Научно-практическая конференция с международным участием

Защита населения от повышенного шумового воздействия

Сборник докладов

Санкт-Петербург

21-22 марта 2006 г.

Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ»

СБОРНИК ДОКЛАДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПОВЫШЕННОГО ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Санкт-Петербург
21-22 марта 2006 г.

Под редакцией
докт. техн. наук, проф. Н.И. Иванова
докт. мед. наук, проф. К.Б. Фридмана

Санкт-Петербург, 2006

УДК 628.517.2

Организаторы конференции: Администрация Санкт-Петербурга, ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ», Международный институт звука и вибрации, Союз акустической защиты.

Спонсоры конференции:
ООО «УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ»
ООО «ТРАНСБАРЬЕР»

Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Россия, Санкт-Петербург, 21-22 марта 2006 г.) / под ред. д.т.н., проф. Н.И. Иванова, д.м.н., проф. К.Б. Фридмана – Санкт-Петербург : Балт. гос. техн. ун-т, изд-во ИННОВА, 2015. – 425 с. ISBN 978-5-9906108-9-7.

Сборник докладов подготовлен к конференции «Защита населения от повышенного шумового воздействия», проводившейся 21-22 марта 2006 г. в Санкт-Петербурге. Необходимость проведения конференции обусловлена необходимостью решения проблемы борьбы с шумом в городах, которая приобретает все большее значение. Шум в городах России растет и его воздействие на население нередко становится угрожающим. Решение проблемы проводится по нескольким направлениям: ужесточение требований к источникам повышенного шума и требований к решениям по шумозащите в проектах, законодательные ограничения повышенного шума, введение рыночных механизмов платы за повышенное шумовое загрязнение и т.д. В настоящий сборник включены практически все пленарные и секционные доклады, представленные участниками конференции. В сборнике опубликовано 12 пленарных и 51 секционных докладов и сообщений.

ISBN 978-5-9906108-9-7
© БГТУ «ВОЕНМЕХ», ИННОВА, 2015

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ»

Каменноостровский проспект, д.12, литер А, 1 этаж,
помещение 7Н, Санкт-Петербург, 197101

Тел. (факс) 441-34-80, 441-34-70 E-mail: nevskiy_luch@mail.ru
ОКПО76211797 ИНН 7813318184 КПП 781301001

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ:

- **Инвестирование в строительство многофункциональных комплексов жилого и нежилого назначения**
- **Управление инвестиционными проектами**
- **Управление строительством и инжиниринг**
- **Исполнение функций Заказчика**
- **Строительство многоэтажных паркингов для легковых автомобилей**
- **Оказание услуг по согласованию проектной документации, получению технических условий (электроэнергия, тепло, вода, газ), технадзору**
- **Консультации и оформление пакета регламентирующих и юридических документов по организации и управлению гаражными кооперативами**

ТРАНСБАРЬЕР

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

ЛИДЕР В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ И УСТРОЙСТВУ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

ВАЖНЕЙШАЯ ЦЕЛЬ – УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ И, КАК СЛЕДСТВИЕ, СОХРАНЕНИЕ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ

Производимые шумозащитные экраны имеют различную конфигурацию стойки и наклон козырька. Шумопоглощающая панель может быть из металла с шумопоглощающим элементом, из стеклопластика и комбинированная.

Шумозащитные экраны обладают следующими свойствами: пожаро-взрывобезопасны, устойчивы к агрессивной среде, имеют высокую способность к шумопоглощению, прекрасный внешний вид и легко монтируются.

Помимо шумозащитных экранов ООО «ТРАНСБАРЬЕР» производит дорожные барьерные и мостовые перильные ограждения, металлические профили и поворотные хомуты.

ООО «ТРАНСБАРЬЕР» имеет в своей структуре современную инженерную базу с высококвалифицированными специалистами и высокотехнологичным оборудованием, а также отвечает высоким современным нормам ISO 9001-2001.

Вся изготовляемая ООО «ТРАНСБАРЬЕР» продукция соответствует требованиям ГОСТ 23499-73, СНиП 23-03-2003 «Защита от шума», а также проходит лабораторные испытания и обязательную сертификацию (сертификат соответствия № 030006.024/150-05)

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

Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола, 2
Тел/факс: (812) 449-10-61
e-mail: spb@transbarier.ru

Завод: 142470, Московская область, Ногинский район, пос. Фрязево, ул. Новые Дома, 12
Тел/факс: (495) 702-93-20;
Тел: (257) 3-98-06; (251) 6-33-08
e-mail: transbaryer@emax.ru

www.transbarier.ru

Аттестат аккредитации № SP 01.01.042.029

Наш адрес: 190005, С.Петербург, 1-я Красноармейская 1/3, к. Е5
Телефон: +7 (812) 710-1573
Факс: +7 (812) 316-1559
http://www.ntc-ecology.ru/
ivanov@ntc-ecology.ru

Мы рады представить Вам наш научный центр "Экология, акустика, охрана труда", как одну из наиболее стабильно и плодотворно работающих компаний на рынке услуг в области акустики, экологии и охраны труда. В состав НЦ входят ООО Научно-технический Центр (НТЦ) “Экология”, Испытательная акустическая лаборатория (ИАЛ) НТЦ “Экология”, ООО "Санкт-петербургскй научный экологический центр" (СПНЭЦ), Кафедра “Экология и безопасность жизнедеятельности” Балтийского государственного технического университета (БГТУ) “ВОЕНМЕХ”.

Научный центр осуществляет:

- **Измерения, оценку шума и вибрации** строительных машин, производственного оборудования, всех видов транспорта, на рабочих местах, в производственных и жилых помещениях, общественных и административно-бытовых зданиях, на территории строительных площадок, селитебных территориях, в жилой застройке, на транспортных средствах, в местах производства работ.
- **Расчет**, разработку и оценку эффективности средств снижения шума: **акустических экранов, глушителей шума** различного назначения, **звукоизолирующих капотов и кабин.**
- Разработку разделов **"Оценка воздействия на окружающую среду" (ОВОС)** и **"Охрана окружающей среды" (ООС)**, при создании обосновывающей документации на ведение (расширение, изменение) хозяйственной и иной деятельности, в проектах строительства и реконструкции.
- Разроботку проектов нормативов предельно-допустимых выбросов **(ПДВ)** и временно согласованных выбросов в атмосферный воздух загрязняющих веществ, проектов нормативов предельно-допустимых сбросов **(ПДС)**, проектов нормативов образования отходов и лимитов на размещение отходов **(ПНООЛР)**.
- Разработку **«Паспорта опасного отхода» (ПОС).**
- Разработку **проектов санитарно-защитных зон (СЗЗ)**, определение СЗЗ действующих предприятий, в том числе и по шумовому фактору.
- **Аттестацию рабочих мест**, разработку должностных инструкций для рабочих и служащих.**Проведение измерений** вредных и опасных производственных факторов **(ОВПФ)** для аттестации рабочих мест. Разработку мероприятий по улучшению условий труда.

Содержание

Предисловие 15

Пленарные доклады

Проблема повышенного шумового воздействия на население РФ
Иванов Н.И. 17

Оценка влияния на население повышенных уровней шума по итогам социально-гигиенического мониторинга
Мельцер А.В., Боровков Н.В., Кузнецова Е.Б. 27

О разработке федерального закона и технических регламентов по борьбе с шумом в РФ
Иванов Н.И., Цукерников И.Е. 29

О городской программе борьбы с шумами
Фридман К.Б. 35

Measurements of tyre/road noise and of acoustical properties of porous road surfaces
Malcolm J. Crocker, Zhuang Li, Jorge P. Arenas 40

Опыт снижения шума в г. Москве
Шубин И.Л., Никольский А.И. 58

Контроль шума с помощью новейшей сертифицированной программы для расчета шума SoundPLAN
Буторина М.В., Берндт А., Шаль Й. 66

Опыт применения акустических экранов на МКАД и перспективы их применения на автомобильных дорогах
Поспелов П.И. 77

Расчетные методики для прогнозирования зашумленности в городах
Харди Штапельфельдт, Юлия Неклеса, Йорген Брааш 83

Применение акустических экранов для снижения шума в жилой застройке
Тюрина Н.В. 97

Снижение шума в помещениях
Кирпичников В.Ю., Титов Б.В., Дроздова Л.Ф. 113

Разработка требований к системам шумозащиты в составе ОВОС при проектировании
Пшенин В.Н. 128

Секционные доклады

Три фрагмента из деятельности специалистов
в области технической акустики в постперестроечное время
Кришневский Б.А., Изак Г.Д., Александрова Т.А., Фролов М.В., Сугака Д.П. 137

Вопросы защиты от шума и вибрации
в специальных технических регламентах
по безопасности автотранспортных средств
Галевко Ю.В., Щепкин А.И. 142

Защита населения г. Тольятти
от повышенного шумового воздействия
Васильев А.В. 148

Мониторинг шумового загрязнения
на территории г. Ижевска
Гагарин С.А., Дмитриев В.Р. 155

Проблемы обеспечения санитарных разрывов по фактору шума
от промышленных производств в сложившейся застройке городов
Горин В.А., Даниелян А.С. 159

Проблемы нормативного обеспечения
защиты от транспортного шума
Марков С.Б., Пшенин В.Н. 163

Неспецифическое действие шума на организм:
неблагоприятное влияние на здоровье человека и возможные пути профилактики
Ахметзянов И.М., Редько А.А., Сергеев О.Е. 168

Защита городов от шума компрессорных станций
магистральных газопроводов
Терехов А.Л., Теребнев А.В., Емельянов О.Н. 174

