс программ для акустических расчетов «Эколог-Шум», во многом не имеющий сегодня аналогов. Программный комплекс, базирующийся на современных нормативно-методических документах и созданный с использованием новейших технологий программирования, предназначен для решения широкого круга актуальных задач, включая проектирование и обоснование размеров санитарно-защитных зон предприятий.

Санитарная акустика – это область гигиены и санитарии, которая занимается исследованиями и профилактикой патогенных воздействий шума на организм человека – на производстве и в быту.

Для предотвращения вредных воздействий шума проводятся исследования и оценка условий труда и проживания на соответствие уровней шума санитарным нормам (СН). При выявлении на промышленных и жилых объектах повышенных уровней шумового воздействия разрабатываются мероприятия по снижению этих воздействий до допустимых СН значений.

К работам по исследованию и оценке уровней шумового воздействия относятся:

1. Исследования и санитарно-гигиеническая оценка уровней шума на рабочих местах.
2. Исследования и санитарно-гигиеническая оценка уровней шума в жилых и общественных зданиях.
3. Разработка разделов «Оценка шумового воздействия» в составе проектов организации санитарно-защитных зон промышленных предприятий.
4. Разработка проекта «Защита от шума» в составе проектной документации проектируемых и реконструируемых объектов.

Для решения последних двух задач используется специализированное программное обеспечение (ПО), разработанное на основе соответствующих методических документов. Рассмотрим возможности и особенности такого ПО на примере недавно выпущенного Фирмой «Интеграл» комплекса программ для акустических расчетов.

Комплекс состоит из следующих программ:

– *«Эколог-Шум»*, программа для проведения расчетов распространения шума от внешних источников;
– Дополнительный расчетный модуль *«Расчет шума от транспортных потоков»* для расчетов шумовых характеристик автомагистралей и железных дорог;

– *«Расчет уровня внешнего шума систем вентиляции»»*
– Дополнительный расчетный модуль *«Расчет проникающего шума»* для расчета шума, проникающего в помещение с территории, учета фонового шума, нормирования проникающего и внешнего шума;
– Электронный *«Каталог шумовых характеристик технологического оборудования (к СНиП II-12-77)»*.

Программа «Эколог-Шум» может быть использована при проведении проектных работ по размещению новых объектов с учётом существующей градостроительной ситуации и оценке влияния шума существующих объектов на окружающую среду. Расчет шумового воздействия от совокупности источников в любой точке выполняется с учетом дифракции и отражения звука препятствиями в соответствии с существующими методиками, справочниками и нормативными документами (пользователь может выбрать вариант расчета шумового воздействия по СНиП II-12-77 или по СНиП 23-03-2003). Результатом расчетов являются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31.5 – 8000 Гц, а также уровни звука La. Информация представляется как в табличном виде, так и на цветной шумовой карте.

Программный продукт предназначен для выполнения следующих задач:
– Оценка шумового воздействия на территориях, прилегающих к промышленным предприятиям и транспортным магистралям;
– Разработка и оценка эффективности шумозащитных мероприятий;
– Определение санитарно-защитных зон по фактору шума проектируемых и существующих предприятий;
– Экологический аудит промышленных, коммунальных и транспортных предприятий по фактору промышленного и транспортного шума.

Особенности программы «Эколог-Шум»

1. Графический интерфейс программы «Эколог-Шум» позволяет заносить, просматривать и редактировать все данные, описывающие объекты, относящиеся к расчету шума (источники шума, препятствия, расчетные точки и площадки и т.д.), одновременно в табличной форме и на карте. Предусмотрены также инструменты редактирования карт, в том числе и с использованием графической подложки. Возможно использование карт, подготовленных ранее в формате Унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы "Эколог".
2. Расчет проводится от точечных, линейных и объемных источников шума. Для удобства заполнения характеристик источников предусмотрен справочник шумовых характеристик источников шума, который может пополняться пользователем. Для некоторых видов источников шума предусмотрены специализированные методики, определяющие шумовые характеристики, например, «Расчет шума от

транспортных потоков» и «Расчет уровня внешнего шума систем вентиляции».

3. В расчете учитываются препятствия шума. Для удобства заполнения характеристик препятствий предусмотрен справочник звукопоглощающих и звукоотражающих свойств материалов, который может пополняться пользователем.
4. Расчет производится по расчетным точкам, по полю (расчетной площадке) с заданным шагом, а также по точкам на границе особых зон (охранной, промышленной, санитарно-защитной и жилой). Расчет может производиться на любой высоте.

Имеется вариант программы, обладающий дополнительными возможностями графического блока по работе с форматами ГИС: AutoCad (формат DXF), MapInfo (формат MID/MIF), ArcInfo (формат SHP).

В состав программы входит электронный вариант «Каталога шумовых характеристик технологического оборудования (к СНиП II-12-77)».

Программа "Расчет уровня внешнего шума систем вентиляции":

Программа предназначена для расчета уровней шума, создаваемых приточно-вытяжными системами с механическим принуждением в соответствии с СНиП II-12-77 (часть II) и «Руководством по расчету и проектированию шумоглушения вентиляционных установок» в восьми октавных полосах, с учётом всех составляющих воздуховода (прямые участки, повороты, разветвления, пересечения, изменения сечения).

Программа содержит большое количество современных справочных данных по характеристикам вентиляторов и шумоглушителей (при необходимости справочники могут пополняться и корректироваться пользователем). Помимо своего основного назначения, программа также позволяет решать задачу расчета оптимального сечения воздуховода и ориентировочной оценки шумового воздействия на заданном расстоянии от выхода вентиляционной системы. Результаты расчета автоматически передаются в программу «Эколог-Шум» для использования их в расчете шумового воздействия наряду с другими источниками шума, а также оформляются в виде отдельного отчета.

Программный модуль "Расчет шума от транспортных потоков"

Модуль «Расчет шума от транспортных потоков» предназначен для расчетов шумовых характеристик транспортных потоков с целью дальнейшего их использования в программе «Эколог-Шум» и учитывает следующие виды транспорта:

– легковые и грузовые автомобили
– трамваи
– железнодорожные поезда.

Расчеты производятся в соответствии с научно-техническим отчетом ЛенморНИИпроект «Разработка методик и проведение расчетов оптимизации архитектурно-планировочных и конструктивных решений жилых зданий по комплексу акустических и колебательных воздействий». Исходными данными для модуля являются интенсивности и скорости движения каждого вида транспорта, а результатом расчетов шумовые характеристики линейного участка транспортного потока. В методике реализована возможность одновременного расчета нескольких однотипных отрезков транспортного потока.

Программный модуль «Расчет проникающего шума»

Модуль предназначен для расчета шума, проникающего в помещение с территории (рассчитываются эквивалентные и максимальные уровни звукового давления в октавных полосах, а также уровень звука La).

В программе реализован учет «фонового» шума, а также нормирование как проникающего, так и внешнего шума. Расчеты производятся в соответствии с п. 7.8 СНиП 23-03-2003. Предусмотрены следующие варианты расчета:

– в общем виде (в соответствии с формулами 13, 14 и 2 – 4). Программа позволяет учитывать изолирующую конструкцию любой сложности, а также характеристики ограждающих и звукопоглощающих конструкций помещения.
– для помещений площадью до 25 кв. м (в соответствии с формулой 17).

Результаты расчета могут быть использованы при проектировании СЗЗ предприятия, разработке раздела «Защита от шума» проекта, а также для решения других задач. Модуль используется совместно с программой «Эколог-Шум».

Познакомиться с программным комплексом для акустических расчетов в действии можно обратившись в Фирму «Интеграл», integral.ru.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что при всей мощи и эффективности современных программных средств в области экологии они остаются не более чем инструментом в руках человека, и качество (в самом широком смысле) результата их работы зависит прежде всего от его квалификации и понимания сути выполняемых действий. Какой бы совершенной и «умной» ни была программа, в руках непрофессионала она бесполезна.

Аннотация

В докладе сделан конспективный обзор современного программного обеспечения по оценке распространения шума от промышленных предприятий и транспорта с точки зрения решаемых задач, особенностей применения и взаимодействия между программными модулями.

ВИБРАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Дуля А.А.
ЗАО НИПИ ТРТИ, Санкт-Петербург, Российская Федерация
dylia@ipr.ru

Введение

Научно-технический прогресс, широкое внедрение в промышленность новых интенсивных технологий, активное расширение транспортной сети и городской инфраструктуры, рост мощности и быстроходности оборудования, широкое использование многочисленных и быстроходных средств наземного, воздушного и водного транспорта – сегодня все это кроме очевидных плюсов имеет и обратную сторону – повышенное воздействие на человека вибрации. Этот фактор крайне негативно сказывается на здоровье, нарушая нормальное функционирование человеческого организма, его функциональное и физиологическое состояние, что приводит к утомляемости, потере работоспособности и, что гораздо серьезнее, заболеваниям внутренних органов. Также повышенный уровень вибрации является одним из факторов, напрямую определяющим комфортность среды обитания человека. Таким образом, борьба с вибрацией, наряду с защитой от шума и инфразвука, является одним из актуальных аспектов защиты человека от неблагоприятного воздействия окружающей среды.

1. Влияние вибрации на человека

Вибрация – это механические колебания в машинах, механизмах и конструкциях. С точки зрения передачи на людей вибрация подразделяется на общую, проходящую на тело стоящего или сидящего человека, и локальную, передающуюся через руки. Вибрация, воздействующая на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов, может быть отнесена к локальной вибрации. Пути передачи вибрации, виды и источники вибрации представлены на рис. 1 и в таблице 1.

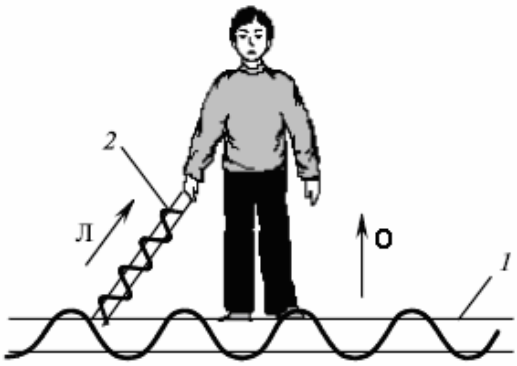


Рис. 1. Передача общей (О) и локальной (Л) вибрации на человека:
1 — колеблющаяся поверхность; *2* — виброинструмент.

Степень воздействия вибрации на человека зависит от ее спектрального состава, продолжительности, направления, места приложения и источника возникновения. Вибрация оказывает влияние на функциональное состояние человека (повышается утомляемость, увеличивается время двигательной и зрительной реакций, нарушается деятельность вестибулярного аппарата), и на физиологическое (нарушается сердечнососудистая деятельность и работа опорно-двигательного аппарата, а также поражаются мышечные ткани и суставы). В результате вибрационного воздействия снижаются производительность труда и качество работы. Так, например, тракторист сбавляет скорость передвижения по взрыхленной почве, если отсутствует эффективное подрессоривание рабочего места. Локальные вибрации могут привести к профессиональному заболеванию — вибрационной болезни (поражение, например, нервных окончаний и тканей в месте контакта с вибрирующей поверхностью).

Особенностью действия вибрации на человека является возможность резонанса на собственных частотах отдельных частей организма. Приведем собственные частоты некоторых отдельных частей тела человека: для ног и рук 2 – 8 Гц, головы 8 – 27 Гц, позвоночника 12 – 15 Гц. Вибрации с частотами до 1 Гц вызывают укачивание, 1 – 10 Гц — затруднение дыхания, 10 – 100 Гц — ухудшение сердечнососудистой деятельности.

Общая вибрация, при прочих равных условиях, более вредна, чем локальная, а вертикальная опаснее горизонтальной. Эти особенности учитываются в отечественных нормах, изложенных в государственном стандарте ГОСТ 12.1.012–90 и санитарных нормах СН 2.2.4/2.1.8.566–96.

2. Нормирование вибрации

Для гигиенической оценки постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, должны используются следующие методы:

– частотный (спектральный) анализ нормируемого параметра;
– интегральная оценка по частоте нормируемого параметра;
– интегральная оценка с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра.

Нормируемыми параметрами вибрации являются значения виброскорости и виброускорения либо их логарифмические уровни в октавных или третьоктавных полосах частот. Устанавливается нормируемый диапазон частот: для локальной вибрации — в октавных полосах от 8 до 1000 Гц; для общей вибрации – в октавных (от 1 до 63 Гц) или третьоктавных (от 0,8 до 80 Гц) полосах частот.

На практике уровни вибрации обычно оцениваются уровнями виброускорений. Поскольку вибрация передается через конструкции, то нормирование осуществляется только для помещений. В таблице 1 приведено сравнение предельно допустимых уровней вибрации для различных видов помещений.

Таблица 1

Предельно допустимые уровни вибрации в различных помещениях

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	**Предельно допустимые уровни виброускорений, дБ**			
	Производственные помещения	**Административно-управленческие и общественные помещения**	**Жилые помещения**	**Палаты больниц и санаториев, помещения школ, учебных заведений, читальных залов библиотек**
2	-	80	72	69
4	-	81	73	70
8	123	83	75	72
16	123	59	81	78
31,5	129	95	87	84
63	135	101	93	90
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	**126**	**80**	**72**	**69**

Более жесткие нормы в жилых помещениях и палатах больниц обусловлены необходимостью обеспечить в них условия для комфортного пребывания и отдыха.

В дневное время в помещениях допустимо превышение нормативных уровней на 5 дБ. Для непостоянной вибрации применяется поправка -10 дБ.

На практике, при измерении уровней вибрации от транспортных потоков на селитебной территории вводится поправка -10 дБ, так как вибрация в данном случае практически всегда непостоянная – существуют определенные временные промежутки между прохождением поездов или грузового автотранспорта. Таким образом, предельно допустимые параметры вибрации на территории жилой застройки принимают следующий вид (таблица 2).

Таблица 2

Предельно допустимые параметры вибрации в жилых помещениях с учетом поправок

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Виброускорение, дБ		Виброскорость, дБ	
	День	**Ночь**	**День**	**Ночь**
2	67	62	71	66
4	68	63	66	61
8	70	65	62	57
16	76	71	62	57
31,5	82	77	62	57
63	88	83	62	57
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	67	62	62	57

Для палат больниц и санаториев, административно-управленческих и общественных зданий и помещений производится аналогичный пересчет нормативных уровней вибрации.

Соблюдение вышеуказанных норм защищает человека от вредного влияния вибраций дома, в общественных местах и на работе.

3. Источники вибрации

Основные источники вибрации приводятся в таблице 3.

Таблица 3

Виды вибрации по источнику возникновения

Вид вибрации	Источник возникновения	Место воздействия
Локальная	Ручной механизированный инструмент	Рабочие места
	Ручной немеханизированный инструмент	Рабочие места
Общая (транспортная)	Тракторы, с/х. машины, грузовые и легковые автомобили, рельсовый транспорт	Рабочие места самоходных и прицепных машин при движении по пересеченной местности
Общая (транспортно-технологическая)	Экскаваторы, краны, путевые машины и т.п.	Рабочие места машин, передвигающихся по подготовленным поверхностям
Общая (технологическая)	Станки, промышленное оборудование, вентиляторы, насосы и т.п.	Рабочие места стационарных машин, административные, жилые и общественные помещения

Основным источником вибрации на селитебной территории являются автомобильные дороги, железнодорожные магистрали, и, в некоторых случаях, линии метро неглубокого заложения. При интенсивном движении по этим магистралям акустический комфорт на прилегающей территории может существенно ухудшаться. Вибрации, передаваемые через грунт на конструкции зданий, воспринимаются как неприятные низкочастотные колебания, ухудшающие самочувствие людей, или как беспокоящий шум (гул). На рис. 2 приведены примеры спектров вибрации различных транспортных потоков.

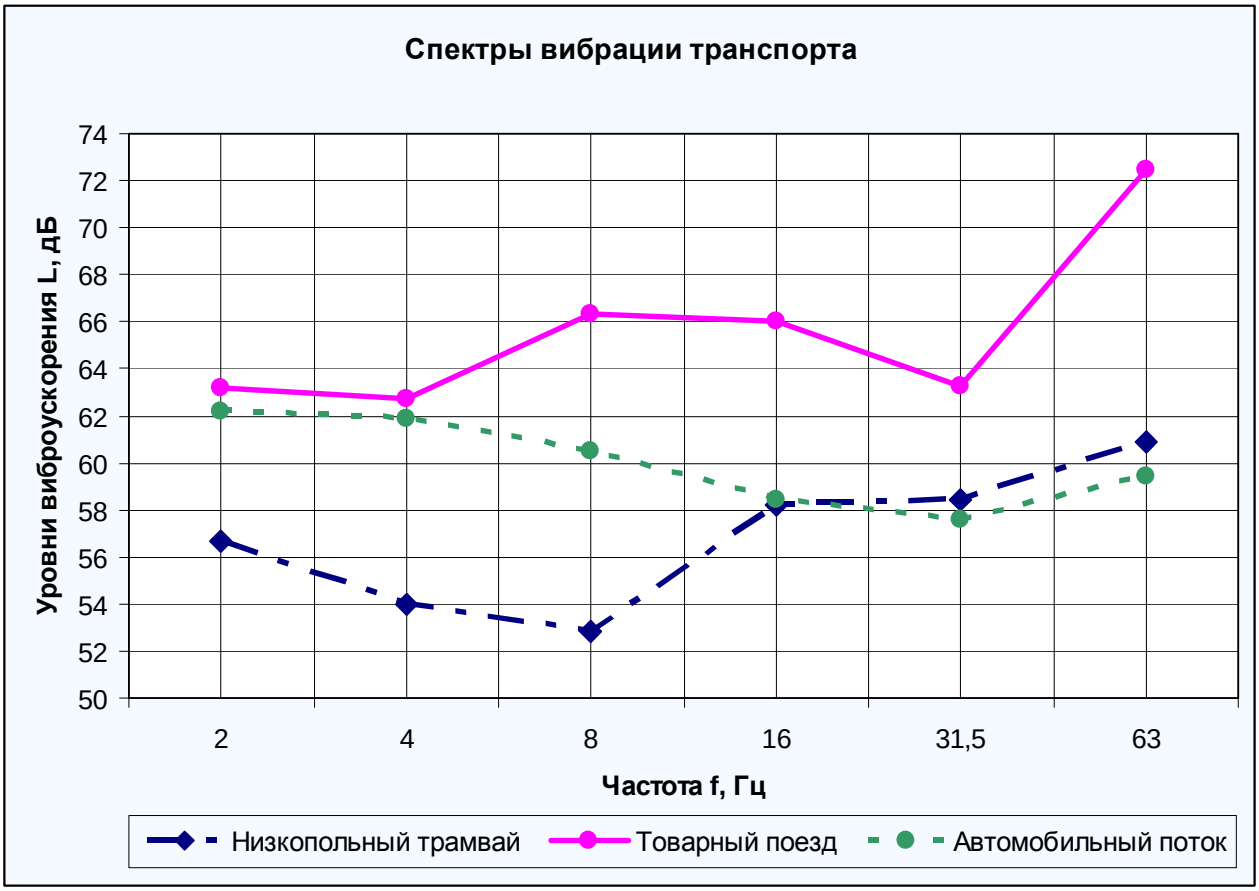


Рис. 2. Спектры вибрации транспорта

На вышеприведенном рисунке видно, что максимальные уровни вибрации дают железнодорожные составы (пиковые значения лежат в области высоких частот (63 Гц)), далее идут автомобильные потоки (максимальные значения расположены в низкочастотном диапазоне (2 – 4 Гц)), и наименьшие уровни вибрации возникают от низкопольного трамвая (максимум лежит в высокочастотной области (31,5 – 63 Гц)). Преобладающие октавные полосы в спектрах вибрации рельсового транспорта лежат в области средних и высоких частот, в спектре же автомобильного транспорта преобладают октавные полосы низкочастотного диапазона. Различия связаны с механизмом воздействия транспортной системы на подстилающую поверхность (рельсы + грунт либо дорожное покрытие).

Стоит заметить, что в настоящее время отсутствует методика прогнозирования уровня вибрации от транспортного потока определенной величины. В связи с этим, с целью оценки перспективного воздействия вибрации на состояние прилегающей к объекту территории используют метод существующего объекта-аналога, где состав потока и интенсивность движения максимально соответствуют показателям по прогнозируемому объекту. Поэтому разработка методики по оценке перспективных уровней вибрации от проектируемых объектов транспортной инфраструктуры является весьма актуальной.

4. Распространение вибрации в окружающей среде

Затухание вибрации на пути ее распространения обусловлено тремя основными механизмами:

– расширением фронта распространяющейся от источника вибрационной волны в пространстве;
– внутренними потерями в грунте;
– упругим волновым сопротивлением среды.

Методика по определению затухания уровней вибрации представлена в учебнике Иванова Н. И. «Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом», М. 2007 г. В соответствии с указанной методикой результирующее затухание вибрации от источника до расчетной точки можно представить следующим образом:

$$A_{затухания} = A_{геом.} + A_{потерь} + A_{сопр.},$$

где $A_{геом.}$ – затухание при увеличении фронта волны,

$A_{потерь.}$ – затухание, обусловленное внутренними потерями,

$A_{сопр.}$ – затухание, вызванное наличием импеданса грунта.

Потери на расширение фронта волны ($A_{геом.}$) зависят от геометрических характеристик источника (линейный, точечный) и расстояния от источника до РТ:

$$A_{геом.} = 10\lg\left(\frac{R}{r_0}\right),$$

где R - расстояние от трассы до РТ, r_0 - базовое расстояние (таблица 4).

Таблица 4

Базовые расстояния для расчета $A_{геом.}$

Вид источника вибрации	Базовое расстояние, м
Автомобильные потоки	7,5
Трамвайные пути	7,5
Железнодорожные пути	25

Внутренние потери в грунте (η) вызывают затухание вибрации по мере увеличения расстояния:

$$A_{потерь} = 4{,}34\frac{\omega * \eta * R}{c},$$

где ω – круговая частота (ω = 2πf); η - коэффициент потерь; с – скорость распространения волны в грунте. Некоторые значения с, η, ρ (плотность грунта) приведены в таблице 5. Чем менее плотный грунт, тем быстрее снижается в нем вибрация.

Таблица 5

Распространение волн в грунтах

Вид грунта	**Плотность грунта ρ, г/см^3**	**Скорость распространения продольной волны с, м/с**	**Коэффициент потерь η**
Скальный грунт	2,65	3500	0,01
Песок	1,6	600	0,1
Глина	1,7	1500	0,2

Затухание в грунте, обусловленное импедансом среды, находится по формуле:

$$A_{сопр} = 20\lg\left[\frac{1}{2}\left(1+\frac{\rho_1 * c_1}{\rho_2 * c_2}\right)\right],$$

где ρ и с соответствуют таблице 5.

На основании натурных исследований установлено, что допустимые значения вибрации в зданиях обеспечиваются при расстояниях от проезжей части, приведенных в таблице 6.

Таблица 6

Расстояния до автомагистралей, обеспечивающие выполнение норм по вибрации

Здания	**Жилые**		**Гостиницы**			**Административные**	
Категория	**А**	**Б и В**	**А**	**Б**	**В**	**А**	**Б и В**
Расстояние от проезжей части, м	30	20	30	20	15	15	<15

Вибрация от трамваев определяется типом трамвая, состоянием рельсов, типом основания пути. Наиболее критическим является частотный диапазон в пределах октавных полос 16-63 Гц. Допустимые значения вибрации в зданиях обеспечиваются при расстояниях от ближайшего пути, приведенных в таблице 7.

Таблица 7

Расстояния до трамвайных путей, обеспечивающие выполнение норм по вибрации

Здания	**Жилые**		**Гостиницы**			**Административные**	
Категория	**А**	**Б и В**	**А**	**Б**	**В**	**А**	**Б и В**
Расстояние от ближайшего пути, м	40	30	40	30	25	20	15

Вибрация от железнодорожных поездов определяется типом поезда, состоянием рельсов. Так на расстоянии 50 м от железной дороги корректированные уровни виброускорения достигали 90-92 дБ при проходе грузовых поездов, 85-88 дБ при проходе пассажирских и 80-84 дБ при проходе пригородных электропоездов.

Рекомендуемые ВСН 2-85 расстояния от железнодорожных линий до жилых зданий (при новом строительстве) 200 м для железных дорог 1-й и 2-й категории и 150 м для 3-й и 4-й категории полностью обеспечивают выполнение норм по МГСН 2.04-97.

Сократить указанные расстояния и обеспечить соблюдение предельно допустимых уровней вибрации можно при помощи виброзащитных мероприятий.

5. Методы защиты от вибрации

Современная инженерная акустика накопила солидный арсенал средств и методов защиты от вибрации. Несмотря на многообразие защитных средств, существует определенная классификация в зависимости от назначения, принципа действия, используемых материалов и т.п.

По отношению к защищаемому объекту различаются:

– средства индивидуальной защиты;
– средства коллективной защиты.

Индивидуальные средства защиты от вибрации в основном применяются для уменьшения воздействия локальной вибрации. К ним, в частности, относятся виброзащитные рукавицы с мягкой поролоновой прокладкой и виброзащитная обувь, снижающая общую вибрацию при работе человека на вибрирующей поверхности в стоячем положении. С целью профилактики вибрационной болезни персонала, работающего с вибрирующим оборудованием, необходимо строго соблюдать режимы труда и отдыха, чередуя при этом рабочие операции, связанные с воздействием вибрации, и без нее.

Коллективные средства защиты от вибрации включают в себя различные виброизоляторы, демпферы, вибродемпфирующие покрытия (рис. 3). Также для уменьшения вибрации непосредственно в источнике ее возникновения существует ряд мероприятий, таких как оптимизация режимов работы,

балансировка вращающихся механизмов, замена (при возможности) динамических технологических процессов на более благоприятные статические, виброгашение, путем установки оборудования на массивное основание и т.п.

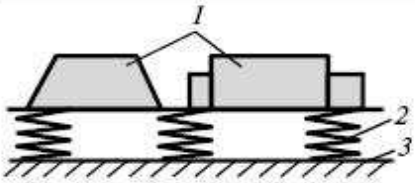
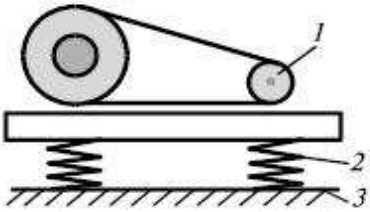
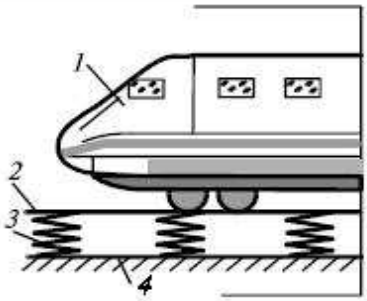
Объект виброизоляции	Схема виброизоляции	Обозначение на схеме
Турбины		*1* — виброизолируемые объекты; *2* — виброизоляторы; *3* — фундамент
Вращающееся оборудование		*1* — виброизолируемые объекты; *2* — виброизоляторы; *3* — фундамент
Железно-дорожный путь		*1* — подвижной состав; *2* — виброизоляторы; *3* — рельсы; *4* — ж.-д. полотно
Операторы транспортных систем		*1* — сиденье виброзащитное; *2* — пружины; *3* — пол

Рис. 3. Примеры виброизолирующих систем

Отдельно необходимо рассмотреть вибрацию от средств автомобильного транспорта. Движение автомобиля по дороге сопровождается процессом возбуждения вибрации, который воздействует через механическую систему на человека, пользующегося автомобилем, и через дорожную конструкцию на здания и сооружения, находящиеся в зоне воздействия. Интенсивность вибрации, передающейся зданиям и сооружениям в придорожной зоне, зависит от количества тяжелых грузовых автомобилей, их скорости, ровности дорожного покрытия, конструкции дорожной одежды, типа подстилающего грунта.

Интенсивность вибрации характеризуется ускорением. Частота вибрации от транспортных нагрузок составляет 10 - 40 Гц. Распространение вибрации зависит в том числе и от характеристик грунта. Так, к примеру, в высокопористых водонасыщенных грунтах интенсивность и дальность распространения вибрации в 2 - 4 раза выше, чем в песчаных или плотных скальных (обломочных) грунтах. При наличии в дорожной одежде слоев из зернистых несвязных материалов ускорение вибрации снижается в 1,5 - 2 раза.

В случаях превышения величины вибрационного ускорения уровня, допустимого для данного объекта, применяются виброзащитные экраны. Виброзащитные экраны представляют собой траншеи шириной 0,5 - 1,0 м глубиной 3 - 5 м (но не менее глубины заложения фундамента сооружения), заполненные зернистым (щебень, гравий) материалом или материалом с существенно отличающейся от грунта плотностью (шлак, аглопорит и т.п.). Защитные экраны устраивают по возможности ближе к проезжей части дороги. При правильном назначении параметров защитных экранов они могут уменьшить ускорение вибрации в 5 - 10 раз.

Уровни вибрации в здании снижаются также за счет фундамента. Так, применение в новых зданиях ленточного фундамента вместо свайного помогает обеспечить снижение уровней вибрации дополнительно на 5 - 7 дБ.

Заключение

Сегодня вопросам защиты селитебной территории от вредных физических факторов уделяется достаточно внимания. Рассматривая фактор вибрации можно сказать, что любые транспортные магистрали, являясь источником повышенной вибрации, будут оказывать негативное воздействие на прилегающую территорию, и, как следствие, на человека. Соответственно, возникает необходимость защитить население от подобных воздействий и обеспечить необходимый комфорт среды обитания. Существует ряд мероприятий, направленных на снижение уровней вибрации при наличии превышений над нормативными значениями, которые достаточно часто используются при реконструкции объектов транспортной инфраструктуры. Однако, стоит заметить, что в настоящее время отсутствует методика прогнозирования уровня вибрации от транспортного потока определенной величины. В связи с этим, с целью оценки перспективного воздействия вибрации на состояние прилегающей к объекту территории используют метод существующего объекта-аналога, где состав потока и интенсивность движения максимально соответствуют показателям по прогнозируемому объекту. Существующая методика оценки снижения вибрации на пути ее распространения учитывает довольно ограниченное число факторов. Поэтому разработка методики по оценке перспективных уровней вибрации от проектируемых объектов транспортной инфраструктуры является весьма актуальной.

Литература

1. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
2. ГОСТ 12.1.012–90. Вибрационная безопасность. Общие требования.
3. Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом, М. 2007 г.
4. МГСН 2.04-97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях.
5. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов, М. 1995 г

К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИАЭРОДРОМНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Сухорукова И.А.
Voronezh state Architectural Building University
kapustina07@yandex.ru

Существуют различные подходы к проблеме улучшения акустического состояния приаэродромных территорий. В нашей методике при наличии барьера эффект земного ослабления звука не учитывается. Результаты нашего экспериментального исследования по фактическому снижению шума за экраном при взлете и посадке представлены на диаграммах (рисунки 1, 2).

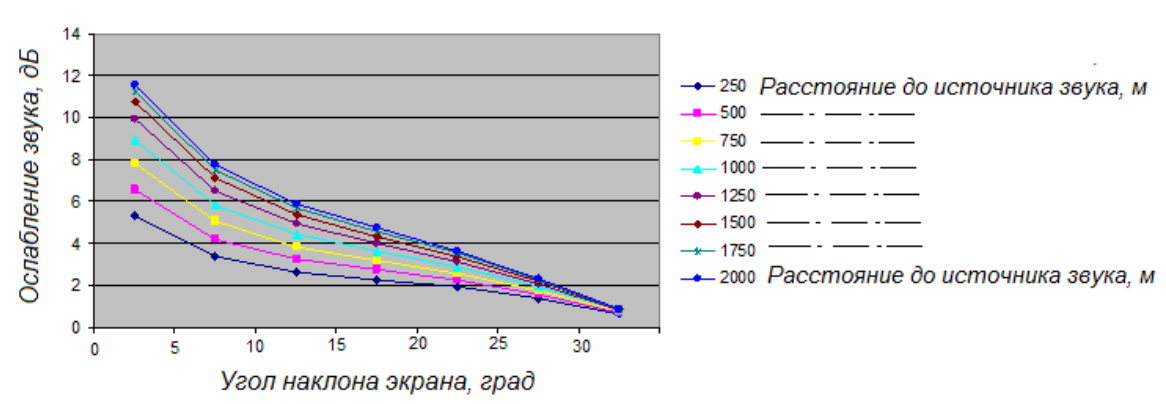


Рисунок 1. Фактическое снижение шума за экраном при взлете

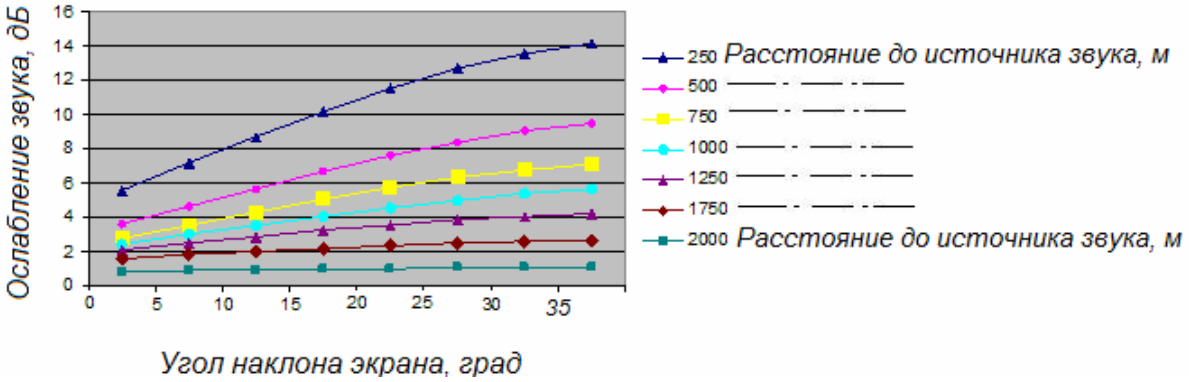


Рисунок 2. Фактическое снижение шума за экраном при посадке

Как следует из рисунков 1, 2 фактическое снижение шума за экраном заметно снижается с увеличением расстояния от экрана. В то же время, наибольшее снижение шума связано с углом распространения шума за экраном. Максимальное снижение шума наблюдается при перпендикулярном распространении его от источника звука к экрану. Изучение снижения шума

проводилось на расстояниях в пределах от 250 до 2000 м под углами от 0 до 30^0. Чем дальше источник звука расположен от экрана, тем ослабление шума менее заметно, чем на расстоянии 250 м от экрана.

Данные результаты хорошо описываются выражениями:

$$y_{взл} = (1{,}60423 - 0{,}064287\times\alpha + 0{,}00614182\times S + 0{,}0365965\times\alpha^2 - 0{,}000098126\times\alpha\times S - 0{,}00000143195\times S^2 - 0{,}000773234\times\alpha^3 - 00000242282\times\alpha^2\times S + 0{,}000000379567\times\alpha\times S^2)^3,$$

где $y_{взл}$ – ослабление звука при помощи экрана, при взлете самолета, дБА;
α – угол падения звукового луча на экран, градусы,
S – расстояние до экрана, м.

$$y_{пос} = (1{,}58812 - 0{,}0614087\times\alpha + 0{,}007272\times S + 0{,}00378819\times\alpha^2 - 0{,}000171074\times\alpha\times S - 0{,}00000152957\times S^2 - 0{,}000825454\times\alpha^3 - 0{,}000000168977\times\alpha^2\times S + 0{,}0000000470899\times\times\alpha\times S^2)^3,$$

где $y_{пос}$ – ослабление звука при помощи экрана, при посадке самолета, дБА;
α – угол падения звукового луча на экран, градусы;
S – расстояние до экрана, м.

Основными материалами, используемыми для звукопоглощающей облицовки экранов, являются минеральная вата, базальтовое и т.п. волокно, технический войлок. Могут применяться также пористая керамика, газопористый бетон (пенобетон), металлическая окалина, шлаки, деревянная стружка, фибролит и др. Звукопоглощающие экраны бывают двух типов.

Экраны первого типа выполняются по классической схеме. У экранов первого типа к основной несущей конструкции, например стальному листу, прикрепляется звукопоглощающий слой из минеральной ваты или иного волокнисто – пористого материала толщиной не менее 50 мм, обернутого в тонкую (20-100 мкм) политетрафторатную пленку или в стеклоткань. Со стороны, обращенной к аэродрому, поглощающий слой покрывается защитными перфорированными листами из алюминия, пластмассы или других материалов. Такая конструкция обладает высоким коэффициентом звукопоглощения (до 0,7-0,8) в области средних и высоких частот. Для улучшения звукопоглощения на низких частотах слой звукопоглощающего материала следует располагать не вплотную к несущему листу, а на некотором расстоянии от него [1].

В работе применен экран, который снаружи защищен перфорированным профилированным металлическим листом. Конструкция крепится стальной трубой, вмонтированной в бетонный цоколь. Вся конструкция находится на фундаменте и двутавре (рисунок 3).

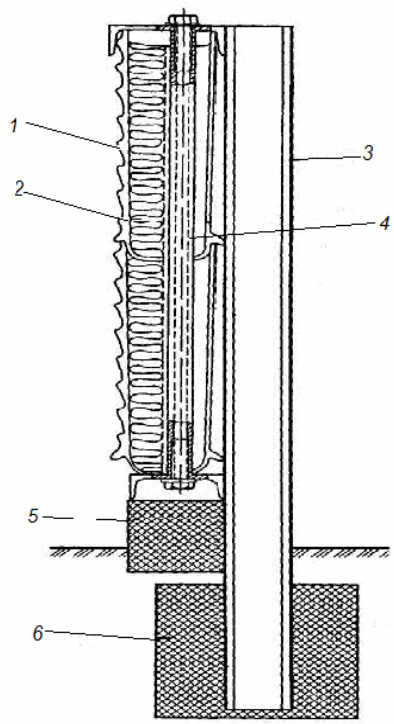


Рисунок 3. Схема панели металлического экрана-стенки
со звукопоглощающей облицовкой
1 – перфорированный профилированный металлический лист; 2 – минеральная вата; 3 – двутавр; 4 стальная труба; 5 – бетонный цоколь; 6 – фундамент

Существует второй тип звукопоглощающих экранов – экраны из цементных блоков из обожженной глины с внутренними полостями, открытыми со стороны аэродромов (аэропортов). Эти полости играют роль резонаторов Гельмгольца и обеспечивают достаточно большое поглощение шума, но лишь в узкой полосе частот вблизи их резонансной частоты. Для некоторого расширения поглощаемых частотных составляющих шума следует изготавливать блоки с пустотами различного размера [1].

Применение данного экрана эффективно на расстоянии не более 2000 м до источника звука. Вследствие этого необходимы дополнительные мероприятия для снижения уровня звука, например использование многорядных полос зеленых насаждений.

Шумозащитные свойства присущи специальной полосе зеленых насаждений, состоящей из одного – двух рядов кустарников плотной посадки и одного – двух рядов деревьев с сомкнутыми кронами при плотности листвы более 0,8. Такой плотности можно добиться с помощью двухъярусной полосы деревьев посадкой их в «шахматном» порядке. Конструкции шумозащитной полосы представлены на рисунке 4.

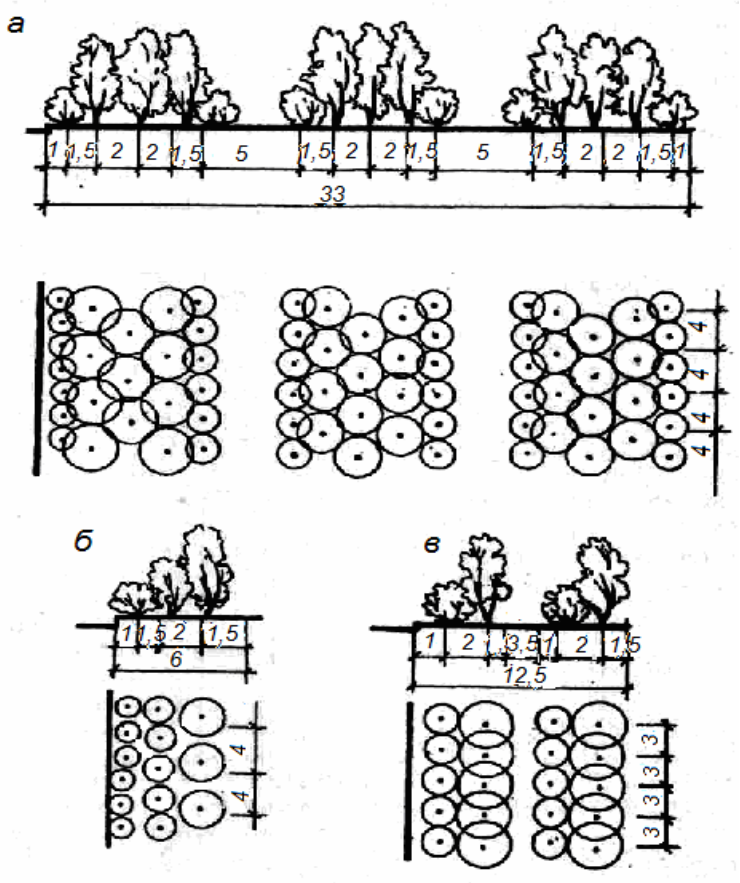


Рисунок 4. Варианты шумозащитных полос озеленения
с эффективностью, дБА:
а – 10 – 16 дБА; б – 2,4 – 2,8 дБА; в – 3,3 – 4 дБА.

Эффект снижения шума за полосами зеленых насаждений прежде всего зависит от спектрального состава шума, от конструкции, возраста, плотности и дендрологического состава посадок. Для шумозащитных целей применяют как специальные чередующиеся «зеленые стены», эффективность которых, в основном, зависит от способностей отражения звука, так и крупные массивы зеленых насаждений, эффективность которых определяется рассеиванием и поглощением звука [3].

Наибольшего эффекта многорядные конструкции достигают при общей ширине до 25 м. Посадку древесно-кустарниковых полос следует производить по следующей схеме размещения для полосы зеленых насаждений шириной 25 м:

I ряд – низкий кустарник;
II ряд – высокий кустарник;
III ряд – основные древесные породы;
IV ряд – основные древесные породы;
V ряд – основные древесные породы;
VI ряд – высокий кустарник.

Значительно улучшаются шумозащитные качества полос зеленых насаждений, если перед ними со стороны источника звука расположить экранирующий барьер. При этом за экраном почти полностью исключается нежелательное отражение звука в подкроновом коридоре.

Таким образом, в предлагаемой методике проведения шумозащитных мероприятий приаэродромных территорий экспериментально установлено снижение шума путем экранирования и использования древесно-теневого метода. Экран из мелкопористого материала, покрытый профилированным металлическим листом, позволяет улучшить экологическое состояние приаэродромных территорий вплоть до 2000 м при двух режимах движения самолетов (взлете и посадке). По результатам исследований предложено математическое описание данного процесса. Эффект улучшения акустической обстановки подробно рассмотрен при размещении шумозащитных полос вокруг приаэродромных территорий.

Литература

1. Архитектурная физика: Учеб. Для вузов: Спец. «Архитектура» / В.К. Лицкевич, Л.И. Макриненко и др.; Под ред. Н.В. Оболенского. – М. «Архитектура – С» 2007. – 448 с.
2. Г.Л. Осипов, Б.Г. Прутков, И.А. Шишкин. Градостроительные меры борьбы с шумом. М., Стройиздат, 1975 – 215 с
3. Шум города. Оценка и регулирование шумового режима селитебных территорий: Учебное пособие/ Н.П. Заборщикова, С.В. Пестрякова. – М.: Изд. АСВ; СПб.; СПб ГАСУ, 2004.- 12с.

ШУМ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК, МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕГО СНИЖЕНИЮ И НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Кац И.Г.[1], Веретина И.А.[2], Калашникова Н.К.[3], Руднева Е.А.[3], Гончаренко И.А.[4]
1ООО СанЭпидТест (1)
Территориальное Управление Роспотребнадзора (2)
ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» (3)
ГУП «НИ и ПИ Генплана Москвы» (4)
elena-rudneva@mail.ru

Развитие промышленности, применение современных технологи-ческих процессов и бурное развитие жилого сектора предопределили высокие темпы прироста потребления электрической и тепловой энергии. В настоящее время, постоянно растущее энергопотребление приблизилось к максимальному уровню возможностей систем по производству электроэнергии и неуклонно продолжает расти, что нередко приводит к перегрузкам в высоковольтных распределительных сетях и на отдельных трансформаторных подстанциях.

В связи с этим возникает необходимость в дополнительных источниках электроэнергии, в качестве которых широкое применение находят газотурбинные установки (ГТУ) мощностью от единиц до нескольких сотен мегаватт.

ГТУ позволяют в современных условиях заменить существующую централизованную систему электропитания на усовершенствованную децентрализованную. Кроме того, ГТУ позволяют решать задачи в области теплоснабжения за счёт использования тепла, которое вырабатывается в процессе производства электрической энергии.

Строительство новых источников генерации предполагается в пределах территории (или с небольшими её прирезками) существующих районных тепловых станций (РТС), газораспределительных станций (ГРС), крупных и средних существующих промышленных предприятий. Для электроснабжения вновь застраиваемых микрорайонов, не имеющих возможности присоединения к существующим источникам, предполагается строительство новых теплоэлектростанций на базе ГТУ, обеспечивающих и тепло, и электроснабжение.

Размещение энергетических объектов в стесненных городских условиях, в первую очередь, связано с повышенным шумовым воздействием газотурбинных электростанций на прилегающий район.

Основными источниками шума электростанций с использованием газотурбинного оборудования являются: воздухозаборные устройства; система защиты от антиоблединения (антиобледенители); охлаждающие устройства масла, воды, тосола, обслуживающие турбины, генераторы и компрессоры (устанавливаемые открыто на крышах корпусов); принудительные системы охлаждения газовых турбин и дожимных компрессоров; генерирующие

установки и их вспомогательное оборудование, шум от которых излучается через ограждающие конструкции зданий, в которых они располагаются; дожимные компрессора или контейнеры компрессоров в случае их установки на открытом воздухе; системы вентиляции помещений котлов-утилизаторов, силовых трансформаторов; дымовые трубы котлов-утилизаторов.

Без внедрения комплекса шумозащитных мероприятий радиус зоны неблагоприятного шумового воздействия от работы таких энергетических объектов может превышать 1,5км, что недопустимо в условиях города и других селитебных территорий.

В проектах вновь возводимых ГТУ-ТЭЦ и ПГУ-ТЭС, а также реконструируемых РТС с установкой газотурбинного оборудования должен предусматриваться следующий основной комплекс мероприятий по снижению неблагоприятного шумового воздействия на прилегающие к станции территории:

- здания газотурбинных установок выполняются из звукоизолирующих материалов с повышенной звукоизолирующей способностью;
- установка двухступенчатых пластинчатых глушителей шума в воздухозаборных устройствах газовых турбин (поставляются фирмами-изготовителями вместе с ГТУ);
- звукоизоляция антиобледенителей, устанавливаемых на комплексных воздухоочистительных устройствах (КВОУ);
- установка пластинчатых глушителей шума между котлами-утилизаторами и дымовыми трубами (поставляются заводами-изготовителями вместе с котлом);
- установка двойного остекления оконных проемов главных корпусов станций со стеклами толщиной не менее 4мм;
- корпуса газотурбинных установок заключаются в звукоизолирующие кожухи, которые поставляются вместе с газотурбинной установкой;
- корпуса котлов-утилизаторов покрываются тепло-звукоизоляцией;
- установка глушителей шума в системах приточно-вытяжной вентиляции;
- облицовка шумопоглощающими конструкциями стен и потолков помещений, в которых устанавливаются дожимные компрессора;
- в случае установки дожимных компрессоров на открытом воздухе дожимные компрессоры должны поставляться фирмами-изготовителями в шумозащитных контейнерах, обеспечивающих требуемое снижение уровней шума в прилегающих жилых районах;
- при установке силовых трансформаторов мощностью более 40 МВт в изолированных камерах открытые проёмы (жалюзийные решётки) оборудуются глушителями, либо экранирующими козырьками;
- установка газотурбинных установок на специальные виброфундаменты, которые разрабатываются и поставляются фирмами-изготовителями;

– оптимальная ориентация источников направленного излучения шума (например, воздухозаборных решёток) с целью минимального шумового воздействия на селитебную территорию (при этом необходимо учитывать наличие и направленность отражённого звука);
– охлаждающие устройства масла, воды, тосола и т.д., располагаемые открыто на крышах корпусов машинного зала, дожимных компрессорных станций, либо на других открытых площадках оборудуются звукоизолирующими конструкциями (кожухами, экранами, глушителями).

Необходимый и достаточный комплекс мероприятий по снижению шума, а также его акустическая эффективность, определяются на стадии проектирования расчетным методом с использованием официальных данных заводов-изготовителей о шумовых характеристиках основного и вспомогательного оборудования, сведений о конструкциях и акустической эффективности мероприятий по шумоподавлению, а также с учетом месторасположения вновь возводимого или реконструируемого энергетического объекта и сведений о существующем положении и перспективе развития прилегающей территории.

Размеры зоны шумового воздействия для рассматриваемых станций с комплексом шумозащитных мероприятий не должны превышать расстояния от границы предприятия до ближайшей жилой застройки с нормативными уровнями шума, соответствующими ночному времени суток с учетом поправки – 5 дБ (изолиния 40 дБА).

Рассматриваются три энергетические станции, имеющие в своём составе ГТУ (ГПУ). Эти станции располагаются в г. Москве и Московской обл.:
– проектная Когенерационная Газотурбинная Электростанция мощностью 40 МВт (КГТЭС-40), строительство которой уже началось в Тушино;
– строящаяся и частично находящаяся в процессе эксплуатации ГПЭС с проектной мощностью 30 МВт в с. Мякинино;
– действующая ГТЭС-12 мощностью 12 МВт, расположенная на территории РТС «Пенягино».

Газотурбинная станция в Тушино

Станция располагается на территории существующего промышлен-ного предприятия и предназначается для обеспечения данного предпри-ятия электроэнергией и, совместно с существующей котельной, будет снабжать теплом и горячей водой предприятие и жилой микрорайон.

Расстояние от ближайшей жилой застройки до территории предприятия 50м, - до машинного зала КГТЭС-40 – 246м.

КГТЭС-40 состоит из 2-х ГТУ по 20 МВт каждая с полными комплектами оборудования и двумя дожимными компрессорными станциями. Обе ГТУ располагаются в изолированном корпусе.

Каждая КГТЭС имеет в своём составе ГТУ с электрогенератором, комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ), котёл-утилизатор с вытяжной трубой. КВОУ и вытяжные трубы рассоложены на крыше корпуса. Там же, на крыше корпуса располагаются масло- и водоохлади-тели и вентиляционные агрегаты. Дожимные компрессорные станции располагаются в двух звукоизолирующих контейнерах.

Проектом КГТЭС-40 предусматриваются следующие мероприятия по снижению шума:

- ограждающие конструкции машинного зала газотурбинных установок выполняются из профильных трёхслойных панелей типа «сендвич» с высокой звукоизолирующей способностью;
- между КВОУ и воздухозаборными устройствами газовых турбин устанавливаются пластинчатые глушители шума длиной 2м;
- при работе ГТУ в зимний период в интервале температур от – 5 до + 5оС на входной решётке КВОУ образуются наледи, попадание кусочков льда на лопасти турбины, вращающейся с большой скоростью, может привести к разрушению установки. Для снижения риска взрыва турбины применяется система подогрева наружного воздуха. Подогрев осущест-вляется горячим воздухом, подаваемым с выхода ГТУ по трубопроводам на воздухозаборное устройство через 4-5мм отверстия. Выход горячего воздуха под большим давлением через 4-5мм отверстия сопровождается широкополосным шумом с высоким уровнем. Для снижения шума от работы антиобледенителей, устанавливаемых перед решёткой КВОУ, входные проёмы последних закрываются звукоизолирующими экранами-козырьками;
- между котлами-утилизаторами и дымовыми трубами устанавливаются пластинчатые глушители шума длиной 2м;
- окна машинного зала выполняются с двойным остеклением из стекол толщиной 4мм с уплотняющими резиновыми прокладками;
- корпуса газотурбинных установок заключаются в звукоизолирующие кожуха, оборудованные принудительным охлаждением, на входном и вы-ходном каналах системы охлаждения предусмотрены пластинчатые глуши-тели длиной 1м;
- корпуса котлов-утилизаторов покрываются тепло-звукоизоляцией;
- системы вентиляции, обеспечивающие необходимые условия работы оборудования, размещаемого в помещениях главного корпуса при полном ограничении открывания окон, оборудуются глушителями шума для обеспечения требуемых норм, как на прилегающей территории, так и внутри помещений станции;
- контейнеры дожимных компрессоров, выполняются из профильных трёхслойных панелей типа «сандвич» с высокой звукоизолирующей способностью. На выхлопные и приточные воздуховоды вентсистем, излучающих шум на прилегающую территорию, устанавливаются трубчатые глушители шума длиной 1м;

– газотурбинные установки монтируются на специальных виброфундаментах, разработанных фирмами-изготовителями;
– воздухозаборные решётки приточных систем вентиляции, выхлопные воздуховоды вытяжных систем ориентированы в сторону, противоположную от жилой застройки;
– охлаждающие устройства масла, воды, тосола, располагаемые открыто на крышах корпусов машинного зала, контейнерах дожимных компрессорных станций закрываются звукоизолирующими экранами. Конфигурация, размеры и расположение экранов выбраны с учётом расположения источников шума и расположения жилых домов.

Необходимость и достаточность данных мероприятий определялась акустическими расчётами.

Газопоршневая станция в Мякинино

Вторая из рассматриваемых станций – строящаяся и частично находящаяся в процессе эксплуатации Газопоршневая электростанция (ГПЭС) с проектной мощностью 30 МВт в с. Мякинино Московской обл. Ближайшая жилая застройка расположена на расстоянии 380м от территории станции, на расстоянии 90м расположено здание Московского областного суда.

Станция спроектирована австрийской фирмой «Enbacher».

Согласно проекту электростанция включает в себя 10 газопоршне-вых генераторов (ГПУ) GE Enbacher (Австрия) мод.620 по 3МВт каждый.

На момент измерений были смонтированы четыре установки, из ко-торых две запущены в эксплуатацию. Установки размещаются в звукоизо-лированном помещении машинного зала (50x30x11h м). 10 вытяжных труб диаметром 600мм и высотой 65м объединены в одну конструкцию и смонтированы на территории станции. На выхлопе поршневых двигателей между байпасной и вытяжными трубами установлен глушитель, разра-ботанный фирмой «Enbacher», эффективность которого составляет 65 дБ. Длина глушителя 7м, диаметр 2м. Глушитель расположен в помещении машинного зала.

ГПУ работают на газе с нормальным сетевым давлением, т.е. без применения дожимных компрессорных станций. Воздух для работы газо-поршневых двигателей забирается из помещения машинного зала. Подача воздуха в машинный зал производится приточными установками с пластинчатыми глушителями шума. Антиобледнительные установки отсутст-вуют.

На крыше машинного зала расположены охладители для газовоздушной смеси, подаваемой для работы поршневых двигателей, и охладители для возвратной горячей воды от потребителей. Охладители включаются, когда возвратная вода имеет температуру $\geq 70^{o}$ С.

На станции оборудовано звукоизолированное помещение пультовой.

Замеры шума проводились при работе двух установок в машинном зале, в помещении пультовой, на крыше машинного зала и на территории станции у стены машинного зала со стороны приточных решёток вентсистем. Результаты замеров приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты замеров уровней шума

№ пп	Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Помещение пультовой, работают 2 ГПГ	73	69	69	67	60	57	53	47	35	63
Машинный зал, работают 2 ГПГ											
2	Машинный зал, работают 2 ГПГ, середина зала	86	89	93	92	93	92	89	87	78	96
3	В торце машины у двигателя	90	91	95	93	93	92	90	90	82	97
4	В торце машины у генератора	87	87	99	97	95	96	92	89	79	100
На крыше машинного зала											
5	у охладителей воды, r=3 м	107	103	98	90	80	79	77	72	64	87
6	у охладителей газовоздушной смеси, r=10 м	76	68	67	67	60	57	52	44	36	63
На улице											
7	На улице у восточной стены машинного зала, работают 2 ГПГ и приточные системы, r=15 м	80	75	66	60	56	55	52	46	36	60
8	На улице у восточной стены машинного зала, работают 2 ГПГ и приточные системы, r=15 м	80	76	67	61	57	55	53	47	37	61
9	На улице у восточной стены машинного зала, работают 2 ГПГ и приточные системы, r=15 м	80	76	68	62	57	56	53	47	37	61
10	На улице у стены машинного зала, работают 2 ГПГ и приточные системы, r=6 м, до приточной решётки r=8 м	80	78	73	69	62	60	58	53	41	66

Газотурбинная станция в Пенягино

Станция располагается на территории РТС «Пенягино». Расстояние от ближайшей жилой застройки до территории ГТЭС– 380м.

Здание главного корпуса ГТЭС каркасной конструкции. Элементы каркаса выполнены из стальных конструкций, а ограждающие конструк-ции - из шумопоглощающих панелей с металлической обшивкой и трудно-горючим утеплителем (панели «Венталл»).

В машинном зале ГТЭС (30х20х12h м) установлены две газо-турбинные установки ГТА-6РМ производства НПО «Сатурн» г. Рыбинск с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии.

В комплект установки ГТА-6РМ входят: газотурбинный агрегат ГТД-6РМ; турбогенератор типа ТК-6-РУЗ мощность 6МВт; водогрейный котёл утилизатор КУВ-12.

Воздух, необходимый для работы ГТУ, поступает через комплексные воздухоочистительные устройства (КВОУ), в состав которого входят воздушный фильтр и двухступенчатый глушитель шума. На входе КВОУ установлены антиобледенительные устройства.

Отработанные газы после водогрейного котла-утилизатора поступают в дымовую трубу диаметром 2м и высотой 50м.

Газоснабжение ГТЭС производится по газопроводу высокого давления. Максимальный расход природного газа на ГТЭС-12 составляет 5646 $м^3$/час. Для повышения давления природного (топливного) газа перед камерами сгорания ГТД до 1,6 МПа установлены три дожимных компрессора типа М-2. Дожимная компрессорная станция выполнена на базе винтовых компрессоров (фирма «Grasso», производство Германия) в виде контейнерных блоков, установленных на открытой площадке.

Источниками шума при работе КГТС являются: КВОУ с антиобледенительными устройствами; газотурбинные агрегаты, турбоге-нераторы, водогрейные котлы утилизаторы, шум от которых излучается через ограждающие конструкции машинного зала; вентустановки систем охлаждения ГТУ и электрогенераторов, расположенные открыто на крыше машинного зала; контейнеры дожимных компрессорных станций с расположенными на них вентиляционными системами охлаждения; вытяжные трубы для удаления отработанных газов от работы ГТУ.

ГТЭС-12 была построена в 2006 году. Одной из самых серьезных проблем, возникших при пуске станции, явилось нарушение шумового комфорта для жителей ближайших жилых домов. Замеры, проведенные в жилых квартирах и на прилегающей к жилым домам территории, показали превышения уровней шума более чем, на 20 дБ. Кроме того, значительные превышения уровней шума были отмечены также в помещении пультовой, где обслуживающий персонал должен находиться постоянно.

Замеры на территории станции позволили выявить основные источники, шум от работы которых является превалирующим. К ним в первую очередь относятся КВОУ с антиобледенителями. Причём сами КВОУ, шум которых создаётся работой газовых турбин и снижается пластинчатыми глушителями, излучают шум на прилегающую территорию по уровню значительно ниже, чем шум антиобледенителей.

Установленные на крыше машинного зала вентиляторы охлаждения контейнеров газовых турбин и электрических генераторов также добавляют шум, излучаемый на прилегающую территорию. Однако, из-за шума близко расположенных антиобледенителей оценить шум систем охлаждения натурными замерами достаточно полно не представилось возможным.

Контейнеры дожимных компрессорных станций (3 ед.) с расположенными на них вентсистемами охлаждения установлены на земле рядом с машинным залом. Источники шума компрессорных станций имеют относительно невысокие уровни шума. Высоты источников шума компрессорных станций 2 – 5м, с восточной стороны они экранируются корпусом машинного зала, высота которого составляет 13м.

В качестве дополнительных мероприятий по снижению шума ГТЭС-12 были применены следующие:

- антиобледенительные устройства закрыты звукоизолирующими козырьками-экранами. Звукоизолирующие экраны-козырьки, установлен-ные на КВОУ с антиобледенительными устройствами, приведены на фото (рис.1.);
- агрегаты центробежных вентиляторов, установленных на крыше машинного зала, закрыты звукоизолирующими кожухами, а на выхлопные воздуховоды установлены трубчатые глушители;
- агрегаты центробежных вентиляторов, установленных на контейне-рах дожимных компрессорных станций, закрыты звукоизолирующими ко-жухами, а на выхлопные воздуховоды установлены трубчатые глушители;
- контейнеры дожимных компрессорных станций (3 ед.), с расположен-ными на них вентиляционными системами охлаждения, установленные на земле рядом с машинным залом, выгорожены со стороны жилой застройки плоским экраном высотой 7м и длиной 8м. Одной стороной экран примыкает под прямым углом к стене машинного зала;
- усиление звукоизоляции ограждающих конструкций пультовой, облицовка звукопоглощающими материалами потолка и стен помещения.

Результаты измерений уровней шума приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты замеров уровней шума

№ пп	Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На крыше машинного зала											
1	Воздухозаборная шахта турбины без подачи подогретого воздуха (антиобледенители не работают).	85	94	85	79	78	78	78	80	72	85
2	Воздухозаборная шахта турбины с подачей подогретого воздуха. Юго-западная сторона	86	91	88	88	92	99	108	121	116	123
3	Воздухозаборная шахта турбины с подачей подогретого воздуха. Юго-восточная сторона	81	90	96	102	98	98	98	104	101	108
4	КВОУ работает, подогрев ЗЗО работает. До мероприятий. r= 5м (у края середины крыши)	81	86	83	89	84	83	90	96	96	100
5	В-2 крышной вентилятор r= 1м, Воздухозаборные шахты турбин с подачей подогретого воздуха работают (r= 5м).	79	86	86	89	90	85	84	90	88	95
6	Дожимная компрессорная станция	74	74	77	80	85	85	87	90	95	97
7	В помещении дожимной компрессорной,	73	79	86	91	91	91	93	96	101	103
8	В проеме ворот машинного зала ГТЭС. Юго-западная сторона	80	82	83	79	82	83	82	81	77	88
9	На улице со стороны жилого дома, против ворот машинного зала, ворота закрыты, r= 20м	72	74	61	59	59	62	66	69	67	73
10	Работает подогрев ЗЗО работает. До мероприятий. r= 5м (у края середины крыши)	79	80	82	87	88	85	87	92	92	98

Таблица 2 (продолжение)

№ пп	Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
11	На улице со стороны дожимной компрессорной, r = 5м, после мероприятий	70	71	69	72	70	71	67	68	65	76
У жилых домов до мероприятий по снижению шума											
12	Допустимые уровни звукового давления (ДУЗД) для территории, непосредственно прилегающей к жилым домам, ночное время с поправкой (-5 дБ)	78	62	52	44	39	35	32	30	28	40
13	ТИ1 – у жилого дома № 7, кор.1, по Волоцкому пер. Расстояние до ГТУ – 400 м, подогрев ЗЗО не работает. Фон	64	58	50	45	46	45	41	37	34	49
14	ТИ1 – у жилого дома № 7, кор.1, по Волоцкому пер. Расстояние до ГТУ-400 м, подогрев ЗЗО работает	74	65	56	50	49	48	46	42	29	53
15	ТИ1 – у жилого дома № 7, кор.1, по Волоцкому пер. Расстояние до ГТУ-400 м, подогрев ЗЗО работает. С учетом фона	74	64	55	48	46	45	44	40	28	51
16	Превышения ДУЗД для ночного времени	-	2	4	4	7	10	12	10	-	11
17	ПДУ шума для территории, непосредственно прилегающей к жилым домам, дневное время с поправкой (-5 дБ)	85	70	61	54	49	45	42	40	30	50
18	Превышения ДУЗД для дневного времени	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1

Таблица 2 (продолжение)

№ пп	Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
19	ТИ2 - в квартире жилого дома № 12, кор.1, по ул. Генерала Белова, 11 этаж. Расстояние до ГТУ-400 м, подогрев ЗЗО не работает, фон. Фрамуга полуприкрыта	43	47	43	42	42	42	36	27	24	43
20	ТИ2 - в квартире жилого дома № 12, кор.1, по ул. Генерала Белова, 11 этаж. Расстояние до ГТУ-400 м, подогрев ЗЗО работает. Фрамуга полуприкрыта.	45	49	49	49	45	44	42	37	27	49
21	ТИ2 - в квартире жилого дома № 12, кор.1, по ул. Генерала Белова, 11 этаж. Расстояние до ГТУ-400 м, подогрев ЗЗО работает. Фрамуга полуприкрыта. С учётом фона	41	45	48	48	42	40	41	37	24	48
22	Допустимые уровни звукового давления (ДУЗД) для жилых комнат квартир, ночное время с поправкой (-5 дБ)	67	50	39	30	24	20	17	15	13	25
23	Превышения ДУЗД	-	-	9	18	19	20	24	22	11	23
24	Допустимые уровни звукового давления (ДУЗД) для жилых квартир, дневное время с поправкой (-5 дБ)	74	58	47	40	34	30	27	25	23	35
25	Превышения ДУЗД для дневного времени	-	-	1	8	9	10	14	12	1	13

Таблица 2 (продолжение)

№ пп	Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
У жилых домов после мероприятий по снижению шума											
26	ТИ1 - у жилого дома № 7, кор.1, по Волоцкому пер. Расстояние до ТЭС- 400 м, подогрев ЗЗО работает. После мероприятий	71	64	56	48	43	46	42	31	17	48
27	ТИ1 - у жилого дома № 7, кор.1, по Волоцкому пер. Расстояние до ТЭС- 400 м, подогрев ЗЗО не работает. После мероприятий. Фон	58	56	47	40	43	44	42	33	17	47
28	ТИ1 - у жилого дома № 7, кор.1, по Волоцкому пер. Расстояние до ТЭС- 400 м, подогрев ЗЗО работает. После мероприятий. С учетом фона	71	64	55	47	-	42	-	31	-	42
29	Превышения ДУЗД для ночного времени	-	2	3	3	-	5	-	1	-	2
30	Превышения ДУЗД для дневного времени	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	Эффективность мероприятий	3	-	-	1	-	5	-	9	-	9
32	ТИ2 - в квартире жилого дома № 12, кор.1, по ул. Генерала Белова, 11 этаж. Расстояние до ТЭС- 400 м, подогрев ЗЗО не работает. Фрамуга полуприкрыта. (После мероприятий) Фон	41	46	46	43	40	39	30	22	19	43
33	ТИ2 - в квартире жилого дома № 12, кор.1, по ул. Генерала Белова, 11 этаж. Расстояние до ТЭС- 400 м, подогрев ЗЗО работает. Фрамуга полуприкрыта. (После мероприятий)	44	47	46	38	43	42	35	28	24	45

Таблица 2 (продолжение)

№ пп	Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
34	ТИ2 - в квартире жилого дома № 12, кор.1, по ул. Генерала Белова, 11 этаж. Расстояние до ТЭС-400 м, подогрев ЗЗО не работает. Фрамуга полуприкрыта. (После мероприятий) С учётом фона	41	40	-	-	40	39	33	27	22	42
35	Превышения ДУЗД для дневного времени	-	-	-	-	6	9	6	2	-	7
36	Эффективность мероприятий	-	5	-	-	2	1	7	10	2	6

Из приведенных для рассмотрения энергетических установок можно сделать следующие выводы:

– все мощные энергетические установки являются источниками шума с повышенными уровнями ;
– при сравнении рассмотренных газопоршневых (ГПУ) и газотурбинных (ГТУ) установок можно заметить, что первые, с акустической точ-ки зрения, являются менее шумными. Причиной является отсутствие у них антиобледенительных устройств;
– из всех источников шума ГТУ антиобледенительные устройства создают самый высокий по уровню и широкий по частотному спектру аэродинамический шум, особенно в высокочастотной его части. Следует учесть факт нестабильной работы антиобледенительных устройств, уро-вень шума которых может изменяться 100-103 дБА до 120-123 дБА, что может сказаться на эффективности мероприятий.
– для снижения шума всех источников шума ГТУ, кроме антиобледенительных устройств, (КВОУ, вентиляционные системы и агрегаты, охладительные устройства и т.д.) применимы традиционные мероприятия: глушители, кожухи, звукоизолирующие экраны и проч.). Для снижения шума антиобледенительных устройств используются звукоизолирующие экраны-козырьки, эффективность которых в рассмотренном случае недостаточна при высокой стоимости исполнения.

Полученный опыт проектирования, строительства и эксплуатации газотурбинных электростанций еще раз подтверждает тот факт, что данные объекты являются источниками негативного воздействия на среду обита-ния и здоровье человека. Заводами-изготовителями должны быть разрабо-таны и внедрены

эффективные мероприятия по снижению шума от обору-дования газотурбинных установок, позволяющие обеспечить выполнение санитарно-гигиенических требований в окружающей застройке. Обяза-тельным условием современного проектирования должно являться внед-рение передовых технологических решений, позволяющих максимально предотвратить или снизить воздействие физических факторов до гигиенических нормативов и ниже.

Рис. 1. На крыше машинного зала ГТЭС-12. КВОУ с антиобледенительными устройствами закрыты звукоизолирующими экранами-козырьками

ОШИБКИ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА С ИСТОЧНИКАМИ ШУМА

Калашникова Н.К[1]., РудневаЕ.А.[2], Клименкова О.И.[3], Гончаренко И.А.[4], Понофедин И.А.[5]
ФГУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве" (1)
ФГУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии по г. Москве" (2)
ООО ПБ "Центр экологических инициатив" (3)
ГУП "НИ и ПИ Генплана.Москвы" (4)
ТУ Роспотребнадзора по СВАО в г. Москве (5)
o.klimenkova@ceieco.ru

При проведении экспертизы по шумовому и вибрационному фактору проектных материалов строительства и реконструкции объектов выявлены ошибки, которые повторяются у исполнителей разделов «Защита от шума и вибрации».

Для объектов с авто- и железнодорожным транспортом

1. Не учитывается опорный радиус при оценке шумового воздействия на проектируемую территорию. Не учитывается, что приведенные в справочных материалах шумовые характеристики магистралей оценены на расстоянии 7,5 м от крайней полосы движения для автотраспорта и 25м для железнодорожного (ж/д) транспорта.
2. Не предоставляются справки ГУП «НИиПИ Генплана г. Москвы» о перспективной застройке около проектируемой или реконструируемой трассы и не представляются справки о перспективных потоках для рассматриваемой территории. Таким образом, не учитываются жилые здания, которые попадут в зону шумового воздействия магистрали, и не предусматриваются мероприятия по защите перспективной застройки от шума.
3. Используются различные методики расчета эквивалентного уровня звука автомобильного транспорта. При анализе методик /1/, стр.16 и /2/, приложение 15 шумовая характеристика автотранспортных потоков различается на 1-3 дБА в зависимости от процентного отношения грузового и общественного транспорта в потоке.
4. Не учитывается отраженный звук от зданий при распространении звука для таких источников шума, как автомобильный и железнодорожный транспорты. Практически при расчёте числового вклада отраженного звука можно использовать следующие величины /4/ :

– 3 дБА при одной отражающей плоскости;

– 4 дБА для Г- образной застройки;
– 5,5 дБА для П - образной застройки;
– 7 дБА для замкнутого пространства без кровли («колодец»).

Для объектов с воздушным транспортом

1. Проводится проектирование на перспективу жилых территорий в действующих на сегодняшний момент в зонах акустического дискомфорта от аэропортов - зона «Г», где строительство запрещено.
2. Нет действенного контроля за соблюдением установленных ограничений для аэропортов. Контроль, проведение натурных замеров являются важным направлением повышения эффективности внедряемых мероприятий по снижению шума.

Общие ошибки при проектировании объектов транспорта

1. При расчёте эффективности шума экраном расчетную точку берут на высоте 1,5 м от земли и на расстоянии 1 м по другую сторону экрана. Таким образом, экран эффективно защищает территорию и нижние этажи дома, расположенные за экраном. Говорить об эффективной защите средних и тем более верхних этажей многоэтажных домов нельзя.
2. При расчете экранов расчет шума приводится как для конечного (точечного) источника, хотя расчёт необходимо проводить для протяженного источника. Для разных видов источников будут различные расчётные формулы и различная эффективность снижения шума экраном.
3. При проектировании автозаправочных станций, гаражей и т.п. объектов нормирование уровней проникающего шума проводится для дневного времени, хотя они работают круглосуточно. Следует при расчётах шума автотранспорта указанных объектов учитывать движение автотранспорта перед въездом на объект или остановку машины с включенным двигателем. Например, при расчёте движения машин на снегоплавильные пункты проектировщики «забывают» учесть стоянку в очереди машин с включенными двигателями на ближайших к пункту на улице. Именно стоящие под окнами машины вызывают многочисленные обоснованные жалобы жителей.
4. Многие начинающие специалисты принимают требуемое снижение шума окном за числовой показатель превышения допустимых уровней шума в жилом помещении в режиме проветривания. Ошибка составляет 10 дБА.
5. В расчётах не учитывается, что принятое в справочной литературе R_A транспорта для окна не будет равным R_A для авиационного и железнодорожного шумов.

6. Не всегда рассчитывается зона шумового воздействия от одиночного автотранспорта, автомагистрали, ж/д магистрали. Не представляют графического изображения на плане территории границ санитарного разрыва вдоль автодорог, ж/д путей.
7. В акустических решениях даются рекомендации по снижению шума, которые по разным причинам являются заведомо невыполнимыми на практике. Например, была в проекте реконструкции Ленинградского проспекта рекомендация: остеклить все фасады домов, ориентированных на Ленинградский проспект.
8. Иногда даются рекомендации, которые не снижают шум, а наоборот, увеличивают его. Например, около МКАД был рекомендован и выпол-нен светопрозрачный экран с большими коэффициентами отражения. В результате жители многоэтажного дома в Москве обратились с жалобой, что в их квартирах шум усилился. Другой пример: устанавливается на систему вентиляции глушитель с сечением вдвое меньше необходимого живого сечения. Без переходника при уменьшенном сечении шум в глушителе увеличивается .
9. Иногда проектировщики используют ошибочные рекомендации, опубликованные в справочной литературе. Неверные рекомендации о проектировании вибрационных экранов даны в п.5.5 /1/ (стр. 5.5).
10. Рекомендуемый экран-траншея глубиной 3-5м не может быть эффективным для защиты от вибрации поездов ж/дороги, наземных поездов метрополитена, трамваев, так как этот транспорт создает низкочастотные вибрации в октавах со среднегеометрическими частотами 8 и 16 Гц. На частоте 16 Гц в приповерхностном слое грунта длина волны Релея , как правило, более 10 м, и, следовательно такие волны будут почти беспрепятственно огибать защитную траншею и проникать в здания.
11. Заказчики, приобретая участки вблизи открытых ж/д линий, зачастую не информированы, что в 100м зоне нельзя строить высотные жилые здания. Однако, при расположении ж/д путей в выемке и при разработке специальных шумозащитных мероприятий, обеспечивающих требования СН2.2.4/2.1.8.562-96, СН2.2.4/2.1.8.566-96, СНиП 23-03-2003, ширина санитарных разрывов может быть уменьшена, но не более чем на 50м /5/.

Перед началом проектирования нужно сделать на основании натурных измерений вибрации прогноз ожидаемых уровней вибрации в проектируемых помещениях, и в случае превышения допустимых уровней предусмотреть специальные меры по защите зданий от вибрации.

В пособиях для проектировщиков и строителей отсутствуют данные о частотах колебаний, вызываемого транспортом и в зависимости от грунта, и о размерах зоны распространения колебаний грунта. В таблице приведены эти справочные величины /6/:

Таблица 1

Вид	Доминирующие частоты, Гц	Размер зоны воздействия, м
Автомобильная магистраль	10-20	40-100
Железная дорога	10-30	150-300
Наземная линия метрополитена	30-60	40-120
Трамвайная линия	20-45	150-300

Примечание: В этой зоне уровни вибрации регистрируются приборами, но могут быть больше и меньше допустимых санитарными нормами уровней

В связи с изложенным, приходится требовать провести натурные измерения уровней вибрации в грунте и сделать прогнозную оценку уровней вибрации в здании при проектировании новых объектов транспорта вблизи жилой застройки.

При рассмотрении таких проектов необходимо учесть, что ввиду отсут-ствия утвержденной нормативной методики по расчёту уровней вибрации в здании, зная уровень вибрации на площадке строительства, получаем, что при одном и том же измеренном уровне вибрации на грунте различные специалисты по собственной методике прогнозируют уровни вибрации и структурного шума в проектируемых помещениях с различием в уровнях до 10 дБ.

Шум при строительстве объектов транспорта

1. Не дается оценка уровней шума в период строительства, проникающего в ближайший жилой дом. Нет рекомендаций по снижению шума в пе-риод строительства. Отсутствует требование о проведении шумных работ при строительстве объектов ночное время суток.
2. При расчёте шума машин (строительных механизмов, грузовых машин) в период строительства в оценке максимального уровня шума ошибочно принимается поправка на время длительности работы этих машин.

Ошибки при расчете шума от вентсистем

1. При расчёте санитарно-защитной зоны (СЗЗ) промобъектов (в том числе и объектов транспорта) часто заказчик дает неправомерную справку о том, что общеобменная вентиляция производственных помещений работает 1- 4 часа. Например, в проекте реконструкции одного объекта заказчик дал справку, что из-за экономии электроэнер-гии вентиляция будет отключаться в 22 часа. В связи с этим проект-ная организация нормировала проникающий в жилые помещения со-

седнего дома для дневному времени суток, при нормировании указанных промобъектов кроме того учитывалось снижение шума (постоянного) за счет процента времени работы оборудования от 8-часовой рабочей смены.

Был случай, когда одна очень солидная организация указала, что в цехе металлообработки вентиляция естетственная. Во всех случаях сделаны ошибки, так как вентиляция обслуживаемых помещений рассчитывается с учетом работы 100% времени в смену. Выключение вентиляции ради экономии электроэнергии является гру- бым нарушением норм по вентиляции помещений.

2. В импортных каталогах вентсистем приводится не шум на всасывании и выбросе вентагрегата, а шум у входе в блок–секцию после встроенного глушителя, после фильтров и прочих сужений, расширений и т.п. При расчётах выясняется, что уровень проникающего шума выше допустимого, и необходимо установить глушитель. В проекте написано, что на вентсистему надо установить глушитель такой-то длины, но не указывают, что это дополнительный к ранее уже установленному глушителю (согласно каталога секции).
3. Некоторые фирмы-изготовители представляют ошибочные шумовые характеристики глушителей вентиляционного шума. Например, две фирмы дали данные, в которых снижение шума пластинчатым глушителем с пластинами толщиной 110мм и расстоянием между пластинами 100мм составляло порядка 20дБ в октавной полосе с частотой 63Гц, …., 55дБ в октавной полосе с частотой 8000г. Длина глушителя составляла 0.5м.

   Другая иностранная фирма также рекламирует завышенные данные снижения шума своими глушителями. Например, по данным этой фир- мы глушители типа LDC 100-900 для круглых каналов воздуховодов дают снижения шума 48, 50 и 50дБ в октавных полосах со среднегео- метрическими частотами 1000, 2000 и 4000Гц соответственно.
4. В каталогах внешних блоков систем кондиционирования приведены уровни звука на расстояниях 3,5, 10 м, но об этом сообщают где-то в примечаниях, и, как правило, на другой странице

Литература

1. МГСН 2.04-97 Проектирование защиты от транспортного шума и вибра ции жилых и общественных зданий. М., 1999 г.
2. Руководство по разработке раздела "Охрана окружающей среды” в составе проектов планировки улично-дорожной сети". Москва, 2000 г.
3. Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика. М., Стройиздат, 1993.

4. А.С. Шмигель, Э.М. Лалаев, А.И. Шмигель, И.А.Веретина, Н.К. Калашникова, И.А.Гончаренко, В.В. Любельский. Отраженный звук в городской застройке. //Материалы научно-технического семинара в г. Севастополе «Обеспечение защиты от вредных факторов среды обитания человека в зданиях и на территории застроек». М., 2004
5. Характеристики источников вибрационного воздействия на геологическую среду. Изд-во Академии Наук, М., 1992
6. СНиП 2.07-01-89 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских послений. Госстрой, М., 1989.
7. 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.
8. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помеще- ниях жилых и общественных зданий. Минздрав России, Москва, 1997

АНАЛИЗ ШУМА ПЕЧАТНЫХ МАШИН

Токолов А.Н., Цукерников И.Е.
Московский государственный университет печати,
кафедра печатного и послепечатного оборудования,
ул. Прянишникова, 2а, Москва, 127550, Россия
tok_exe@rambler.ru

Используя данные по шуму, полученные для различных типов печатных машин сотрудниками ЗАО «НИИполиграфмаш» в течение нескольких лет, проанализируем набор печатных машин на предмет соответствия шума, создаваемого ими, санитарным нормам.

Согласно руководству Р 2.2.2006-005 [1], труд печатника по тяжести относится к категории «тяжелый труд 1 степени», по напряженности – к категории «средней степени напряженности». Соответствующие этому предельно допустимые уровни звука по СН 2.4/2.1.8.562 – 96 [2] на рабочих местах составляют 65 дБА.

Измерения проводили на машинах импортного и отечественного производства. Распределение испытанных машин по странам и фирмам-производителям приведено в табл.1:

Таблица 1

Ранжирование машин по странам и фирмам производителям

Страна – производитель	**Фирма – изготовитель**
Япония (8)	RISO Kadaki Corp., Duplo S. K., Hamada Printing Press, Tokyo Aircraft Instrument, Ryobi, Alpha Engineering inc., Hashimoto Machinery Corp., Komori
США (5)	Multiqraphics, Therm-o-Type, Efi VUTEk, MSK Sales service Ink., Sohn MFG
Германия (5)	Heidelberg, Morlock, Windmoller and Holscher, MAN Roland, Comco Proglide MSP press
Китай (4)	Ming Tai screen printing machinery, Hyplas machinery Co., Ever bright printing machinery, Kent Engtnering Ltd.
Италия (2)	Bielloni castello, Schiavi
Швеция (2)	Solna, Svecia Siebdructehnik
Бельгия (2)	Printing International, Xeikon N. V.
Россия (2)	АО «КПЦ Полиграфмаш», Флексопак
Турция (1)	Remak
Индия (1)	Raghbeer Machinen Private Ltd.
Украина (1)	НИИСВП
Канада (1)	Aquaflex Systems Inc.
Великобритания (1)	Rotoprint
Израиль (1)	Indigo
Общее количество стран: 14	Всего фирм-изготовителей: 36

Проанализируем шум машин с позиции типа печати. На рис.1 приведены результаты статистической обработки уровней звукового давления (УЗД) на рабочем месте машин для шести типов печати. Здесь и далее оценку распределения производили по критерию Стьюдента для доверительной вероятности p = 95%. При малом количестве данных (менее 3) вместо доверительного интервала использовали среднее арифметическое, наибольшее и наименьшее значения.

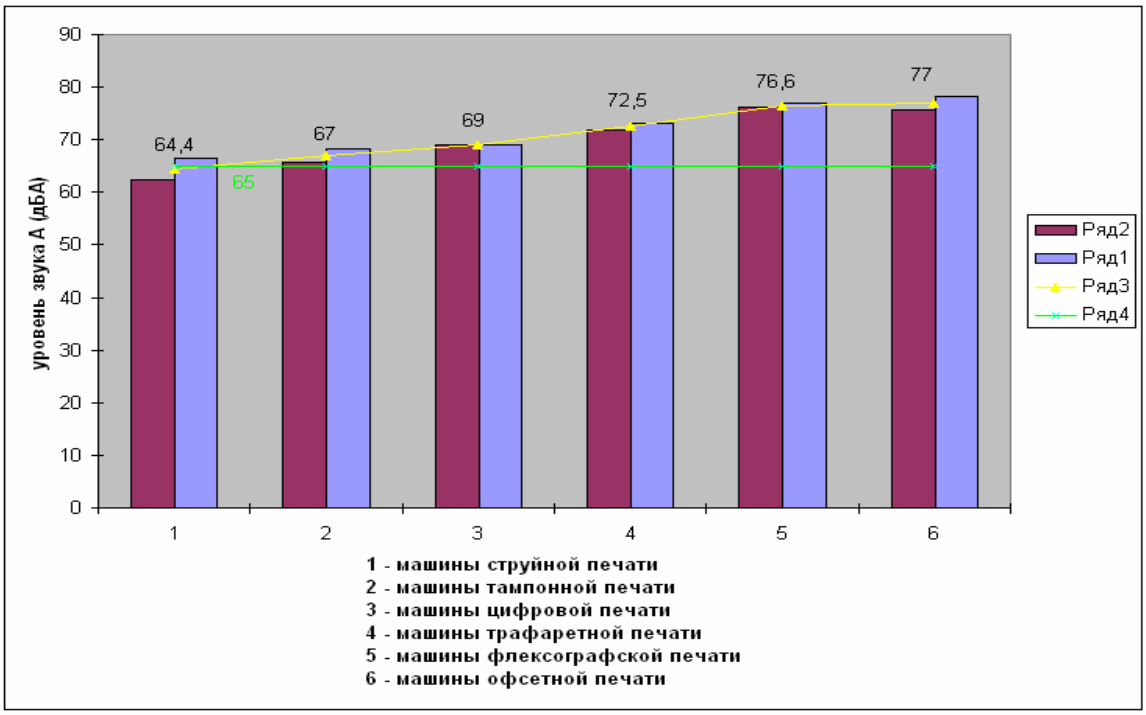


Рисунок 1. Распределение шума машин на рабочих местах в зависимости от типа печати

На рис. 1: ряд 2 соответствует нижней границе доверительного интервала уровня звука или эквивалентного уровня звука для данного типа печати, ряд 1 – верхней границе соответственно; ряд 3 – среднему арифметическому значению уровня звука; ряд 4 – норма согласно СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 [1].

Шум подавляющего большинства машин, осуществляющих печать различными способами, кроме струйного, превышает нормативное значение. При этом одними из самых шумных являются машины офсетной, флексографской и трафаретной печати.

Учитывая, что в настоящее время наиболее распространенным оборудованием являются машины офсетной печати (на их долю приходится 40% всей выпускаемой полиграфической продукции), выполним более детальные исследования офсетных печатных машин.

Имеем данные по шуму 34 офсетных печатных машин. Из них 17 – однокрасочных, 11 – двухкрасочных, одна четырехкрасочная, три – рулонные (4+4) и две цифровые 4-х красочные офсетные печатные машины планетарного построения.

Поскольку измерения выполняли в помещениях различных размеров с существенно отличающимися акустическими характеристиками (определенные во время испытаний значения эквивалентной площади звукопоглощения помещения отличались в 30 раз) в измеренных значениях уровней шума на рабочих местах различен вклад отраженного звука. Кроме того, сопоставительный анализ шума машин по уровням звуковой мощности (УЗМ) показателен только для машин с небольшим разбросом размеров, так как в значения этой шумовой характеристики существенный вклад дает площадь измерительной поверхности S (для рассматриваемых машин значения $10\lg S$ изменялись от 8,3 до 25 дБ). Поэтому для анализа и выявления источников повышенного шума использовали значения собственного шума, создаваемого машинами на окружающих их измерительных поверхностях, использованных при испытаниях. Для этого по значениям звуковой мощности для каждой машины определяли средние на измерительной поверхности уровни звука излучения L_{pAe} и уровни звукового давления излучения (УЗДИ) L_{pe} согласно ГОСТ 30720 [3] с помощью выражения:

$$L_{pe} = L_W - 10\lg\frac{S}{S_0}, \qquad (1)$$

где L_W – значение корректированного по А уровня звуковой мощности или уровня звуковой мощности в октавной полосе частот, дБ; S – площадь измерительной поверхности, выбранной для определения уровня звуковой мощности, м^2 (принимается по протоколам испытаний); S_0 = 1 м^2.

Рассчитанные уровни шума совместно с измеренными уровнями звукового давления на рабочих местах представлены на рис. 2.

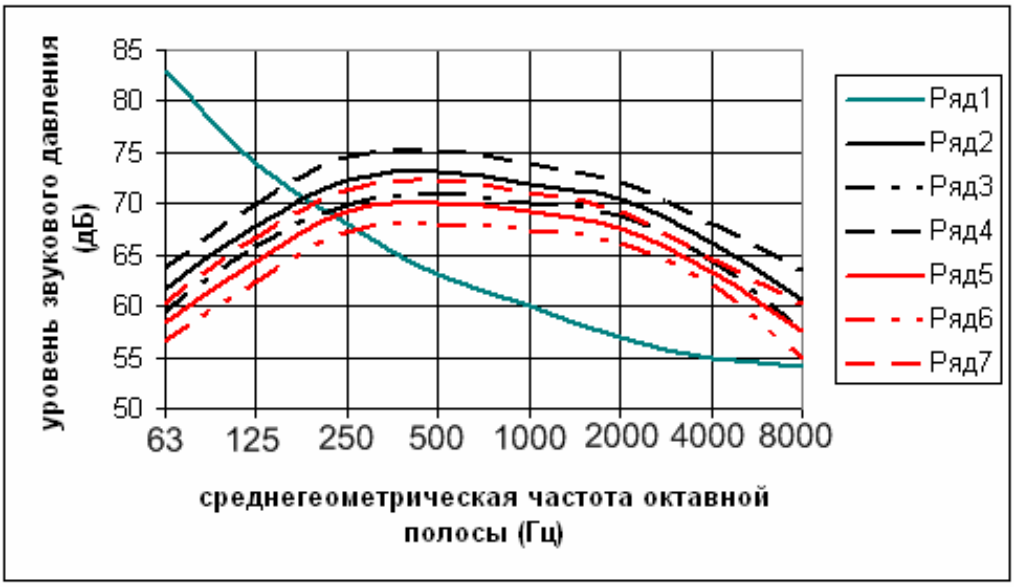


Рисунок 2. Уровни звукового давления и рассчитанные уровни звукового давления излучения офсетных печатных машин в сравнении с нормой

На рис. 2 ряд 1 – предельный спектр ПС-60 по СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96; ряд 2 и 5 – средние значения УЗД и УЗДИ; ряд 3 и 4 – нижняя и верхняя границы доверительного интервала для уровня звукового давления; ряд 6 и 7 – нижняя и верхняя границы доверительного интервала для рассчитанного уровня звукового давления излучения.

Средние на измерительной поверхности уровни собственного шума машин превышают предельно допустимые значения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами ($f_{сг}$) 250 – 8000 Гц с максимумом 11 дБ в полосе с $f_{сг}$ = 2000 Гц.

Ввиду схожести конструкции и комплектации (а также скорости работы при проведении измерений) всех представленных агрегатов, ранжирование по габаритам должно выявить зависимость между количеством печатных секций и шумом, создаваемым машиной, так как секционность в данном случае – единственный параметр, обуславливающий существенную разницу в количестве источников шума.

На рис. 3 представлены сравнительные диаграммы уровней звуковой мощности и звукового давления излучения соответственно для одно- и двухкрасочных офсетных печатных машин

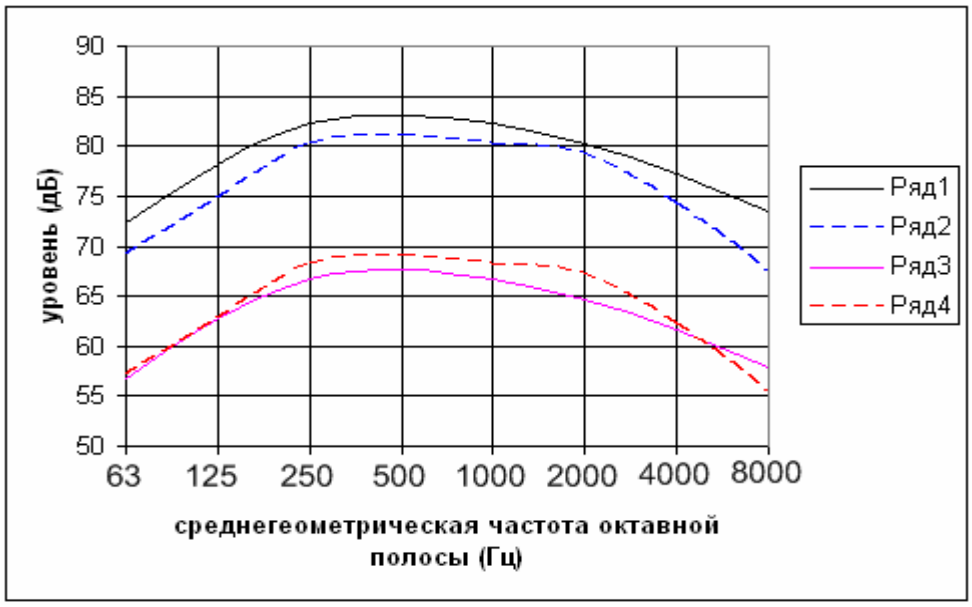


Рисунок 3. Сравнительная диаграмма УЗМ и УЗДИ одно- и двухкрасочных офсетных печатных машин

На рис. 3 ряды 1 и 3 – значения УЗМ и УЗДИ двухкрасочных машин, ряды 2 и 4 – значения УЗМ и УЗДИ однокрасочных машин.

Уровни звуковой мощности двухкрасочных машин превосходят уровни однокрасочных на 1 – 6 дБ на всем диапазоне частот, однако же при переходе к уровням звукового давления излучения, т.е. непосредственно к воспринимаемому шуму, картина меняется. УЗДИ однокрасочных машин

превосходят УЗДИ двухкрасочных на 1 – 3 дБ в октавных полосах с $f_{сг}$ = 250 – 4000 Гц. Это свидетельствует о том, что печатная секция не является основным источником шума в печатной машине.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– шум, создаваемый на рабочих местах печатными машинами превышает нормы по СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96;
– среди печатных машин офсетные – одни из самых шумных. Что в совокупности с их широким распространением в полиграфическом производстве обуславливает необходимость первоочередного решения задачи снижения создаваемого ими шума;
– печатная секция не является основным источником шума при работе печатной машины. Следовательно, следует акцентировать внимание на других узлах, входящих в состав машин: самонакладе, приемке.

Литература

1. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Руководство Р 2.2.2006-005. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2005.
2. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.
3. ГОСТ 30720-2001. (ИСО 11203:95). Шум машин. Определение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках по уровню звуковой мощности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ

Цаплев В.М.
Северо-Западный государственный заочный технический университет
valery@lek.ru

Метод исследования напряженного состояния твердых тел находит за последнее время все более широкое применение [1]. Ценность его состоит в том, что, изменяя термодинамическое состояние исследуемого вещества, можно получить дополнительную информацию о его физико-механических свойствах. Упругие модули и внутреннее трение твердых тел в подобных условиях до недавного времени не исследовались ввиду значительных экспериментальных трудностей [2]. По этой же причине упругие характеристики полимеров и резиноподобных материалов исследовались лишь в режиме «деформационного последействия», т. е. после снятия деформирующего напряжения [3]. Создание методики исследования упругих свойств полимеров при одновременном воздействии деформирующего напряжения необходимо. Подобные исследования имеют также и практический интерес, так как эти материалы используются в акустических экранах и звукопоглотителях.

Исследование упругих свойств и внутреннего трения «жестких» полимеров.

Описанную в [2] методику принципиально можно использовать для исследования полимеров, имеющих значение модуля Юнга не менее 10^{11} Па.

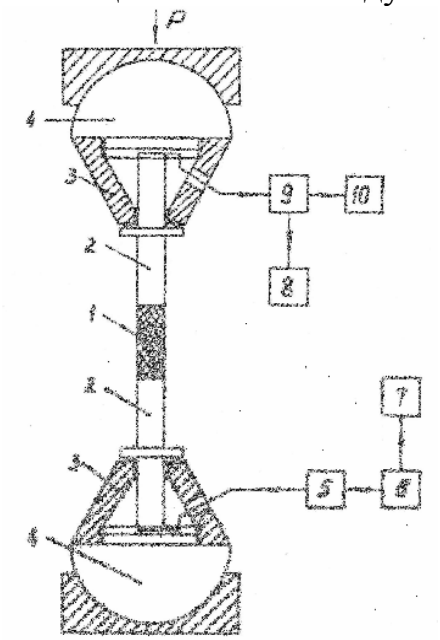


Рис. 1

Стержневой образец исследуемого материала *1* (рис. 1) помещается между двумя стальными стержнями *2*, образуя таким образом составной вибратор. Усилие одноосного сжатия через сферические шарниры *4* и опорные стаканы *3* передается через стальные шарики на опорные фланцы стержней *2*, расположенные в узловых плоскостях колебаний вибратора. Такая конструкция обеспечивает акустическую развязку вибратора от деталей устройства, создающего усилие.

В опорных стаканах *3* размещаются электродинамические датчики продольных или крутильных колебаний. Сигнал на датчик-возбудитель поступает от генератора *6* через усилитель 5.

Частота генератора регистрируется электронно-счетным частотомером *7*.

С приемного датчика электрический сигнал поступает на вход селективного усилителя-микровольтметра *9*. Величина сигнала отсчитывается по шкале микровольтметра. Визуально сигнал можно наблюдать на экране осциллографа *10*, а уровень его можно записать на регистрирующее устройство *8*. Статические деформации образца регистрируются индикаторами линейных перемещений.

Зависимость динамического модуля Юнга образца от напряжения одноосного сжатия определяется путем измерения резонансной частоты составного вибратора и действующей длины образца. Затем производится пересчет к резонансной частоте образца по известной формуле:

$$f_1 = f_0 + 2\frac{m_2}{m_1}(f_0 - f_2), \qquad (1)$$

где f_1 – резонансная частота образца; f_2 – резонансные частоты стальных стержней, которые должны быть одинаковы; f_0 – резонансная частота вибратора; m_2 – масса одного стального стержня; m_1 – масса образца.

Затем, зная длину образца с поправкой на ее изменение под действием напряжения сжатия и его плотность, можно вычислить модуль Юнга образца.

Модуль сдвига G можно определить аналогично, измеряя резонансную частоту крутильных колебаний составного вибратора. В этом случае также можно воспользоваться формулой (1), которая остается справедливой и здесь, но вместо отношения масс в нее будет входить отношение моментов инерции.

Мнимые части модулей определяются по механическим добротностям образца соответственно на продольных и крутильных колебаниях. Добротность можно измерить двумя способами в зависимости от величины суммарной механической добротности составного вибратора Q_o.

При $Q_0 > 5000$ можно воспользоваться методом записи спада свободных колебаний вибратора. При этом вибратор возбуждается на основной частоте (или третьем обертоне) продольных или крутильных колебаний и настраивается в резонанс. Затем возбуждение выключается и регистрируется уровень спада колебаний. Механическая добротность определяется по формуле:

$$Q_0 = \frac{27,3 f_0}{\delta}, \qquad (2)$$

где f_0— резонансная частота, *гц;* δ — декремент затухания, определенный по диаграммной ленте самописца, дБ/с.

При очень малых значениях добротности ее можно определить по ширине резонансной кривой на уровне 0,707 от значения на резонансе:

$$Q_0 = \frac{f_0}{\Delta f_{0,707}} \qquad (3)$$

Пересчет суммарной механической добротности составного вибратора в механическую добротность образца осуществляется по формуле

$$Q_1^{-1} = Q_0^{-1} + 2\frac{m_2}{m_1}(Q_0^{-1} - Q_2^{-1}), \qquad (4)$$

где Q_0 — добротность составного вибратора; Q_1 —добротность образца; Q_2 — добротность стальных стержней; m_2 — масса одного стального стержня; m_1 — масса образца.

На рис.2 приведены экспериментальные зависимости модуля Юнга *E* и добротности *Q* для одного из исследованных полимеров - сложной пены от напряжения одноосного сжатия.

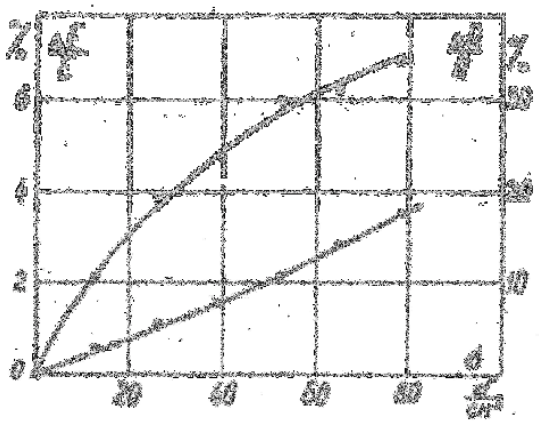


Рис. 2. Исследование модуля упругости и внутреннего трения резиноподобных материалов.

Для исследования упругих и неупругих свойств деформированных резиноподобных материалов метод составного вибратора, описанный выше, принципиально не применим. За основу был взят импедансный метод, при котором образец, имеющий толщину, много меньшую длины упругой волны, ведет себя как сосредоточенная упругость [4].

На рис. 3 изображена блок-схема установки, состоящая в основном из тех же элементов, что и установка, изображенная на рис. 1. Образец *2* в виде тонкого диска помещается между стальными полуволновым *4* **и** четвертьволновым *1* стержнями. Пресс создает усилие сжатия, которое через опорные" стаканы *5* передается на образец. Поскольку образец из резины имеет значительную податливость, то сферические шарниры 7 перестают выполнять

свою основную функцию. Поэтому они устанавливаются плоскопараллельно и закрепляются винтами *8*.

Датчик-возбудитель *3* — электромагнитный и размещен снаружи стакана в экране. Датчик-приемник *6* представляет собой пьезокерамическую пластинку, наклеенную на свободный торец полуволнового стержня, и помещается внутри стакана. Генератор *9* служит для возбуждения системы. Его частота регистрируется электронно-счетным частотомером *10*.

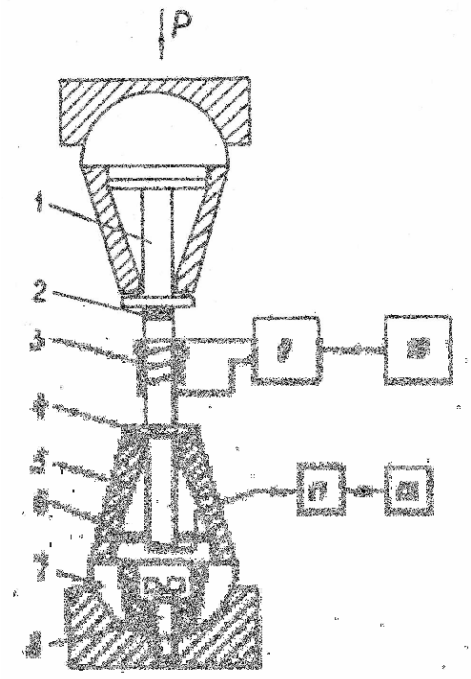


Рис. 3.

Сигнал с датчика-приемника поступает на вход приемного усилителя *11* и затем на вход осциллографа 12. Статические деформации образца измеряются индикаторами линейных перемещений.

Теория метода изложена в [4]. Поскольку импеданс стальных стержней и их добротность намного превышают соответствующие параметры образца, то четвертьволновый стержень близок к идеальному транс-форматору импеданса от 0 (для свободного торца) к ∞ (для торца, приле-гающего к образцу). В этих условиях образец, толщина которого меньше полуволновой, ведет себя как сосредоточенная упругость, а стержень *4* оказывается нагруженным на входной импеданс, определяемый модулем упругости резины.

Действительная и мнимая части комплексного модуля Юнга определяются выражениями [4]:

$$E_1 = t(4\pi^2\rho l)(f_c - f_0) f_c \qquad (5)$$

$$E_2 = t(4\pi^2\rho l)(\frac{\Delta f_c - \Delta f_0}{2}) f_c \qquad (6)$$

где t — толщина образца; ρ — плотность материала стержня; l — длина полуволнового стержня; f_c — средняя частота резонанса нагруженного стержня; f_0 — средняя частота резонанса свободного стержня; Δf_0 — ширина полосы на уровне 0,707 нагруженного стержня; Δf_0 — ширина полосы на уровне 0,707 свободного стержня.

Важную роль играет толщина образца. При выводе (5) и (6) было допущено: $t<<\lambda$, где λ — длина волны в образце. При этом сдвиг частот (f_c — f_0) будет достаточен, чтобы обеспечить необходимую точность. Если образец будет слишком тонким, то входной импеданс будет слишком большим. В этом случае сдвиг частот (f_c — f_0) увеличится настолько, что не будут выполняться следующие условия, накладываемые на соотношения частот:

$$\frac{\Delta f_c}{f_c} < 0{,}1; \ \frac{f_c - f_0}{f_0} < 0{,}05 \qquad (7)$$

не говоря уже о том, что уровень сигнала с датчика-приемника будет сравним с уровнем шумов. Предварительные экспериментальные исследования показали, что следует выбирать $t \square \frac{\lambda}{12}$.

Можно воспользоваться методом последовательных приближений для определения комплексного модуля Юнга с достаточной точностью. К диаметру образца d также предъявляются определённые требования: $d << \lambda$. Поскольку это условие практически трудновыполнимо, то для измерения модуля Юнга образец изготовляется перфорированным. При этом диаметр перфорационных отверстий выбирается таким, чтобы отверстия не «заплывали» при деформировании образца. Расстояния между перфорационными отверстиями должны быть малы по сравнению с длиной волны в образце.

Экспериментальные исследования показали, что измеряемый упругий модуль практически равен модулю Юнга уже при коэффициенте перфорации равном 10%. Что касается добротности, то она повидимому не зависит от коэффициента перфорации. Естественно, что для перфорированного образца в формулу (5) следует вводить поправку:

$$E_{1èñòèíîå} = E_{1ýôô} \cdot \frac{1}{1-s},$$

где s — часть площади, занятая перфорацией.

Образец приклеивается к четвертьволновому стержню клеем, приготовленным из той же резины.

На рис. 4 приведена экспериментальная зависимость относительного изменения модуля Юнга одного из типов звукопоглощающей резины от напряжения сжатия.

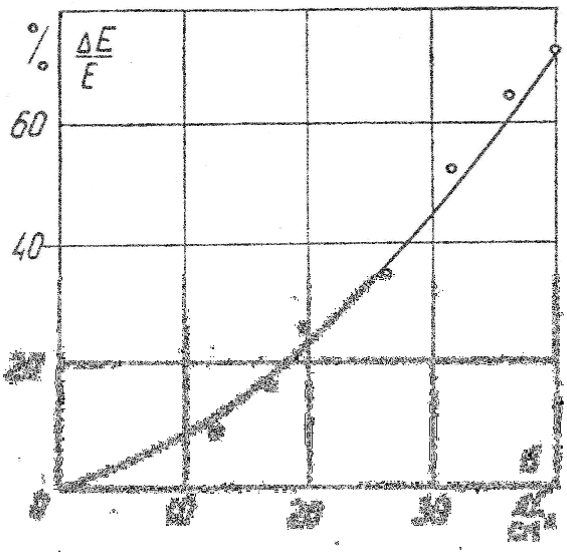


Рис. 4.

Литература

1. Сб. «Твердые тела под высоким давлением», Под ред. В. Пола и Д. Варшауэра, Изд-во «Мир», М., 1966.
2. Е.Д. Пигулевский, В.М. Цаплев. Аппаратура и методика измерения электромеханических параметров пьезокерамикн в условиях одноосного напряженного состояния, «Ультразвуковая техника», 1968, № 3, стр. 8.
3. А. П. Рудаков, М. И. Бессонов. Зависимость упругих характеристик полимеров от деформации и релаксации напряжения, «Физика твердого тела», 1968, 10, № 12, стр.3519.
4. W. Nolle. Method for Measering Dynamic Mechanical Properties of Rubber -Like Materials. «Journ. Appl. Phys.», 1948, 19, № 8, стр. 753.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ШУМА ВЫХЛОПА ГТУ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Семин С.А., Тупов В.Б.
Московский энергетический институт (технический университет)
seminsa@mpei.ru

На энергетических объектах Российской Федерации газотурбинные установки (ГТУ) находят все более широкое применение, в том числе при реализации и парогазовых циклов. Парогазовые установки (ПГУ) отличает высокая экономичность, маневренность, компактность, быстрота строительства, невысокие удельные капитальные вложения по сравнению с другими технологиями выработки электроэнергии [4]. При этом ГТУ являются самым мощным источником постоянного шума среди энергетического оборудования [2]. Поэтому при эксплуатации ГТУ или ПГУ одной из основных проблем является снижение шума от них до санитарных норм как для населения окружающего района, так и для персонала энергообъекта.

Различают шум, излучаемый от ГТУ через воздухозаборный и выхлопной тракты, а также от корпуса агрегата [1]. Шум, излучаемый воздушным трактом и корпусом ГТУ в настоящее время хорошо изучен и для него разработаны эффективные средства по шумоглушению, которые входят в комплект поставки ГТУ: глушители шума, располагаемые в комплексном воздухоочистительном устройстве, для снижения шума воздушного тракта и звукозащитные кожухи для борьбы с шумом от корпуса [2, 4]. Шум выхлопного тракта ГТУ менее изучен и для каждого конкретного случая установки энергоблока ГТУ необходима индивидуальная разработка мероприятий по шумоглушению выхлопа [3].

Шум, излучаемый выхлопным трактом ГТУ, вызван как процессом горения топлива в камере сгорания ГТУ, так и высокой скоростью прохождения газов через проточную часть турбины и турбулентностью газового потока на выхлопе [2]. В аэродинамическом шуме выхлопа ГТУ можно обнаружить влияние двух составляющих: вихревого и сиренного шума, накладывающих свой отпечаток на шумовую характеристику выхлопа ГТУ. Так как шумовая характеристика выхлопа ГТУ определяет шумовое воздействие выхлопного тракта ГТУ на окружающий район, то важным вопросом становится изучение шумовых характеристик различных марок ГТУ и их сравнительный анализ [5].

В работе проанализированы шумовые характеристики выхлопа восьми ГТУ, представленные в виде значений уровня звуковой мощности (УЗМ), дБ. Рассматриваемый модельный ряд ГТУ охватывает широкий диапазон электрических мощностей (примерно от 15 до 300 МВт), его образуют ГТУ как российского, так и зарубежного производства. Это позволяет сделать вывод, что по закономерностям, полученным при анализе шумовых характеристик

представленных марок ГТУ, можно судить об особенностях шума выхлопа ГТУ и других марок, мощность которых попадает в рассматриваемый интервал.

На рис.1. показаны шумовые характеристики рассматриваемых марок ГТУ в диапазоне среднегеометрических частот от 31,5 до 8000 Гц. Информация по шумовым характеристикам выхлопа ГТУ предоставлена представителями фирм-изготовителей ГТУ. Значения на рис.1 приведены для случая, когда на выхлопе ГТУ не применяются никакие мероприятия по шумоглушению.

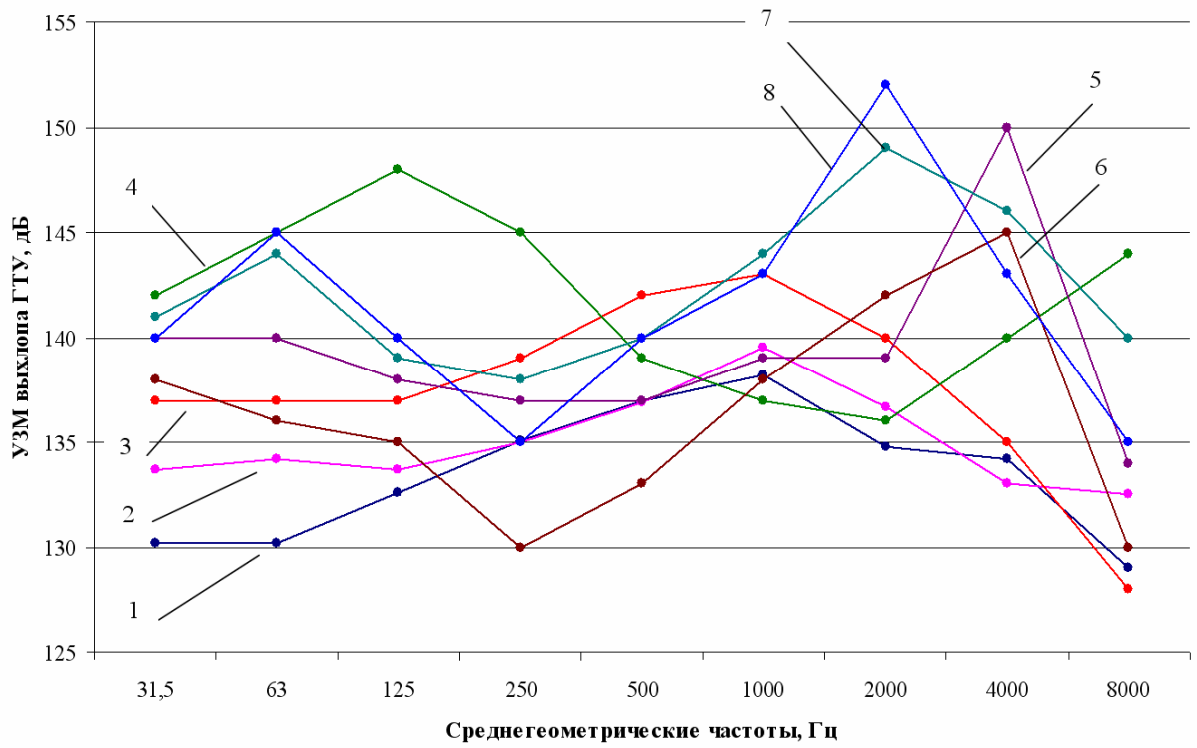


Рис. 1. УЗМ выхлопа ГТУ электрической мощности (МВт):
1 – 16,8; 2 – 18; 3 – 29,1; 4 – 47; 5 – 68; 6 – 113,6; 7 – 157; 8 – 287

Из рис.1 видно, что шумовая характеристика выхлопа каждой ГТУ представляет собой ломаную линию, вершины которой распределены неравномерно при различных значениях среднегеометрических частот: при увеличении среднегеометрической частоты происходит то увеличение, то снижение УЗМ выхлопа ГТУ. Шумовые характеристики выхлопа разных ГТУ существенно отличаются друг от друга значениями УЗМ для различных значений среднегеометрических частот. Особенностью рассмотренных шумовых характеристик ГТУ является наличие максимумов УЗМ (пиков), при этом пики у разных ГТУ приходятся на разные частоты. Для ГТУ №№ 1, 2 и 3 максимум лежит в области средних частот (500-1000 Гц), для ГТУ №№ 5 и 6 — в области высоких частот (2000 Гц), а для ГТУ № 4, 7 и 8 характерно наличие двух пиков УЗМ: в области низких (63-125 Гц) и высоких (2000-8000 Гц) частот.

Наличие пиков шумовых характеристик выхлопа ГТУ можно объяснить влиянием вихревого и сиренного шума. Сиренный шум возникает от неоднородности потока при аэродинамическом взаимодействии подвижных и

неподвижных лопаток вследствие создания в межлопаточном пространстве периодического неравномерного поля скоростей. Основная частота сиренного шума для большинства ГТУ лежит в высокочастотной области. По своему воздействию сиренный шума наиболее вреден для человека, так как имеет наибольшую интенсивность, тональный характер и создается в области максимальной чувствительности человеческого уха. Образование вихревого шума связано с периодическим срывом вихрей с обтекаемых тел и с сопутствующими флуктуациями в среде. Основная частота вихревого шума газовых турбин находится в области низких частот [1].

По графикам, представленным на рис.1, видно, что невозможно вывести зависимость шумовой характеристики выхлопа ГТУ в спектре октавных полос от мощности ГТУ. Это объясняется тем, что на шумовую характеристику выхлопа ГТУ влияют ее индивидуальные характеристики (конструктивные особенности ГТУ, совершенство проточной части газовой турбины, аэродинамические показатели, организация режима горения топлива и т.д.), не всегда зависящие от мощности ГТУ.

Для анализа полученных данных используем суммарный уровень звуковой мощности выхлопа ГТУ L_C, дБ, который рассчитывается по формуле

$$L_C = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{n} 10^{0,1L_i}\right), \qquad (1)$$

где L_i – УЗМ выхлопа ГТУ, дБ, в октавной полосе со среднегеометрической частотой i.

Значения L_C, рассчитанные по формуле (1) для шумовых характеристик различных марок ГТУ, приведены на рис.2.

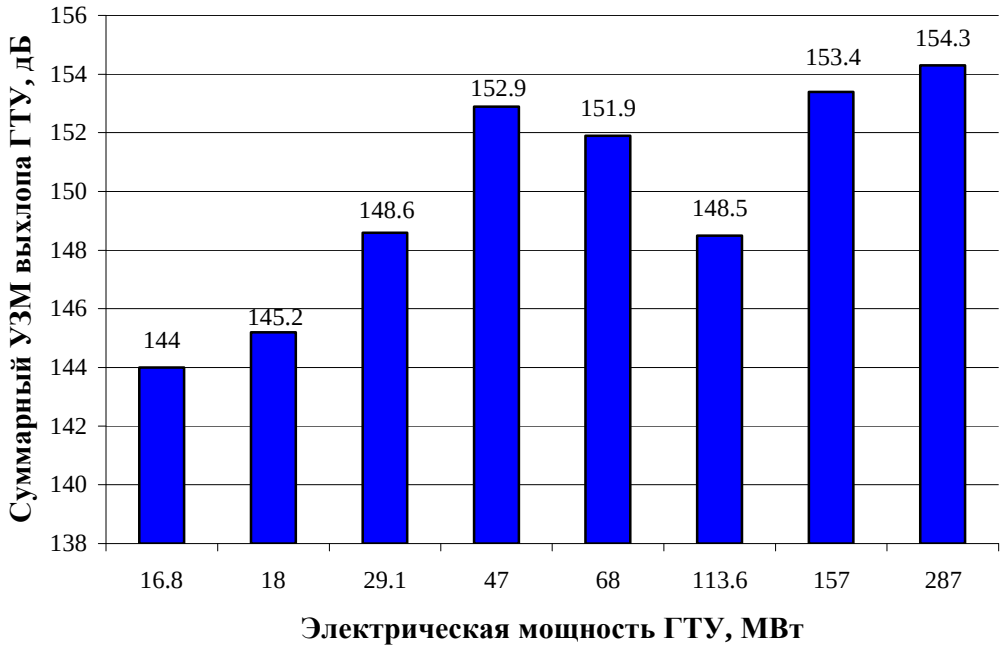


Рис. 2. Значения суммарного УЗМ выхлопа ГТУ разной мощности

Из рис.2 следует:

1. При увеличении электрической мощности ГТУ наблюдается рост суммарного уровня звуковой мощности выхлопа ГТУ: от 144 дБ при электрической мощности 16,8 МВт до 154,3 дБ при 287 МВт.
2. Масштаб увеличения суммарного УЗМ выхлопа ГТУ соответствует масштабу увеличения электрической мощности ГТУ. Мощность увеличивается в 17 раз – то есть, более чем на порядок, а суммарный УЗМ выхлопа увеличивается на 10,3 дБ, что при переводе логарифмических единиц уровня звуковой мощности в физические единицы звуковой мощности также означает рост более чем на порядок.
3. Для некоторых ГТУ при росте электрической мощности происходит не увеличение, а снижение суммарного УЗМ выхлопа: для ГТУ №5 мощностью 68 МВт и ГТУ №6 мощностью 113,6 МВт значения суммарного УЗМ оказываются ниже, чем для ГТУ №4 мощностью 47 МВт. Это явление объясняется тем, что уровень шума, излучаемого выхлопом ГТУ, определяется не только ее электрической мощностью, но и конструктивными особенностями, характерными для каждой конкретной марки ГТУ (совершенство проточной части, организация процесса горения в камере сгорания, геометрические размеры ГТУ, количество ступеней, лопаток и т.д.). В результате шумовая характеристика более мощной ГТУ может оказаться ниже шумовой характеристики менее мощной установки.

Аппроксимация значений суммарного уровня звуковой мощности выхлопа ГТУ представлена на рис.3.

В качестве аппроксимирующей выбрана логарифмическая зависимость вида:

$$L_C = a\lg(N_э) + b,$$

где L_C – суммарный УЗМ выхлопа ГТУ, дБ; $N_э$ – электрическая мощность ГТУ, МВт; a и b – эмпирические коэффициенты.

Значения эмпирических коэффициентов a и b получены аппроксимацией по методу наименьших квадратов:

a = 7,1;

b = 137,3.

Таким образом, аппроксимирующая зависимость будет иметь вид:

$$L_C = 7{,}1 \cdot \lg(N_э) + 137{,}3 \qquad (2)$$

На рис.3 показаны значения суммарного уровня звуковой мощности выхлопа ГТУ, полученные по данным фирм-производителей, а также аппроксимирующая кривая, описываемая выражением (2).

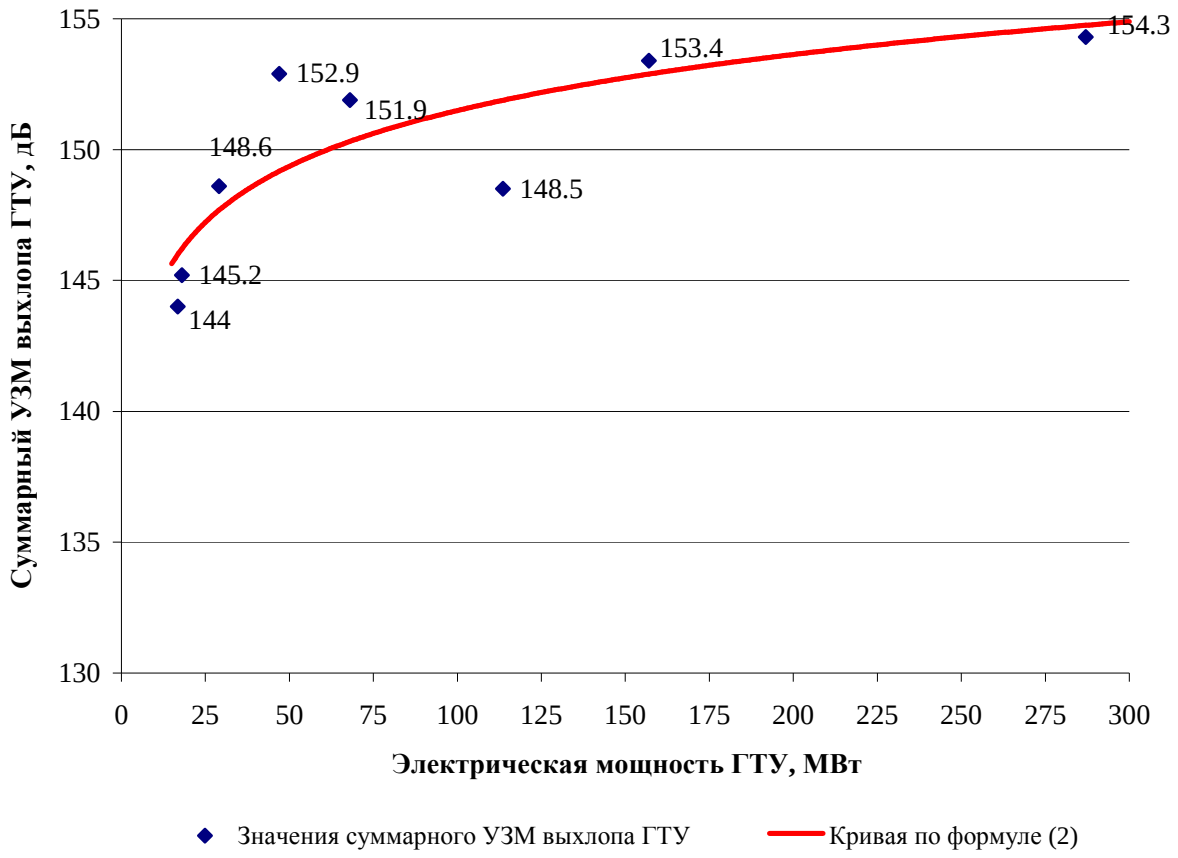


Рис. 3. Зависимость суммарного УЗМ выхлопа ГТУ L_C, дБ, от ее электрической мощности

Согласно зависимости (2) наблюдается увеличение суммарного уровня звуковой мощности выхлопа ГТУ с увеличением ее электрической мощности.

Результаты расчета по (2) хорошо согласуются с исходными данными для аппроксимации, представленными на рис.2. Это подтверждает вид аппроксимирующей кривой, учитывающей особенности расположения точек исходных данных на рис.3.

Критерием, характеризующим, насколько хорошо подобрана аппроксимирующая зависимость, является абсолютное отклонение ΔL_C, дБ, определяемое по формуле $\Delta L_C = |L_C - L_{C1}|$, где L_C — суммарный УЗМ выхлопа ГТУ, дБ, рассчитываемый по данным, предоставленным фирмами-производителями (значения на рис.2); L_{C1} — суммарный УЗМ выхлопа ГТУ, дБ, рассчитываемый по зависимости (2).

Отметим, что для большей части рассматриваемых марок ГТУ ΔL_C не превышает 2 дБ, исключение составляют лишь две ГТУ: реальное значение L_C для ГТУ №4 больше рассчитанного по (2) на 3,7 дБ, а для ГТУ №6 — меньше на 3,4 дБ. Такие отклонения объясняются влиянием индивидуальных особенностей данных ГТУ на их шумовые характеристики.

Зависимость (2) позволяет оценить суммарный УЗМ, излучаемый выхлопом ГТУ, в зависимости от ее мощности и сравнить его значения для ГТУ

разных марок в широком диапазоне значений электрической мощности ГТУ: от 15 до 300 МВт. При этом из-за влияния индивидуальных особенностей ГТУ на их шумовые характеристики оказывается невозможно по значению суммарного УЗМ выхлопа ГТУ определить шумовую характеристику выхлопа ГТУ в октавном спектре.

Выводы

1. Шум при эксплуатации энергоблоков ГТУ является основным негативным экологическим фактором, характерным как для территории энергообъекта, так и для окружающего района.
2. Проанализированы шумовые характеристики выхлопа различных марок ГТУ средней и большой мощности. Показано, что в диапазоне нормируемых среднегеометрических частот от 31,5 до 8000 Гц уровни звуковой мощности выхлопа ГТУ распределены неравномерно и их распределение определяется индивидуальными особенностями ГТУ.
3. Получена формула (2), позволяющая рассчитывать суммарный уровень звуковой мощности выхлопа ГТУ в зависимости от ее электрической мощности.
4. Показано, что зависимость (2) можно применять для сравнительного анализа суммарного уровня шума выхлопа разных марок ГТУ средней и большой мощности.

Литература

1. Григорьян Ф.Е., Перцовский Е.А. Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок. — Л.: Энергия, 1980. — 120 с.
2. Тупов В.Б. Снижение шума от энергетического оборудования. — М.: Издательство МЭИ, 2005. — 232 с.
3. Тупов В.Б., Чугунков Д.В., Семин С.А. Снижение шума от выхлопных трактов газотурбинных установок с котлами-утилизаторами // Теплоэнергетика. 2009. № 1. С. 24–27.
4. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / Под ред. С.В. Цанева — М.: Издательство МЭИ, 2002. — 584 с.
5. Tupov V.B., Semin S.A. Gas Turbine Noise // Fifteenth International Congress on Sound and Vibration. Daejeon, Korea, July 6-10 2008. — pp. 2414–2418.

ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ ШУМА НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Олейников А.Ю.
Кафедра "Экологии и охраны труда", БГТУ "Военмех",
Санкт-Петербург, Россия
alexey.ole@gmail.com

Проблема повышенных уровней шума на борту пилотируемых космических аппаратов появилась с возникновением самой космической техники. Акустическое воздействие на человека носит сложный характер. Характеристика акустической энергии в космическом полете изменяется в зависимости от режима полета. Члены экипажа корабля "Меркурий" отмечали сильные шум и вибрацию. Во время полета к Луне экипаж "Аполлона" также ощущал высокий уровень шума. В программе "Скайлэб" проблема шума была, прежде всего, связана с ухудшением разборчивости речи и конкретными ощущениями членов экипажа. Пред. и послеполетные аудиограммы, полученные у членов экипажа "Скайлэба", показали временное снижение порога слуха [1]. Шумовая обстановка на "Шаттле" создавалась главным образом вентиляторами системы жизнеобеспечения и вентиляторами охлаждения электронного оборудования. Уровни, измеренные при работе этих систем, находились в пределах критерия шума-55 (NC-55). Однако проведенный опрос членов экипажей показывает, что около 75% опрошенных рекомендовали понизить уровни шума на орбите. Подобные проблемы наблюдались и на советских кораблях (серий Восток, Восход, Союз), а так же на станциях (серии Салют, Мир). По сведениям Института медико-биологических проблем [2] у космонавтов, пробывших достаточно продолжительное время на станции «Мир» наблюдалось стойкое снижение слуха. Кроме того, наблюдалось нарушение сна, так как в каюте уровень звука поднимался до 65-70 дБА, в то время как санитарные нормы рекомендуют для сна уровни звука от 30 до 45 дБА.

Проблема повышенного уровня шума в обитаемых отсеках космических объектов, в ещё более обострённом и усложнённом виде проявилась на МКС (Международная космическая станция). Огромное количество вентиляторов различного назначения, насосы, агрегаты системы жизнеобеспечения, приборы и научное оборудование создают шумовую обстановку совершенно неприемлемую для нормальной работы экипажей и тем более для их отдыха. Всё это отрицательно сказывается на их работоспособности и следовательно на всей программе в целом. Кроме того, повышенные уровни шума отрицательно сказываются на работе различного специального научного оборудования, так как нарушают требуемые условия микрогравитации.

Из приведённых графиков видно (рис. 1), что уровни шума значительно превышают требуемые нормы примерно на 5-20 дБ в средне-высокочастотном диапазоне.

В ходе работы исследовались следующие изделия: служебный модуль Международной космической станции «Звезда» и рабочий стенд КС СМ «Звезда» КИС - 416. Выбор был обусловлен тем, данный модуль является наиболее критичным по шумовой нагрузке.

Рабочий отсек является основным отсеком экипажа. Отсюда производится управление всеми бортовыми системами станции, здесь установлена основная часть бортовой аппаратуры и средства обеспечения жизнедеятельности. Отсек имеет продольную схему компоновки: оборудование размещено на боковых стенках, а в центральной части вдоль всего отсека организован проход, который и является жилым помещением для экипажа.

В зазоре между панелями интерьера и внешней оболочкой расположено основное шумящее оборудование. Таким шумящим оборудованием являются различные виды вентиляторов, которые организуют воздухообмен в запанельном, а также в жилом объёмах. Кроме того, источниками шума являются различные агрегаты, некоторые из которых частично или полностью вынесены в жилой отсек (общее количество источников шума - 63). Уровни шума по всей длине рабочего отсека превышают предельные уровни даже для режима работы, УЗ меняется от 66 до 70 дБА по всей длине отсека. Максимальная акустическая нагрузка наблюдается в районе главного командного пульта.

БГТУ «Военмех» совместно с РКК «Энергия» и НИИ «ХимМаш» были проведены измерения акустических характеристик некоторых источников шума в ближнем звуковом поле источника и определена звукоизолирующая способность ряда ограждающих панелей интерьера, расположенных вблизи этих источников, определено время реверберации, как обитаемых объёмов, так и объёмов приборного отсека, определён коэффициент затухания по воздуховодам и некоторые другие характеристики, которые были использованы при расчете ожидаемой шумности.

Основной вклад в процессы шумообразования на станции вносят вентиляторы системы жизнеобеспечения. Таким образом, воздушная составляющая шума распределяясь в запанельном пространстве и в воздуховодах, попадает через панели интерьера и через различные щели в объем рабочего отсека.

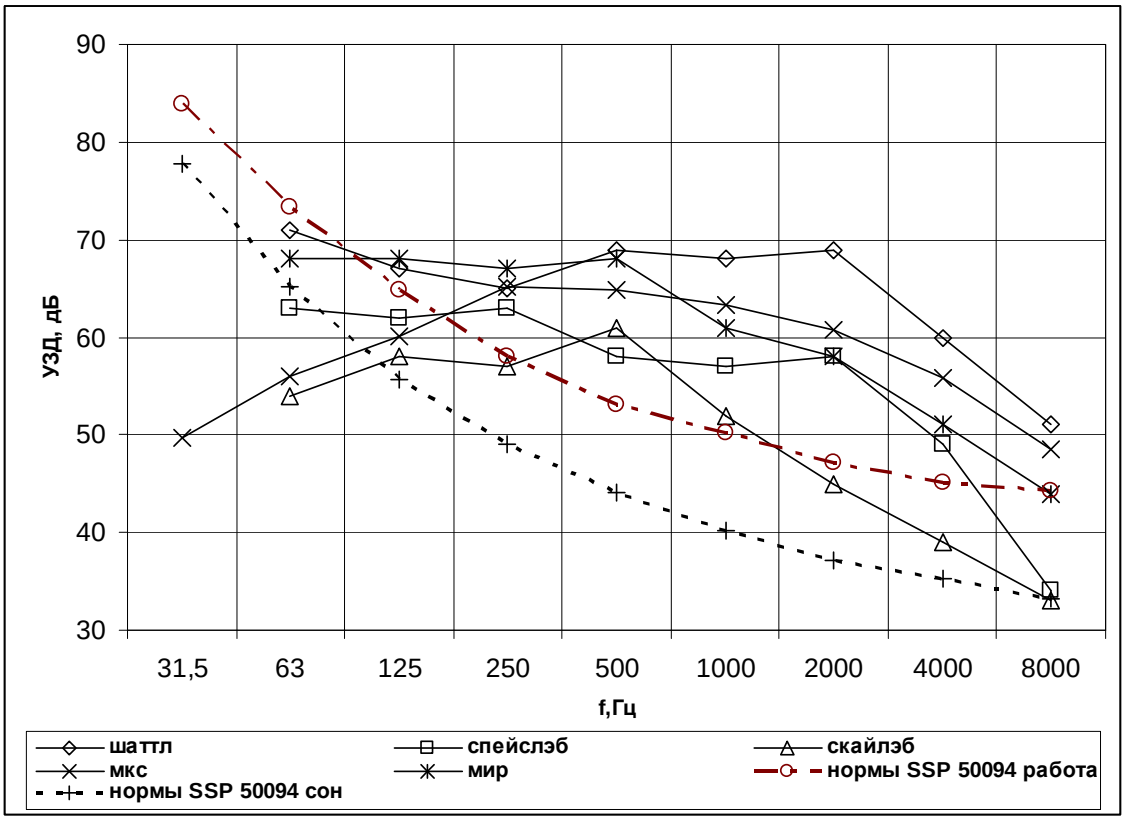


Рис. 1. Требования по шуму NASA (Национальное авиационно-космическое агентство США) и РАКА (Рссийское авиационно-космическое агентство): SSP50094 (Объединенный документ НАСА/РКА по спецификациям и стандартам для Российского сегмента МКС), показаны уровни шума зафиксированные на таких объектах как: Спейс Шаттл, Скайлэб, Спэйслэб [3], МКС, Мир.

Из анализа измерений стало ясно, что наибольший вклад в формирование звукового поля в контрольных точках вносят СКВ1 (система кондиционирования воздуха №1), СКВ2 (система кондиционирования воздуха №2), ВОЛ (вентилятор обдува «Лиры»), АСУ (ассенизационное устройство), ЭНАКОБ (электронасосный агрегат контура обогрева), система «Воздух» и БМП (блок микропримесей).

Следующая группа источников шума, формирующих звуковое поле в контрольных точках это – ВКЮ1 (вентилятор №1 каюты), ВКЮ2 (вентилятор №2 каюты), ВВПрК (вентилятор воздуховода переходной камеры), ВПО8 (вентилятор №8 приборного отсека), ВПО9(вентилятор №9 приборного отсека), ВВ1РО (вентилятор № 1 воздуховода рабочего отсека), ВВ2РО (вентилятор № 2 воздуховода рабочего отсека), и ВПрК (вентилятор переходной камеры). Остальные источники шума можно отнести к третьей группе источников, которые вносят наименьший вклад в формирование звукового поля в контрольных точках.

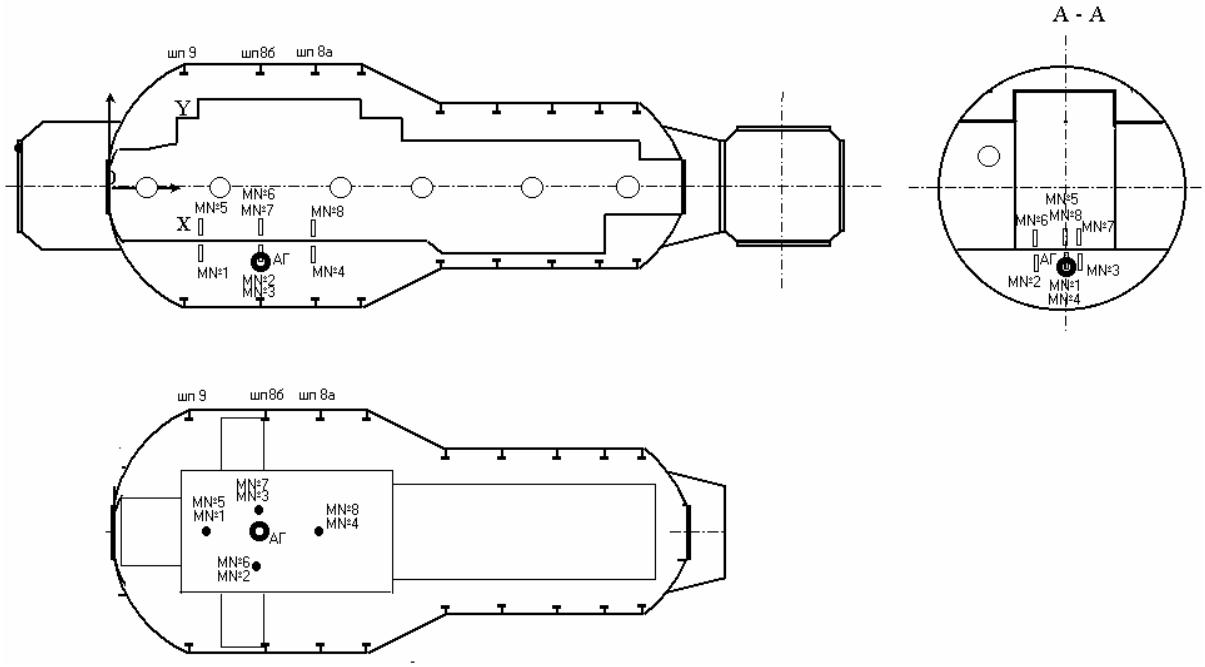


Рис. 2 Расположение микрофонов при измерении звукоизоляции и звукопоглощения (М-микрофон, ШП- шпангоут, АГ- акустическая головка)

Ниже приведены результаты некоторых измерений. Которые проводились с целью получения акустических характеристик помещений служебного модуля станции для построения математической модели поля на основе статистической теории. На основе модели планируется выработать рекомендации по снижению шумности на действующей и проектируемых космических станциях.

На рис.2 показано расположение микрофонов (М№..) в одном из измерений. В данном тесте источник шума АГ (акустическая головка) находится под полом РО2 (рабочий отсек №2), микрофоны располагаются на расстоянии 10 см. от панелей пола один напротив другого.

При анализе результатов измерений видно (рис.3), приведенная звукоизоляция панелей пола составляет в среднем 15 дБА, что, в общем, не плохо для панелей с подобных объектов, к которым предъявляются повышенные требования по малому весу.

Однако из табл. 1 видно, что в местах стыковки панелей звукоизоляция снижена, это означает, что панели на нынешней станции несовершенны с точки зрения акустики. Поэтому при проектировании следует особое внимание обратить на места стыковки панелей между собой и с силовой рамой. Кроме того, следует убрать сквозные технологические отверстия в соединительных заклепках панелей, чтобы исключить эффект «замочной скважины».

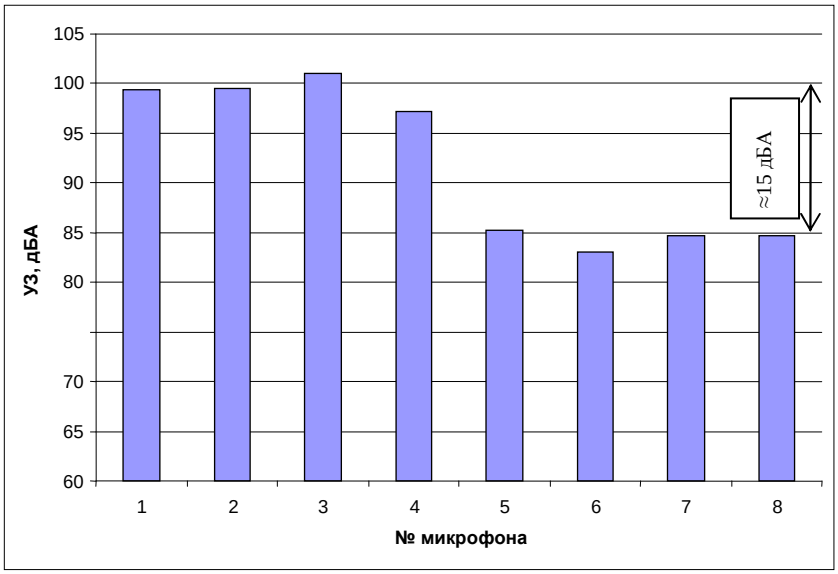


Рис. 3 Уровни звука (УЗ) полученные при измерении.

Каюта это место отдыха и сна космонавтов, основной путь проникновения шума в каюту – дверной проем. К сожалению, на действующей станции дверь, в силу разных причин, чаще всего открыта или снята с петель. Но даже если она установлена штатно, дверь не обеспечивает требуемой звукоизоляции.

Таблица 1

Перепад УЗД и УЗ при измерении звукоизоляции пола в РО2 (рабочий отсек №2)

микрофоны №№	Перепады уровней звукового давления (УЗД)[дБ] в третьоктавных полосах частот, Гц																
	10	**12,5**	**16**	**20**	**25**	**31,5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**
1-5	-0,3	-0,3	-0,2	-0,7	4,6	3,4	8,4	7,3	14,5	4,5	2,8	7,9	11,4	12,1	17,2	14,6	15,7
2-6	0,1	0,0	0,9	1,1	1,2	3,7	10,9	8,6	12,0	10,0	6,0	7,7	12,3	11,2	14,2	14,5	16,7
3-7	-0,7	-0,5	0,3	2,2	1,2	6,6	12,6	8,3	12,8	14,5	10,5	13,2	14,3	11,2	19,7	18,2	14,3
4-8	-1,3	-1,2	2,6	6,5	0,7	7,9	10,4	8,1	2,7	4,2	8,7	10,6	5,5	11,2	15,7	16,8	7,1

Перепады уровней звукового давления (УЗД)[дБ] в третьоктавных полосах частот, Гц																	ΔУЗ, дБА
500	**630**	**800**	**1k**	**1.25k**	**1.6k**	**2k**	**2.5k**	**3.15**	**4k**	**5k**	**6.3k**	**8k**	**10k**	**12.5k**	**16k**	**20k**	
10,0	13,0	15,5	16,0	19,5	20,3	19,5	17,9	18,9	20,6	20,8	22,6	19,9	24,0	21,2	19,2	13,1	14,0
16,6	13,7	18,1	19,9	21,5	15,4	15,6	18,2	17,4	19,4	18,8	17,1	17,9	18,8	20,4	16,8	7,9	16,5
14,8	10,2	17,5	21,9	24,2	22,8	19,2	21,1	20,8	19,7	20,5	18,0	21,9	20,8	22,9	20,4	15,0	16,3
9,2	9,7	18,2	18,0	11,7	16,3	22,3	21,1	18,1	16,3	19,1	19,8	16,8	18,1	19,8	16,9	8,2	12,5

На рис. 4 мы видим, что на низких и средних частотах наблюдаются существенные провалы. Звукоизоляция снижается вплоть до 4-5 дБ. Это означает, что во-первых звукоизоляцию двери следует усилить, во-вторых

изменить ее конструкцию таким образом, чтобы она не создавала неудобств космонавтам при ее эксплуатации.

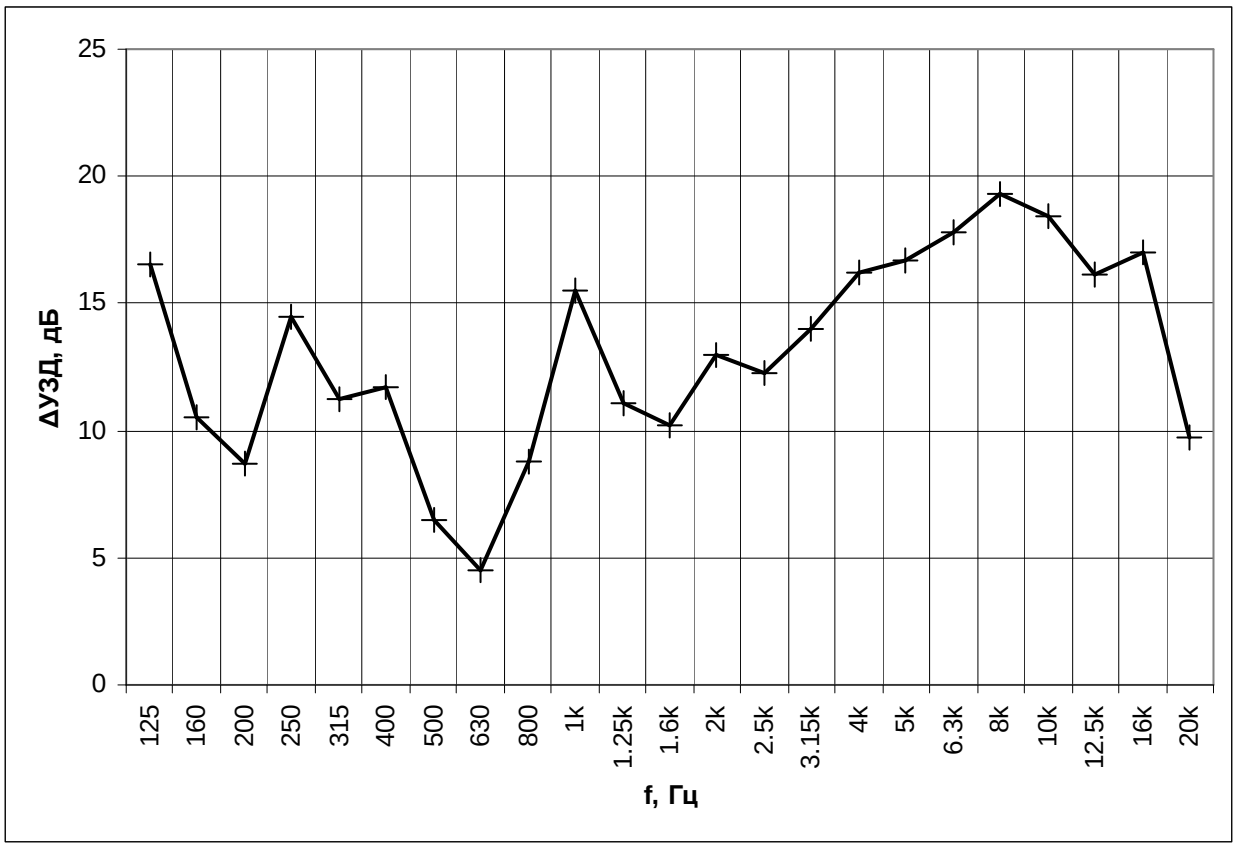


Рис. 4 Звукоизоляция двери каюты служебного модуля СМ «Звезда», акустическая головка находится напротив каюты

Воздуховоды станции имеют выходы в обитаемые отсеки в виде различных решёток. Шум от вентиляторов, распространяясь по воздуховодам, также проникает в рабочий отсек. Существенное количество звуковой энергии попадает в каюту через воздуховод. Поэтому интересным является вопрос о том, как звук затухает по длине воздуховодов.

На рис.5 мы видим, что затухание достаточно хорошее, но даже здесь наблюдаются провалы (на частотах 125-500 Гц., 18-20 кГц.). Следует помнить, что данный воздуховод наиболее протяженный и затухание в нем максимальное. Воздуховоды, которые имеют выход непосредственно в каюты короче примерно втрое и ситуация там много хуже. Поэтому для снижения шума в помещениях станции требуется обратить пристальное внимание на воздуховоды. Необходима установка в сечении воздуховодов проходных глушителей, повышение жесткости стенок, а также увеличение их звукоизолирующей способности.

Время реверберации (Тр) является существенным параметром влияющим на акустическое поле внутри служебного модуля. Время реверберации некоторых помещений даны в табл. 2. Видно, что в запанельном пространстве Тр находится в приемлемом диапазоне, однако, для того, чтобы звуковая

энергия в меньшем объеме проникала в рабочие отсеки, время реверберации следует уменьшить. Это можно сделать с помощью различных мероприятий, например помещения в запанельное пространство шумопоглащающих материалов.

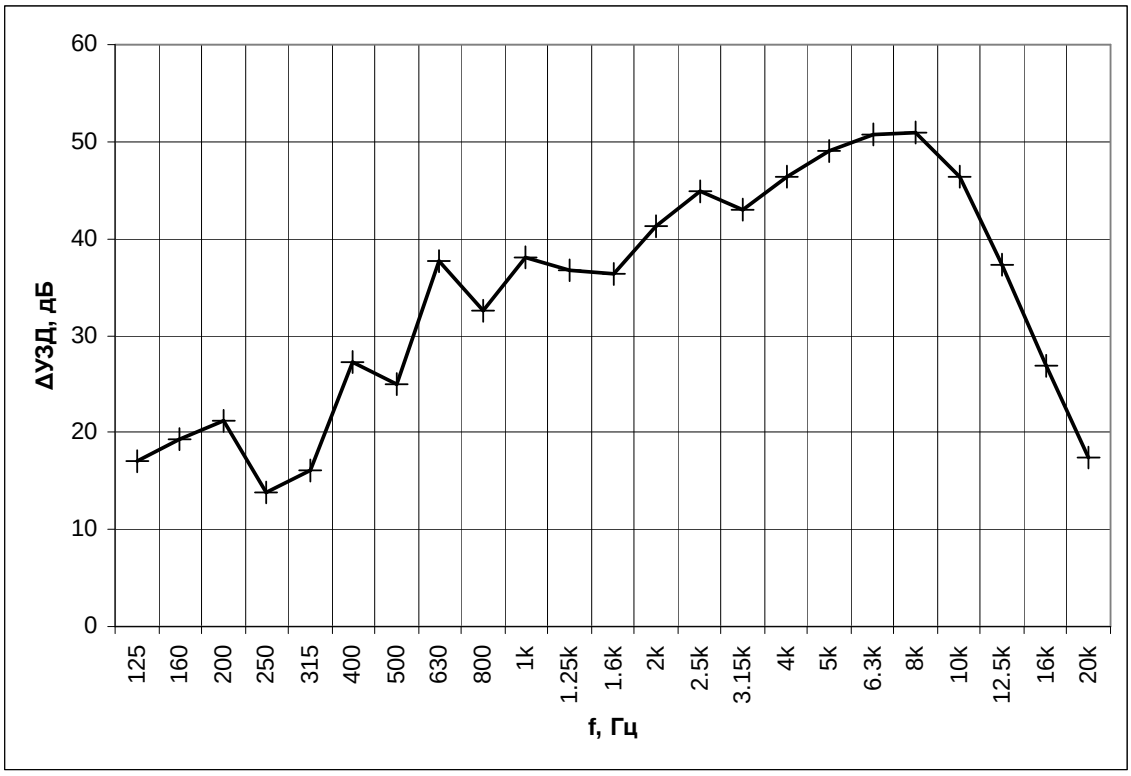


Рис 5 Затухание УЗД по главному воздуховоду
служебного модуля СМ «Звезда»

Часть агрегатов системы жизнеобеспечения, такие как: ЭНАКОБ, агрегаты системы «Воздух», СКВ1 и 2, находятся непосредственно в рабочем отсеке и вносят свой вклад в шумовую обстановку. Данные агрегаты могут быть закрыты различными кожухами и капотами.

Акустические расчеты, направленные на описание процессов в замкнутых объемах позволяют получать важные практические решения. Если одновременно в обитаемом отсеке работают несколько источников и провести их последовательное отключение и измерения не представляется возможным, то только расчеты позволяют выполнить разделение вклада источников шума с целью определения требуемого снижения шума.

Особенностью акустических расчетов для пилотируемых кораблей является малый объём обитаемого отсека (не превышающий 46.7 м^3).

Наиболее сложные процессы шумообразования из всех технических объектов предполагаются там, где имеет место образование звуковых полей в малых объемах. Источники звука расположены вблизи расчетных точек, также имеют место сложные дифракционные процессы и отражения от бесконечных и конечных поверхностей, а звук при распространении от излучателя до расчетной точки претерпевает сложные изменения. Такие условия наблюдаются в выбранных объектах в изобилии.

Таблица 2

Время реверберации, измеренное в ходе акустических испытаний

Исследуемое помещение	**Время реверберации Тр[сек] в третьоктавных полосах частот, Гц**															
	250	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**	**2500**	**3150**	**4000**	**5000**	**6300**	**8000**
Объем под под полом РО2*	**0.16**	**0.14**	**0.25**	**0.15**	**0.18**	**0.19**	**0.15**	**0.14**	**0.14**	**0.11**	**0.1**	**0.1**	**0.09**	**0.08**	**0.1**	**0.1**
РО1*	**0.12**	**0.19**	**0.21**	**0.22**	**0.22**	**0.22**	**0.29**	**0.28**	**0.18**	**0.19**	**0.14**	**0.17**	**0.16**	**0.16**	**0.14**	**0.14**
РО2*	**0.45**	**0.23**	**0.38**	**0.29**	**0.25**	**0.23**	**0.24**	**0.25**	**0.22**	**0.22**	**0.2**	**0.19**	**0.19**	**0.23**	**0.24**	**0.18**
Объем за панелью левого бортаРО1*	**0.21**	**0.27**	**0.19**	**0.25**	**0.17**	**0.2**	**0.21**	**0.15**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.16**	**0.15**	**0.16**	**0.17**	**0.17**

*-РО1 (рабочий отсек №1), РО2 (рабочий отсек №2)

В архитектурно-строительной акустике для расчёта шума в помещениях используется статистическая теория акустики [4, 5, 6].

Анализ граничных условий и основных допущений позволяет использовать положения статистической теории акустики для разработки инженерного метода расчета ожидаемой шумности МКС.

Таким образом, задача выполнения расчётов шума на МКС сводится к разработке расчетных схем и их математическому описанию на основе статистической теории акустики.

Для создания нормальной акустической обстановки в обитаемом служебном модуле МКС не подходят некоторые классические приемы, применяемые на практике. Например, ограничение времени пребывания в зашумленной зоне невозможно, исходя из показателя назначения станции, а использование средств индивидуальной защиты (беруши и наушники) не всегда возможно, т.к. при этом демаскируется также и полезный сигнал, нарушается речевая связь и т.п. С точки зрения акустики космический корабль должен быть спроектирован таким образом, чтобы предупредить потери слуха, свести к минимуму нарушение разборчивости речи и уменьшить неприятные ощущения, связанные с раздражающим действием шума. Акустические нормы должны учитывать три фактора: сохранение слуха, речевой связи и комфорта.

Единственный путь нормализации шума на станции – это снижение звукоизлучающей способности источников шума и повышение акустических защитных свойств конструкций и помещений за счет дополнительных вибродемпфирующих и звукопоглощающих облицовок и применения звукоизоляции.

Литература

1. Lengel R.C., Wheelwright C.D. Vibroacoustic monitoring system requirements and concept overview // Proceedings of the 20th Intersociety Conference on Environmental Systems. SAE Technicel Paper 901442. 1990. P. 3.
2. Г.Д. Изак., Методические указания. Расчёт шума в помещениях пилотируемых космических объектов. С.- Петербург, 1991. – 33 с
3. «Шум, вибрация, освещённость» Космическая биология и медицина M1994, №2, 152-185, Russian, Russia.
4. ЛЕПЕНДИН Л.Ф., «АКУСТИКА»; М.:«Высшая школа» 1978, Russian, Russia.
5. Н.И. Иванов, А.С. Никифоров, «Основы виброакустики»; СПб.: «Политехника» 2000, Russian, Russia
6. “Acoustics” Leo L.Beranek, Published by the Acoustical Society of America through the American Institute of Physics, Inc., New-York, 1996 Library of Congress Catalog Card Number: 8670671 International Standard Book Number 0-88318-494-X

ОСОБЕННОСТИ СПЕЦИАЛЬНОГО ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ АКУСТИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Пименов И.К., Смолевский В.М.
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
ikpimenov@list.ru

В современном мире широко развиты различные формы последипломного и специального дополнительного образования. В нашей стране сфера использования таких форм образования, если иметь в виду профессиональную деятельность, имеет явно выраженный перекос в область экономических, преимущественно бухгалтерских дисциплин и компьютерных технологий. При этом, переподготовка в области традиционных технических дисциплин, в свете неблагополучного состояния дел в промышленности, остается относительно неразвитой. Целью настоящей статьи является обобщение опыта, накопленного в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете (СПбГМТУ) в сфере повышения квалификации специалистов и специального дополнительного образования в области акустики.

В советские времена в СПбГМТУ существовал факультет переподготовки специалистов в области акустики машин и механизмов, который почти за полтора десятка лет выпустил для шести министерств и ведомств более 180 специалистов со вторым дипломом о высшем техническим образованием. Форма и сроки обучения при этом составляли 10 месяцев с отрывом от производства и два года без отрыва на вечернем факультете. Очевидно, что старые формы оказались неприемлемыми на современном этапе развития общества, поэтому в университете с 2000 года были организованы курсы повышения квалификации в области виброакустических измерений и защиты от шума, включающие вопросы экологической и строительной акустики. Примерное совпадение общего числа слушателей сейчас и прежде, а также относительно широкая база потребителей указанных образовательных услуг, позволяет провести сопоставление и проанализировать особенности современного этапа специального дополнительного образования в области технических дисциплин.

То, что лежит на поверхности такого анализа это востребованность коротких форм образования: от нескольких дней до нескольких месяцев. При этом возникает целый ряд вопросов, связанных со следующими обстоятельствами.

Кто является потенциальным слушателем таких курсов повышения квалификации в области традиционных технических дисциплин? Очевидно, что такое специфическое образование получают не для развития личности, а для получения необходимейших знаний и в первую очередь навыков в какой либо

производственной сфере деятельности. Получение навыков в процессе обучения требует специализированного учебного оборудования, аппаратуры и, следовательно априорно не может быть более дешевым, чем упомянутые выше бухгалтерские и компьютерные дисциплины, связанные в первую очередь с ликвидацией соответствующей безграмотности. Поэтому потенциальным заказчиком такого обучения является не физическое лицо, например, желающее сменить профиль деятельности, а работодатель, рассчитывающий получить в короткий срок грамотного специалиста и желательно без отрыва от производства. Статистика свидетельствует, что 85% слушателей курсов являются людьми старше 30 лет (см. диаграмму №1), которые, во-первых, относительно незаменимы на работе, а во-вторых, категорически не согласны учиться в вечернее или субботнее время. Из этого вытекает дневная форма обучения с частичным отрывом от производства, когда слушатель первую половину дня проводит на своем предприятии, а вторую на курсах. В таком режиме достаточно сложно работать и учиться длительное время, поэтому слушатели в вопросе о продолжительности обучения едины со своим работодателем – как можно короче.

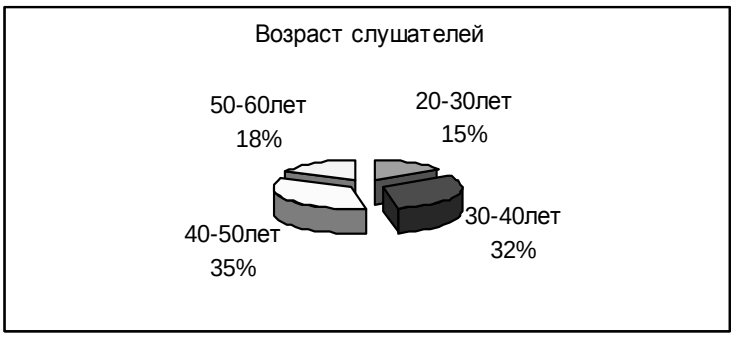


Рис.1

Естественно, что гарантия полученных знаний и навыков, подтверждаемая соответствующим свидетельством или удостоверением, требует от университета определенной продолжительности таких курсов. Как показывает накопленный опыт, оптимальной формой является 5-дневное (1 неделя) или 10-дневное обучение с возможным пролонгированием времени на выполнение выпускной работы, причем указанный объем учебных занятий (обычно с учетом самостоятельной работы слушателей составляет от 50 до 120 часов) может быть растянут по времени на несколько месяцев с проведением их один-два раза в неделю. Отмеченые условия определяют не только глубину прорабатываемого материала, но и сам выбор тематики курсов.

Например, вопросы акустической диагностики, которые весьма востребованы промышленностью, требуют от слушателя достаточно большого опыта, а от учебной программы курсов гораздо большей продолжительности. Следует также отметить, что у высших учебных заведений появляется весьма заметный конкурент – предприятия и организации, занимающиеся профессионально данными вопросами и способные обучить потенциальных слушателей в узкой и конкретной области. На наш взгляд, нишей ВУЗов является более

широкая образовательная база даже в такой особенной области как повышение квалификации специалистов.

Исходя из указанных факторов и реальной потребности заказчиков, были организованы и успешно функционируют курсы в области инструментального контроля и расчетных оценок вредных физических факторов, преимущественно акустических, окружающей среды. Особенностью контроля является владение нормативной документацией в соответствующей области и умение производить достаточно однотипные измерения. Именно такая однотипность измерений позволяет за весьма ограниченное время обучить слушателей необходимым навыкам. Этому способствует также достаточно малая номенклатура измерительных приборов, причем приблизительно 70% слушателей, обладая конкретным прибором, хорошо усваивает необходимые манипуляции с ним. Все это позволило объединить в единые группы слушателей с различной базовой профессиональной подготовкой и уровнем образования. Как видно из рис.2 только 35% слушателей обладало высшим и средним специальным техническим образованием, которое специфично для акустических измерений. Именно эти слушатели получали удостоверение о повышении квалификации. Остальные: медики-гигиенисты, химики, экономисты и выпускники профессионально технических училищ получали свидетельства и удостоверения о специальном дополнительном образовании.

Одной из особенностей курсов в области контроля физических факторов является их блочное построение по группам физических факторов, которое позволяет по желанию заказчика проходить обучение либо по всем направлениям сразу, либо по отдельности. Другой особенностью, в отличие от упомянутого факультета переподготовки специалистов и традиционных форм высшего образования, является весьма большой удельный вес лабораторных работ и самостоятельных измерений, выполняемых слушателями в процессе обучения - приблизительно 50% времени обучения посвящено получению практических навыков.

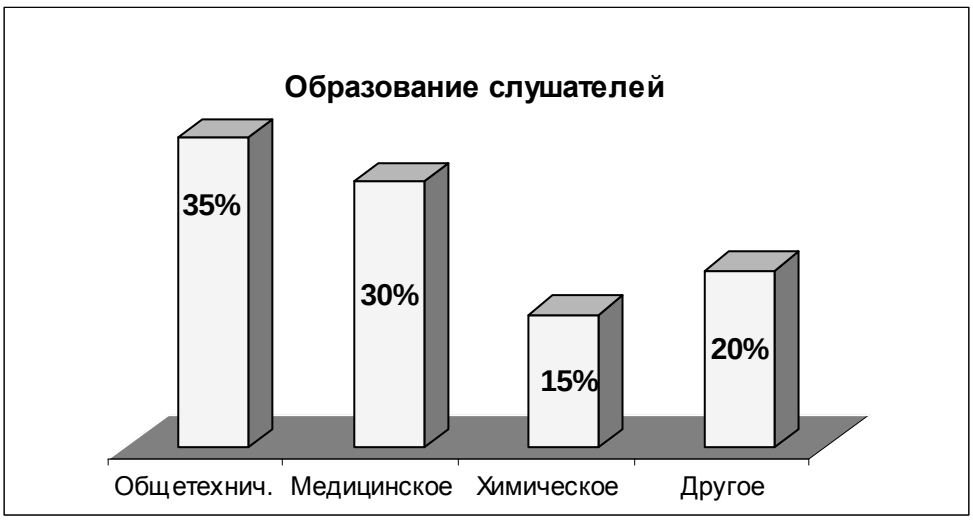


Рис.2

Из этой особенности вытекают ограничения по количеству слушателей в каждой группе, обычно не более 8-10 человек, и сложности ознакомления их со всевозможной современной и прежней все еще аттестуемой аппаратурой. Естественно у ВУЗа отсутствует полная номенклатура используемой измерительной техники, что потребовало краткосрочного привлечения к проведению курсов отдельных специалистов, обладающих такой аппаратурой. И это высветило еще одну существенную проблему в деле организации коротких форм последипломного образования. Делопроизводство в ВУЗе, как наверное в любой государственной организации, выстроено по достаточно длинной иерархической цепочке, что более или менее приемлемо для традиционных форм внебюджетного образования. Когда же оформление договорной и бухгалтерской документации, а также оформление работы преподавателей нужной специализации по времени сопоставимо или превышает длительность самого обучения, то такие формы становятся экономически нецелесообразными.

Частичным выходом из указанной ситуации явилась практика проведения лабораторных работ с использованием измерительных приборов, приносимых слушателями на занятия, что позволяет обойтись не только без сторонних специалистов, но также отслеживать в процессе обучения новейшие достижения на рынке виброизмерительной техники.

Таким образом, благодаря достаточно широкой по профессиональной подготовке базе слушателей и блочному построению курсов, удалось заинтересовать различных заказчиков, в роли которых выступали государственные учреждения, промышленные предприятия и небольшие фирмы в основном экологического направления (см. рис.3). Это еще одна иллюстрация того факта, что без потребности и развития промышленности короткие формы дополнительного специального образования в области технических дисциплин оказываются невостребованными.

Рис.3

Представленный анализ опыта проведения коротких форм дополнительного специального образования в области акустики позволяет, по мнению авторов, сформулировать следующие выводы.

1. Короткие формы такого образования жизнеспособны только как ответ на потребности промышленности, т.е. при ее достаточном развитии.
2. Курсы обучения, реализующие короткие формы образования должны иметь блочное построение, увеличивающее их вариативность и иметь продолжительность не более нескольких недель.
3. Обучение должно опираться в первую очередь на выработку навыков, а во вторую на получение знаний, что требует большой доли лабораторных и практических занятий в учебном плане курсов.
4. Заказчиками коротких форм технического образования являются преимущественно организации, а слушателями – сотрудники этих организаций.
5. Организационная структура ВУЗов плохо приспособлена для организации и проведения коротких форм образования в области технических дисциплин.

ПРИМЕР АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЯ

Гладилин А.В., Канев Н.Г., Миронов М.А.
Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева, Москва
nikolay.kanev@mail.ru

Введение

В предыдущих работах авторов [1-6] предложен метод гашения звуковых волн с помощью локальных устройств – активных резонаторов. Эффективность обычных резонаторов для рассеяния и поглощения звука известна давно и широко используется на практике. Однако существенных недостатком резонансных систем является их узкополосность: амплитуда колебаний резонаторов достаточно велика только в малой окрестности резонансной частоты, а максимальные значения рассеиваемой и поглощаемой мощности достигаются только на одной (резонансной) частоте. Предложенный метод основан на активном управлении, которое позволяет существенно увеличить частотную полосу эффективной работы резонаторов. Суть метода заключается в управлении движением резонатора в зависимости от звукового поля в его окрестности. На каждой частоте некоторого диапазона активным способом подбирается такая скорость резонатора, чтобы она совпадала с его скоростью на резонансной частоте. Указанный подход фактически оптимизирует импеданс резонатора в широкой полосе частот и, таким образом, может быть отнесен к одному из современных подходов в области активного гашения звука – методу согласования импедансов [7,8]. Предлагаемый метод активного гашения на основе локального управления имеет простой принцип использования. Если известно решение задачи о гашении звука резонатором, то это решение для его резонансной частоты обобщается на все остальные частоты.

Практическая конструкция активного резонатора состоит из излучателя (как правило, динамический громкоговоритель) и приемника (как правило, ненаправленный микрофон), которой расположен в непосредственной близости от излучателя. Сигнал с приемника передается на частотный фильтр и, затем, на усилитель, формирующий сигнал для излучателя. Путем регулировки передаточной функции фильтра можно регулировать акустический импеданс излучателя и подбирать его необходимое значение в зависимости от решаемой задачи. При этом оптимальное значение передаточной функции не зависит от внешнего поля, поэтому реализация гасящей системы не требует адаптивных методов – для начала работы системы требуется однократная настройка частотного фильтра.

Возможности активных резонаторов продемонстрированы на ряде экспериментальных примеров. Во всех случая удалость достичь значительной степени гашения звуковых полей в широкой полосе частот, многократно превышающей полосу эффективной работы обычных резонаторов.

Предложенный метод лег в основу системы активного гашения шума, распространяющегося в системах вентиляции и кондиционирования [6].

Концепция описанного метода, очевидно, может быть применена и для задач гашения вибрация, в частности, изгибных колебаний стержней и пластин. Возможности резонаторов для гашения изгибных колебаний достаточно широко изучены [9-11]: они применяются для вибропоглощения и виброизоляции. В настоящей работе развивается концепция использования активных резонаторов для гашения изгибных колебаний на примере стержня. Сначала дается общее описание метода, а затем приводятся результаты экспериментального испытания предложенного метода.

Активный резонатор для гашения изгибных колебаний

Рассмотрим стержень, в котором распространяется гармоническая изгибная волна с частотой ω и волновым числом k. Закрепим к стержню в некоторой точке излучатель вибрации – актюатор, действующий на стержень перпендикулярно силой F_a. Тогда уравнение движения излучателя можно записать в общем виде:

$$m\ddot{\xi} = -\gamma\dot{\xi} - \kappa\xi + F_a + F, \tag{1}$$

где m – масса излучателя, κ – упругость подвески, γ – коэффициент трения, ξ – смещение излучателя, равное смещению стержня в точке закрепления излучателя, F – сила, действующая со стороны стержня на излучатель. Из (1) получаем выражение для импеданса излучателя:

$$Z_a = \frac{F}{\dot{\xi}} = Z_m - \frac{F_a}{\dot{\xi}}, \tag{2}$$

где $Z_m = -i\omega m + \gamma + \dfrac{\kappa}{-i\omega}$ – механический импеданс излучателя.

Для того чтобы сформировать силу F_a, разместим на стержне датчик виброскорости в точке закрепления излучателя. Отношения между измеренной скоростью и силой, действующей со стороны излучателя на стержень, обозначим $Z_i = F_i / \dot{\xi}$. Эта величина характеризует обратную связь между приемником и излучателем. Тогда выражение для импеданса излучателя (2) примет вид:

$$Z_a = Z_m - Z_i \tag{3}$$

Из (3) следует, что импеданс излучателя может регулироваться путем изменения передаточной функции обратной связи. Если для некоторой задачи гашения необходимо обеспечить импеданс излучателя равный Z_r, тогда обратная связь должна иметь следующую передаточную функцию

$$Z_i = Z_m - Z_r \tag{4}$$

Таким образом, для реализации системы активного гашения необходимо обеспечить обратную связь (4) в необходимой полосе частот.

Устройство активного резонатора

Для практической реализации представленного метода предлагается следующая конструкция активного резонатора (рис. 1). В качестве излучателя применяется динамический актюатор, конструкция которого похожа на конструкцию обычного громкоговорителя. Подвижная часть излучателя – сердечник с катушкой длиной l – помещена в магнитное поле с индуктивностью B. Сердечник закреплен на подвеске, упругость которой равна κ. Общая масса подвижной части излучателя – m, коэффициент трения – γ. Сигнал с приемника – датчика виброскорости – равный $U_1 = Q\dot{\xi}$, где Q – чувствительность приемника, передается на частотный фильтр и усилитель, которые характеризуются коэффициентом передачи K. С усилителя на излучатель подается управляющий сигнал $U_2 = KU_1$. Сила, движущая сердечником, равна:

$$F_a = Bl\frac{U_2 - Bl\dot{\xi}}{R} \tag{5}$$

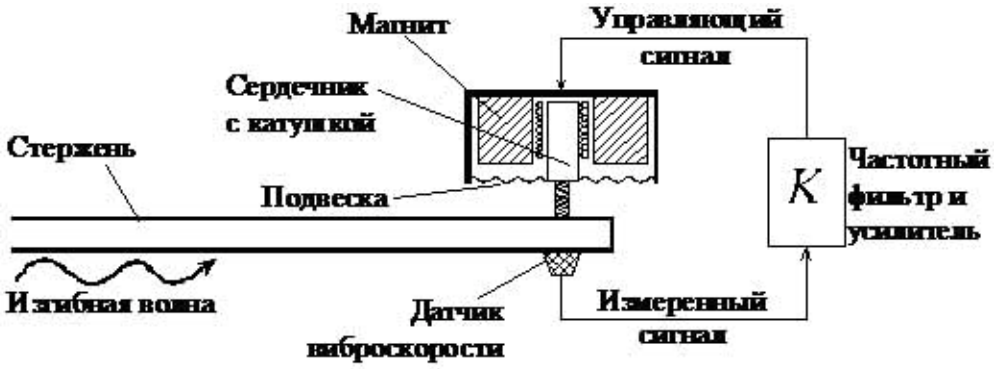


Рис. 1. Схема устройства активного резонатора

Подставляя (5) в (2), находим импеданс активного резонатора:

$$Z_a = Z_m + \frac{(Bl)^2}{R} - \frac{Bl}{R}QK \tag{6}$$

Второе слагаемое в (6) является добавкой к коэффициенту трения γ. Далее будем опускать это слагаемое, полагая его включенным в γ. Если для решения поставленной задачи необходимо обеспечить импеданс активного резонатора Z_r, то коэффициент обратной связи должен иметь следующее значение:

$$K = \frac{R}{BlQ}\left(Z_m - Z_r\right) \tag{7}$$

Таким образом, найденный коэффициент обратной связи является решением поставленной задачи. Ключевым моментом реализации рассматриваемого метода становится реализация (7) в широкой полосе частот.