Современные требования к инженерному оборудованию зданий
и измерения акустических характеристик в полузаглушенной камере фирмы «Арктос»
Изак Г.Д., Водолагина А.Г. 180

Мониторинг шума окружающей среды. Новые возможности
Сергеев М.В., Макашов С.Ю. 184

Новое поколение приборов ШИ-01 для аттестации рабочих мест
Арестов С.О., Климов Д.С., Курепин А.Д., Мамаев С.В. 190

Современные приборы для виброакустических измерений
Вишняков А.Н., Куриленко Ю.В. 196

Построение карт распространения шума
с помощью программы Mithra.
Проверка применимости моделей на территории Санкт-Петербурга
Викторов А.Д., Кустова Э. Л. Шуранов Е.В. 202

Исследования уровней инфразвука
от транспортных потоков, движущихся по автомагистралям
Штабинский В.В. 208

Шумовое воздействие газотурбинных установок
Калашникова Н.К., Руднева Е.А., Лазаренко Н.В.,
Гордиенко Т.Н., Веретина И.А., Лемешев В.П.,
Сидоров А.Л., Аверин А.А. 214

Шум тепловых установок
Калашникова Н.К., Руднева Е.А., Лазаренко Н.В.,
Гончаренко И.А., Аболин В.Ю. 218

Снижение шума в строительстве
Минина Н.Н. 225

Снижение шума и вибрации железнодорожных магистралей
Иванов Н.И., Буторина М.В.,Куклин Д.А., Тюрина Н.В.
Тишкина М.В. 235

Опыт проектирования, производства и монтажа
универсальных шумозащитных экранов
Грибов С.А., Рощина Н.В. 241

Улучшение акустического качества зданий
как средство защиты от шума окружающей среды
Ягниатинскис А.Л., Кришневский Б.А. 245

Оптимизация звукопоглощения в замкнутых помещениях
Устинов Ю.Ф., Жулай В.А., Головач К.И., Зеленин Д.А. 250

Звукоизоляция междуэтажных перекрытий с плавающим полом
материалами из вспененного полипропилена Пенотерм
или вспененных полиэтиленов типа Полифом и Изолон
Дубнов Д.А. 256

О влиянии вибропоглощающей прослойки
на звукоизоляцию слоистых ограждений
Кочкин А.А. 265

Изоляция воздушного шума междуэтажными перекрытиями
с полами из деревянных элементов
Горин В.А., Клименко В.В. 270

Оценка изоляции ударного шума конструкциями междуэтажных перекрытий с прокладочными материалами из песка
Сенан А.М. 274

Разработка эффективных звукоизолирующих конструкций с учетом требований ресурсосбережения
Бобылёв В.Н., Тишков В.А., Монич Д.В. 276

Разработка новых строительных материалов с повышенными совмещенными свойствами изоляции ударного шума междуэтажных перекрытий
Кормилицын В.И., Ганиев С.Р., Пустовгар А.П. 283

Теоретические исследования механизма прохождения направленного звука через светопрозрачные конструкции
Бобылёв В.Н., Тишков В.А., Щёголев Д.Л. 286

Исследование двойственной природы прохождения звука через ортотропные конструкции
Бобылёв В.Н., Тишков В.А., Паузин С.А. 292

Исследование многокамерных резонансных глушителей шума для аэродинамических установок
Яхонтов В.И. 298

Информация о шумозащитных клапанах
Веретина И.А., Гордиенко Т.Н., Калашникова Н.К., Лазаренко Н.В., Руднева Е.А., Гончаренко И.А. 306

Защита офисов предприятия от шума, создаваемого технологическим оборудованием
Кирпичников В.Ю., Титов Б.В., Дроздова Л.Ф. 310

Проектирование санитарно-защитной зоны Северного промышленного узла г. Тольятти с учетом требований к шуму и инфразвуку
Васильев А.В. 314

Новые методики расчета эффективности акустических экранов
Тюрина Н.В., Бобровских В.П. 323

Акустическое загрязнение городской среды транспортными потоками
Зальцман Г.К., Копытенкова О.И., Пронин А.П., Плотицын Е.С. 326

Установление и описание физических закономерностей в глушителях шума выпуска двигателей внутреннего сгорания
Иванов Н.И., Дробаха М.Н., Ерофеев В.К., Петров Ю.К. 329

Оценка внешнего шума строительных дорожных машин расчетным методом
Курцев Г.М., Куклин Д.А., Элькин Ю.И. 339

Выбор акустического сооружения
для защиты от транспортного шума
Петрова С.С. 345

Оценка ущерба от загрязнения атмосферы автотранспортом (АТ)
Петрова С.С. 353

Многокритериальная оптимизация шумозащитного комплекса
Петрова С.С. 360

Снижение шума строительных машин
звукоизолирующими капотами
Кудаев А.В. 367

Новые приборы для измерения шума
Фадин И.М., Фадин С.И., Сидоров В.Н. 378

Экспериментальные исследования шума внутри служебного модуля Международной космической станции,
а также акустических характеристик элементов его конструкции
Олейников А.Ю. 381

Экологичная гидроакустическая антенна
Сидоров В.Н., Смирнов Н.М. 393

Соединитель секций гидроакустических антенн
Сидоров В.Н., Смирнов Н.М. 395

Экспериментальные исследования шума
на участке тросообжимных станков
Агапитов В.Я. 397

Экспериментальные исследования шума в рабочей зоне
окрасочно-сушильных камер
Терешкин Б.Ю., Чукарин А.Н. 401

Шумовые характеристики вибрационных станков
Чаава М.М., Чукарина И.М. 406

Акустические характеристики рабочих мест на участке
центробежно-ротационного наклепа труб лонжеронов вертолетов
Шамшура С.А., Чукарин А.Н. 410

Преподавание дисциплины «Строительная акустика» в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете
Боголепов И.И. 413

Акустический имитатор как инструмент обоснования санитарных
норм шумности перспективных строящихся объектов
производственного назначения в жилой зоне
Бубнов Е.Я., Гущин В.В., Шемагин В.А. 421

Предисловие

Сборник трудов подготовлен к конференции «Защита населения от повышенного шума», которая проводится 21-22 марта в Санкт-Петербурге. Необходимость проведения конференции назрела давно. Сама проблема борьбы с шумом в городах приобретает все большее значение, т.к. шум в городах России растет и его воздействие на население нередко становится угрожающим. Решение этой проблемы в нескольких направлениях: в неуклонном продвижении на пути ужесточения требований к источникам повышенного шума и требованиям к решениям по шумозащите в проектах, законодательных ограничениях повышенного шума, введением рыночных механизмов платы за повышенное шумовое загрязнение и т.д. Требует пересмотра ряд устаревших нормативно-технических документов, возникла необходимость в согласованном подходе к решению этой проблемы между контролирующими органами с одной стороны, проектировщиками и строителями с другой стороны. Появился опыт проектирования новых средств защиты от шума, разработаны новые более совершенные программы расчета шума.

Все это требует обмена опытом, публичного обсуждения и нового осмысливания текущих задач. Перечисленные проблемы будут обсуждаться участниками конференции. В конференции принимает участие почти 150 человек из более чем 100 городов РФ (Москвы, Санкт-Петербурга, Краснодара, Нижнего Новгорода, Воронежа, Перми и др.), а также США, Германии, Дании, Латвии и Белоруссии. Устроители конференции стремились как можно более полно отобразить проблему шума в городах, сделать конференцию полезной и интересной. Все пленарные доклады – заказные, на наш взгляд, с наибольшей полнотой освещающие затронутые проблемы в области законодательства, нормативно-технической документации, зарубежного и отечественного опыта, новых акустических технологий. На секциях будут заслушанные доклады, представленные участниками конференции. В настоящий сборник включены практически все пленарные и секционные доклады, представленные участниками конференции. В сборнике опубликовано 12 пленарных и 50 секционных докладов и сообщений.

Надеемся, что материалы из настоящего сборника будут полезны участникам конференции.

Н.И. Иванов, К.Б. Фридман

Пленарные доклады

Проблема повышенного шумового воздействия на население РФ

Иванов Н.И.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Великий французский ученый Луи Пастер образно назвал шум чумой XX века. Но эта проблема, которой человечество вынуждено заниматься и в XXI веке. Почти каждый житель города непрерывно или периодически испытывает различные вредные акустические воздействия, которые не просто вызывают дискомфорт, но и приводят к серьезным заболеваниям. Психические расстройства, сердечно-сосудистые заболевания, ухудшение слуха, ослабление памяти – это далеко неполный перечень действия акустического загрязнения. В результате длительного воздействия шума возникает заболевание, которое медики назвали «шумовая болезнь», признаки которой можно обнаружить у большинства жителей городов. 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. Опасность грозного акустического воздействия велика, недаром Луи Пастер сказал, что человечество когда-нибудь будет вынуждено расправиться с шумом также решительно, как оно расправилось с чумой.

В докладе Европейской комиссии, посвященном проблеме шума на пороге XXI века, который был опубликован в 1997 году, отмечается, что более 20% населения Объединенной Европы страдает от повышенного шума, вызывающего заболевания, а еще более 40% ощущают при действии шума дискомфорт. Уровни таких шумовых воздействий характеризуются величиной более 55-70 дБА. При этом шум в наиболее шумных городах, к числу которых принадлежат Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород и др., находится в пределах 70-75 дБА, что превышает нормы на 15-20 дБА (эквивалентно превышению номы по субъективному ощущению громкости в 3-4 раза). Даже по несколько устаревшим данным Научно-исследовательского института строительной физики (г. Москва) площадь повышенного акустического загрязнения в городе Москва составляет более 29% от общей площади, а число жителей, живущих в зоне повышенного шума, составляет около 3.25 млн. человек, то есть действию повышенного шума подвергается свыше 30% населения города. Исходя из этих данных, а также из результатов различных обследований, можно предположить, что действию повышенного шума в нашей стране подвергаются не менее 40-50 млн человек.