Поглощение изгибных волн

Известно, что одиночный резонатор способен поглотить не более половины мощности падающей на него волны [11]. Поэтому рациональнее использовать резонаторы для поглощения изгибных волн в стержнях конечной длины [10]. На рис.2а представлена схема экспериментальной установки. На одном конце алюминиевого стержня длиной 2м и поперечного сечения 20х2 мм расположен динамический излучатель, а на другом – активный резонатор, настроенный на максимальное поглощение. Эффективность поглощения определяется по сигналу с вибродатчика, расположенного примерно по середине стержня.

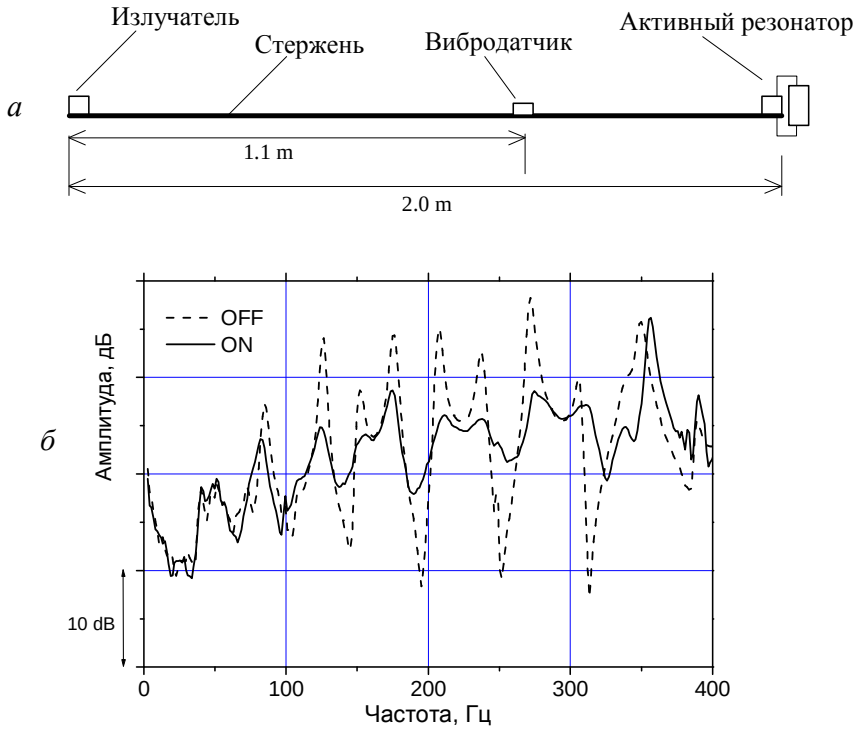


Рис. 2. Поглощение изгибных волн в стержне активным резонатором:
а – схема экспериментальной установки;
б – амплитуда сигнала на вибродатчике
(OFF – активный резонатор отключен, ON – активный резонатор включен)

На рис.2б представлены спектры сигналов вибродатчика. При отключенном активном резонаторе пики на спектре свидетельствуют о малом

поглощении в стержне, это означает, что изгибные волны почти полностью отражаются от активного резонатора. При включении активного резонатора высота пиков значительно снижается в полосе частот 80-350 Гц. Полученное снижение соответствует значениям коэффициента отражения 0,05-0,15.

Виброизоляция изгибных волн

Известно, что одиночный резонатор способен полностью отразить падающую на него изгибную волну [9,11]. На рис. 3а представлена схема экспериментальной установки для исследования виброизоляции изгибных волн активным резонатором. В отличие от схемы на рис. 2а активный резонатор располагается примерно по середине стрежня. На свободном конце стержня располагается поглощающая структура для подавления собственных резонансов стержня. Эффективность виброизоляции измеряется вибродатчиком, расположенным за активным резонатором.

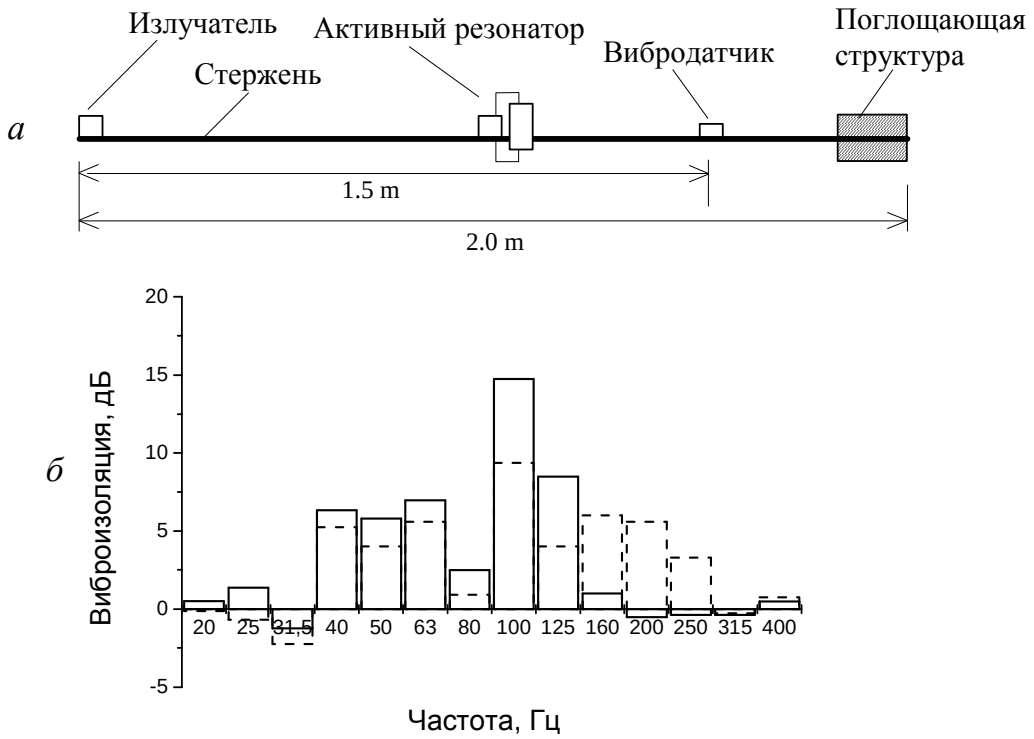


Рис. 3. Изоляция изгибных волн в стержне активным резонатором:
а – схема экспериментальной установки;
б – амплитуда сигнала на вибродатчике
(OFF – активный резонатор отключен, ON – активный резонатор включен).

На рис. 3б представлена частотная зависимость виброизоляции (разность между уровнем вибрации на вибродатчике при отключенном и включенном активном резонаторе), обеспечиваемой активным резонатором, при двух различных его настройках.

Заключение

Концепция использования активных резонаторов для гашения звуковых волн применения для гашения изгибных колебаний. Предложена практическая конструкция активного резонатора, получены условия его оптимальной работы. Работоспособность данного подхода продемонстрирована на двух экспериментальных примерах.

Литература

1. Гладилин А.В., Догадов А.А., Канев Н.Г., Миронов М.А. Рассеяние звука резонансным диполем с обратной связью // Сборник трудов XIII сессии РАО. Т. 1. с. 276-279. Москва, ГЕОС, 2003.
2. Kanev N., Mironov M. Passive and active dipole reflector for a narrow tube open end // Proc. of Euronoise-2006. Acta Acustica united with Acustica. 2006. Vol. 92. Suppl. 1. P. 15.
3. Kanev N., Mironov M., Gladilin A., Dogadov A. A new approach to active noise control: active resonators // Proc. of 8th Conference on Active Noise and Vibration Control Methods MARDiH, June 11-14, 2007, Krakow-Krasiczin, Poland. P. 225-232.
4. Kanev N., Mironov M. Sound absorption by an active resonator in a tube and in an enclosure // Proc. of 19th International Congress on Acoustics, September 2-7, 2007, Madrid, Spain.
5. Канев Н.Г., Миронов М.А. Активные резонаторы для гашения звука в узких трубах // Акуст. журн., 2008, Т. 54, № 3, с. 505-512.
6. Гладилин А.В., Догадов А.А., Канев Н.Г., Миронов М.А. Технология и система активного гашения шумов в вентиляционных системах // Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференций «Защита населения от повышенного шумового воздействия», 17-19 марта, 2009, г. Санкт-Петербург.
7. Furstoss M., Thenail D., Galland M.A. Surface impedance control for sound absorption: Direct and hybrid passive/active strategies // J. Sound and Vib. 1997. V. 203. No. 2. P. 219-236.
8. Бобровницкий Ю.И. Метод полного согласования импедансов для активного управления акустическим полем в помещении // Акуст. журн. 2003. Т. 49. № 6. С. 731–737.
9. Клюкин И.И. Об ослаблении волн изгибы в стержнях и пластинах при помощи резонансных колебательных систем // Акуст. журн., 1960, Т. 4, № 2, с. 213-219.
10. Тютекин В.В., Шкварников А.П. Синтез и исследование поглотителей изгибных волн в стрержнях и пластинах// Акуст. журн., 1972, Т. 18, № 3, с. 505-512
11. Лапин А.Д. Резонатор монопольно-дипольного типа для изгибных волн в стержне // Акуст. журн., 2004, Т. 50, № 1, с. 441-447.

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ЗВУКА, СОЗДАВАЕМЫХ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ, НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Марков С.Б. [1], *Пшенин В.Н.* [1], *Пименов И.К.* [2]
ЗАО "Экотранс-Дорсервис" (1)
Санкт-Петербургский морской технический университет (2)
markov@ecotrans.spb.ru

В настоящее время автомобильный транспорт стал одним из основных видов источников шумового воздействия на окружающую среду. Очевидно, что вопросы по оценке степени акустического воздействия транспортных потоков должны решаться уже на стадиях проектирования автодорог и объектов транспортного комплекса.

Точность и достоверность расчетных оценок, их полнота определяют объем необходимых шумозащитных мероприятий, финансовые затраты и, в конечном итоге, возможность строительства транспортных объектов.

Важной составляющей при проведении оценки акустического воздействия является выбор критериев и, соответственно, шумовых характеристик, подлежащих определению. В РФ в качестве основной характеристики шума транспортных потоков принят эквивалентный уровень звука - $L_{Аэкв}$. Нормативными документами, определяющими эту характеристику, а также методы её измерения, являются ГОСТ 20444-85 и ГОСТ 12.1.003-83 [1, 2].

Введение эквивалентного уровня, как основной характеристики транспортного шума, обусловлено в первую очередь санитарно-гигиеническими критериями воздействия шума на человека. В РФ документом, регламентирующим санитарно-гигиенические критерии воздействия, является СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [3].

Эквивалентный уровень шума, как характеристика, отвечает физической природе шума, создаваемого автомобильным транспортом. Шуму транспортных потоков присущи такие характерные особенности как резкие колебания уровня по амплитуде, отсутствие временных зависимостей, неопределенность динамического диапазона. Такие особенности определяются стохастическим характером изменения интенсивности и состава движения, скоростных режимов и режимов работы двигателей автомобилей, разбросом шумовых характеристик автомобилей в зависимости от их технического состояния и др. Все это приводит к невозможности установления точных закономерностей для оценки уровня шума.

Практика исследования показала, что единственно возможным методом изучения, описания и оценки такого вида шума, является статистическая обработка и анализ результатов натурных измерений. На основании

результатов такой статистической обработки установлены расчетные зависимости и разработаны расчетные методики, которые используются для расчета и прогнозирования. В РФ такие методики изложены в следующих нормативных документах [4, 5, 6]

Помимо эквивалентного уровня звука, для оценки шума используются и другие статистические характеристики: L_{10}, L_{50} , L_{90} и L_{99} – уровни не превышаемые в течении 10, 50, 90 и 99 % времени наблюдения шумового воздействия. До введения эквивалентного уровня звука, нормируемой величиной являлся L_{90}.

Конечной целью акустических расчетов является оценка степени и характера шумового воздействия на окружающую среду, в первую очередь на человека. Санитарно-гигиенические критерии оценки воздействия [3] определяют допустимые значения для двух характеристик: эквивалентных $L_{Аэкв}$ и максимальных уровней звука $L_{Амакс}$. Понятие максимального уровня звука $L_{Амакс}$ определено [2] и дополнено ГОСТ 23337-78 [7]. Последний документ допускает принимать за максимальный уровень звука L_{Amax}, дБА уровень звука L_A, дБА, превышаемый в течение 1 % времени измерения шума Т. Принимая во внимания возможность современных цифровых приборов проводить статистическую обработку результатов измерения в реальном времени, логично пользоваться этим определением.

В отличие от эквивалентного, максимальный уровень звука не установлен в качестве шумовой характеристики транспортного потока, методики и рекомендации позволяющие произвести его расчет отсутствуют. Таким образом, оценка шумового воздействия транспортного потока по критерию максимального допустимого уровня звука методически не обеспечена.

До недавнего времени на этом вопросе внимания не акцентировали, и считалась достаточной оценка по допустимому эквивалентному уровню. Однако в настоящее время, особенно со стороны органов экспертизы, часто возникает вопрос о необходимости оценки воздействия и по максимальному значению, что за неимением методических оснований ставит проектировщиков в безвыходное положение.

Для решения задачи по расчету и оценке L_{Amax} могут быть использованы разные подходы. Наиболее целесообразными представляются следующие:

1. Разработка нормативного документа, устанавливающего предельные значения максимальных уровней звука для разных типов дорог на основе экспериментальных исследований шумовых характеристик существующего транспорта.
2. Установление расчетной зависимости для L_{Amax} как функции характеристик транспортных потоков и дорог.
3. Установление связи между эквивалентным и максимальным уровнем через поправку, которая определяется разностью между ними.

Первый из перечисленных подходов был бы удобен и очень прост в использовании, однако его практическая реализация связана с очень большими трудностями.

Во-первых, для установления предельных уровней потребуется проведение статистического анализа большого количества натурных измерений. Необходимы не просто измерения шума транспортных потоков, но изучение шума разных автомобилей в реальных условиях. Возможно использование большого опыта по измерениям и обработке результатов шума различных транспортных средств, накопленных в 70-80 годы. Однако необходимо иметь в виду, что из-за значительного изменения состава автомобильного парка, полученные ранее шумовые характеристики могли многое утратить в своей достоверности. Таким образом, проведение большого количества специфических измерений становится неизбежным.

Во-вторых, процедура разработки и принятия нормативного документа потребует больше времени, нежели собственно сами исследования. Кроме того, такой документ должен будет периодически пересматриваться, поскольку шумовые характеристики автомобилей меняются. К сожалению общеизвестно, что изменение нормативной базы происходит довольно медленно.

Второй подход к решению рассматриваемой задачи представляется более плодотворным. Установление расчетной зависимости для L_{Amax} в виде функции интенсивности движения, скоростного режима, состава потока транспортных средств и других параметров транспортного потока, позволяет получить универсальную методику, позволяющую учитывать все особенности движения.

Решение подобной задачи, вообще говоря, уже существует. Например, в работе [8] предложена и обоснована модели, позволяющая определить максимальные уровни звука.

Значение максимального уровня звука может быть получено при использовании т.н. детерминистической математической модели. Эта модель позволяет определять как эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, так и любые другие статистические характеристики - L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{99} . Исходными данными в этой модели являются пиковые уровни звука одиночных автомобилей, интенсивность движения и состав потока. Пиковые уровни могут быть либо измерены, либо получены с использованием формул приведенных в этой же работе.

Определив характеристику L_{99}, фактически получаем искомое значение максимального уровня звука - L_{Amax}. При этом важно отметить, что $L_{Аэкв}$, L_{Amax} (L_{99}) и другие статистические характеристики можно вычислять не только в точке на расстоянии 7,5 м от середины ближайшей полосы, но и на любых других расстояниях.

Этот метод, помимо достоинств, имеет определенные недостатки. Значительное влияние на результат оказывает выбор пиковых уровней, определение которых может производиться разными способами. На конечный результат влияет выбор характеристик транспортного потока, интервалов между машинами, не учитываются распределение автомобилей по скоростям, условия распространения и др. Впрочем, эти недостатки не носят критического характера и могут быть устранены.

Третий подход к решению задачи по оценке L_{Amax} заключается в установлении связи между эквивалентным и максимальным уровнем через поправку, которая определяется разностью между ними:

$$Delta = L_{Amax} - L_{Аэкв}$$

Это решение может быть основано на анализе результатов измерений шума транспортных потоков и использовано для получения практических оценок.

Большой объем результатов измерений акустического воздействия транспортных потоков и накопленный исследовательский опыт, полученный виброакустической лабораторией ЗАО «Экотранс-Дорсервис» за много лет работы в области дорожного проектирования и строительства, позволил провести такую работу.

Статистической обработке и анализу подвергнуты результаты измерений шумовых характеристик транспортных потоков и шума на селитебных территориях. Для обработки были выделены три вида измерений:

1. Измерения стандартных шумовых характеристик транспортных потоков;
2. Измерения максимальных и эквивалентных уровней звука, измеренных у фасадов жилых зданий, расположенных на расстояниях от 15 до 25 м от края проезжей части;
3. Измерения максимальных и эквивалентных уровней звука на внутридворовых территориях.

На рис. 1 приведены графики изменения максимальных и эквивалентных уровней звука транспортного шума на расстоянии 7,5 м в зависимости от интенсивности движения транспортных потоков. На рис. 2 представлен график разности между максимальными и эквивалентными уровнями звука для этой же ситуации.

Ломаные линии представляют собой графики, построенные по результатам натурных измерений. Гладкие линии – линии, полученные в результате аппроксимации экспериментальных данных полиномом второй степени.

По линии аппроксимации на рис. 2 видно, что с увеличением интенсивности движения разность между уровнями уменьшается. Такое поведение кривой имеет простое объяснение: интервалы между машинами сокращаются, уменьшаются перепады звука и как следствие растет эквивалентный уровень. Максимальный уровень звука также возрастает, но не за счет возрастания пиковых значений самых шумных автомобилей, а за счет роста интенсивности.

Даже при низких интенсивностях максимальный уровень звука не превосходит эквивалентный более чем на 12 - 16 дБА. При интенсивностях более 200 авт./час, разница уровней становится меньше 15 дБА. Средняя интенсивность движения на городских улицах и магистралях превышает 200 авт./час, и, следовательно, максимальный уровень звука транспортного потока не превосходит эквивалентный уровень более чем на 15 дБА.

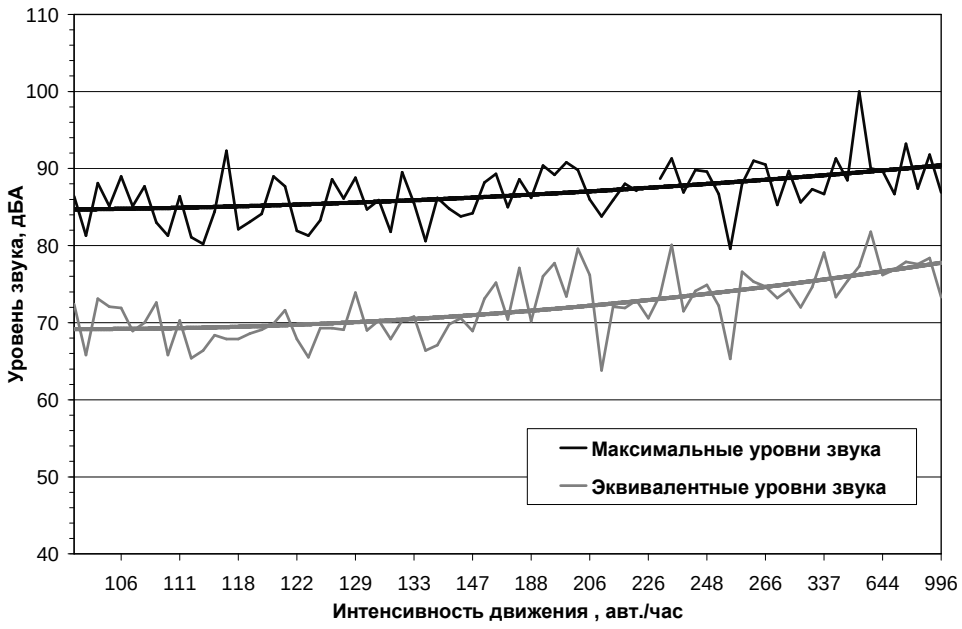


Рис. 1. Зависимости максимальных и эквивалентных уровней звука от интенсивности движения на стандартном расстоянии 7,5 м.

Рассмотренные результаты получены исходя из измерений, проводившихся в соответствии с [1] на расстоянии 7,5 м от оси ближайшей полосы движения. Как правило, селитебные территории и жилые здания, расположены на расстояниях превосходящих указанное, поэтому необходимо рассмотреть, как изменяются максимальный и эквивалентный уровень транспортного потока на больших расстояниях.

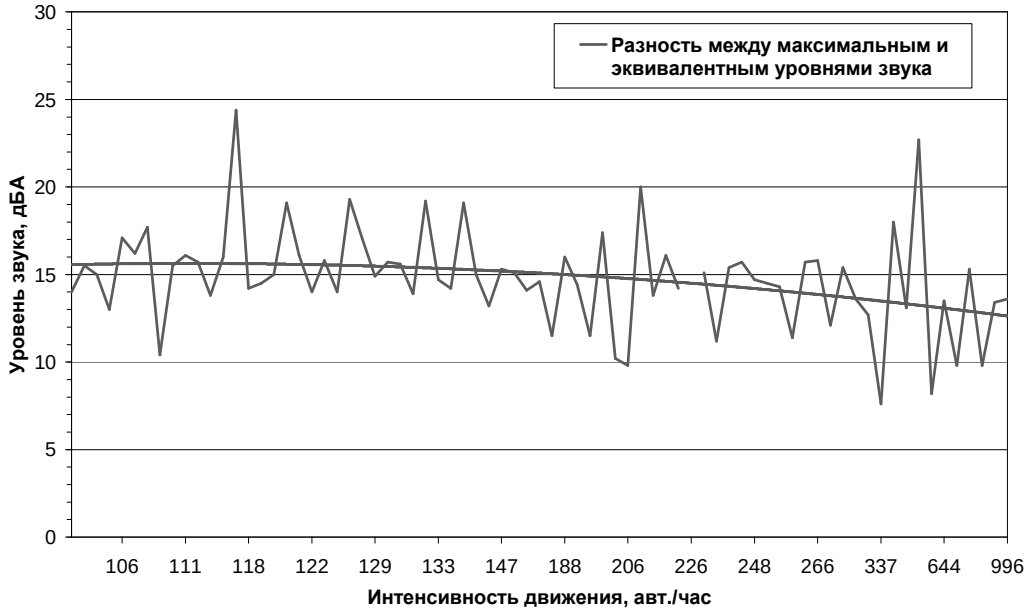


Рис. 2. Зависимость разности между максимальными и эквивалентными уровнями звука от интенсивности движения на стандартном расстоянии 7,5 м.

На рис. 3 приведены графики изменения максимальных и эквивалентных уровней звука, измеренных у фасадов жилых зданий, расположенных на расстояниях от 15 до 25 м от края проезжей части, в зависимости от интенсивности движения.

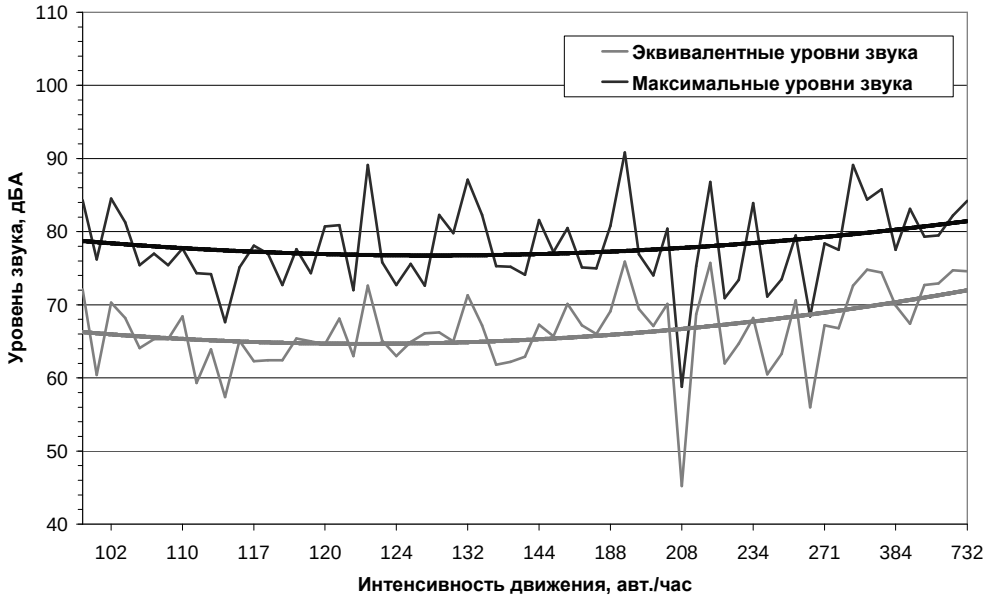


Рис. 3. Зависимость максимальных и эквивалентных уровней звука, измеренных у фасадов жилых зданий, от интенсивности движения.

На рис. 4 построен график характеризующий изменение разности между максимальными и эквивалентными уровнями звука, измеренными у фасадов зданий.

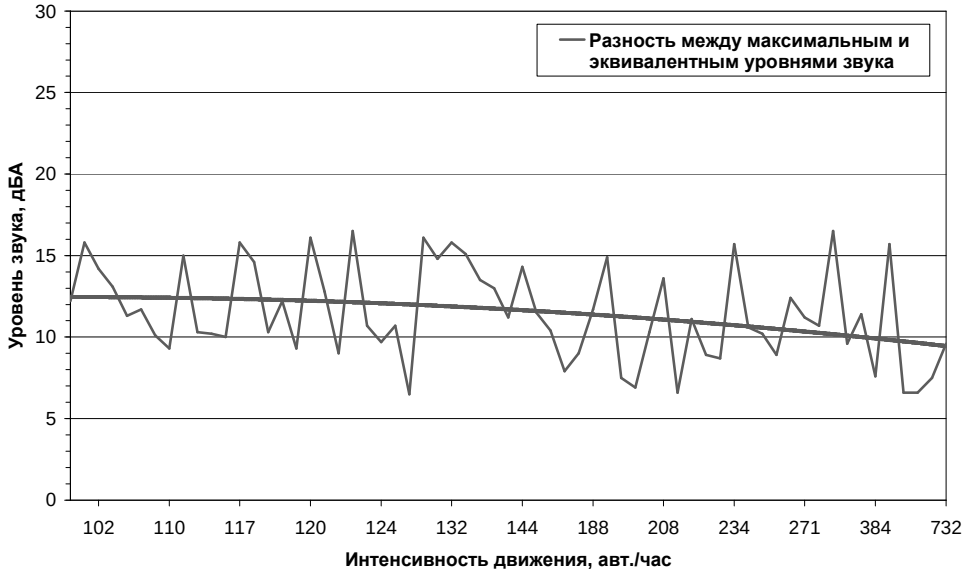


Рис. 4. Зависимость разности между максимальными и эквивалентными уровнями звука, измеренными у фасадов жилых зданий, от интенсивности движения.

Важно отметить, что эти измерения проводились в одно время с измерениями шума транспортных потоков, которые обсуждались выше.

По поведению линий аппроксимации на рис. 3 и 4 видно, что, во-первых, тенденции изменения уровней и разности уровней сохраняются, а во-вторых, разность уровней снизилась во всем диапазоне интенсивностей до 9-12 дБА. При интенсивностях более 200 авт./час разность не превосходит 11 - 12 дБА. Из теории известно, что спад эквивалентного уровня звука от линейного источника составляет 3 дБА с удвоением расстояния, а спад точечного 6 дБА, следовательно, уменьшение разности уровней на 3 дБА вполне закономерно.

Таким образом, можно говорить о том, что с удалением от дороги разность уровней уменьшается, а спад максимального уровня происходит по закономерностям, описывающим точечный источник.

Помимо исследований шума транспортных потоков, были исследованы результаты измерений уровней шума на внутридворовых территориях. Общий фоновый уровень на таких территориях определяется коммунальными и бытовыми источниками шума, а влияние транспорта невелико. Данные измерения не связаны по времени с рассмотренными ранее измерениями транспортного шума и проводились независимо.

На рис. 5 приведены графики изменения максимальных и эквивалентных уровней звука, измеренных на внутридворовых территориях. На рис. 6 отображены разности между максимальными и эквивалентными уровнями звука.

Из графиков, приведенных на рис. 5 и 6, видно, что, разность уровней при измерениях на внутриквартальных территориях составляет от 10 до 12 дБА.

После статистической обработки результатов трех видов измерений получены оценки, представленные в таблице 1:

Таблица 1

Результаты статистической обработки разности максимальных и эквивалентных уровней звука для трех видов измерений

№	Вид измерения	Математическое ожидание, дБА	Среднеквадратичное отклонение, дБА
1	шумовые характеристики транспортных потоков	14,75	2,85
2	уровни звука, измеренные у фасадов жилых зданий	11,44	2,88
3	уровни звука, измеренные на внутридворовых территориях	14,99	3,88

Величина среднеквадратичного отклонения первых двух видов измерений укладывается в общепринятый для акустических измерений и расчетов интервал +/- 3 дБА, и полученные результаты могут быть использованы для проведения практических оценок.

Для третьего вида измерений величина среднеквадратичного отклонения укладывается в несколько больший интервал - +/- 4 дБА. Меньшая точность этого вида измерений определяется природой внутридворового шума. Этот вид шума носит ярко выраженный стохастический характер, его источники чрезвычайно разнообразны и их поведение хуже прогнозируется.

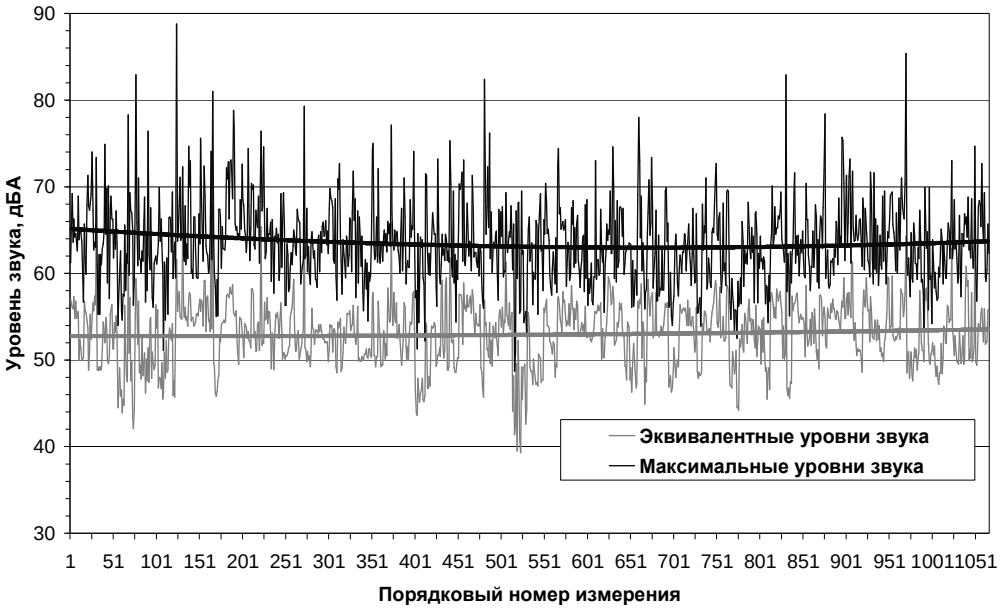


Рис. 5. Максимальные и эквивалентные уровни звука, измеренные на внутридворовых территориях

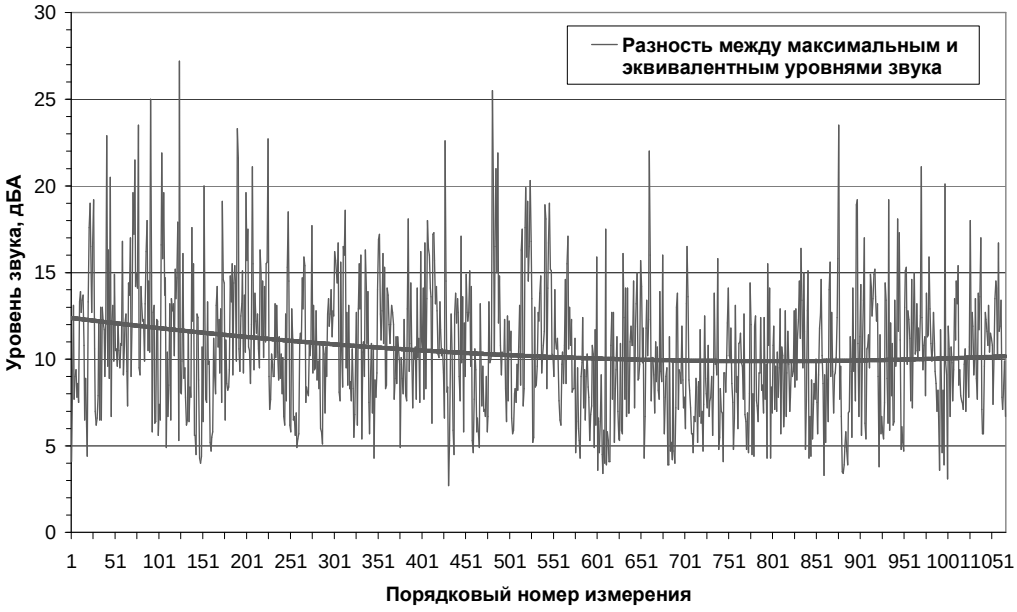


Рис. 6. Разность между максимальными и эквивалентными уровнями звука, измеренными на внутридворовых территориях

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами исследований, проводимых ранее. В частности, в работе [8] представлены результаты статистической обработки результатов измерений шума транспортных потоков. На рис. 7 представлены графики зависимости статистических характеристик транспортного шума $L_{Аэкв}$, L_{10} , L_{50} , L_{90} и L_{99} из этой работы.

Из сравнения графиков зависимостей $L_{Аэкв}$ и L_{99}, видно что при интенсивностях более 200 авт./час разница между этими уровнями не превышает 13-14 дБА, и при увеличении интенсивности до 1200 авт./час снижается до 10 дБА. Отличие этих результатов от результатов, полученных в настоящей работе, не превышает 1-2 дБА, что говорит о достоверности сделанных оценок.

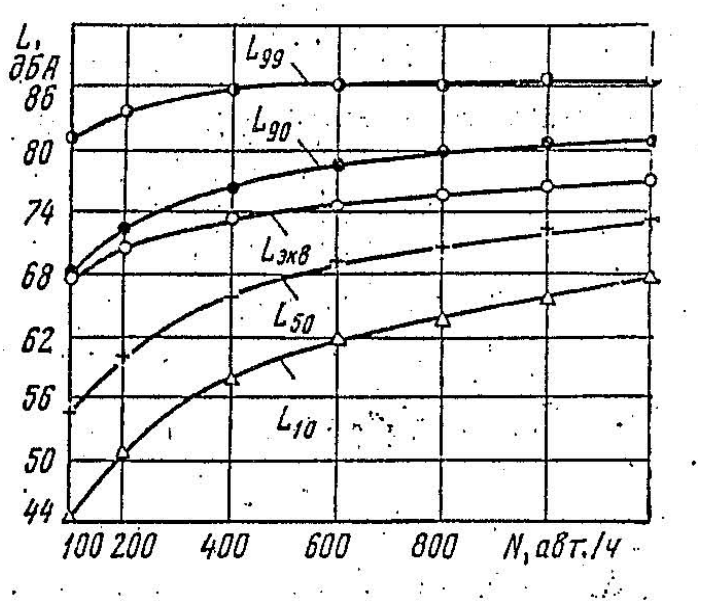


Рис. 7. Зависимость характеристик L транспортного шума от интенсивности N движения при 60% легковых автомобилей в транспортном потоке.

Подводя итог вышеизложенному, можно сделать следующие выводы:

Поправка, величина которой определяется как разность между максимальным и эквивалентными уровнями шума транспортных потоков, не превосходит 15 дБА для дорог с интенсивностью более 200 авт./час. По мере удаления от дороги на расстояние более 7,5 м, наблюдается тенденция к снижению величины поправки, которая не превышает 11-12 дБА на расстояниях 15-25м. Дальнейшее снижение величины поправки не происходит, поскольку максимальный уровень определяется уже не транспортным потоком, а другими источниками;

Поскольку допустимые нормативы по эквивалентным и максимальным уровням шума отличаются на 15 дБА, можно утверждать, что в тех случаях, когда превышения эквивалентного уровня шума не наблюдается, не будет превышен и максимальный уровень.

Выполненные исследования, дают убедительные основания для проведения оценки максимальных уровней звука посредством их определения через эквивалентные уровни. Они подтверждают, что установление норм по эквивалентному и максимальному уровням звука с разницей 15 дБА, имело вполне разумные основания и практическую значимость.

Литература

1. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики;
2. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности;
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
4. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. (Согласованы с Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 19.06.1995 №03-19/АА). М., 1995 г.;
5. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения. Министерство транспорта РФ. Гос. Служба дорожного хозяйства (Росавтодор). Москва. 2003 г. /утверждены распоряжением Минтранса России № ОС-362-р от 21.04. 2003 г.;
6. МГСН 2.04-97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях;
7. ГОСТ 23337-78. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий;
8. П. И. Поспелов. Борьба с шумом на автомобильных дорогах. Москва. Транспорт. 1981 г.

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ УРОВНЕЙ ЗВУКА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА МНОГОПОЛОСНЫХ АВТОМАГИСТРАЛЯХ

Мутовкин С.А., Пшенин В.Н., Марков С.Б.
ЗАО "Экотранс-Дорсервис"
mutovkin@ecotrans.spb.ru

Защита населения от сверхнормативного шума, а также борьба с шумом - задача сложная и многоплановая, включающая ряд взаимосвязанных аспектов, среди которых наиболее важным является предупреждение негативного воздействия на человека, в том числе снижение уровня шума на дорогах, подбор рациональных способов защиты от шума. От точности прогнозных оценок и расчетов акустического воздействия зависят назначаемые мероприятия по снижению негативного воздействия, вызванного высоким уровнем шума и, соответственно, затраты на эти мероприятия. Затраты эти могут быть существенными, что предъявляет повышенные требования к точности расчетных оценок.

Если говорить о точности расчетных оценок, то в настоящее время представляется весьма важным иметь более точное представление об уровнях шума в непосредственной близости к многополосным транспортным магистралям с высокой интенсивностью движения. Упрощенные подходы к расчету уровней шума в этих условиях, которые до сих пор встречаются на практике, нередко приводят, на наш взгляд, к завышенным оценкам шума, а, следовательно, и к неоправданным расходам на шумозащитные мероприятия. Это подтверждается и натурными измерениями.

Для многополосных магистралей, как нетрудно заметить, на расстояниях, сопоставимых с шириной магистрали, важным является отдельный учет расстояния каждой из полос движения до контрольной точки, например, расположенной на расстоянии 7,5 м от оси крайней полосы движения (в соответствии с ГОСТ [1]). Методы расчета уровней шума в таких ситуациях, основанные на учете каждой из полос, как независимого источника шума, с последующим энергетическим суммированием шума от всех полос движения, хорошо известны [2], однако в повседневной инженерной практике ими, к сожалению, пренебрегают.

Для того чтобы выяснить значимость эффекта учета многополосности нами рассмотрен пример, в котором уровень шума от автомагистрали (8 полос движения, 5 м - разделительная полоса, с интенсивностью 5000 авт./час.) рассчитан обычным способом, предполагающим, что источник шума сосредоточен по оси крайней полосы движения, а также с помощью уточненного подхода, в котором каждая полоса движения рассматривается как отдельный источник шума.

Расчетным методом получены графики изменения уровней шума на расстояниях от 7,5 м и до 150 м для двух рассматриваемых случаев. Первый вариант учитывал вклад каждой полосы как отдельного источника, после чего путем энергетического суммирования вычислялся эквивалентный уровень шума. Во втором варианте рассматривалась ситуация, когда все акустические источники шума – автомобили – сосредоточены на крайней полосе движения (т.е. без учета многополосности, что нередко и встречается в практике инженерных расчетов). Результаты расчетов представлены на графике на рис. 1.

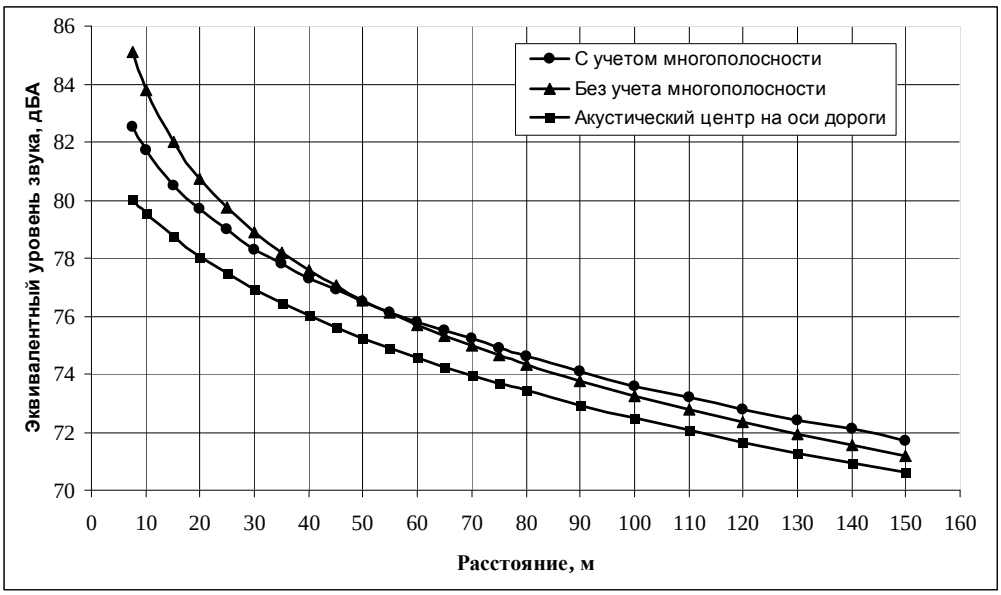


Рис. 1. Характер изменения уровня звука от автомагистрали в зависимости от расстояния от оси ближайшей полосы движения

Полученные результаты свидетельствуют о существенных для точности инженерных оценок расхождениях в оценке уровней шума в пределах расстояний, сопоставимых с шириной дороги. Действительно, на стандартном расстоянии 7,5 м от оси ближайшей полосы движения детальный учет многополосности приводит к снижению оценки уровней шума примерно на 3 дБА, что для практических ситуаций при подборе шумозащитных мероприятий может быть весьма существенным.

Очевидно, что если для простоты расчета сосредоточить источник шума посередине дороги, то в силу его удаления от кромки дороги такой подход будет давать ощутимо заниженные оценки уровней шума, не соответствующие действительности (см. рис. 1).

Не менее важным является правильный учет многополосности в расчетах при наличии у дороги шумозащитного экрана. Для оценки эффекта многополосности ниже представлены результаты расчетов, рассматривающие 3 расчетные модели распределения транспортного потока в поперечном сечении дороги, как источника шума:

– равномерное распределение по полосам (с учетом многополосности);
– весь поток сосредоточен в крайней полосе;
– акустический центр расположен на оси дороги.

Для каждого случая рассчитывалась эффективность экрана на различных расстояниях. На графике на рис. 2 представлены результаты расчетов для трех рассматриваемых модельных случаев с учетом снижения шума экранами (бесконечный экран, высотой 4 м).

Для варианта при равномерном распределении потока по полосам учитывалась эффективность экрана для каждой полосы отдельно, а далее методом энергетического суммирования вычислялось значение эквивалентного уровня шума на заданных расстояниях.

Из полученных результатов видно, что модель, рассматривающая поток, сосредоточенный в крайней полосе движения (максимальная эффективность экрана) дает завышенные оценки эффективности экранирующего эффекта. Понятно, что данная модель не может корректно характеризовать многополосную магистраль, так как не учитывает влияние дальних (по отношению к экрану) полос движения.

Модель, учитывающая пополосный расчет при оценке эффективности экрана и модель при которой акустический центр располагается на середине дороги, дают не столь оптимистичные представления об экранирующем эффекте, что соответствует и практике натурных измерений.

Представленные результаты расчетов показывают, что в рамках необходимой точности расчетов вполне допустимо при наличии экранов использовать упрощенную модель с акустическим центром, расположенном по оси дороги.

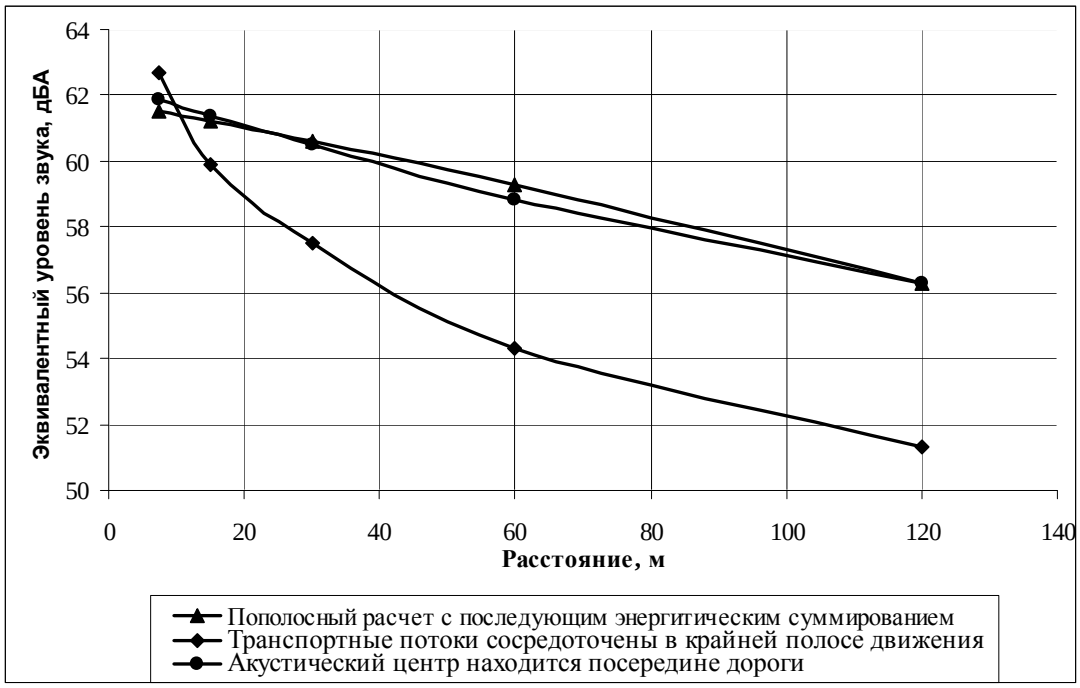


Рис. 2. Характер изменения уровня звука от автомагистрали с учетом шумозащитного экрана в зависимости от расстояния от оси ближайшей полосы движения

В литературных источниках нередко упоминается экранирующий эффект, который создают крупногабаритные грузовые автомобили, движущиеся по крайним полосам движения. Такое предположение, для оценки его значимости, заслуживает выполнения специальной расчетной оценки, которая и выполнена нами.

Для учета эффекта экранирования крупногабаритным транспортом на многополосных магистралях построена модель, в которой крупногабаритный транспорт, движущийся по крайне полосе движения, смоделирован в виде равномерно движущихся по дороге экранов по 15 м длинной и 4 м высотой, с интервалом в 30 м. Такие экраны имитируют движущиеся со скоростью 72 км/ч грузовые автомобили. Для этой модели рассчитан эквивалентный уровень шума в течении интервала 2,25 секунды за который один автомобиль (экран) сменяет другой. Расчетным способом определена эффективность таких рассредоточенных по дороге экранов, по разному расположенных относительно наблюдателя в каждый момент времени, и затем путем интегрирования по времени определен эквивалентный уровень шума. В рассматриваемых моделях источник шума расположен на второй от края полосе движения. Шум грузового транспорта в данном случае не учитывается – рассматривается только его экранирующий эффект.

На рисунке 3 представлены результаты расчетов шума на расстоянии 7,5 м от источника шума и 7,5 м от экрана, который имитировал движение по крайней полосе крупногабаритных автомобилей.

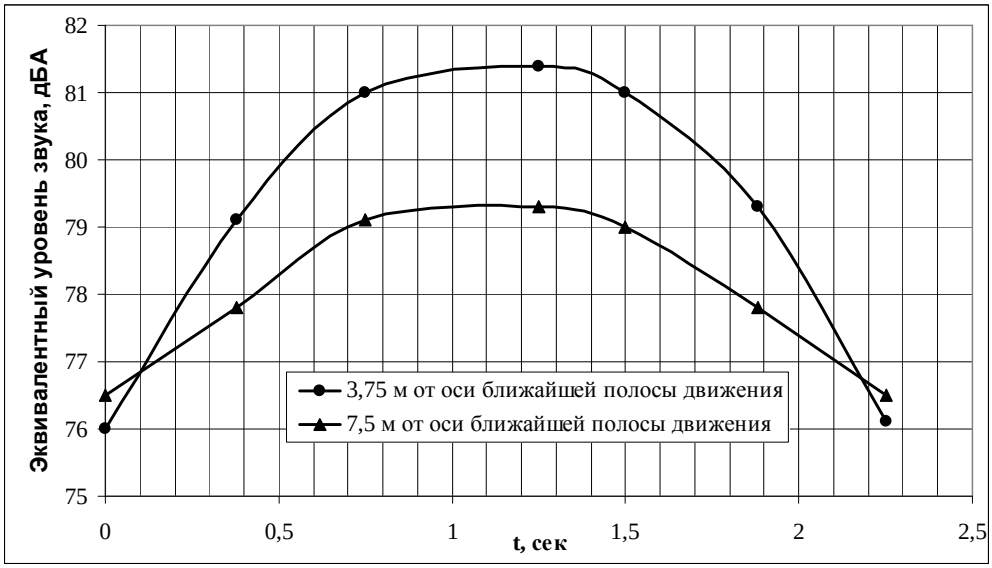


Рис. 3. Характер изменения уровней звука от автомагистрали с учетом экранирующего эффекта крупногабаритного автотранспорта, движущегося по крайней полосе, за период, в течении которого один автомобиль (экран) сменяет другой

Для данных вариантов были получены также эквивалентные уровни шума, которые потом сравнивались с эквивалентными уровнями шума, но без учета экранирующего действия грузовых автомобилей. Расхождение в значениях

оказалось менее 1 дБА. На расстоянии 7,5 м от оси ближайшей полосы движения без учета экранирующего эффекта уровень шума составляет 82,2 дБА, а с учетом экранирующего эффекта – 81,6 дБА.

На основе полученных результатов (см. рис. 4) можно говорить о том, что эффект экранирования крупногабаритными автомобилями практически не меняет картины распространения шума. Поэтому при расчетах распространения шума учитывать такой экранирующий эффект нецелесообразно.

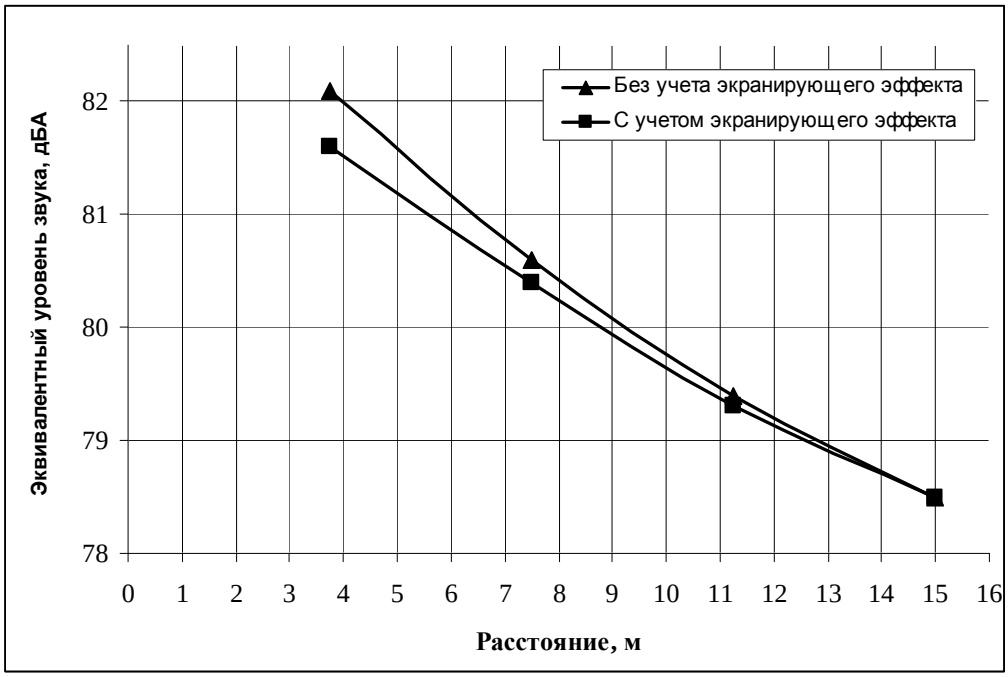


Рис. 4. Характер изменения уровня шума от автомагистрали в зависимости от расстояния с учетом/без учета экранирующего эффекта крупногабаритного автотранспорта

Проведенные расчеты показали значимость учета многополосности при расчетах как с учетом шумозащитных экранов, так и без них, на расстоянии сравнимом с шириной автомагистрали.

Учитывать экранирующий эффект крупногабаритного автотранспорта, движущегося по крайней полосе движения, нецелесообразно.

Литература

1. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. М., - 1985.
2. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Г. Л. Осипов, Е. Я Юдин, Г. Хюбнер и др.; под ред. Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина. – М.: Стройиздат, 1987. – 558 с.: ил.

ПРИБЛИЖЁННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЁТА АЭРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ВЫХЛОПА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ерофеев В.К., Генкин П.Г., Григорьев В.В., Петров С.К.
Балтийский Государственный технический университет
"ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова
paulg_gen@mail.ru

Одной из серьёзных задач отечественного автопрома является выполнение нормативов по шуму. Среди многочисленных источников шума транспортных машин (ТМ) одним из основных является шум системы выхлопа двигателей внутреннего сгорания [1, 2].

Многообразие конструкций, принципов работы глушителей, режимов работ двигателей не позволяют создать единую расчётную модель. Различные фирмы, как правило, пользуются экспериментальными методами отработки систем выхлопа, конструкций глушителей, полученные результаты являются «ноу-хау».

В данной работе на основе анализа полученных экспериментальных значений параметров акустических полей для различных моделей глушителей в выхлопных трактах и имеющихся математических моделей, разработана приближённая инженерная методика расчёта аэроакустических параметров газового тракта от цилиндров двигателя до выходного отверстия выхлопной трубы и во внешней среде. Полученные результаты (экспериментальные и численные) позволили объяснить физические механизмы генерации различных энергонесущих частот, регистрируемых в спектрах излучения выхлопных систем ТМ.

Правильное понимание физических механизмов генерации акустических полей различных частотных диапазонов и разработанные приближённые методики расчёта позволят разрабатывать эффективные средства шумоглушения для ТМ.

Общая методика расчёта включает три блока: расчёт газодинамических параметров, расчёт параметров акустических полей (широкополосный шум), генерируемых продуктами сгорания систем выхлопа, расчет собственных частот элементов выхлопного тракта (дискретные частоты).

На рис. 1 представлена принципиальная схема выхлопного тракта.

Ниже приведены основные уравнения газодинамической математической модели [3], которые позволяют определить: V - скорость, P – давление, T – температуру в различных сечениях тракта, осреднённые и пульсационные газодинамические параметры неизотермических турбулентных струй за срезом выхлопного тракта. Принятые допущения: рабочее тело – идеальный газ, газодинамические параметры- осреднены по объёму.

$$\sum_{i=1}^{N} m_{0i} = \sum_{i=1}^{N} m_i \tag{1}$$

$$m_{0i} c_v T_{0i} + \int c_p T_{i-1} d\, m_{i-1,i} - \int c_p\, T_i\, d\, m_{i,i+1} = m_i c_v T_i \tag{2}$$

$$P_i W_i = m_i R T_i \tag{3}$$

$$m_{i,i+1} = \int g_{i,i+1} dt\ , \tag{4}$$

где m, c_p, c_v, R, W, T, g - масса, теплоемкости, газовая постоянная, объем, температура, массовый расход, N-число объемов в тракте.

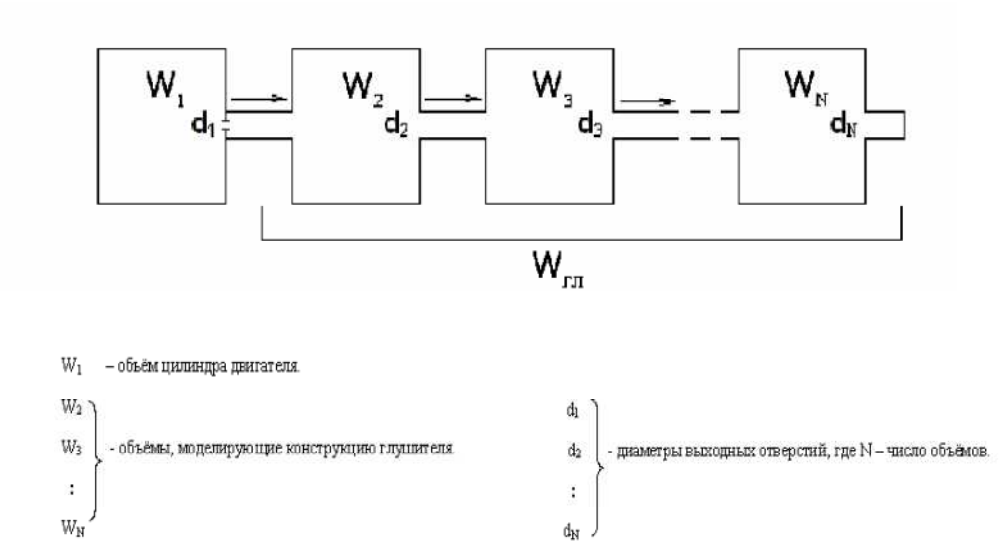


Рис. 1. Схема тракта выхлопа

При наличии в системе длинных трубопроводов математическая модель (1÷4) дополняется рядом уравнений, при этом принимаются следующие допущения [4]:

– трубопровод имеет постоянное поперечное сечение;
– распределение давления по сечению трубопровода равномерное;
– силой тяжести пренебрегаем;
– течение газа по трубопроводу – адиабатическое, (изотермическое).

С учётом характера работы цилиндров двигателя в первом приближении можно рассмотреть случай стационарного (квазистационарного) режима истечения.

Дополнительная система уравнений включает (уравнение количества движения, уравнение теплообмена, уравнение расхода, уравнение состояния):

$$\rho V \frac{d(\beta V)}{dx} = -\left(\frac{dP}{dx} + \frac{\lambda}{8} \frac{\beta V^2}{r_г} \right), \tag{5}$$

$$c_p T + \alpha \frac{V^2}{2} = c_p T_0\ , \tag{6}$$

$$g = F\rho V = const\,, \tag{7}$$

$$P = \rho RT\,, \tag{8}$$

где: F – площадь поперечного сечения трубопровода $\left[м^2\right]$;

α, β – коэффициенты, зависящие от сечения трубопровода, характера течения, числа Рейнольдса (α = 1,045, β= 1,02, при Re ≈ 10^6).

Значения параметров в выходном сечении тракта являются исходными для расчета газодинамических параметров (пульсационных и средних) неизотермической турбулентной струи продуктов сгорания. Система уравнений [3, 5] приведена ниже и включает следующие: уравнение неразрывности, уравнение количество движения, уравнение энергии, уравнение состояния и уравнение для рейнольдсовых напряжений в сжимаемой жидкости.

$$\frac{\partial\overline{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{\rho}\overline{V_j}\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{\rho_p V_{pj}}\right) = 0\,; \tag{9}$$

$$\overline{\rho}\frac{\partial\overline{V_k}}{\partial x_k} + \overline{\rho}\overline{V_j}\frac{\partial\overline{V_k}}{\partial x_j} = -\frac{\partial\overline{p}}{\partial x_k} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\overline{\tau}_{jk} - \overline{\rho_p V_{pj} V_{pk}}\right] - \frac{\partial}{\partial t}\overline{\rho_p V_{pk}} - \overline{\rho_p V_{pj}}\frac{\partial\overline{V_k}}{\partial x_j}\,; \tag{10}$$

$$\begin{aligned}\overline{\rho}\frac{\partial\overline{h}}{\partial t} + \overline{\rho}\overline{V_j}\frac{\partial\overline{h}}{\partial x_j} &= \frac{\partial\overline{p}}{\partial t} + \frac{\partial\overline{q}_j}{\partial x_j} + \overline{V_k}\frac{\partial\overline{p}}{\partial x_k} + \overline{V_{pk}\frac{\partial p_p}{\partial x_k}} + \\ &+ \overline{T}_{jk}\frac{\partial\overline{V_k}}{\partial t} + \overline{T_{pjk}\frac{\partial V_{pk}}{\partial t}} - \frac{\partial}{\partial t}\overline{\rho_p h_p} - \frac{\partial}{\partial x_j}\overline{\rho_p V_{pj} h_p} - \overline{\rho_p V_{pj}}\frac{\partial\overline{h}}{\partial x_j}\end{aligned} \tag{11}$$

$$\overline{p} = \overline{\rho}\overline{RT}\,; \tag{12}$$

$$\begin{aligned}&\frac{\partial}{\partial t}\overline{\rho V_{pi} V_{pk}} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{V_j}\,\overline{\rho V_{pi} V_{pk}}\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{\rho V_{pi} V_{pj} V_{pk}}\right) = \\ &= -\overline{V_{pi}\frac{\partial p_p}{\partial x_k}} - \overline{V_{pk}\frac{\partial p_p}{\partial x_i}} + \overline{V_{pi}\frac{\partial\tau_{pjk}}{\partial x_j}} + \overline{V_{pk}\frac{\partial\tau_{pij}}{\partial x_j}} + \\ &+ \overline{V_i}\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{V_j}\,\overline{\rho_p V_{pk}}\right) + \overline{V_k}\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{V_j}\,\overline{\rho_p V_{pj}}\right) + \overline{V_i}\frac{\partial}{\partial t}\overline{\rho_p V_{pk}} + \\ &+ \overline{V_k}\frac{\partial}{\partial t}\overline{\rho_p V_{pi}} + \overline{\rho_p V_{pj}}\frac{\partial}{\partial x_j}\overline{V_i}\,\overline{V_k} - \overline{\rho V_{pj} V_{pk}}\frac{\partial\overline{V_i}}{\partial x_j} - \overline{\rho V_{pi} V_{pj}}\frac{\partial\overline{V_k}}{\partial x_j}\end{aligned} \tag{13}$$

где $V_j = \overline{V}_j + V_{pj}$ мгновенное, среднее и пульсационное значение параметра(скорости) соответственно,

t – время,

h – энтальпия,

i, j, k – индексы, определяющие направление осей декартовой системы координат,

$\overline{\rho_p V_{pj} V_{pk}}$ - составляющие тензора турбулентных напряжений.

Полученные значения газодинамических параметров струи позволяют использовать методику [5 3], созданную на основе модели А. Лайтхилла (полной), для приближённых оценок турбулентного шума (широкополосного) неизотермических струй.

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - a_0^2 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x_i^2} = \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j}[\rho V_i V_j - \delta_{ij}(\rho a_0^2 + p) - \mu(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\frac{\partial V_k}{\partial x_k}\delta_{ij})] \qquad (14)$$

где $\delta_{jk} = \begin{cases} 1, при \quad j = k \\ 0, при \quad j \neq k \end{cases}$ - символ Кронекера;

μ – коэффициент динамической (молекулярной) вязкости

Для выяснения механизмов генерации низкочастотных составляющих спектра (менее 500 Гц) были проанализированы различные физические механизмы возбуждения собственных частот с учётом особенностей геометрии элементов выпускного тракта.

Основные модели возбуждения собственных частот и соответствующие расчётные формулы приведены ниже [6, 7].

Объёмные резонаторы:

$$f_0 = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{d_Г \varepsilon}{W}} \text{ - резонатор с плоским горлом} \qquad (15)$$

$$f_{01} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{d_Г}{l_Г W}} \text{ - с удлинённым горлом} \qquad (16)$$

$$f_{02} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{d_{Г1}\varepsilon_1 + d_{Г2}\varepsilon_2}{W}} \text{ - с двумя плоскими горлами} \qquad (17)$$

$$f_{02l} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{S_1\varepsilon_1}{l_{Г1}W_1} + \frac{S_2\varepsilon_2}{l_{Г2}W_2}} \text{ - с двумя удлинёнными горлами} \qquad (18)$$

Двуполостные резонаторы:

$$f_{20} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{(m+2)c}{W}} \qquad (19)$$

$$f'_{20} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{mc}{W}} \qquad (20)$$

где:
$m = 2$,
$c = 2R$ для круглого отверстия.

Волновые резонаторы

$$f_{\frac{1}{4}} = \frac{a_0 n}{4L}$$ - ¼ волновые, где n=1, 3,… (21)

$$f_{\frac{1}{2}L} = \frac{a_0 k}{2L}$$ - ½ волновые (продольные), где k = 1, 2, (22)

$$f_{\frac{1}{2}D} = \frac{a_0 k}{2D}$$ - ½ волновые (поперечные), где k = 1, 2, (23)

где:

$d_г$, l_r – диаметр, длина горла $[м]$;

W – объём полости $\left[м^3\right]$;

$S_г$ – площадь горла $\left[м^2\right]$;

L, D – длина, диаметр волнового резонатора $[м]$;

a_0 – скорость звука в невозмущённой среде;

R – радиус отверстия $[м]$;

f – частота $[Гц]$;

ε – коэффициент, учитывающий форму горла.

Используя приведённые формулы, можно рассчитать значения возможных собственных частот и их гармоник для конкретных конструкций глушителей и элементов системы выхлопа.

В табл. 1 приведены значения (экспериментальные и расчетные) собственных частот (АЧХ) для нескольких конструкции глушителей (однополостные, двуполостные, с одним проходным отверстием в перегородке и с перфорированной перегородкой), полученные при холодных продувках.

Результаты экспериментов на горячем газе (работа ДВС) подтвердили работоспособность предложенной методики с учетом уточненных значений скорости звука для горячего газа.

Таблица 1

АЧХ глушителей

№ глушителя	**02**		**03**		**04**		**05**		**07**	
Расчётные формулы f_i	**Расчёт f_i**	**Экспер f_i / L_i**	**Расчёт f_i**	**Экспер f_i / L_i**	**Расчёт f_i**	**Экспер f_i / L_i**	**Расчёт f_i**	**Экспер f_i / L_i**	**Расчёт f_i**	**Экспер f_i / L_i**
f_0(15)	74	63/72	39	31,5/65	31	31,5/63	105	125/78	105	125/76
f_{0l}(16)	54	63/72	28	31,5/65	23	31,5/63	76	63/74	76	63/71
f_{02}(17)	105	125/76	55	63/71	45	63/69	149	125/78	154	125/76
f_{02l}(18)	76	63/72	39	31,5/65	32	31,5/63	108	125/78	116	125/76
f_{20} (19)	__	__	__	__	__	__	263	250/76	284	500/82
f'_{20}(20)	__	__	__	__	__	__	373	500/83	401	500/82
$f_{1/4}$ (21)	113	125/76	85	63/71	57	63/69	113	125/78	113	125/76
$f_{1/2L}$(22)	227	250/76	170	125/76	113	125/78	227	250/76	227	250/76
$f_{1/2D}$(23)	567	500/82	340	250/77	340	250/76	567	500/83	567	500/82

В табл. 2 представлены результаты исследований АЧХ для двуполостного глушителя с одним отверстием в перегородке (глушитель №05).

Таблица 2

Результаты экспериментальных и численных исследований АЧХ глушителя 05

	УЗД, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									**УЗ, дБА**
Октавные полосы, Гц	**31,5**	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	
Экспери-ментальные данные	101,3	122,8	108,9	99	98,7	105,9	106	105,7	88	112
Расчётные значения собственных частот		68 (1.34)	94 (1.33) 132 (1.35) 96 (1.36)	235 (1.39)	469 (1.40) 586 (1.41)	$L_{P\Sigma}$ = 109,9 дБ				
Возмущающие частоты ДВС	37	74	148	192						
Источник генерации звука	Частоты работающего двигателя, собственные частоты				Частоты, излучаемые потоком продуктов сгорания					

Анализ представленных результатов показал, что основной вклад в излучаемую мощность вносят низкочастотные составляющие спектра, обусловленные работой двигателя и собственными частотами тракта.

Для оценки характеристик широкополосного шума неизотермических струй были выполнены расчеты по приведенной методике.

Результаты расчётов газодинамических параметров приведены ниже:

- скорость изменяется в диапазоне V= 30 ÷ 140 м/с;
- диапазон давлений в объёме P_0 = 102388 ÷ 109385 Па;
- диапазон температур в объёме T_0 = 290 ÷ 400° К.

Для расчёта акустических полей были использованы следующие параметры: V= 124 м/с; T_0 = 352° К; P_0 = 109385 Па.

Результаты расчётов акустических параметров и диаграммы направленности приведены на рис 2. Уровень акустической мощности L_N=101,5 дБ, акустическая мощность N=0,01416 Вт. Уровень звукового давления L_p = 109,9 дБ. Расчётные значения параметров удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными (табл. 2).

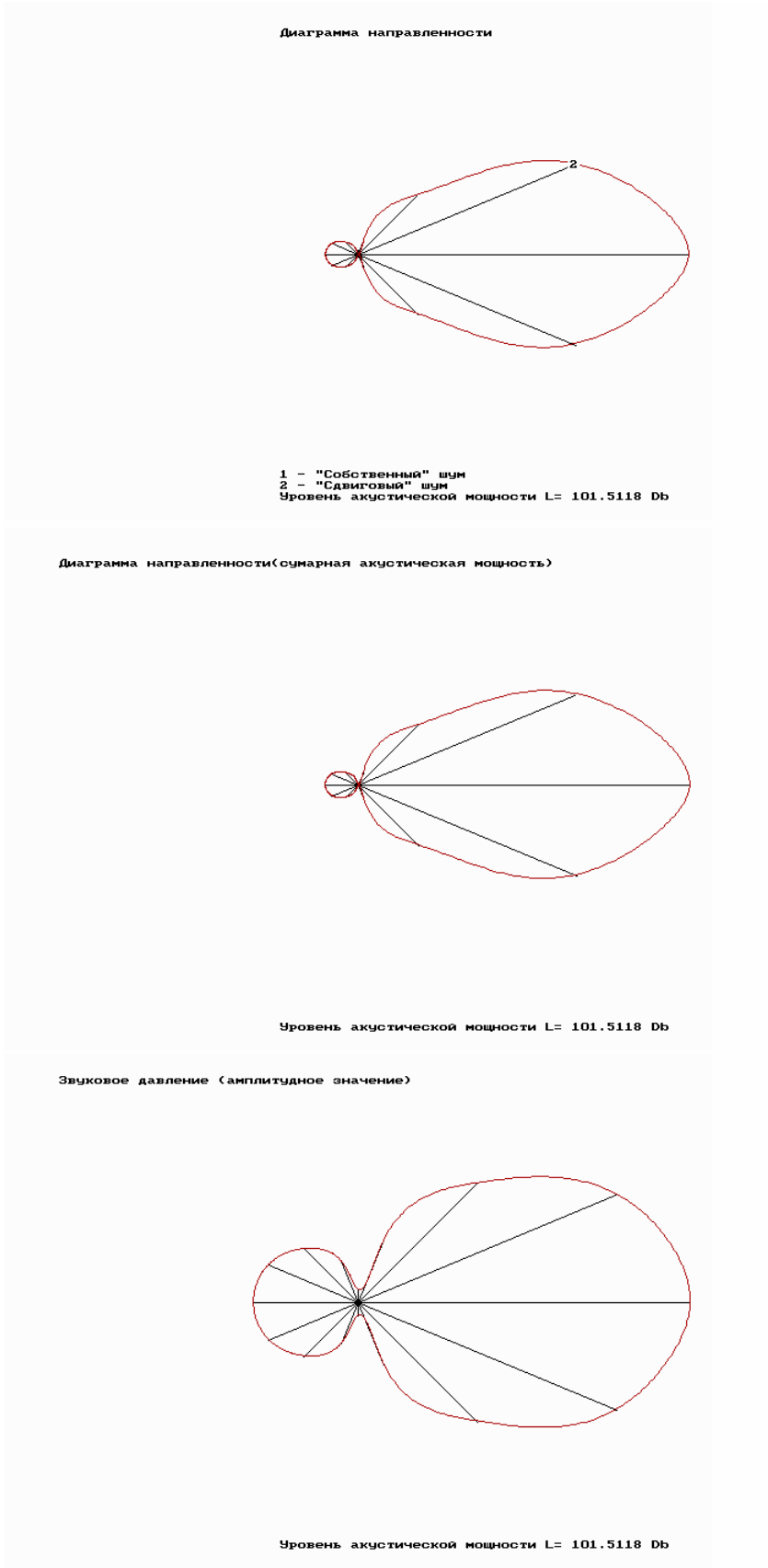


Рис. 2. Диаграммы направленности акустических характеристик глушителя № 05

Таким образом, наличие различных физических механизмов генерации акустических полей требует и различных мер по снижению их. В исследованных глушителях основную роль играют частоты, обусловленные работой ДВС (до 500 Гц).

Для снижения уровней этих частот необходимо использовать свойство любых объемов – наличие собственных частот, которое способно переводить акустическую энергию звуковых волн в тепловую.

Выявлено, что на эффективность глушителя в этих диапазонах частот существенное влияние имеет геометрическое место ввода возмущений в полость глушителя, т.е. необходимы знания о положение узлов, пучностей стоячих волн в глушителе. Использование трубки Вентури в качестве выхлопной трубы глушителя существенно улучшает характеристики шумоглушения.

Существенную роль для этих диапазонов частот имеет наличие звукопоглощающих покрытий внутри полости глушителей, обеспечивающих снижение уровня звука. Положительную роль играют эти покрытия и для высокочастотного излучения газового потока.

Создание многокамерных глушителей требует более строгого определения собственных частот этих камер, и согласования их с частотами возбуждения.

Анализ материалов по шуму в высокочастотных диапазонах спектра, характерных для турбулентных неизотермических струй, подтвердил их непосредственную зависимость от газодинамических параметров в последнем объёме W_N глушителя.

Анализ численных исследований позволил оценить влияние скорости истечения и температуры потока на параметры акустического излучения.

Скорость истечения определяющим образом влияет на величину акустической мощности, на звуковое давление, на диаграммы направленности и на соотношение «собственного» и «сдвигового» шума. Изменения скорости истечения в диапазоне (50÷200 м/с) приводит к увеличению уровня излучаемой мощности до 15÷20 дБ.

Влияние температуры на излучаемую акустическую мощность менее значительно. Изменение температуры на 100÷200 ˚С приводит к росту уровня акустической мощности на 3÷6 дБ. Тем не менее изменение температуры существенно влияет на соотношение «собственного» и «сдвигового» шума. При малых температурах основной вклад в акустическую мощность вносит «сдвиговый» шум, с ростом температуры роль «собственного» шума становится определяющей.

Оптимальные сочетания температуры T_0, давления p_0, скорости истечения V способны обеспечить требуемые уровни шума.

Таким образом, представленная инженерная методика оценочных расчетов аэроакустических характеристик выхлопного тракта может быть использована при разработке этих систем в ТМ.

Литература

1. Шум на транспорте / Пер. с англ. К.Г. Бомштейна. Под ред. В.Е. Тольского, Г.В. Бутакова, Б.Н. Мельникова. – М.: Транспорт, 1995.
2. В. Н. Луканин. Шум автотракторных двигателей внутреннего сгорания. Методы исследования, пути снижения. - М.: Изд. Машиностроения, 1971. 267 с.
3. В.К.Ерофеев, В.В. Григорьев, П. Г. Генкин, Ю.К. Петров. Приближенная модель расчета и анализ механизмов генерации акустических полей системой выхлопа транспортных систем (ТС). // Материалы XV МНК ученых Украины, Белоруссии и России. Севастополь, 2007. – с. 214-217.
4. Гинзбург И.П.«Прикладная гидрогазодинамика» Издательство Ленинградского университета 1958 год.
5. Глазнев В.Н., Запрягаев В.И., Ерофеев В.К. и др. Струйные и нестационарные течения в газовой динамике. Новосибирск. Изд. СО РАН, 2000, 200 с.
6. Лэмб Г. Динамическия теория звука. М., Гос. изд. физ.-мат. литературы, 1960.
7. Иванов Н.И., Дробаха М.Н., Ерофеев В.К., Петров Ю.К. Установление и описание физических закономерностей в глушителях шума выпуска двигателей внутреннего сгорания // Сборник докладов НПК с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», СПб, 21-22 марта 2006, Изд. БГТУ «Военмех», с. 329-338.

ПРИБЛИЖЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКРЕТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ

Ерофеев В.К., Генкин П.Г., Колосов В.М.
Балтийский Государственный технический университет
"ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова
paulg_gen@mail.ru

В настоящее время основной моделью генерации дискретного тона сверхзвуковыми струями газа является модель Пауэлла [1]. В этой модели рассматривается автоколебательная газоструйная система, состоящая из структур («бочек»), образованных поверхностями разрывов («скачками») газодинамических параметров, обратной акустической связи и т.д.

По мнению многих исследователей в этой модели имеется ряд недостаточно обоснованных положений (ниже приведены некоторые из них):

- в качестве характерного размера используется длина первой «бочки», хотя многие визуальные исследования свидетельствуют о возможном положении источников излучения в районах 3-6 «бочек»;
- недостаточное обоснование физического механизма дискретного излучения в районе выхода отражённого скачка на границу струи;
- в методике отсутствуют физические механизмы и матмодели расчёта амплитудных характеристик излучения;
- попытки усовершенствования этой методики потребовали введения новых эмпирических коэффициентов, в частности, коэффициентов для корректировки характерного размера.

Таким образом, проблема излучения дискретных тонов нуждается в дополнительных исследованиях, направленных на изучение физических механизмов и разработку физико-математической модели.

Авторами доклада предложена новая приближенная физико-математическая модель генерации дискретных акустических полей, в основе которой лежит представление о газодинамических структурах в сверхзвуковых струях («бочках») как о «полостях с упругими стенками» [2, 3, 4].

Эти «полости» (рис. 1) обладают собственными частотами, значения которых зависят от геометрии, размеров и их количества, количества и размеров отверстий. Истекающая струя генерирует турбулентный широкополосный шум, откликом на который со стороны полостей («бочек») и

является дискретный тон, частота которого определяется одной из возможных собственных частот (гармоник) последних. Возбуждение в полостях с упругими стенками собственных частот приводит к пульсациям этих поверхностей с той же частотой, что является источником акустических волн в окружающей среде, что зафиксировано экспериментально различными исследователями.

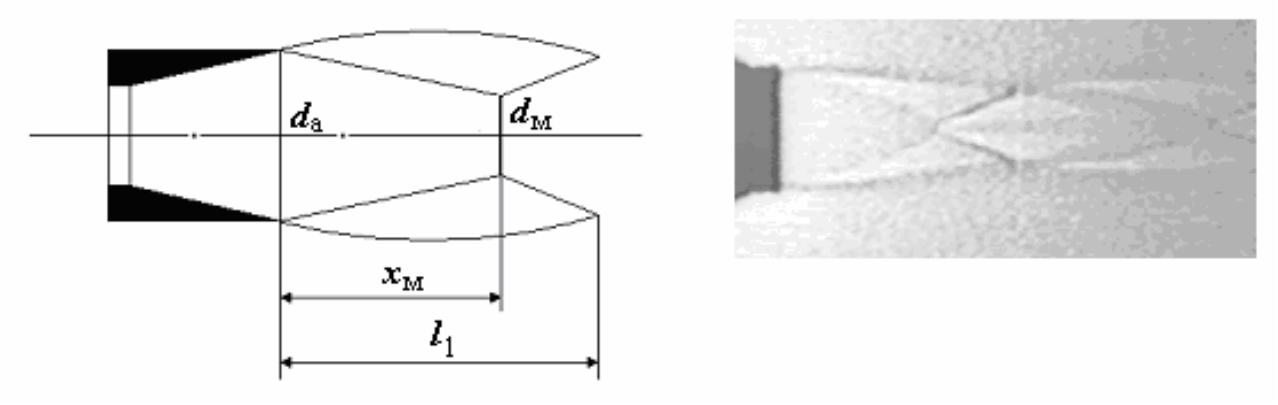


Рис. 1. Схема и фотография сверхзвуковой струи газа

Данная приближенная модель позволяет получить оценки диапазонов излучаемых дискретных частот в зависимости от геометрических и газодинамических параметров ударно-волновых структур сверхзвуковых струй.

Механизмы возбуждения собственных частот могут быть представлены различными моделями излучателей звука: объемные резонаторы (1), волновые (2) излучатели [2, 3, 4].

$$f_o = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{d_a \varepsilon}{V_p}} \tag{1}$$

$$f_{1/4} = \frac{c}{4L_p} \tag{2}$$

f_o – собственная частота объемного резонатора Гельмгольца с одним отверстием, $f_{1/4}$ – собственная частота четвертьволнового резонатора, c – скорость звука в окружающей среде, ε - эмпирический коэффициент, зависящий от формы горла резонатора, d_a – диаметр выходного сечения сопла, V_p, L_p – объем и длина резонатора соответственно.

Для расчета собственных частот необходимо знание геометрических параметров ударно-волновых структур. В настоящее временя известны эмпирические формулы [5, 6, 7] для определения этих параметров, которые, как правило, дают существенно различные результаты, что вполне объяснимо, т. к. во многих исследованиях, особенно ранних, не учитывалось обратное влияние акустических полей на структуру и геометрию струи.

В работах авторов [2, 3, 4] представлены результаты численных и экспериментальных исследований геометрических, газодинамических параметров ударно-волновых структур («бочек») и частотных характеристик акустических полей, полученных в широком диапазоне нерасчетностей.

При выполнении экспериментов варьировались: число Маха M_a, диаметр выходного сечения сопла (d_a), угол полураствора сопла ϑ_a, нерасчётность $n = p_a / p_н$. В ходе проведения экспериментов фиксировались амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) звукового излучения (частота, уровень звукового давления), проводилась визуализация картины истечения сверхзвуковой струи (измерялись геометрические параметры ударно-волновых структур). Экспериментальные результаты сравнивались с результатами расчётов, полученными при использовании формул [5, 6, 7].

На рис. 2 приведены характерные спектрограммы, зафиксированные при повторных измерениях на нерасчетности n=0.4. Повторные измерения проводились с интервалом 2-3 мин. Подобные спектрограммы зафиксированы во многих опытах.

Анализ полученных результатов позволил предположить, что реализация различных режимов дискретного излучения является вероятностным событием, зависящим от случайных факторов (параметров окружающей среды, условий выхода на газодинамические режимы истечения и т.д.).

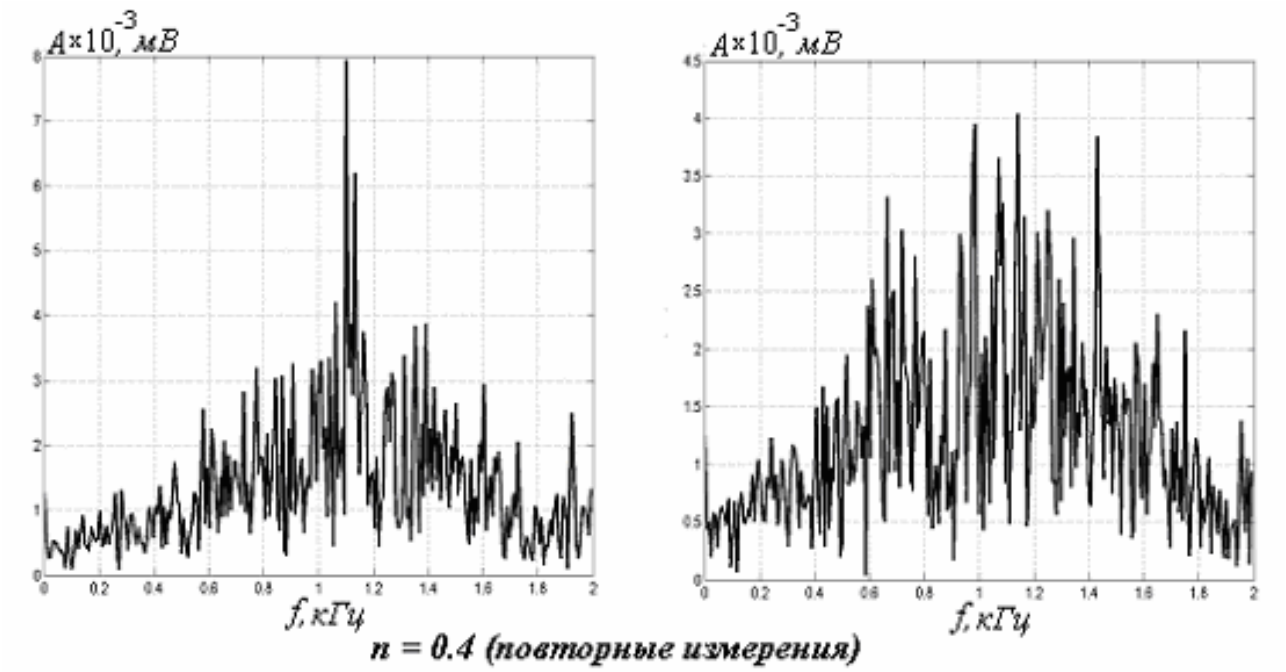


Рис. 2. Спектрограммы дискретного излучения

На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости дискретной частоты f от нерасчетности n полученные для сопла M_a=3, d_a=40 мм, $\vartheta_a = 15^\circ$.