Тревожным фактором является то, что в России, в отличие от стран ЕС, США, Японии, где темпы роста уровня шума в городах, стабилизировались, отмечен рост уровней звука на 5-6 дБА (то есть в 1.5 раза по субъективному ощущению громкости) за последние 10-15 лет.

В чем основная причина явственных успехов стран Запада в решении проблемы шумозащиты? Основное здесь, на наш взгляд, – наличие законов. Первый закон о снижении шума появился в Англии в 1960 г. В течение 60-х–70-х годов законы о шуме были приняты во всех развитых странах. В этих законах содержались следующие положения:

– ограничения различного рода источников шума;
– запрещение ненужных источников шума (например, звуковых сигналов);
– система выдачи разрешений и сертификации шумных работ;
– процедура проверки, экспертиза и рассмотрение жалоб населения на повышенный шум;
– система штрафов и компенсаций за нарушения Закона.

Законы создали правовую основу для обращения в суд за причиненный ущерб, связанный с шумовыми воздействиями, что потребовало от производителей колоссальных усилий для решения проблем уменьшения шума. Страны ЕС тратят до 40 млрд евро в год (около 1% ВВП) на решения проблем борьбы с шумом (речь идет о прямых затратах на установку акустических экранов и специальное шумозащитное остекление).

В результате этих усилий темпы роста шумовой экспансии замедлились и ежегодный рост шума в городах прекратился. Нельзя сказать, что в нашей стране не уделялось внимания этой проблеме. Отсутствие законодательной базы многие годы компенсировалось наличием очень неплохой нормативно-технической документации. Достаточно вспомнить, что именно в нашей стране в 1956 году были приняты первые в мире нормы по шуму. Но в последние 15 лет слабость законодательной базы, наряду с ростом средств транспорта, привела к заметному росту шума в городах России.

Законодательные меры борьбы с шумом базируются на ряде Федеральных законов, к числу которых можно отнести Закон «Об охране окружающей природной среды» (1993г), «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (1999г) и «Об охране атмосферного воздуха» (1999г). В этих законах содержатся общие требования к нормативной базе, в том числе, и по акустическому загрязнению, требования по защите от вредных воздействий при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов хозяйственной деятельности, требования к проведению мероприятий по защите населения от вредных воздействий, а также экономический механизм по обеспечению охраны окружающей среды.

Так в статье 11 Закона «Об охране атмосферного воздуха» отмечается: «В целях определения критериев безопасности…устанавливаются гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха и

предельно допустимые уровни физических воздействий на него». К вредным физическим воздействиям на атмосферный воздух относятся вредное воздействие от шума, вибрации и др. факторов.

Нормативная база в области ограничения воздействия шума содержит следующие основные документы:

- СНиП 23-03-2003. Защита от шума/Госстрой России. – М.: Госстрой, 2004.
- ГОСТ 12.1.003-83* Шум. Общие требования безопасности.
- 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.
- Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», Москва, 2003.

Отметим, что в настоящее время в странах ЕС осуществляется практика принятия Директив Европейского Парламента, которые разнообразны и многочисленны. Например:

- Директива 2003/10/ЕС «О требованиях к безопасности и здоровью рабочих под действием шума»;
- Директива 2002/49/ЕС «Об оценке шума в окружающей среде»;
- Директива 2002/30/ЕС «О правилах и процедурах оценки шума в аэропортах» и др.

Сравнив почти полный список отечественных НТД и выборочный список НТД, принятых в ЕС, нетрудно убедиться, что наша страна в этой области существенно отстает. Сейчас мы приступили к созданию технических регламентов, но пока разработка отдельных технических регламентов по шуму не предусматривается.

Одним из важных требований законов о шуме и др. документов (например, Японский «Закон о шуме») является требование создания карт шума городов. В 80-х годах в нашей стране была проведена большая работа по созданию таких карт. Анализируя эти карты (рис. 1) нетрудно убедиться, что они безнадежно устарели.

Во-первых, за последние 20-летие шум в городах России существенно возрос, а во-вторых эти карты дают акустическое загрязнение только по транспортным магистралям, что не дает полной и объективной оценки акустического загрязнения в городах. В нашей стране необходима работа по созданию новых карт на принципиально новых методических основах.

Отметим, что в нашей стране наметилась потребность в законодательном решении проблемы шума. В крупных городах, например, в Москве и Санкт-Петербурге и др. приняты законы о тишине, например, в СПб этот Закон звучит так: «Об административной ответственности за нарушение тишины и покоя граждан в ночное время на территории Санкт-Петербурга» (2003

г.). Эти Законы затрагивают небольшую часть рассматриваемой проблемы, но положительная тенденция налицо. В Государственной Думе обсуждался закон «О защите здоровья граждан от вредных шумовых, инфразвуковых…воздействий», но этот закон не был принят из-за его несовершенства. Сейчас комитетом по экологии Государственной Думы подготовлен проект Федерального закона «Об охране окружающей среды от акустического загрязнения и защите человека от вредного акустического воздействия», который, на наш взгляд, лишен многих недостатков предыдущего.

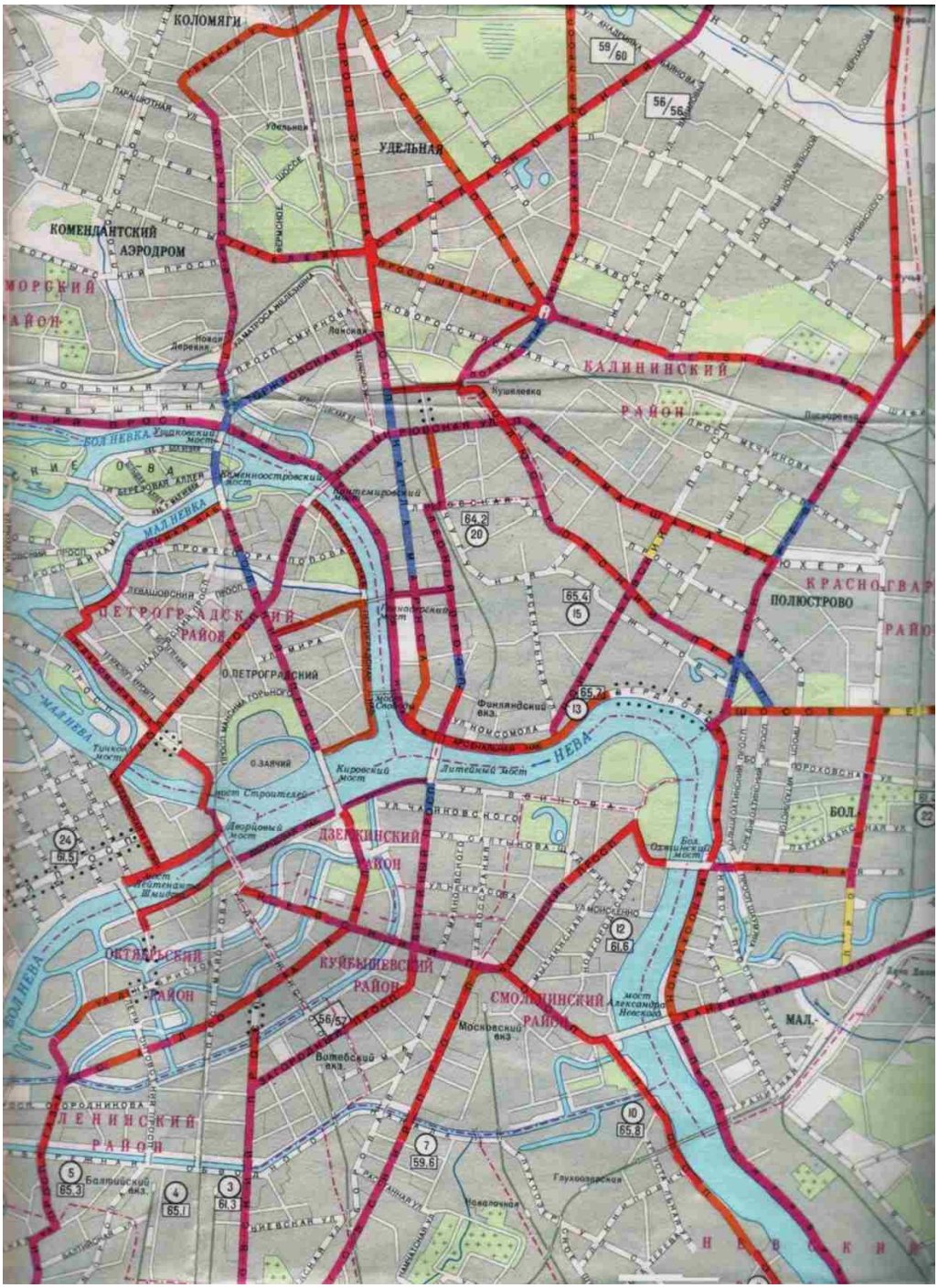


Рис. 1. Карта шума Санкт-Петербурга

Основные негативные акустические воздействия на население РФ связаны с урбанизированными территориями. Россия относится к странам с высоким уровнем урбанизации. Более 70% населения проживает почти в 1000 городах и 2000 поселков городского типа. Основными источниками шума в городах являются:

- автомобильный транспорт, вклад которого в акустическое загрязнение основной и достигает 70-80%;
- железнодорожный транспорт, вклад которого достигает 10%;
- авиационный транспорт, вклад которого может достигать 5-7%;
- строительство (1-2%);
- железнодорожное хозяйство, промышленные предприятия, энергетическое и автотранспортное хозяйство (до 4-5%);
- встроенные в жилые дома объекты (свыше 1%);
- электротранспорт (3-4%).

Все эти данные сведены в табл. 1.

Таблица 1

Источники шума в городах

Источники шума	**Приблизительный вклад в акустическое загрязнение, %**
1. Автомобильный транспорт (грузовые и легковые автомобили, автобусы)	70-80
2. Железнодорожный транспорт (пассажирские и грузовые поезда, электроподвижной состав) и железнодорожное хозяйство (депо, сортировочные станции, вокзалы)	До 10
3. Авиационный транспорт и авиационное хозяйство	До 5-7
4. Строительство (строительно-дорожные и подъемно-транспортные машины)	Около 1
5. Промышленные предприятии , автотранспортное хозяйство, энергетическое хозяйство	До 4-5
6. Электротранспорт	До 3-4
7. Встроенные в жилые дома объекты (магазины, дискотеки и т.д.)	Свыше 1

Приведенные нами цифры вклада в акустическое загрязнение приблизительны и требуют уточнения для каждого города. Необходимо при создании карт шума предусматривать оценки не только суммарного воздействия шума, но и вклада шума от отдельных источников. Это позволит разрабатывать полноценные мероприятия по защите от шума.

В Европе законодательная база для создания карт шума была определена Директивой ЕС 2001/С 297/04, принятой 7 июня 2001 г. 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 и как численные значения в электронном виде. Карты строятся для шума авто-, железнодорожного и авиатранспорта, а также для промышленных предприятий (включая порты). 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 в соответствии с приведенными в Директиве формулами.

На основании западного опыта борьбы с шумом специалистами Германии и США была разработана расчетная компьютерная программа SoundPlan, 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 (рис. 2.). Математические модели, лежащие в основе расчетов, основаны на государственных стандартах европейских стран и США. настоящее время силами специалистов БГТУ «Военмех» производится перевод программы на русский язык и адаптация ее к российским расчетным методикам. Это позволит совместить в одной программе новейший западный опыт программирования и графического представления результатов с современными разработками российских ученых и специалистов в области борьбы с шумом.

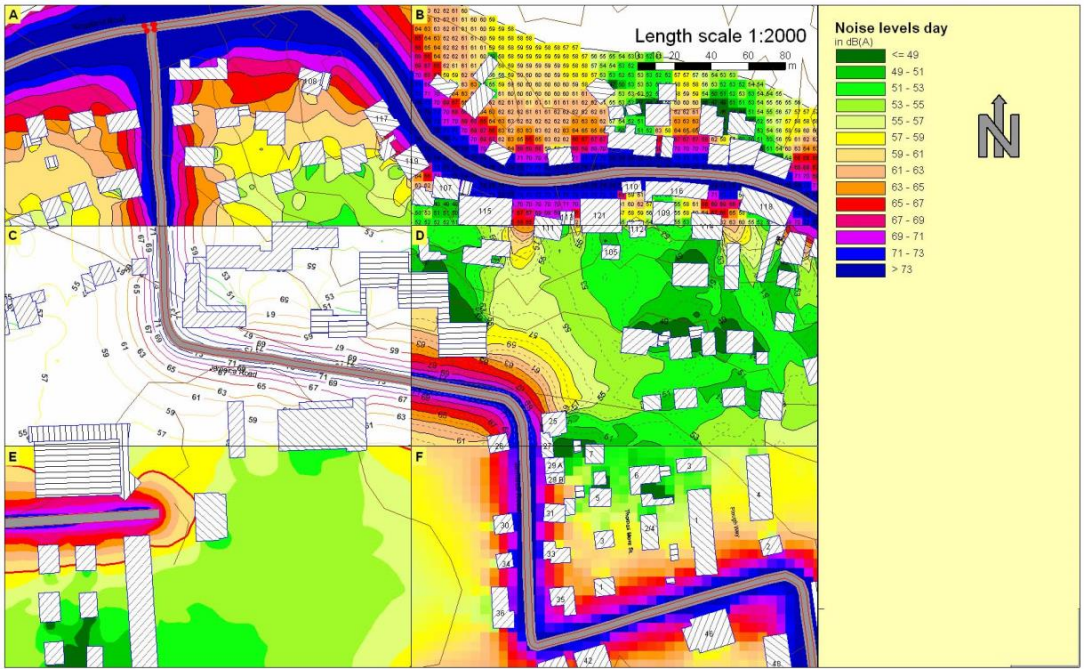


Рис. 2. Карта шума в жилой застройке,
разработанная с помощью программы SoundPLAN

Из всех факторов физических и других видов воздействия на окружающую среду (ОС) шум обладает наиболее сложными процессами образования и распространения, что существенно затрудняет защиту от него. Рассмотрим эти особенности на примере требуемой санитарно-защитной зоны от вредных воздействий автотранспортных потоков (табл. 2).

Воздействие вредных факторов на ОС и требуемая санитарно-защитная зона (СЗЗ)

Таблица 2

Вредный фактор ОС	**Нормируемая характеристика**	**СЗЗ, м**
Вредные химические вещества	ПДК, мг/м^3	30-60 (до 100)
Пыль, сажа	ПДК, мг/м^3	20-30 (60)
Электромагнитные поля	ПДУ, в/м	20-30
Вибрация	ПДУ, дБ	35-60
Повышенный шум	ПДУ, дБА	500-600 (до 1000)

Анализируя данные в табл. 2 нетрудно убедиться, что особенности распространения шума, таковы, что сверхнормативные его воздействия могут иметь место во много раз на более дальние расстояния, чем других вредных факторов. Это объясняется как высокими уровнями шума, генерируемыми многими источниками в городах и специфическими условиями затухания звука (например, всего 3 дБА на удвоение расстояния для транспортных потоков).

Переходя к анализу шумозащитных средств, отметим, что борьба с шумом – очень дорогая вещь. В шумозаглушенных передвижных компрессорных станциях, современных легковых и грузовых автомобилях, реактивных магистральных пассажирских лайнерах стоимость шумозащиты может достигать от 10 до 40% стоимости изделия. Основными мерами по снижению шума в жилой застройке являются зеленые насаждения, акустические экраны и специальное шумозащитное остекление домов. Стоимость 1 км акустического экрана (АЭ) достигает 1 млн евро, а одного шумозащитного окна – 1 тыс. евро. Эти меры могут быть эффективны при массовом использовании (на объекте АЭ устанавливаются километрами и десятками километров, а окна сотнями и тысячами). Первый АЭ, вероятно, был построен в начале 1960-х годов в Калифорнии, сейчас их протяженность достигает десятков тысяч км (например, в Японии свыше 4000 км, в Германии и США по 2000 км и т.д.). Применение перечисленных средств ограничивается не только высокой стоимостью, но и ограничениями по месту установки и эффективностью (табл. 3).

Сравнительная эффективность шумозащиты в городах

Таблица 3

Наименование шумозащиты	Эффективность, дБА
Зеленые насаждения (20 м)	3-4
Шумозащитное остекление	10
Акустические экраны (высотой свыше 3-4 м)	8-15

Нетрудно понять, что при типичной акустической нагрузке в жилой застройке 70-75 дБА снижение шума может быть с большим трудом достигнуто использованием одновременно нескольких из перечисленных мер.

Шумозащита уверенно завоевывает себе место в городах (особенно в Москве и Санкт-Петербурге), но здесь наметились негативные тенденции когда установленные шумозащитные конструкции не обеспечивают требуемого или расчетного шумоглушения. Причины этого как недостаточное внимание к этой проблеме со стороны заказчиков, так и практически отсутствие контроля шумозащиты при монтаже.

Обобщая изложенные основные проблемы, требующие срочного решения:

– принятие Федерального Закона о шуме;
– разработка новой нормативно-технической документации и гармонизации действующей НТД;
– ужесточение требований к источникам шума в городах путем принятия технических регламентов (например, создания экологически чистого автомобиля);
– создание новых карт шума городов;
– осуществление мер контроля за проектированием и монтажом шумозащитных конструкций.

Литература

1. Государственные доклады «О состоянии окружающей природной среды в Российской Федерации в 1990-2004 гг»
2. Directive 2002/30/EC of the European parliament and of the Council of 26 March 2002 on the establishment of rules and procedures with regard to the introduction of noise-related operating restrictions ar Community airports.
3. Directive 2002/49/EC of the European parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise.