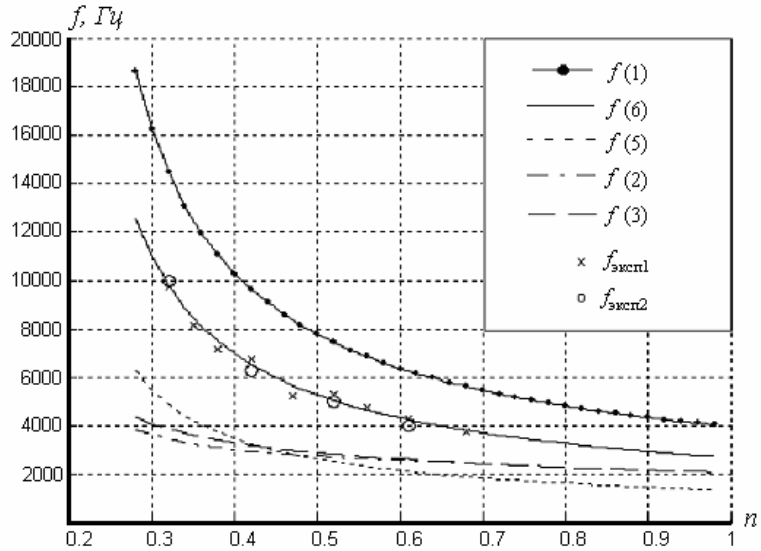


Рис. 3. Зависимости дискретной частоты от нерасчетности для сопла M_a=3, d_a=40 мм, ϑ_a =15°

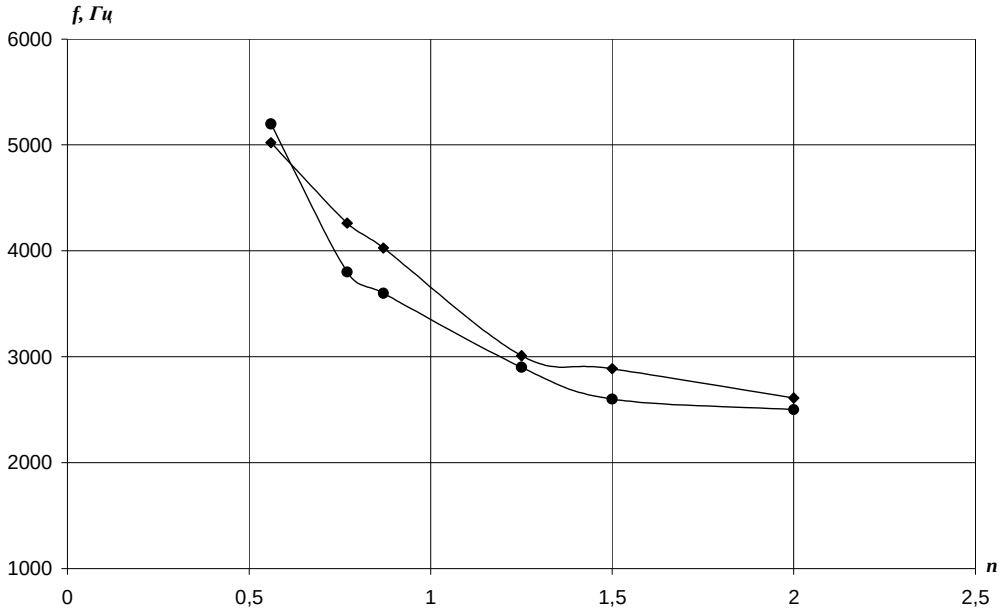
f (1) – расчетные значения частоты дискретного тона по формуле Пауэлла; *f* (2) – расчетные значения частоты дискретного тона по формуле для объемного резонатора; *f* (3) – расчетные значения частоты дискретного тона по формуле для объемного резонатора с двумя отверстиями; *f* (5) – расчетные значения частоты дискретного тона по формуле для четвертьволнового резонатора; *f* (6) – расчетные значения частоты дискретного тона по формуле для полуволнового резонатора; $f_{эксп1}$, $f_{эксп2}$ – экспериментальные значения частоты дискретного тона (два повтора)

Анализ этих результатов и многочисленных результатов, полученных на других соплах и режимах [2, 3, 4], позволяет сделать ряд обобщений:

- модель Пауэлла дает существенно завышенные значения дискретных частот особенно в диапазоне n<1;
- использованные авторами формулы для расчета основных дискретных частот работают во всем исследованном диапазоне нерасчетностей;
- зарегистрированы режимы с несколькими дискретными частотами, значения которых, как правило, могут быть рассчитаны по известным формулам с точностью 5-15%;
- увеличение размеров сопла приводит к увеличению размеров газодинамических структур, что, в свою очередь, может приводить к реализации механизмов волнового излучения (полуволновой, четвертьволновой), в отличие от объемных механизмов для малых размеров сопел.

Для проверки работоспособности предложенной приближенной методики для горячих сверхзвуковых струй был выполнен анализ результатов экспериментальных исследований, полученных на пороховых струях […].

На рис. 4 представлена характерная зависимость частоты дискретного тона от нерасчетности для сопла M_a=2.9, d_a=0,0363 м, T_0=2400 К.



● - экспериментальное значение частоты;

♦ - расчетные значения собственных частот (1)

Рис. 4. Влияние нерасчетности на значения дискретных частот горячих струй

Полученное сравнение результатов следует считать удовлетворительным с учетом погрешности измерений акустических параметров.

Для оценки мощностных характеристик излучения пульсирующими поверхностями газодинамических структур («бочек») предложено в качестве первого приближения использовать математические модели элементарных источников звука: пульсирующие поршень, сфера, цилиндр [10]. Это существенно упрощает расчеты.

Для излучателей, размеры колеблющихся элементов которых велики по сравнению с длиной волны, подобной моделью может служить бесконечная плоскость, колеблющаяся синфазно, как одно целое, в направлении своей нормали (поршневое излучение). Удельную мощность излучения удобно выражать через удельный акустический импеданс на излучающей поверхности: отношение давления на этой поверхности к ее колебательной скорости, т. е. $z=P/v$. Полная излученная мощность W большого поршня площадью S равна:

$$W = \frac{1}{2}\rho c v_0^2 S ,$$

где: ρc – волновое сопротивление среды, v_0 – колебательная скорость.

Для излучателей при произвольном соотношении между их размерами и длиной волны удобно пользоваться другой теоретической моделью – так называемым излучателем нулевого порядка – пульсирующей сферой, или монополем.

Полная излучаемая мощность монополя любого радиуса выражается через его производительность:

$$W = \rho c k^2 Q^2 / 8\pi,$$

где: k – волновое число.

Для малых ka объемная скорость излучателя $V=4\pi a^2 v_0$ приближенно равна его производительности, в связи с чем:

$$W = \rho c k^2 V^2 / 8\pi.$$

Бесконечно длинный цилиндр радиусом a, поверхность которого совершает синфазные радиальные колебания, излучает осесимметричное звуковое поле.

Мощность излучения цилиндра единичной длины равна:

$$W_1 = 2\pi r J = 0.5 r_{s1} v_m^2,$$

где $r_{s1} = \omega\rho(2\pi a)^2 / 4 = \omega\rho S_1^2 / 4$; $S_1 v_m = Q_{m1}$ - объемная скорость источника, рассчитанная на единицу длины его образующей.

С учетом этого, формула для мощности излучения примет вид:

$$W = \omega \rho Q_{m1}^2 / 8.$$

Таким образом, модели приведенных излучателей звука предложены для проверки возможности их использования в аэроакустических процессах и приближенных оценок амплитудных характеристик дискретных акустических полей, генерируемых сверхзвуковыми струями.

Для выполнения этих расчетов необходимы данные: по колебательной скорости, перепаду давлений на колеблющейся поверхности и данные по величине этой поверхности.

Перепад давления на скачках и площади поверхности скачков определяются по известным методикам [11]. Значения колебательной скорости на предварительном этапе и для оценочных расчетов можно определить экспериментально, зная амплитуду пульсаций поверхности.

Отсутствие надежных данных (амплитуды пульсаций) в известной авторам литературе не позволило провести строгие численные исследования. Тем не менее, для обоснования возможности использования предложенных приближенных методик для оценочных расчетов выполнены методические расчеты. В качестве необходимых исходных данных для расчетов использованы результаты предварительных экспериментальных исследований.

На рис. 5-7 представлены расчетные и экспериментальные зависимости уровней акустической интенсивности от степени нерасчетности. Расчет выполнен по моделям простейших излучателей звука: поршневой диафрагмы, пульсирующей сферы и пульсирующего цилиндра.

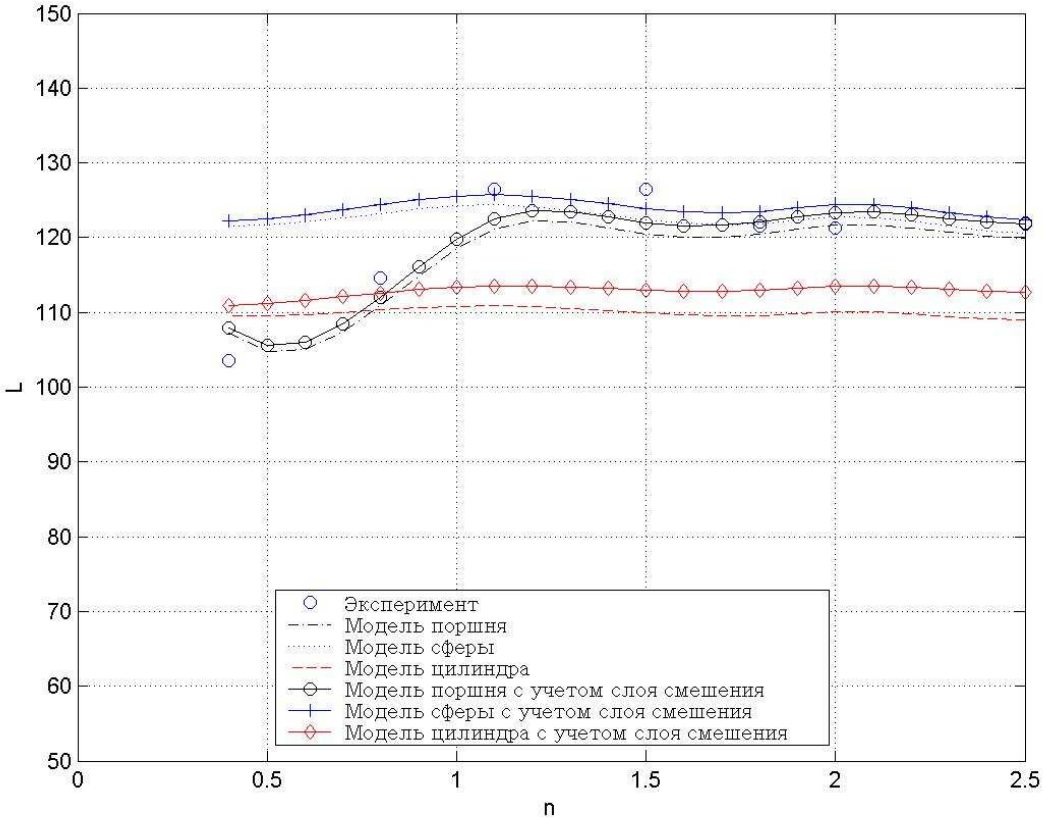


Рис. 5. Зависимость уровня интенсивности излучения от нерасчетности для сопла M_a=2.0; d_a=6.2 (мм); d_*=4.8 (мм); υ=7.5°

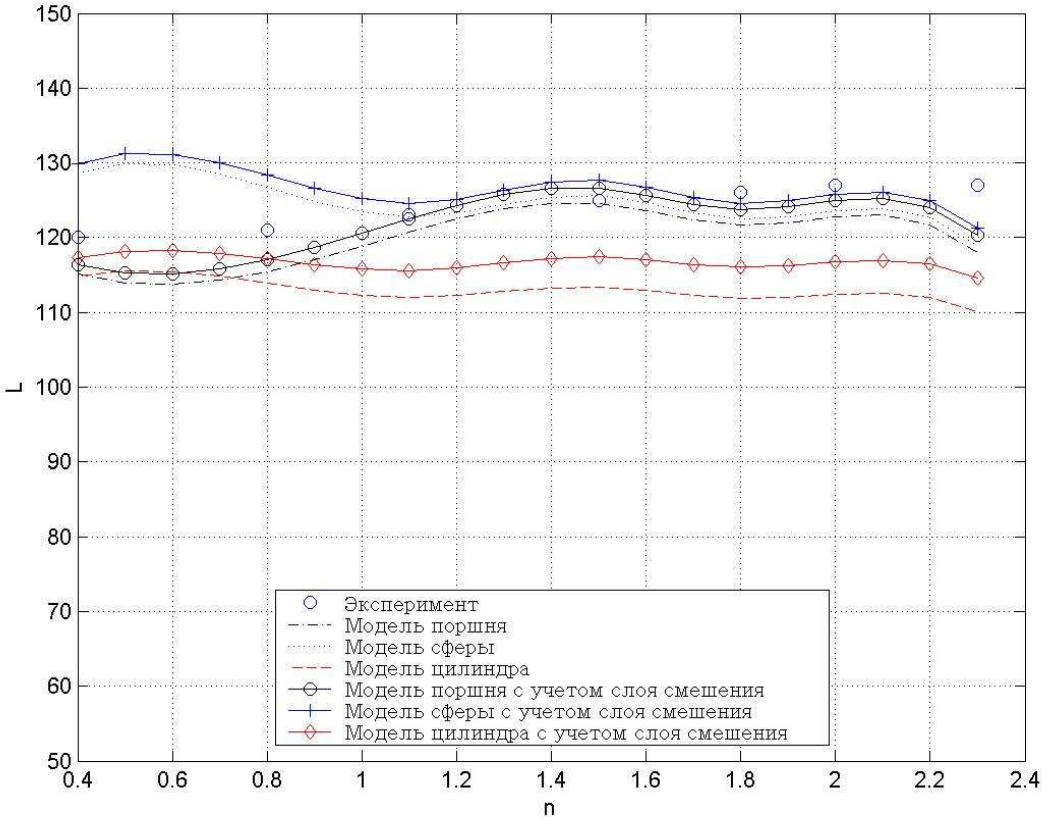


Рис. 6. Зависимость уровня интенсивности излучения от нерасчетности для сопла M_a=2.5; d_a=7.8 (мм); d_*=4.8 (мм); υ=7.5°

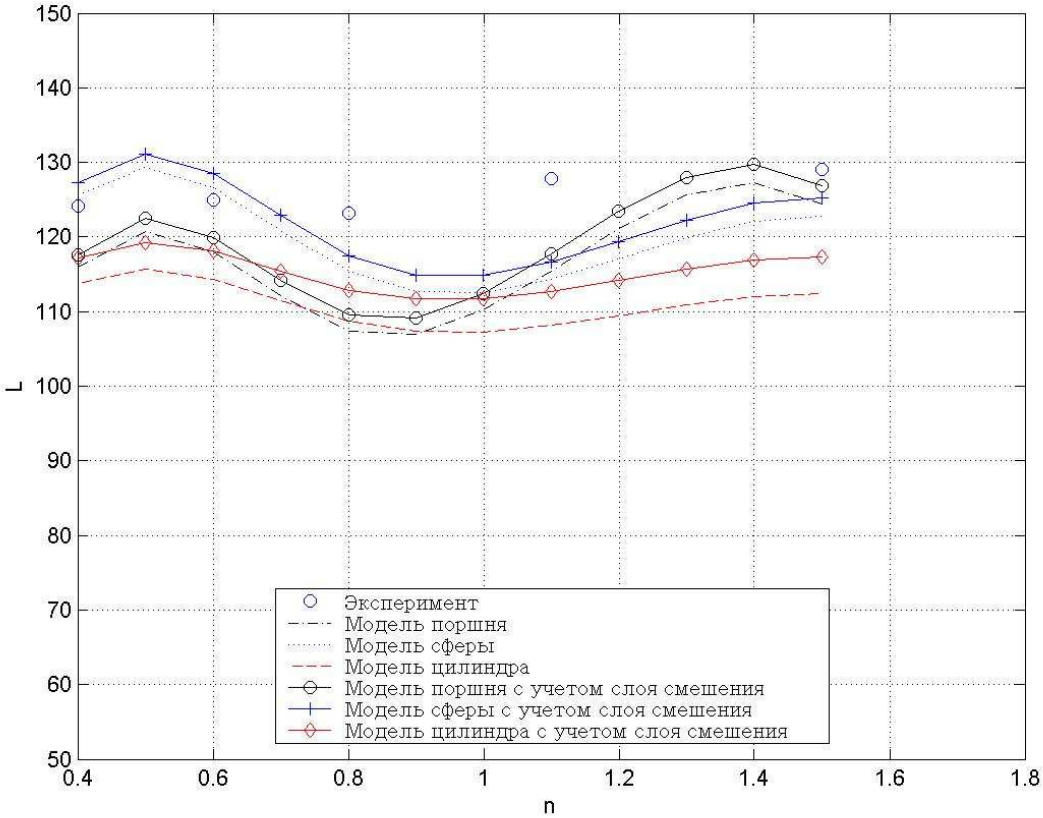


Рис. 7. Зависимость уровня интенсивности излучения от нерасчетности. M_a=3.0; d_a=9.8 (мм); d_*=4.8 (мм); υ=7.5°

Для расчета амплитудных характеристик излучения необходимо учитывать влияние акустического импеданса слоя смешения струи, характеристикой которого является комплекс ρc, рассчитанные по значениям газодинамических параметров в слое смешения.

На рис. 5-7 представлены результаты расчетов интенсивности излучения с учетом влияния импеданса в слое смешения. Анализ численных результатов показал, что учет импеданса слоя смешения дает лучшее совпадение с экспериментальными данными.

Таким образом, полученные результаты позволяют считать, что предложенная приближенная физическая модель генерации дискретного ударно-волнового шума и инженерная методика расчета значений дискретных частот подтвердила свою работоспособность, как для холодных, так и для горячих пороховых струй.

Результаты методических численных исследований приближенной методики показали возможность ее использования для определения АЧХ при условии дальнейшей доработки ее в части определения амплитуд пульсаций поверхностей «скачков».

После завершения работ по совершенствованию приближенной физико-математической модели предлагаемая инженерная методика позволит проводить оценочные расчеты АЧХ дискретных акустических полей сверхзвуковых струй на основании информации о ее газодинамических параметрах.

Литература

1. Powell A. On the mechanism of choked jet noise Proc. Phys.Soc, 1953
2. В. К. Ерофеев, П. Г. Генкин. Результаты исследований аэроакустических процессов в газовых струях. //Современные проблемы неравновесной газо- и термодинамики. Сб. статей / Под ред. В.Н. Ускова. СПб.: БГТУ, 2002, с. 122-135.
3. В. К. Ерофеев, П. Г. Генкин, М. Г. Моисеев, А. В. Вишнев. Исследование аэроакустических процессов в сверхзвуковых нерасчетных струях //Новое в теоретической и прикладной акустике: Сб. трудов школы-семинара с международным участием. 23-24 октября 2003 г. СПб./Под ред. д.т.н., проф. Иванова Н.И.; Балт. гос. тех. ун-т, СПб, 2003, - с. 66-69.
4. А. В. Вишнев, П. Г. Генкин, В. К. Ерофеев, В. Н. Усков, М. В. Чернышов. Исследование амплитудно-частотных характеристик дискретного ударно-волнового шума. // Материалы XIV Международной НТК ученых Украины, России, Белоруссии “Прикладные проблемы МЖГ”. Севастополь, 2006 г.
5. В. С. Авдуевский и др. Сверхзвуковые неизобарические струи газа, М. Машиностроение, 1985 г. 240 с.
6. Э. А. Ашратов, Т. Г. Волконский, Г. С. Росляков. Течения газа в соплах и струях. Сб.гидромеханика и космические исследования. М.: Наука, 1985. 224 с.
7. А. В. Анцупов, В. Г. Пимштейн. Об излучении дискретного тона сверхзвуковой струей, истекающей из конического сопла. Изв. АН СССР, ШСГ, №1, 1975.
8. А. В. Кочергин, П. В. Накоряков и др. Акустические пульсации, генерируемые свободными сверхзвуковыми неизобарическими пороховыми струями. // Сб. тезисов докладов на XII научно-технической конференции «Некоторые вопросы эксплуатации и совершенствования военной техники и вооружения», КВВКИУРВ, Казань, 1991, - с. 50-53.
9. Н. А. Желтухин, В. А. Зазимко, В. И. Запрягаев, А. В. Кочергин, В. К. Ерофеев и др. Акустика газовых струй. / Методические рекомендации для дипломного проектирования. КВВКИУРВ, Казань, 1992. 64 с.
10. М. Г. Свердлин. Прикладная гидроакустика. Л., Судостроение, 1990. 320 с.
11. Uskov V., Chernyshov M., Erofeev V., Genkin P. Optimal shock-wave structures and new ideas about supersonic gas jet noise generation. // The Thirteenth International Congress on Sound and Vibration, Vienna, Austria, July 2-6, 2006, pp. 143-150.

СНИЖЕНИЕ ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ПОРТОВ

Соловей Н.А.
ООО "ЭКОПЛЮС"
n.solovey@ecoexp.ru

Контроль воздействия строящихся и эксплуатируемых портов на окружающую среду и человека – весьма актуальная задача. Это обусловлено беспрецедентными масштабами разворачивающегося портового строительства на российском побережье Балтийского моря. Это – Большой порт Санкт-Петербурга и ещё 3 новых порта в Невской губе, проектируемая система аванпортов южнее о. Котлин, а также первый в России глубоководный перегрузочный портовый узел в Калининградской области. В частности, для решения столь важной задачи очень важна разработка адекватной методики оценки и картирования шумов.

На территории портов располагается множество различных источников шума, которые динамично распределены в пространстве и времени, многие из них нестационарны или временны, имеют крайне нестабильную спектральную структуру. Разрабатываемая методика должна учитывать все эти особенности и обеспечивать не только получение детальной картины пространственной шумовой динамики, но и последовательные серии шумовых карт для различных временных интервалов. При этом важно учесть и акустическое воздействие смежных источников шума, расположенных вблизи портов (например, подходные пути автомобильных и железных дорог).

В зависимости от своего назначения структуры грузооборота, современный морской торговый порт может иметь в своем составе перегрузочные комплексы для самых разных типов грузов (контейнерных, накатных, генеральных, нефтеналивных, лесных, навалочных и мн.др). При этом каждый из этих комплексов характеризуется своими, особенными источниками акустического воздействия. Исходя из опыта расчета шума от портовых комплексов, обычно наибольший вклад в результирующую шума вносит перегрузочная техника, рефрижераторные контейнеры и грузовые машины, особенно тягачи.

Важно, что для разных типов грузов зависимость акустического воздействия от грузооборота имеет различный характер. Например, для многих

типов грузов определяет пропорциональное увеличение шума. Однако сжиженные газы, наливные опасные грузы, скоропортящиеся и ряд других грузов, требующих специальных условий перевозки, перегрузки и хранения, требуются определенного оборудования независимо от объема грузооборота. Для них чёткой прямой зависимости уровня шума от грузооборота не прослеживается.

В результате анализа универсального перегрузочного портового комплекса («Бронка») удалось выявить основные источники звука, в наибольшей степени определяющие итоговую картину пространственного распределения шума и акустического воздействия на окружающую среду:

- портальные и грейферные портальные краны (устанавливаются на причалах для приема импортных грузов);
- судо-погрузочные машины (устанавливаются на причалах для отгрузки экспортных грузов);
- участок разгрузки железнодорожных вагонов с экспортными грузами, включающий боковой вагоноопрокидыватель с бункерами и питателями;
- устройство для восстановления сыпучести смерзшегося груза (размораживающее устройство обеспечивающее оттаивание груза, с последующим дроблением его дробильно-фрезерными машинами);
- участок погрузки железнодорожных вагонов импортных грузов, включающий бункера и систему ленточных конвейеров;
- стакеры (используются для формирования штабелей);
- реклаймеры (используются для отгрузки грузов - загружают груз на складские ленточные и трубчатые конвейеры);
- погрузчики;
- козловые краны и перегружатели;
- трубчатые передаточные конвейера;
- ленточные конвейера;
- здания пересыпных станций;
- системы вентиляции, аспирации и пылеуборки;
- тепловозы;
- сети электроснабжения (для исключения выбросов загрязняющих веществ от судовых силовых установок, как правило, в портовых комплексах предусматриваются технические возможности, обеспечивающие подачу электроэнергии на суда от береговой сети);
- сети водоснабжения (насосы, котельные, холодильные машины и т.д.);
- тягачи;
- легковой автотранспорт;
- швартующиеся суда.

В таблице 1 приведены акустические характеристики основных источников шума (по результатам анализа литературы и оригинальных исследований).

Таблица 1

№ п/п	Наименование оборудования	Расстояние, м	Эквивалентный уровень звука, дБа
1	Причальный контейнерный перегружатель	25	68-72
2	Козловой перегружатель	25	68-72
3	Козловой кран на рельсовом ходу	25	68-72
4	Портальный автоконтейнеровоз	7,5	79-82
5	Штабелер	7,5	76-79
6	Тягач	7,5	79-82
7	Вилочный погрузчик	7,5	75-78
8	Тепловоз маневренный	25	76-79
9	Грузовой автомобиль	7,5	77-80
10	Судо-погрузочные машины	7,5	79-81
11	Вагоноопрокидыватель	7,5	79-81
12	Размораживающее устройство	-	Постоянный шум
13	Уборочная техника	7,5	79-83
14	Ковшовый перегрузчик	7,5	77-80
15	Комбинированная дорожная машина	7,5	79-83
16	Топливозаправщик	7,5	77-80
17	Автовышка	7,5	77-80
18	Автокран г/п до 16т	7,5	77-80
19	Экскаватор ковшовый	7,5	78-81
20	Швартовка судна к причалу	7,5	73-76
21	Легковой автотранспорт	7,5	72-74
22	Грузовой автотранспорт	7,5	77-80
23	Электростанция и трансформаторы	-	Постоянный шум
24	Дробильно-фрезерные машины	7,5	87-93
25	Ленточные конвейера	7,5	72-74
26	Вентиляторы	-	Постоянный шум
27	Котельные, холодильные машины, нососы	-	Постоянный шум

Выделенный комплекс объектов подлежит обязательному учёту при количественном изучении и картировании шумов морского порта. Однако, как выяснилось, для обеспечения приемлемой точности описания и прогнозирования шумовой пространственной динамики необходимо ещё изучить акустические свойства множества процессов, осуществляемых в портовых комплексах. Перечень этих процессов установлен, программа их исследования определена. Получение указанных сведений позволит в дальнейшем осуществлять комплексный расчет шума с учетом всех создающих его влиятельных факторов.

Количественная оценка и нормирование шума позволят, в свою очередь, выбирать наиболее эффективные меры для регулирования акустических воздействий портовых комплексов на окружающую среду и человека.

Снижение шума от морских и речных портов может быть достигнуто с помощью множества различных, более или менее эффективных мероприятий и их комбинаций. Предлагается следующая классификация подходов к управлению пространственно-временного распределения шума, включающая 4 их основные категории:

1. Снижение шума в источнике

Примеры:

– использование прогрессивных технологий и применение подъемно-транспортных машин и оборудования со сниженными шумовыми характеристиками;
– использование при погрузке грузов на суда специальных устройств на спускной трубе судопогрузочной машины, снижающие скорость падения груза и предотвращающее пылеобразование;
– использование закрытых трубопроводов и конвейеров с применением вибродемпфирующих вставок;
– перевод старых грузовых вагонов на новую современную ходовую часть.

2. Контроль влияющих факторов

Примеры:

– контроль качества дорожных покрытий (при наличии неровностей на поверхности дороги преобладающим может стать шум системы рессорной подвески, а также грохот груза и кузова);
– улучшение конструкции дорог и их трассирования,
– использование траншей или монолитные препятствий в качестве средств ограничения структурного шума.

3. Регулирование пространственного распространения шума

Примеры:

– использование в качестве преград на пути распространения звука площадок хранения контейнеров, накатных, лесных, навалочных и насыпных грузов;
– размещение наиболее шумной техники максимально дальше от ближайшей жилой застройки;
– улучшение звукоизолирующих характеристик зданий для уменьшения шума внутри них;
– установка акустических экранов и барьеров вблизи объектов, шум на территории которых нормируется и вблизи самих источников шума;
– сооружение крытых складов, площадок хранения грузов, гаражей;
– расположение зданий и сооружений наиболее эффективным (в плане шумозащиты) образом.

4. Системный подход
(оптимизация комплексным сочетанием подходов 1–3)

Пример:

– оптимизация схем механизаций и транспортно-технологических схем.
– оптимизация пространственно-временного распределения вышеуказанных источников шумообразования.

Приведем пример такого управления уровнем шума. На рисунках 1-2 изображены схемы механизации с размещением контейнеров перпендикулярно и параллельно линии кордона. В каждом из этих вариантов эффективность использования контейнеров в качестве препятствия на пути распространения звука будет различна из-за изменения количества проемов между штабелями. Использование схемы размещения контейнеров параллельно линии кордона на 2-4 дБА эффективнее, в отличие от перпендикулярного расположения.

Итак, для морских портов:

– установлены основные источники шума;
– определены процессы, заведомо дающие существенный вклад в результирующую шумовую карту порта, но ещё недостаточно изученные для их включения в общую модель его шумообразования;
– определён основной арсенал средств управления шумом, комбинация которых будет определяться результатами количественного изучения и описания распределения шума в пространстве и времени.
– предложена классификация методов и средств управления пространственно-временным распределением шума морского порта как системно организованного сложного объекта.

Всё вышеперечисленное послужит основой для разработки современной, эффективной методики анализа, прогнозирования, нормирования и выбора мер по снижению шума при проектировании портов.

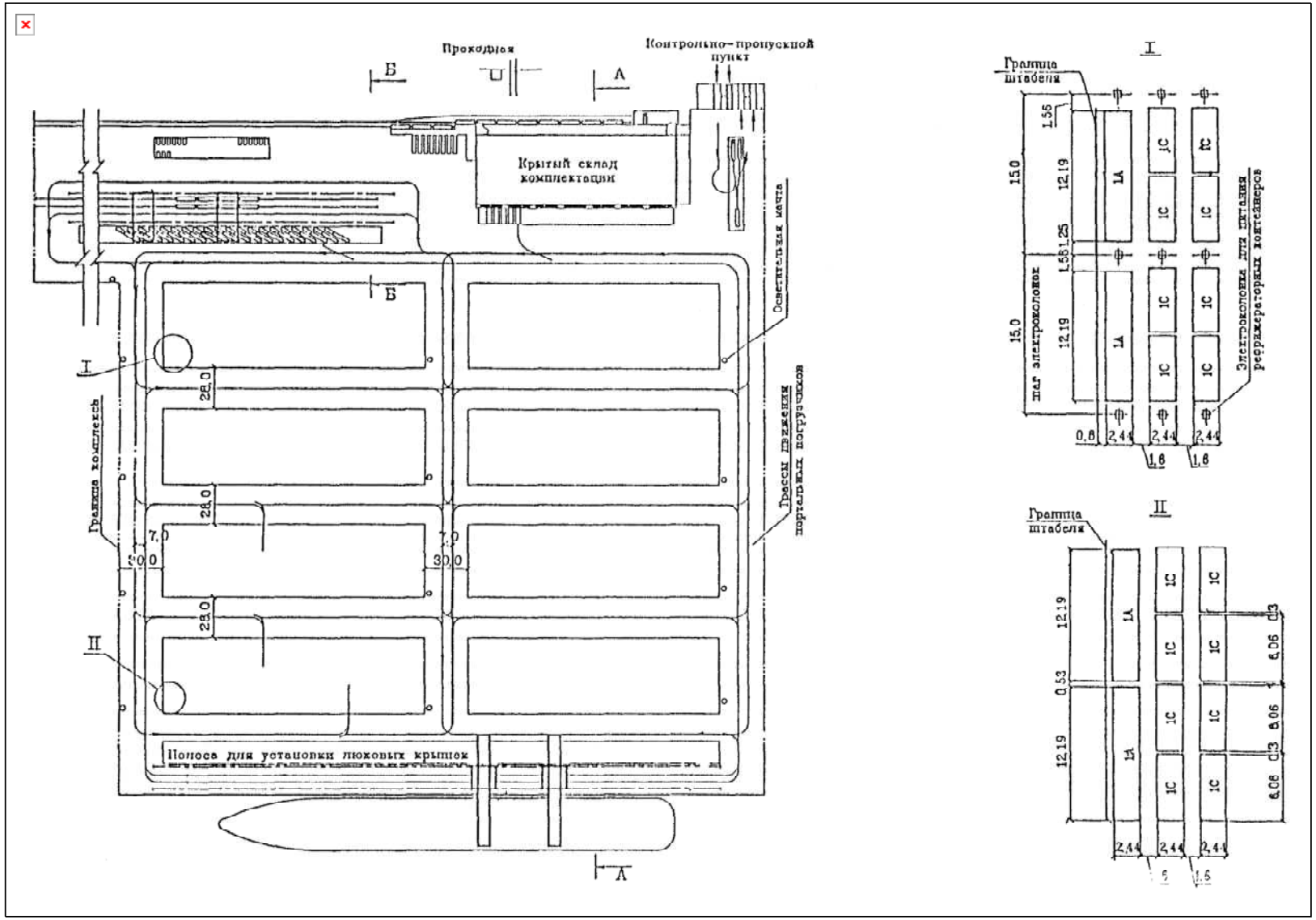


Рис. 1. Схема механизации с портальными погрузчиками и размещением контейнеров перпендикулярно линии кордона

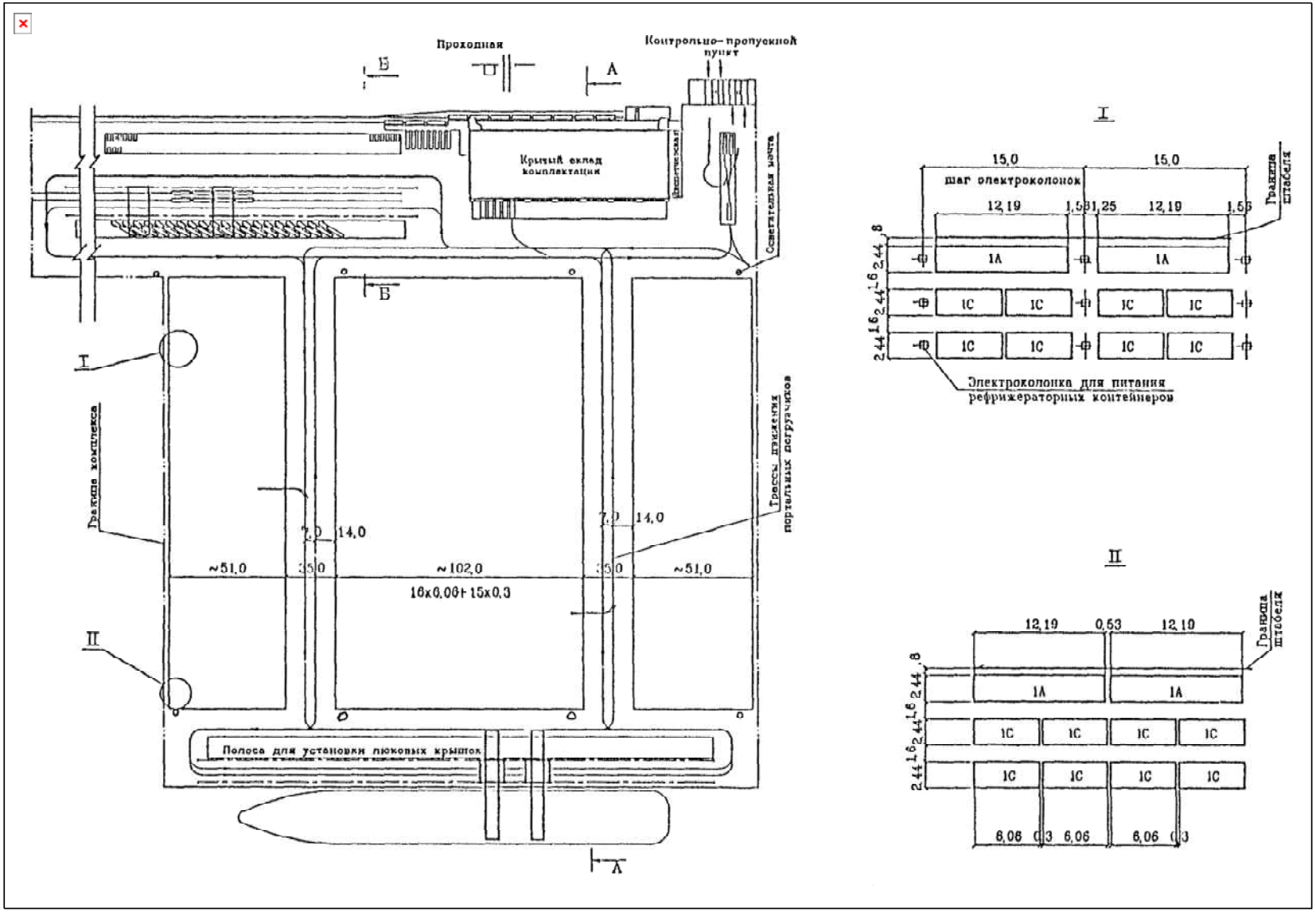


Рис. 2. Схема механизации с портальными погрузчиками и размещением контейнеров параллельно линии кордона

Литература:

1. СНиП 23.03.2003 Защита от шума
2. 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., 1997 г.
3. РД 31.3.05-97 Нормы технологического проектировании морских портов, М., 1998 г.
4. СанПиН 4962-89 Санитарные правила для морских и речных портов
5. Н.И.Иванов «Инженерная акустика», СПб.

ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В АВИАЦИИ И ПУТИ ИХ СНИЖЕНИЯ

Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Пирожков М.В.
Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины МО РФ, г. Москва

Анкетирование авиационных специалистов позволило установить, что среди неблагоприятных производственных факторов доминирует шум. Мероприятия, проводимые по снижению шума, как правило, недостаточно эффективны. В особо неблагоприятных акустических условиях находятся инженерно-технический состав, принимающий участие в обслуживании летательных аппаратов при работе двигателей.

Исследование акустической обстановки на рабочих местах авиационных специалистов показало, что шум имеет широкополосный спектр, в котором представлены акустические колебания звукового и инфразвукового диапазонов. В большинстве случаев уровни шума на рабочих местах превышают санитарные нормы, а в спектре шума максимум звукового давления приходится на область низких и средних частот.

Источниками высокоинтенсивного авиационного шума являются основные и дополнительные двигатели, компрессоры, кондиционеры, а также корпус планера во время полета.

Большие технические трудности возникают при борьбе с низкочастотным шумом и инфразвуком, образующихся как за счет работы двигателей, так и аэродинамических потоков.

Гигиеническая оценка факторов рабочей среды авиационных специалистов показала, что их условия туда по шуму необходимо относить к вредному и опасному классам, а по инфразвуку – к вредному классу. Это приводит к тому, что длительное действие авиационного шума создает высокий профессиональный риск для развития специфических и неспецифических заболеваний. Требуется дальнейшее изучение механизмов, клинических проявлений сочетанного действия шума и инфразвука, а также разработка нормативных величин для условий труда авиационных специалистов.

Исследование средств индивидуальной защиты от шума в авиации показало их удовлетворительную эффективность в области высоких и средних частот и недостаточную – в области низких частот и инфразвука.

Изготовлены опытные образцы СИЗ от шума для инженерно-технического состава - противошумные наушники и противошумный шлем (летний и зимний вариант). Оценка акустической эффективности разработанных образцов СИЗ и зарубежных аналогов в экспериментальных условиях позволила выявить недостатки и преимущества отечественных и зарубежных образцов. Опытные

образцы СИЗ обеспечивали снижение уровня шума в области низких частот (125-250 Гц) до 27 дБ, в области средних частот (500-2000 Гц) до 47 дБ и в области высоких частот (4000-8000 Гц) до 30 дБ. Проведена экспериментальная оценка эффективности данных образцов в области инфразвука. Установлено, что они способны снижать уровень инфразвука на 20-25 дБ.

Перспективными направлениями по профилактики неблагоприятного действия высокоинтенсивного шума и инфразвука являются:

- техническое совершенствование летательных аппаратов;
- разработка более эффективных средств индивидуальной защиты от шума и инфразвука;
- улучшение профилактики неблагоприятного действия шума и инфразвука на организм человека.

ИЗМЕРЕНИЯ ШУМА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

Минина Н.Н.
Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры, СПБ

Строительные площадки являются заметным источником шума в жилой застройке [1-3]. Уровни шума, измеренные на расстоянии 7,5 от строительства достигают 75-100 дБА. Общепринятых методов измерений шума стройплощадок нет. Имеющиеся нормативные документы [4,5] относятся к отдельным источникам шума стройплощадок: строительные машины, механизмы и пр. Исследования шума стройплощадок, выполненные автором [1,2], показали, что строительные площадки – сложные источники звука, процессы шумообразования которых определяются излучением отдельных источников и процессами переотражения звука. Таким образом, строительные площадки можно отнести к площадным источникам. Эта специфика предполагает сложные процессы затухания звука от стройплощадок, которые не подчиняются законам затухания для точечных излучателей сферических звуковых волн. Ярко выраженная спецификация этих процессов потребовала разработки специальной методики измерения шума стройплощадок.

Измерения шума стройплощадок проводятся на расстоянии 15 м от ее границ.

Строительная площадка имеет несколько шумовых характеристик в зависимости от расположения вокруг нее застройки. Для каждой стороны строительной площадки, напротив которой расположена застройка, определяется характеристика шума. Число характеристик шума стройплощадки

от 1 (застройка расположена с одной стороны) до 4 (застройка расположена с четырех сторон).

Шумовыми характеристиками строительных площадок являются:

– усредненные по измерительным точкам уровни звука L_A, дБА – для стройплощадок с постоянным шумом;
– усредненные по измерительным точкам эквивалентные уровни звука, $L_{Аэкв}$, дБА, и максимальные уровни звука L_{Amax} – для стройплощадок с непостоянным шумом.

Усредненные характеристики шума стройплощадки в точках расположенных в стороны застройки определяются:

$$\bar{L}_A = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} L_{A_i}, \text{дБА}$$

$$\bar{L}_{Аэкв} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} L_{A_{экв i}}, \text{дБА}$$

где N – число измерительных точек(как правило, N=3), $\bar{L}_{A\,i}$ – уровень звука в i-той измерительной точке, дБА; $\bar{L}_{Аэкв i}$ – эквивалентный уровень звука в i – той измерительной точке, дБА.

Перед проведением измерений необходимо, в зависимости от числа работающих на стройплощадке источников, выбрать ее тип (простая или сложная), а так же ее схему (площадная или линейная), а затем наметить точки измерений.

– простые (число источников не превышает 3);
– сложные (число источников более 3).

Простые строительные площадки условно принимаются набором точечных источников звука, излучающих сферическую звуковую волну, и их испытания проводятся по ГОСТ 31325-2006 (ИСО 4872:1978), а отдельные машины испытываются по ГОСТ 28975-91 (ИСО 6395-88).

Сложные строительные площадки в зависимости от расположения источников звука подразделяются на две схемы:

– линейные(расположены, как правило, на насыпи или эстакаде, а так же в выемке);
– площадные (расположены, как правило, на ровной поверхности).

Линейные строительные площадки представляют собой набор источников звука, выстроенных в линию (примером может служить технология строительства автомобильных дорог).

Условно можно принять, что такие строительные площадки до определенных расстояний R ($R \leq L_{стр}/\pi$-где $L_{стр}$ – длина строительной площадки) излучают цилиндрическую звуковую волну, на больших расстояниях образуется сферическая звуковая волна.

Площадные строительные площадки представляют собой набор источников шума, расположенных на площади S (S=a*b, где a и b линейные размеры строительной площадки). На расстояниях $R \leq 0{,}4\sqrt{S}$ такие

стройплощадки излучают плоскую звуковую волну, а на больших расстояниях – цилиндрическую.

На больших расстояниях и линейные, и площадные строительные площадки являются источниками сферических звуковых волн.

Число измерительных точек для стройплощадок, расположенных на ровной поверхности, принимается:

- не менее 3, если застройка расположена с одной стороны стройплощадки;
- не менее 6, если застройка расположена с двух сторон стройплощадки;
- не менее 9, если застройка расположена с трех сторон стройплощадки.
- не менее 12, если застройка расположена с четырех сторон.

Для стройплощадок, расположенных в выемке или на насыпи и эстакаде, минимальное число измерительных точек принимается равным 3, если застройка расположена с одной стороны, и не менее 6, если застройка расположена с обеих сторон выемки, насыпи или эстакады.

Измерительные точки располагаются на расстоянии 15 м от границы стройплощадки, на высоте 1,2±0,1 м от поверхности, на которой располагается измеритель или микрофонная стойка.

Если стройплощадка располагается на насыпи или эстакаде, измерительные точки располагаются на расстоянии 15 м от их основания, а в выемке – на 15м от вершины выемки.

Измерительные точки располагаются вдоль каждой из сторон по краям и по оси симметрии стройплощадки (рис. 1).

Расположение измерительных точек стройплощадок, расположенных на ровной поверхности показано на рис. 2, а стройплощадок, расположенных на эстакаде и в выемке, показано на рис. 3.

Время измерения в каждой измерительной точке для стройплощадки с непостоянным шумом не менее 0,5 часа, при этом рекомендуется проводить измерения в 3-х точках одновременно.

Разница в полученных результатах для каждой стороны стройплощадки (по каждым 3 измерительным точкам) не должна превышать 5 дБА, в противном случае число измерительных точек удваивается.

Если на строительной площадке выполняются различные технологические операции, уровень звука или эквивалентные уровни звука которых различаются на 3 и более дБА, то шумовые характеристики определяются для каждой технологической операции.

Приведенные в настоящей публикации данные послужили основой для разработки государственного стандарта.

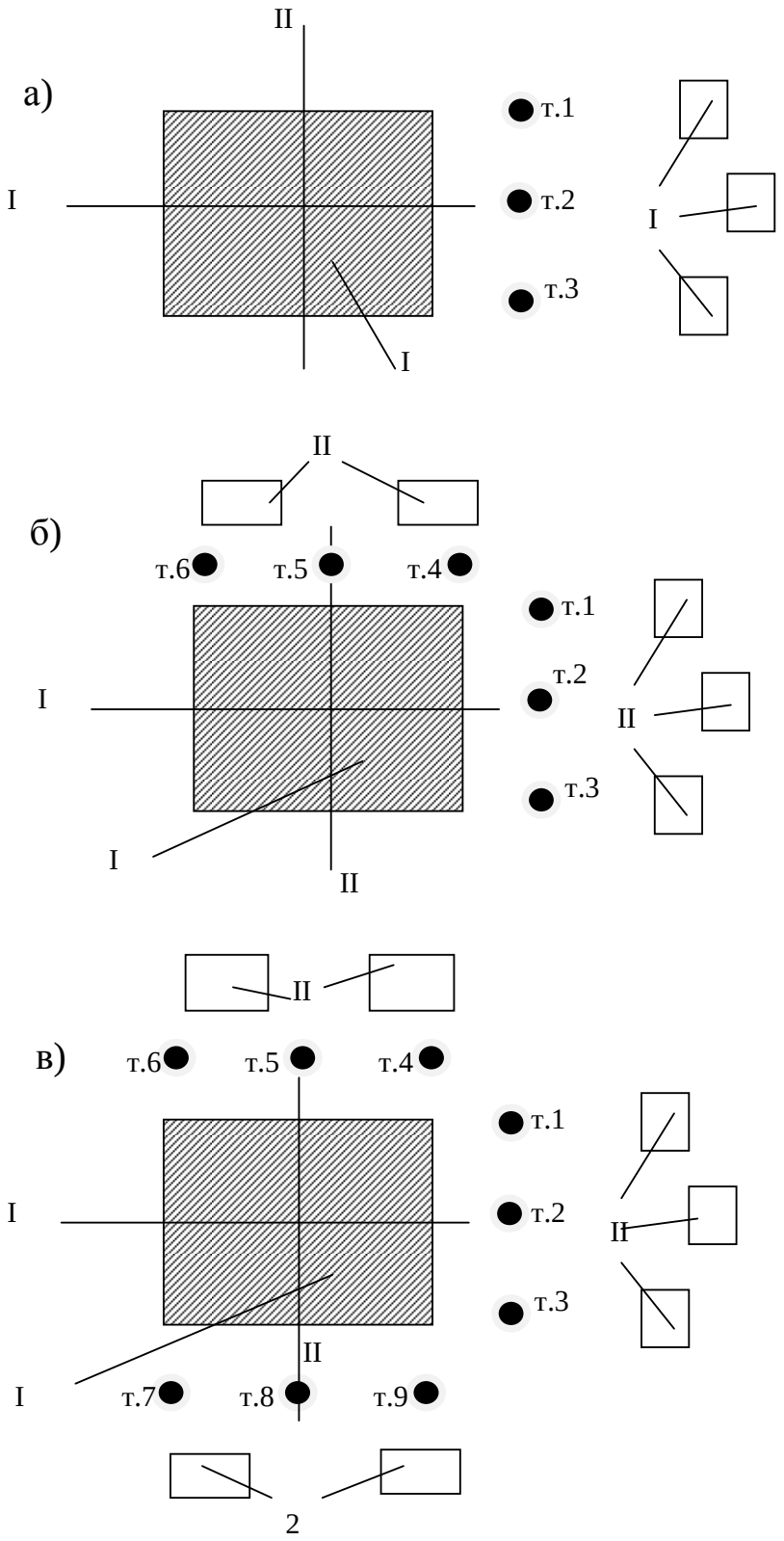


Рис. 1. Схема расположения измерительных точек для строительных площадок, расположенных на ровной поверхности (вид сверху): а) застройка с одной стороны, б) застройка с двух сторон, в) застройка с 3-х сторон; I и II оси симметрии, т.1 – т.12 измерительные точки; I – стройплощадка, II – строения

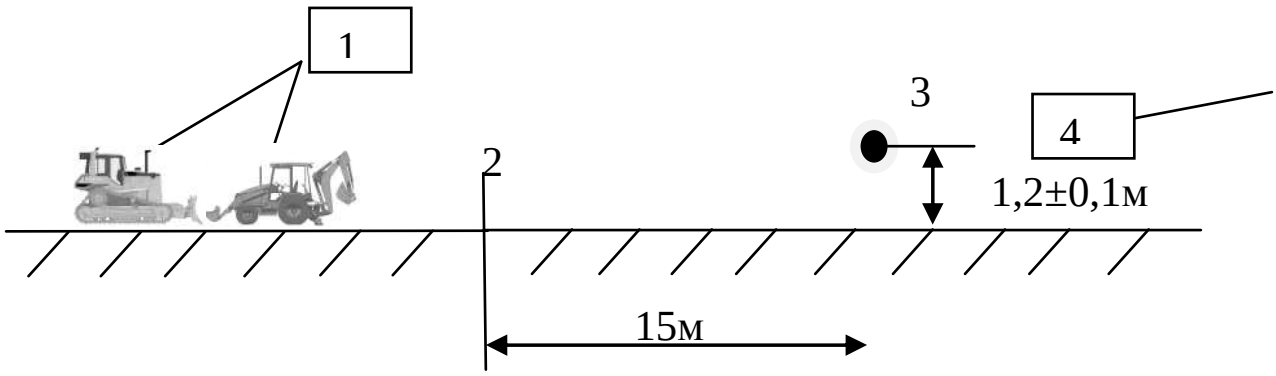


Рис. 2. Схема расположения измерительных точек для строительных площадок, расположенных на ровной поверхности (сбоку);
1 – источники шума, 2 – граница стройплощадки, 3 – измерительная точка, 4 – жилая застройка

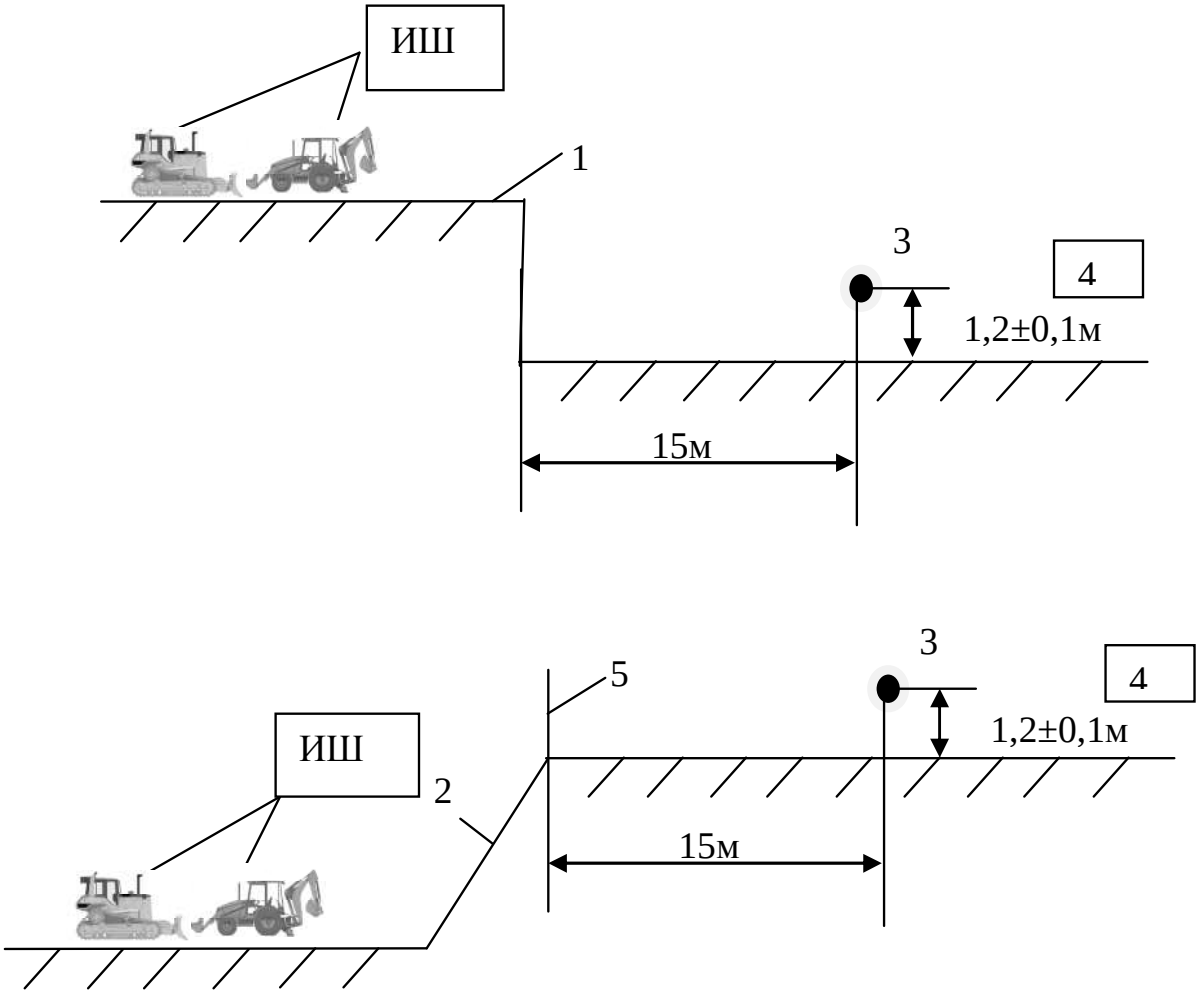


Рис. 3. Схема расположения измерительных точек: а) для строительных площадок на эстакаде (насыпи), б) для строительных площадок в выемке; 1 – эстакада (насыпь), 2 – выемка, 3 – измерительная точка, 4 – жилая застройка, 5 – край выемки, ИШ – источник шума.

Литература

1. Минина Н. Н., Иванов Н. И., Тюрина Н. В., Элькин Ю. И., Грибов С. А., Куклин Д. А. Снижение шума при строительстве, «Безопасность жизнедеятельности», 2005 (8), с. 22-25.
2. Минина Н. Н., Иванов Н. И., Тюрина Н. В. Расчет и мероприятия по снижению строительного шума. Труды Второй Международной научно-технической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно транспортных комплексов», Тольятти, 22-25 сентября 2005 г., с. 34-38.
3. Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник.- М.: университетская книга, «Логос», 2008 г., с. 424.
4. ГОСТ 28975-91, Акустика. Измерение внешнего шума, излучаемого землеройными машинами. Испытания в динамическом режиме
5. ГОСТ 31325-2006 (ИСО 4872:1978) Шум. Измерение шума строительного оборудования, работающего под открытым небом. Метод установления соответствия нормам шума

ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА ВЫПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Иванов Н.И., Петров С.К., Толоконников И.С.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова

1. Введение

Одним из основных источников шума является шум выпуска двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Снижения аэродинамического шума выпуска ДВС достигается применением глушителей. Глушители многообразны по конструктивному исполнению, в основном, за счет использования в различных сочетаниях общих конструктивных элементов, каковыми являются:

– расширительные камеры (одно, -двух, -трех, и четырех камерные);
– перфорированные трубки, обечайки и перегородки;
– глухие перегородки;
– конструктивные элементы, изменяющие направление потока газов;
– соединительные трубки и трубки Вентури;
– элементы, разделяющие поток газов в глушителе;
– звукопоглощающие облицовки;
– входные и выходные патрубки.

Была поставлена задача выявить эффективность конструктивных элементов глушителей.

2. Испытательная установка

Измерения опытных глушителей проводились на специально созданном стенде, общий вид которого показан на рис. 1. Стенд представлял собой физическую установку, заключенную в звукоизолирующий капот.

На выпуске ДВС был установлен соединительный патрубок к свободному концу которого крепился испытываемый глушитель (или труба равной с глушителем длины). Между установкой и испытываемым глушителем устанавливался акустический экран.

Измерялись следующие параметры:

– температура на входе глушителя и выходе из глушителя, °С;
– противодавление, %;
– скорость струи выпускных газов из глушителя, м/с;
– уровни звукового давления в октавных и 1/3 октавных полосах частот, дБ и уровни звука, дБА;

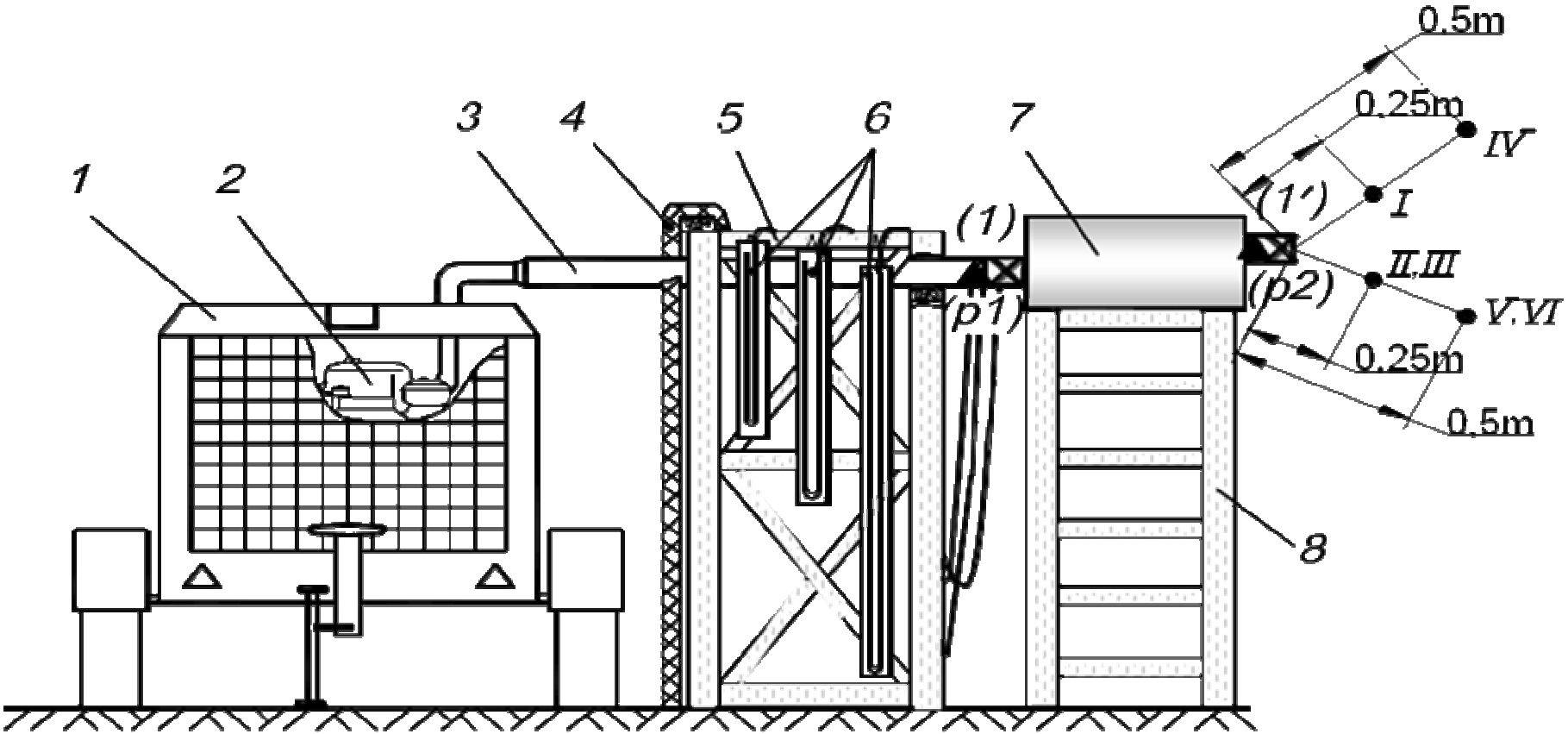


Рис. 1. Общий вид стенда для испытаний глушителей шума выпуска двигателей внутреннего сгорания:
1 – звукоизолирующий капот, 2 – ДВС, 3 – соединительный патрубок, 4 – акустический экран, 5, 6 – измерительные приборы, 7 – испытываемый глушитель, 8 – стойка.

3. Полученные значения противодавления, температуры, скорости.

На входе опытных глушителей температура составила 350 – 400 °С, а на выходе снижалась на величину от 60 до 160 °С. Скорость на выходе 7,5 – 10 м/с, а скорость на входе выше в 1,5 – 2 раза.

Противодавление в глушителе – едва ли не основной показатель его эффективности. Полученная зависимость эффективности глушителей, дБа в зависимости от противодавления, по данным испытаний на 70 опытных глушителях приведена на рис. 2

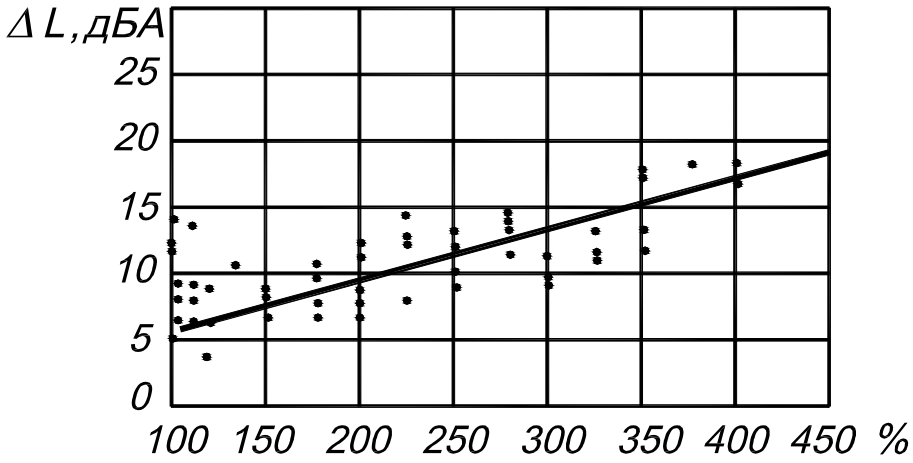


Рис. 2. Связь противодавления (в процентах) с эффективностью глушителей

Из рисунка видно, что при увеличении противодавления в 2 раза эффективность глушителей возрастает в среднем на 4 дБА, в 3 раза – на 7 дБА, в 4 раза – на 12 дБА. Тем не менее для некоторого числа глушителей эта связь не прослеживается, что очень важно знать при разработке эффективных конструкций.

4. Связь конструктивных элементов на эффективность глушителя

Влияние объема. Объем глушителя (в литрах) — существенный конструктивный параметр. Он определенным образом связан с объемом двигателя: в 10–20 раз превышает его. В экспериментах были испытаны глушители с объемом 53, 147 и 196 л. Эффективность этих глушителей приведена на рис. 14.15. Видно, что увеличение объема глушителя ведет к возрастанию его эффективности на низких и средних частотах, в диапазоне 31,5–500 Гц, в особенности на частотах 63 и 125 Гц.

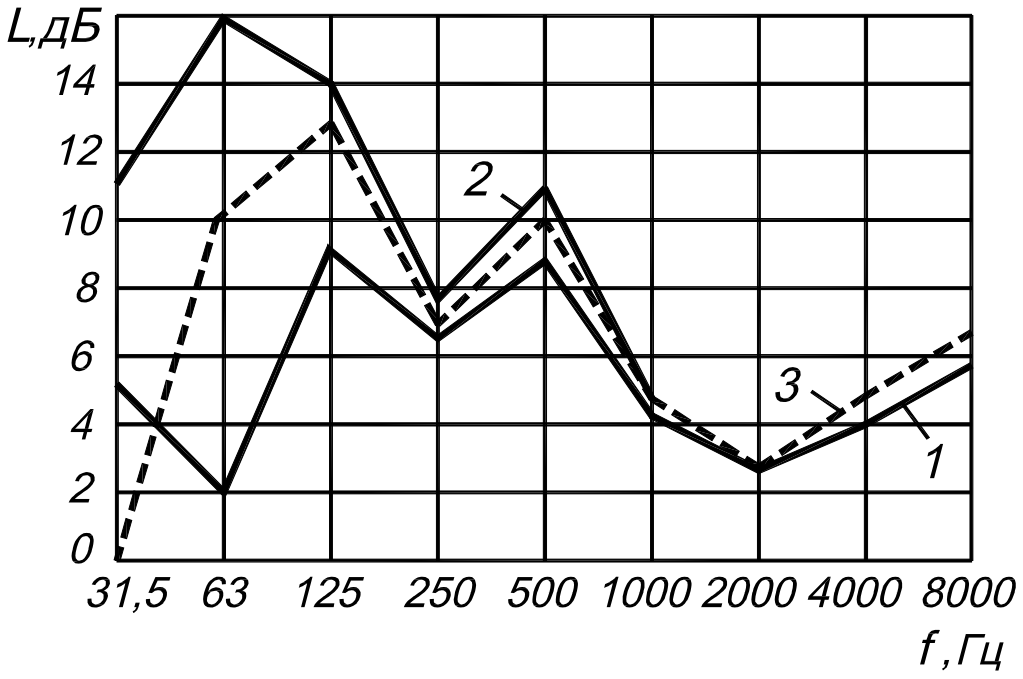


Рис.3. Эффективность глушителей различного объема:
53 (1), 147 (2) и 196 л (3)

Для глушителей рассматриваемого объема максимальное увеличение эффективности составило от 2 до 16 дБ (см. рис. 3), изменения на высоких частотах, а следовательно, уровней звука, при экспериментах не зарегистрировано.

Действие перфорации. Применение перфорированных перегородок и трубок повышает эффективность глушителей, в первую очередь на высоких и средних частотах (рис. 4). Для рассматриваемых моделей максимальное увеличение эффективности в диапазоне 500–8000 Гц составило 2–8 дБ (3 дБА по УЗ), при этом отмечается ее повышение на отдельных частотах и в низкочастотной области. При увеличении площади перфорации наблюдается возрастание эффективности глушителя как на средних и высоких, так и на низких частотах. С ростом числа камер глушителя противодавление увеличилось на 50% (см. рис. 4).

Результат поворота потока на выходе из глушителя. Организация поворота потока выпускных газов на выходе из глушителя заметно повышает его эффективность. Данные экспериментов (рис. 5) показали, что поворот потока газов влияет на эффективность в широком диапазоне частот (125–8000 Гц), кроме самых низких (31,5–63 Гц). Увеличение эффективности в результате поворота потока достигает 6 дБА (от 3 до 8 дБ по УЗД). Поворот потока не сказывается существенно на противодавлении.

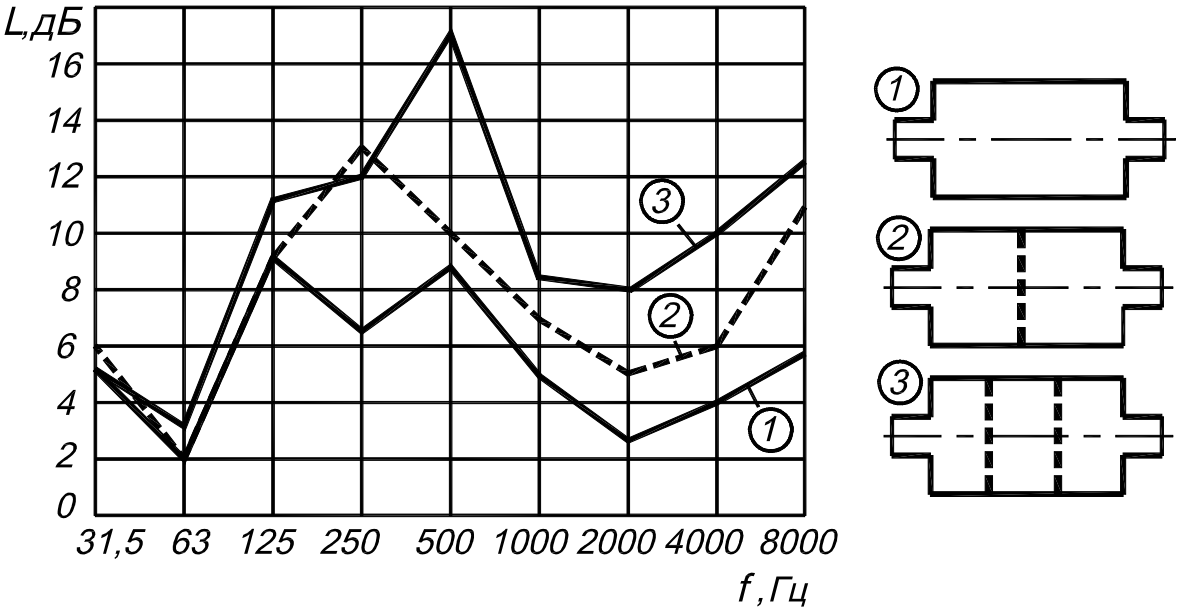


Рис.4. Эффективность глушителей с различной площадью перфорации и разным числом камер: *1* — однокамерный без перфорации; *2* — двухкамерный с перфорацией площадью 15%; *3* — трехкамерный с перфорацией площадью 30%. Противодавление: 400 (*1*), 550 (*2*) и 600 мм вод. ст. (*3*)

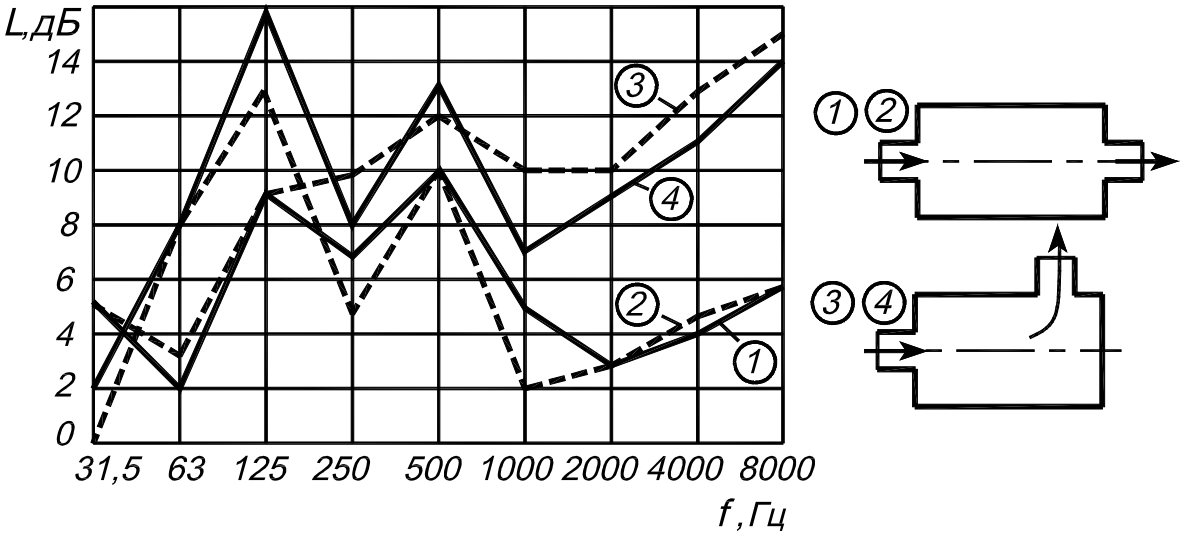


Рис. 5. Эффективность глушителей без поворота потока выпускных газов на выходе (*1*) и с поворотом (*2*)

Влияние звукопоглощения. Использование звукопоглощения в глушителях — самый действенный способ повышения их эффективности на средних и высоких частотах. Увеличение эффективности в диапазоне 500–8000 Гц при максимальной площади облицовки составило 6–7 дБ, или почти 7 дБА по УЗ. Эффективность глушителей возрастает с увеличением площади

звукопоглощения по нелинейному закону, поэтому даже небольшая площадь ЗПМ дает заметный эффект. С введением звукопоглощения противодавление несколько падает.

Действие резонансного элемента в глушителе. В практике конструирования глушителей очень широко используются резонансные камеры. На рис. 6 показаны результаты испытаний глушителя с резонансной камерой. Ее применение дало дополнительный эффект 2–5 дБ на высоких частотах (1000–8000 Гц), увеличение эффективности по УЗ — 5 дБА

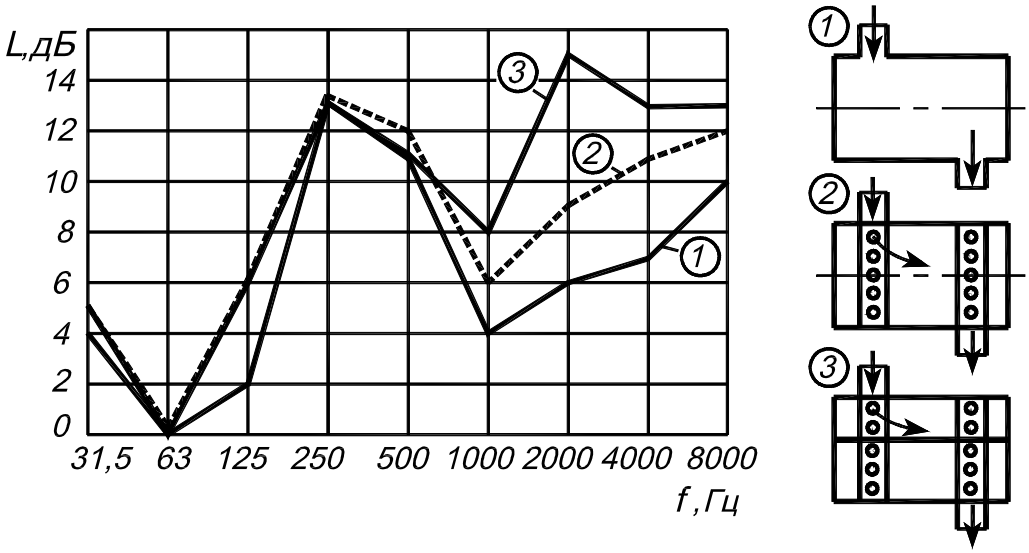


Рис. 6. Эффективность различных глушителей:
полая камера (*1*), с перфорацией на входе и выходе (*2*) и с дополнительной резонансной камерой (*3*)

Влияние трубки Вентури.

На рис. 7 показано влияние на эффективность глушители трубки Вентури.

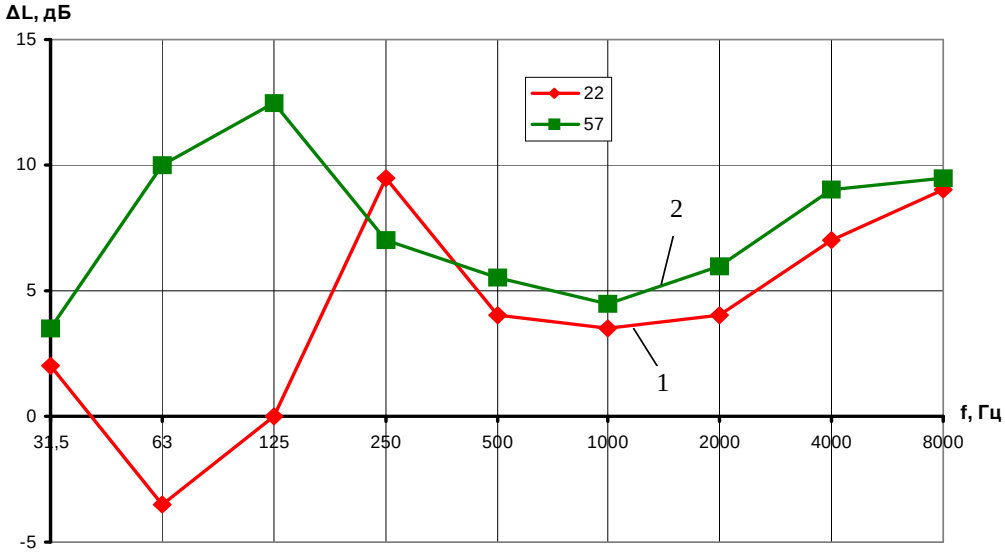


Рис. 7. Эффективность глушителя с трубкой Вентури (2)
по сравнению с полой камерой (1): 1 – 22, 2 – 57

Применение этого конструктивного элемента увеличивает эффективность глушителя в низкочастотном диапазоне (63 – 125 Гц) на 10 – 14 дБ; при этом разница в эффективности на средних и высоких частотах не превышает 1 – 2 дБ. На рис. 8. показана эффективность трехкамерных глушителей с трубкой внутри.

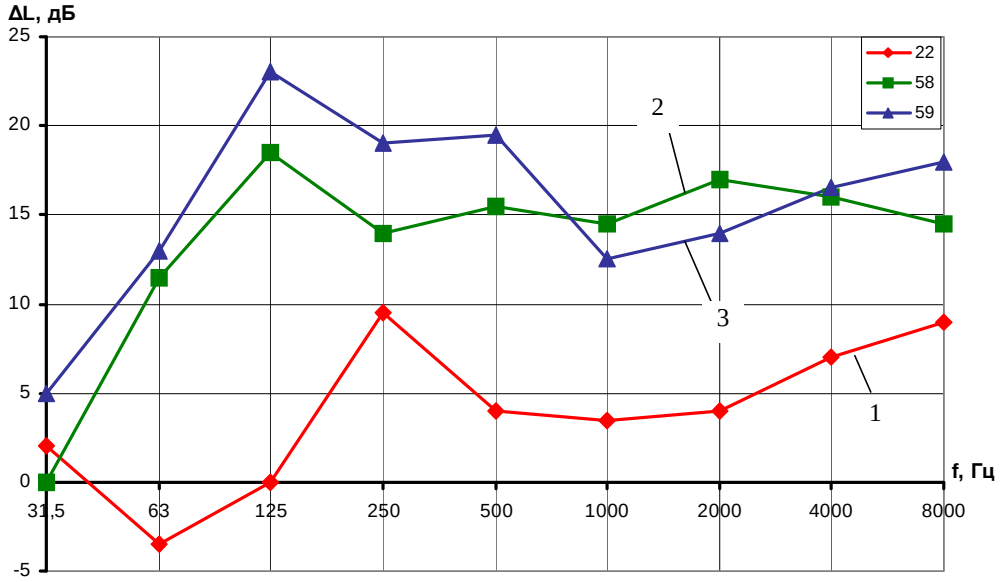


Рис. 8. Эффективность трехкамерных глушителей с трубкой Вентури (2,3) по сравнению с полой камерой (1): 1 – 22, 2 – 58, 3 – 59.

Эта конструкция обеспечивает очень высокое шумоглушение 5-23 дБ в диапазоне частот 63-8000 Гц. Эффект на низких частотах обеспечивается трубкой Вентури, а на средних и высоких – перегородками и рациональной организацией движения газового потока. При этом отметим, что противодавление таких глушителей не более чем в 2 раза превышает противодавление полой камеры.

Получена связь основных конструктивных параметров глушителей с эффективностью, что позволит улучшить характеристики глушителей.

Литература

1. Н.И.Иванов. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом Учебник для студентов технических специальностей вузов.
2. М. Н. Дробаха. Снижение шума транспортных машин глушителями на примере трактора МТЗ-82, 2004 г.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО ШУМА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Петров С.К., Толоконников И.С.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Измерения шума, возникающего в окружающей среде при наземных испытаниях высотного ракетного двигателя на специальном испытательном стенде, были выполнены с учётом требований предприятия, на территории которого исторически размещается испытательная станция, являющаяся собственностью стороннего предприятия. Данные проведенных измерений шума на расстоянии 50 м. от газодинамического тракта (ГДТ) огневого стенда показаны на рис. 1.

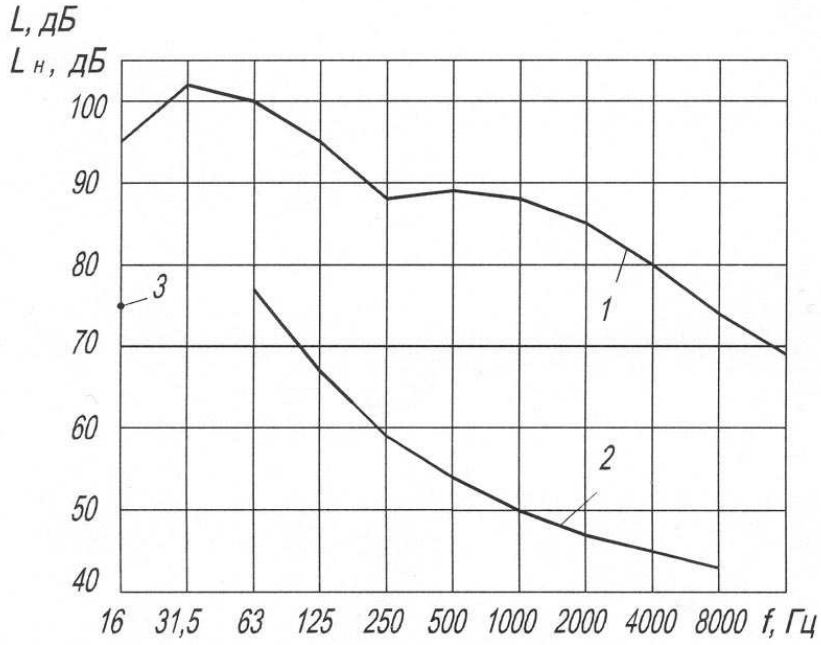


Рис.1. Спектры шума на расстоянии 50 м от выхода из ГДТ стенд в сравнении с нормами шума для жилой застройки (2) и инфразвука (3) для территории жилой застройки

Зафиксировано достижение шума значения 95 дБА (при норме шума в жилой застройке 55 дБА). Существенные превышения отмечены во всем нормируемом частотном диапазоне. Шум превышает нормы даже на стоянках транспорта, расположенных на расстоянии свыше 1000 м. от испытательного стенда.

Разработанное специальное шумозащитное устройство (рис. 2.), в котором для шумоглушения использовалось звукопоглощение и поворот потока газов, имеет целый ряд конструктивных особенностей, из-за сложных условий работы конструкции. К таковым относятся: существенная силовая нагрузка на конструкцию шумозащитного устройства, вследствие высокого скоростного напора потока выхлопных газов, высокая температура продуктов сгорания ракетного двигателя, содержание в продуктах сгорания взрывопожароопасных веществ.

Особенности конструктивного исполнения данного шумоглушащего устройства могут быть применены при решении задач снижения шума при выхлопе высокотемпературных потоков большого расхода при реализации различных промышленных процессов.

Шумозащитное устройство представляет собой четырехкамерный пластинчатый глушитель и включает в себя:

– наружную камеру квадратного сечения с набором параллельно установленных внутри камеры панелей (пластин), заполненных четырьмя слоями базальтовых звукопоглощающих матов толщиной по 50 мм каждый;
– перекрытие выходного сечения газоотводного канала с проемом для установки глушителя и отверстиями для дренажа водорода, содержащегося в продуктах сгорания, из подпотолочного пространства;
– систему водяного орошения продуктов сгорания на входе в глушитель шума для защиты от температурных воздействий потока выхлопных газов на стальные балки перекрытия.

Камера глушителя представляет из себя коробчатую конструкцию с размерами в плане 6 м x 6 м и высотой 10 м.

Боковые стены камеры (рис.3) собраны на электродуговой сварке из панелей с размерами 5 м x 3 м.

Каркас каждой панели изготовлен из стальных швеллеров № 20.

Наружная боковая поверхность панели выполнена из листовой конструкционной стали толщиной 3 мм.

Внутренняя боковая поверхность выполнена из перфорированного просечно-вытяжного стального листа толщиной 4 мм.

Объем каждой панели заполнен базальтовыми звукопоглощающими матами с оболочкой из кремнеземной ткани, выдерживающими температуру до 700°С. Для фиксации матов внутри панели предусмотрена установка шпилек крепления (54 шт. на каждой панели).

Внутри камеры глушителя установлены панели (пластины), собранные из кассет с размерами 5 м x 3 м (рис.4).