4. Directive 2003/10/EC of the European parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arisingfrom physical agents (noise).
5. Экологическое законодательство Российской Федерации. В двух томах / Н.Д. Сорокин, Е.Л. Титова, - СПб.: Управление по охране окружающей среды Администрации Санкт-Петербурга, 2000.
6. СНиП II-12-77. Защита от шума/Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1978. – 74 с.
7. Пособие к МГСН 2.04-97 Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, М: Москомархитектура, 1998. – 50 с.
8. 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. – 94 с.
9. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов / М. Минтранс, 1995.
10. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, Минздрав России, Москва, 1997. – 8 с.
11. Пособие к СНиП 11-01-95 по разработке раздела проектной документации "Охрана окружающей среды" / Госстрой России. – М: ГП «ЦЕНТРИНВЕСТпроект», 2000. – 156 (5) с.
12. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения. М: НИИСФ, Утверждено распоряжением Минтранса России N ОС-362-р от 21.04.2003 г. – 44 с.
13. ГОСТ 12.1.003-83*Шум. Общие требования безопасности.
14. СНиП 23-03-2003. Защита от шума/Госстрой России – М.: Стройиздат, 2004. – 32 с.
15. ГОСТ Р ИСО 9613-2:1996 Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 37 с.
16. ГОСТ 22283-88 Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения– М.: Изд-во стандартов, 1989. – 14 с.
17. Effects of Noise Health. Chapter 3 of a report on Noise and Health prepared by a committee of the Health Council of The Netherlands.

Noise/News International, 1996, September , Volume 4, Number 3, 137-150.

18. Effects of Noise on People. Henning E. von Gierke, Kenneth McK. Eldred, Noise/News International, 1993, June , Volume 1, Number 2, 67-89.
19. Directives, Standards, and European Noise Requirements. Roger F. Higginson, Jean Jacques, William W. Lang, Noise/News International, 1994, September, Volume 2, Number 3, 156-184.
20. Future Noise Policy European Comission Green Paper, Noise/News Intern., 1997, June, vol. 5, N2, p. 77-98.

Оценка влияния на население повышенных уровней шума по итогам социально-гигиенического мониторинга

Мельцер А.В., Боровков Н.В., Кузнецова Е.Б.
Территориальное Управление Роспотребнадзора
по городу Санкт-Петербургу

В соответствии с Постановлением Правительства №426 от 01.06.2000 г. Территориальное управление Роспотребнадзора ведет 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 2005 году оценивается как напряженная на рабочих местах в производственных условиях, в жилой застройке и на селитебных территориях.

Отмечается рост общего числа объектов – источников физических факторов, способных оказывать неблагоприятное воздействие на население. Также отмечается рост жалоб населения на шум.

Структура жалоб граждан Санкт-Петербурга на шум остается стабильной за последние двадцать лет и колеблется от 10% до 20% от общего количества жалоб. В последние три года зафиксирован рост жалоб граждан на шум на 1-2% в год. Такой прирост определяется жалобами на ведение строительных работ и транспортный шум.

Наиболее высокий процент жалоб из общего количества обращений граждан приходится на шум встроенных объектов- предприятий расположенных на 1 этажах жилых зданий (около 70% от общего количества жалоб). Большая часть таких жалоб поступает от граждан, проживающих в центральных районах города, с плотной жилой застройкой и значительным количеством встроенных объектов.

Источниками шума, вызывающими обоснованные жалобы граждан, на предприятиях общественного питания и торговли является вентиляционное, холодильное оборудование, наружные блоки системы кондиционирования и охлаждения. В клубах, ресторанах, дискотеках основными источниками шума является «живая» музыка и шум при эксплуатации звуковоспроизводящей аппаратуры.

Ежегодно увеличивается количество жалоб населения, связанное с ростом жилищного строительства в Санкт-Петербурге, прежде всего на шум строительных работ, эксплуатацию внутридомового инженерно- технического оборудования, на недостаточность звукоизоляции от внутренних и внешних шумов.

Оборудование для выполнения строительных работ имеет высокие уровни шума и, при расположении строительных площадок вблизи жилых домов, работа такого оборудования вызывает обоснованные жалобы граждан. Наибольшее беспокойство жителей вызывает работа дизель-генераторов, компрессорных установок, установок по забивке свай.

Особую тревогу вызывают заявления граждан на шум инженерно-технического оборудования во вновь построенных домах. В Территориальное управление Роспотребнадзора поступают жалобы на шум насосного оборудования, водомерных узлов, тепловых пунктов, встроенных и пристроенных котельных, лифтового оборудовании.

Важным источником повышенных уровней шума на территории Санкт-Петербурга является городской транспорт. Ежегодно увеличивается количество населения, подвергающееся воздействию автотранспортного шума. В прошедшем году - это более 35000 человек. Увеличение уровней транспортного шума связано как с увеличением количества легковых автомобилей, так и строительством новых автомагистралей и развязок в черте города, и кольцевой автомагистрали вокруг Санкт-Петербурга (КАД).

Как показывают результаты контрольно- надзорных мероприятий за проектируемыми и вновь вводимыми объектами, транспортными магистралями за 2005 год, основной причиной выявленных нарушений санитарного законодательства является неудовлетворительное качество проектирования, качество выполнения работ, отсутствие авторского надзора за строительством.

Во всех выявленных случаях нарушений санитарного законодательства Территориальным управлением Роспотребнадзора принимаются необходимые меры в виде административных взысканий, предписаний об устранении выявленных нарушений.

В 2006 году Территориальным управлением планируется разработка шумовой карта Санкт-Петербурга. По предложению Территориального управления Правительством города разрабатывается «Программа Защита от шума в Санкт-Петербурге», что позволит обеспечить эффективные мероприятия по снижению акустического воздействия на население.

Проблема шума является сложной социальной проблемой и для ее решения необходима ответственность в работе проектных институтов, строительных и эксплуатирующих предприятий и организаций.

О разработке федерального закона и технических регламентов по борьбе с шумом в РФ

Иванов Н.И. (1), Цукерников И.Е. (2)
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова (1)
Московский государственный университет печати (2)

В настоящее время требования к акустическим параметрам (шуму, инфразвуку, ультразвуку, вибрации) установлены в различных нормативных документах: санитарных нормах, межгосударственных и национальных стандартах, строительных нормах и правилах. Достаточно полный перечень документов содержится в изданных в 2002 и 2003 годах энциклопедиях «Экометрия» [1, 2].

С введением с 01.07.2003 федерального закона «О техническом регулировании» [3] в стране начала реализовываться реформа технического регулирования, основной целью которой является создание новой системы технического законодательства. Авторы реформы утверждают [4], что ведомственное нормотворчество является неконстуционным, поскольку в соответствии со статьями 8 (п.1) и 55 (п. 3) Конституции Российской Федерации любые ограничения, в том числе технические прав граждан на экономическую деятельность могут осуществляться только на уровне федеральных законов. Единственными документами, в которых могут быть установлены указанные ограничения, в соответствии с законом [3] являются технические регламенты (аналоги директив европейского сообщества), вводимые в действие федеральными законами. В результате разрабатываемая система технического законодательства включает следующие основные элементы законодательных и нормативных актов [4]:

– Федеральный закон «О техническом регулировании»;
– международные соглашения, принятые Российской Федерацией в области технического регулирования;
– система (свод) общих и специальных технических регламентов;
– методики расчетов, испытаний и контроля параметров, принимаемые в соответствии с техническими регламентами Правительством Российской Федерации в течение полугода после принятия соответствующего технического регламента;
– совокупность стандартов – национальных стандартов и стандартов организаций (отраслевых и корпоративных, стандартов ассоциаций, саморегулируемых организаций, отдельных предприятий).

Тот же упрек о неконстуционности может быть сделан и в отношении федеральных и принимаемых на местах документов: правила, региональные законы, распоряжения, ограничивающие права граждан в целях обеспечения в том числе благоприятной акустической среды [5 – 8]. В настоящее время действует Федеральный закон №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [9], регулирующий отношения в области реализации предусмотренных Конституцией РФ прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду. Положения этого закона касаются всех факторов среды обитания, которые оказывают или могут оказывать воздействие на состояние здоровья человека и/или будущих поколений.

В докладе приводятся сведения об отражении требований к акустическим факторам в подготовленных проектах технических регламентов. Кроме того, даются обоснования недостаточности требований закона [9] и необходимости разработки федерального закона, устанавливающего правовые основы обеспечения экологической безопасности в условиях акустического воздействия, производимого источниками техногенного и антропогенного происхождения.

Нормативные требования, регламентирующие акустические параметры, установлены в проекте технического регламента «О требованиях к безопасности объектов технического регулирования, необходимых для обеспечения санитарно – эпидемиологического благополучия на территории Российской Федерации». Эти требования изложены в редакции действующих санитарных норм и государственных стандартов, которые были разработаны во второй половине прошлого века. Отдельные принципиальные положения указанных нормативных документов, включенные в проект технического регламента, не учитывают разногласия, возникшие в процессе их применения, и не соответствуют современным мировым требованиям (установленным директивами Европейского сообщества и международными стандартами).

В качестве примеров таких положений можно привести следующие.

Для шумового фактора. В мировой практике (международный стандарт ИСО 9612 [10]), нашедшей отражение во введенном в сентябре 2005 года изменении к ГОСТ 12.1.050 [11], принято учитывать импульсность и тональность производственного шума посредством корректировки результатов измерений, а не норм, так как импульсный и тональный шум могут действовать лишь в течение некоторого отрезка смены, а нормы распространяются на всю смену. Однако в проекте регламента сохранено 5 дБ снижение норм для указанных видов шума. Даны также два противоречивые определения импульсного шума, приводящие к невозможности отнести к какому-либо виду шумов сигналы длительностью от 0,2 до 1 с.

Для вибрационного фактора. В соответствии с международным стандартом ИСО 2631-1 [12] и введенным в 2004 году ГОСТ 31191-1 [13] основ-

ным нормируемым и оцениваемым параметром является модуль вектора виброускорения. Однако нормы для этого параметра в проекте регламента отсутствуют. Кроме того, различаются весовые коэффициенты для общей вибрации, установленные указанными стандартами (и международным стандартом на средства измерения вибрации ИСО 8041 [14], вводимом в настоящее время в России) и проектом регламента. Сохранено также несоответствие, возникающее при оценке вибрации по корректированному параметру и по спектру: в спектре все значения могут быть в норме, а корректированное значение будет превышать соответствующую норму до 7-8 дБ.