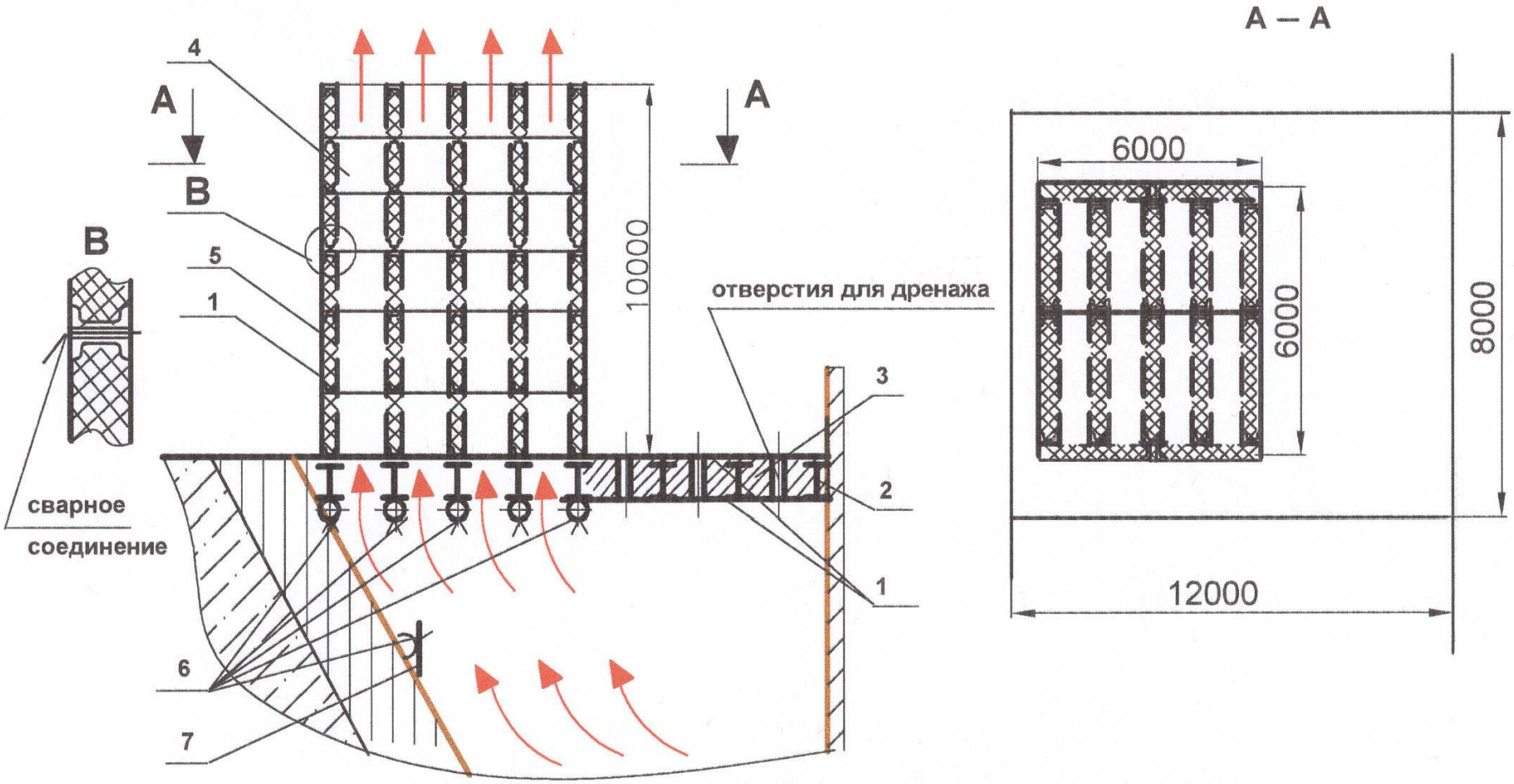


Рис. 2. Конструкция шумозащитного устройства на стенде испытательной станции РКК «Энергия» (г. Королев, Московской обл.)
1 – металлическая обшивка, 2 – балки силового набора перекрытия, 3 – сухой песок, 4 – просечное покрытие, 5 – базальтовые плиты, 6 – коллекторы подачи воды, 7 – экран

Обе боковые поверхности кассет выполнены из перфорированного просечно-вытяжного листа толщиной 4 мм.

Объем каждой кассеты также заполнен звукопоглощающими матами с оболочкой из кремнеземной ткани, зафиксированными с помощью шпилек крепления.

Перекрытие газоотводного канала представляет собой балочную клетку с настилом из стального листа с ромбическим рифлением и потолком из стального листа.

Объем перекрытия между потолком и настилом для большей звукоизоляции заполнен сухим песком.

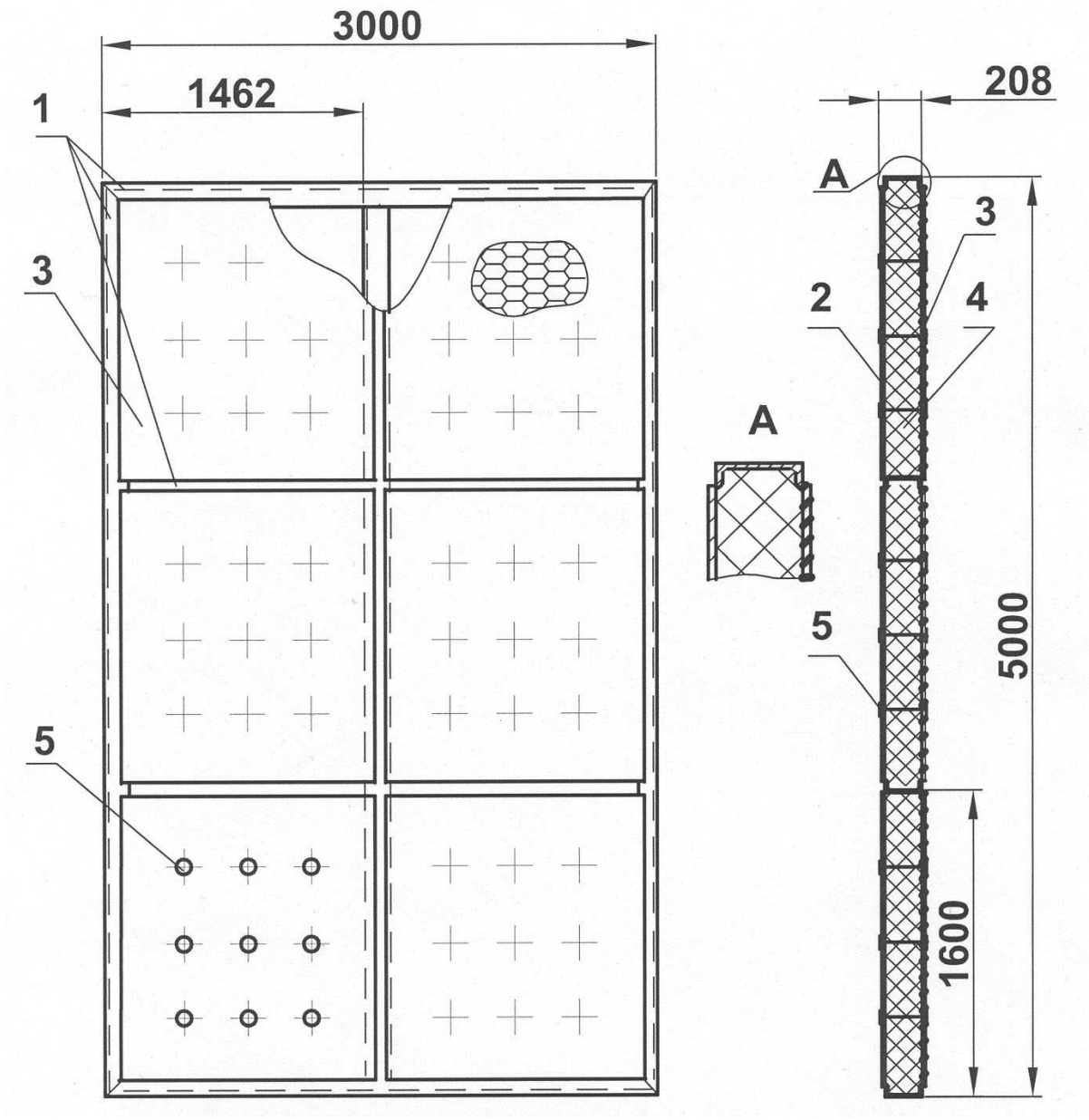


Рис.3. Панель звукопоглощающая наружного контура шумозащитного устройства

1 – швеллер № 20, 2 – лист металлический δ=3 мм, 3 – лист просечно-вытяжной δ=4 мм, 4 – маты звукопоглощающие базальтовые, 5 – шпильки крепления матов

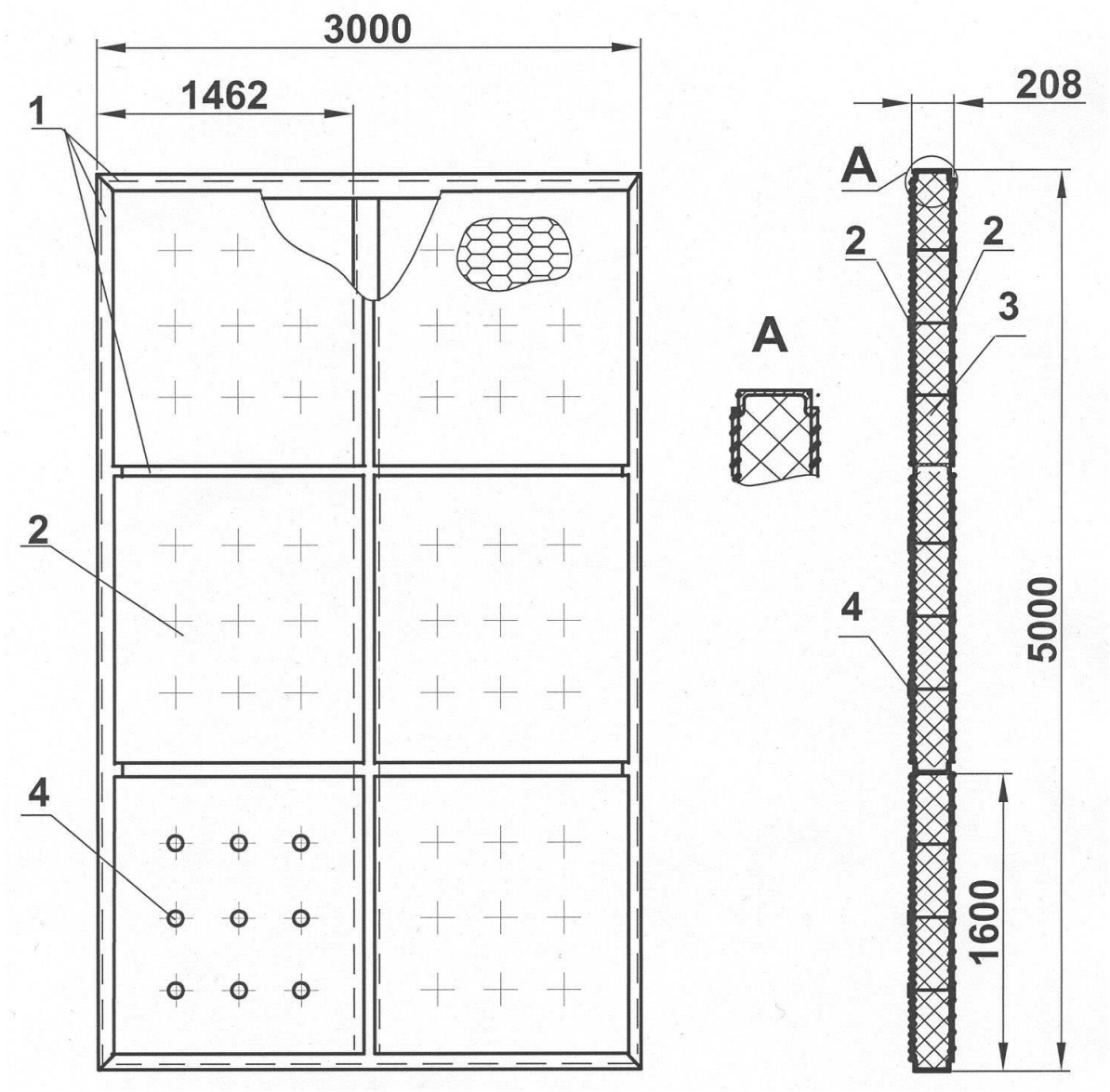


Рис.4. Панель звукопоглощающая внутренняя шумозащитного устройства
1 – швеллер № 20, 2 – лист металлический δ=3 мм, 3 – лист просечно-вытяжной δ=4 мм, 4 – маты звукопоглощающие базальтовые, 5 – шпильки крепления матов

Главные балки перекрытия выполнены из двутавра № 40, вспомогательные балки (поперечные главным) выполнены из уголка 100 мм x 100 мм.

Для дренажа водорода, содержащегося в продуктах сгорания, из подпотолочного объема в перекрытии выходного проема газоотводного канала выполнены отверстия, соединяющие через трубы ∅ 100 мм подпотолочный объем с атмосферой.

Система водяного орошения предназначена для снижения температуры продуктов сгорания на входе в глушитель шума и дополнительного звукопоглощения за счет неоднородных в поперечном направлении составляющих скорости потока при испарении воды.

Система водяного орошения выполнена из труб ∅ 100 мм со сверлениями для впрыска воды, направленными навстречу газовому потоку.

Трубы крепятся на электродуговой сварке с помощью пластин к главным балкам перекрытия.

Наряду с длиной (высотой) сконструированного пластинчатого глушителя и количеством каналов важной характеристикой является суммарная для всех четырех каналов глушителя площадь прохода, составляющая ~27,2 м^2. Как видно из рис.2, до установки перекрытия с глушителем на газоотводной канал площадь прохода равнялась площади выходного сечения ГДТ и составляла 96 м^2. Главной же характеристикой разработанной конструкции является суммарная для внутренних поверхностей боковых стен камеры и всех поверхностей стен внутренних панелей (пластин) площадь звукопоглощающей поверхности глушителя в сборе, составляющая ~600 м^2.

Расчеты показали, что устройство обеспечивает шумоглушение не менее 35 дБА, обеспечивая нормы шума при испытаниях на расстоянии не свыше 100 м от испытательного стенда.

Литература

1. Требования к снижению шума в окружающей среде при стендовых испытаниях ракетных двигателей. VI международная научно-техническая конференция по динамике технологических систем. Труды, том III, стр.129-132, 2001 г.
2. Исследование шума на испытательных стендах ЖРД и разработка требований к системам шумозащиты. Новое в теоретической и прикладной акустике. Первая всероссийская школа-семинар с международным участием. СПб.: 17-18 сентября 2001 г.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ КАПОТОВ

Дроздова Л.Ф., Кудаев А.В.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова

В статье рассмотрены проблемы, возникающие при капотировании энергетических установок (ЭУ), связанные с теплообменом между энергетической установкой и окружающей средой. Проанализирована зависимость акустической эффективности капота от его конструктивных параметров, наличия звуко и вибропоглощающих покрытий и др. факторов. Приведена классификация капотов в зависимости от его конструктивных особенностей и способа вентиляции подкапотного пространства.

Среди существующих средств борьбы с шумом и вибрацией стационарных источников шума, находящихся в помещении или открытом пространстве, а также одного из основных источников шума транспортных машин и передвижных агрегатов – ее энергетической установки (ЭУ) наиболее комплексным является капотирование. Капотирование представляет собой установку на источник шума звукоизолирующего капота (ЗИК) с обеспечением между ними воздушного промежутка.

Обычно попытки заключить источник шума в абсолютно герметичный капот в целях достижения максимальной звукоизоляции, как правило, приводят к значительному повышению температуры воздуха в подкапотном пространстве, что, в свою очередь, может ускорить разрушение капотируемого агрегата и снизить его экономические показатели. Поэтому одним из основных критериев качества капотирования можно считать степень герметичности капота – отношение суммарной площади отверстий, проемов и щелей к площади наружной поверхности капота, выраженную в %.

При капотировании характер распространения звука и теплоты под капотом, а также и за капотом существенно изменяется из-за разделения пространства на две зоны (между поверхностью ЭУ и внутренней поверхностью капота и между наружной поверхностью и внешним пространством) и определяется конструктивными особенностями капота.

Таким образом, акустическая эффективность капота зависит от большого числа факторов: формы и размеров капота, жесткости элементов ограждения, площади вентиляционных каналов, их формы (проем, щель, отверстие), среднего коэффициента звукопоглощения, звукоизоляции ограждающих конструкций, коэффициента потерь и др.

Герметичность капота должна быть такой, чтобы он, обеспечивая требуемую звукоизоляцию, не препятствовал нормальному теплообмену в подкапотном пространстве.

Кроме того капот, являясь комплексным средством снижения шума в рабочей зоне источника шума, содержит элементы, снижающие передачу воздушного шума, структурного шума и теплоты.

К элементам, снижающим передачу воздушного шума, относятся: стенки капота, звукоотражающие экраны подкапотного пространства, глушители шума, уплотняющие узлы и прокладки.

Передаче структурного шума препятствуют виброизолирующие крепления капотированного источника шума и самого капота, вибропоглощающие структуры стенок капота, виброизолирующие узлы и прокладки и др.

Снизить теплопередачу позволяют пассивная (щелевая) и активная вентиляция подкапотного пространства, теплоизолирующие структуры стенок капота.

Характерными особенностями капотов транспортных машин и передвижных агрегатов являются:

– незначительная толщина воздушного слоя в подкапотном пространстве по сравнению с максимальными размерами капота;
– повышенное тепловыделение в воздушном подкапотном пространстве;
– прохождение трубопроводов и электрических кабелей через конструкции капота;
– наличие технологических отверстий, вентиляционных каналов и смотровых окон, необходимых для эксплуатации энергетических установок (ЭУ) транспортных машин и передвижных агрегатов.

В качестве основного конструкционного материала для ограждающих поверхностей капота может быть рекомендован металлический лист, стеклопластик или, сэндвич-конструкции. При этом капоты, изготовленные из металла, могут быть каркасными и бескаркасными, разборными и неразборными, двустенными и одностенными и разной конфигурации. При изготовлении капота из металла предпочтение отдается алюминиевым сплавам, легко обрабатываемым, имеющим малую плотность и хорошие теплоотражающие свойства.

Капоты, изготавливаемые из стеклопластика, в основном изготавливаются одностенными и могут иметь любую пространственную конфигурацию, обладают высокими звукоизолирующими свойствами, кроме того, стеклопластик – коррозионно-стойкий материал. Применение стеклопластика также снижает металлоемкость капота в среднем на 30 – 35 %, не ухудшая при этом его эксплуатационные качества.

Конструкционные материалы типа «сэндвич » представляют собой материал, наружный слой которого выполнен из металла, пластмассы, стеклопластика, а внутренний - из вибропоглощающего материала.

На внутренние поверхности стенок капота, как правило, наносятся звуко- и вибропоглощающие слои, а также при необходимости защитный слой.

В конструкциях капотов могут найти применение и более легкие материалы, такие как синтетическая ткань с антипиреновым нитроцеллюлозным покрытием; полиамидная пленка толщиной до 0,5 мм.

Капоты из таких материалов могут временно устанавливаться на ЭУ строительно-дорожных машин. Акустическая эффективность легких мягких капотов (2–10 дБ) существенно ниже, чем стальных, однако облицовка внутренней поверхности слоем легкого звукопоглотителя толщиной – не более 30 мм позволяет существенно (от 4 до 15 дБ) повысить их акустическую эффективность, особенно в области высоких частот.

В качестве звукопоглощающих материалов (ЗПМ) могут быть использованы объёмные волокнистые или вспененные полимерные материалы. Волокнистые материалы обладают более высоким звукопоглощением, чем полимерные пористые.

Вибропоглощающие покрытия (ВПП) предназначены для снижения излучения колебаний конструкционными элементами капота за счет преобразования колебательной энергии в тепловую.

Они могут применяться в виде мастик, листовых прокладок и их сочетаний.

Кроме того, акустическая эффективность капота зависит от площади облицовки ЗПМ. При облицовке 15 % внутренних ограждающих поверхностей капота его эффективность возрастает на 5 – 10 дБ в диапазоне частот 125 – 8000 Гц. Увеличение площади облицовки до 50% дает дополнительный эффект от 2 до 4 дБ, главным образом на высоких частотах (в диапазоне 2000 – 8000 Гц). Зависимость эффективности ЗИК от площади покрытой ЗПМ приведена на рис. 1.

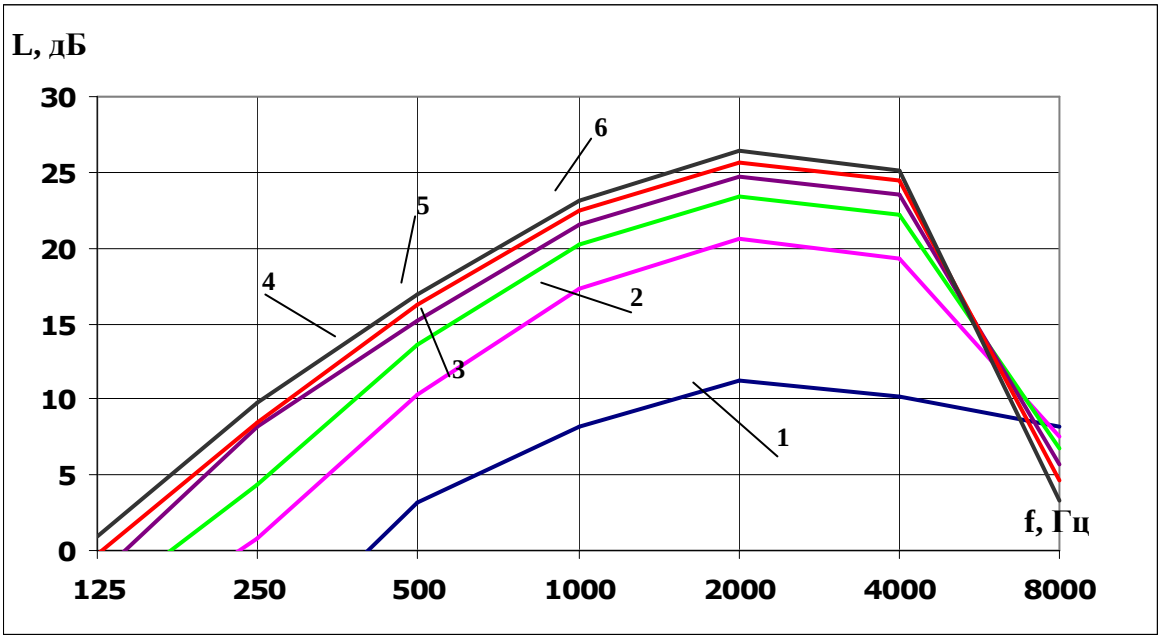


Рис. 1. Зависимость эффективности ЗИК от площади покрытой ЗПМ. Условные обозначения: 1–площадь ЗПМ, 0%; 2–площадь ЗПМ, 20%; 3–площадь ЗПМ, 40%; 4–площадь ЗПМ, 60%; 5–площадь ЗПМ, 80%; 6–площадь ЗПМ, 100%.

Дальнейшее увеличение площади облицовки также увеличивает его эффективность, но уже в меньшей степени. Такой характер изменения эффективности наблюдается только в закрытых капотах, появление в капоте вентиляционных каналов или технологических отверстий приводит к изменению звукового поля под капотом и изменению приведенного коэффициента звукопоглощения, что в свою очередь изменит характер зависимости эффективности капота от площади звукопоглощения.

Поэтому одним из основных факторов, отрицательно влияющих на эффективность капота, является наличие технологически необходимых вентиляционных каналов, окон или неплотностей в капоте. Большую роль при этом играют размеры, и форма канала (проем, отверстие, щель). В зависимости от соотношения длины волны падающего звука и размеров проема или ширины щели акустическая эффективность капота при одной и той же площади вентиляционного канала может колебаться в значительных пределах.

Вентиляционные каналы существенно снижают акустическую эффективность капота: даже наличие незначительных по площади проема или щели снижает его эффективность на 10 – 15 дБ в диапазоне частот 250 – 8000 Гц, а при увеличении площади проема до 4% эффективность снижается еще на 8 – 10 дБ, достигая минимума эффективности при площадях свыше 5 %.

Причем эффективность капота со щелью на высоких частотах на 3 –5 дБ больше, чем капота с проемами той же площади. Наиболее высока акустическая эффективность капотов с вентиляционными каналами в виде отверстий: по сравнению с эффективностью капотов, имеющих проемы равной площади, она выше на 7 – 14 дБ.

Немаловажную роль играет место расположения проема в капоте. Так, наличие проема на боковой стенке необлицованного открытого капота снижает его акустическую эффективность на средних и высоких частотах по сравнению с закрытым капотом на 3 – 11 дБ, тогда как наличие проема в поддоне – лишь на 2 – 4 дБ. Целесообразно поэтому располагать вентиляционные каналы на крыше или в поддоне капота. Высокой акустической эффективности капота позволяет достичь защита вентиляционных каналов акустическими экранами или специальными глушителями шума, эффективность которых должна быть не меньше звукоизоляции стенок капота. Применяются также и мягкие звукоизолирующие капоты, изготовленные из резины, брезента, плотных и тяжелых тканей на синтетической основе. Тканевые конструкции используются также в сочетании с жесткими массивными ограждениями для изготовления отдельных деталей капота, облегчающих доступ к элементам капотируемой установки.

Существует связь между акустической эффективностью капота и его формой. Так, повышение звукоизоляции капота на низких частотах достигается снижением его первой резонансной частоты за счет увеличения механической жесткости конструкции капота. Этого можно достичь, придав ограждающим конструкциям капота цилиндрическую или сферическую форму или увеличив расстояние между ограждающими поверхностями капота и ЭУ. Акустическая

эффективность капота сферической или полусферической формы в области низких частот на 10–20 дБ выше, чем плоскостенных таких же объемов.

В сочетании же со звукопоглощающей облицовкой внутренней поверхности капота и наружным вибродемпфирующим покрытием придание капоту сферической, цилиндрической или полусферической формы позволяет увеличить эффект звукоизоляции практически во всем диапазоне частот.

Для капотов с приведенным коэффициентом звукопоглощения под капотом $\bar{\alpha}$ = 0,5 при увеличении размеров капота на 40 % его эффективность возрастает всего на 1 дБ, а при $\bar{\alpha}$=0,8 – на 2,5 – 4,5 дБ. Улучшению акустических характеристик капота при увеличении его размеров способствует нанесение вибропоглощающих покрытий, которое приближает звукоизоляцию стенок капота к значениям соответствующим закону масс.

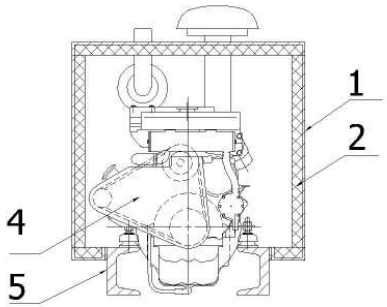
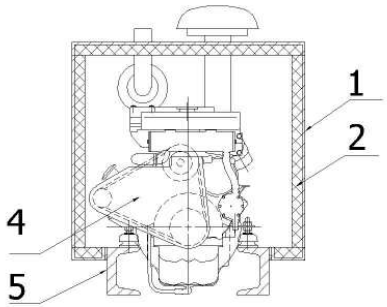
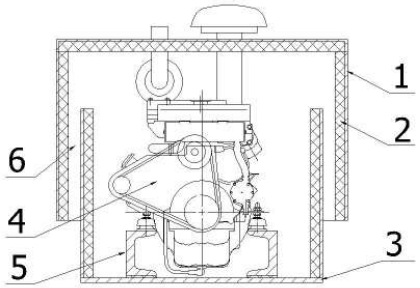
Анализ многочисленных конструкций капотов строительно-дорожных, транспортных и других машин позволил классифицировать их по таким основным признакам, как степень герметичности капота, его конструктивные особенности и способ вентиляции подкапотного пространства.

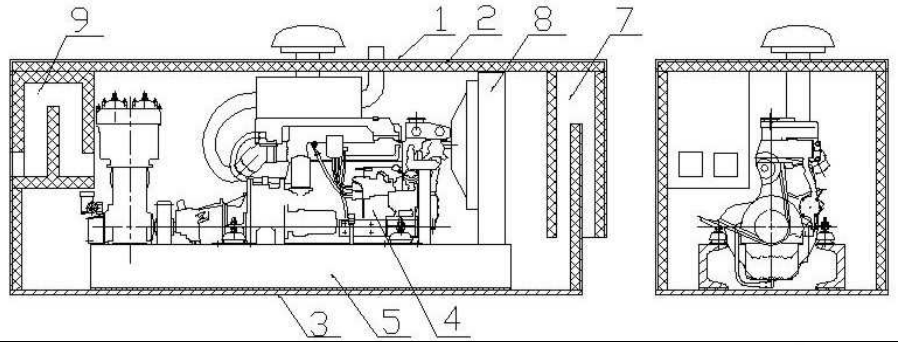
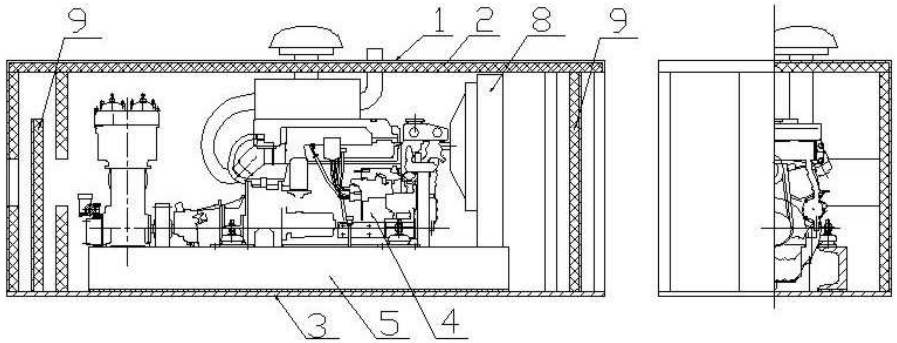
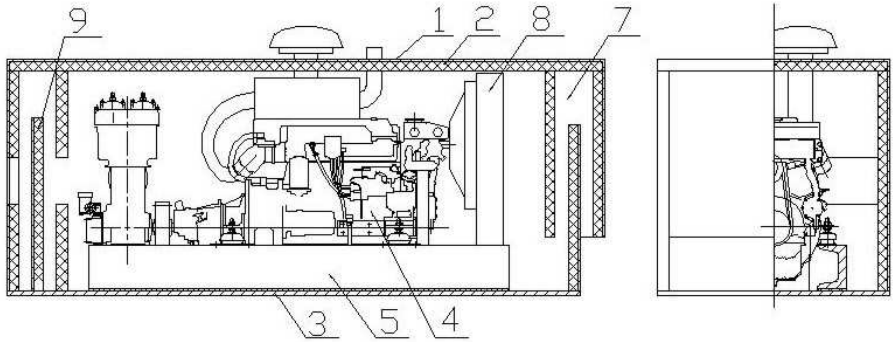
В таблице приведены акустические эффективности основных типов капотов, применяемых на транспортных машинах и передвижных агрегатах, в зависимости от их герметичности и площади звукопоглощающей облицовки.

Литература

1. Дроздова Л. Ф. Капоты силовых установок как средство ближней звукоизоляции источников шума//Методы и средства снижения шума мелиоративных машин.–Сер. 5, 6.–Вып. 3.–М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1984.
2. Техническая акустика транспортных машин. Справочник под редакцией д.т.н., профессора Н.И.Иванова, Санкт-Петербург, Политехника, 1992 г.
3. Дроздова Л. Ф. и Кудаев А.В.К вопросу о снижении шума строительно-дорожных машин» Новое в теоретической и прикладной акустике: Сборник трудов школы-семинара с международным участием. 21 ноября 2007 года, СПб./Под ред. д.т.н., проф. Н.И. Иванова; Балт. гос. техн. ун-т, СПб., 2007.
4. Дроздова Л. Ф. и Кудаев А.В Исследование влияния шумозащитных элементов капота на его эффективность». Машиностроение и техносфера XXI века//Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 17-22 сентября 2007г. Т. – 1.

Таблица

Тип капота	**Схема**	**Наличие ЗПП**		**Площадь вентиляционных каналов, %**	**Эффективность, дБА**
		Толщина. мм	**Площадь, %**		
Закрытый		20	50	Менее 2,5	20-22
			75		22-24
			100		26-28
		40	50		25-27
			75		26-28
			100		28-30
Открытый		40	50	Более 5	6-7
			75		7-9
			100		8-9
Полуза-крытый со щелью		40	50	2,5 - 5	13-15
			75		15-17
			100		16-18
			50	Более 5	12-13
			75		12-13
			100		13-15

Полузакрытый с глушителем		40	50	2,5 - 5	18-20
			75		19-21
			100		24-28
Полузакрытый экраном		40	50	2,5 -5	18-19
			75		18-20
			100		21-24
Комбинированный		40	50	2,5 -5	18-20
			78		19-20
			100		22-26

1 – Конструкционный материал, 2 – Звукопоглощающий материал, 3 – Поддон, 4 – Энергетическая установка, 5 – Рама, 6 – Вентиляционный канал в виде щели, 7 – Глушитель , 8 – Радиатор, 9 – Экран

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМА ПОЕЗДОВ

Буторина М.В., Иванов Н.И., Куклин Д.А.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Введение

Проблема снижения шума от подвижного состава железнодорожного транспорта актуальна. На расстоянии 25 м от железной дороги с интенсивным движением уровни звука в ночное и дневное время составляют не менее 75 дБА. Характер снижения звука с удвоением расстояния (до определенных значений в зависимости от длины поезда) 3 дБА на каждое удвоение расстояния. Это означает, что на территории жилой застройки, расположенной на расстоянии 100-150 м от железной дороги превышение шума над нормами может составлять 12-14 дБА днем (норма шума на территории жилой застройки в дневное время 55 дБА), т.е. превышение 2,5-3 раза по субъективному ощущению громкости и 22-24 дБА ночью (норма шума на территории жилой застройки в ночное время 45 дБА), т.е. превышение в 4-5 раз по субъективному ощущению громкости. Влиянию повышенного шума от железнодорожного транспорта подвергаются в нашей стране сотни тысяч человек.

Картина снижения звука от подвижного состава железнодорожного транспорта носит противоречивый характер, устоявшиеся представления о закономерностях и причинах происходящих процессов в научной литературе зачастую отсутствуют. Для разработки эффективных мер защиты от шума необходимо располагать объективными данными о таких закономерностях.

Была поставлена задача выяснить закономерности снижения шума в окружающей среде в зависимости от:

– типов поездов и их скорости;
– характера ландшафта (ровный участок, выемка, насыпь);
– наличия искусственных сооружений (например, мостов).

1. Теория распространения звука в свободном пространстве

Основными источниками шума поезда являются пара «колесо-рельс», пантограф и звуковой сигнал. Пантограф и звуковой сигнал являются точечными источниками сферических звуковых волн, а генерирующие при движении звук колёсные пары совместно с рельсом принимаются линейным источником звука, излучающим цилиндрическую звуковую волну. Особенностью точечных источников на поездах является их расположение на значительной высоте, а значит, излучение звука от пантографа и звукового сигнала происходит в пространство. Звук от взаимодействия колеса с рельсом излучается почти на поверхности, а значит, излучение звука от взаимодействия

колёсных пар с рельсом происходит в полупространство. Кроме того, звуковой сигнал является направленным источником звука.

Интенсивность звука от точечного источника звука на расстоянии R в общем виде:

$$I = \frac{W_{ист}\Phi}{\Omega R^2}, \text{Вт/м}^2 \qquad (1)$$

где $W_{ист}$ – акустическая мощность источника, Вт;

Φ - фактор направленности источника (для ненаправленных источников Φ = 1); Ω - пространственный угол излучения (для источника, расположенного на поверхности $\Omega = 2\pi$, над поверхностью $\Omega = 4\pi$);

R - расстояние от источника шума до расчётной точки, м.

После преобразования уровень звукового давления в РТ:

$$L_{PT} = L_{W_{ист}} + ПН - 20\lg\frac{R}{R_0} - 10\lg 4\pi, \qquad (2)$$

где $L_{W_{ист}}$ – уровень звуковой мощности источника, дБ; *ПН* - показатель направленности, дБ, (*ПН* =10lgΦ) определяется экспериментально, для ненаправленных источников *ПН*=1; R_o –опорный измерительный радиус, R_o =1 м; если Ω =4π, то 10lg 4π = 11, дБ.

Для линейного источника уровень звукового давления в РТ:

$$L_{PT} = L_{W_{ист}} + 10\lg\chi - 10\lg\frac{R}{r'_0} - 10\lg 2\pi, \text{ дБ}, \qquad (3)$$

где χ – коэффициент влияния ближнего звукового поля источника, этот коэффициент вводится для постранственных в т.ч. линейных источников, определяется в зависимости от длины последнего *l* (табл. 1).

r'_0 – опорный радиус, r'_0 –7,5м.

R – расстояние от источника шума до РТ.

$10\lg 2\pi = 8дБ$.

Таблица 1

Значение коэффициента χ

R/*l*	**χ**	**10lg χ**
0,6	3	5
0,8	2,5	4
1,0	2	3
1,2	1,6	2
1,5	1,25	1
2	1	0

При R/*l*≥2, 10lg χ=0

При выполнении расчётов на основании данных измерений уровней звукового давления (УЗД) источников формулы (2) и (3) преобразуется к виду:

$$L_{PT} = L_{ист} - 20\lg\frac{R}{r'_0} + ПН \quad , \qquad \text{дБ}, \qquad (4)$$

$L_{ист}$ – измеренные УЗД источника, дБ.

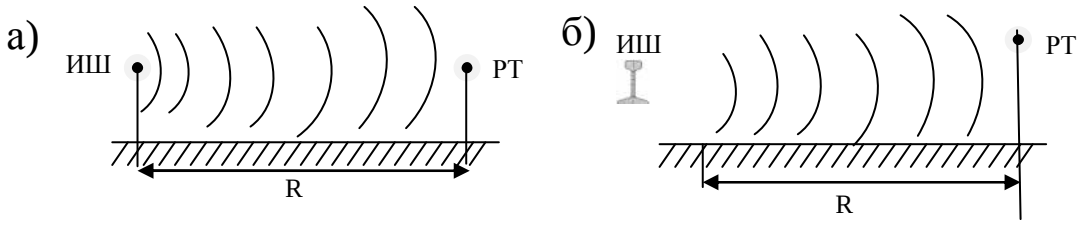


Рис. 1. Распространение звука от источника шума (ИШ) в расчётную точку (РТ):
а) точечный источник (в пространство),
б) линейный источник (в полупространство).

$$L_{PT} = L_{ист} - 10\lg\frac{R}{r'_0} + 10\lg\chi \quad , \text{дБ}, \qquad (5)$$

Условия перехода цилиндрической звуковой волны в сферическую:

$$R_{гр} \geq l/\pi \qquad (6)$$

Поезда имеют различную длину от 200 до 1200м, таким образом, расчёт в свободном звуковом поле по формуле (5) может выполняться для R приблизительно равных от 70 до почти 400 м.

Теоретические зависимости снижения уровней звука (УЗ) в свободном звуковом поле при увеличении расстояния приведены на рис. 2.

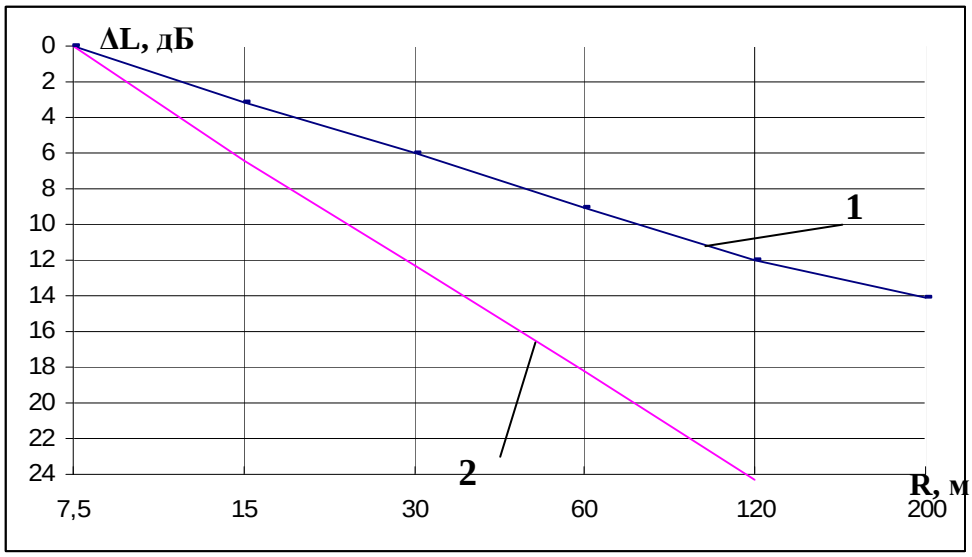


Рис. 2 Теоретическое снижение УЗ, дБА, от точечного (2) и линейного (1) источников в свободном звуковом поле

Понятие значительное расстояние условно, но при небольших расстояниях, так называемое молекулярное затухание звука в воздухе незначительно, но на расстояниях несколько сотен метров это затухание даёт заметное дополнительное снижение. При распространении звука на значительные расстояния с учётом дополнительного снижения на пути распространения элементами ландшафта, зелёными насаждениями, искусственными сооружениями и пр. звук в РТ определяется:

$$L_{PT} = L_{ист} - 10\lg\frac{R}{r'_0} - \Delta L_{покр} - \Delta L_{зат} - \Delta L_{зел} - \Delta L_{экр} - \Delta L_{выем}, \text{ дБ}, \quad (7)$$

где $\Delta L_{зат}$ – молекулярное затухание звука в воздухе, $\Delta L_{зат} = \frac{\beta_a R}{1000}, дБ$

где R – расстояние, м; β_a – затухание звука в воздухе, дБ/км (табл. 2).

Таблица 2

Значение β_a, в зависимости от частоты, Гц

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
β_a**,дБ/км**	0	0,75	1,5	3,0	6,0	12,0	24,0	48,0

$\Delta L_{зел}$ – затухание звука при прохождении через зелёные насаждения, дБ.

$\Delta L_{экр}$ – затухание звука при прохождении через акустические экраны или др. сооружения, дБ;

$\Delta L_{выем}$ – затухание звука при прохождении через выемку, дБ.

$\Delta L_{покр}$ – затухание звука при распространении звука над поверхностью, покрытой кустарниками или травой.

2. Закономерности снижения шума на ровном участке.

На ровном участке, где соблюдалось условие свободного звукового поля, проводились измерения на расстояниях 7,5, 25, 50 и 100 м от оси крайнего пути по которому следовали испытываемые поезда. Измерения были выполнены для четырех типов поездов (электропоезда, грузовые, пассажирские и скоростные поезда). Число испытанных поездов составило 32.

Схема расположения точек измерений представлена на рис. 3.

Важно отметить, что уровни звука и уровни звукового давления в четырех измерительных точках фиксировались одновременно.

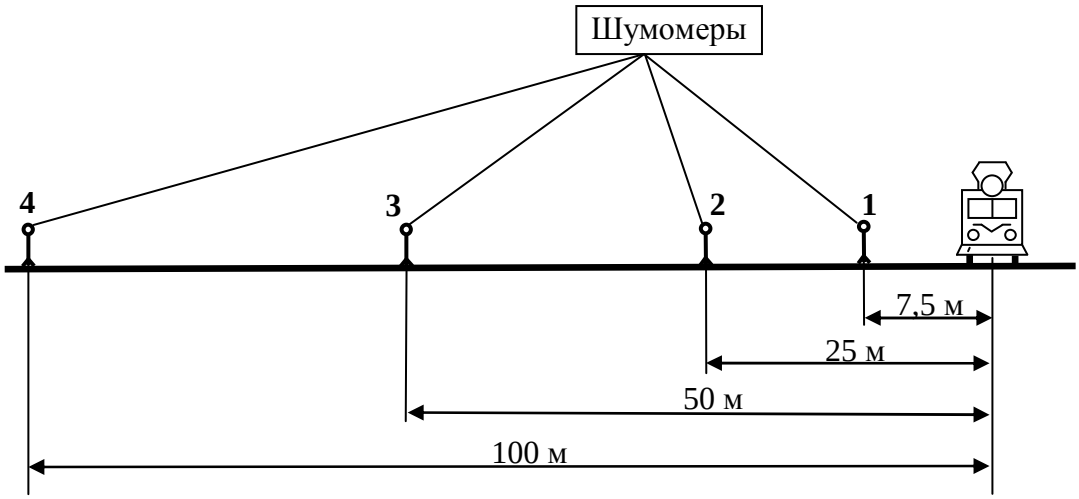


Рис. 3. Схема расположения шумомеров
при проведении исследований снижения шума при движении
подвижного состава железнодорожного транспорта на плоском участке

На рис. 4. приведены характерные зависимости снижения уровней звука в зависимости от расстояния при движении электропоездов с различными скоростями. Полученные кривые практически эквидистантны, т.е. скорость поезда не влияет на характер снижения звука с расстоянием.

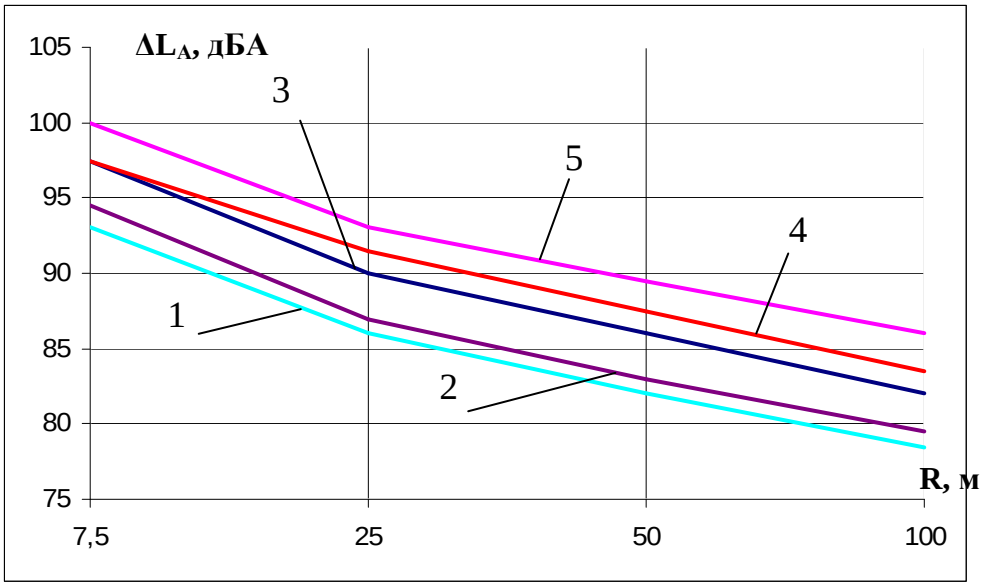


Рис. 4.Снижение УЗ, дБА, с увеличением расстояния на плоском участке
при движении электропоездов при различных скоростях движения:
1 – 75 км/ч; 2 – 90 км/ч; 3 – 105 км/ч;, 4 – 110 км/ч; 5 – 120 км/ч

Снижение шума с увеличением расстояния на ровном участке обусловлено тремя причинами:

– падение звука с увеличением расстояния вследствие расходимости звуковой волны – геометрический спад УЗ (УЗД) одинаково на всех частотах;

– затухание звука вследствие звукопоглощения поверхностью, над которой распространяется звук в зависимости от коэффициента звукопоглощения этой поверхности;
– молекулярное затухание звука в воздухе (на существенных расстояниях и на высоких частотах).

Поезд – линейный источник звука (до определенных расстояний), звуковая волна имеет цилиндрическую форму, т.е. теоретическое снижение УЗ за счет геометрического расширения составляет 3 дБА с удвоением расстояния. Сравнения теоретических данных снижения УЗ с экспериментальными для различных типов поездов приведено в таблице 3.

Таблица 3

Теоретическое и экспериментальное снижение УЗ, дБА, для различных типов поездов

Тип поезда	Снижение УЗ, дБА, на расстоянии, м			
	7,5	25	50	100
теоретические зависимости	0	–5,0	–8,0	–11
товарные (эксперимент)	0	–4,5	–9,0	–11,5
скоростные (эксперимент)	0	–5,0	–10,5	–14,0
электропоезда (эксперимент)	0	–7,0	–11,0	–15,5
пассажирские (эксперимент)	0	–4,5	–9,5	–13,0

Из анализа данных видно, что чем короче поезд, тем большее снижение УЗ получено на первом этапе измерительной процедуры (от 7,5 до 25 м). Так разница снижения для товарных поездов и эл/поездов на этом этапе достигает 2,5 дБА. Звуковое поле здесь заметно отличается от предложенной аппроксимации (цилиндрическая звуковая волна). Товарные поезда в наибольшей степени соответствуют теоретической модели: разница по суммарному снижению на расстоянии (от 7,5 до 100 м) всего 0,5 дБА. В то же время разница на этом расстояния для эл/поездов составляет заметную величину – 4,5 дБА. Для пассажирских и скоростных поездов (они представляют по длине промежуточный вариант) разница 2-3 дБА, т.е. характер затухания УЗ до определенных расстояний зависит от типа поезда; эти данные необходимо учитывать в расчётах.

Более сложная картина наблюдается, когда рассматриваются не интегральные, а спектральные характеристики снижения шума. На рис. 5 показано последовательное снижение шума на плоском участке при увеличении расстояния на примере с товарными и скоростными поездами.

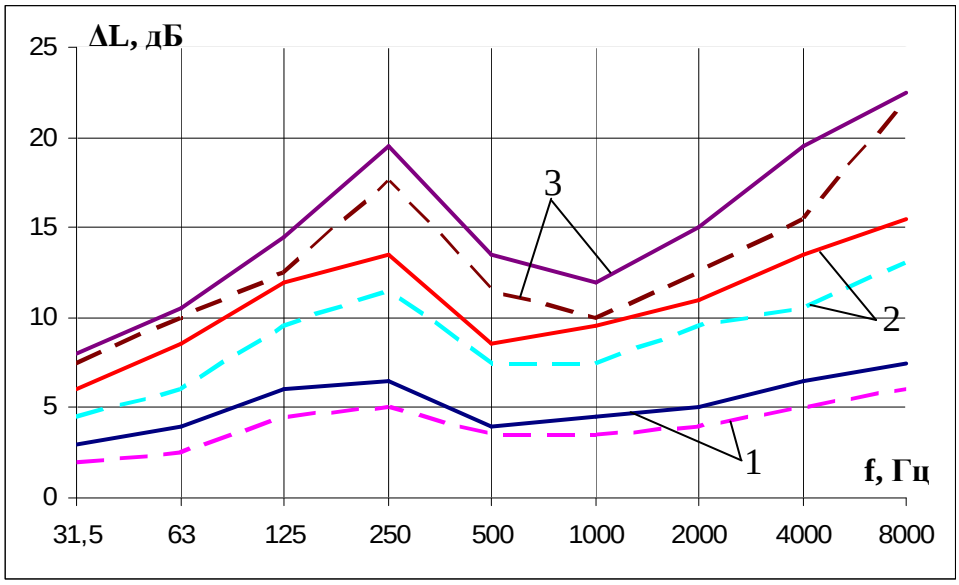


Рис. 5. Последовательное снижение УЗД на плоском участке (на примере скоростных и товарных поездов): 1-25м, 2-50м, 3-100м (линии – скоростные; пунктиром – товарные).

Снижение шума на участке до 25 м составляет 3-6,5 дБ для скоростных и 2,5-6 дБ для товарных; при увеличении расстояния вдвое УЗД приблизительно снижаются от 2 до 7,5 дБ, как для скоростных, так и для товарных поездов во всем частотном диапазоне. Это показывает, что снижение шума обусловлено не только геометрическим расширением фронта звуковой волны, но и другими причинами (затухание звука, резонансное поглощение и пр.). Отметим, что все спектры затухания для товарных поездов лежат ниже, чем для скоростных. Здесь для всего спектра ярко проявляется картина: чем больше длина поезда, тем меньше значения относительного снижения УЗД.

Характеристики затухания имею ярко выраженный частотный характер (рис. 6).

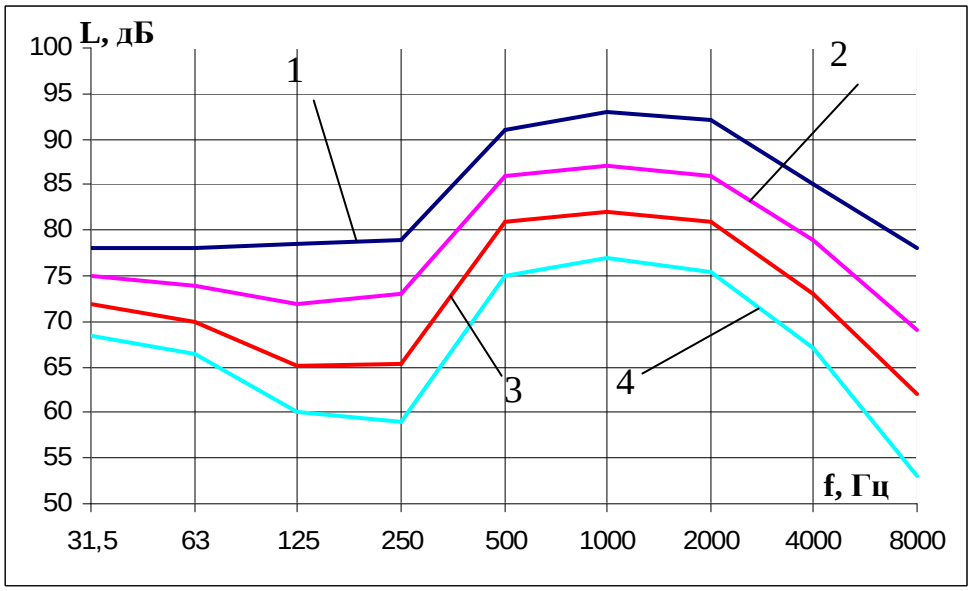


Рис. 6. Характерные спектры затухания УЗД с расстоянием эл/поездов: 1-7,5 м, 2-25 м, 3-50 м, 4-100 м

Из анализа рис. 6 видно, что снижение шума от эл/поездов в зависимости от частоты может различаться почти на 10 дБ. Геометрическое снижение шума за счёт расширения фронта звуковой волны одинаково на всех частотах, поэтому полученная в экспериментах разница требует пояснения. Это может объясняться затуханием звука при взаимодействии с поверхностью, по которой он распространяется, в результате звукопоглощения. Полученный суммарный спектр с наименьшими значениями на низких частотах (рис. 7) объясняется тем, что здесь коэффициенты звукопоглощения поросшей травой поверхности имеют наименьшие значения. Пик в спектрах на частоте 250 Гц объясняется тем, что здесь наибольшие значения коэффициентов звукопоглощения. Другая причина наличие пиков на частотах 4000 и 8000 Гц объясняется ярко выраженным процессом молекулярного затухания (значения снижения звука только за счёт молекулярного затухания на расстоянии 100 м для этих частот составляет соответственно 2,4 и 4,8 дБ). Таким образом, полученными результатами подтверждено, что при увеличении расстояния работают 3 механизма снижения шума: геометрический спад УЗД (одинаково для всех частот), звукопоглощение поверхностью (средние и низкие частоты), молекулярное затухание звука в воздухе (высокие частоты). Первый механизм связан с типом поезда; эта зависимость ярко продемонстрирована данными, приведёнными на рис. 7; разница затухания для разных типов поездов составляет от 3 до 5дБ. Второй и третий описанные механизмы связаны со свойствами ландшафта и окружающей среды.

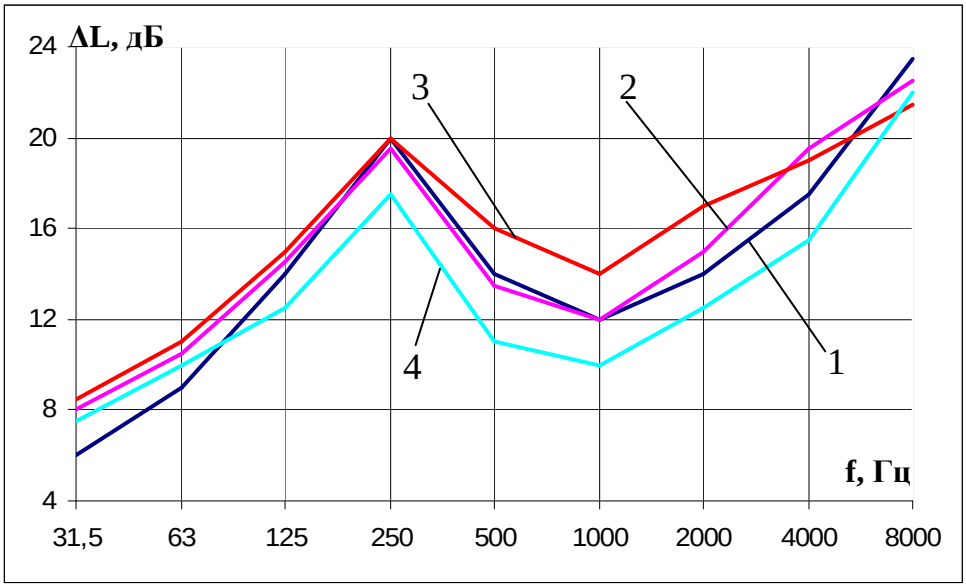


Рис. 7. Суммарное снижение УЗД, дБ, на плоском участке для различных типов поездов:
1 – пассажирские; 2 – скоростные; 3 – электропоезда; 4 – товарные

3. Снижение шума выемками.

Были выполнены испытания для двух выемок глубиной 6 и 5 м. Схема расположения микрофонов при проведении эксперимента представлена на рис. 8.

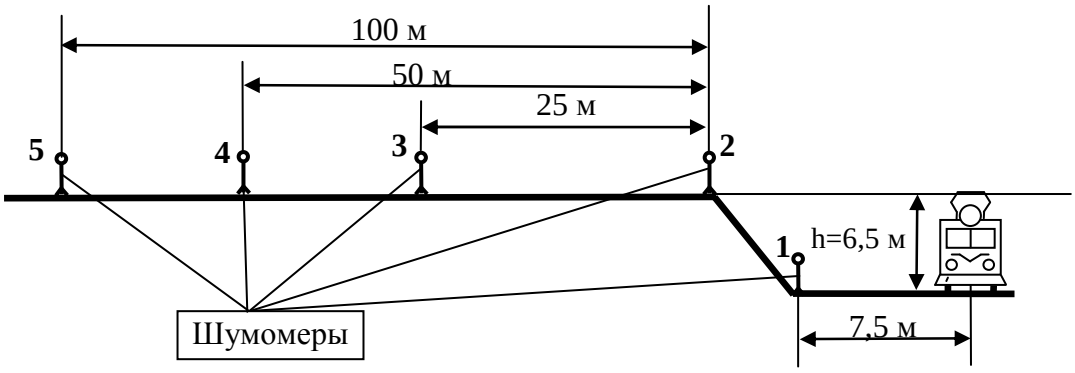


Рис. 8. Схема расположения шумомеров
при проведении исследований затухания шума при движении
подвижного состава железнодорожного транспорта в выемке

Для примера рассмотрим величины УЗД и УЗ для скоростных поездов (рис. 9 и табл. 4).

Снижение УЗ, дБА выемкой
(скоростные поезда)

Таблица 4

Расстояние, м	**Снижение УЗ, дБА, выемкой глубиной, м**	
	6,5	**5**
край выемки	–4,0	–3,0
25	–20,0	–17,0
50	–3,0	–3,0
100	–3,5	–3,0
суммарное	–30,5	–27,0

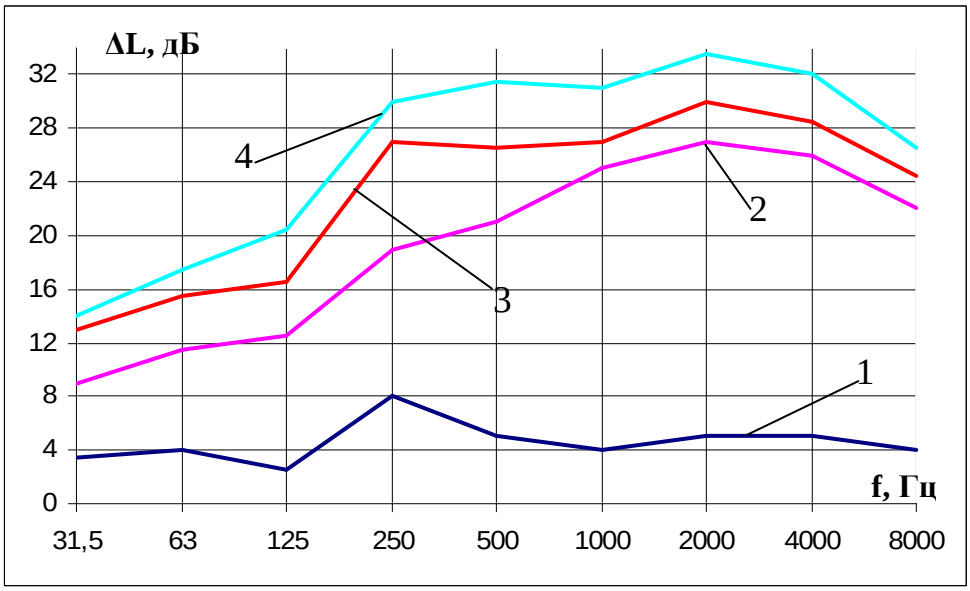


Рис. 9. Последовательно снижение УЗД выемкой (на примере скоростных поездов) при увеличении расстояния: 1 – до края выемки; 2 – 25м; 3 – 50м; 4 – 100 м

Из анализа данных (табл. 4) видно, что снижение УЗ по склону выемки составляет примерно 4 дБА за счет затухания звука на поверхности выемки, покрытой травой. Основной эффект снижения наблюдается при прохождении звука от края выемки к ближайшей точке, здесь создается эффект глубокой акустической тени на препятствии, снижение УЗ от этого явления достигает 20 дБА. Суммарное снижение УЗ при увеличении расстояния от 7,5 до 100 м составляет от 27 до 30,5 дБА в зависимости от глубины выемки.

Отметим, что дальнейшее снижение УЗ, дБА, за краем выемки (50 и 100 м) хорошо подчиняются теоретическому закону снижения УЗ при удвоении расстояния (3 дБА); это показывает, что край выемки является идеальным линейным вторичным излучателем звука.

На рис. 9 показано снижение УЗД выемкой при увеличении расстояния. Снижение УЗД до края выемки составляет от 3 до 8 дБ (за счет разных значений коэффициента звукопоглощения). Снижение УЗД краем выемки (экранирующий эффект) имеет ярко выраженный частотно зависимый характер: 9-13 дБ в диапазоне частот 31,5-125 Гц; 19-27 дБ в диапазоне 250-8000 Гц. Частотный характер затухания при двух удвоениях приблизительно одинаков, что подтверждает изложенный выше вывод для УЗ.

На рис. 10 показано сравнение снижения УЗД выемкой и плоским участком. Дополнительное снижение УЗД выемкой достигает от 5 до 7 дБ в диапазоне частот 31,5-125 Гц и от12 до 19 дБ в диапазоне 250-8000 Гц. Из рис. 10 видно, что при распространении шума от выемки не наблюдается резкого различия по типам поездов; это подтверждает, что излучает звук не поезд а вторичный излучатель – край выемки.

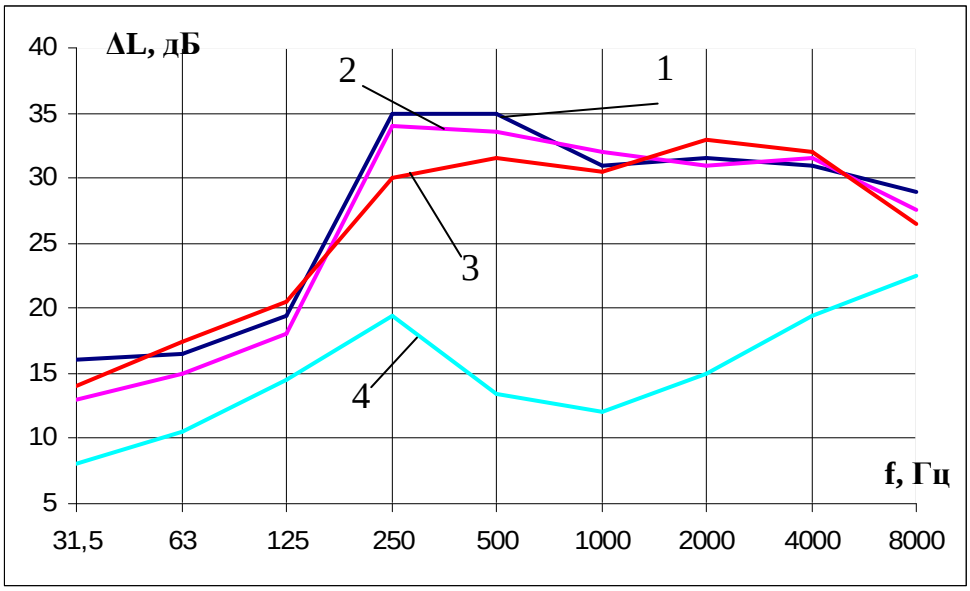


Рис. 10. Суммарное снижение УЗД, дБ, выемкой
при увеличении расстояния от 7,5 до 100 м:
1 – электропоезда; 2 – пассажирские; 3 – скоростные; для сравнения: 4 – снижение УЗД на ровном участке при следовании скоростных поездов.

Данные в табл. 4 показывают, что при изменении глубины выемки увеличение снижения УЗ составляет около 3 дБА на каждый метр.

4. Снижение шума при прохождении поездов по насыпи.

Схема расположения шумомеров при прохождении поездов по насыпи приведена на рис. 11.

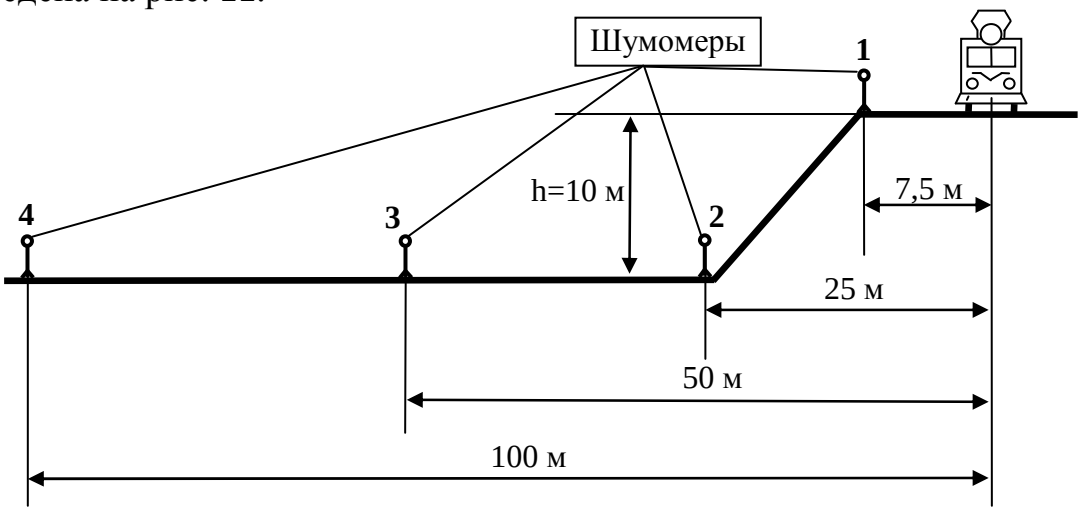


Рис. 11. Схема расположения шумомеров
при проведении исследований затухания шума при движении
подвижного состава железнодорожного транспорта на насыпи

Данные последовательного снижения УЗД и УЗ для всех типов поездов при прохождении по насыпи приведены в табл. 5. Суммарные снижения УЗД и УЗ приведены в табл. 6.

Таблица 5

Снижение шума для различных типов поездов на насыпи

Расстояние, м	Тип поезда	Снижение УЗД, дБ, в полосах частот Гц									Снижение УЗ, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
25	электропоезд	-3,0	-7,0	-15,5	-17	-16,5	-18,5	-20	-21,0	-22,0	-18,5
	пассажирский	-2,5	-6,5	-15	-15	-15,5	-19	-20	-21,5	-23	-18,5
	скоростной	-3,0	-7,0	-14,5	-16	-16,5	-20	-19,5	-22	-24	-19
	товарный	-4,0	-7,5	-14,5	-16	-14	-17,5	-19,5	-20,5	-22	-18
50	электропоезд	-2,0	-1,5	-4	+4	+2	+3	+5	+5,5	+4	+3,5
	пассажирский	-2,5	-2	-3	+2	+2	+4	+5	+6	+6	+4
	скоростной	-3,0	-2	-2	+3,5	+2	+5	+5,5	+6,5	+5	+4,5
	товарный	-2,0	-2,5	-3	+3	+1	+3	+5	+6	+5	+3,0
100	электропоезд	+1	+1,5	+5	+2	+5	+6	+5,5	+4	+3	+4
	скоростной	+1	+1	+3,5	+2	+3	+4,5	+3,5	+3	+2	+3
	электропоезд	+1,5	+1	+3,5	+2	+3	+3	+3	+2	+2	+2,5
	товарный	-1	+2	+1,5	+2	+3	+4	+3,5	+2	+1	+3

Таблица 6

Суммарное снижение шума при прохождении поезда по насыпи

Тип поезда	Снижение УЗД, дБ, в полосах частот, Гц									Снижение УЗ, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
электропоезд	-4	-7	-14,5	-114	-9,5	-9,5	-9,5	-10,5	-16	-11
пассажирский	-4	-7,5	-14,5	-11	-10,5	-10,5	-11,5	-12,5	-15	-11,5
скоростной	-4,5	-8	-13	-10,5	-11,5	-11,5	-11	-12	-17	-12
товарный	-7	-10	-16	-11	-10	-10	-11	-12,5	-16	-12

Эти данные противоречивы и указывают на возникновение новых акустических процессов при увеличении расстояния при прохождении поезда по насыпи. В точке расположенной под насыпью и вблизи от нее (до 25 м) снижение УЗ составляет для всех типов поездов 18-19 дБА (табл. 5). Это очень большое снижение и по величине несколько большее, чем наблюдаемое снижение при прохождении поезда по выемке. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, излучение с насыпи происходит в пространство (вместо излучения в полупространство для всех рассмотренных выше случаев). Теоретически это означает дополнительное снижение УЗ на 3 дБА. Во-вторых, эта точка находится в зоне акустической тени, создаваемой поверхностью от крайнего рельса до края

насыпи шириной несколько метров. В-третьих, звук меняет направление распространения, что теоретически может привести к его снижению еще на 3 дБА.

В точках расположенных на 50 и 100 м т.е. при дальнейшем увеличении расстояния, наблюдается обратная картина: УЗ и УЗД во многих случаях возрастают. Отмечено увеличение УЗ на 3-4,5 дБА при первом удвоении (50 м) и 2,5-4 дБА при втором (100 м). Это относительное возрастание объясняется также несколькими причинами. Во-первых, на таких расстояниях исчезает эффект экранирования. Во-вторых, отсутствует эффект звукопоглощения подстилающей поверхностью. В-третьих, действует эффект излучения в пространство. Таким образом, при прохождении поезда по насыпи суммарное снижение УЗ составляет 11-12 дБА (табл. 6), что оказывается даже несколько меньше чем снижение УЗ на плоском участке (12-15 дБА). При прохождении поезда по насыпи шум возрастает на 2-3 дБА, по сравнению с плоским участком.

Описанные зависимости имеют частотнозависимый характер. На рис. 12 показано последовательное снижение УЗД при увеличении расстояния и дано сравнение для этого типа поездов с суммарным уменьшением УЗД на плоском участке.

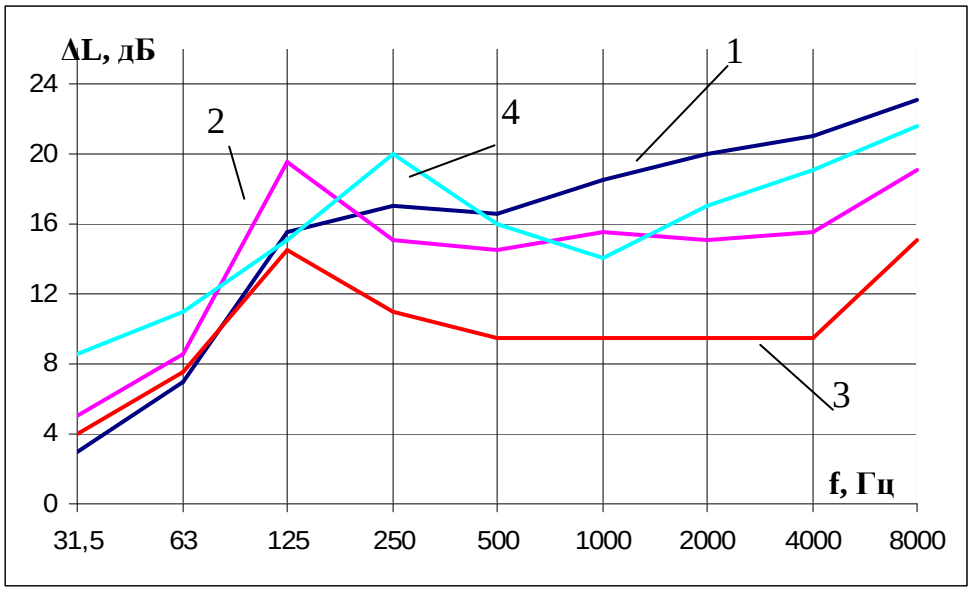


Рис. 12. Последовательное снижение (увеличение) УЗД при прохождении эл/поезда по насыпи: 1 – 25 м; 2 – 50 м; 3 – 100 м; для сравнения 4 – снижение УЗД от эл/поезда на плоском участке

Снижение УЗД достигает в низкочастотном диапазоне 8–17 дБ и 17–23 дБ в высокочастотном диапазоне (см. кривую 1, рис 12). Частотный характер затухания определяется, в первую очередь, частотной зависимостью эффектов снижения звука на экранирующих сооружениях. При первом удвоении расстояния (50 м) УЗД увеличиваются, например, в средне–высокочастотных диапазонах на 2–6 дБ, а при втором удвоении вклад прямого звука ещё более возрастает и увеличение достигает 6–7 дБ. Отметим, что при сравнении со спектром снижения звука на плоском участке наблюдается увеличение УЗД при прохождении поезда по насыпи на 7-9 дБ в диапазоне частот 250-8000 Гц.

5. Снижение шума при прохождении поезда по мосту.

На рис. 13 приведена схема расположения измерительной аппаратуры при прохождении поездов по искусственному сооружению (мосту).

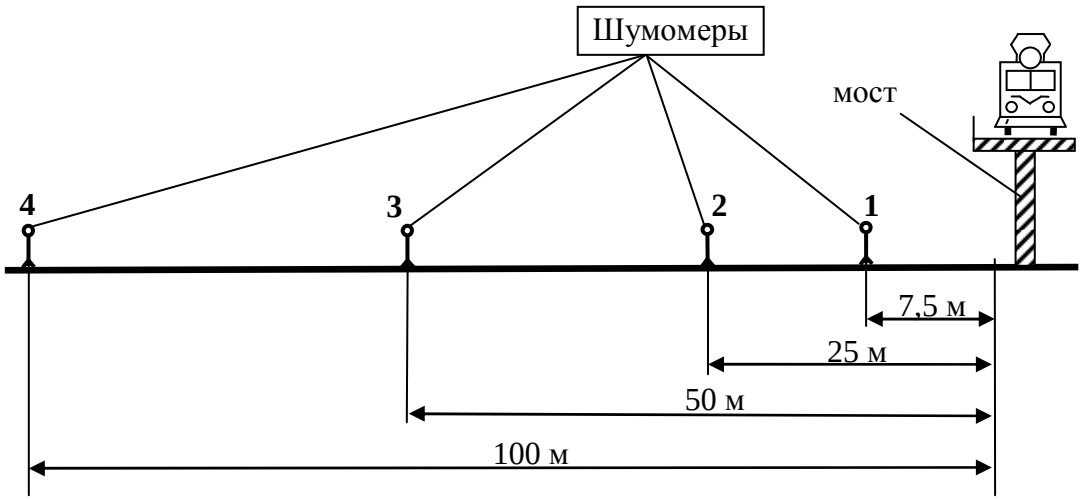


Рис. 13. Схема расположения шумомеров
при проведении исследований затухания шума при движении
подвижного состава железнодорожного транспорта
по искусственному сооружению

Данные суммарного снижения УЗД при прохождении различных типов поездов по мосту показаны на рис. 14, а последовательное снижение УЗД на примере электропоезда показано на рис. 15.

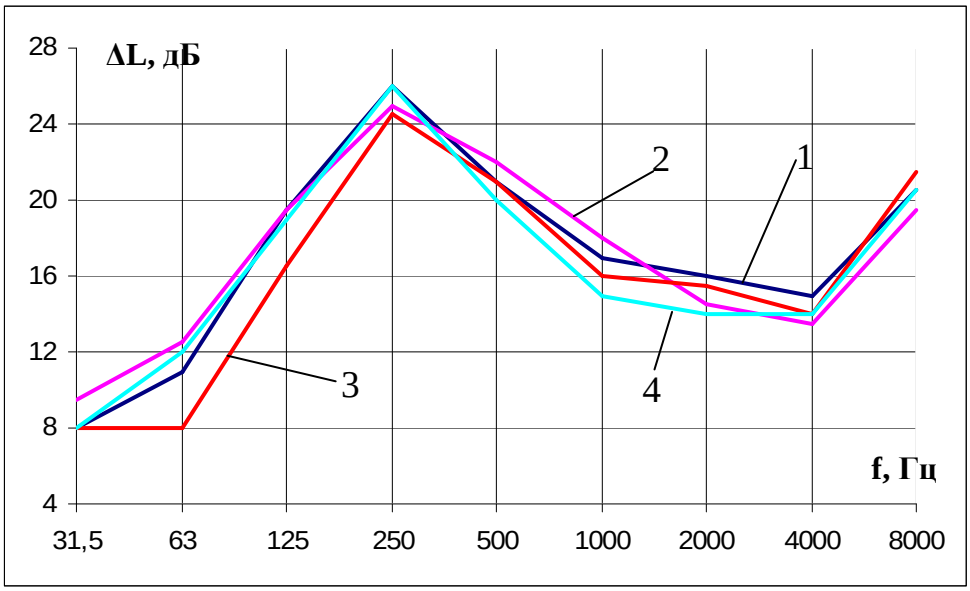


Рис. 14. Суммарные снижения УЗД для различных типов поездов:
1 – скоростные; 2 – эл/поезда; 3 – товарные; 4 – пассажирские

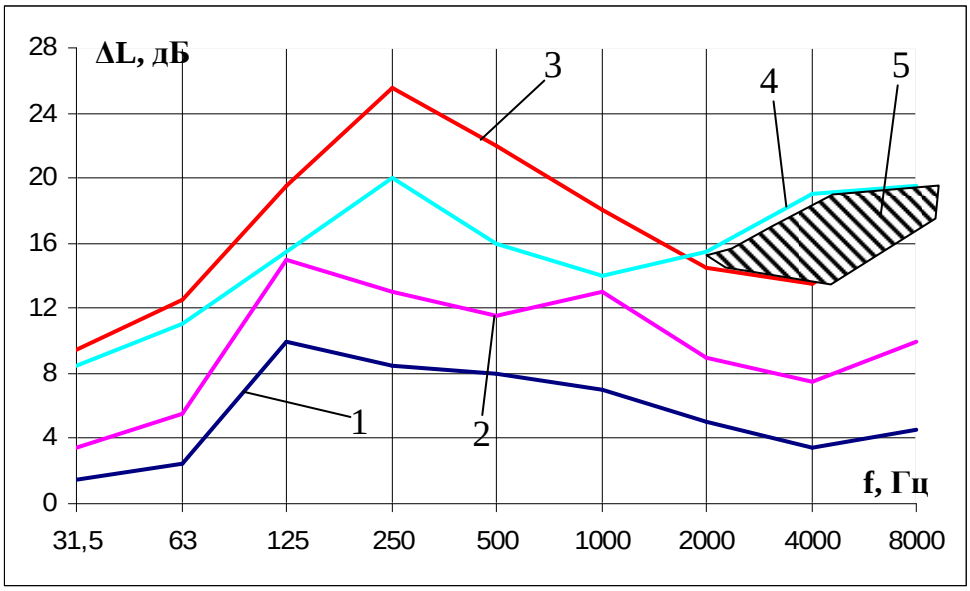


Рис. 15. Последовательное снижение УЗД при прохождении эл/поездов по мосту:
1 – 25м; 2 – 50м; 3 – 100м;
4 – для сравнения суммарное снижение УЗД на плоском участке;
5 – заштрихованная область показывает звукоизлучение конструкциями моста

Процессы снижения шума носят сложный характер. Основная причина в том, что металлические мостовые сооружения, являясь вторичными дополнительными излучателями, активно участвуют в процессах шумообразования, характер которого зависит от типа поездов. Разница УЗД для поездов различного типа достигает 3-5 дБ (рис. 14). Вероятно, это объясняется не только длиной поездов, но и их различной нагрузкой, а также различием спектров шума в источнике.

Этими же причинами вызван ярко выраженный частотнозависимый характер спектров, показанный на рис. 15. Если, например, теоретическое снижение УЗД за счет геометрического расширения фронта звуковой волны составляет при удвоении расстояния от 3 до 6 дБ, то экспериментально получены следующие данные:

– 7-19 дБ в диапазоне частот 125-1000 Гц на расстоянии 25 м;
– 8-13 дБ в диапазоне частот 63-500 Гц и 6-8 дБ в диапазоне частот 2000-8000 Гц на расстоянии 100 м.

Это может быть объяснено дополнительным снижением УЗД за счет экранирующего эффекта верхнего настила моста.

При сравнении суммарного снижения шума поездов проходящих по мосту с поездами на плоском участке отметим два явления. Более эффективное снижение на величину от 1 до 6 дБ в диапазоне частот 31,5–1000 Гц при прохождении на мосту объясняется экранирующим эффектом конструкции моста. Меньший эффект по сравнению, например, с насыпью объясняется слабой звукоизоляцией настила моста.

На частотах 2000–8000 Гц на мосту получено большее (на 1-5,5 дБА) снижение УЗД, чем на плоском участке. Это объясняется наличием звукового облучения металлических ферм моста, которые переоблучаясь становятся вторичными акустическими излучателями. Многие эти сложные явления в современной методической литературе не учитываются, т.е. в существующие методы расчета поездов следует вносить соответствующие поправки.

Выводы

1. Экспериментальные исследования снижения шума поездов на плоском участке показали:

- снижение шума с расстоянием определяется геометрическим расширением фронта звуковой волны от протяженного источника (поезд) – характер звуковой волны в зависимости от расстояния может быть цилиндрический или сферический, звукопоглощением растительности на плоской поверхности, молекулярным затуханием звука в воздухе (на больших расстояниях и на высоких частотах);
- процессы снижения шума с расстоянием не зависят от скорости поездов;
- характер снижения шума зависит от типа поезда, это объясняется тем, что на снижение за счет геометрического расширения сказывается длина поезда (разницы УЗД составляют от 3 до 5 дБ, УЗ – 3,5 дБА);
- снижение звука с расстоянием (по указанным причинам) имеет частотнозависимый характер (разница по частотам составляет до 10 дБ);

2. При прохождении поезда в выемке шум резко снижается из-за создания звуковой тени склоном выемки; край выемки является вторичным излучателем звука. Снижение УЗД и УЗ зависит от глубины выемки: дополнительное снижение УЗ составляет для разных типов поездов до 3,0 дБА на каждый дополнительный метр выемки. Снижение УЗ глубокой выемкой достигает 19 дБА (по сравнению с плоским участком).
3. При прохождении поездов по насыпи кроме геометрического расширения фронта звуковой волны, действуют два противоположных механизма: создание верхней плоскостью выемки экранирующего эффекта и тем самым образование звуковой тени вблизи насыпи, а также прямое излучение звука без звукопоглощения от источника в точку наблюдения (прямой звук). Это приводит к тому, что суммарное снижение (по сравнению с плоским участком) оказывается меньше на 2-3 дБА.
4. При прохождении поезда по мосту частично возникает эффект насыпи (создание звуковой тени вблизи моста), но этот эффект не столь ярко выражен из-за конечной величины звукоизоляции настила; также происходит переоблучение металлических ферм моста (на высоких

частотах); разница в УЗД (по сравнению с плоским участком) составляет то 2 до 4 дБ.

5. Многие из полученных эффектов в методической литературе не отображены и должны учитываться при расчетах шума поездов в окружающей среде.

Литература

1. Иванов Н.И., Тюрина Н.В. Проблема снижения шума железнодорожного транспорта. – Доклады Международной научно-практической конференции «Применение акустических экранов для снижения шума и увеличения безопасности движения поездов» Москва, 14 декабря 2006. – СПб, БГТУ, 2 – 28.
2. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник.– М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424с.
3. Буторина М.В.
4. HandBook of noise and Vibration control / Edited by Malkolm J. Crocker,: NY, John Wiley and Sons Inc., 2007. – 1569 p.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕР ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА ПОЕЗДОВ

Куклин Д.А.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова

1. Общие сведения о средствах защиты от шума

Все средства и методы защиты от воздействия шума от железнодорожного транспорта по отношению к источникам образования можно подразделить на 3 основные группы (рис. 1):

– снижающие шум в источнике образования;
– снижающие шум на пути распространения от источника до объектов защиты (например, жилых зданий);
– снижающие шум непосредственно в самих зданиях.

Основными источниками шума подвижного состава железнодорожного транспорта являются: пара «колесо-рельс», пантограф (при скоростях свыше 300 км/ч), силовое и вспомогательное оборудование локомотивов, электродвигатели и компрессоры электроподвижного состава, пара «тормозная колодка–колесо».

Для снижения шума в источнике образования применяются:

– замена чугунных тормозных колодок композиционными;
– использование специальных рельсошлифовальных технологий;
– применение колес с вибродемпфирующими накладками;
– применение вибродемпфирующих накладок по длине рельса;
– обточка бандажей колес для снятия «ползунов».

Снижение шума на пути распространения достигается:

– укладкой конструкций пути с низким уровнем шума;
– использованием зеленых насаждений;
– установкой специальных акустических экранов (АЭ);
– установкой или использованием экранирующих сооружений (например, жилых зданий, гаражей и пр.).

Снижение шума в зданиях и жилых районах, подвергающихся воздействию шума, подвижного состава железнодорожного транспорта достигается:

– применением специального звукоизолирующего остекления;
– расселением жилых домов, находящихся в зоне сверхнормативного акустического загрязнения.