Для инфразвука. Как показано в работе [15] уровень звукового давления, измеренный по шкале шумомера «Линейная», не может использоваться для оценки инфразвукового воздействия как это предусмотрено проектом регламента. Эта шкала шумомера метрологически не определена в инфразвуковом диапазоне ни в отечественном ни в международных нормативных документах. В результате измерения, выполненные разными приборами, могут давать разные значения. Кроме того, полученная величина в ряде случаев может оказаться меньше значений инфразвука в октавных полосах, что не соответствует понятию общего уровня и приводит к неверным выводам о соответствии инфразвука нормам при предусмотренной проектом регламента одночисловой оценке постоянного инфразвука. Перенесена также в проект регламента ошибка в определениях постоянного и непостоянного инфразвука, содержащаяся в действующих СН 2.2.4/2.1.8.583 [16].

Для ультразвука. В настоящее время существует, включена в госреестр и поверяется аппаратура для измерения параметров контактного ультразвука в твердой среде только до октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 кГц. Другой поверяемой аппаратуры ни в России, ни за рубежом нет. Кроме того, авторам не удалось найти в литературных источниках фактов о вредном воздействии контактного ультразвука в диапазоне частот, выше 90 кГц. В связи с этим предельно допустимые уровни для контактного ультразвука целесообразно ограничить только тремя низшими октавными полосами. Кроме того, приведенная в проекте регламента классификация ультразвука по спектральным характеристикам и режиму генерирования ультразвуковых колебаний не используется ни при нормировании, ни при измерении ультразвука и может быть исключена.

Подготовленные проекты остальных технических регламентов в части регулирования вредных физических факторов ссылаются на данный технический регламент.

Относительно федерального закона, устанавливающего правовые основы обеспечения экологической безопасности в условиях акустического воздействия необходимо отметить следующее. В законе «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [9] установлены наиболее общие требования, которые применительно к акустическим факторам носят

ограниченный и зачастую односторонний характер. Так статья 12, устанавливающая требования к планировке и застройке городских и сельских поселений, направлена в основном разработчикам проектов новых населенных пунктов. Аналогично с требованиями к жилым помещениям (ст.23), которые направлены в основном строителям и не учитывают сложившуюся в настоящее время практику размещения в жилых домах предприятий торговли, общественного питания и пр. объектов, вплоть до дискотек.

В законе в силу его общего характера не установлены специфические требования, необходимые для реализации его основополагающих положений при рассмотрении конкретных факторов воздействующих на среду обитания. Применительно к акустическим факторам отсутствует требование к определению территорий регулируемого акустического воздействия. Отсутствует необходимое для обеспечения благоприятной акустической среды требование к фиксации в сложившейся застройке фактического состояния акустической среды (определение карт шумности) и требование не ухудшения ее показателей при планировании и реализации новых или реконструкции действующих объектов, содержащих источники акустического воздействия. Не указана необходимость определения санитарно-защитных зон объектов гражданского, промышленного и сельскохозяйственного назначения не как отдельных самостоятельных объектов, а как комплексов, оказывающих совместное воздействие на окружающую среду. В результате оказывается, что каждый объект в отдельности не оказывает вредного акустического воздействия, а фактические уровни в жилой застройке превышают нормы.

Необходимы специальные требования по организации и проведению строительно-ремонтных работ.

Кроме того, развитие инфраструктуры городских поселений (линии метро, наземного рельсового и автомобильного транспорта, аэропорты) приводит к ухудшению акустической среды в отдельных регионах, и, безусловно, должно быть отражено в такой норме, как предоставление возможности замены жилья или введения показателя, характеризующего степень акустической комфортности проживания с вытекающими отсюда финансовыми последствиями.

Необходимо конкретизировать также правила общежития, существенно влияющие на акустическую среду в жилых помещениях и на прилегающих территориях. Они должны устанавливать ограничения на использование звуковоспроизводящей техники, проведение внутренних ремонтных работ, звуковой сигнализации паркуемых у домов автомобилей и пр. звуковых сигналов, а также шума, создаваемого на территории различными источниками, включая уборочную и мусоровывозящую технику. В этой связи полезно разделить сутки не на два временных периода (дневное и ночное время), как это имеет место в действующих санитарных нормах, а на три, выделив также утреннее и вечернее время, поскольку требования к благоприятной акустической среде в эти периоды различны. Такой подход имеет место в ряде разви-

тых стран (см. например, закон Японии о регулировании шума [17]). Возможно, отдельно следует выделить и выходные дни.

Учитывая разносторонность и многообразие указанных явлений и факторов, требования к обеспечению благоприятной акустической среды должны быть установлены в отдельном федеральном законе. Решение о разработке такого закона принято в комитете по экологии Государственной думы Федерального собрания Российской Федерации в феврале 2005 года.

В этом законе должны быть даны также определения специальным терминам и понятиям, которые необходимо использовать при установлении требований.

Необходимо отметить, что данные требования не могут быть установлены в технических регламентах. Дело в том, что технические регламенты устанавливают требования к объектам технического регулирования, т.е. вводят ограничения, касающиеся прав граждан на экономическую деятельность. Поэтому они не охватывают всего многообразия факторов (в частности источники антропогенного характера), влияющих на качество акустической среды обитания человека.

Литература

1. Контроль физических факторов производственной среды, опасных для человека: Энциклопедия «Экометрия» из серии справочных изданий по экологическим и медицинским измерениям. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
2. Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека: Энциклопедия «Экометрия» из серии справочных изданий по экологическим и медицинским измерениям. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003.
3. Федеральный закон «О техническом регулировании». – М.: Госгортехнадзор России, 2003.
4. Рубцов А.В., Загоруйко С.В. Техническое законодательство в Российской Федерации. Система объектов технического регулирования и технических регламентов. Под общей редакцией А.В. Данилова-Данильяна – М.: Изд-во «Известия» Управления делами Президента Российской Федерации, 2005.
5. Постановление Совмина РСФСР от 25.09.1985 № 415 (ред. от 23.07.93) «Об утверждении правил пользования жилыми помещениями, содержания жилого дома и придомовой территории в РСФСР и типового договора найма жилого помещения в домах государственного, муниципального и общественного жилого фонда в РСФСР».
6. Об административной ответственности за нарушение покоя граждан и тишины в ночное время в городе Москве. Закон г. Москвы от 12.07.2002 № 42 (ред. 29.01.2003).

7. Об административной ответственности за нарушение покоя граждан и тишины в ночное время на территории Санкт-Петербурга. Закон г. Санкт-Пеиербурга от 12.01.2004 № 793-2.
8. О платежах за шумовое воздействие окружающей природной среды в г. Н. Новгороде. Распоряжение главы администрации города от 08.09.1994 № 1968-р.
9. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения. Федеральный закон № 52-ФЗ от 30.03.1999.
10. ISO 9612:1997. Acoustics - Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment.
11. ГОСТ 12.1.050-80. ССБТ. Шум. Измерение шума на рабочих местах (с изменением № 1).
12. ISO 2631-1:1999 Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements.
13. ГОСТ 31191-1-2004 (ИСО 2631-1-97). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1: Общие требования.
14. ISO 8041:2005. Human response to vibration — Measuring instrumentation.
15. И.Е. Цукерников, И.А. Некрасов К оценке инфразвука как вредного производственного фактора. Акустические измерения. Ультразвук и ультразвуковая техника. Атмосферная акустика. Акустика океана. Сб. трудов XYI сессии Российского акустического общества. Т.2. - М.: ГЕОС, 2005.
16. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки: Санитарные нормы. - М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.
17. Noise regulation law. Laws and regulations. Law № 98 of 1968, latest Amendment by Law № 91 0f 2000. Ministry of the Environment, Japan.

О городской программе борьбы с шумами

Фридман К.Б.
ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург»

В настоящее время более 1 млн. петербуржцев живут в условиях повышенного шумового воздействия. Из них ориентировочно около 300 тысяч испытывают воздействие шума от авиации и железнодорожного транспорта, около 700 тысяч человек – автомобильного. Проведенные наблюдения в рамках социально-гигиенического мониторинга за здоровьем жителей нашего города показывают повышенную заболеваемость неврозами, гипертонической болезнью и др. в зонах постоянно регистрируемых сверхнормативных показателей шумового воздействия.

В среднем показатели шумового воздействия в зонах воздействия транспорта составляют от 60 до 70 дБ при нормативном значении 55 дБ – днем и 45 дБ – ночью.

Уровни шума в жилых кварталах прилегающих к наиболее загруженным магистралям составляют 61-67 дБ, что на 6-12 дБ превышает допустимые. Жилые дома вдоль Невского пр., Литейного пр., ул. Гороховой, Заневского пр., Индустриального пр., Малоохтинского пр., ул. Благодатной и др. испытывают повышенную акустическую нагрузку. Жилые дома вдоль пр., Народного Ополчения ул. М. Железняка и др. испытывают комбинированное воздействие железной дороги и автомобильного транспорта. Отдельные жилые кварталы Московского и Кировского районов находятся в зоне воздействия авиационного шума.

Несмотря на то обстоятельство, что шум, вибрация, инфразвук являются компонентами загрязнения окружающей среды, они, к сожалению, не входят в систему учетно-отчетной документации природоохранных органов, за этот вид загрязнения среды не установлена плата, а значит отсутствуют экономические механизмы стимулирования мероприятий по борьбе с шумом, управления в этой области отработанными экологическими методами.

Актуальность рассмотрения данного вопроса трудно переоценить. Несмотря на масштабную работу по реконструкции и ремонту автомобильных дорог в Санкт-Петербурге, направленную в т.ч. и на снижение шума в целом по городу, продолжает поступать значительное количество справедливых жалоб населения на шум и вибрацию.

Увеличение количества транспортных средств обострило шумовую проблему, перевело из разряда гигиенических и социальных в разряд экономических. Достаточно сказать, что только за прошлый год из городского бюджета на выполнение мероприятий по защите от шума на вводимых

транспортных объектах (транспортные развязки) израсходовано десятки млн. рублей. Федеральным бюджетом при строительстве КАДа на мероприятия по шумоглушению предусмотрено к расходованию более 0,5 млрд.руб. и по мнению проектировщиков в перспективе расходы на борьбу с шумом будут возрастать.

При разработке предлагаемого проекта Программы, который выдержал 8 редакций, учтено множество поправок со стороны заинтересованных организаций. Данная Программа не претендует на законченность, в ней определены самые первые шаги.

Основная цель программы – оценка ситуации и создание механизма позволяющего решить данную проблему.

Так, предлагается разработка регионального Закона «Защита от шума в Санкт-Петербурге» и подзаконных актов нормативно-методического характера, что позволит ликвидировать пробелы в этой области. Так, при проведении ремонтно-реконструктивных мероприятий существующей улично-дорожной сети требования к соблюдению гигиенического норматива должны быть скорректированы с учетом сложившейся ситуации.

Важным аспектом Программы является вопрос организации санитарно-защитных зон от объектов – источников физического загрязнения.

Санитарное законодательство регламентирует обязательность создания санитарно-защитных зон от источников шума. Однако, до настоящего времени, по причине финансовых, правовых и организационных сложностей эта работа ведется не на должном уровне, и это в то время, когда в санитарно-защитных зонах только промышленных предприятий проживает более 300 тысяч Петербуржцев.

Администрация объектов не уделяет внимание вопросу организации санитарно-защитных зон, сокращению их размеров лишь потому, что она не платит за необоснованно большие размеры этих зон. Защищая жителей от своих выбросов и шума расстоянием, а не технологией она оправдывает этим свою природоохранную бездеятельность в ущерб городским интересам, т.к. городская территория, попадающая в границы санитарно-защитных зон, выводится из хозяйственного оборота, «омертвляется», в ней нельзя строить объекты жилого назначения, она становится зоной упущенной выгоды.

Так по данным Фонда реконструкции и развития на территории санитарно-защитных зон железных дорог проходящих по территории Санкт-Петербурга можно было бы построить более 9 млн. м^2 жилой площади. К сожалению, механизм экономического побуждения хозяйствующих субъектов к сокращению санитарно-защитных зон – отсутствует. Это отрицательно сказывается как на экономике города, так и на здоровье населения, т.к. при существующем подходе хозяйственниками не рассматриваются вопросы внедрения наиболее перспективных и дорогостоящих технологий защиты населения от вредного воздействия.

В настоящее время на федеральном уровне начато обсуждение законопроекта «О санитарно-защитных зонах», но, к сожалению, и данный проект не содержит экономического стимула минимизации этих зон. По этой причине в Программе нашли отражение мероприятия по организации санитарно-защитных зон.

Решение шумовой проблемы невозможно без представления о реальных уровнях шумового воздействия транспортных объектов без проведения натурных замеров и картографирования территории города.

Поэтому проведение работ по составлению шумовой карты города является одним из главных элементов Программы. Результаты работы позволят не только оценить сегодняшнюю ситуацию, но и дадут возможность спрогнозировать ее, разработать управленческие решения.

Имея представление о шумовой нагрузке, требованиях к организации санитарно-защитных зон от транспортных магистралей, можно, и нужно, решать данную проблему градостроительными приемами, и этому в Программе отведено особое место.

Так впервые в Санкт-Петербурге и в стране был разработан и рекомендован Минздравом России к использованию проект жилого шумозащитного дома. Первый такой дом проектируется и строится на ул. Матроса Железняка в Приморском районе (инвестор «Луч-2»). Указанный дом длиной более 300 м и шириной более 20 м является самым мощным и эффективным защитным экраном от шума железной дороги, проходящей в 50 м от жилого квартала. Мало того, что внутри этого дома будут обеспечены гигиенические требования по шуму и вибрации, но и сам дом обеспечит так называемую «шумовую тень» на существующий жилой квартал и обеспечит защиту от шума более 20 домов.

Следует отметить, что обсуждался вопрос строительства подобных домов на улице Запорожской в зоне воздействия КАД на жилой квартал. Со стороны инвесторов было сделано коммерческое предложение привлечения негосударственных средств на это. К сожалению, администрация строительства КАД вначале заинтересованная в реализации проекта, впоследствии потеряла интерес к этому. В настоящее время рассматривается вопрос строительства подобных домов для защиты от железнодорожного транспорта при реализации проекта «Измайловская перспектива» в Московском районе.

Санкт-Петербургским институтом медико-экологических проблем и оценки риска здоровью (ИМЭПОРЗ) была разработана и просчитана концепция строительства жилого дома – кондоминиума, защищенного от авиационного шума. На наш взгляд необходимо всесторонне рассмотреть возможность реализации такого проектного решения в нашем городе.

В ходе подготовки Программы в адрес Администрации города были сделаны предложения со стороны инвесторов по застройке шумозащитными домами проблемных в шумовом отношении мест на основе экономиче-

ских льгот, например целевого предоставления земельного участка. Видится целесообразность изучить эти предложения.

В программе нашли отражение мероприятия по реализации наиболее распространенного сейчас приема защиты от шума – устройство шумозащитных экранов и специальное остекление квартир попадающих под шумовое воздействие. Несмотря на значительные затраты на эти мероприятия (остекление домов по ул. Кубинской, например, обошлось городскому бюджету в 56 млн. рублей) эта мера широко планируется и на перспективу.

Практика показала, что мероприятия по шумозащите должны планироваться заблаговременно на основе акустического мониторинга, а не только сопровождать ввод транспортных магистралей в эксплуатацию. По этой причине в Программу включены работы по перспективному планированию технических шумозащитных мероприятий жилого фонда. Следует отметить положительный опыт Института «ЛенИНЖпроект» по привлечению к специальному остеклению домов на Малоохтинской набережной фирм-изготовителей стеклопакетов на безвозмездной основе в качестве эффектной рекламной акции.

Наряду с крупными, дорогостоящими проблемами борьбы с шумом от транспорта, существуют и продолжают беспокоить вопросы повышенного шумового воздействия от объектов коммунального назначения: трансформаторных будок, устройств кондиционирования воздуха, лифтов, а так же объектов строительства: работ электрогенераторов, подъемников и пр. Анализируя жалобы граждан следует признать, что реакция жителей города на это пожалуй больше, чем на общегородской шум. Здесь решение вопроса связано с необходимостью жесткого правового регламентирования проведения строительных, инженерных работ в жилом фонде и жесткого контроля и надзора за выполнением этих требований, создания типовых решений по борьбе с бытовым шумом.

Такие решения предусмотрены в Программе в части разработки регионального Законопроекта и подзаконных нормативно-методических материалов.

Что касается регулирования транспортных потоков, ограничения движения большегрузных автомобилей по городу, особенно в ночное время как источников повышенного шума, то в ходе составления проекта Программы специалистами ГИБДД были высказаны возражения, основанные на невозможности одновременного решения проблемы увеличения пропускной способности уличной сети и ограничения движения по ней.

Вместе с тем, наверное, все-таки следует вернуться к этому вопросу после составления карты натуральных шумовых нагрузок и обсуждения конкретных улиц, требующих, как минимум, вечернего и ночного ограничения движения автотранспорта.

Несмотря на использование в ходе работы рабочей группы методов экспертных оценок по определению стоимости мероприятий предлагаемой

Программы, оценить затраты на ее реализацию без детальных расчетов сложно. Ясно, что бюджет города не может и не должен стать единственным источником финансирования шумозащитных мероприятий. Организация работ, условий, правил привлечения к этой работе инвесторов, принуждение хозяйственников к созданию безопасных условий эксплуатации их объектов в городской среде – является задачей Программы.

Ряд позиций Программы уже начал реализовываться (разработаны технические условия нормативно-технической документации, ведется мониторинг эффективности технических мероприятий шумоглушения на реконструируемых автодорогах, обеспечивается научное сопровождение программы и пр.) Однако потребуется достаточный организационный импульс для ее выполнения, особенно в части законодательной инициативы, организации санитарно-защитных зон, вовлечение в эту работу авиаперевозчиков и железнодорожников, а также создания механизмов экономического стимулирования реализации противошумовых мероприятий.