Для поведения специальных исследований нами были выбраны меры, которые обеспечивают наиболее эффективное снижение шума:

– вибродемпфирующие накладки на рельсы;
– зеленые насаждения;
– акустические экраны;

– звукоизолирующее остекление.

Основным средством защиты от шума поездов являются акустические экраны. В данной статье более подробно рассматриваются дополнительные средства снижения шума, а именно зеленые насаждения и звукоизолирующее остекление.

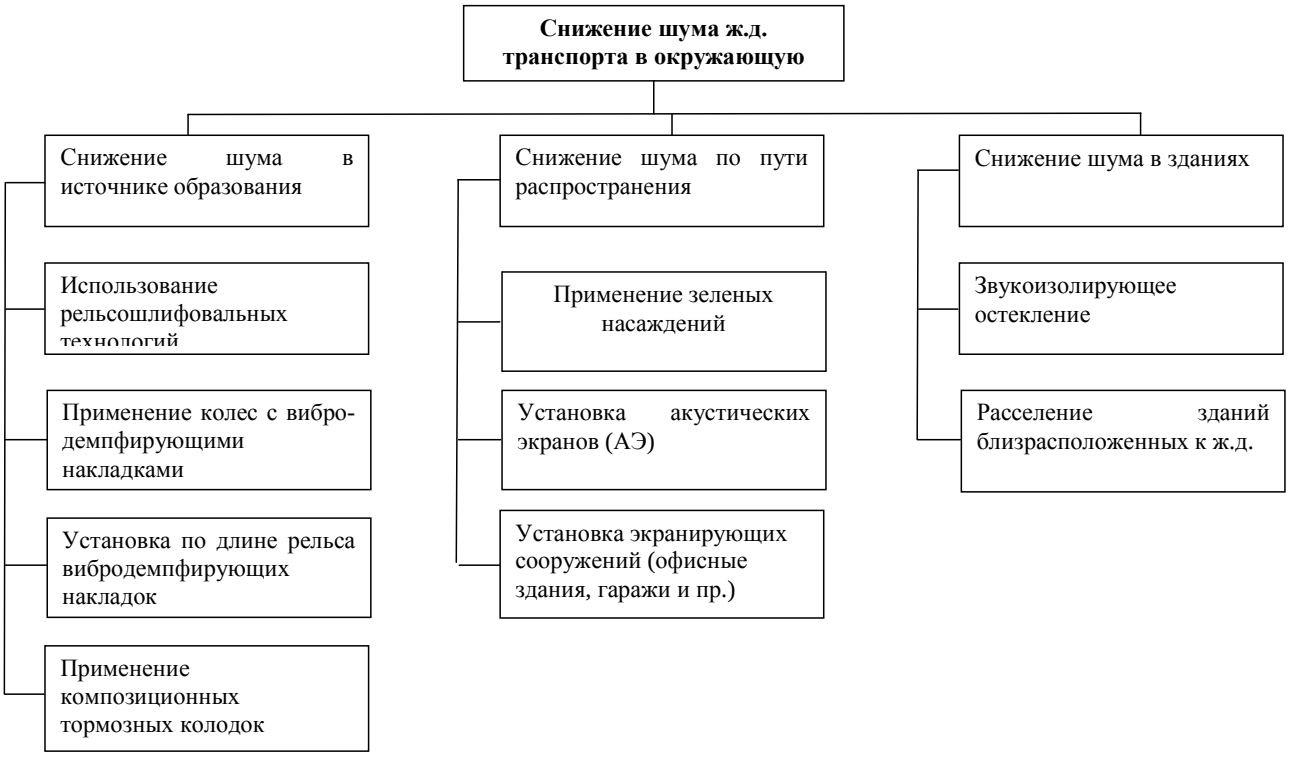


Рис. 1. Классификация средств и методов снижения шума подвижного состава железнодорожного транспорта в окружающей среде

2. Зеленые насаждения

На практике в основном встречаются зеленые насаждения вдоль железной дороги шириной от 10 до 50 м. В поставленном эксперименте выбран лес с густым подлеском – с максимально возможной характеристикой затухания на данном участке железной дороги. Физическая природа дополнительного (по сравнению с геометрическим расширением фронта звуковой волны) снижения звука при прохождении сквозь зеленые насаждения объясняется двумя независимыми механизмами:

– затухание звука за счет поглощения зеленым покровом;

– диффузное рассеивание звука при прохождении небольших по сравнению с длиной звуковой волны препятствий.

Затухание за счет поглощения звука зеленым покровом происходит на всех частотах, но т.к. коэффициент звукопоглощения листвы ($\alpha_л$) имеет небольшое значение на частоте 63 Гц, то на этой частоте снижение УЗД меньше , чем в остальном частотном диапазоне.

Небольшими препятствиями, где происходит диффузное рассеивание, являются стволы деревьев, длина звуковой волны менее их толщины в октавной полосе со среднегеометрической частотой 8000 Гц. На этой частоте наблюдается дополнительное затухание звука. На отдельных частотах возможны резонансные явления, тогда снижение УЗД уменьшается.

Иллюстрацией сказанному являются данные экспериментов приведенные на рис. 2 и в табл. 1.

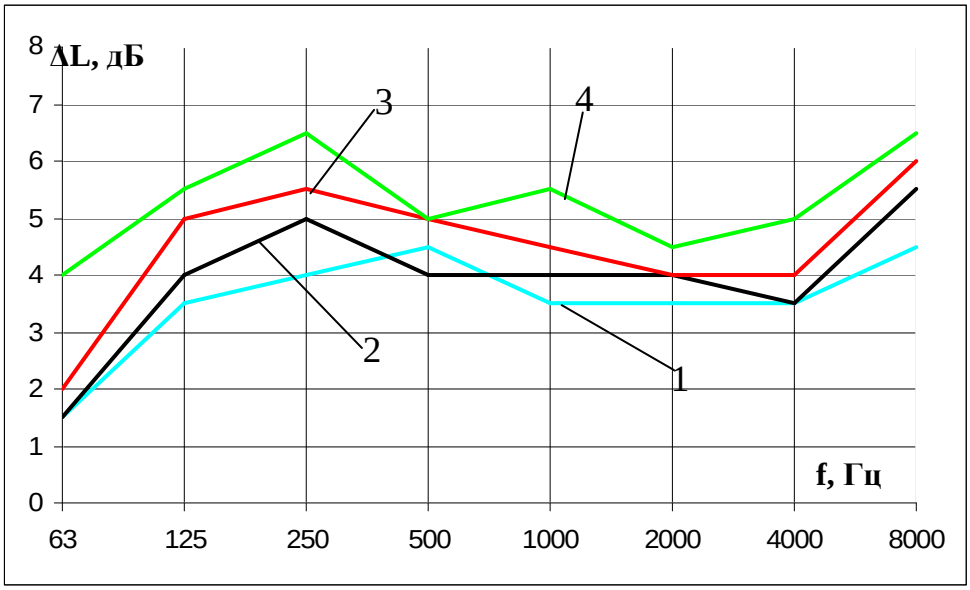


Рис. 2. Снижение УЗД лесным массивом глубиной:
1 - 10м; 2 – 15м; 3 – 20м; 4 – 50м.

Из рис. 2 видно, что малое снижение УЗД на частоте 63 Гц и увеличенное на частоте 8000 Гц. На частоте 1000 Гц, возможно, отмечается резонансное поглощение звука.

Таблица 1

Оценка эффективности зеленых насаждений

Расстояние, м	Снижение УЗД, дБ, в полосах частот								Снижение УЗ, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
10	1,5	3,5	4,0	4,5	3,5	3,5	3,5	4,5	4,5
15	1,5	4,0	5,0	4,0	4,0	4,0	3,5	5,5	5,0
20	2,0	5,0	5,5	5,0	4,5	4,0	4,0	6,0	6,0
50	4,0	5,5	6,5	5,0	5,5	4,5	5,0	6,5	7,0

Анализ показывает, что снижение УЗД с увеличением расстояния носит нелинейный характер. Для полосы лесных насаждений глубиной 50 м получено снижение УЗД 4-6,5 дБ (7 дБА). Неглубокие лесные массивы 10-15 м снижают УЗД на 1,5-5,5 дБ (4,5-5 дБА). Это меньше, чем отмечается в литературе. Отметим, что эти величины снижения не являются существенными, но могут снизить остроту вопроса акустического загрязнения в жилой застройке от подвижного состава железнодорожного транспорта.

3. Звукоизолирующее остекление

3.1 Общие положения

Остеклённые оконные проёмы, как правило – основной путь проникновения шума в помещение, поэтому в последнее время применение окон с повышенной звукоизоляцией для снижения шума получило большое распространение. В сертификатах и описаниях разработчиков звукоизолирующих окон содержатся сведения о величине звукоизолирующей способности производимых конструкций. Звукоизолирующие окна выпускаются в двух основных исполнениях: проветривание осуществляется при открытии окна или окно содержит проветриватель с акустической обработкой проёма для проветривания. В первом случае звукоизолирующая способность окна при открытии резко снижается и оно не выполняет функции по эффективному снижению шума, а во втором случае окно в режиме проветривания сохраняет акустические свойства.

В описаниях фирм – производителей (табл. 2) содержатся противоречивые сведения о звукоизоляции специального остекления, поэтому были выполнены эксперименты по определению звукоизолирующей способности остекления в домах, оборудованными звукоизолирующими стеклопакетами. Для испытаний были выбраны:

- звукоизолирующие окна с клапаном для проветривания в открытом положении;
- оконная конструкция «aluplast», двухкамерный стеклопакет АКМА6М1–12–4М1–8–4М1, стеновой проветриватель КИВ–125;
- старые окна без специально звукоизолирующего остекления.

Сравнительная эффективность шумозащитных окон с клапанами (про данным изготовителей)

Таблица 2

Тип клапана	Фирма – изготовитель (страна)	Эффективность, дБА
“Аэромат – 80”	Аэроматика (Германия – Россия)	21-41
“Аэрко”	Франция	33-42
УВШ – 1	Мосмонтажспецстрой	27
KIV – 125	Финляндия	26
ОРШВ	Дон – 1 (Россия)	23
“TITON”	Германия	26
ВШКА – 80	“Аэроматика”	25
ПОШВ	“Plastoals”, Дания	30
КГ – 9	МНИИТЭП	25

3.2 Испытание звукоизолирующего остекления

Результаты испытаний старых окон с открытой и закрытой форточкой приведены в табл. 3; результаты испытаний конструкции «aluplast» со стеновым проветривателем приведены в табл. 3, а результаты испытаний окна с клапаном для проветривания приведены в табл. 4, сравнительные результаты испытаний показаны на рис. 4.

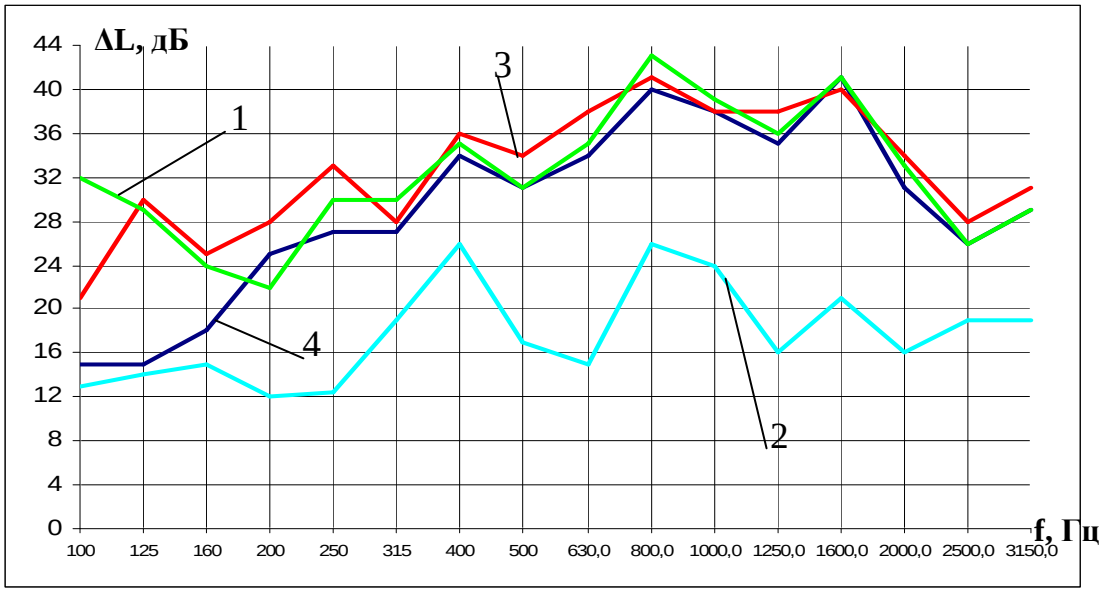


Рис. 3. Сравнительная звукоизоляция остекления: 1 – старые окна (форточка закрыта); 2 – старые окна (форточка открыта); 3 – aluplast без проветривателя; 4 - aluplast с проветривателем

Анализ показывает, что при открытии обычного окна звукоизоляция снижается на 12 дБА или на 8–20дБ в диапазоне частот 200–3150 Гц (табл. 3). Так как в нормативных документах предлагается проводить измерения с открытой форточкой, применение незвукоизолированных окон ведёт к превышению шума в квартирах.

Звукоизолированные окна имеют звукоизоляцию порядка 33–35 дБА. Звукоизолированные окна, как в открытом, так и закрытом положении имеют звукоизоляцию не меньше чем на 3 дБА более высокую, чем обычные окна в закрытом положении. Применение таких окон позволяет, согласно требованиям санитарных норм увеличивать нормы шума на территории жилой застройки на 10 дБА (10 дБ на каждой частоте).

Таблица 3

Результаты испытаний остекления

Испытываемая конструкция	**Положение форточек или проветривателя**	**УЗД, дБ в 1/3 октавных полосах со среднегеометрическими частотами Гц**																**УЗ, дБА**
		100	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**	**2500**	**3150**	
старые окна	закрыта	15	15	18	25	27	27	34	31	34	40	38	35	41	31	26	29	32
	открыта	13	14	15	12	12,5	19	26	17	15	26	24	16	21	16	19	19	20,0
aluplast	без проветривателя	21	30	25	28	33	28	36	34	38	41	38	38	40	34	28	31	35
Aluplast с проветривателем толщина ЗПМ*160 мм	проветриватель открыт	32	29	24	22	30	30	35	31	35	43	39	36	41	33	26	29	35
	проветриватель закрыт	24	23	20	16	23	26	34	25	30	43	38	36	41	32	26	29	33
aluplast с проветривателем толщина ЗПМ*320 мм	проветриватель открыт	33	29	23	22	30	29	34	30	35	43	37	35	42	32	25	30	35
	проветриватель закрыт	15	15	18	25	27	27	34	31	34	40	38	35	41	31	26	29	32

*ЗПМ – звукопоглощающий материал

В таблице 4 приведены результаты измерений звукоизоляции окон с клапанами для проветривания в открытом положении.

Таблица 4

Звукоизоляция звукоизолирующих окон с клапанами

ЗИ, дБ в октавных полосах частот, Гц								Звукоизоляция, дБА
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
24	26	30	38	43	41	37	34	36

Система звукоизолирующего остекления имеет примерно такую же звукоизоляцию (36 дБА), как и ранее рассмотренные.

Необходимо рекомендовать звукоизолирующее остекление домов в жилых районах, где шум от подвижного состава железнодорожного транспорта превышает нормы.

4. Сравнительный анализ исследованных средств защиты от шума

В табл. 5 приведёны данные сравнительного анализа исследованных средств защиты от шума.

Таблица 5

Эффективность шумозащиты

Наименование шумозащитной конструкции	Эффективность дБА (дБ)
Акустические экраны высотой 3м расстояние 50 м при движении подвижного состава по II пути: • бетонные • металлические	 8,0дБА 11,5дБА
Зелёные насаждения глубиной 50 м	7,0дБА
Вибродемпфирующие накладки на рельс	3–5дБ
Звукоизолирующее остекление	33–36дБА (10*дБ)

*Согласно принятым СН разрешается увеличить норму шума на 10 дБА, т.е. это максимальная величина снижения шума на территории жилой застройки при применении звукоизолирующего остекления.

Таким образом, если используется, например металлический АЭ и звукоизолирующее остекление, то в застройке УЗ снижается на 21,5 дБ. Применение металлического АЭ и зелёных насаждений глубиной 50м обеспечит снижение УЗ на 18, 5 дБ и т.д. Для большинства практических случаев акустического влияния подвижного состава железнодорожного транспорта на жилую застройку комбинация АЭ–остекление обеспечивает снижение шума до нормы. При этом одно остекление без АЭ даёт только 10 дБА (примечание к табл. 3.9), применение накладок не более 3–5 дБ.

Таким образом, основным системообразующим элементом любых шумозащитных комплексов является АЭ. Проиллюстрируем вышеизложенное на примере табл. 6.

Таблица 6

Уровни шума в жилой застройке на расстоянии 50 м	**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**	
Пассажирский поезд 17 вагонов										
без применения шумозащитных мероприятий	70,4	66,1	62	60,5	77,7	78,2	72,5	68,2	53,1	80,8
при применении АЭ	68,8	62,3	56,7	56,8	62,4	63,5	59,1	54,1	44,4	68,6
эффективность АЭ	1,6	3,8	5,3	3,7	15,3	14,7	13,4	14,1	8,7	12,2
при применении зеленых насаждений	68	69,8	61,4	58,3	69,7	70,5	68	57,3	38,6	73,9
Эффективность акустического экрана и зеленых насаждений	66,4	66,0	56,1	54,6	54,4	55,8	54,6	43,2	29,9	61,7
Допустимые уровни шума в дневное время СН 2.2.4/2.1.8.562-96 табл. 3. позиция 9	**90**	**75**	**66**	**59**	**54**	**50**	**47**	**45**	**44**	**55**
Согласно Примечанию 2 к табл. 3 СН2.2.4/2.1.8.562-96	**100**	**85**	**76**	**69**	**64**	**60**	**57**	**55**	**54**	**65**

Анализируя данные из табл. 6, можно отметить, что совместное применение АЭ, защитного остекления и зеленых насаждений обеспечивает снижение шума от железнодорожного транспорта в жилой застройке до нормативных значений.

Выводы и рекомендации

1. Из анализа применяемых для защиты от шума средств наибольший или заметный эффект дают:

– вибродемпфирующие накладки на рельсы;
– зеленые насаждения;
– звукоизолирующее остекление;
– акустические экраны.

2. Измеренная в натурных условиях эффективность зеленых насаждений вдоль железной дороги имеет значение нижеуказанных в литературе и достигает максимальной величины 7 дБА (4-6,5 дБ в диапазоне частот 63-8000 Гц) для глубины лесного массива 50 м. Это средство может быть использовано для снижения шума, но является паллиативным.

3. Звукоизолирующее остекление обеспечивает высокое (до 32-35 дБА) снижение шума в квартирах, но, т.к. в отечественных санитарных нормах требуется также обеспечивать снижение шума до нормативных значений в жилой застройке, то максимальная эффективность звукоизолирующего остекления составляет 10 дБА, (согласно принятым санитарным нормам разрешается увеличить норму шума на 10 дБА), т.е. это максимальная величина снижения шума на территории жилой застройки при применении звукоизолирующего остекления.
4. Сравнительный анализ эффективности испытанных конструкций показал, что АЭ являются основным средством защиты от шума в окружающей среды на ж.д. транспорте, а дополнительным средством можно отнести звукоизолирующее остекление, вибродемпфирующие накладки на рельс, зеленые насаждения. Применением сочетаний этих средств в любых случаях можно добиваться снижения шума от подвижного состава железнодорожного транспорта до нормы.

Литература

1. Н.И. Иванов Инженерная акустика теория и практика борьбы с шумом. Учебник.– М.: Университетская книга, Логос, 2008.–424 с.
2. Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно–методических документов. СПб: Компания «Интеграл», 2008, 1т–820с, 2т–822 с.
3. Снижение уровня шума на железнодорожном транспорте Европы ЖДМ–2008, №3, с 62–66.
4. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Куклин Д.А.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Введение

Основными источниками шума подвижного состава железнодорожного транспорта пара пантограф-контактный провод, межвагонная сцепка и пара колесо-рельс. С целью определения акустических характеристик данных источников шума в период с 01.04.2008 г. по 30.06.2008 г. на участке станция Любань – станция Мстинский мост проводились экспериментальные исследования для различных типов поездов (электропоезд, грузовой, пассажирский, скоростной пассажирский составы).

1. Методика проведения экспериментальных исследований

Испытания проводились при отсутствии атмосферных осадков. Скорость ветра не превышала 5 м/с. При скорости ветра более 1 м/с на микрофон надевался ветрозащитный колпак.

Влажность, температура воздуха, атмосферное давление, вибрация и непостоянные магнитные поля находились в пределах ограничений, определенных изготовителем аппаратуры.

Уровни звукового давления в октавных полосах частот (далее УЗД), дБ, и уровни звука (далее УЗ), дБА, фонового шума были не менее чем на 10 дБ (дБА) ниже измеренных уровней.

Железнодорожный подвижной состав типовой конструкции подвергался испытаниям на шум на участке пути с балластным слоем из сухого непромерзшего щебня с железобетонными шпалами.

Состояние пути должно соответствовало оценке не ниже «хорошо».

Рельсы измерительного участка пути не имели стыков и волнообразного износа.

Измерительный участок пути был прямым, при этом наименьший радиус имеющихся кривых участков был не менее 1000 м.

Измерительный участок пути не проходил через траншеи, лес, застроенные площади, мосты, туннели и не имел стрелочных переводов.

Измерительный участок пути по возможности был горизонтальным и не имел уклонов и подъемов более 5%.

Участок пути для измерения внешнего шума выбирался с таким расчетом, чтобы его акустическая окружающая среда обеспечивала свободное распространение шума в пределах ±1 дБ, т.е. при удвоении расстояния от источника шума – уменьшение УЗД (УЗ) на 6 дБ (дБА). Это условие считается выполненным, так как в окружности радиусом в 50 м не было крупных шумоотражающих предметов, как, например, плотин, холмов, скал, мостов или зданий.

Вблизи микрофона не было предметов, которые могут нарушить свободное звуковое поле. Во время измерений между микрофоном и источником шума присутствие людей не допускалось. Персонал, выполняющий измерения находился в месте, где его влияние на результат измерения уровня шума согласно предварительным испытаниям было исключено. Пространство между микрофоном и источником шума было максимально свободно от звукопоглощающих поверхностей, например, высокой травы.

Для проведения данного экспериментального исследования использовалась следующая аппаратура:

- анализатор системы «Пульс» фирмы «Брюль и Къер» типа 3560-B-020, серийный номер 2565215;
- калибратор 05000, зав. № 53276;
- микрофон ф. «Брюль и Къер», тип 4189, зав. № 2556403 с предусилителем типа 2671, зав. № 2559694;
- микрофон ф. «Брюль и Къер», тип 4189, зав. № 2556402 с предусилителем типа 2671, зав. № 2559693;
- микрофон ф. «Брюль и Къер», тип 4125, зав. № 834473 с предусилителем типа 2642, зав. № 805509 и дополнительным усилителем тип 2810, зав. № 721375;
- микрофон ф. «Брюль и Къер», тип 4125, зав. № 834476 с предусилителем типа 2642, зав. № 805506 и дополнительным усилителем тип 2810, зав. № 721375;
- вибродатчик ф. «Брюль и Къер», тип 4371, зав. № 827525 с предусилителем типа 2647, зав. № 2479008.
- измеритель скорости движения транспортных средств радиолокационный (Радис), зав. №1057.

При этом микрофоны располагались следующим образом:

- микрофон № 1 – пантограф – контактный провод, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 6,5 м от уровня головки рельса;
- микрофон № 2 – межвагонная сцепка, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 1 м от уровня головки рельса;
- микрофон № 3 – головка рельса – колесо, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 0 м от уровня головки рельса;
- микрофон № 4 – внешнее поле, расстояние от оси пути 7,5 м, высота 1,5 м от уровня головки рельса;
- вибродатчик – закреплен на подошве рельса в плоскости перпендикулярной оси пути и проходящей через установленные микрофоны..

Схема расположения измерительных микрофонов и вибродатчика представлена на рис. 1.1.

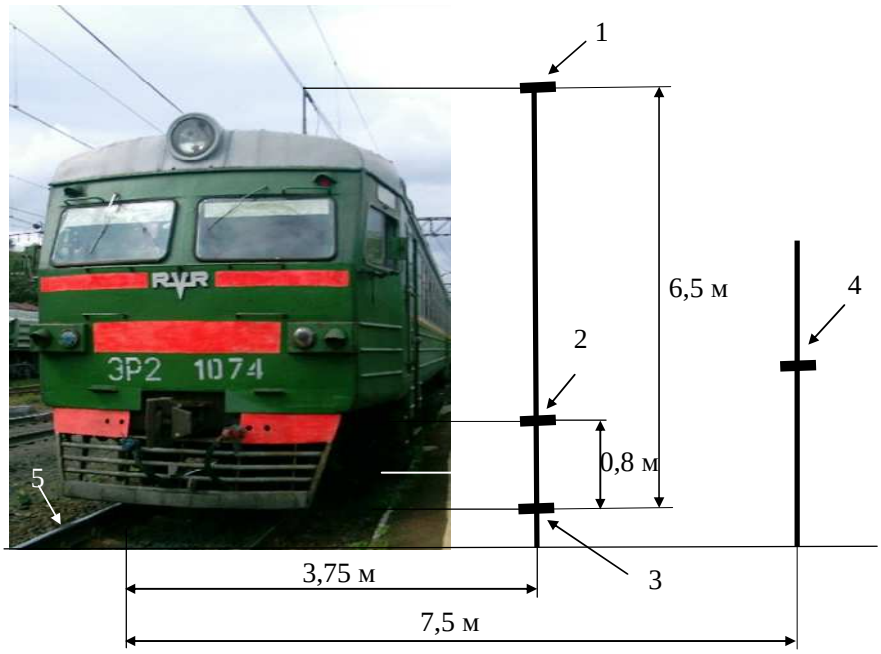


Рис. 1.1. Схема расположения измерительных точек (микрофонов и датчиков) 1 - измерение шума на уровне пантографа; 2 - измерение шума на уровне вагонной сцепки; 3- измерение шума на уровне головки рельса; 4 - измерение шума на расстоянии 7,5 м от ближайшего рельса; 5 - вибродатчик на подошве рельса в одной плоскости с остальными микрофонами, перпендикулярной оси движения поезда

Измерительные тракты калибровались перед началом и после окончания измерений.

Перед началом измерений проводились измерения параметров электромагнитного поля в точках установки микрофонов и датчиков вибрации. Параметры электромагнитного поля не превышали значения установленные производителем виброакустической аппаратуры.

Главная ось микрофона была направлена перпендикулярно к участку пути, на котором проводится измерение.

Измерение начиналось при приближении поезда к месту установки микрофонов и датчиков на расстояние 50 метров и останавливалось после удаления последнего вагона проходящего поезда на 50 м от точки измерений.

Данные со всех каналов для последующей обработки одновременно фиксировались во внутреннем регистраторе системы и записывались на винчестер подключенного к системе компьютера.

При измерениях фиксировалась скорость проходящего состава и скорость движения воздуха в районе установки микрофонов.

Окончательная обработка результатов измерения производилась в условиях лаборатории.

2. Результаты экспериментальных исследований

2.1. Анализ зависимости шума различных типов подвижного состава железнодорожного транспорта в зависимости от скорости

В данной работе рассматривались 4 типа подвижного состава железнодорожного транспорта:

– эл/подвижной состав;
– пассажирский;
– скоростной;
– грузовой.

В данном разделе отчета рассмотрена зависимость уровней шума каждого типа подвижного состава в зависимости от скорости.

2.1.1 Электропоезда

При анализе шума электропоездов были получены достоверные сведения для скоростей лежащих в пределах от 60 до 115 км/час.

На рис. 2.1 и 2.2. приведены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот и уровни виброскорости, полученные при прохождении электропоезда на скорости 65 км/час.

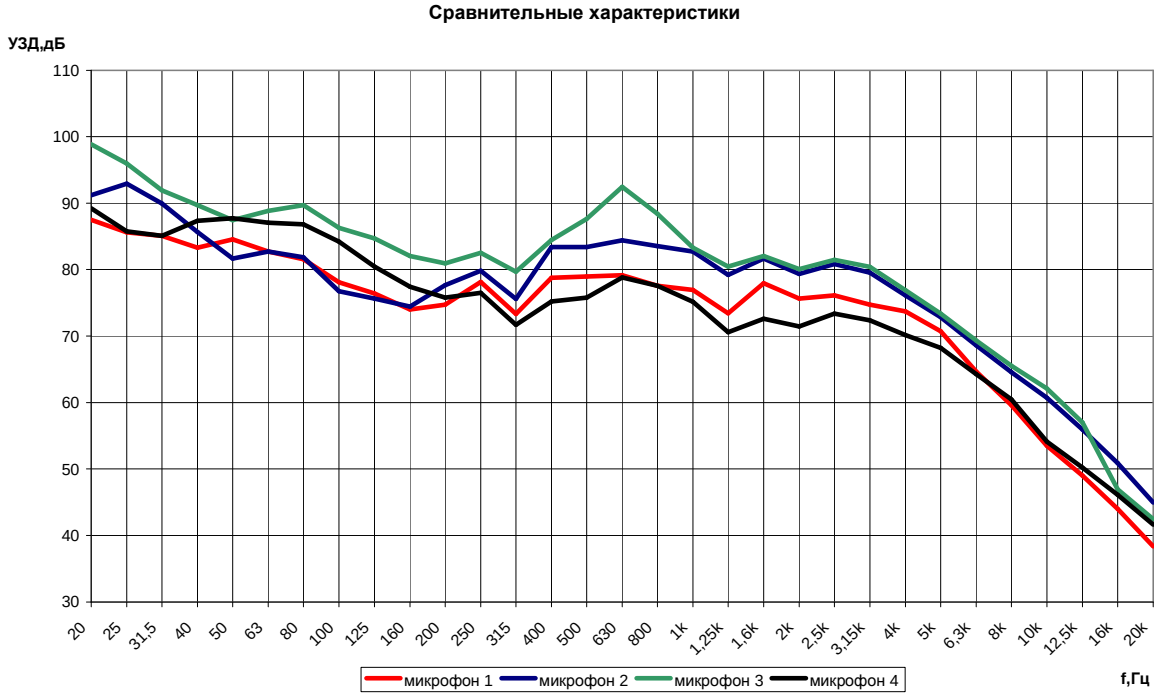


Рис. 2.1. Уровни звукового давления при прохождении электропоезда на скорости 65 км/час (микрофон № 1 – пантограф – контактный провод, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 6,5 м от уровня головки рельса; микрофон № 2 – межвагонная сцепка, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 1 м от уровня головки рельса; микрофон № 3 – головка рельса – колесо, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 0 м от уровня головки рельса; микрофон № 4 – внешнее поле, расстояние ближайшего рельса 7,5 м, высота 1,5 м от уровня головки рельса)

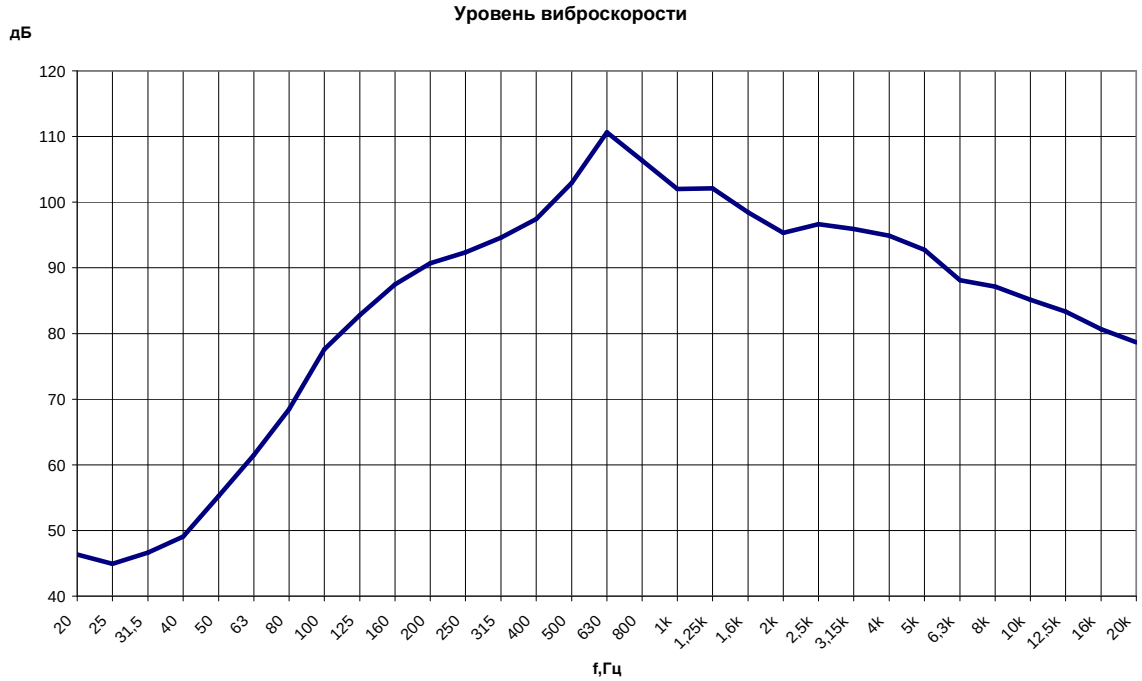


Рис. 2.2. Уровни виброскорости на подошве рельса
при прохождении электропоезда на скорости 65 км/час

В полученных спектрах имеется ряд характерных особенностей. Спектры воздушного шума носят в основном средне- высокочастотный характер, основные составляющие находятся в диапазоне частот 500-4000 Гц (рис.2.3). Во всех спектрах прослеживается наличие максимальных УЗД на частоте 800 Гц (1000 Гц). Сравнение спектров воздушного шума в указанном диапазоне частот (рис 2.3) со спектром звуковой вибрации (рис. 2.4) показывает, что эти спектры по своему характеру идентичны. Это позволяет утверждать, что процессы шумообразования от подвижного состава полностью определяются взаимодействием пары «колесо-рельс».

Идентичность спектров воздушного шума в указанном диапазоне частот, измеренная в различных точках (микрофоны 1-3), подтверждает выше сказанное. Действительно, выявить вклад (исходя из сравнительного анализа спектров) сцепки и пантографа не удалось.

Что касается низкочастотного диапазона 20-315 Гц (рис 2.3), то шум образуется на этих частотах от обтекания воздухом корпусов вагонов (аэродинамический шум).

Учитывая спектральный характер кривой норм шума (большие значения на низких частотах) низкочастотный шум не представляет серьёзной проблемы для населения близрасположенных жилых домов.

В заключении рассмотрим зависимость шума поездов от скорости движения. С увеличением скорости спектра шума изменяется: пик в спектре несколько смещается в сторону высоких частот (рис. 2.6).

Однако следует отметить, что при скоростях электропоездов выше 100 км/час в формирование звукового поля определенный вклад начинает вносить пантограф, имеющийся на каждом втором вагоне.

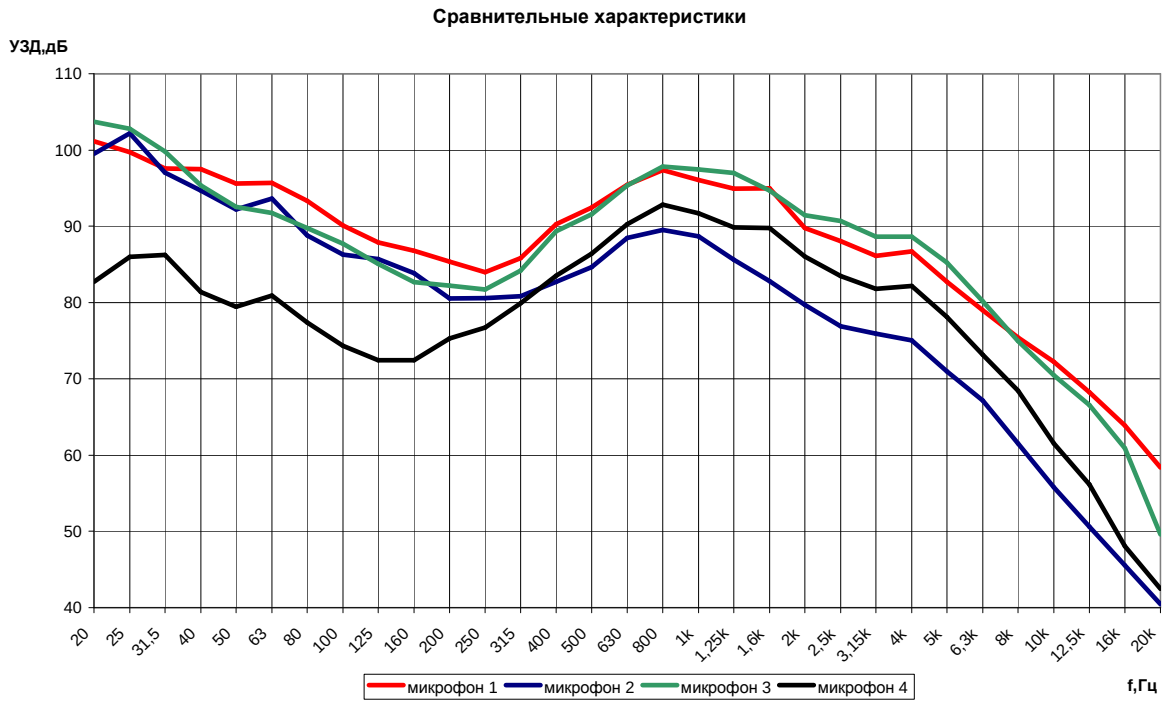


Рис. 2.3. Уровни звукового давления
при прохождении электропоезда на скорости 113 км/час
микрофон № 1 – пантограф – контактный провод, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 6,5 м от уровня головки рельса; микрофон № 2 – межвагонная сцепка, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 1 м от уровня головки рельса; микрофон № 3 – головка рельса – колесо, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 0 м от уровня головки рельса; микрофон № 4 – внешнее поле, расстояние от ближайшего рельса 7,5 м, высота 1,5 м от уровня головки рельса

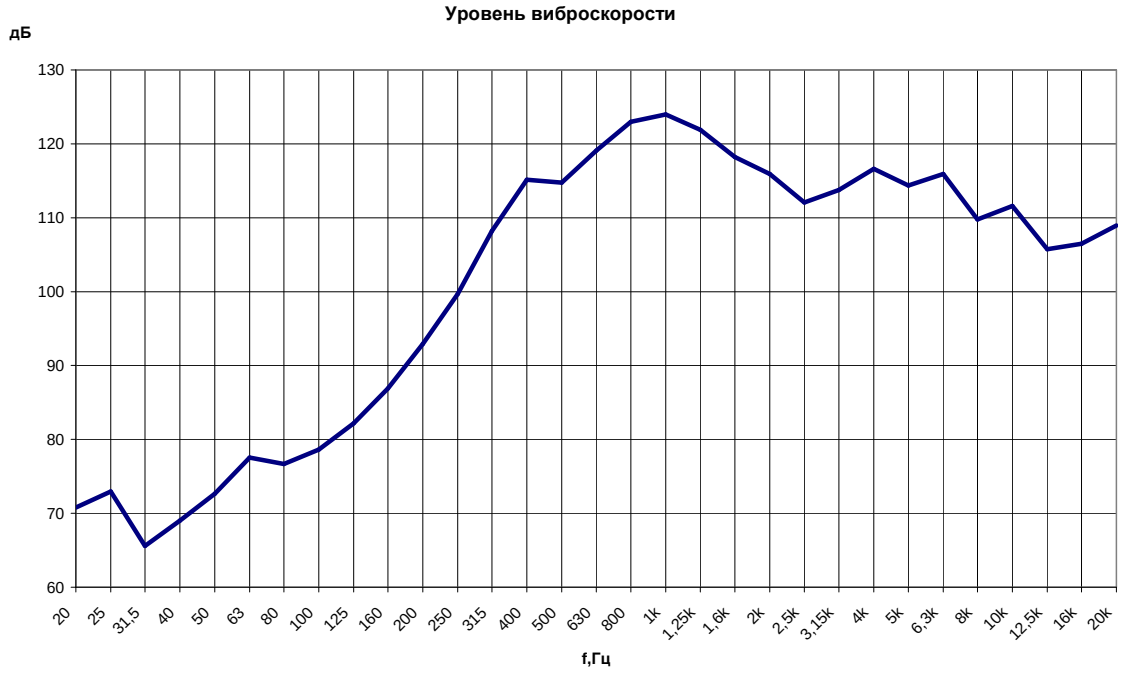


Рис. 2.4. Уровни виброскорости на подошве рельса
при прохождении электропоезда на скорости 113 км/час

Результаты зависимости уровней звука электропоездов на расстоянии 7,5 м от рельса от скорости движения приведены на рис. 2.5 и в таблице 2.1. Результаты проведенных экспериментальных исследований зависимости уровней звукового давления электропоездов от скорости движения на расстоянии 7,5 м от ближайшего рельса представлены на рис. 2.6.

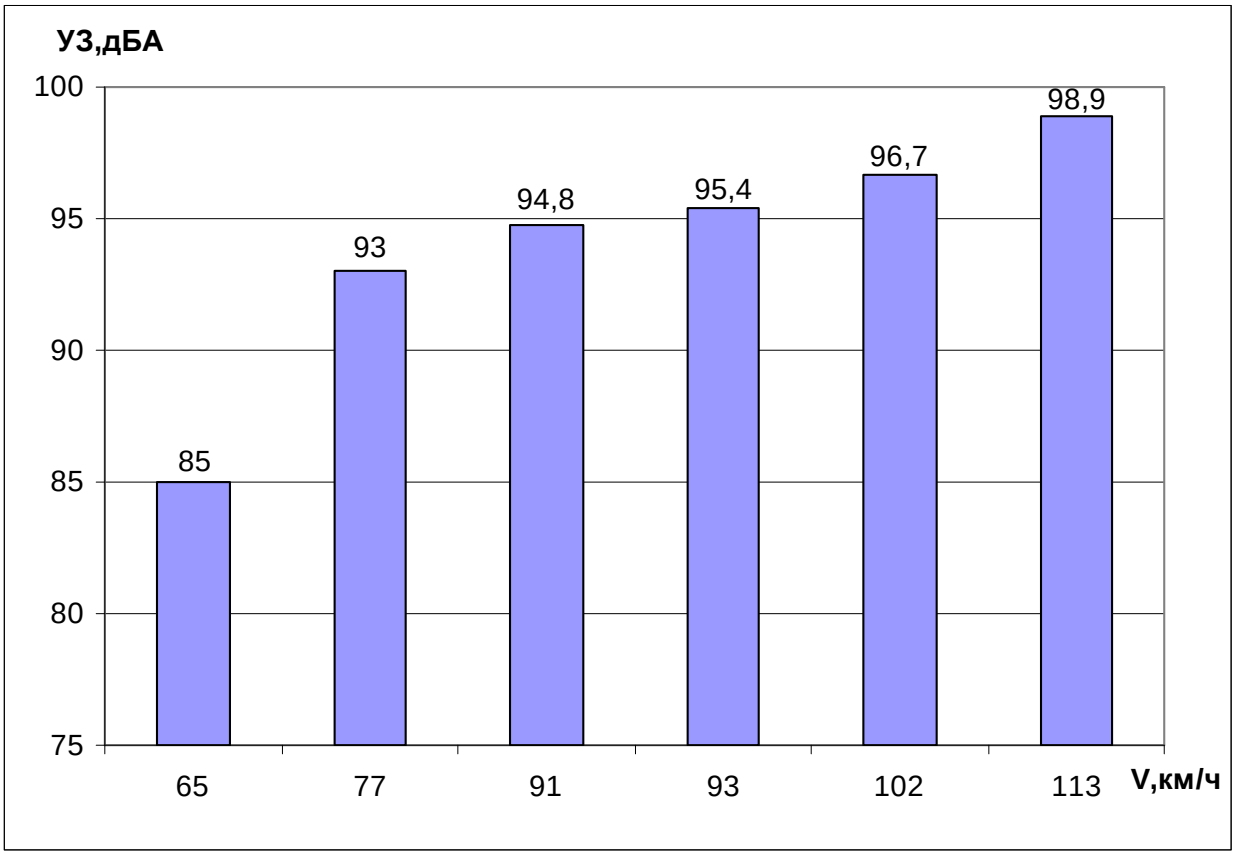


Рис.2.5. Зависимость уровней звука электропоездов от скорости движения.

Как видно из приведенных графиков уровни шума электропоездов возрастают с возрастанием скорости. При этом уровни звука лежат в диапазоне от 85 до 99 дБА.

Таблица 2.1

Связь шума (УЗ, дБА) со скоростью движения для электропоездов

Скорость, км/час	Уровень звука, дБА
65	85
77	93
91	94,8
93	95,4
102	96,7
113	98,9

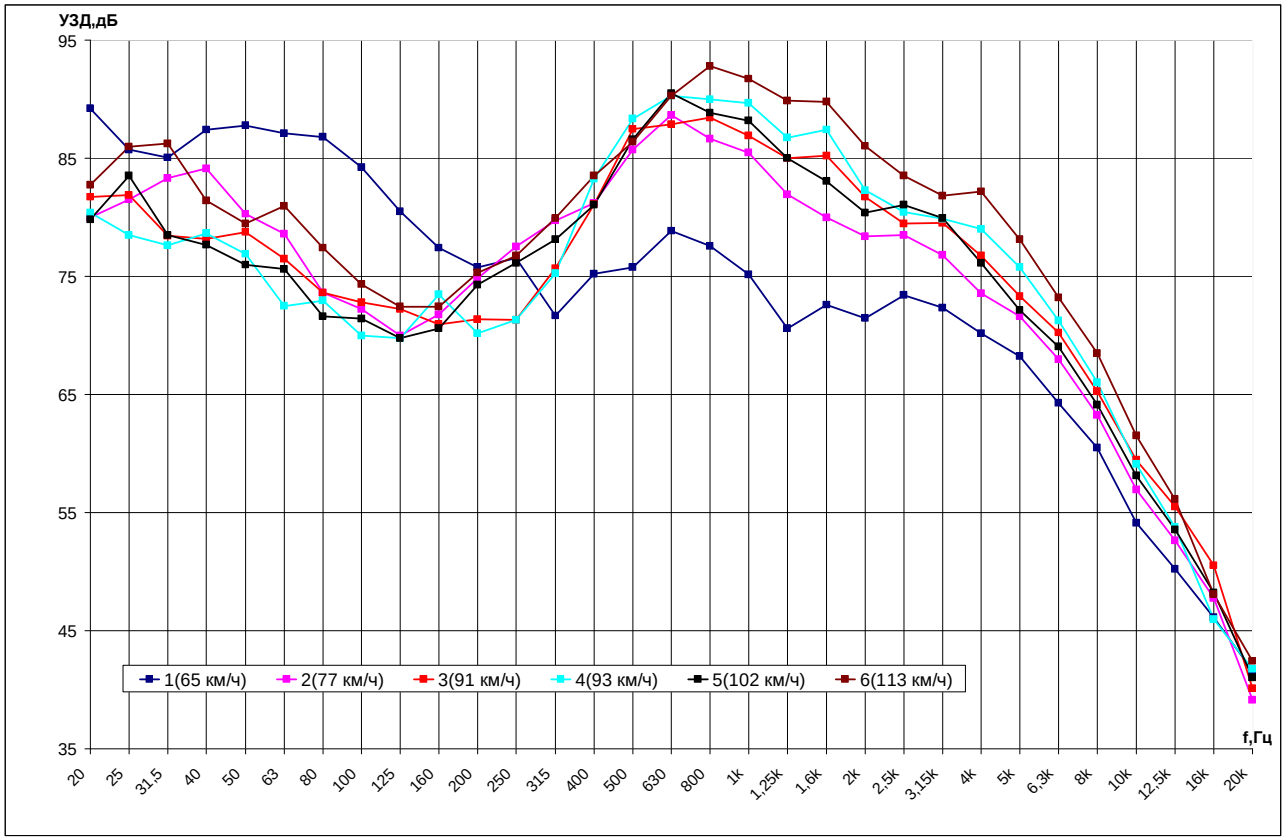


Рис. 2.6. Зависимость уровней звукового давления электропоездов от скорости движения

2.1.2 Пассажирские поезда

Шумовые характеристики пассажирских поездов исследовались в диапазоне от 70 до 110 км/час.

На рис. 2.7 и 2.8 приведены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот и уровни виброскорости, полученные при прохождении пассажирского поезда в режиме разгона после станции на скорости 74 км/час.

Характер спектра шума пассажирских поездов идентичен характеру спектров электропоездов (рис. 2.7). В спектре присутствуют две ярко выраженные области: низкочастотный шум в диапазоне частот 20-315 Гц и средне- высокочастотный в диапазоне 400-8000 Гц. Для второй области характерно наличие пика на частоте 630 Гц, спектр воздушного шума в этом диапазоне полностью идентичен спектру звуковой вибрации (рис. 2.8). Ответственным за формирование этой области спектра является пара «колесо – рельс». Низкочастотная область спектра формируется аэродинамическим шумом.

Влияние сцепки и пантографа в спектре воздушного шума не проявилось: все кривые в этой области имеют приблизительно одинаковый характер. Отметим, что УЗД в точках 2 и 3 (микрофон на уровне колеса и межвагонной сцепки) приблизительно одинаковы: затухания звука не происходит, можно предполагать наличие плоской звуковой волны. Спектры измеренные в точках 1 и 4 (на уровне пантографа и на расстоянии 7,5 м от ближайшего рельса) лежат ниже указанных

спектров, т.к. имеется затухание звука. Здесь звуковое поле сформировалось и может быть аппроксимированно полем цилиндрической звуковой волны. Спектр в токе 1 лежит ниже спектра в точке 4 (рис. 2.7), так как расстояние от основного источника до точки 1 больше чем расстояние до точки 4.

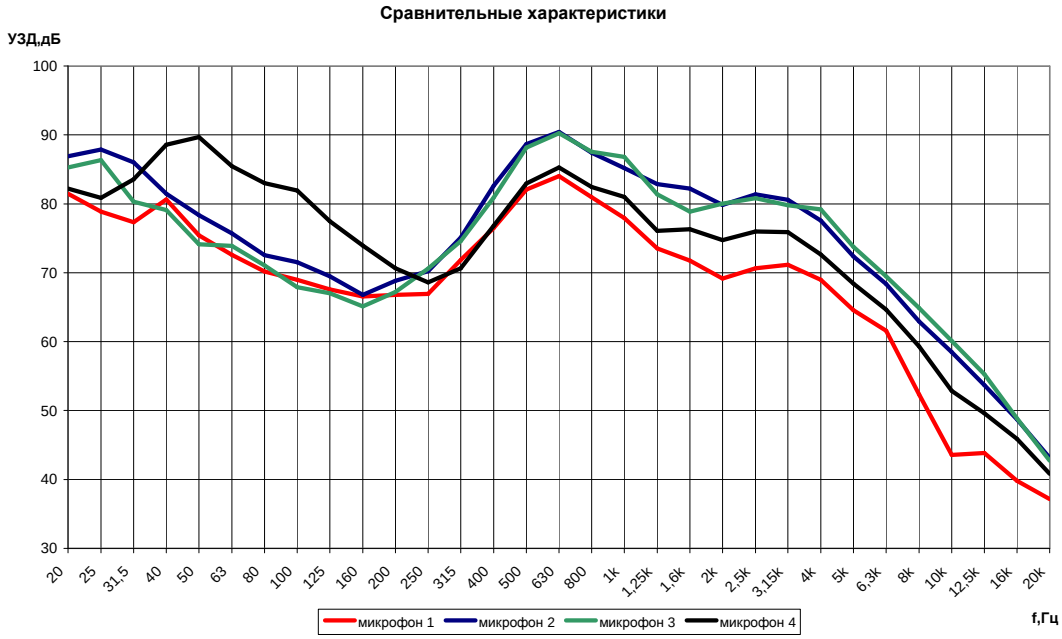


Рис. 2.7. Уровни звукового давления
при прохождении пассажирского поезда на скорости 74 км/час
микрофон № 1 – пантограф – контактный провод, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 6,5 м от уровня головки рельса; микрофон № 2 – межвагонная сцепка, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 1 м от уровня головки рельса; микрофон № 3 – головка рельса – колесо, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 0 м от уровня головки рельса; микрофон № 4 – внешнее поле, расстояние от оси пути 7,5 м, высота 1,5 м от уровня головки рельса

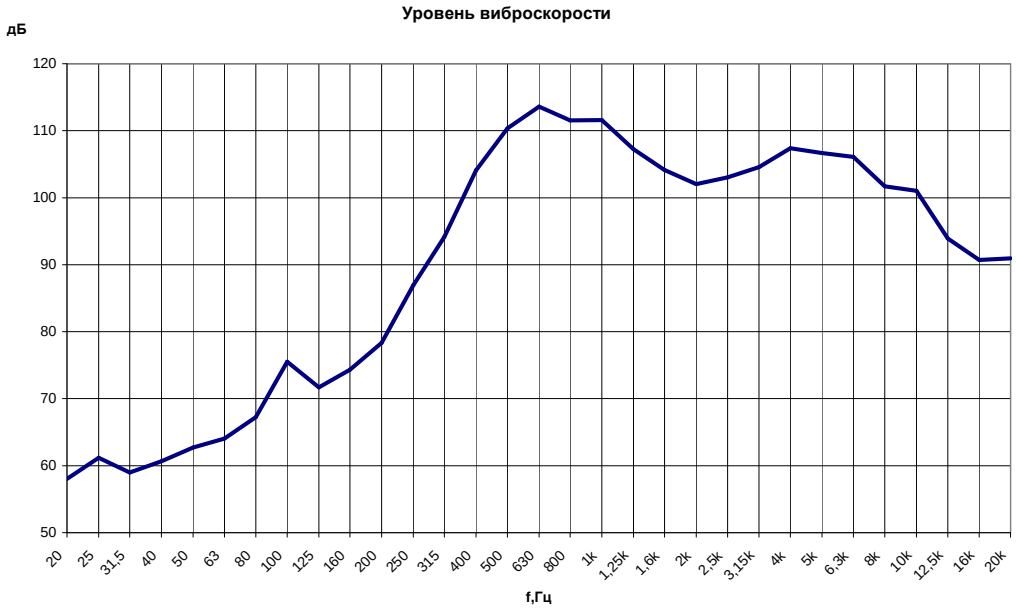


Рис. 2.8. Уровни виброскорости на подошве рельса
при прохождении пассажирского поезда на скорости 74 км/час

На рис. 2.9 и 2.10 приведены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот и уровни виброскорости, полученные при прохождении пассажирского поезда на скорости 92 км/час.

Как и в предыдущем случае, внешнее звуковое поле формируется в основном излучением пары «колесо – рельс». Характер спектра вибрации повторят характер спектра зарегистрированного микрофоном на уровне пары «колесо – рельс» и спектра на расстоянии 7,5 м от ближайшего рельса.

Следует отметить также, что на скорости 92 км/час уровни виброскорости и уровни шума возросли по сравнению со скоростью 74 км/час на 7 дБ и 6 дБА соответственно.

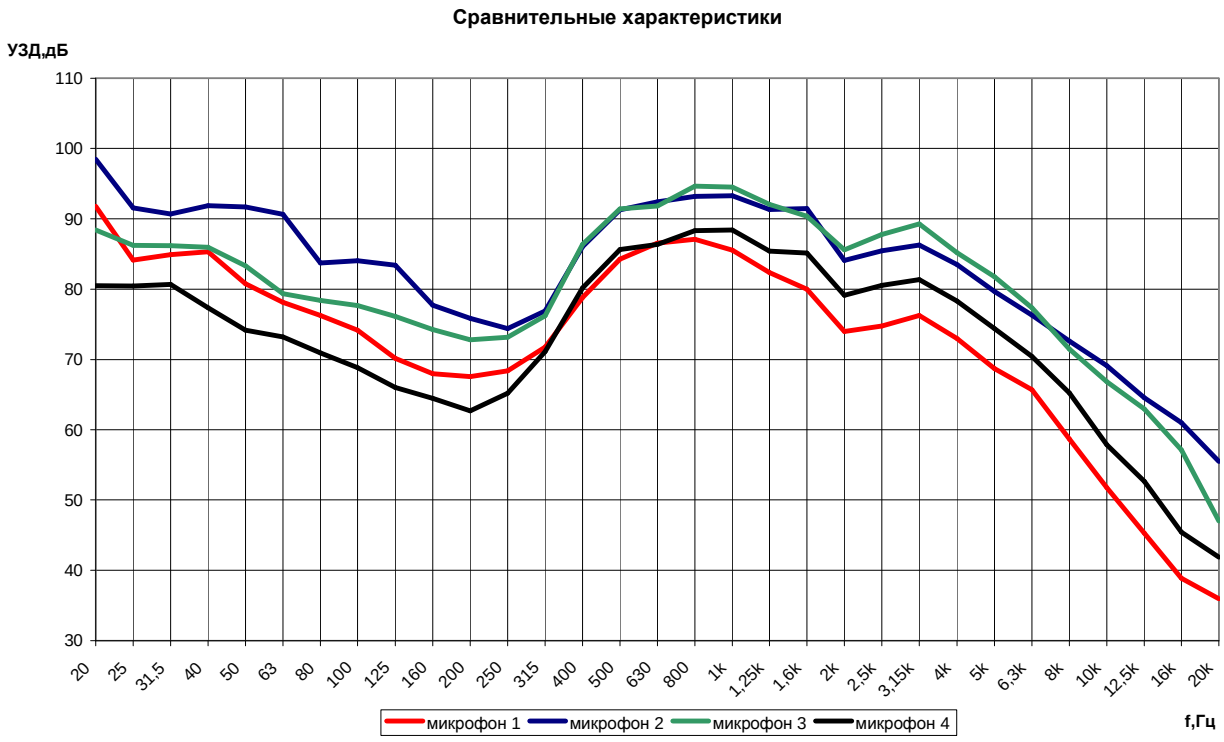


Рис. 2.9. Уровни звукового давления
при прохождении пассажирского поезда на скорости 92 км/час
микрофон № 1 – пантограф – контактный провод, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 6,5 м от уровня головки рельса; микрофон № 2 – межвагонная сцепка, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 1 м от уровня головки рельса; микрофон № 3 – головка рельса – колесо, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 0 м от уровня головки рельса; микрофон № 4 – внешнее поле, расстояние от оси пути 7,5 м, высота 1,5 м от уровня головки рельса;

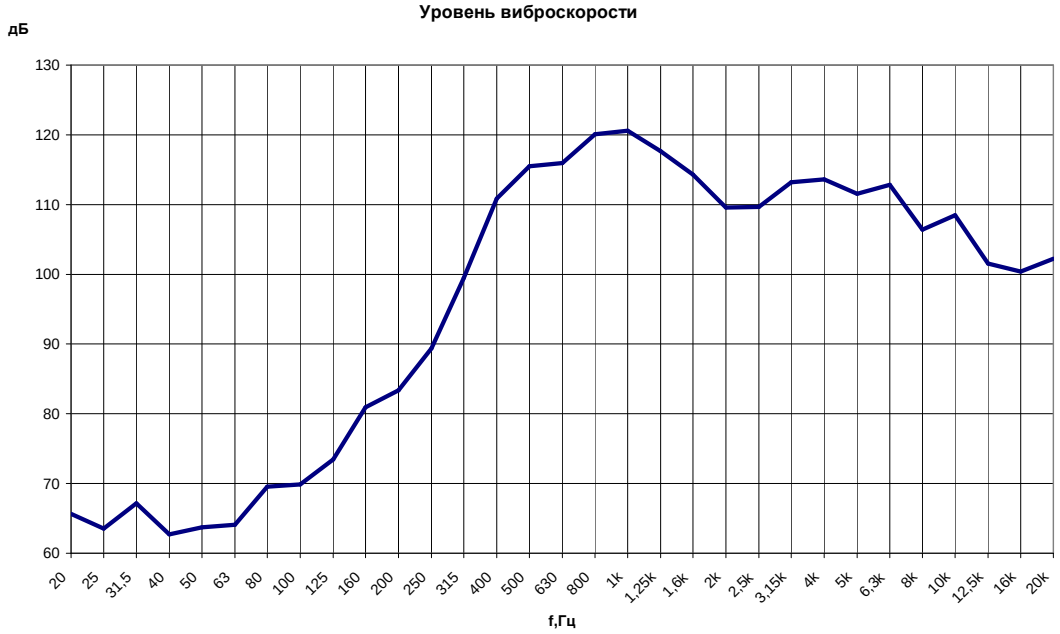


Рис. 2.10. Уровни виброскорости на подошве рельса
при прохождении пассажирского поезда на скорости 92 км/час

На рис. 2.11 и 2.12 приведены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот и уровни виброскорости, полученные при прохождении пассажирского поезда на скорости 105 км/час.

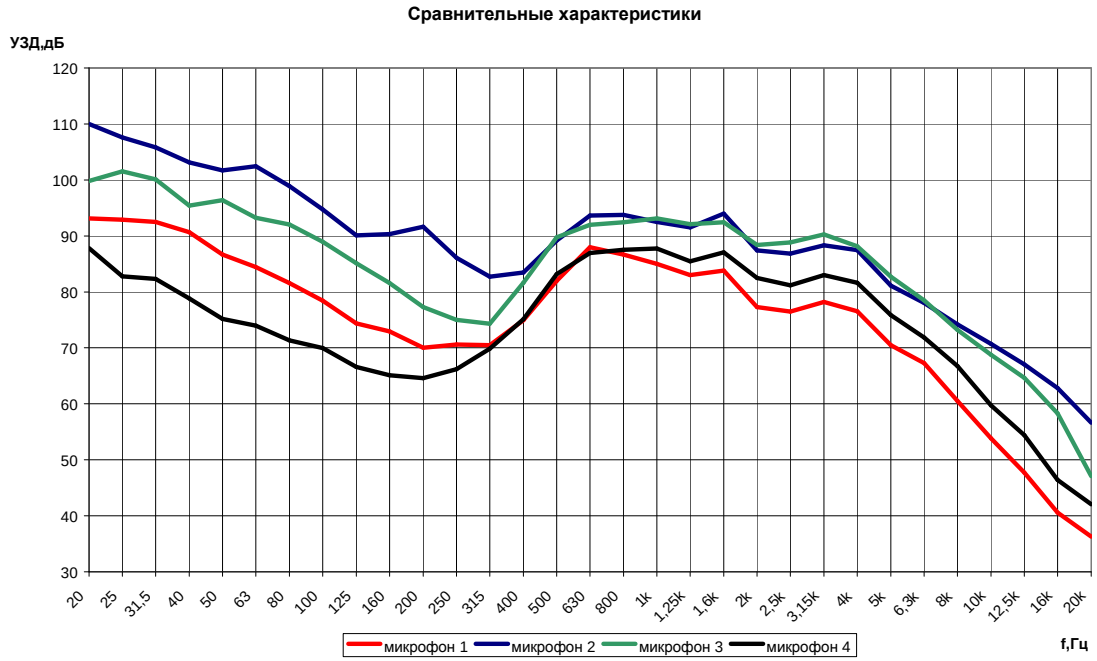


Рис. 2.11. Уровни звукового давления
при прохождении пассажирского поезда на скорости 105 км/час
микрофон № 1 – пантограф – контактный провод, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 6,5 м от уровня головки рельса; микрофон № 2 – межвагонная сцепка, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 1 м от уровня головки рельса; микрофон № 3 – головка рельса – колесо, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 0 м от уровня головки рельса; микрофон № 4 – внешнее поле, расстояние от оси пути 7,5 м, высота 1,5 м от уровня головки рельса;

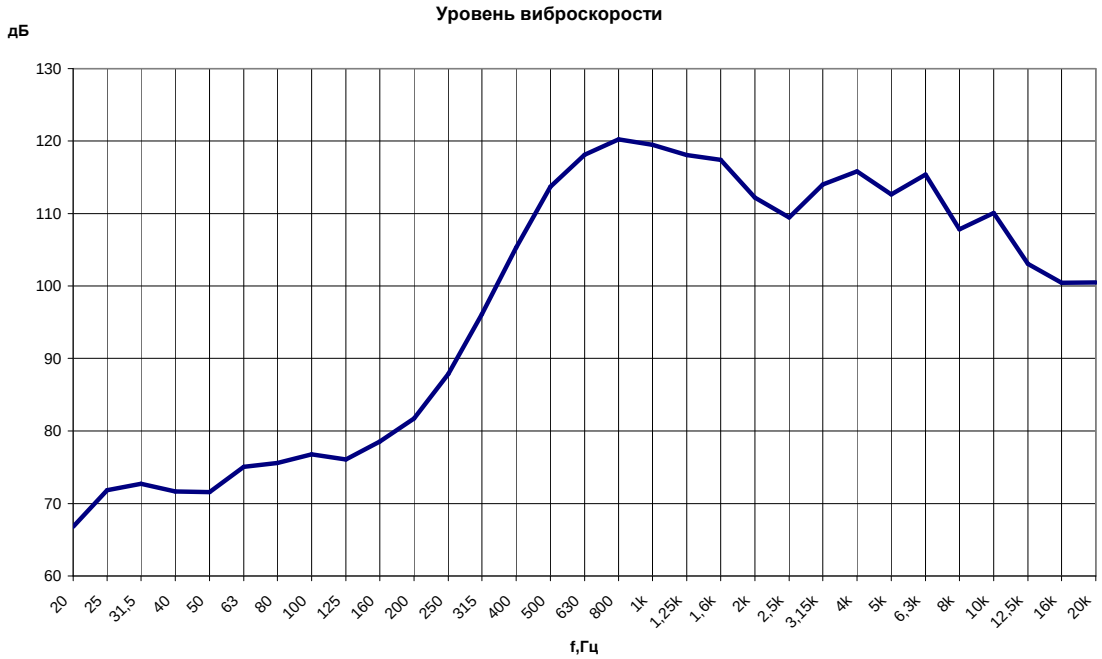


Рис. 2.12. Уровни виброскорости на подошве рельса
при прохождении пассажирского поезда на скорости 105 км/час

При увеличении скорости до 105 км/час основной вклад в формирование внешнего звукового поля вносит пара «колесо – рельс», что снова подтверждается схожестью характеров спектров вибрации на подошве рельса и шума на расстоянии 7,5 м и на уровне колеса.

Из вышеизложенных примеров следует что во всем указанном диапазоне скоростей от 70 до 110 км/час определяющим фактором, формирующим звуковое поле пассажирских поездов является излучение шума парой «колесо – рельс».

Сравнительные характеристики уровней звукового давления и уровней звука пассажирских поездов на расстоянии 7,5 м от рельса в зависимости от скорости движения представлены на рис. 2.13 и 2.14 и в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Связь шума (УЗ, дБА) со скоростью движения для пассажирских поездов

Скорость, км/час	Уровень звука, дБА
74	87,2
88	89,4
90	91,6
92	90,8
95	93,5
105	95,4

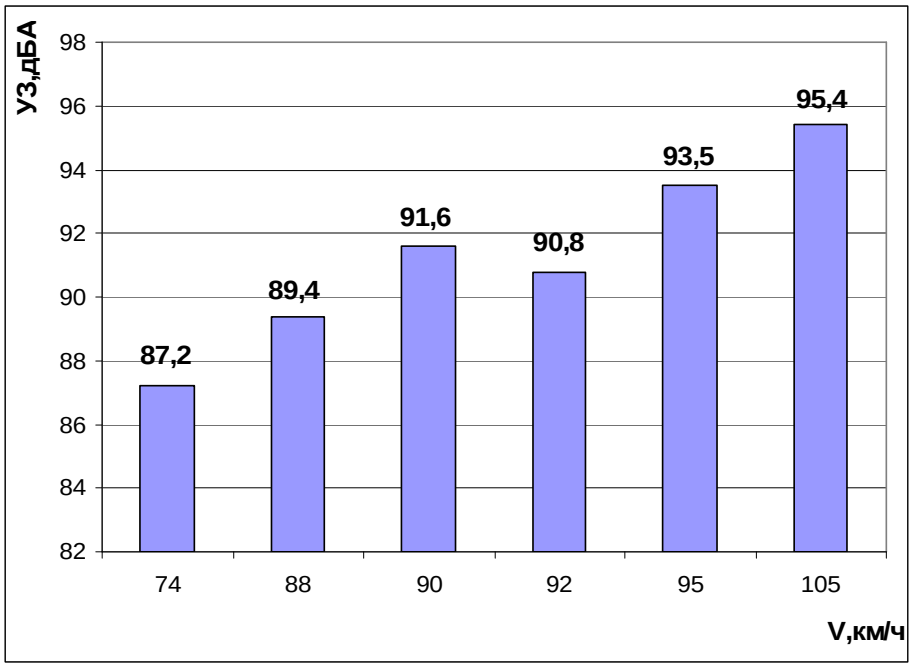


Рис.2.13. Зависимость уровней звука пассажирских поездов от скорости движения

Спектры воздушного шума (рис. 2.14) в области средних и высоких частот для большинства поездов идентичны, при этом с увеличением скорости от 74 до 105 км/час уровни звука (УЗ) возросли на 9 дБА (рис. 2.13), то есть приблизительно на 3 дБА на каждые 10 км/час.

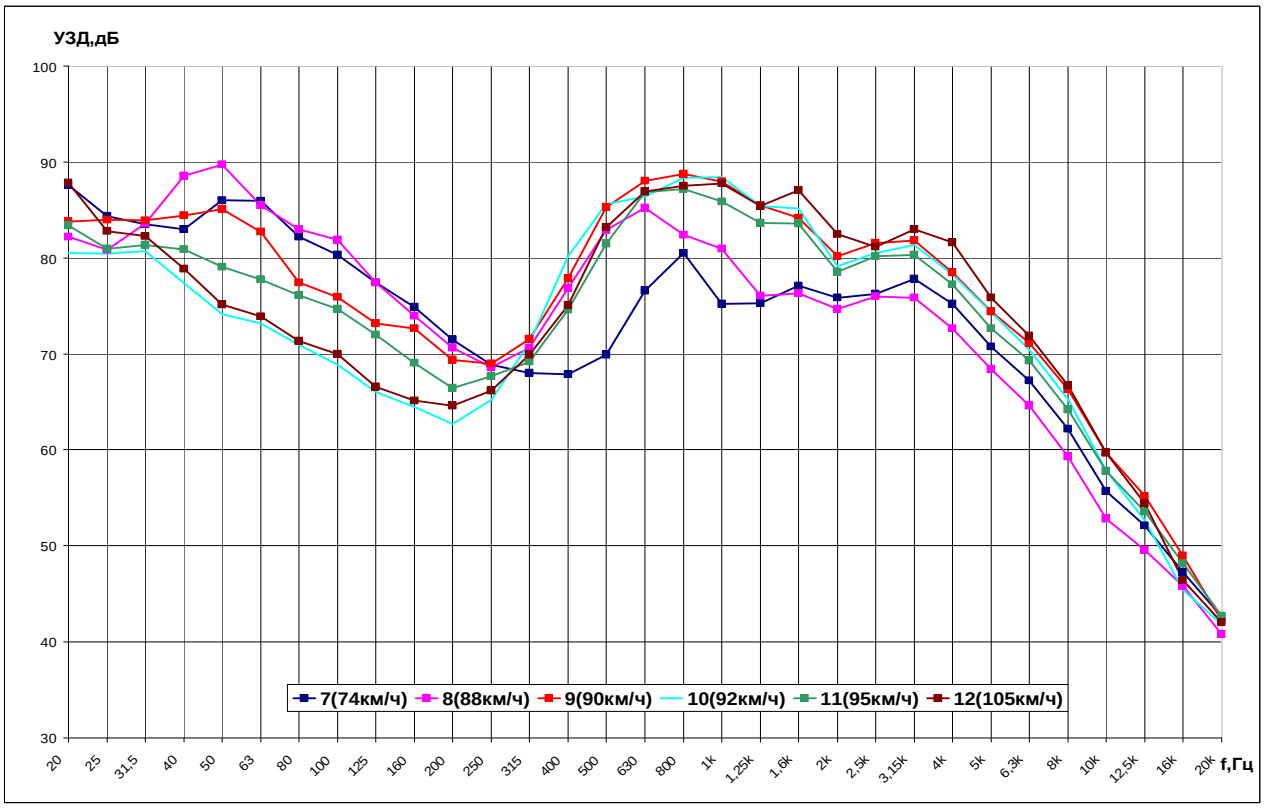


Рис. 2.14. Зависимость уровней звукового давления пассажирских поездов от скорости движения

2.1.3. Скоростные поезда

Шумовые характеристики скоростных поездов исследовались в диапазоне от 105 до 180 км/час.

На рис. 2.15 и 2.16 приведены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот и уровни виброскорости, полученные при прохождении скоростного поезда на скорости 107 км/час.

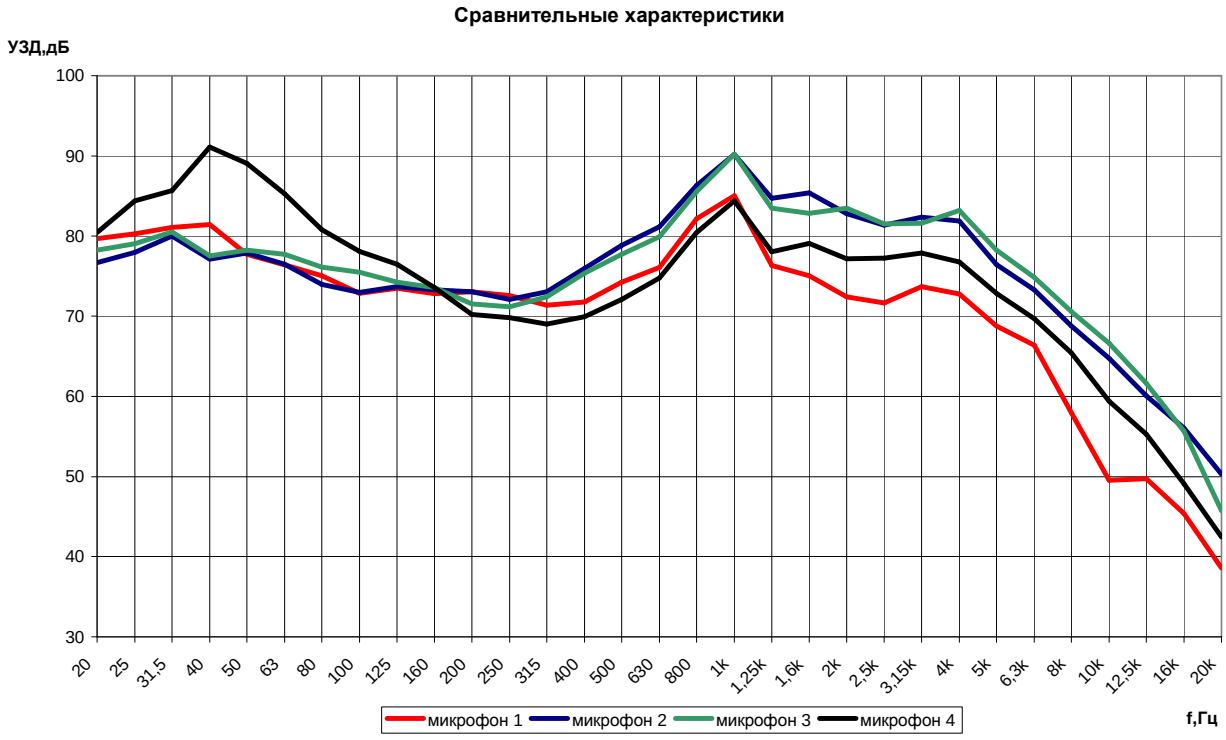


Рис. 2.15. Уровни звукового давления
при прохождении скорого поезда на скорости 107 км/час
микрофон № 1 – пантограф – контактный провод, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 6,5 м от уровня головки рельса; микрофон № 2 – межвагонная сцепка, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 1 м от уровня головки рельса; микрофон № 3 – головка рельса – колесо, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 0 м от уровня головки рельса; микрофон № 4 – внешнее поле, расстояние от оси пути 7,5 м, высота 1,5 м от уровня головки рельса

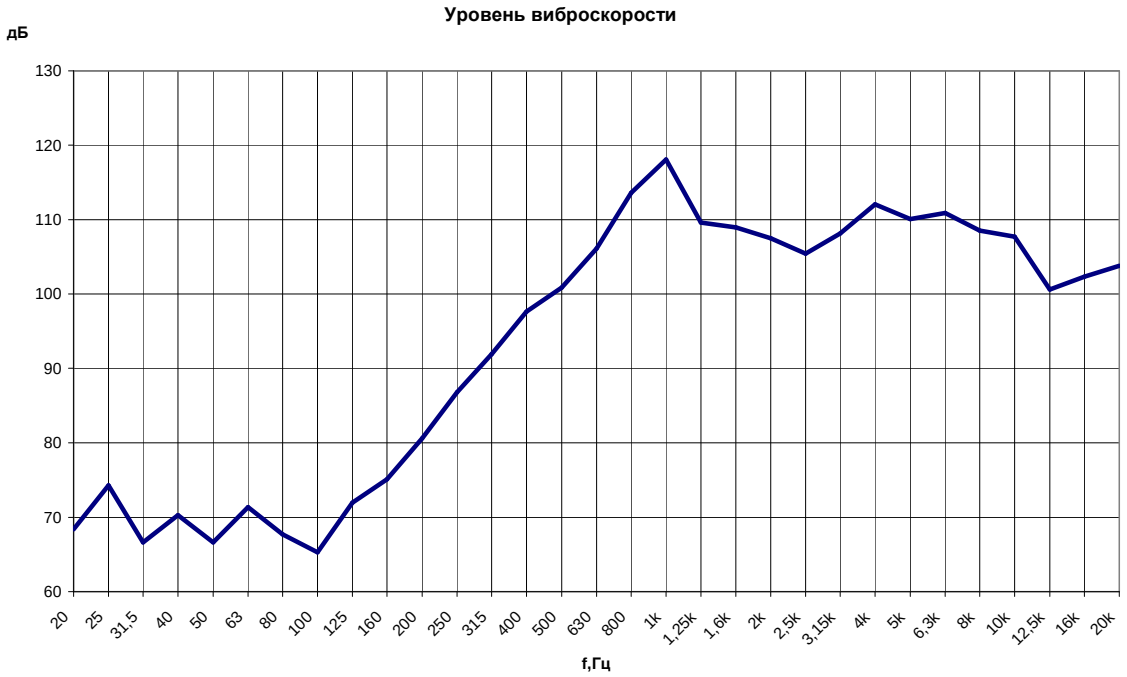


Рис. 2.16. Уровни виброскорости на подошве рельса
при прохождении скорого поезда на скорости 107 км/час

Все вышеизложенные рассуждения о характере спектров и превалирующем вкладе пары «колесо – рельс» сохраняются и для скоростных поездов. Отметим наличие характерного пика на частоте 1000 Гц для спектров воздушного и структурного звука. Это подтверждает ранее высказанное утверждение, что шум при увеличении скорости поезда пик в спектре смещается вправо (т.е. в область более высоких частот).

При увеличении скорости движения от 107 до 178 км/час шум возрастает 6 дБА (рис. 2.17). Данные о связи уровней звука со скоростью приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Связь шума (УЗ, дБА) со скоростью движения для скоростных поездов

Скорость, км/час	Уровень звука, дБА
107	89
119	90
162	94
168	94
178	95

Следует обратить внимание, что шум скоростных поездов при одинаковых скоростях ниже, чем шум электропоездов. Это можно объяснить лучшим техническим состоянием и более совершенными конструкциями скоростных поездов.

2.1.4. *Грузовые поезда*

Шумовые характеристики грузовых поездов исследовались в диапазоне скоростей от 54 до 75 км/ч. На рис. 2.17 и 2.18 приведены уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот и уровни виброскорости, полученные при прохождении грузового поезда на скорости 54 км/час.

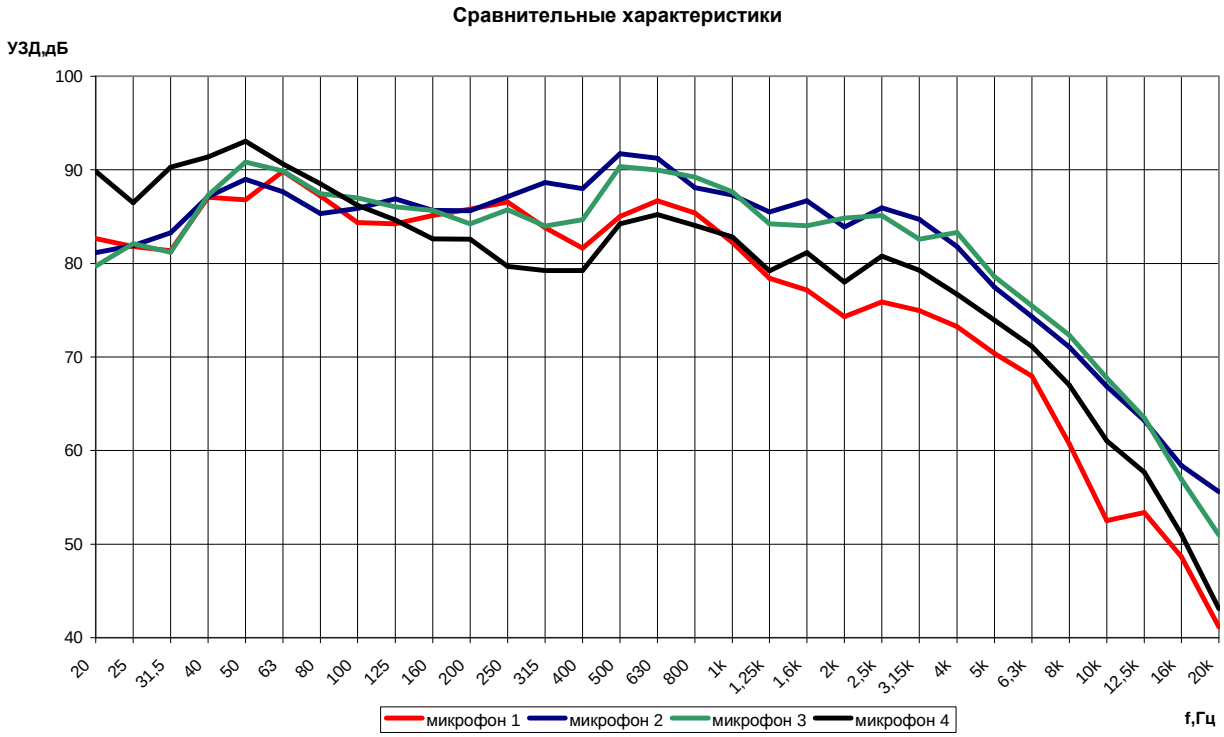


Рис. 1. Уровни звукового давления
микрофон № 1 – пантограф – контактный провод, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 6,5 м от уровня головки рельса; микрофон № 2 – межвагонная сцепка, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 1 м от уровня головки рельса; микрофон № 3 – головка рельса – колесо, расстояние от оси пути 3,7 м, высота 0 м от уровня головки рельса; микрофон № 4 – внешнее поле, расстояние от оси пути 7,5 м, высота 1,5 м от уровня головки рельса

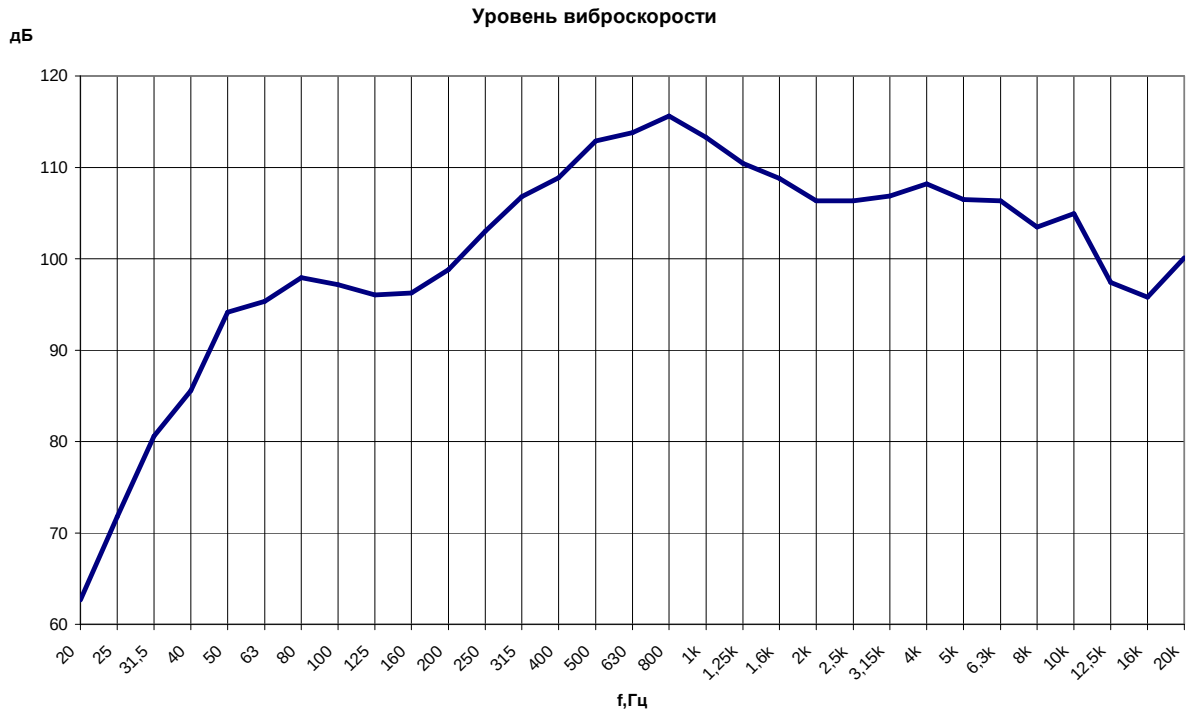


Рис. 2. Уровни виброскорости на подошве рельса

Характер спектров воздушного и структурного звука полученный для грузовых поездов, повторяет вышеизложенные зависимости, основным источником является пара колесо-рельс.

Данные о влиянии скорости на шум грузовых поездов приведены в табл. 2.4.

Связь шума (УЗ, дБА) со скоростью движения для грузовых поездов

Таблица 2.4

Скорость, км/час	Уровень звука, дБА
54	92
61	84
63	86
72	87
75	89

Не подтверждается вышеприведенная зависимость об увеличении УЗ от скорости. Это объясняется тем, что проводились измерения поездов с разными весовыми нагрузками (порожняк, цистерны и пр.).

Выводы

1. Проведём анализ источников внешнего шума и звуковой вибрации различных типов поездов: электропоезда, пассажирские, скоростные, грузовые, с различными скоростями движения.
2. Установлено, что при всех типов поездов на всех скоростях движения основным источником шума является пара «колесо-рельс»; не обнаружено вклада сцепки и пантографов в процессы шумообразования. Это означает, основные меры защиты окружающей среды должны быть направлены на борьбу с низкочастотными источниками. Для всех типов поездов получено основное влияние процессов, генерирующих шум в высокочастотной и среднечастотной областях спектра (500-4000 Гц). Всё сказанное означает, что применение акустических экранов (они эффективнее чем нижерасположен источник шума для средне- высокочастотного шума) целесообразно.
3. Установлена связь процессов образования шума со скорость движения для электропоездов, пассажирских и скоростных поездов. Для грузовых поездов эта связь носит более сложный характер, то есть шум зависит не только от скорости движения но и от загруженности подвижного состава.
4. Разработана карта шума выбранного участка Любань – Мстинский мост. Поезда распределялись равномерно для дневного и ночного времени. С учетом интенсивности и скорости движения рассчитывалась шумовая характеристика потока железнодорожного транспорта, которая составляет 75,1 дБА в дневное время и 75,8 дБА в ночное время.

   При построении карты шума вся территория 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 были получены линии равного уровня звука на территории с шагом в 5 дБА, что соответствует условиям нормирования шума.

   На карте, таким образом, получены размеры санитарного разрыва для дневного и ночного времени, которые соответствуют изодецибелам 55 дБА и 45 дБА.

Литература

1. Н.И. Иванов Инженерная акустика теория и практика борьбы с шумом. Учебник.– М.: Университетская книга, Логос, 2008.–424 с.
2. Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно–методических документов. СПб: Компания «Интеграл», 2008, 1т–820с, 2т–822 с.

РАЗРАБОТКА КАРТЫ ШУМА УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Буторина М.В., Куклин Д.А.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Введение

Для оценки акустической ситуации на участке железнодорожной магистрали Любань-Мстинский мост, протяженностью 110 км, была разработана карта шума для прилежащей территории. На выделенном участке от станции Любань до станции Мстинский мост расположено достаточно большое количество населенных пунктов, расположенных в непосредственной близости от железной дороги, в том числе: Любань, Трубников Бор, Чудово, Малая Вишера. Железная дорога проходит, в основном, в условиях ровного рельефа, без значительных выемок и насыпей.

1. Разработка карты шума

Основная цель при разработке карты шума – определение шума по всей территории, прилегающей к железной дороге у каждого строения. Отечественных программ, позволяющих это осуществить, не существует. Поэтому впервые в нашей стране для построения карты была использована известная во всем мире немецко-американская программа «SoundPLAN», специально адаптированная разработчиками под отечественную нормативно-техническую базу.

Программный продукт SoundPLAN 6.4 предназначается для построения карт шумового загрязнения воздушной среды и проектирования средств защиты от шума. Программный пакет работает под Windows 98/NT/XP и включает двух- и трехмерную графику, инструменты для расчета уровней шума и представления их в виде электронных таблиц, карт и схем. Программный продукт разработан в Германии фирмой Braunstein&Berndt LLC и адаптирован к российским методикам БГТУ «Военмех». Математические модели, лежащие в основе расчетов, основываются на государственных стандартах Российской

Федерации. Для расчета уровней шума в программе SoundPLAN реализуются положения следующих нормативных документов:

6. Автотранспортный шум (Russian Road) – «Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов» (Министерство транспорта; Федеральный дорожный департамент. - М., 1995) п. 4.6.
7. Железнодорожный шум (Russian Rail) оценивается согласно «Справочника проектировщика. Защита от шума в градостроительстве» (М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.) п. 2.2.
8. Распространение шума оценивается согласно СНиП II-12-77 «Защита от шума» (М.: Госстрой, 1978) п.10.7
9. Промышленный шум (ISO 9613-2:1996) оценивается согласно положениям ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета»
10. Распространение шума внутри помещений рассчитывается согласно СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» (М.: Госстрой, 2004) п.7.

При помощи программного продукта были решены следующие задачи:

- составление трехмерного ландшафта территории;
- расчет шумовой карты от железной дороги;
- расчет эффективности шумозащитных экранов вдоль дорог;
- расчет затухания уровней шума при распространении с учетом рельефа местности (выемок, насыпей и т.д.).

Входные данные о геометрических параметрах местности вводились в программу при помощи сканирования подоснов, представленных в виде картографического материала на бумажном носителе. По отметкам высот была построен цифровая модель местности, которая учитывалась в дальнейших расчетах.

Выходные данные карта шума были представлены в виде таблиц и горизонтальных карт, отображающих акустическую нагрузку на данной территории.

2. Оценка шумовой характеристики железнодорожного транспорта

Уровни шума железнодорожного транспорта рассчитывались при помощи стандартизированных методик с учетом следующих исходных данных:

Количество поездов на участке Любань – Мстинский Мост:

Любань – Чудово:

– пассажирских 61 пара;
– пригородных 14 пар;
– грузовых 33 пары;
– путеизмерителей 1 пара;
– резерв локомотивов 1 пара.

Чудово – Малая Вишера:

– пассажирских 67пар;

– пригородных 12 пар;
– грузовых 14 пар;
– путеизмерителей 1 пара;

Малая Вишера – Мстинский Мост:

– пассажирских 67пар;
– пригородных 6 пар;
– грузовых 14 пар.

Поезда распределялись равномерно для дневного и ночного времени. С учетом интенсивности и скорости движения рассчитывалась шумовая характеристика потока железнодорожного транспорта. Шумовые характеристики потоков на планируемый период составят 75,1-75,8 дБА как дневное, так и в ночное время.

Ввод шумовой характеристики в программе SoundPLAN представлен на рис. 1.

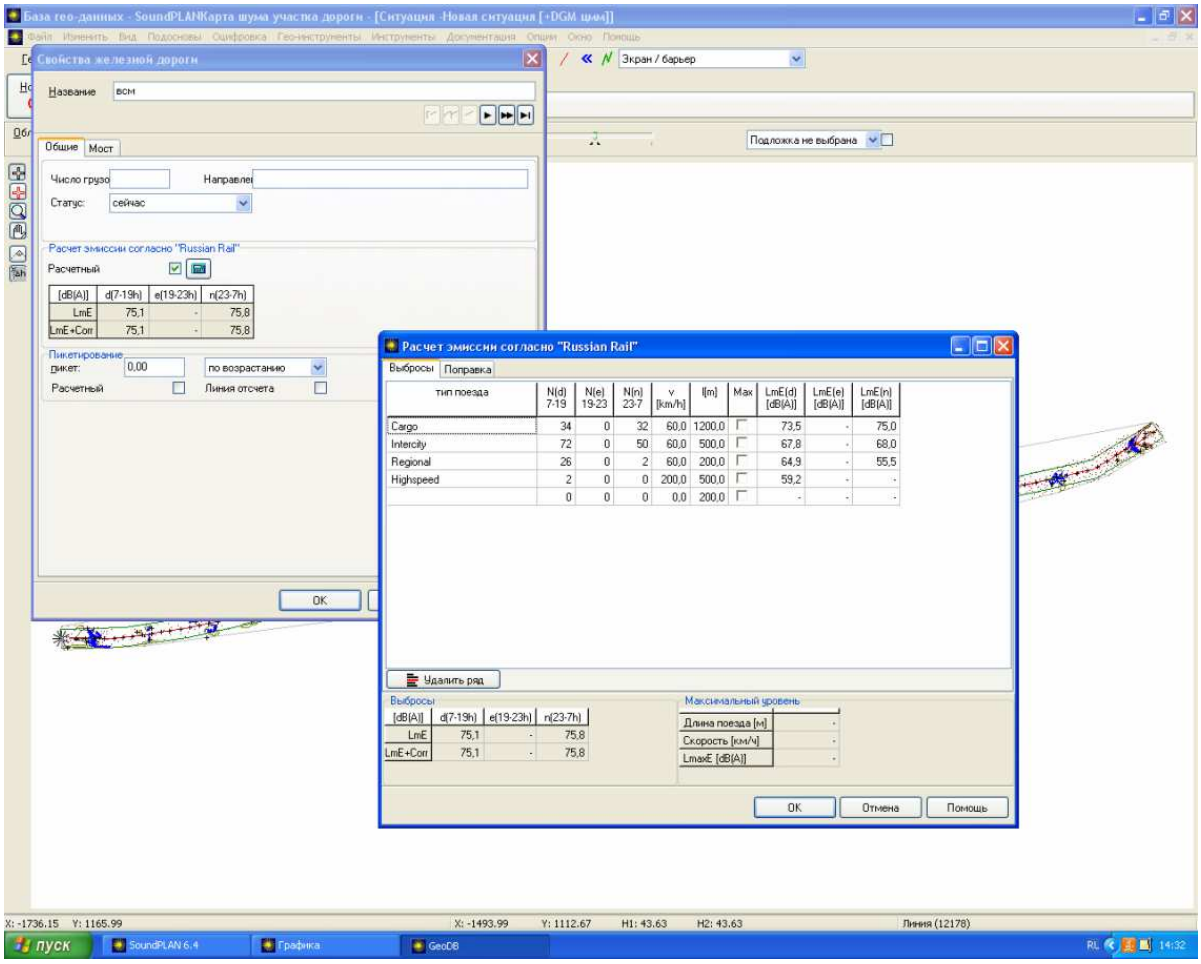


Рис. 1. Шумовая характеристика поездов

Расчет показывает, что при введении высокоскоростных поездов уровни шума на базовом расстоянии возрастут на 1,1-3,6 дБА. Увеличение уровней

шума произойдет в дневное время, когда функционируют данные поезда. Поскольку определение окончательной зоны влияния шума транспортных потоков происходит по ночному времени, то на величину санитарного разрыва и шумозащитные мероприятия введение высокоскоростного движения не окажет решающего влияния.

3. Оценка зон повышенного шумового воздействия

При построении карты шума вся территория 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 были получены линии равного уровня звука на территории с шагом в 5 дБА, что соответствует условиям нормирования шума.

На карте, таким образом, получены размеры санитарного разрыва для дневного и ночного времени, которые соответствуют изодецибелам 55 дБА и 45 дБА.

Уточняющие расчеты уровней шума были также выполнены в 126 точках вдоль трассы магистрали. Требуемое снижение шума в расчетных точках достигает:

– 20 дБА в дневное время;
– 29 дБА в ночное время.

Установка акустических экранов позволяет значительно снизить уровни шума. В настоящее время вдоль трассы железной дороги уже установлено около 25 км акустических экранов в следующих населенных пунктах: Торбино, Бурга, Веребье, Гряды, Малая Вишера, Любань и Чудово.

При этом на тех участках железной дороги, где не установлено шумозащитных экранов, расстояние, на котором уровни шума достигают нормативных значений, значительно. Пример карты шума на участке с установленными экранами представлен на рис. 2.

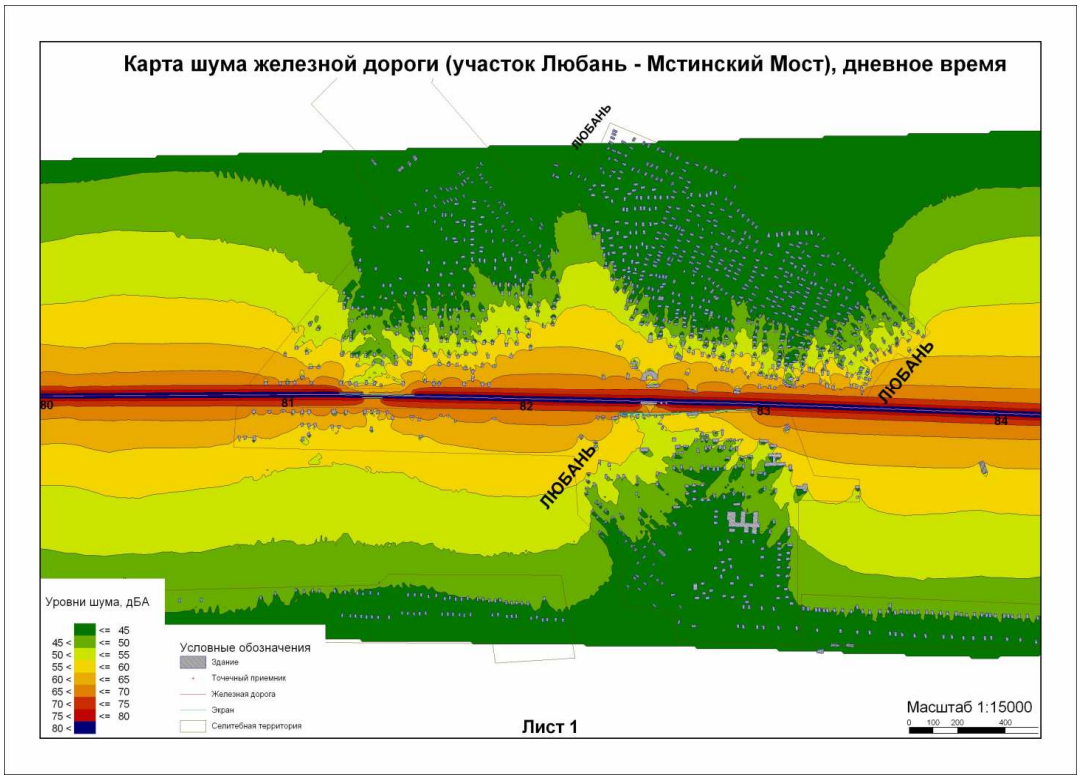


Рис. 2. Карта шума на участке дороги с учетом установки экранов

Так в населенном пункте Любань зона влияния повышенных уровней шума составляет около 700 м для дневного времени и более 1000 для ночного времени суток. В то же время в местах установки шумозащитных экранов расстояние, на котором уровни шума достигают нормативных значений, составляет 50-70 м для дневного времени и около 350-400 м для ночного времени суток.

В населенном пункте Трубников Бор экраны не установлены, поэтому нормативные уровни шума достигаются на расстоянии около 600 м для дневного времени и на расстоянии около 800-900 м.

В населенном пункте Чудово при установленных шумозащитных экранах нормативные уровни шума достигаются на расстояниях около 50-100 м от железной дороги для дневного времени и на расстояниях 200-250 м для ночного времени суток. На тех участках, где экраны отсутствуют, дневная норма шума достигается на расстояниях около 400-500 м, а ночная норма на расстояниях более 800 м.

В населенном пункте Малая Вишера при установленных шумозащитных экранах дневная норма шума достигается уже на расстояниях около 40 м, а ночная норма на расстояниях около 150-200 м.

4. Разработка шумозащитных мероприятий

Для уменьшения размера зон влияния повышенных уровней шума рекомендуется установка акустических экранов, планировочные мероприятия, направленные на обеспечение разрывов между железной дорогой и жилой

застройкой, использование земляных выемок для размещения ж/д путей, применение для первого ряда застройки специального шумозащитного остекления.

Общая длина экранов, рекомендованных для защиты от шума железной дороги на участке Любань-Мстинский мост составляет 41200 м, площадь – 183300 кв.м.

Шумозащитному остеклению подлежат все жилые здания, находящиеся на расстоянии 100 м от железной дороги. Для защиты жилой застройки предусматривается шумозащитное остекление жилых домов с установкой пассивных проветривателей с эффективностью шумозащиты:

- для домов, расположенных на расстоянии 25-40 м – 30 дБА;
- для домов, расположенных на расстоянии 40-70 м – 25 дБА;
- для домов, расположенных на расстоянии 70-100 м – 20 дБА.

Жилые здания, на территории, вблизи которых требуемое снижение шума составляет 25 дБА и выше, а также здания, расположенные на расстоянии менее 25 м от железной дороги, подлежат расселению.

Количество домов, подлежащих остеклению, составляет 604 здания, количество домов, подлежащих расселению, составляет 62 здания. Разработанные мероприятия позволят обеспечить соблюдение предельно допустимых уровней шума в жилой застройке.

Заключение

Разработка карт шума является эффективным средством для оценки акустической ситуации в жилой застройке, расположенной вблизи железных дорог. Карты шума, построенные с применением программы SoundPLAN, позволяют учесть рельеф местности и провести расчет на основании утвержденных в РФ методик оценки уровней шума железных дорог. Карат шума позволяет оценить расстояние, на котором будут обеспечены ПДУ с учетом размещения зданий и других сооружений относительно железной дороги, а также разработать мероприятия шумозащиты. Для обеспечения ПДУ на селитебной территории, располагающейся вблизи трассы железной дороги, рекомендуется применение акустических экранов и шумозащитного остекления, а также расселение жилых зданий, попадающих в полосу отвода железной дороги.

РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОЙ ШУМНОСТИ В КАБИНАХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Иванов Н.И., Курцев Г.М., Шашурин А.Е.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова

В современных строительных машинах для снижения шума используются эффективные меры и средства по снижению шума на рабочих местах операторов. Наиболее эффективной универсальной конструкцией являются звукоизолирующие кабины, обеспечивающие снижение шума до 67-76 дБА. На рис.1 показана гистограмма распределения внутреннего шума зарубежных строительно-дорожных машин. Шум в кабинах 27% машин ниже 71дБА, только 14% машин имеют шум в кабине, превышающий 75дБА, основная группа машин (59%) имеет внутренний шум в пределах 72-75дБА.

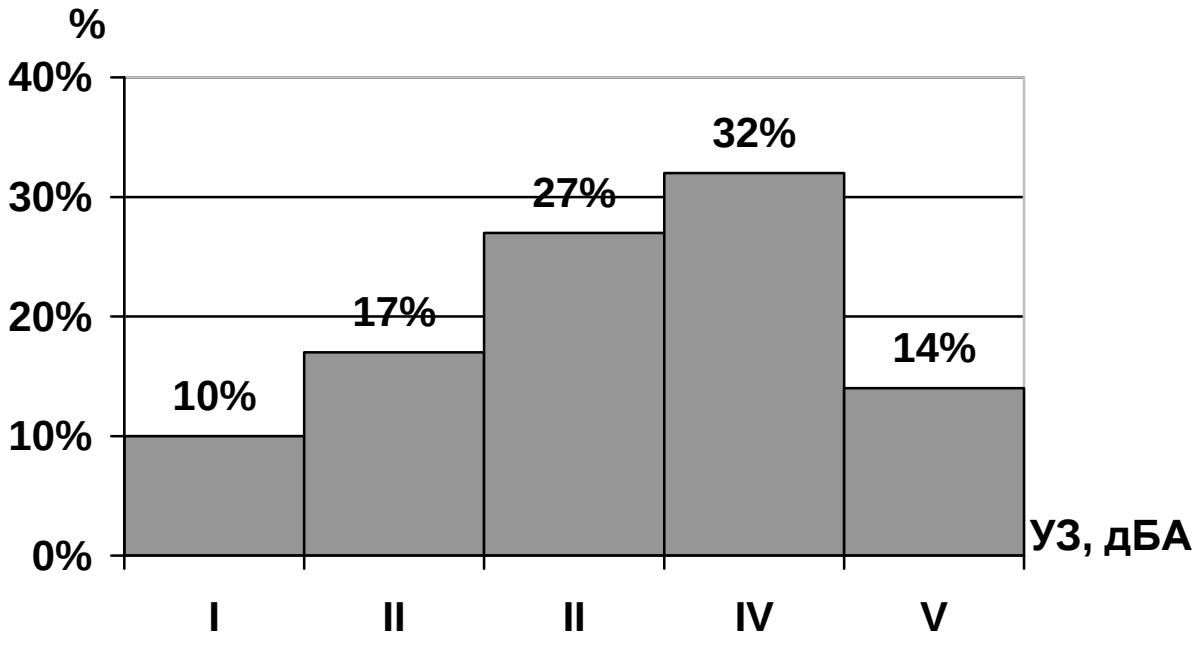


Рис. 1 Гистограмма распределения внутреннего шума зарубежных строительно-дорожных машин:
I – до 69 дБА, II – 70-71 дБА, III – 72-73 дБА, IV – 74-75 дБА, V – свыше 75 дБА

Тем не менее, условия конкуренции требуют дальнейшего снижения уровней шума в кабинах с целью обеспечения безопасности и повышения степени комфорта. Наиболее эффективным и экономически выгодным является снижение шума в процессе проектирования машин. Нами разработан метод расчета ожидаемой мощности в кабинах строительных машин, базирующийся на результатах многолетних исследований [1-3]. Метод основан на статистической теории акустики, допущения которой известны. Источники звука аппроксимируются в зависимости от размеров и длины звуковой волны точечными (сферическая звуковая волна) линейными (цилиндрическая звуковая волна) или плоскими (плоская звуковая волна).

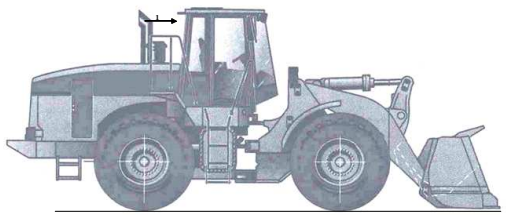
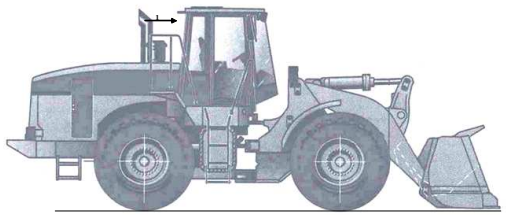
Исходная величина для выполнения расчетов – уровни акустической мощности источников ($L_{wист.}$). Проводятся измерения уровней звукового давления основных источников, как правило, в ближнем звуковом поле или в звуковом поле близком к диффузному (для источников расположенных в замкнутых объемах). Затем производятся вычисления акустической мощности с учетом площади измерительной поверхности или замкнутого объема. По полученным значениям $L_{wист.}$ и составленным расчетным схемам производится расчет вкладов шума в кабину, а затем полученные результаты энергетически суммируются.

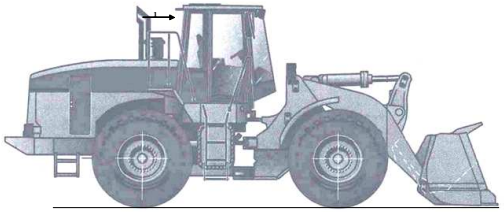
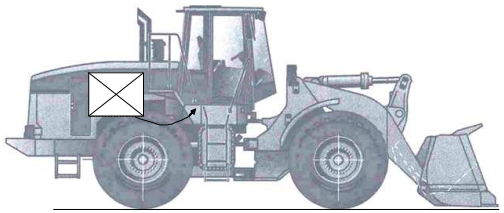
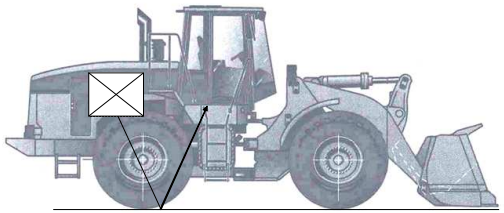
Основные источники шума на строительных машинах: корпус, всасывание и выпуск двигателей внутреннего сгорания (ДВС), движитель (гусеницы) для гусеничных машин, элементы гидравлики (гидронасосы), вентилятор охлаждения подкапотного пространства ДВС. В расчетах учитывается расстояние от источника шума до кабины или ее элементов, конструктивные размеры и особенности компоновки кабины, значения коэффициента звукопоглощения в кабине (α^f), звукоизоляции ограждающих конструкций ($ЗИ_i^f$), коэффициентов дифракции ($\beta_{дифрi}^{каб.}$) – (берутся по данным экспериментов).

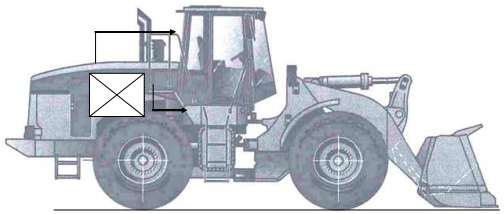
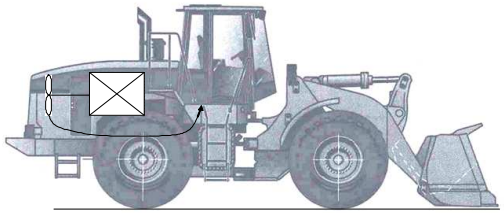
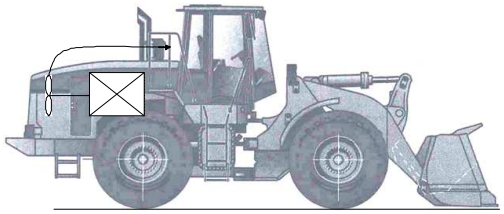
В полученные результаты вводятся экспериментальные поправки: $\Delta L_{возд.ст.}^{31,5}$ - добавка на частоте 31,5 Гц на действие воздушного столба в кабине, и $\Delta L_{зв.вибр.}^{f}$ - добавка на дополнительный вклад звуковой вибрации на определенных частотах (как правило, на частотах 63 и 125 Гц), и поправка на неравномерность звукового поля на внешних элементах ограждения кабины $\Delta L_{дифр.}^{каб.} = 10\lg \beta_{дифрi}^{каб.}$.

Основные типы расчетных схем и расчетные формулы приведены в табл. 1

Таблица 1

№	Путь проникновения	Расчетная схема	Расчётная формула
1	**2**	**3**	**4**
1	Шум выпуска, проникающий на рабочее место оператора через панели ограждений кабины, с учетом дифракционных явлений, за исключением перегородки между моторным отсеком и кабиной и пола		$L_{вып}^{каб} = L_{wвып} - 20\lg R_{вып} - 10\lg \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{каб\,i}}{\sum_{i=1}^{n} S_{каб\,i} \cdot 10^{-0,1(ЗИ_{каб\,i} + t_{дифр_i}^{каб})}} + 10\lg \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{каб\,i}}{A_{каб}} + ПН_{вып.} - \beta_{вып.} - x + 6, дБ$
2	Шум всасывания, проникающий на рабочее место оператора через панели ограждений кабины, с учетом дифракционных явлений, за исключением перегородки между моторным отсеком и кабиной и пола		$L_{всас}^{каб} = L_{wвсас} - 20\lg R_{всас} - 10\lg \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{каб\,i}}{\sum_{i=1}^{n} S_{каб\,i} \cdot 10^{-0,1(ЗИ_{каб\,i} + t_{дифр_i}^{каб})}} + 10\lg \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{каб\,i}}{A_{каб}} + ПН_{всас} - \beta_{всас} - x + 6, дБ$

3	Шум двигателя, проникающий на рабочее место через перегородку между моторным отсеком и кабиной		$L^{каб}_{дв.пер} = L_{w\,дв} + 10\lg\left(\frac{\chi_{кап.дв.}}{S_{кап.дв.общ.}} + \frac{4\psi_{кап.дв.}}{B_{кап.дв.}}\right) + 10\lg\frac{S_{пер.}}{S_{кап.дв.}} - ЗИ_{пер.} - 10\lg A_{каб.} + 6, дБ$
4	Шум двигателя, проникающий на рабочее место через пол кабины непосредственно		$L^{каб}_{дв.пол} = L_{w\,дв} + 10\lg\left(\frac{\chi_{кап.дв.}}{S_{кап.дв.общ.}} + \frac{4\psi_{кап.дв.}}{B_{кап.дв.}}\right) + 10\lg\frac{S_{кан.}}{S_{кап.дв.}} - 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{k} S_{пол\,i}}{\sum_{i=1}^{k} S_{пол\,i}\cdot 10^{-0,1ЗИ_{пол\,i}}} + 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{k} S_{пол\,i}}{A_{каб.}} + 1, дБ$
5	Шум двигателя, проникающий на рабочее место через нижний открытый проем в капоте и далее через пол кабины, с учетом отражения от поверхности		$L^{каб}_{дв.пр} = L_{w дв} + 10\lg\left(\frac{\chi_{кап.дв.}}{S_{кап.дв.общ.}} + \frac{4\psi_{кап.дв.}}{B_{кап.дв.}}\right) + 10\lg\frac{S_{пр}}{S_{кап.дв.}} + 10\lg(1-\bar{\alpha}_з) - 20\lg\sqrt{h^2_{дв} + \left(\frac{R_{дв}}{2}\right)^2} - 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{k} S_{пол\,i}}{\sum_{i=1}^{k} S_{пол\,i}\cdot 10^{-0,1ЗИ_{пол\,i}}} + 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{k} S_{пол\,i}}{A_{каб}} - 8, дБ$

6	Шум двигателя, проникающий на рабочее место через ограждения капота и далее через панели кабины, за исключением пола и перегородки		$L^{каб}_{дв.кап} = L_{wдв} + 10\lg\left(\frac{\chi_{капдв.}}{S_{капдв.общ}} + \frac{4\psi_{капдв.}}{B_{капдв.}}\right) + 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{m} S_{капi.дв.}}{S_{капдв.}} - 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{m} S_{капi.дв.}}{\sum_{i=1}^{m} S_{капi.дв.} \cdot 10^{-0,1(ЗИ_{капi.дв.} + t_{капi})}} - 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{n} S_{кабi}}{\sum_{i=1}^{n} S_{кабi} \cdot 10^{-0,1(ЗИ_{кабi} + t^{каб}_{дифр})}} + 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{n} S_{кабi}}{A_{каб}} - x_1 + 6, дБ$
7	Шум вентилятора системы охлаждения, проникающий на рабочее место через радиатор охлаждения и далее через пол кабины		$L^{каб}_{вент.пол.} = L_{wвент.} + 10\lg\left(\frac{\chi_{капвент.}}{S_{капвент.общ.}} + \frac{4\psi_{капвент.}}{B_{капвент.}}\right) - ЗИ_{рад.} + 10\lg\frac{S_{рад.}}{S_{кап.вент.}} - 10\lg B_{капдв.} + 10\lg\frac{S_{кан.}}{S_{кап.дв.}} - 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{k} S_{пол_i}}{\sum_{i=1}^{k} S_{пол_i} \cdot 10^{-0,1ЗИ_{пол_i}}} + 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{k} S_{пол_i}}{A_{каб}} + 1, дБ$
8	Шум вентилятора системы охлаждения, проникающий на рабочее место через ограждения капота и далее через панели кабины, за исключением пола и перегородки		$L^{каб}_{вент.кап} = L_{wвент} + 10\lg\left(\frac{\chi_{капвент}}{S_{капвент}} + \frac{4\psi_{капвент}}{B_{капвент}}\right) + 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{m} S_{капiвент}}{S_{капвент}} - 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{m} S_{капiвент}}{\sum_{i=1}^{m} S_{капiвент} \cdot 10^{-0,1(ЗИ_{капiвент} + t_{капi})}} - 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{n} S_{кабi}}{\sum_{i=1}^{n} S_{кабi} \cdot 10^{-0,1(ЗИ_{кабi} + t^{каб}_{дифр})}} + 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{n} S_{кабi}}{A_{каб}} - x + 6, дБ$

где $L_{w\,вып}$ – звуковая мощность, излучаемая выпуском, дБ;

$R_{вып}$ – расстояние от среза выпускной трубы до ближайшей панели кабины, м;

$S_{каб_i}$ – площадь *i-го* ограждения, через которые шум выпуска проникает в кабину, м^2;

n – число элементов ограждения кабины;

$ЗИ_{каб\,i}$ – звукоизоляция *i-го* элемента кабины, дБ;

$t^{каб}_{дифр._i}$ – добавка к звукоизоляции *i-го* ограждения кабины в зависимости от расположения ее панелей к выпуску, дБ, $t^{каб}_{дифр._i}$=5 – для потолка и боковых панелей, $t^{каб}_{дифр._i}$=8 – для задней панели по отношению к выпуску;

$A_{каб}$ – звукопоглощение кабины, $A_{каб} = \overline{\alpha}_{каб} \cdot S_{каб.общ.}$, м^2;

$\overline{\alpha}_{каб}$ - средний коэффициент звукопоглощения кабины;

$S_{каб.общ.}$ - общая площадь внутренних ограждений кабины, м^2;

$ПН_{вып}$ - показатель направленности выпуска, дБ;

$\beta_{вып}$- добавка, учитывающая расположение выпускной трубы по отношению к кабине погрузчика, дБ;

x – числовая добавка, которая при $\Omega = \pi$ равна 5 дБ, при $\Omega = 2\pi$ – 8 дБ, $\Omega = 4\pi$ – 11 дБ, (Ω – пространственный угол излучения источников, при излучении в открытое пространство он составляет 4π, в полупространство 2π, в двухгранный угол – π);

$R_{всас}$ – расстояние от всасывания до ближайшей панели кабины, м;

$ПН_{всас}$ - показатель направленности всасывания, дБ;

$\beta_{всас}$ – добавка, учитывающая расположение всасывания по отношению к кабине погрузчика, дБ;

$L_{w\,дв}$ – звуковая мощность, излучаемая двигателем, дБ;

$\chi_{кап.дв}$ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего звукового поля двигателя;

$S_{кап.дв.}$ – площадь ограждений капота двигателя, через которые проникает звук, м^2;

$\Psi_{кап.дв.}$ – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля под капотом двигателя;

$B_{кап.дв.}$ – постоянная капота двигателя, м^2; $B_{кап.дв.} = \dfrac{A_{кап.дв.}}{(1-\overline{\alpha}_{кап.дв.})}$;

$A_{кап.дв.}$ – звукопоглощение капота двигателя, м^2; $A_{кап.дв.} = \overline{\alpha}_{кап.дв.} \cdot S_{кап.дв.общ.}$, м^2;

$\overline{\alpha}_{кап.дв.}$ – средний коэффициент звукопоглощения под капотом двигателя;

$S_{кап.дв.общ.}$ – общая площадь внутренних ограждений панелей капота двигателя, м^2;

$S_{пер.}$ – площадь перегородки между кабиной и моторным отсеком, через которую проникает звук в кабину от двигателя, м^2;

$ЗИ_{пер}$ – звукоизоляция перегородки, через которую звук проникает в кабину от двигателя, дБ;,

$S_{кан.}$ – площадь сечения канала, по которому звук от двигателя проходит под полом кабины, м^2;

$S_{пол_i}$ – площадь *i-го* элемента пола со звукоизоляцией $ЗИ_{пол_i}$, через которые звук проникает в кабину, м^2;

k – число элементов с различной величиной звукоизоляции;

$S_{пр.}$ – площадь нижнего открытого проема капота двигателя, м^2;

$\overline{\alpha}_з$ – средний коэффициент звукопоглощения отражающей поверхности, на которой расположен погрузчик;

$h_{дв.}$ – высота установки двигателя над отражающей поверхностью, м;

$R_{дв.}$ – усредненное расстояние между акустическим центром двигателя и полом кабины погрузчика, м;

Усредненные значения коэффициентов звукопоглощения кабин строительных машин приведены ($\alpha^f_{каб.}$) в табл. 2, усредненные значения звукоизоляции ограждающих конструкций кабин в табл. 3, а значения поправок в табл. 4.

Таблица 2

Усреднённые значения коэффициента звукопоглощения $\alpha_{каб}$ в кабинах строительно-дорожных машин

Частота, Гц	**31,5**	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
$\alpha_{каб}$	0,1-0,12	0,12-0,15	0,15-0,17	0,17-0,20	0,20-0,21	0,21-0,24	0,24-0,26	0,26-0,28	0,28-0,30

Таблица 3

Экспериментальные значения звукоизоляции ограждающих конструкций

Конструкция	**Звукоизоляция, дБ, в октавных полосах частот, Гц**							
	63	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
Пол в кабине с уплотнением проёмов и отверстий	13	11	17	15	17	22	22	20
Пол с отверстиями и проёмами	2	4	5	6	8	9	10	12
Стекло кабины с уплотнением по контуру	20	21	21	24	27	27	30	32
Стекло со щелью по контуру	9	12	12	13	12	13	13	15

Таблица 4

Значение поправок в расчёты

Тип поправки	Звукоизоляция, дБ, в октавных полосах частот, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Колебания воздушного столба	10	–	–	–	–	–	–	–	–
Вклад звуковой вибрации	6	3	2	–	–	–	–	–	–
Значение поправок на дифракцию звука по панелям кабины ($\Delta L_{дифр}$): верхняя	–	–	5	–	7	8	8	8	8
левая	–	–	5	8	10	10	10	10	11
задняя	–	–	8	10	12	13	14	14	14

Проверка предложенных методов расчета была выполнена на погрузчике (рис. 2).

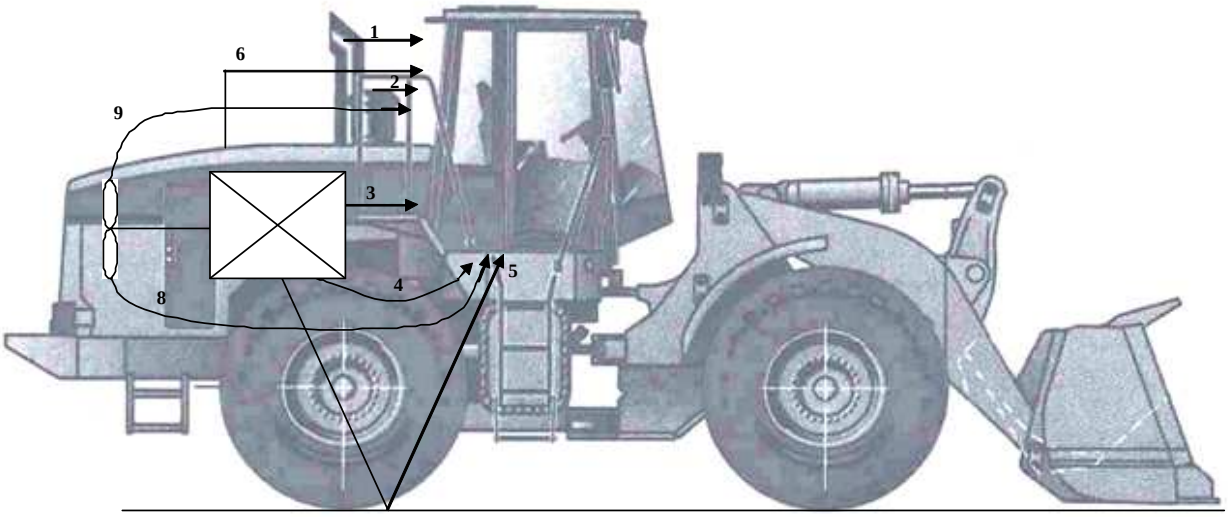


Рис. 2.
1 – Шум выпуска,; 2 – Шум всасывания,; 3 – Шум двигателя; 4 – Шум двигателя, проникающий на рабочее место через пол кабины непосредственно; 5 – Шум двигателя, проникающий на рабочее место через нижний открытый проем в капоте и далее через пол кабины, с учетом отражения от поверхности; 6 – Шум двигателя, проникающий на рабочее место через ограждения капота и далее через панели кабины, за исключением пола и перегородки; 7 – Шум вентилятора,; 8 – Шум вентилятора системы охлаждения, проникающий на рабочее место через радиатор охлаждения и далее через пол кабины; 9 – Шум вентилятора, проникающий на рабочее место через ограждения капота и далее через панели кабины, за исключением пола и перегородки

Расчетные значения и этапы расчетов приведены в табл. 5, а результаты расчетов по отдельным источникам показаны на рис. 3(УЗД) и 4(УЗ).

Таблица 5

Источники излучения и каналы проникновения	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами в Гц								УЗ L_A, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
$L^{каб.}_{вып.}$	78,3	82,2	71,5	59,0	57,0	58,2	49,9	37,1	69,1
$L^{каб.}_{всас.}$	79,3	82,1	67,5	59,6	56,1	55,1	46,7	38,5	67,9
$L^{каб.}_{дв.пер.}$	65,3	74,3	62,4	62,9	59,4	64,7	55,4	46,0	67,8
$L^{каб.}_{дв.пол.}$	68,1	72,1	68,7	66,2	66,4	61,8	52,2	46,1	69,9
$L^{каб.}_{дв.пр.}$	56,6	61,2	57,1	54,7	54,8	50,2	40,5	34,3	58,2
$L^{каб.}_{дв.кап.}$	68,9	75,6	64,9	55,2	56,6	58,2	47,6	34,8	64,5
$L^{каб}_{вент.пол.}$	61,3	53,7	57,3	48,1	44,5	32,3	20,7	11,7	52,0
$L^{каб}_{вент.кап.}$	72,4	70,1	68,5	59,3	55,5	53,2	43,2	31,0	63,9
$L^{каб}_{сум.расчет.}$	82,7	86,2	76,0	69,7	68,6	68,1	58,7	50,0	75,6
$L^{каб}_{экспер.}$	84,9	88,1	76,5	72,2	69,3	68,3	59,5	50,8	75,9
Разница между расчетом и экспериментом	-2,1	-1,9	-0,5	-2,5	-0,7	-0,2	-0,8	-0,8	-0,3

Суммарный расчетный спектр шума в кабине погрузчика от основных источников излучения, проникающего различными каналами определен по формуле:

$$L^{каб}_{сум.рас} = 10\lg(10^{0,1L^{каб}_{вып}} + 10^{0,1L^{каб}_{всас}} + 10^{0,1L^{каб}_{дв.пер}} + 10^{0,1L^{каб}_{дв.пол}} 10^{0,1L^{каб}_{дв.пр}} + 10^{0,1L^{каб}_{дв.кап}} + 10^{0,1L^{каб}_{вент.пол}} + 10^{0,1L^{каб}_{вент.кап}}),$$

На рис. 3 и 4 показаны экспериментально полученные значения УЗ и УЗД в кабине по сравнению с расчетными с учетом поправок.

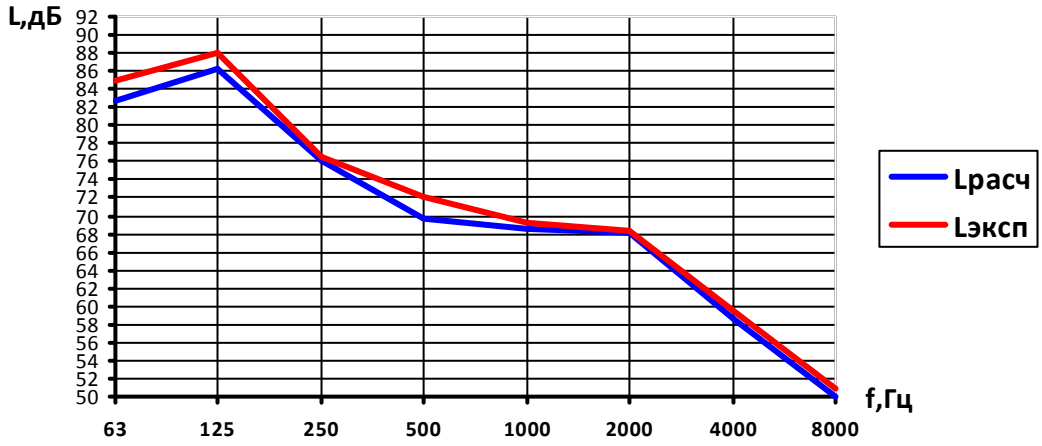


Рис. 3. Сравнение полученных экспериментальных значений в кабине с расчетными по УЗД

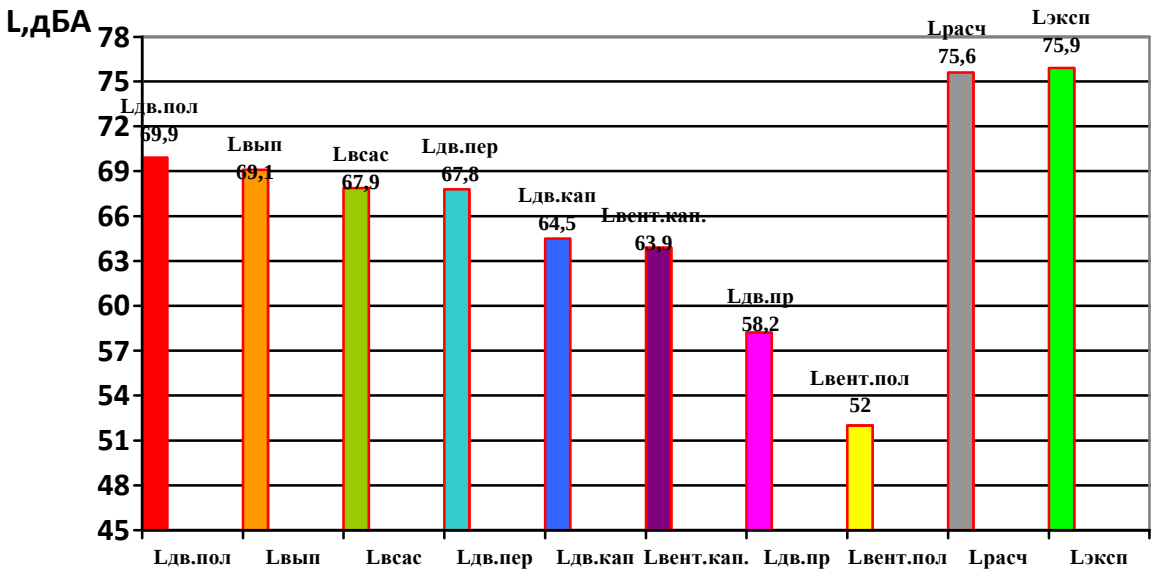


Рис. 4. Вклад шума в кабину погрузчика от основных источников излучения, проникающего различными каналами

В табл. 6 приведены доли шума, проникающего в кабину погрузчика через перегородку между моторным отсеком и кабиной, пол кабины и все остальные панели ограждения кабины от основных источников излучения.

Таблица 6

Наименование панели кабины	**Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами в Гц**								**УЗ L_A, дБА**
	63	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	
Перегородка	66,1	74,3	62,7	63,0	59,4	64,7	55,4	46,0	67,9
Пол	69,2	73,0	69,3	66,6	66,7	62,1	52,5	46,4	70,3
Остальные панели	82,5	85,7	74,8	64,6	62,4	62,6	53,5	42,2	73,0

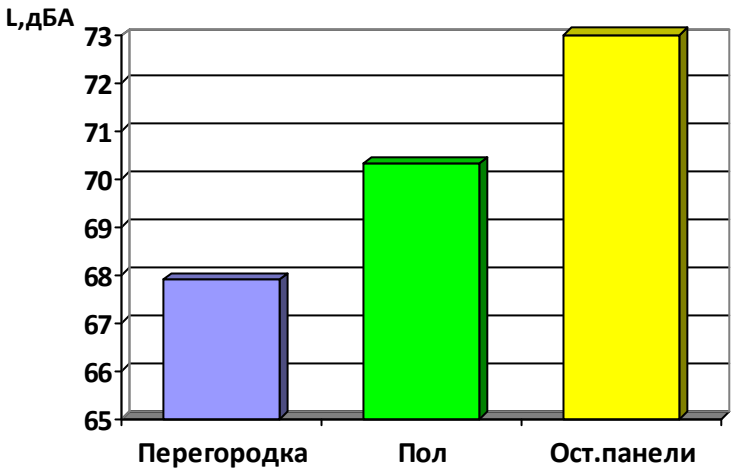


Рис. 5. Доли шума, проникающего в кабину погрузчика через перегородку между моторным отсеком и кабиной, пол кабины и все остальные панели ограждения кабины от основных источников излучения.

Анализ расчетов приведенных в табл. 5 и на рис.4 показывает, что акустическое поле в кабине погрузчика формируют: доля шума от двигателя непосредственно через пол (69,9 дБА), шум выпуска (69,1 дБА), шум всасывания (67,9 дБА), доля шума от двигателя через перегородку (67,8 дБА), доля шума от двигателя через ограждения капота (64,5 дБА), и доля шума от вентилятора системы охлаждения через ограждения капота (63,9 дБА). При этом общий уровень в кабине составляет 75,6 дБА. Необходимо отметить, что суммарное звуковое поле в кабине формируется шумом, проникающим от двигателя через пол и перегородку, а также от выпуска и всасывания и составляет 74,8 дБА. При этом добавка от всех остальных каналов составляет всего 0,8 дБА.

Полученное разделение вклада шума в суммарное акустическое поле кабины позволяет сказать, что дополнительное снижение шума в кабине может быть получено за счет уменьшения вклада шума первых четырех каналов проникновения. Набор рекомендаций в этом случае весьма многообразен, к числу которых можно отнести:

- увеличение звукоизолирующей способности перегородки и пола;
- повышение среднего коэффициента звукопоглощения под капотом;
- увеличение эффективности глушителей выпуска и всасывания;
- увеличение расстояния от выпуска и всасывания до кабины;
- повышение среднего коэффициента звукопоглощения в кабине;
- увеличение приведенной звукоизоляции кабины за счет увеличения звукоизолирующей способности слабых панелей кабины.

Результаты расчетов, приведенных в табл. 5, показывают, что основная доля шума (73,0 дБА) проникает в кабину через панели ограждения кабины за исключением пола и перегородки. Усиление звукоизолирующей способности этих ограждений кабины позволит дополнительно снизить шум внутри. Так, например, повышение приведенной звукоизоляции этих ограждений на 5 дБА, приводит к снижению шума в кабине на 2 дБА.

Литература

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник.: университетская книга, Логос, 2008. – 482.
2. HandBook of noise and Vibration control / Edited by Malkolm J. Crocker,: NY, John Wiley and Sons Inc., 2007. – 1569 p.
3. Техническая акустика транспортных машин: Справочник/ Л.Г. Балишанская, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др.; Под ред. Н.И. Иванова. – СПб.: Политехника, 1992. – 365 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ШУМА В КАБИНАХ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН ОТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Шашурин А.Е.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Любая строительная машина совершает операции по передвижению, перемещению грунта и др. и при этом происходит включение или отключении различных источников шума или они работают в различных режима. Анализ шума в кабине при различных режимах во многих случаях позволяет выявить некоторые общие закономерности шумообразования, не прибегая к специальным экспериментам.

Были выполнены несколько серий экспериментов на различных типах строительно - дорожных машин.

Все эксперименты по определению вклада источников разбиты на 3 группы:

– отключение внутренних источников (кондиционер);
– отключение внешних источников (гусеницы, гидромоторы);
– изменение режимов работы машин при неизменном числе источников.

Данные об измерениях шума в кабине с работающим и выключенным кондиционером экскаватора «Cat» 320CL показаны на рис. 1 и 2.

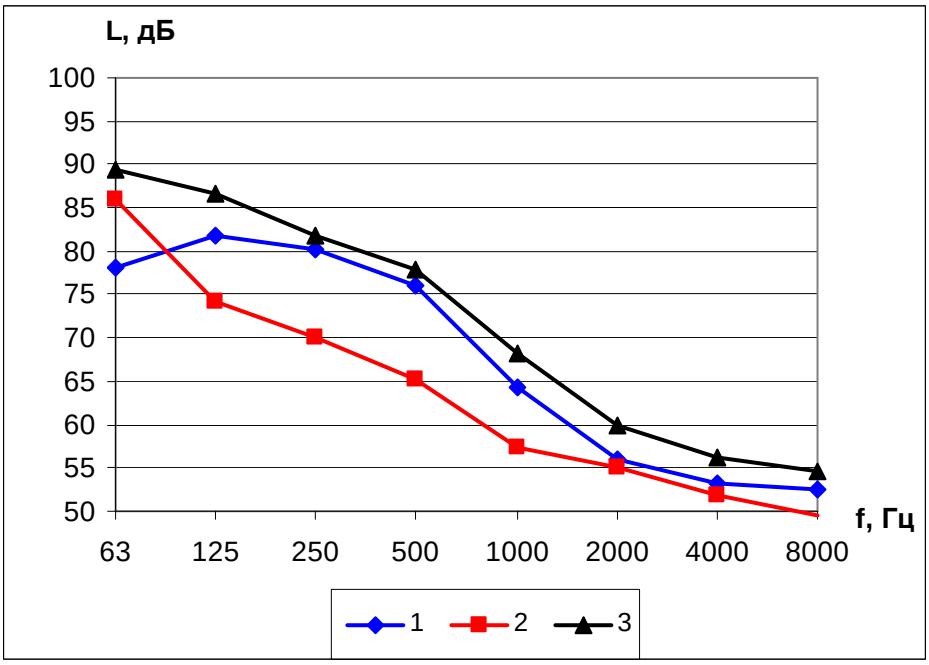


Рис. 1 Шум в кабине при различных режимах работы кондиционера
1 – двигатель выключен работает только кондиционер;
2 – рабочий режим двигатель работает, кондиционер выключен;
3 – суммарное поле в кабине при работе двигателя и кондиционера/

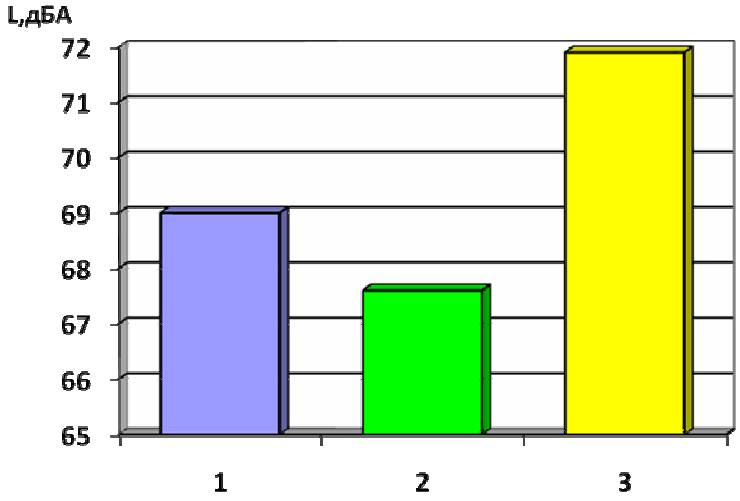


Рис. 2.
1 – двигатель выключен, работает только кондиционер;
2 – рабочий режим двигатель работает, кондиционер выключен;
3 – суммарное поле в кабине при работе двигателя и кондиционера.

Анализ данных на рис. 1 и 2 показывает, как просто можно выполнить определение вклада кондиционера в процессы шумообразования наиболее простым (но не всегда доступным) методом отключения источника. Шум кондиционера в кабине достигает 69 дБА, его вклад превышает на 3 дБА вклад других источников. При работе кондиционера он формирует шум в кабине в диапазоне частот 63-2000 Гц, хотя на отдельных частотах (250, 500 Гц) его вклад сравним с вкладом других источников.

На рис. 3 и 4 приведены уровни шума на стоянке (1200об/мин) и при движении экскаватора (работает движитель – гусеницы).

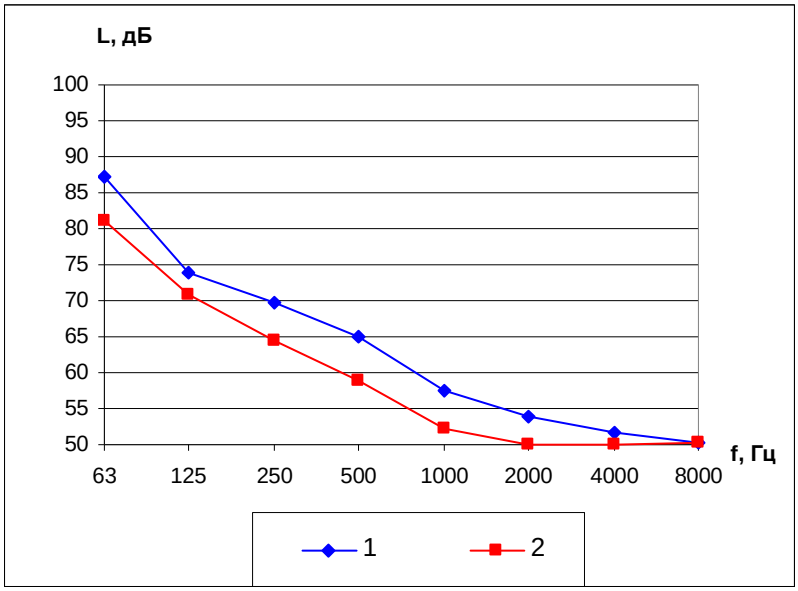


Рис. 3. Спектры шума в кабине экскаватора на холостом ходу и при движении
1 – шум в кабине при движении; 2 – шум в кабине на стоянке

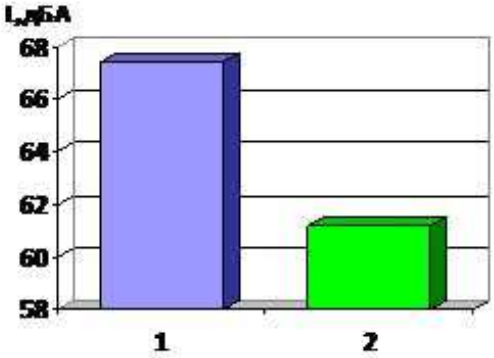


Рис. 4. 1 – шум в кабине при движении; 2 – шум в кабине на холостом ходу

Сравнение спектров показывает, что шум в кабине при передвижении определяется вкладом шума гусениц, превышение составляет 3-6 дБ в диапазоне частот 63-4000Гц; шум превалирует над шумом на холостом ходу на 6 дБА.

Были выполнены измерения спектров шума в кабине экскаватора при следующих режимах работы:

- холостой ход (n=1200 об/мин);
- режим имитации (n=1700 об/мин);
- рабочий режим, копание мягкого грунта (n = 1650-1750 об/мин).

На последних двух режимах определялся эквивалентный спектр шума в кабине (время выборки 30 мин). Для второго и третьего режимов определялись также акустические характеристики основных источников шума.

Спектры шума в кабине при различных режимах работы показаны на рис. 5.

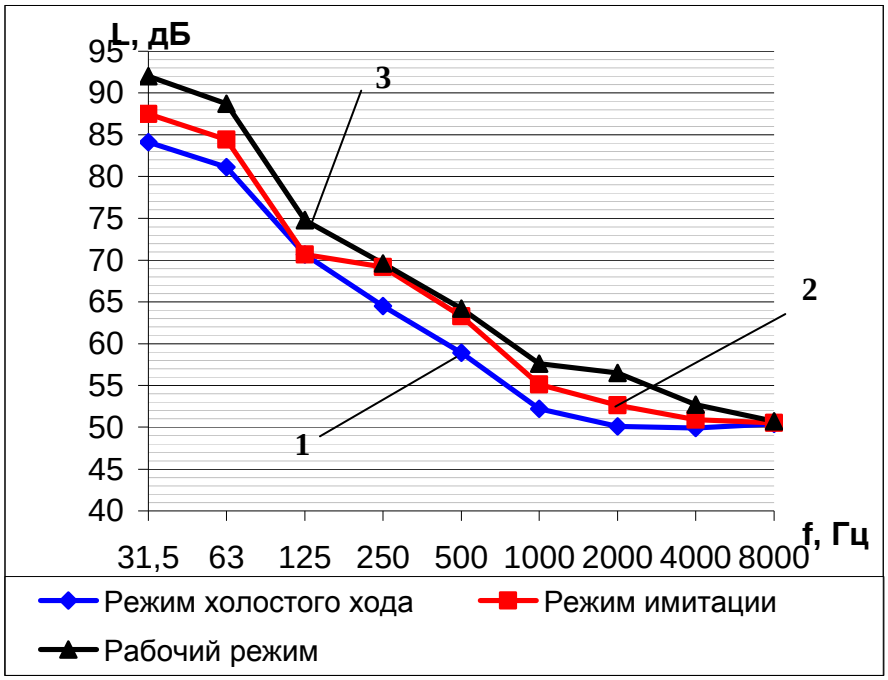


Рис. 5 Спектры шума в кабине при различных режимах работы:
1 – холостой ход (n = 1200 об/мин, 61 дБА); 2 – имитационный режим (n = 1700 об/мин, 66 дБА); 3 – рабочий режим – копание (n = 1650-1750 об/мин, 68 дБА).

При увеличении числа оборотов двигателя примерно на 1/3 шум в кабине возрастает на 5 дБА (1-4 дБА в рассматриваемом диапазоне частот). Под нагрузкой шум в кабине увеличивается дополнительно на 2 дБА (на рабочем режиме). Это может быть вызвано следующими причинами:

- дополнительным увеличением шума при увеличении числа оборотов двигателя на рабочем режиме;
- добавочным вкладом звуковой вибрации при возрастании нагрузки и числа оборотов;
- увеличением шума источников при увеличении нагрузки.

Рассмотрим для примера зависимость шумообразования в источниках при увеличении нагрузки.

Спектры источников на рабочем режиме приведены в табл. 1.

Шум основных источников на двух режимах

Таблица 1

Источник шума	Режим работы	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									УЗ, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выпуск	Рабочий	82	97	87	86	83	82	79	72	66	87
	Имитация	84	99	87	85	80	82	78	72	68	86
Всасывание	Рабочий	85	97	89	90	88	86	81	75	69	91
	Имитация	85	96	88	86	85	83	78	71	64	87
Моторный отсек	Рабочий	97	104	103	103	101	102	102	96	92	107
	Имитация	97	105	101	99	97	100	98	93	87	105
Гидравлика	Рабочий	82	104	92	92	93	92	88	84	85	96
	Имитация	82	105	88	92	88	87	85	81	81	93

Анализ данных, приведенных в табл. 1 показал, что при увеличении нагрузки шум основных источников возрастает на 2-4 дБА. Особое влияние могут оказывать источники, расположенные в моторном отсеке, а также гидравлика. При увеличении нагрузки шум в моторном отсеке возрастает на 2-4 дБ в диапазоне частот 125-4000 Гц, а гидравлики на 3-5 дБ в том же диапазоне (за исключением частоты 250 Гц). Это хорошо объясняет увеличение УЗД в кабине при работе экскаватора под нагрузкой на величину от 1 до 3 дБ в диапазоне частот 125-4000 Гц (за исключением частоты 250 Гц). Увеличение УЗД на других частотах (31,5 и 63 Гц) объясняется процессами вынужденных колебаний и звуковой вибрацией панелей кабины.

Сравнение спектра шума в кабине на рабочем режиме со спектрами шума источников позволяет предполагать, что характерный пик на 63 Гц определяется звуковой вибрацией. Для всего остального спектра характерны составляющие гидравлики и шума, приходящего из моторного отсека, которые не представляется возможным разделить только визуальным анализом. Наличие ярко выраженных составляющих в спектре шума в кабине на частоте 31,5 Гц с источниками шума не связано.

Таким образом шум в диапазоне 31,5-63 Гц формирует кабина. Это могут быть какие-то вынужденные колебания, воздушной полости кабины, а также вклад звуковой вибрации в процессы шумообразования в кабине. Детализация этих процессов требует дальнейшего изучения в более узких полосах частот.

Выводы

1. Шум внутреннего источника (кондиционера) определяет УЗ и УЗД в кабине.
2. Шум таких внешних источников как гусеницы, гидравлика сравним с составляющими шума ДВС (впуск, корпус, всасывание).
3. Под нагрузкой шум в кабине возрастает на 2-3 дБА за счёт увеличения УЗД и УЗ выпуска ДВС.

Литература

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник.: университетская книга, Логос, 2008. – 482.
2. HandBook of noise and Vibration control / Edited by Malkolm J. Crocker,: NY, John Wiley and Sons Inc., 2007. – 1569 p.
3. Техническая акустика транспортных машин: Справочник/ Л.Г. Балишанская, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др.; Под ред. Н.И. Иванова. – СПб.: Политехника, 1992. – 365 с.

РАСЧЕТ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН С ШУМОВИБРОАКТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ НА ЖИЛУЮ ЗАСТРОЙКУ

Элькин Ю.И.
Московский автомобильно-дорожный институт
(Государственный технический университет)

Акустические расчетные схемы строительных машин с шумовиброактивными рабочими органами имеют свою специфику. В первую очередь для многих машин основной шум создается рабочим органом, вклад которого в расчетную точку (РТ) попадает, затухая по сложным закономерностям. Для снижения шума рабочих органов рекомендуется использовать экранирование, что предполагает учет влияния этой конструкции в процессах шумообразования. Ниже приведены расчетные схемы и вывод формул для процессов образования воздушного шума применительно к строительным машинам с шумовиброактивными рабочими органами. При выводе этих формул автор опирался на работы Н.И. Иванова и Г.М. Курцева [1, 2].

Схема 1

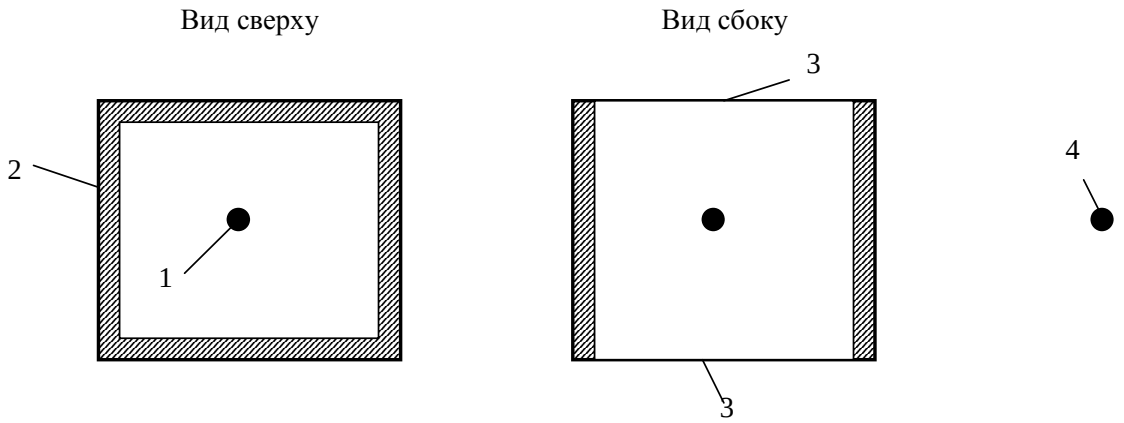


Рис. 1. Расчетная схема проникновения шума от источника шума (рабочего органа) заключенного в капот:
1 – источник шума, 2 – коробчатый капот, 3 – открытые проемы, 4 – расчетная точка

Примем допущение, что шум из капота проникает наружу через открытые проемы и не проходит через стены.

Интенсивность падающего на проем звука определяется вкладом прямого звука ($I_{пр.}$) и отраженного от четырех стен капота:

$$I_{пад.} = I_{пр.} + 4I_{пр.}(1-\alpha_{кап.}), \quad (1)$$

Или после упрощений:

$$I_{пад.} = I_{пр.}(5-4\alpha_{кап.}), \quad (2)$$

где $\alpha_{кап.}$ – коэффициент звукопоглощения материала капота.

$$I_{пр.} = \frac{W_{ист.}}{\Omega \frac{h^2_{кап.}}{4}}, \quad (3)$$

где $h_{кап.}$ – высота капота,

$\Omega = 4\pi$

Звуковая мощность, излучаемая каждым открытым концом капота:

$$W_{пр.} = I_{пад.} a^2_{кап.} \beta_{кап.}, \quad (4)$$

где $a_{кап.}$ – размер капота в плане, м (принимаем, что капот имеет в плане квадратное сечение);

$\beta_{кап.}$ – ориентация излучателя в пространстве (примем $\beta_{кап.} = \frac{1}{\pi}$).

Шум в расчетной точке (от двух излучателей):

$$I_{PT} = \frac{2W_{пр}}{\Omega R^2} \quad (5)$$

где R – расстояние от проема до расчетной точки, м;

$\Omega = 2\pi$

Подставим (2) – (4) в (5):

$$I_{PT} = \frac{2W_{ист.}(5-4\alpha_{кап.})a^2_{кап.}}{4\pi \frac{h^2_{кап.}}{4} \pi \cdot 2\pi R^2} \quad (6)$$

После преобразований и логарифмирования обеих частей (6) шум в расчетной точке:

$$L_{PT} = L_{W\,ист.} + 10\lg(5-4\alpha_{кап.}) + 20\lg a^2_{кап.} - 20\lg h_{кап.} - 20\lg R - 15,\ дБ, \quad (7)$$

Схема 2

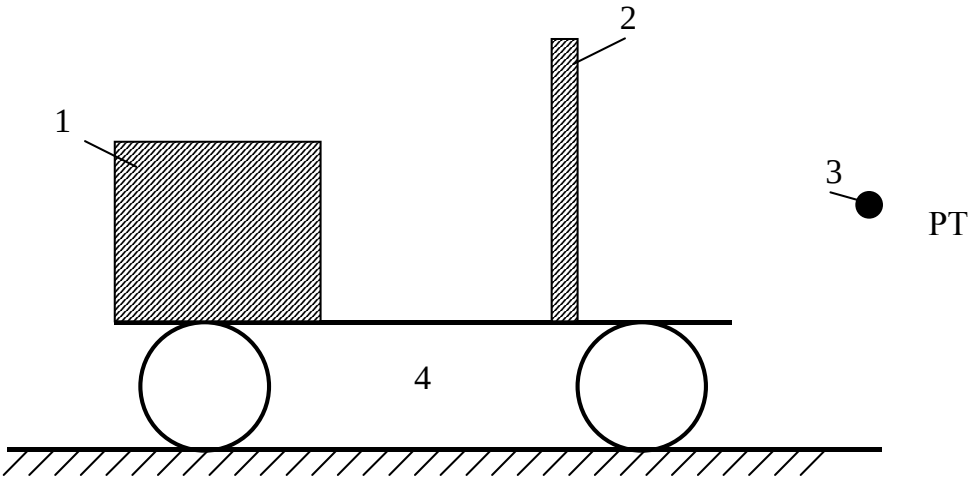


Рис. 2. Расположение источника шума за АЭ: 1 – источник шума, 2 – АЭ, 3 – расчетная точка, 4 – отражающая поверхность.

Принимаем источник шума как пространственный излучатель, заменяемый плоским источником.

Звук, поступающий в расчетную точку, составлен из составляющих.

$$I_{PT} = I_{отр.} + I_{пр.} + I_{дифр.} \tag{8}$$

где $I_{отр.}$ – звуковая энергия, отраженная от отражающей поверхности;

$I_{пр.}$ – звук, проходящий через акустический экран;

$I_{дифр.}$ – звук, дифрагирующий через 4 свободных ребра АЭ.

$$I_{отр.} = \frac{4W_{ист.}}{\pi a_{ист.} b_{ист.}} arctg \frac{a_{ист.} b_{ист.}}{2R\sqrt{4R^2 + a_{ист.}^2 + b_{ист.}^2}} (1 - \alpha_{пов}) \tag{9}$$

где $a_{ист.}$, $b_{ист.}$ – размеры источника, м;

R – расстояние от источника шума до РТ;

$\alpha_{пов}$ – коэффициент звукопоглощения поверхности.

Получим значение звука, проходящего через АЭ.

Интенсивность звука падающего на АЭ:

$$I_{пад.} = \frac{4W_{ист.}}{\pi a_{ист.} b_{ист.}} arctg \frac{a_{ист.} b_{ист.}}{2R_1\sqrt{4R_1^2 + a_{ист.}^2 + b_{ист.}^2}} \tag{10}$$

Акустическая мощность излучения (АЭ):

$$W_{экр.} = I_{пад.} a_{экр.} b_{экр.} \tau_{экр.} \left(1 - \alpha_{экр.}\right) \tag{11}$$

где $a_{экр.}$, $b_{экр.}$ – размеры АЭ, м;

$\tau_{экр.}$ – коэффициент звукопроводности АЭ;

R_1 – расстояние от источника шума до АЭ, м;

$\alpha_{экр.}$ – коэффициент звукопоглощения АЭ.

Интенсивность звука проходящего через АЭ в РТ:

$$I_{пр.} = \frac{4W_{экр.}}{\pi a_{экр.} b_{экр.}} arctg \frac{a_{экр.} b_{экр.}}{2R_2 \sqrt{4R_2^2 + a_{экр.}^2 + b_{экр.}^2}} \tag{12}$$

Подставив (10) и (11) в (12) и после преобразований получим:

$$I_{пр.} = \frac{4W_{ист.}}{\pi a_{ист.} b_{ист.}} arctg \frac{a_{ист.} b_{ист.}}{2R_1 \sqrt{4R_1^2 + a_{ист.}^2 + b_{ист.}^2}} \times \frac{4 a_{экр.} b_{экр.} \left(1 - \alpha_{экр.}\right) \tau_{экр.}}{\pi a_{экр.} b_{экр.}} \times \\ \times arctg \frac{a_{экр.} b_{экр.}}{2R_2 \sqrt{4R_2^2 + a_{экр.}^2 + b_{экр.}^2}} \tag{13}$$

Значения дифрагированного звука получим в предположении, что звук проходит через все ребра АЭ. Звуковая мощность на ребрах a и b:

$$W_p^a = I_{пад.} a_{экр.} \lambda \beta_{экр.} \tag{14}$$

$$W_p^b = I_{пад.} b_{экр.} \lambda \beta_{экр.} \tag{15}$$

где λ – длина звуковой волны, м;

$\beta_{экр.}$ – коэффициент дифракции АЭ.

Интенсивность двух дифрагированных составляющих в РТ:

$$I_{дифр.} = 2I_{дифр.}^a + 2I_{дифр.}^b \tag{16}$$

где $I_{дифр.}^a$, $I_{дифр.}^b$ – звук, дифрагирующий соответственно через ребра экрана $a_{экр.}$ и $b_{экр.}$.

$$I_{дифр.}^a = \frac{4W_p^a}{2\pi a_{экр.} R_2} arctg \frac{a_{экр.}}{2R_2} \tag{17}$$

$$I_{дифр.}^b = \frac{4W_p^b}{2\pi b_{экр.} R_2} arctg \frac{b_{экр.}}{2R_2} \tag{18}$$

Подставим (10), (14), (15) и (18) в (16):

$$I_{дифр.} = \frac{4 \cdot 2W_{ист.}}{\pi a_{ист.} b_{ист.}} arctg \frac{a_{ист.} b_{ист.}}{2R_1 \sqrt{4R_1^2 + a_{ист.}^2 + b_{ист.}^2}} \frac{\beta_{экр.} \lambda}{2\pi R_2} \left(arctg \frac{a_{экр.}}{2R_2} + arctg \frac{b_{экр.}}{2R_2} \right) \quad (19)$$

Подставим (9), (13), (19) в (8):

$$I_{PT} = \frac{4W_{ист.}}{\pi a_{ист.} b_{ист.}} arctg \frac{a_{ист.} b_{ист.}}{2R_1 \sqrt{4R_1^2 + a_{ист.}^2 + b_{ист.}^2}} \left[(1 - \alpha_{пов.}) + \frac{4(1 - \alpha_{экр.}) \tau_{экр.}}{\pi} \times \right.$$
$$\left. \times arctg \frac{a_{экр.} b_{экр.}}{2R_2 \sqrt{4R_2^2 + a_{экр.}^2 + b_{экр.}^2}} + \frac{\beta_{экр.} \lambda}{\pi R_2} \left(arctg \frac{a_{экр.}}{2R_2} + arctg \frac{b_{экр.}}{2R_2} \right) \right] \quad (20)$$

Обозначив выражение в квадратных скобках C, сделав некоторые упрощения, прологарифмируем обе части:

$$L_{PT} = L_{W\,ист.} + 10 \lg arctg \frac{S_{ист.}}{2R_1 \sqrt{4R_1^2 + a_{ист.}^2 + b_{ист.}^2}} - 10 \lg S_{ист.} + 10 \lg C + 1, дБ \quad (21)$$

где $S_{ист.} = a_{ист.} \cdot b_{ист.}$ – площадь источника, м^2.

Литература

1. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2000 – 482 с.
2. Техническая акустика транспортных машин: справочник/под ред. Н.И. Иванова. – СПб.: Политехника, 1992. – 365 с.

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ. ЗАЩИТА ОТ ВОЗДУШНЫХ И СТРУКТУРНЫХ ШУМОВ ПРИ ПОМОЩИ МАТЕРИАЛОВ ТИПА ПЕТРОФОМ, ПЕНОТЕРМ, ПОЛИФОМ И ПР.

Степура В.А.
ООО ПКП “Ресурс”. г. Санкт-Петербург

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 ПКП «Ресурс» является в Санкт - Петербурге лидером по поставкам звукоизоляционных материалов из вспененных полиэтиленов типа Петрофом, Полифом, Изолон ППЭ, вспененного полипропилена Пенотерм и минеральных ват. А материал торговой марки **Петрофом** производится компанией «Ресурс» на собственном производстве.

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.

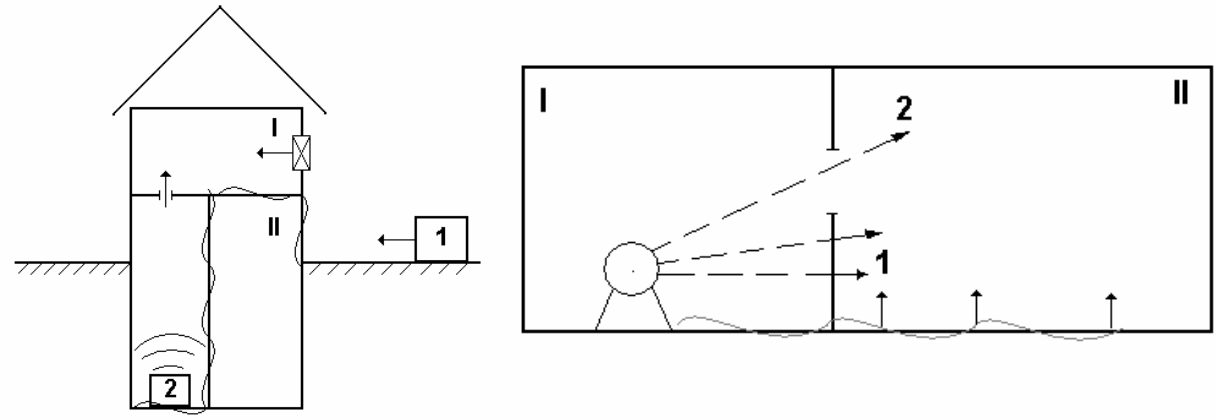


Рисунок 1. Пути проникновения шумов

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 вспененные полимерные материалы (**пенополиполиэтилен Петрофом**, **Изолон ППЭ, Полифом,** пенополипропилен **Пенотерм**, **и пр.**) и полужесткие минераловатные и стекловатные маты и плиты на синтетической связке типа Роквул, Экофон, Армстронг и пр.

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. Ограждения, 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 вспененные полипропилены (**Пенотерм НПП ЛЭ**) и пенополиэтилены (Петрофом, Изолон ППЭ, Полифом) или минераловатные маты на битумной подоснове. 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 или аналогичного пенополиэтилена. При необходимости выполняется армирование стяжки.

Значения индексов приведенного уровня ударного шума для перекрытий с плитами сплошного сечения следует принимать по таблице 1.

Таблица 1

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 СНиП 23-03-2003 «Защита от шума и акустика» или МГСН 2.04-97 «Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях».

Требуемая толщина звукоизоляционного слоя материала ПЕНОТЕРМ ® НПП ЛЭ или аналогичных пенополиэтиленов 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 или аналогичных пенополиэтиленов 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:

$$f_p = 0{,}16\sqrt{\frac{E_Д \cdot (m_1 + m_2)}{h_3 \cdot m_1 \cdot m_2}}\text{, где}$$

$E_Д$ = $6{,}6 \cdot 10^5$ 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;

$h_3 = 0{,}008 \cdot (1 - 0{,}1) = 0{,}0072$

$$f_p = 0{,}16\sqrt{\frac{6{,}6 \cdot 10^5 \cdot (450 + 108)}{0{,}0072 \cdot 450 \cdot 108}} \approx 160 \text{ Гц.}$$

$R_{wo} = 37\lg m_1 + 55\lg K - 43$,дБ, где m_1 – поверхностная плотность плиты перекрытия и К – коэффициент;

Для монолитных плит К = 1.

$R_{wo} = 37\lg 450 - 43 = 55$ дБ.

В зависимости от f_p и R_{wo} определяем R_W = 55 дБ, что соответствует нормативному значению.

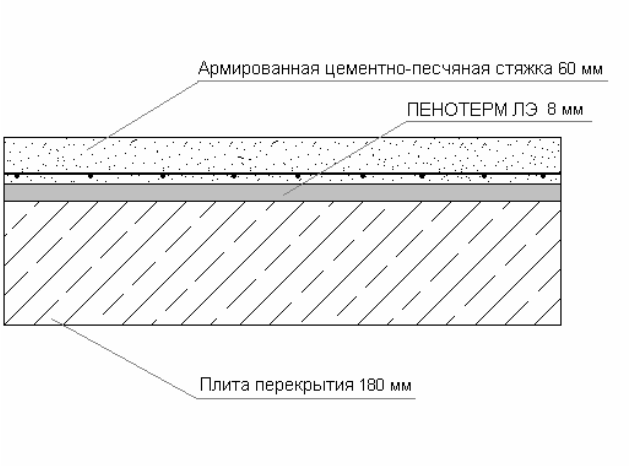


Рисунок 2.

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:

$$f_o = 0{,}16\sqrt{\frac{E_Д}{h_3 \cdot m_2}}$$,Гц, где

Ед = $6{,}6 \cdot 10^5$ Па;

h_3 = 0,0072;

m_2 = 108 кг/м^2.

$$f_o = 0.16\sqrt{\frac{6{,}6 \cdot 10^5}{0{,}0072 \cdot 108}} \approx 140 \text{ Гц.}$$

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.

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШУМОЗАЩИТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ ООО «РУУККИ» В ФИНЛЯНДИИ

Гуринович Г.Л.[1], *Куклин Д.А.*[2], *Тюрина Н.В.*[2]
ООО «Руукки» (1)
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова (2)

В марте 2008 года были проведены натурные испытания шумозащитных акустических экранов ООО «Руукки» установленных вдоль железной дороги в Mäntsälä.

Место проведения испытаний эффективности шумозащитных акустических экранов представлено на рис. 1.

Рис. 1. Место проведения испытаний эффективности шумозащитных экранов

1. Методика проведения испытаний.

При проведении натурных испытаний шумозащитных акустических экранов согласно ГОСТ Р 51943–2002 использовался непрямой метод измерений. Источником шума служил подвижной состав железнодорожного транспорта.

Вид акустических шумозащитных экранов представлен на рис. 2 и 3.

Рис. 2. Общий вид акустических экранов

Рис. 3. Общий вид акустических экранов

Шумозащитный акустический экран установлен на расстоянии 3800 мм от оси ближайших рельсов. Нижняя часть экрана (цокольный элемент) высотой 500 мм представляет собой стальной лист толщиной 4 мм. Далее установлены 4 секции высотой 460 мм каждая со звукопоглощающим материалом. Верхняя часть экрана выполнена из акрила толщиной 15 мм. Общая высота экрана составляла 3 м. Поскольку железная дорога проходила по насыпи, то фактическая высота экрана над головкой рельса составляла 2 м.

Точка измерений при проведении эксперимента с акустическим экраном была выбрана таким образом, что длина экрана влево от точки измерений составляла не менее 320 м, а вправо от точки измерений не менее 170 м. Поскольку проведение испытаний в одной и той же контрольной точке с экраном и без экрана было невозможно, испытания проводились для случая без экрана в другом месте, подобном исследуемому.

Место для выполнения испытаний без экрана соответствовало месту, где установлен экран, по характеристикам источника шума, рельефу местности, характеристикам поверхности, метеорологическим условиям и расположению микрофонов.

Измеряемыми величинами являлись эквивалентный уровень звука $L_pA_{экв}$ и уровни звукового давления L_p в октавных полосах со средними геометрическими частотами от 63 до 8000 Гц. Указанные уровни измерялись одновременно в контрольной и опорной точках при отсутствии экрана (без экрана) и при наличии экрана (с экраном).

Опорная точка располагалась на оси акустических экранов на высоте 1,5 м над верхним ребром экрана. Контрольные точки располагались на расстоянии 15 м и 30 м за акустическим экраном.

Источником шума служил подвижной состав железнодорожного транспорта.

Схема проведения измерений представлена на рис. 4.

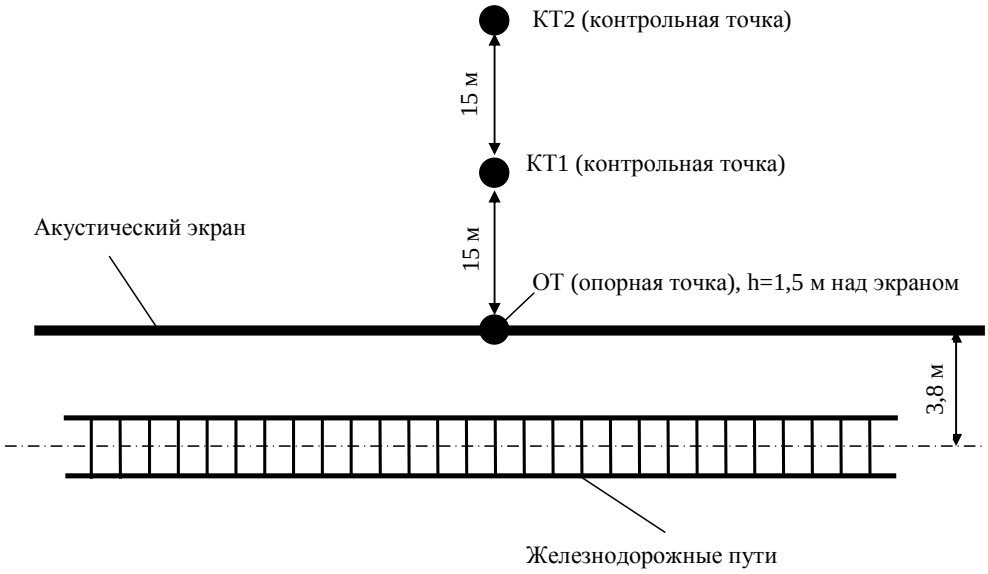


Рис. 4. Схема проведения измерений (вид сверху)

Вид опорной точки представлен на рис. 5.

Рис. 5. Вид на опорную точку

Вид из контрольной точки представлен на рис. 6.

Рис. 6. Вид из контрольной точки

Вид контрольной и опорной точек измерения при отсутствии акустических экранов представлены на рис. 7-8.

Рис. 7. Вид из контрольной точки (без акустического экрана)

Рис. 8. Вид контрольной и опорной точек

2. Условия проведения измерений.

Метеорологические условия в период проведения измерений:
Температура воздуха -2°С;
Атмосферное давление 1012 гПа (754 мм. рт. ст.);
Скорость ветра 4 м/с.
При проведении измерений на микрофон надевался ветрозащитный колпак.

3. Используемая аппаратура.

Для проведения измерений использовалась следующая аппаратура:

- шумомер - анализатор спектра Октава 110А зав. № 05А638 с предусилителем Р200 № 060016, микрофон ВМК 205 № 448 (свидетельство о поверке 07/0439 от 23.11.2007);
- шумомер - анализатор спектра Октава 110А зав. № 01А002 с предусилителем КММ 400 № 01038, микрофон ВМК 205 № 279 (свидетельство о поверке 07/0438 от 23.11.2007);
- калибратор 05000, зав. № 53276 (Свидетельство о поверке № 0037719 от 14.05.2007).

Шумомеры объединялись в одну измерительную систему.

4. Результаты измерений и определение эффективности.

Определение эффективности шумозащитного экрана осуществлялось согласно ГОСТ Р 51943 – 2002. При использовании непрямого метода измерений эффективность экрана L_p, *дБ (дБА)*, определяется:

$$\Delta L_P = \overline{\Delta L_P^{с/э}} - \Delta \overline{L_P^{б/э}}$$

где

$$\Delta L_P^{б/э} = \overline{L_{PO}^{б/э}} - \left(\overline{L_{PK}^{б/э}} - C\right)$$

$$\Delta L_P^{с/э} = \overline{L_{PO}^{с/э}} - \left(\overline{L_{PK}^{с/э}} - C'\right)$$

где

$\overline{L_{PO}^{с/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в опорной точке при испытаниях с экраном, дБ (дБА);

$\overline{L_{PO}^{б/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в опорной точке на подобном месте при испытаниях без экрана, дБ (дБА);

$\overline{L_{PK}^{с/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в контрольной точке при испытаниях с экраном, дБ (дБА);

$\overline{L_{PK}^{б/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в контрольной точке на подобном месте при испытаниях без экрана, дБ (дБА);

С (С') — поправка, учитывающая расположение контрольной точки, дБ (дБА).

В данном случае С(С') = 0 дБ (дБА) для условий полусвободного звукового поля.

Сводные и усредненные данные эффективности акустических экранов на расстоянии 15 м от экрана представлены в табл. 1.

Сводные и усредненные данные эффективности акустических экранов на расстоянии 15 м от экрана

Таблица 1

Примечание	**Эффективность акустических экранов, дБ в октавных полосах частот, Гц**								**Эффективность акустических экранов, дБА**
	63	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	
Поезд по ближним путям	2,6	5,7	4,5	8,9	10,8	14,1	17,7	18,4	13,3
Поезд по ближним путям	2,3	4,2	0,5	9,6	9,5	16,7	16,5	13,9	12,5
Электричка по ближним путям	3,6	7,5	4,0	10,1	9,9	13,5	15,5	18,2	11,3
Электричка по ближним путям	1,8	4,8	2,0	7,1	8,2	14,6	13,3	12,2	12,0
Поезд по ближним путям	3,7	4,2	4,7	7,6	10,5	17,3	18,0	17,2	13,5
Электричка по ближним путям	2,7	6,1	5,1	8,6	9,6	14,1	14,4	15,2	12,2
Поезд по ближним путям	3,1	5,2	4,6	7,7	12,4	14,3	17,9	17,2	12,6
Средняя эффективность	**2,8**	**5,4**	**3,6**	**8,5**	**10,1**	**14,9**	**16,2**	**16,0**	**12,5**

Сводные и усредненные данные эффективности акустических экранов на расстоянии 30 м от экрана представлены в табл. 2.

Сводные и усредненные данные эффективности акустических экранов на расстоянии 30 м от экрана

Таблица 2

Примечание	Эффективность акустических экранов, дБ в октавных полосах частот, Гц								Эффективность акустических экранов, дБА
	63	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	
Поезд по ближним путям	0,9	4,3	1	7,2	10,1	13,1	16,4	17	12,2
Поезд по ближним путям	1,1	3,2	1,1	6,3	9,6	12,6	16,2	16,2	11,4
Электричка по ближним путям	0,6	5,7	1,3	7,8	6,8	13,8	16,2	17,1	10,4
Электричка по ближним путям	0,8	5,5	4,0	6,1	6,9	14,1	14,2	13,8	10,9
Поезд по ближним путям	0,7	2,7	0,3	6,8	10,8	16,5	17,4	14,7	12,7
Электричка по ближним путям	0,7	5,6	0,7	7,0	6,9	14,0	15,2	15,5	11,3
Поезд по ближним путям	1,2	4,6	0,2	7,7	11,4	12,3	16,3	17,4	11,5
Средняя эффективность	**0,9**	**4,5**	**1,2**	**7,0**	**8,9**	**13,8**	**16,0**	**16,0**	**11,5**

В результате проведенных натурных испытаний акустических шумозащитных экранов установленных вдоль железнодорожного полотна в г. Хельсинки установлено, что их эффективность составляет 11-13 дБА.

Литература

1. Н.И. Иванов Инженерная акустика теория и практика борьбы с шумом. Учебник.– М.: Университетская книга, Логос, 2008.–424с
2. Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно–методических документов. СПб: Компания «Интеграл», 2008, 1т–820с, 2т–822с
3. Снижение уровня шума на железнодорожном транспорте Европы ЖДМ–2008, №3, с62–66
4. ГОСТ Р 51943-2002 «Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности».

ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНТРОЛЯ ШУМА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЕВРОПЕЙСКОМ СОЮЗЕ

Брааш Й. [1], *Манвелл Д.* [2], *Романенко Г.А.* [1]
Брюль и Къер Саунд энд Вибрейшн Межементс А/С,
Представительство Компании, Москва, Россия (1)
Брюль и Къер Саунд энд Вибрейшн Межементс А/С, Нэрум, Дания (2)
gromanenko@bksv.com

С момента опубликования Директивы Европейского Парламента и Совета 2002/49/ЕС, относительно оценки и контроля шума окружающей среды, все государства-члены ЕС должны ратифицировать и внедрить директиву в ближайшие годы. Это включает в себя адаптацию существующих и представление новых законодательных актов на местных, региональных и государственных уровнях и в различных исполнительных органах власти (экология, транспорт, промышленность, здравоохранение и т.д.).

Помимо этого, директива требует предоставление информации от государств-членов в соответствии с утвержденным графиком. На момент написания статьи, директива должна быть приведена в исполнение, и первая серия карт шума создана и представлена в Европейскую комиссию.

В данной статье приводится обзор текущего состояния исполнения директивы в странах ЕС, рассматриваются некоторые важные аспекты, возникающие при ее внедрении, и исследуются инструменты и программы для проектирования, оценки и управления шумом.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ШУМОВОГО И ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

Некрасов И.А.
ЗАО "Алгоритм-Акустика", г. Москва, Россия
ni@algoritm.ru

Стремительное развитие технологий коренным образом меняет методы и подходы выполнения многих задач, решением которых человечество занимается достаточно давно. Постоянное совершенствование и развитие приборов также быстро меняет и методы выполнения измерений шума и вибрации. В данном докладе представлены современные возможности новейших приборов серии «Алгоритм» и SVAN, позволяющих более качественно и точно оценивать шумовое и вибрационное воздействие на человека.

С использованием этих возможностей в работе рассмотрены новые подходы в измерении импульсного и эквивалентного шума, а также методика контроля измеряемых событий с помощью записи измерений в аудиоформате.

Особое внимание уделено методам сохранения и передачи измеренных данных между прибором и персональным компьютером.

РАЗРАБОТКА КАРТ ШУМА ГОРОДОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Кирюшина Н.К. [1], *Степанов В.Н.* [2], *Пузакова А.И.* [1]
ГУП "НИ и ПИ Генплана Москвы" (1)
Мосинжпроект, Москва (2)
nastya_e9@rambler.ru

В докладе приведен опыт разработки карт шума городов, являющихся основным источником информации для принятия решений по снижению шума в городах при градостроительном проектировании.

Проанализированы противоречия, содержащиеся в различных нормативных документах, регламентирующих состав карт шума городов. Показаны результаты анализа шумовых карт городов в связи с изменением парка транспортных средств в городах, условий движения по транспортным магистралям, реализации мероприятий по шумозащите. Показаны современные методы разработки шумовых карт городов. На примере Москвы приведены параметры, которые используются для разработки карт шума на различных этапах современного градостроительного проектирования.

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭРОДРОМНОЙ СНЕГОУБОРОЧНОЙ УСТАНОВКИ

Иголкин А.А. [1], *Крючков А.Н.* [1], *Родионов Л.В.* [1], *Ефанов С.В.* [2], *Шахматов Е.В.* [1]
Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва, кафедра "Автоматические системы энергетических установок", г. Самара, Россия (1)
ОАО «Самарское конструкторское бюро машиностроения», г. Самара, Россия (2)
igolkin@pochta.ru

Применение отработавшего ресурс авиационного двигателя в качестве аэродромной снегоуборочной установки является достаточно удачным и перспективным техническим решением по ряду причин, к которым следует отнести:

- высокую производительность установки, обусловленную мощной выхлопной струей газотурбинного двигателя;
- относительно невысокую остаточную стоимость двигателя, отработавшего свой ресурс «на крыле»;
- наличие в эксплуатирующих организациях квалифицированного технического персонала, способного на требуемом уровне обеспечить обслуживание и регламент установки;
- работа установки на обычном авиационном топливе – керосине, имеющимся в наличие в аэропортах.

Одной из главных проблем эксплуатации снегоуборочной установки с газотурбинным двигателем является чрезмерный шум, который негативно воздействует на ее водителя и оператора. Помимо отрицательного воздействия звукового давления на самочувствие и здоровье, шум в кабине препятствует нормальному аудиоконтакту указанных лиц, что может привести к нештатным и даже к аварийным ситуациям. Поэтому решение проблемы обеспечения требуемых санитарных норм по шуму в кабине снегоуборочной установки «ОС-12» представляется весьма актуальной и важной задачей.

В докладе изложены результаты анализа акустического состояния кабины снегоочистительной установки «ОС-12». Анализ основан на проведенных в стендовых условиях измерениях акустических полей в кабине установки и прилегающей к ней территории.

Определены требуемые уровни снижения шума в октавных полосах частот на рабочих местах в кабине установки «ОС-12» и необходимая частотная характеристика звукоизоляции.

ШУМОВАЯ КАРТА РАЙОНА ГОРОДА НА ОСНОВЕ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Сальникова Е.Н., Сальников Б.А., Казначеев С.В.
ГОУ ВПО Дальневосточный государственный технический университет
(ДВПИ имени В.В.Куйбышева)
en_salnikova@mail.ru

В настоящее время к продаже предлагается значительное число программ, позволяющих моделировать шумовую карту района при известных характеристиках источников шумового загрязнения. Как правило, расчеты, лежащие в основе такого моделирования, учитывают ослабление звука за счет поглощения в воздухе, реже – эффекты отражения и огибания препятствий. Учитывается дополнительное поглощение за счет плотности застройки, звукоизолирующая способность ограждений на пути распространения звука. Однако ни в одном предлагаемом к реализации программном продукте мы не нашли возможности учета особенности рельефа – а для г. Владивостока этот вопрос особенно важен. В связи с этим предложена методика составления карты определенного района на основе натурных измерений уровней шума. Измерения уровней шума проводились с использованием достаточно эффективного для подобных измерений шумомера SVAN 959. На основе отработанной методики составления подобных карт можно будет, с одной стороны, в дальнейшем создать модели расчета, учитывающие рельеф застройки, а, с другой стороны, задача составления такой карты для всего Владивостока является несомненно актуальной и своевременной, так как для города характерна высокая плотность автомобильного транспорта, в том числе грузового, узкие улицы, сложный рельеф местности, и как следствие, - высокие уровни шума, часто превышающие нормативные значения. Работа выполнена в рамках реализации инновационной образовательной программы ДВГТУ.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВИБРАЦИЙ И ШУМА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Гужас Данелюс
Шяулиаиский университет, Технологический факультет,
каф. Инжинерного строительства, г. Шяулиаи, Литва

Введение

В настоящее время все чаще в различных областях производства используются вибраторы и вибромашины для выполнения полезных процессов, как например: в строительстве для уплотнения грунта, в производстве строительственных материалов, для приготовления массы при формировании строительных блоков.

Эти вибрации необходимы для выполнения процесса при изготовлении этих изделий или других желаемых работ.

Существует потребность исследования процесса передачи основных сил, которые вызывают вибрацию фундаментов и грунта, на котором они установлены. Установленно, что вибрации с большими амплитудами передаваемые грунту вызывают рост деформации грунта и возбуждают волны колебаний распространяющиеся по грунту на далекие расстояния (до 1000м)[1]. Эти вибрации, достигающие жилые дома, вызывают вибрации фундаментов зданий и оказывают вредное воздействие на людей. Вместе с тем эти низкочастотные вибрации возбуждают элементы здания вызывая низкочастотный звук, так называемый интразвук.

Низкочастотные колебания и интразвук вызывают неприятные ощущения у людей, так как главная частота собственных колебаний у человека также низка и находится в пределах 3-9 Гц в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Продолжительное действие вибрации и звука на людей повышает их утомляемость, от которой поражаются некоторые органы и системы организма, и действует в первую очередь на нервную систему и сердечно-сосудистую систему человека.

Цель данной работы установить, какие волны и как далеко они распространяются от машин, создающих вибрацию для выполнения технологический процессов, и в какой мере они действуют на окружающую среду.

1. Источники вызывающие низкочастотные вибрации

Исследованная нами вибромашина типа Masa Super, действующет в настоящее время для производства строительных керамзитовых блоков, выполняет вибрационные процессы для уплотнения бетонных смесей и формирования блоков. Этот процесс выполняет платформа данной вибромашины с помощью самобалансных механических вибраторов (см. Рис. 1). Это условие обеспечивает устойчивое синхронное и синразное вращение валов с дебалансными дисками.

2. Модель вибромашины

Самосинхронизация вибраторов описывается уровнением [2].

Это условие обеспечивает устойчивое синхронное и синразное врещение валов с дебалансными дискамию самосинхронизация вибраторов описывается уровнением [2]

$$\frac{2(\lambda^2-1)M}{r_1 r_2 m_1 m_2 \omega_0}\left|\frac{M_{c1}\sigma k_2 - M_{c2}\sigma_2 k_1}{k_1+k_2}\right| < 1, \qquad (1)$$

Здесь M – масса конвейера; r_i – радиус-вектор центра масс i-го дебаланса относительно оси вращения (i = 1,2); m_i – масса i-го дебаланса ω_0 – угловая частота вращения дебалансов для линеаризованной системы; M_{ci} – постоянная составляющая электромагнитного момента i-го двигателя;

$$\lambda^2 = \frac{p^2}{\omega^2},$$

где ω – значение частоты вращения для линеаризованной системы; p – частота собственных колебаний системы, $p = \sqrt{\frac{c}{m}}$ (c – суммарная жесткость рессорной системы).

Неравенство (1) получено при помощи метода Пуанкаре.

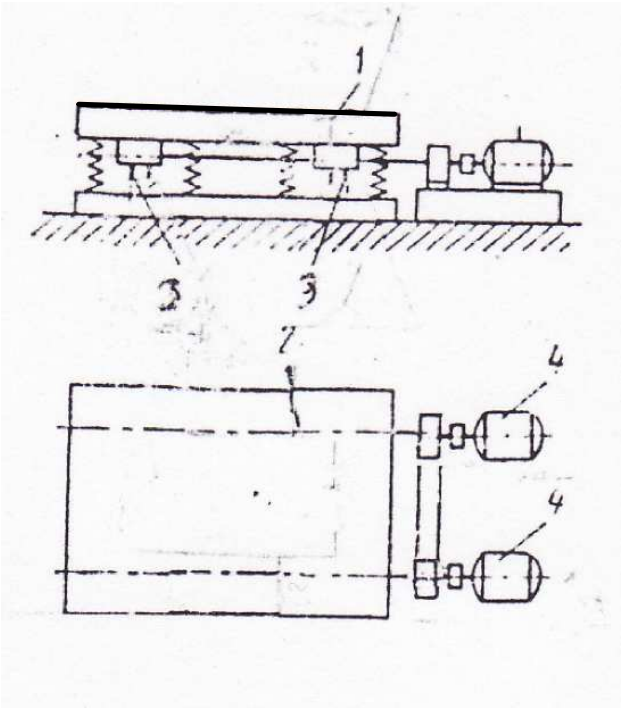


Рис. 1. Упращенная схема моделя вибрационной машины
1 – виброплатформа; 2 – приводные волы; 3 – дебалансные вибровозбудители; 4 – приводные синхронные двигатели

Некоторые авторы [2] отыскивая условия самосинхронизации ограничиваются лишь первым приближением, удерживая в решении линейные члены относительно малого параметра μ. В то же время анализируемая модель существенно нелинейна, т. е. нелинейные члены уравнений движения не являются малыми по сравнению с линейными. Поэтому применение для исследования системы метода малого параметра, ограниченного к тому же первым приближением, по нашему мнению, не оправдано.

Кроме того, при получении условия (1) принято еще одно неоправданное, на наш взгляд, допущение. Соотношение истинной угловой скорости вращения дебалансовых валов к угловой скорости линеаризованной системы имеет вид

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{1}{1-\delta},$$

где $\delta = f(\mu)$ в первом приближении было принято $\delta = 0$ и $\omega = \omega_0$.

В силу указанных причин условия синхронного вращения, полученные в работах [2], в ряде случаев существенно отличаются от наших исследованых данных. Кроме того, в них не выделена область синфазного вращения. Чтобы получить в вибраторах строго направленное по определенной оси динамическое усилие, необходимо создать условия синхронного и синфазного вращения дебалансов самобалансного вибратора. Задача была решена аналитическими методами. Для этого были исследованны модели такой конструкции (рис. 1). Такая модель позволяет получить зависимость условий синхронного и синфазного вращения от угла наклона.

Рама стенда выполнена квадратной в горизонтальном сечении, что позволяет, развернув раму в горизонтальной плоскости на 90°, укрепить ее в тех же стойках и осуществить ее наклон в другой плоскости, перпендикулярной к первой плоскости наклона.

Для более общего решения задачи рассмотрены также и случаи вращения дебалансных валов в одном направлении. С этой целью в схеме управления была предусмотрена возможность изменения полярности напряжения, питающих из электродвигателей.

Взаимное положения дебалансов обоих двигателей определяли путем фиксации моментов пересечения центрами масс дебалансов каких-либо плоскостей, проходящих через оси вращения и параллельных друг другу.

В предложенной нами методике предпринята попытка аналитически решить задачу об условиях самосинхронизации несколько иным методом.

Изучаемая вибрационная машина может быть идеализирована в виде жесткой платформы, укрепленной на упругих рессорах, на которой установлены два электроматора с неуравновешенными роторами (рис. 2).

Управления движения роторов запишем в виде

$$\left.\begin{aligned}
&I\ddot{\varphi}_1 + k_{вр}\dot{\varphi} = M_{эл1} - mr\left[\ddot{x}\sin(\varphi_1-\alpha) + \ddot{y}\cos(\varphi_1-\alpha) + g\sin\varphi_1\right];\\
&I\ddot{\varphi}_2 + k_{вр}\dot{\varphi}_2 = M_{эл2} - mr\left[\ddot{x}\sin(\varphi_2-\alpha) + \ddot{y}\cos(\varphi_2-\alpha) + g\sin\varphi_2\right];\\
&M\ddot{x} + k_x\dot{x} + c_x x = mr\left[\dot{\varphi}_1^2\cos(\varphi_1-\alpha) + \dot{\varphi}_2^2\cos(\varphi_2-\alpha) + \varphi_1\sin(\varphi_1-\alpha) + \varphi_2\sin(\varphi_2-\alpha_2)\right];\\
&M\ddot{y} + k_y\dot{y} + c_y y = mr\left[\dot{\varphi}_1^2\sin(\varphi_1-\alpha) + \dot{\varphi}_2^2\sin(\varphi_2+\alpha) + \varphi_1\cos(\varphi_1-\alpha) + \varphi_2\cos(\varphi_2+\alpha)\right]
\end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

где φ_1 – углы поворота роторов; I – их моменты инерции; $m_1=m_2=m$ – массы роторов; r – эксцентриситет; $k_{вр}$ – коэффициент сопротивления движению; x, y – отклонения платформы от положения, соответствующего недеформированным ресорам; g – ускорение силы тяжести; α – угол наклона платформы к горизонту; M – масса колеблющейся части машины; k_x, k_y – коэффициенты трения; c_x, c_y – жесткости пружин соответственно в направлении осей x и y; $M_{элi}$ – электромагнитные моменты, которые можно считать периодической функцией φ с периодом 2π.

Значение электромагнитного момента опрнделяется формулой

$$M_{эл} = \frac{pm_1u_1^2\dfrac{R_2\dot{\varphi}_n}{\dot{\varphi}_n-\dot{\varphi}}}{2\pi f_1\left[\left(R_1+\dfrac{R_2\dot{\varphi}_n}{\varphi_n-\dot{\varphi}}\right)^2+(X_1+X_2)\right]},$$

где p – число полюсов двигателя; m_1 – коэффициент взаимоиндукции обмоток статора и ротора в прямом направлении; u_1 – напряжения питания стартора двигателя; f_1 – круговая частота напряжения питающей сети; R_1 – активное сопротивление обмоток статора; R_2 – активное сопротивление обмоток ротора; X_1 – реактивное сопротивление обмоток статора; X_2 – реактивное сопротивление обмоток ротора.

Функция $M_{эл} = f(\dot{\varphi})$ разлагается в ряд Тэйлора таким образом, что в зоне работы двигателя с точностью до 1 – 1,5% достаточно удержать два первых числа ряда, полягая, что электромагнитный момент двигателя можно представить в виде

$$M_{эл} = M^* - B^*\dot{\varphi} \qquad (3)$$

Задача заключается в получении условий существования и устойчивости для системы уравнений (1) решений вида

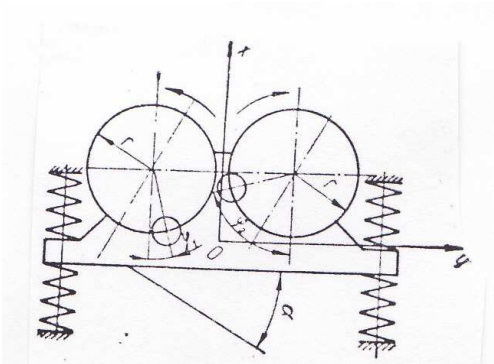


Рис. 2. Кинематическая схема модели вибрационного механизма

$$\varphi_1 = \omega t + \psi_1(\omega t),\ x = x(\omega t),$$
$$\varphi_2 = \omega t + \psi_2(\omega t),\ \ y = y(\omega t), \quad (4)$$

где $\psi_1(\omega t),\ \psi_2(\omega t)$ – периодеческие функции времени с периодом $I = \dfrac{2\pi}{\omega}$ при условии

$$\varphi_1 = \varphi_2 - 2\alpha \quad (5)$$

Равенство (5) является условием синхронного и синфазового вращения дебалансов.

В безразмерных величинах при учете выражений (3) и (4) уравнения (2) запишутся в виде

$$\left.\begin{aligned}
&\ddot{\psi}_1 + \alpha_1\dot{\psi}_1 = -b_1 - c_1\left[\ddot{x}\sin(\tau+\psi_1-\alpha) + \ddot{y}\cos(\tau+\psi_1-\alpha)\right] + d_1\sin(\tau+\psi_1);\\
&\ddot{\psi}_2 + \alpha_2\dot{\psi}_2 = -b_2 - c_2\left[\ddot{x}\sin(\tau+\psi_2-\alpha) + \ddot{y}\cos(\tau+\psi_2-\alpha)\right] + d_2\sin(\tau+\psi_2);\\
&\ddot{x} + \lambda_x^2 x = f\left[(1+\dot{\varphi}_1)^2\cos(\tau+\psi_1-\alpha) + (1+\dot{\psi}_2)^2\cos(\tau+\psi_2+\alpha) + \psi_1\sin(\tau+\psi_1-\alpha) + \ddot{\psi}_2\sin(\tau+\psi_2+\alpha)\right] - 2n_x\dot{x};\\
&\ddot{y} + \lambda_y^2 y = f\left[(1+\dot{\varphi}_1)^2\sin(\tau+\psi_1-\alpha) + (1+\dot{\psi}_2)^2\sin(\tau+\psi_2+\alpha) + \psi_2\cos(\tau+\psi_1-\alpha) + \ddot{\psi}_2\cos(\tau+\psi_2+\alpha)\right] - 2n_x\dot{y}
\end{aligned}\right\} \quad (6)$$

где

$$\alpha = \frac{k_{вр} - B^*}{I_\omega};\quad b = \frac{k_{вр} - M^*}{I_\omega};\quad x = \frac{x^*}{H};\quad y = \frac{y^*}{H};\quad \tau = \omega t;$$

$$c = \frac{r}{v^2};\quad d = \frac{rg}{v^2\omega^2};\quad \lambda = \frac{c}{M\omega^2};\quad 2\pi = \frac{k}{M\omega};\quad f = \frac{mr}{MH};$$

$$\lambda = \frac{p^2}{\omega^2};\quad p = \sqrt{\frac{c}{M}};$$

Так как ψ – величина незначительная по сравнению с φ, то в формулах сумм тригонометрических функцмй можем считать

$$\cos\psi \approx 1;\ \ \sin\psi \approx \psi;\qquad \psi_1^2 \approx 0; \quad (7)$$

Учитывая выражение (7) и считая, что в случае двух знаков перед членом верхний относится к ψ_1, а нижний к ψ_2, уравнения (6) можно записать в более общем виде:

$$\ddot{\psi}_1 + a_1\dot{\psi}_1 = -b_1 - c_1\big[\ddot{x}(\cos\omega t\cdot\sin a \pm \sin\omega t\cdot\cos a) + \ddot{x}(\cos\omega t\cdot\cos a \pm \sin\omega t\cdot\sin a)\psi_1 +$$
$$+\ddot{y}(\cos\omega t\cdot\cos a \pm \sin\omega t\cdot\sin a) - \ddot{y}(\sin\omega t\cdot\cos a \mp \cos\omega t\cdot\sin a)\psi_1 + d_1\sin\omega t + d_1\cos\omega t\cdot\psi_1\big];$$

$$\ddot{x} + \lambda_x^2 x = f\Bigg[\sum_{i=l}^{N}(1+2\dot{\psi}_1)(\cos\omega t\cdot\sin a \pm \sin\omega t\cdot\cos a) - \sum_{i=l}^{N}(1+2\dot{\psi}_1)(\sin\omega t\cdot\cos a \mp \cos\omega t\cdot\sin a)\psi_1 +$$
$$+\sum_{i=l}^{N}\ddot{\psi}_1(\sin\omega t\cdot\cos a \mp \cos\omega t\cdot\sin a) + \sum_{i=l}^{N}\ddot{\psi}_1\psi_1(\cos\omega t\cdot\cos a \pm \sin\omega t\cdot\sin a)\Bigg];$$

$$\ddot{y} + \lambda_x^2 y = f\Bigg[\sum_{i=l}^{N}(1+2\dot{\psi}_1)(\sin\omega t\cdot\cos a \mp \cos\omega t\cdot\sin a) + \sum_{i=l}^{N}(1+2\dot{\psi}_1)(\cos\omega t\cdot\cos a \pm \sin\omega t\cdot\sin a)\psi_1 +$$
$$+\sum_{i=l}^{N}\ddot{\psi}_1(\cos\omega t\cdot\cos a \pm \sin\omega t\cdot\sin a) - \sum_{i=l}^{N}\ddot{\psi}_1\psi_1(\sin\omega t\cdot\cos a \mp \cos\omega t\cdot\sin a)\Bigg];$$

Будем считать x, y и ψ гармоническими функциями времени. Полагая известными коэфициенты при первых гармониках для x и y, при этом ограничиваясь первыми гармониками, получаем

$$x = C_x\cos\omega t + D_x\sin\omega t;$$
$$y = D_y\cos\omega t + C_y\sin\omega t; \qquad (8)$$

Для ψ_1 аналогично можно записать

$$\psi_1 = A_l\cos\omega t + B_l\sin\omega t.$$

Коэффициенты A_1 и B_1 выразим через C_x, D_x, C_y, D_y, подставляя значение x, y и ψ_1 в уравнения гармонического баланса по первой гармонике:

$$\int_0^{2\pi}(-A_l\omega^2\cos\omega t - B_l\omega^2\sin\omega t + a_l(-A_l\omega\sin\omega t + B_l\omega\cos\omega t) +$$
$$+c_l(C_x\omega^2\cos a\cdot A_1\cos^3\omega t \pm D_x\omega^2\sin a\cdot B_1\sin^3\omega t +$$
$$+C_yB_1\omega^2\sin^3\omega t\cdot\cos a \pm D_yA_1\omega^2\cos^3\omega t\cdot\sin a)\cos\omega t\cdot d(\omega t) = 0$$
$$\int_0^{2\pi}(-A_l\omega^2\cos\omega t - B_l\omega^2\sin\omega t + a_l(-A_l\omega\sin\omega t + B_l\omega\cos\omega t) +$$
$$+c_l(C_x\omega^2\cos a\cdot A_1\cos^3\omega t \pm D_x\omega^2\sin a\cdot B_1\sin^3\omega t + \qquad (9)$$
$$+C_yB_1\omega^2\sin^3\omega t\cdot\cos a \pm D_yA_1\omega^2\cos^3\omega t\cdot\sin a)I\sin\omega t\cdot d(\omega t) = 0$$

Для определения коэффициентов A_i и B_i получаем однородную систему алгебрических уравнений

$$\begin{cases} A_1\left(-\omega + c_1 C_x \omega \cos a \mp c_1 D_y \sin a\right) + a_1 B_i = 0 \\ -a_1 A_1 + B_1\left(-\omega \pm c_1 D_x \omega \sin a + c_1 \omega C_y \cos a\right) = 0 \end{cases}$$

Условие разрешимости системы дает возможность определить скорость вращения.

Поскольку при определении A_i и B_i система уравнений однородна, что получается ввиду автономности систем, одному из неизвестных мы даем произвольное значение.

Пусть $B_1 = \dfrac{mr}{\omega}$. Тогда

$$A_1 = \frac{mr(-1 \pm c_1 D_y \sin a + c_1 C_x \cos a)}{a_1} \tag{10}$$

$$\psi_i = \frac{mr(-1 \pm c_1 D_y \sin a + c_1 C_x \cos a)}{a_i} \cos \omega t + \frac{mr}{\omega} \sin \omega t$$

Подставив значение ψ_i и ее производных в уравнения для x и y и составив уравнения гармонического баланса по первой гармонике, получим формулы для определения C_x, D_x, C_y, D_y. Для упрощения выкладок положим $C_x = C_y = C$; $D_x = D_y = D$:

$$\left.\begin{aligned} C(\lambda^2 - \omega^2) &= f\left[2\cos a + \frac{3}{4}\sum_{l=1}^{N} P_i mr^2 \sin a - \frac{3}{4} mr^2 \omega^2 \sum P_i^2 \cos a\right]; \\ D(\lambda^2 - \omega^2) &= f\left(-\frac{3}{4} mr^2 \sum_{l=1}^{N} P_i \cos a - \frac{3}{4} mr^2 \sin a\right); \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

где

$$P_1 = \frac{-1 + c_1 D_y \sin a + c_1 C_x \cos a}{a_1}$$

Подставляя значения x и y в уравнение для ψ_1 и полагая, что во втором приближении выражение для ψ_1 будет иметь вид

$$\psi_i = \dot{A}_1 \cos \omega t + \dot{B}_1 \sin \omega t + \dot{A}_1 \cos 2\omega t + \dot{B}_1 \sin 2\omega t$$

С помощью уравнений гармонического баланса получаем систему уравнений для определения коэффициентов при первой и второй гармониках. Система уравнений распадается на две, из которых первая дает возможность определить коэффициенты при первой гармонике A_i и B_i, вторая - при второй гармонике $\dot{A}_1, \dot{B}_1$:

$$\left.\begin{aligned}
&-\dot{A}_i\omega - a_i\dot{B}_i + \frac{3}{4}c_1\omega(2C\dot{A}_1\cos a \mp 2C\dot{B}_1\sin a) = 0;\\
&-\dot{B}_i\omega - a_i\dot{A}_i + \frac{3}{4}c_1\omega(\mp 2C\dot{A}_1\sin a - 2C\dot{B}_1\cos a) = 0;\\
&-4\omega\dot{A}_i - 2a_i\dot{B}_i \mp c_1D\dot{A}_i\omega\sin a - \frac{1}{2}c_1\omega(C\sin a \pm C\sin a \mp D\cos a) = 0;\\
&-4\omega\dot{B}_i + 2a_i\dot{A}_i \mp c_1D\dot{B}_i\omega\sin a + \frac{1}{2}(D\sin a \pm D\sin a \mp C\cos a + C\cos a) = 0;
\end{aligned}\right\} \quad (12)$$

Условие разрешимости смстемы дает возможность определить величину ω во втором приближении:

$$\omega^2 = \frac{a_1}{\left[\frac{9}{4}c_1^2C^2 - 1\right]}$$

Принимая $\dot{A}_i = A_i$, определяем $\dot{B}_i$ из формулы

$$\dot{B}_i = \frac{\dot{A}_1\omega\left(-1 + \frac{3}{2}c_1C\cos a\right)}{-a_i \pm \frac{3}{2}c_i\omega C\sin a}$$

Условие самосинхронизации механических дебалансов записывается в виде

$$\psi_1 = \psi_2 - 2a$$

или после подстановки значений ψ_1 и ψ_2 во втором приближении

$$\begin{aligned}
&\dot{A}_1\cos\omega t + \dot{B}_1\sin\omega t + \dot{A}_1\cos 2\omega t + \dot{B}_1\sin 2\omega t =\\
&\dot{A}_2\cos\omega t + \dot{B}_2\sin\omega t + \dot{A}_2\cos 2\omega t + \dot{B}_2\sin 2\omega t - 2a
\end{aligned} \quad (13)$$

Любой механический самобалансный вибратор, не имеющий жестких кинематических связей, может войти в режим синхронного и синфазного вращения, если его параметры удовлетворяют уровнению (13).

Предлагаемый способ аналитического определения необходимого сочетания параметров, обеспечивает синхронное и синфазное врещение дебалансов, позволяет с требуемой точностью установить частоту, употребляемую для процесса работы вибромашины и отыскиваем требуемый режим.

3. Режим работы вибромашины и создаваемые вибрации и шумы

Вибромашина для создания вибраций для технологического процесса может работать в режиме с частотой 43, 44, 45 и 46 Гц. Эти частоты устанавливаются из управляющего пульта оператором в зависимости от необходимых колебаний платформы при изготовлении различных блоков и состава смеси бетона. Мы измеряем вибрации при работе на этих частотах

установленных режимах при заполнении смеси и при уплотнении его указанных точках на рис. 3:

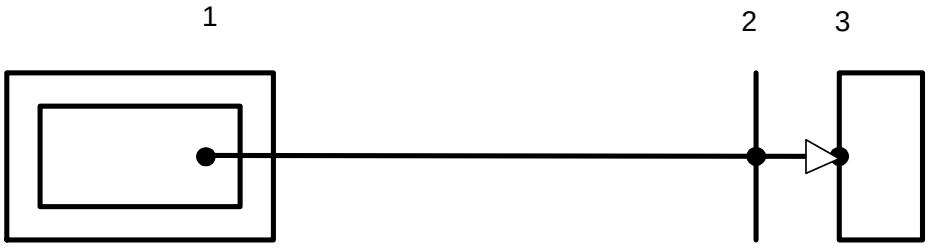


Рис. 3. Расположение точек измерений
1 – на фундаменте вибромашины; 2 – на расстоянии 120м от производственного здания (на границе с жилой постройкой); 3 – на стене жилого дома.

Полученные результаты при измерении виброускорений в м/с^2 отмеченных в точках приведены в таблице 1:

Таблица 1

Задаваемые вибрации в различных режимах работы с частотой в Гц								
Гц	43		44		45		46	
Процесс режима / № точки	Запол-нение	Уплот-нение	Запол-нение	Уплот-нение	Запол-нение	Уплот-нение	Запол-нение	Уплот-нение
1	0,5	0,7	0,45	0,8	0,5	0,9	0,5	1,1
2	0,012	0,015	0,014	0,015	0,015	0,02	0,015	0,018
3	0,0016	0,002	0,0015	0,002	0,0015	0,0038	0,0016	0,0038

На ряду (паралельно) измеряется и низкочастотный шум. Результаты измерений представленны на рис. 4:

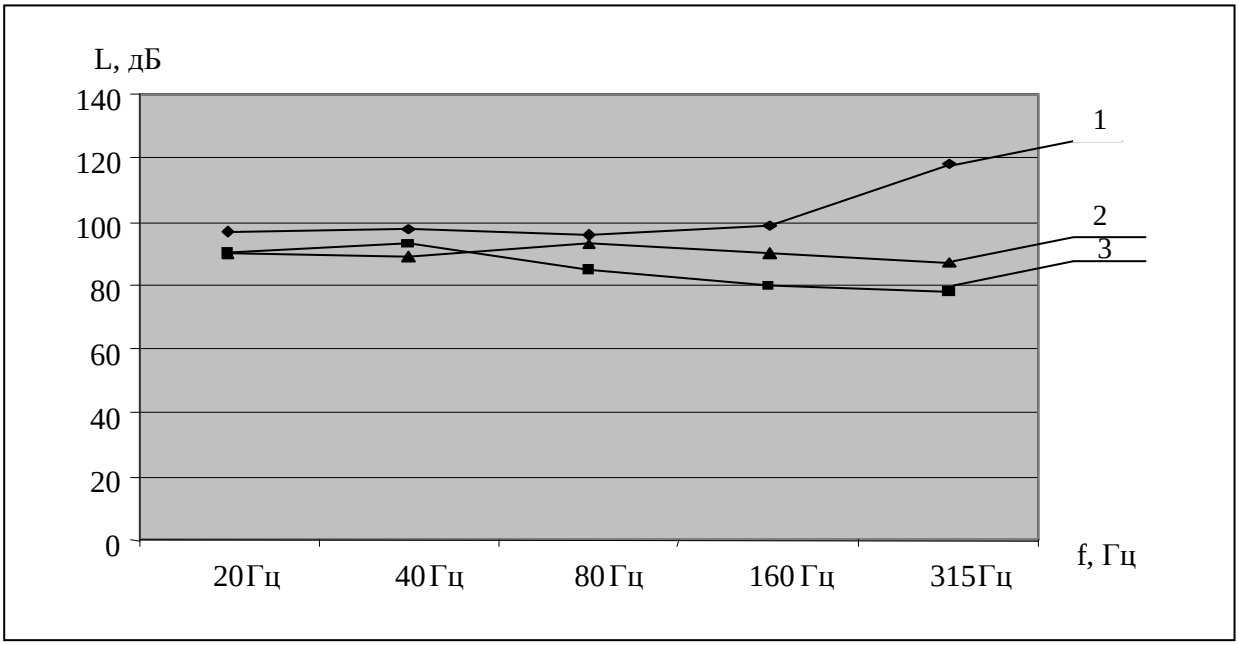


Рис. 4. Уровни звукового давления в октавных полосах частот от 20 до 315 Гц измерены в точках, указанных на рис. 4

Измерены низкочастотные вибрации и шум указанных в точках превышает установленные санитарные (гигиенические) нормы и требует его снесения.

4. Рекомендации по снижению вибрации и шума

Для снижения вибраций, которые распростроняются по грунту, было принято решение о виброизоляции с помощью преград по пути их распростронения в сторону жилого района. Нами был разработан виброизолирующий шов, который задерживает распространяющиеся по грунту вибрации (см. Рис. 5).

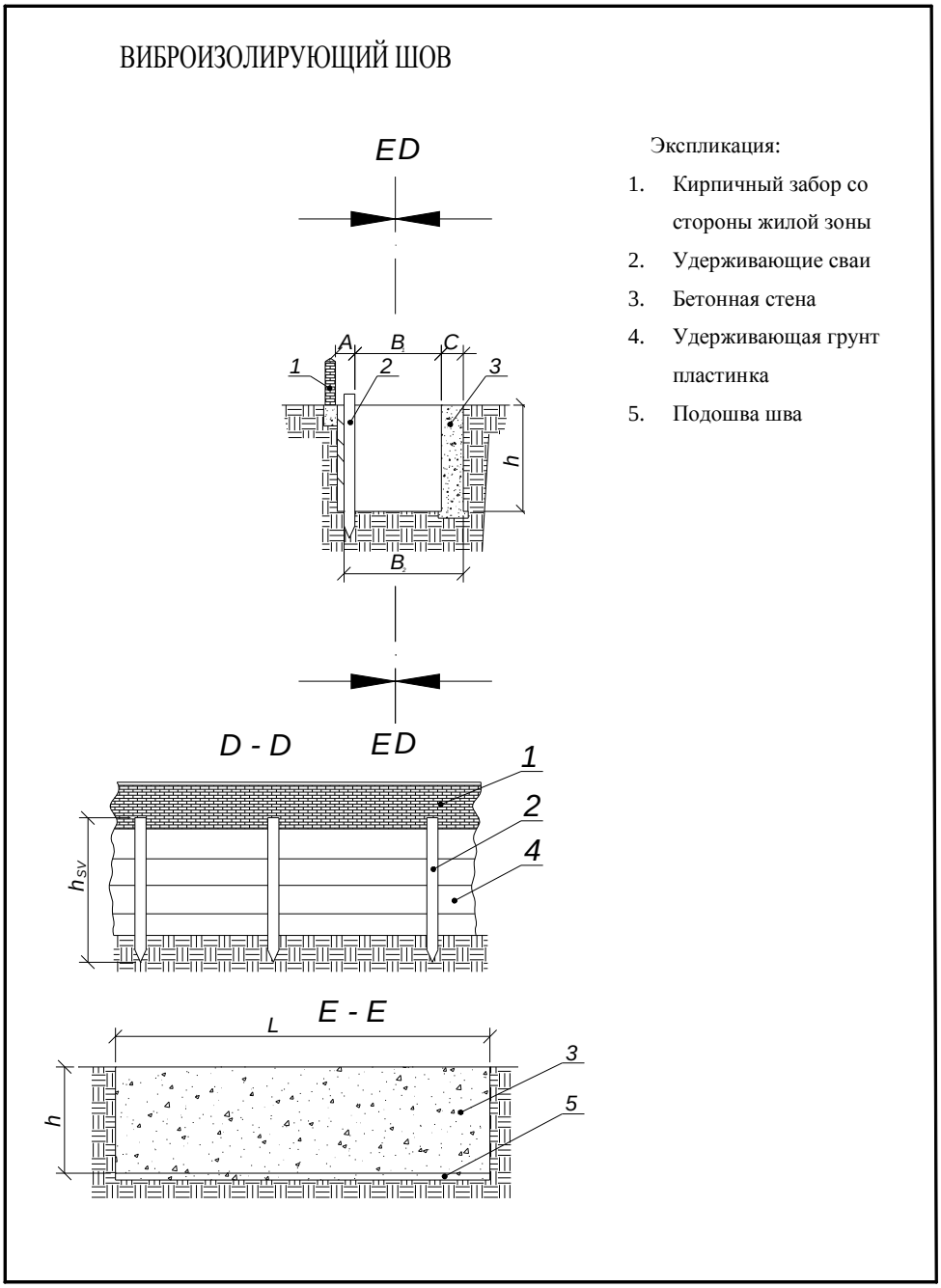


Рис. 5. Виброизолирующий шор

Указанные на рисунке размеры А, В, С, Е, и Д рассчитываются в зависимости от состава грунта, частоты распространения волны и других условий

Для снижения низкочастотного шума в зоне жилой застройки, нами разработан специальный экран, который поглощает падающую энергию звука и обеспечивает снижение шума до требуемых гигиеническими нормами величин.

Выводы

1. При исследовании конкретного источника низкочастотного шума и вибраций установленно, что машины, создающие необходимые вибрации для технологического процесса, в окружающую среду одновременно излучают вибрации и шум, которые достигают жилые дома.
2. Изучение конкретных моделей изображающих вибрирующую машину, дают возможность определить интенсивность и направление создаваемых вибраций. Указаны условия создания синхронного и синразного вращения дебалансов. Сделан анализ этих процессов.
3. Исходя из проделанного анализа, который показывает возможность получения требуемого режима вибромашины для обеспечения необходимого процесса.
4. Исследованы и проанализированы низкочастотные вибрации и шумы, которые создаються при выполнении данного процесса. Полученные результаты измерения вибраций и шума разрешают делать вывод, что эти величины измеренных параметров превышают установленные гигиенические нормы и отрицательно действуют на жителей проживающих в этой зоне.
5. Исходя из анализа полученных результатов выработаны рекомендации по снижению вредных вибраций и шумов. Для снижения вибраций – виброизолирующий шов, для снижения шума – специальные экраны.
6. Внедрение этих рекомендаций позволили уменьшить шум и вибрации в жилых домах.

Литература

1. D. Gužas. Excitation of Low-freqyency Vibrations and their Propagation. Journal of Vibroengeneering. Vibromechanika. Vol. 10 No. 4, 2008, p. 593 – 597.
2. В. А. Лазарян, Б. И. Крюков. Проблемы вибрационной техники. Издательство „Наукова думка“, Киев 1968, с. 180.

ИНФРАЗВУК В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Алексеева И.А., Минина Н.Н.
Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры, СПБ

1. Введение

В течение последних десятилетий произошло развитие техники и транспортных средств, совершенствование технологических процессов и оборудования, сопровождающееся увеличением мощности и габаритов машин, что обусловливает тенденцию повышения низкочастотных составляющих в спектрах и появление инфразвука, который является сравнительно новым, не полностью изученным фактором окружающей среды.

Актуальность проблемы разработки методики оценки воздействия инфразвука на человека и методов борьбы с инфразвуком возросла с более подробным изучением вопроса вредного воздействия на человека. Исследования показали, что на данный момент не существует методики расчета инфразвука, а разработанные ранее методы борьбы с инфразвуком на практике оказались мало эффективными.

2. Основные понятия

Инфразвуком называют акустические колебания с частотой ниже 20 Гц. «Инфразвук» происходит от лат. infra – «ниже, под» и означает упругие волны, аналогичные звуковым, но с частотами ниже области слышимых человеком частот.

По характеру спектра инфразвук подразделяется на:

– широкополосный инфразвук, с непрерывным спектром шириной более одной октавы.
– тональный инфразвук, в спектре которого имеются слышимые дискретные составляющие.

Гармонический характер инфразвука устанавливают в октавных полосах частот по превышению уровня в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам инфразвук подразделяется на:

– постоянный инфразвук, уровень звукового давления которого изменяется за время наблюдения не более чем в 2 раза (на 6дБ) при измерениях по шкале шумомера «линейная» на временной характеристике «медленно».
– непостоянный инфразвук, уровень звукового давления которого изменяется за время наблюдения не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) при измерениях по шкале шумомера «линейная» на временной характеристике «медленно».

Для инфразвука характерно малое поглощение в различных средах вследствие чего инфразвуковые волны в воздухе, воде, и в земной коре могут распространятся на очень далекие расстояния. Это явление находит практическое применение при определении места сильных взрывов или положения стреляющего орудия. Распространение инфразвука на большое расстояние в море дает возможность предсказания стихийного бедствия – цунами. Звуки взрывов, содержащие большое количество инфразвуковых частот, применяются для исследования верхних слоев атмосферы, свойств водной среды.

3. Влияние инфразвука на организм человека.

В конце 60-х годов французский исследователь Гавро обнаружил, что инфразвук определенных частот может вызвать у человека тревожность и беспокойство.

Инфразвук с частотой 7 Гц смертелен для человека.

Исследования биологического действия инфразвука на организм показали, что человеческий организм высокочувствителен к инфразвуку. Воздействие его происходит не только через слуховой анализатор, но и через механорецепторы кожи. Возникающие под воздействием инфразвука, нервные импульсы нарушают согласованную работу различных отделов нервной системы, что может проявляться головокружением, болями в животе, тошнотой, затрудненным дыханием, чувством страха, при более интенсивном и продолжительном воздействии – кашлем, удушьем, нарушением психики. Инфразвуковые колебания даже небольшой интенсивности вызывают тошноту и звон в ушах, уменьшают остроту зрения.

Колебания средней интенсивности могут стать причиной расстройства пищеварения, сердечно-сосудистой, дыхательной систем, нарушения психики с самыми неожиданными последствиями.

Инфразвук высокой интенсивности, влекущий за собой резонанс, из-за совпадения частот колебаний внутренних органов и инфразвука, приводит к нарушению работы практически всех внутренних органов, возможен смертельный исход из-за остановки сердца, или разрыва кровеносных сосудов.

Следует принимать особые меры защиты против появления звуковых колебаний со следующими частотами, потому что совпадение частот приводит к возникновению резонанса:

Частота, Гц	20-30	40-100	0,5-13	4-6	2-3	2-4	6-8	2-5
Резонанс	головы	глаз	вестибу-лярного аппарата	сердца	желудка	Кишеч-ника	почек	рук

4. Основные источники инфразвуковых волн.

В природе инфразвук содержится в шуме атмосферы, леса и моря. Источниками инфразвуковых колебаний являются грозовые разряды (гром), а также взрывы и орудийные выстрелы. В земной коре наблюдаются сотрясения и вибрации инфразвуковых частот от самых разнообразных источников, в том числе от взрывов обвалов и транспортных возбудителей.

Развитие промышленного производства и транспорта привело к значительному увеличению источников инфразвука в окружающей среде и возрастанию интенсивности уровня инфразвука

На производстве источниками инфразвука могут быть компрессоры, двигатели внутреннего сгорания, движущийся транспорт, промышленные кондиционеры и вентиляторы.

Таблица 1

Основные техногенные источники инфразвуковых колебаний в городах

Источник инфразвука	Характерный частотный диапазон инфразвука	Уровни инфразвука
Автомобильный транспорт	Весь спектр инфразвукового диапазона	Снаружи 70-90 дБ, Внутри автомобиля до 120 дБ
Железнодорожный транспорт и трамваи	10-16 Гц	Снаружи до 85 Внутри подвижного состава до 120 дБ
Промышленные установки аэродинамического и ударного действия	8-12 Гц	До 90-105 дБ
Вентиляция промышленных установок и помещений, то же в метрополитене	3-20 Гц	До 75-95 дБ
Реактивные самолеты	Около 20 Гц	Снаружи до 130 дБ

Таким образом наиболее значимым источником инфразвуковых колебаний являются реактивные самолеты. Вклады от наиболее распространенных источников инфразвука в городах - автомобильного транспорта и промышленных установок значительны. Наименьшиший вклад, согласно таблице, вносит вентиляция промышленных установок.

4. Нормирование инфразвука.

Основным документом, определяющим существующие нормы по инфразвуку, являются санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.583-96 «Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки». Данный документ определяет нормируемые параметры и

устанавливает предельно допустимые уровни инфразвука. Нормируемыми характеристиками являются для постоянного инфразвука как уровни звукового давления (L) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2,4,8 и 16 Гц, так и уровни звукового давления, измеренные по шкале шумомера «линейная» (дБЛин). Для нормирования характеристик непостоянного инфразвука используются эквивалентные по энергии уровни звукового давления (дБ) и эквивалентный общий уровень звукового давления (дБЛин).

Предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах, дифференцированные для различных видов труда, а также допустимые уровни инфразвука в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки представлены в таблице 2.

Таблица 2

Нормы инфразвука

Назначение помещений	**Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц**				**Общий уровень звукового давления, дБЛин**
	2	**4**	**8**	**16**	
Производственные помещения и территории предприятий для работ с различной степенью тяжести и напряженности трудового процесса	100	95	90	85	100
Помещения для работ с различной степенью интелектуально-эмоциональной напряженности	95	90	85	80	95
Территория жилой застройки	90	85	80	75	90
Помещения жилых и общественных зданий	75	70	65	60	75

Для шумов, спектр которых охватывает инфразвуковой и слышимый диапазоны, измерение и оценка корректированного уровня звукового давления инфразвука является дополнительной к измерению и оценке шума в соответствии с «Санитарными нормами шума на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий, на территории жилой застройки» СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и ГОСТом 12.1.003 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

При воздействии инфразвука на человека в течение суток – в рабочее и нерабочее время, суммарную оценку воздействия следует проводить в соответствии с «Методическими указаниями по гигиенической оценке производственной и непроизводственной шумовой нагрузки».

Измерения и гигиеническая оценка инфразвука, а также профилактические мероприятия должны проводиться в соответствии с руководством 2.2.4/2.1.8-95

«Гигиеническая оценка физических факторов производственной и окружающей среды».

Инфразвук на рабочих местах за рубежом пока в основном не нормируется. В дискуссионном порядке обсуждается введение норм инфразвука на территории жилой застройки.

5. Оценка уровней инфразвука при проектировании автотранспортных объектов

В настоящее время не существует методик прогнозирования ожидаемого уровня инфразвука от транспортного потока определенной величины. С целью оценки перспективного воздействия данного фактора на состояние селитебной среды применяется метод существующего объекта аналога, на котором интенсивность и состав транспортного потока максимально приближены к показателям по прогнозируемому объекту.

Оценка уровня инфразвука проводится на основании натурных измерений уровней инфразвука в соответствии со следующими нормативными документами:

- СН 2.2.4/2.1.8.583-96 «Санитарные нормы инфразвука на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки»;
- ГОСТ 20444-85 (1994) «Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики»; это правда, там есть про инфразвук?
- ГОСТ 23337-78 (1984) «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий». это правда, там есть про инфразвук.

Согласно анализу результатов натурных исследований на объекте аналоге делается вывод о соответствии измеренных уровней инфразвука предельно-допустимым уровням инфразвука согласно СН 2.2.4/2.1.8.583-96.

Следует отметить, что обычно уровни инфразвука потока автотранспорта не превышают предельно допустимые уровни. Тем не менее, существуют и исключения – инфразвук может генерироваться в подферменном пространстве при прохождении потока автотранспорта по мосту или эстакаде. В некоторых случаях уровни инфразвука могут быть превышены при наличии высокой доли грузового транспорта старого образца выпуска в потоке.

Отсутствие расчетной методики оценки уровней инфразвука, учитывающей все факторы, влияющие на уровень инфразвука, не позволяет в полной мере оценить воздействие инфразвука на селитебную территорию при проектировании объектов автотранспортного комплекса.

6. Средства и методы защиты от инфразвука.

Средства защиты от инфразвука подразделяются на:

– средства индивидуальной защиты (СИЗ);
– коллективные средства защиты от акустического воздействия предназначены и используются для его ослабления в местах пребывания человека: на работе, дома, в транспорте, на улице и т.п.

СИЗ используются персонально, их главное назначение – перекрыть основной канал проникновения звука в ухо человека. Цель применения СИЗ – предупредить ухудшение или расстройство функционирования не только органов слуха, но также нервной и других систем человеческого организма, подвергающихся вредному воздействию шума. В качестве индивидуальных средств защиты рекомендуется применение наушников, вкладышей, защищающих ухо от неблагоприятного действия шума и инфразвука.

Эффективность вкладышей в низкочастотной области ограничена наличием костной проводимости: инфразвук распространяется не только через слуховой проход, но и непосредственно через кости черепа. Использование вкладышей вызывает определенную степень дискомфорта.

Все средства коллективной защиты по отношению к источнику инфразвука можно подразделить на следующие:

1) снижающие инфразвук в самом источнике;

При выборе конструкций предпочтение должно отдаваться малогабаритным машинам большой жесткости, так как в конструкциях с плоскими поверхностями большой площади и малой жесткости создаются условия для генерации инфразвука. Борьбу с инфразвуком в источнике возникновения необходимо вести в направлении изменения режима работы технологического оборудования – увеличение его быстроходности (например, увеличение числа рабочих ходов кузнечнопрессовых машин, чтобы основная частота следования силовых импульсов лежала за пределами инфразвукового диапазона).

Должны приниматься меры по снижению интенсивности аэродинамических процессов – ограничение скоростей движения транспорта, снижение скоростей истечения жидкостей (авиационные и ракетные двигатели, двигатели внутреннего сгорания, системы сброса пара тепловых электростанций и т.д.)

2) снижающие инфразвук на пути распространения от источника к точке наблюдения (ТН) или расчетной точке (РТ).

В борьбе с инфразвуком на путях распространения определенный эффект оказывают глушители интерференционного типа, обычно при наличии дискретных составляющих в спектре инфразвука.

Традиционные средства защиты от шума (звукоизолирующие перегородки, акустические экраны, звукопоглощающие покрытия) обычно плохо работают на низких частотах, и увеличение их эффективности требует больших дополнительных затрат. Активные системы шумозащиты используют длинные

звуковые волны, связанные с низкочастотным звуком. Такие системы работают на принципе ослабляющей интерференции между акустическими полями, которые образованы «первичными» источниками шума (здесь под «первичным» понимается источник, звуковое поле от которого необходимо снизить) и специально созданными «вторичными» источниками (под «вторичным» здесь подразумевается источник, который формирует нужное звуковое поле).

Микрофон обнаруживает падающую звуковую волну и через фазоинвертор и другие устройства передает сигнал на динамик. Цель состоит в том, чтобы генерировать звуковую волну, находящуюся в противофазе с волной от «первичного» источника. Суперпозиция волн от «первичного» и «вторичного» источников вызывает их интерференцию, и в месте наложения волн создается область тишины. Эффект уменьшения шума наблюдается, если амплитуда сигналов, находящихся в противофазе, приблизительно равны. Вероятно, что в другой области звукового поля волны будут находится в фазе, и это приведет к усилению результирующего звука.

Снижение инфразвука активными методами может быть достигнуто в длинных трубопроводах или тоннелях, где звуковая волна плоская, а также в замкнутых объемах с диффузным характером акустического поля; в свободном пространстве, где образуется бегущая звуковая волна.

Выполненное в последнее время теоретическое обоснование течения нелинейных процессов в поглотителях резонансного типа открывает реальные пути конструирования звукопоглощающих панелей, кожухов, эффективных в области низких частот.

Заключение

Исследования биологического воздействия инфразвука на организм показали, что человеческий организм высокочувствителен к инфразвуку. Воздействие его происходит не только через слуховой анализатор, но и через механорецепторы кожи. Возникающие под воздействием инфразвука нервные импульсы нарушают согласованную работу различных отделов нервной системы.

Тем не менее, механизмы распространения инфразвука еще недостаточно изучены и расчетные методики для оценки его уровня не разработаны.

Отсутствие расчетной методики оценки уровней инфразвука, учитывающей все факторы, влияющие на его уровень, не позволяет в полной мере оценить воздействие инфразвука на селитебную территорию при проектировании объектов автотранспортного и промышленного комплекса, разработать методы борьбы с инфразвуком для селитебной территории.

Наиболее перспективным методом защиты от шума являются активные системы шумозащиты, основанные на принципе ослабляющей интерференции между акустическими полями. Однако зачастую методы борьбы с инфразвуком являются недостаточно эффективными.

РОЛЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АКУСТИКЕ

Ермаков А.Д.
Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры, СПБ

Все большее значение в архитектурной акустике приобретают методы математического моделирования. Их потребность для целей управления и прогнозирования особенно велика. Методы математического моделирования основаны на реальных процессах шумового воздействия.

Существующие программы позволяют в полной мере отразить процессы возникновения, распространения шума в окружающей среде и его воздействие на прилегающую к источнику шума территорию (существующую/перспективную жилую застройку).

Использование современных программных пакетов по расчету шумового воздействия позволяет существенно снизить затраты и увеличить прибыль.

К программам данного типа можно отнести:

– самая распространенная из зарубежных разработок, программа «Sound Plan»;
– среди отечественных разработок, пользующихся особой популярностью, программы «Эколог-Шум», «Гарант-Шум».

Область применения данных программ:

– моделирование шумового загрязнения от различных источников, таких как транспортные магистрали (автодороги, трамвайные, железнодорожные и монорельсовые линии), территорий аэропорта (авиашум), стационарные источники шума (технологическое оборудование, вентиляция, энергетические установки промышленных и коммунально-бытовых предприятий);
– определение санитарно-защитных зон и зон санитарного разрыва по фактору промышленного и транспортного шума;
– разработка и оценка эффективности шумозащитных мероприятий, включающих применение акустических экранов, оконных блоков с повышенной звукоизоляцией, глушителей шума вентиляционных систем, звукопоглощающих облицовок помещений.
– картирование шума;
– оценки стоимости шумозащитных мероприятий и д.р.

Расчет шумового воздействия, в программных пакетах отечественного производства, осуществляется в соответствии с существующими методиками, справочниками и нормативными документами (расчет шумового воздействия по СНиП 11-12-77 или по СНиП 23-03-2003). Расчет в программах зарубежного производства производится на основании ISO 9613-2, RLS-90, DIN 18005 и др.

Область применения и основные возможности

Рассмотрим более подробно основные возможности современных программных продуктов.

"Гарант-шум" и её разновидности

Программный комплекс по расчету шума "Гарант-шум" содержит в своем составе следующие основные программы:
"Гарант-шум-диалог";
"Гарант-шум-спектр";
"Гарант-шум-спектр-город";
"Гарант-шум-L_A";
"Гарант-шум-L_A-транспорт";
"Гарант-шум-СЗЗ";
"Гарант-шум-производственное помещение";
"Гарант-шум-вентсистема";
"Гарант-шум-вентилятор";
"Гарант-шум-звукоизоляция";
"Гарант-виброизоляция";
Расчеты инфразвуковоuго излучения;
"Графика-шум".

Программа **"Гарант-шум-диалог"** позволяет:
– накапливать в базах данных информацию для объектов (предприятий), характеризующую условия акустического загрязнения (ослабление шума в воздухе, вид подстилающей поверхности, произвольно расположенные полосы лесонасаждений, отражающие поверхности и т.д.), тип источника шума (точечный, линейный, площадный), здания застройки территории, акустические экраны, звукопоглощающие поверхности (облицовки), рабочие помещения и т.п.;
– поддерживать все необходимые дополнительные сведения для расчета, включая лесополосы, рельеф местности и т.д.;
– использовать электронный справочник:
а) шумовых характеристик технологического оборудования в соответствии с Каталогом приложения к СНиП II-12-77;
б) с характеристиками звукопоглощающих поверхностей (облицовок);
в) с характеристиками звукоизолирующих ограждений (стены и перегородки, перекрытия, окна, двери, грани кожухов).
– вводить данные по расчетным точкам, расположенным как в горизонтальной плоскости на любой высоте, так и произвольно ориентированные в вертикальной плоскости (например, на заданном расстоянии от стены здания) с возможностью автоматического поиска

максимальных уровней шума на стенах зданий для расчетов воздействия шума на жильцов многоэтажных зданий.

Программа **"Гарант-шум-спектр"** позволяет:

– рассчитать суммарные спектральные уровни шума в расчетных точках от совокупности распределенных источников шума. Расчет проводится по октавным частотам одновременно для каждого источника из группы и группе источников в целом. Расчетные точки могут находиться на различных высотах относительно уровня земли;
– проводить расчет в трехмерном пространстве;
– проводить расчеты шума в расчетных точках в изолируемом помещении, при проникновении шума через ограждающую конструкцию с территории (например, для расчетов уровней шума внутри жилых помещений, палат больниц и т.п.);
– расчета шума от автотранспортных потоков может проводится:

а) L_Aэкв с учетом интенсивности движения, средней скорости потока, долей различных средств транспорта в потоке, покрытия проезжей части и др.;
б) определять вклады источников шума в суммарный уровень шума для каждой расчетной точки;
в) определять долю снижения уровня шума акустическими экранами (зданиями) в суммарном уровне шума для каждой расчетной точки, а также доли снижения шума от акустических экранов (зданий) и подстилающей поверхности (трава, снег, лесополосы и т.п.) для точечных, линейных и площадных источников шума;
г) проводить расчет шума легкового и грузового автотранспорта с территории автостоянки;

– учесть влияние рельефа местности - выемки, насыпи и т.п.;
– определять требуемое снижение уровня шума кожухом для 2-х расчетных случаев:

а) кожух с внутренней звукопоглощающей облицовкой;
б) кожух без внутренней звукопоглощающей облицовки;

Программа **"Гарант-шум-спектр-город"** дополнительно (см. программа **"Гарант-шум-спектр"**) позволяет:

– выполнить расчеты спектральных составляющих уровней шума с их пересчетом на уровни звука La для источников шума в задачах городского масштаба;
– с высокой скоростью выполнять расчеты городских территорий в случае распределенных источников шума неограниченного количества предприятий;
– проводить выборочные расчеты групп предприятий в различных комбинациях с возможностью выделения вкладов отдельных источников шума предприятий в суммарный уровень шума в расчетных точках и т.п.

Программа **"Гарант-шум-L_A"** позволяет:

– выполнять расчеты уровней звука L_A, с учетом типа источника, в расчетных точках, расположенных на территориях предприятий и селитебных территориях на любой высоте;
– учесть в расчетах акустические экраны (здания), полосы лесонасаждений (с учетом вида посадки: однорядная, двухрядная, трехрядная, шахматная и др.);
– дополнительно учесть в расчетах максимальные уровни звука L_{Amax}, создаваемые источниками шума, и сравнить полученные суммарные значения L_{Amax} в расчетных точках с допустимыми значениями L_{Amax}.
– рассчитать эквивалентные($L_{Aэкв}$) и максимальные (L_{Amax}) уровни звука.

Программа **"Гарант-шум-L_A-транспорт"** позволяет:

– выполнить расчеты уровней звука L_A на терриориях, непосредственно примыкающим к транспортным магистралям, в зависимости от интенсивности движения, средней скорости потока, доли грузового и общественного транспорта в потоке, вида покрытия дороги и т.п.;
– автоматически подобрать оптимальные конструкции окон из справочника с ранжированием их по звукоизолирующим свойствам конструкции окна.

Программа **"Гарант-шум-СЗЗ"** позволяет:

– определять размеры санитарно-защитной зоны (СЗЗ), исходя из спектральных характеристик уровней шума предприятия, с целью установления границы СЗЗ по шуму с учетом заданных нормативных уровней шума;

Программа **"Гарант-шум-производственное помещение"** позволяет:

– определять октавные уровни звукового давления на рабочих местах внутри помещений, зданий и сооружений или в зонах постоянного пребывания людей;
– учесть в расчетах зоны: прямого звука, отраженного звука, а также прямого и отраженного звука;
– учесть различные способы задания направленности излучения источника шума:
– учитывать геометрию источников шума (его линейные размеры);
– учитывать при расчете акустических характеристик помещения наличие в помещении звукопоглощающих конструкций;
– использовать электронный справочник с акустическими характеристиками звукопоглощающих конструкций;
– определять октавные уровни звукового давления (звуковой мощности) в расчетных точках в изолируемом помещении от шума, проникающего через ограждающие конструкции из соседнего помещения с источниками шума или с территории (определять уровни

звукового давления (звуковой мощности) в защищаемом от шума помещении).

Программа **"Гарант-шум-вентсистема"** позволяет:

–определять суммарное снижение октавных уровней звуковой мощности вентиляционной сети в дБ по пути распространения шума от вентилятора до открытого конца воздуховода (вентиляционной решетки);

–рассчитать суммарные значения снижения октавных уровней звуковой мощности вентиляционной сети для каждого элемента сети воздуховодов;

–рассчитать значения снижения октавных уровней звуковой мощности вентиляционной сети для каждого элемента сети воздуховодов, включая:

1. прямые участки воздуховодов;
2. повороты воздуховодов;
3. участки с изменением поперечного сечения воздуховода;
4. разветвления воздуховодов;
5. открытые концы воздуховодов (решетки) и др.

– учесть снижение шума глушителями вентиляторных установок (абсорбционные глушители);
– учесть снижение шума глушителями компрессорных и газотурбинных установок (абсорбционные и реактивные глушители);

Программа **"Гарант-шум-вентилятор"** позволяет:

– рассчитать шумовые характеристики (октавные уровни звуковой мощности) вентилятора (кондиционера) с учетом поправок на режим работы вентилятора, наличие патрубка нагнетания (всасывания) и т.п.;
– воспользоваться электронной системой справочной информации для выбора различных видов вентиляторов (центробежных, осевых, крышных) и кондиционеров и расчета акустических поправок;

Пакет программ **"Гарант-шум-звукоизоляция"** позволяет:

– рассчитать индексы изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями Rw (программа **"Гарант-шум-индекс изоляции конструкции"**);
– рассчитать индексы приведенного уровня ударного шума Lnw (для перекрытий) (программа **"Гарант-шум-индекс изоляции ударного шума"**);
– рассчитать нормируемый параметр звукоизоляции наружных ограждающих конструкций от внешнего шума, производимого потоком городского транспорта (программа **"Гарант-шум-звукоизоляция $R_{Атран}$"**).

Программа **"Гарант-виброизоляция"** позволяет:

– рассчитать акустическую виброизоляцию инженерного оборудования (вентиляторы, насосные агрегаты и др.) для заданного типа и вида виброизолятора;
– учесть в расчетах инженерного оборудования для заданного типа виброизолятора наличие гибких вставок (горизонтального и вертикального расположения);

– в случае превышения требуемой виброизоляции над фактической программа автоматически проводит подбор вида виброизолятора и его оптимальных параметров, удовлетворяющих требованиям по снижению уровня вибрации;

Программа **"Гарант-шум-инфразвук"** позволяет рассчитывать спектральные составляющие уровни инфразвука для территорий предприятий и селитебных зон в случае распределенных источников инфразвука предприятий (территорий) с возможностью:

– учета характеристик источников (фактора направленности, пространственного угла излучения и т.п.);
– учета влияния застройки территории (экранов);
– расчетов в трехмерном пространстве;
– автоматического поиска максимума уровня шума на стене здания для расчета воздействия инфразвука на жильцов многоэтажных зданий;
– определения октавных уровней звуковой мощности инфразвука, прошедшего через наружное ограждение (или несколько ограждений) на территорию с автоматическим подключением баз данных по внутренним источникам инфразвука, акустическим характеристикам помещений и т.п.;

Программа **"Графика-шум"** средствами компьютерной графики обладает возможностями:

– масштабирования карты и печати карты в любом масштабе с ее предварительным просмотром;
– нанесения топографических объектов (границ территорий, источников шума, зданий, лесополос и т.п.);
– автоматической работы (совмещение) с графическими картами-подложками местности;
– построения СЗЗ (нормативной и заданной) и т.п.

«Эколог-Шум» и её разновидности.

Программа может быть использована при проведении проектных работ по размещению новых объектов с учетом существующей градостроительной ситуации и оценке влияния шума существующих объектов на окружающую среду. Расчет шумового воздействия от совокупности источников в любой точке выполняется с учетом дифракции и отражения звука препятствиями в соответствии с существующими методиками, справочниками и нормативными документами (пользователь может выбрать вариант расчета шумового воздействия по СНиП 11-12-77 или по СНиП 23-03-2003).

Результатом расчетов являются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31.5 - 8000 Гц, а также уровни звука La. Информация представляется как в табличном виде, так и на цветной шумовой карте.

Программный продукт предназначен для выполнения следующих задач:

- Оценка шумового воздействия на территориях, прилегающих к промышленным предприятиям и транспортным магистралям;
- Разработка и оценка эффективности шумозащитных мероприятий;
- Определение санитарно-защитных зон по фактору шума проектируемых и существующих предприятий;
- Экологический аудит промышленных, коммунальных и транспортных предприятий по фактору промышленного и транспортного шума.

Особенности программы "Эколог-Шум"

- Графический интерфейс программы "Эколог-Шум" позволяет заносить, просматривать и редактировать все данные, описывающие объекты, относящиеся к расчету шума (источники шума, препятствия, расчетные точки и площадки и т.д.), одновременно в табличной форме и на карте. Предусмотрены также инструменты редактирования карт, в том числе и с использованием графической подложки. Возможно использование карт, подготовленных ранее в формате "Эколог".
- Расчет проводится от точечных, линейных и объемных источников шума. Для удобства заполнения характеристик источников предусмотрен справочник шумовых характеристик источников шума, который может пополняться пользователем. Для некоторых видов источников шума предусмотрены специализированные методики, определяющие шумовые характеристики, например, "Расчет шума от транспортных потоков" и "Расчет уровня внешнего шума систем вентиляции".
- В расчете учитываются препятствия шума. Для удобства заполнения характеристик препятствий предусмотрен справочник звукопоглощающих и звукоотражающих свойств материалов, который может пополняться пользователем.
- Расчет производится по расчетным точкам, по полю (расчетной площадке) с заданным шагом, а также по точкам на границе особых зон (охранной, промышленной, са-нитарно-защитной и жилой). Расчет может производиться на любой высоте.

Программа «Эколог-Шум» имеет модульную структуру:

«Эколог-Шум» вариант «БАЗОВЫЙ» - базовый вариант программы.

«Эколог-Шум» вариант «СТАНДАРТ» обладает дополнительными возможностями графического блока по работе с различными форматами ГИС: AUTOCAD (*.DXF), Maplnfo (MID/MIF), Arclnfo (*.SHP).

Дополнительный модуль к программе «Эколог-Шум» позволяющий произвести расчет шумовых характеристик автомагистралей и железных дорог «Расчет шума от транспортных потоков»

Модуль предназначен для расчетов шумовых характеристик автомагистралей с целью дальнейшего их использования в программе «Эколог-Шум» и учитывает следующие виды транспорта:

- Легковые и грузовые автомобили;
- Трамваи;
- Железнодорожные поезда.

Исходными данными для модуля являются интенсивности и скорости движения каждого вида транспорта, а результатом расчетов шумовые характеристики линейного участка автомагистрали. В методике реализована возможность одновременного расчета нескольких однотипных отрезков автомагистрали.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА УРОВНЕЙ ШУМА, СОЗДАВАЕМЫХ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫМИ СИСТЕМАМИ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПРИНУЖДЕНИЕМ «РАСЧЕТ УРОВНЯ ВНЕШНЕГО ШУМА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ»

Программа предназначена для расчета уровней шума, создаваемых приточно-вытяжными системами с механическим принуждением в соответствии со СНиП II-12-77 (часть II), в восьми октавных полосах, с учётом всех составляющих воздуховода (прямые участки, повороты, разветвления, пересечения, изменения сечения). Программа разработана Фирмой «Интеграл» совместно с ЗАО «Экоюрус». Программа содержит большое количество современных справочных данных по характеристикам вентиляторов и шумоглушителей (при необходимости справочники могут пополняться и корректироваться пользователем). Помимо своего основного назначения, программа также позволяет решать задачу расчета оптимального сечения воздуховода и ориентировочной оценки шумового воздействия на заданном расстоянии от выхода вентиляционной системы.

Результаты расчета автоматически передаются в программу «Эколог-Шум» для использования их в расчете шумового воздействия наряду с другими источниками шума.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ К ПРОГРАММЕ «ЭКОЛОГ-ШУМ» ПОЗВОЛЯЮЩИЙ ПРОИЗВЕСТИ РАСЧЕТ ШУМА, ПРОНИКАЮЩЕГО В ПОМЕЩЕНИЕ С ТЕРРИТОРИИ. УЧЕТ "ФОНОВОГО" ШУМА. НОРМИРОВАНИЕ ПРОНИКАЮЩЕГО И ВНЕШНЕГО ШУМА. «РАСЧЕТ ПРОНИКАЮЩЕГО ШУМА»

Модуль «Расчет проникающего шума» предназначен для расчета шума, проникающего в помещение с территории (рассчитываются эквивалентные и максимальные уровни звукового давления в октавных полосах, а также уровень звука La). В программе реализован учет «фонового» шума, а также нормирование как проникающего, так и внешнего шума. Расчеты производятся в соответствии с СНиП 23-03-2003. Предусмотрены следующие варианты расчета:

- программа позволяет учитывать изолирующую конструкцию любой сложности, а также характеристики ограждающих и звукопоглощающих конструкций помещения.
- для помещений площадью до 25 м2. Результаты расчета могут быть использованы при проектировании СЗЗ предприятия, разработке раздела «Защита от шума» проекта, а также для решения других задач. Модуль используется совместно с программой «Эколог-Шум».

Программа «Каталог шумовых характеристик технологического оборудования»

Электронная версия «Каталог шумовых характеристик технологического оборудования (к СНиП П-12-77)», НИИ строительной физики, 1988.

Программа Sound PLAN.

Программа **Sound PLAN** предназначена для эффективного картирования и оценки:

– шумозащитных мероприятий;
– загрязнения воздуха;
– защиты окружающей среды.

Sound PLAN используется при:

– проектирование сетей автодорог, железных дорог и воздушного транспорта (с учетом интенсивности движения, средней скорости потока, ширины проезжей части, доли грузового и общественного транспорта в потоке, вида покрытия дороги и т.п);
– оптимизация шумозащитных мероприятий (сравнительный анализ цены и вида шумозащиты);
– подготовке документов соответствия предприятий законодательству и нормативам по шуму (ОВОС, ООС) для согласования проектов химической и нефтеперерабатывающей отрасли, металлургии, электростанций, горнодобывающего комплекса, промышленного производства и т.п.
– определении соответствия санитарным нормам, оценки шумовой нагрузки на население и работников предприятия, разработка систем аудио оповещения и др.

Расчет производится в соответствии с ISO 9613-2, RLS-90, DIN 18005 и др.

С помощью программы **Sound PLAN** пользователь имеет возможность составлять карты шума, как для не больших проектов, так и для крупных агломераций. Дает возможность распределить расчетные функции на сеть компьютеров, чтобы еще быстрее закончить расчет без переноса данных.

Sound PLAN поможет оптимизировать акустический экран, относительно его стоимости или площади, просмотреть трехмерную графику или анимацию, оценить затраты и прибыли от разработки проекта, а также ранжировать

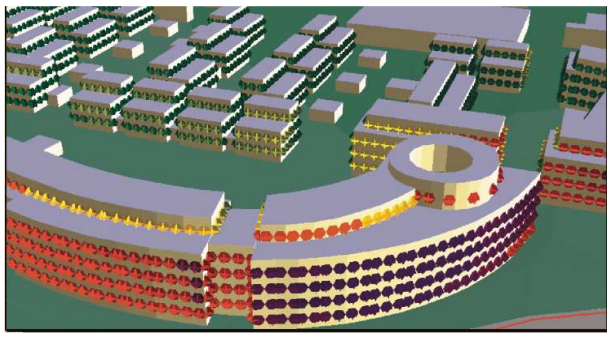
шумозащитные мероприятия по стоимости и эффективности, произвести предварительную оценку, используя стандартный модуль расчета экрана.

Обладает рядом преимуществ такими, как:

– наличие всех стандартов по шуму;
– расчет производится для одной точки или для группы точек, распределенные расчеты при помощи сети компьютеров для максимальной эффективности расчета. Возможность расчета больших проектов без постоянного контроля пользователя.
– параметры контроля желаемого качества результатов и типа выходных данных.
– расчет организован в виде электронной таблицы. Копирование и вставка для облегчения оценки вариантов планирования.
– графический контроль данных модели во время расчета.

Обладает рядом дополнительных функций:

– городская карта шума – быстрый и наиболее точный способ рассчитать и картировать шум на очень узких улицах. Повышенные уровни шума регистрируется автоматически.
– фасадная карта шума рассчитывает уровни шума на каждом этаже, оценивая сколько жителей подвергаются шуму того или иного уровня. Количество населения непосредственно присваивается зданию или оценивается по площади и равномерно распределяется по длине фасада.



Фасадная карта шума

– интерфейс моделирования движения позволяет быстро произвести изменения интенсивности, что очень ценно для пятилетнего периода планирования, определенного ЕС для карт шума.
– изменяемые пользователем электронные таблицы, встроенные в Sound PLAN, отменяют необходимость экспортирования данных в другие таблицы, GIS файлы или программы.
– импорт/экспорт GIS позволяет вам эффективно использовать данные. все модули включают дневные, ночные, вечерние и суточные уровни в качестве оценок, требуемых стандартами. Sound PLAN также позволяет использовать заданные пользователем оценки для описания промышленного шума.

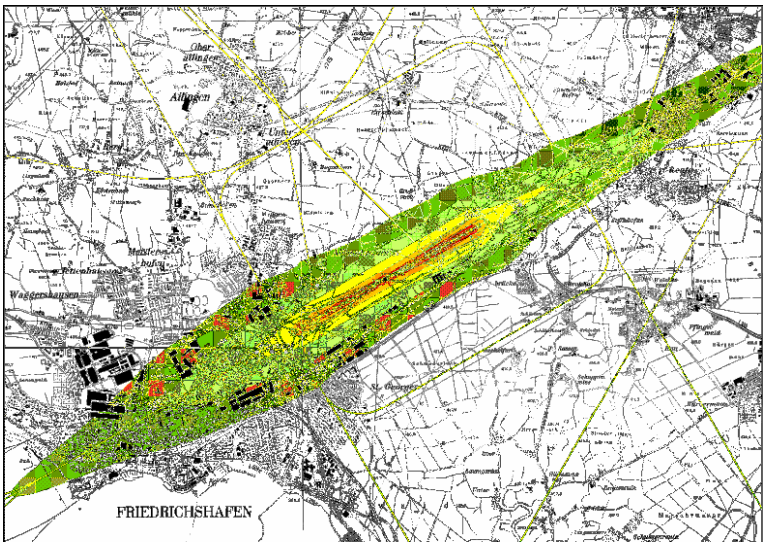
– арифметическое сложение различных карт (шум автодорог, железных дорог, отдых, промышленность и авиа) для оценки шума и составления карт вклада источников.

– Позволяет оценить влияние промышленного шума.
– Возможность моделирования шума внутри помещения с учетом возникающих вторичных внешних источников шума
– Позволяет оценить влияние авиашума.

Основные функции Sound PLAN по представлению результатов в табличной форме или в виде графики включены в модули оценки статистики и распространения авиашума.

– Используется новая модель оценки ИКАО
– Быстрая обработка данных
– Простая процедура создания новых классов воздушных судов
– Различные параметры, пути пролета, высоты и т.п.

Сертифицировано Агентством по Охране Окружающей Среды Германии



Графическое изображение шумового загрязнения авиашума.

Выводы

Описание вышеизложенных программных продуктов в полной мере отражает их преимущество перед «ручным» расчетом.

Все чаще и чаще специалистам в области архитектурной акустики приходится сталкиваться с проектами, требующих большого количества расчетов. Например: при расчете карты шума города Санкт-Петербург потребовалось учесть около миллиона расчетных точек. Осуществить данный проект без использования программ по расчету шумового загрязнения не представлялось возможным, т.к. «ручной» расчет потребовал бы невероятных трудозатрат.

Безусловно будущее программ по акустическим расчетам определено. Необходимо развивать данное направление в акустике, путем усовершенствования программных продуктов и устранения таких недостатков, как:

- отсутствие расчета шума автостоянок, строительства, авиатранспорта и шума проникающего в помещение и из помещения наружу («Эколог-Шум»);
- тсутствие методики расчета инфразвука («Гарант-Шум»).

ИНДЕКС АВТОРОВ

Andrea Cerniglia	87
Sergio Luzzi	76
Алексеева И.А.	638
Асминин В.Ф.	251
Баженов А.А.	331
Бакланов В.С.	325
Белоусов А.А.	239
Боганик А.Г.	224
Богомолов А.В.	508
Брааш Й.	623
Бурак В.Е.	269
Буторина М.В.	9, 36, 117, 536, 580,
Васильев А.В.	148
Вельбель А.М.	264
Веретина И.А.	410
Вивич Ю.В.	388
Волков А.С.	239
Волковас В.В.	357
Гагарин С.А.	313
Галевко Ю.В.	200
Генкин П.Г.	482, 491
Гладилин А.В.	238, 461
Гончаренко И.А.	382, 410, 424
Грибов С.А.	206
Григорьев В.В.	482
Гужас Д.	628
Гульбинас Р.Ю.	357
Гуринович Г.Л.	615
Давыдов В.В.	231
Дариенко И.Н.	9
Денисов Э.И.	257
Догадов А.А.	238
Дроздова Л.Ф.	331, 338, 529
Дуля А.А.	394
Думинов С.В.	306
Емельянов О.Н.	141
Ермаков А.Д.	649
Ерофеев В.К.	482, 491
Ефанов С.В.	626
Жидков Ю.В.	290
Заплетников И.Н.	290
Зинкин В.Н.	508

Иванов Н.И. 9, 36, 96, 516, 536, 586
Иголкин А.А. 626
Изак Г.Д. 214
Казначеев С.В. 627
Калашникова Н.К. 382, 410, 424
Канев Н.Г. 238, 461
Кац И.Г. 410
Киритёнок А.Ю. 229
Кирпичников В.Ю. 331, 338
Кирюшина Н.К. 367, 372, 625
Клименкова О.И. 382, 424
Кобяков И.Б. 283
Колосов В.М. 491
Колыхалин В.М. 231, 363
Комкин А.И. 275
Кочнев А.П. 160
Кришневский Б.А. 210
Крючков А.Н. 626
Кудаев А.В. 529
Куклин Д.А. 9, 96, 536, 553, 562, 580, 615
Куриленко Ю.В. 180
Курцев Г.М. 586
Лайхтман В.И. 390
Манвелл Д. 623
Марков С.Б. 467
Минина Н.Н. 36, 510, 639
Миронов М.А. 238, 461
Мурзинов В.Л. 245, 251
Неганов С.Ю. 363
Некрасов И.А. 624
Олейников А.Ю. 447
Петров С.К. 482, 516, 523
Пименов И.К. 456, 467
Пирожков М.В. 508
Понофедин И.А. 424
Поспелов П.И. 112
Прокудин И.В. 9
Пузакова А.И. 367, 372, 625
Пшенин В.Н. 467
Рогозинский Г.Г. 239
Родионов Л.В. 626
Романенко Г.А. 623
Рощина Н.В. 206
Руднева Е.А. 410, 424

Рымарь А.И. 344
Сальников Б.А. 627
Сальникова Е.Н. 627
Севаторова И.С. 290
Семин С.А. 441
Смолевский В.М. 456
Соколов К.А. 278
Солдатов С.К. 508
Соловей Н.А. 500
Степанов В.Н. 367, 372, 625
Степанян И.В. 257
Степура В.А. 607
Строканов В.Н. 388
Строков Д.М. 112
Субботина Т.О. 269
Сухарев М.В. 390
Сухорукова И.А. 405
Теребнев А.В. 141
Терехов А.Л. 141
Тимушев С.Ф. 278
Токолов А.Н. 430
Толоконников И.С. 516, 523
Тупов В.Б. 190, 441
Тюрина Н.В. 9, 96, 615
Фесина М.И. 200
Харитонов В.В. 388
Цаплев В.М. 435
Цукерников И.Е. 67, 297, 430
Честнов К.О. 390
Чигалейчик С.А. 390
Чугунков Д.В. 318
Шахматов Е.В. 626
Шашурин А.Е. 586, 597
Щевьев Ю.П. 267
Щеглов А.В. 264
Щепкин А.И. 200
Щит Б.А. 112
Элькин Ю.И. 602
Явленский А.К. 239
Ягнятинский А.Л. 210
Яковлева Е.В. 338
Яхонтов В.И. 350, 354