Measurements of tyre/road noise and of acoustical properties of porous road surfaces

Malcolm J. Crocker (1), Zhuang Li (1), and Jorge P. Arenas (2)
Department of Mechanical Engineering,
Auburn University, Auburn, AL 36849, USA (1),
Institute of Acoustics,
Univ. Austral of Chile, PO Box 567, Valdivia, Chile (2)

ABSTRACT

The three main noise sources in modern cars and trucks are due to tyre/road interaction, the power plant and the wind turbulence. Tyre/road interaction noise is receiving increasing attention. The main tyre/road interaction mechanisms consist of: 1) impacts between the tyre tread and the road, which cause radial, tangential and sidewall tyre tread and carcass vibration and consequent noise radiation, and 2) air displacement mechanisms caused by the tyre, the major one probably being the so-called "air pumping" in, or between, the tyre tread and the road surface. In this paper the results of tyre/road interaction noise measured on different types of road pavement surfaces are presented. The results were obtained by means of the close proximity method. In addition, the sound absorption coefficient of dense and porous road surfaces has been measured in the laboratory at Auburn University using core samples with 102 and 153 mm diameter impedance tubes and with an impedance tube mounted vertically in situ on the pavement surfaces. The two different diameter impedance tubes were also mounted vertically on some of the same pavement types and the absorption coefficient of these pavement types was measured in this way too. The peak sound absorption coefficient measured of the fine and coarse mix aggregate porous surfaces suggests that the first peak frequency and peak absorption coefficient magnitude is only slightly different for the two types of porous surfaces. Since the fine mix aggregate porous surface is smoother, it is preferred since it should result in less tyre tread impact noise and thus lower overall tyre noise than the coarse aggregate surface. A porous surface of between 38 and 50 mm thickness is recommended for the type of porous surface examined, if a peak absorption frequency of about 1000 Hz is desired, so as to be most effective at reducing interstate highway noise of automobiles. In addition, porous road pavement surfaces have the further advantage that they drain water well and reduce the splash up behind vehicles during heavy rainfalls.

1 INTRODUCTION

1.1 Noise sources on cars and trucks

The three main noise sources in modern cars and trucks are due to tyre/road interaction, wind turbulence, and power plant[1]. The power unit noise is composed of contributions from the fan, engine, exhaust, and transmission. In addition, the engine noise is composed of contributions from the injection system, intake, and cylinder block[1]. Noise is of course a problem both inside the passenger compartments (interior noise) of vehicles and in residential areas near to the highway on which the vehicles are traveling (exterior noise). In most modern automobiles, the engine and exhaust noise have been sufficiently suppressed so that they are no longer the dominant interior or exterior noise sources. On heavy trucks the engine is normally a diesel and the suppression of its noise is more difficult.

With vehicle noise, regulations are mostly concerned with exterior noise of vehicles and this paper will be concerned mostly with exterior noise. Of course, if the exterior noise is reduced, the interior noise is normally reduced as well, although the relationship may not be quite linear. With modern well designed automobiles, the exterior noise is dominated by tyre noise at almost all speeds, even under accelerating conditions, except for acceleration in the first and second gears. With trucks, however, at speeds up to about 70 km/hr, engine and exhaust noise is dominant under accelerating conditions. But above this speed, tyre noise becomes equally important as engine, exhaust and other power unit related noise sources, particularly as far as the exterior noise is concerned[2]. This fact has been observed experimentally and it has been observed that similar trends exist for the exterior noise of a wide variety of manufactured vehicles and that the exterior noise of automobiles is significantly less than heavy trucks by almost 15 dB at low speed and by almost 10 dB at medium to high speed[1]. One can conclude from the previous discussion that much of the exterior noise emitted from modern cars and trucks, particularly at the medium to high speeds, is caused by tyre/road interaction noise.

Of course the frequency content of noise as well as its magnitude is very important. It has been observed that for automobiles, the A-weighted noise peaks at about 1000 Hz, while for light and heavy trucks the annoying noise peaks at a frequency closer to 1200 to 1600 Hz[2].

In addition, it has been shown that the A-weighted exterior sound levels emitted by passenger cars, light and heavy trucks has not changed very much with time[2]. This is probably because the power of automobiles has increased in many countries with time, particularly in the USA, and it is has been seen that at low and medium speeds that cars are noisier now than in the mid-1970s, even though better knowledge is available now to suppress the noise. As a consequence, there is increasing pressure on vehicle manufacturers to reduce the exterior and interior noise of cars and trucks. These pressures come not only from

environmental concerns but from consumers, who desire to have cars with quieter passenger compartments.

1.2 Types of road surfaces

Paved roads have been in existence for at least 2000 years since Roman times. Obviously, Roman roads created considerable noise by the impacting of the tyre on the uneven surface. Modern road surfaces are normally composed of asphalt or concrete. Several studies have compared the A-weighted sound levels measured on different road surfaces[1,2].

One way to reduce this noise is by the use of porous road pavement surfaces. Such surfaces have the advantage that they not only reduce the tyre/road noise at the point of its generation, but they also attenuate it (and the power plant noise) by absorption of sound as it propagates to nearby residential areas. Such surfaces have the further advantage that they drain water well and reduce the splash up behind vehicles during heavy rainfalls[3].

So far there has been greater use of porous roads surfaces in Europe than in the USA, although there is now increasing interest in their use in the USA[1,4,5].

1.3 Sources of tyre/road interaction noise

It is believed that there are two main sources of noise generated by vehicle tyres in contact with road surfaces. The tyre/road interaction noise generation mechanisms are complicated and beyond the scope of this paper. The main ones consist of: 1) impacts between the tyre tread and the road, which cause radial, tangential and sidewall tyre tread and carcass vibration and consequent noise radiation, and 2) air displacement mechanisms caused by the tyre, the major one probably being the so-called “air pumping” in, or between, the tyre tread and the road surface[6].

2. MEASUREMENTS OF TYRE/ROAD INTERACTION NOISE

There are two approaches for measuring the influence of roadway surface characteristics on the generation of tyre/surface noise: the sound intensity method and the close-proximity (CPX) method. Both methods have been described in ISO draft standards. An advantage of using the sound intensity method is that directivity associated with the sound intensity transducer can reject background noise and aid in mapping the major noise sources. Thus this method can isolate the tyre noise from other environmental noise so that a special test trailer is not required. However, care must be made to suppress the flow turbulence noise experienced at low frequency below about 800 Hz. The advantages and limitations of the sound intensity method can be found in the literature[7,8].

In this study, the close-proximity method was used, so its main characteristics will be discussed in the following sections.

2.1 Close-Proximity (CPX) Method

In the CPX method the noise generated by a standard tyre in an enclosed acoustical chamber is measured by two microphones located about 203 mm from the tyre and 102 mm from the surface of the roadway as shown in Figure 1. The advantages of this system are that it can be used: 1) to determine the noise characteristics of the road surface at almost any arbitrary site, 2) to check compliance with a noise specification for a surface, 3) to check the state of maintenance, i.e. the wear or damage to the surface, as well as clogging and the effect of cleaning of porous surfaces, and 4) as a portable method, requiring little set up prior to use.

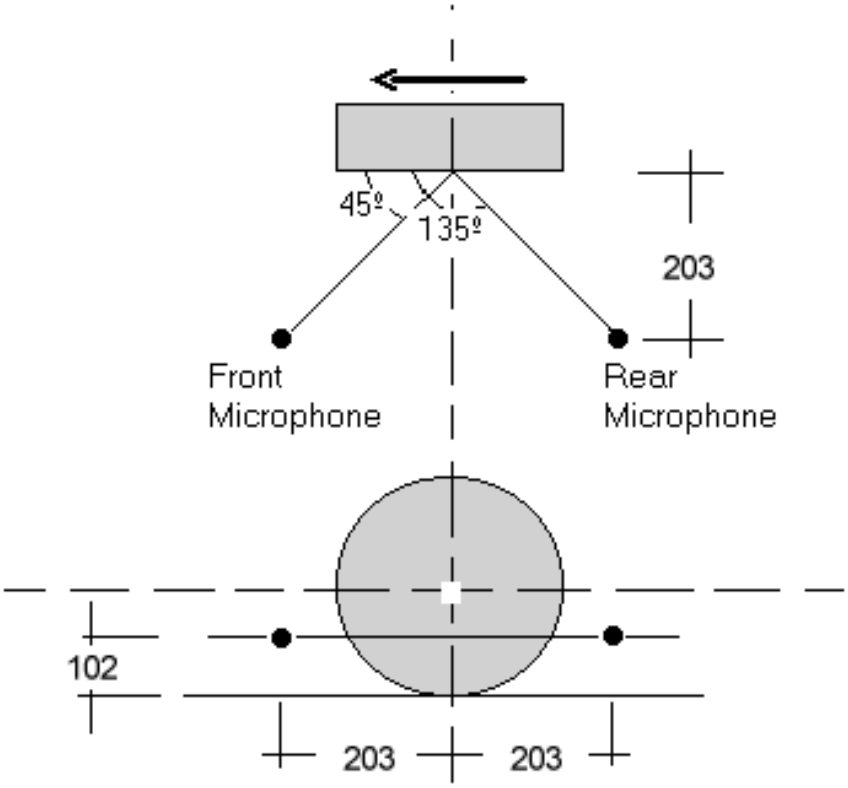


Figure 1. Location of the front and rear microphones in relation to the tyre in the close proximity (CPX) method. Dimensions in mm.

The CPX method described by the ISO standard requires that testing be done at three speeds: 50 km/h, 80 km/h, and 110 km/h. The average speed must be measured with an overall accuracy of better than ± 2 % of the desired value. However, it is strongly advised to attempt to calibrate the speed measuring device in order to achieve an accuracy of better than ± 1% of the indicated value. In addition, the standard requires that air and pavement temperature be meas-

ured. The ISO standard lists four standard tyres: three 185/65R15 and one 135R14. The thread patterns represent two summer tyres, a winter tyre and a block pattern tread. The most common auto tyre in the US is a 215/65R15. Figure 2 shows some standard tyres used in the CPX method[9].

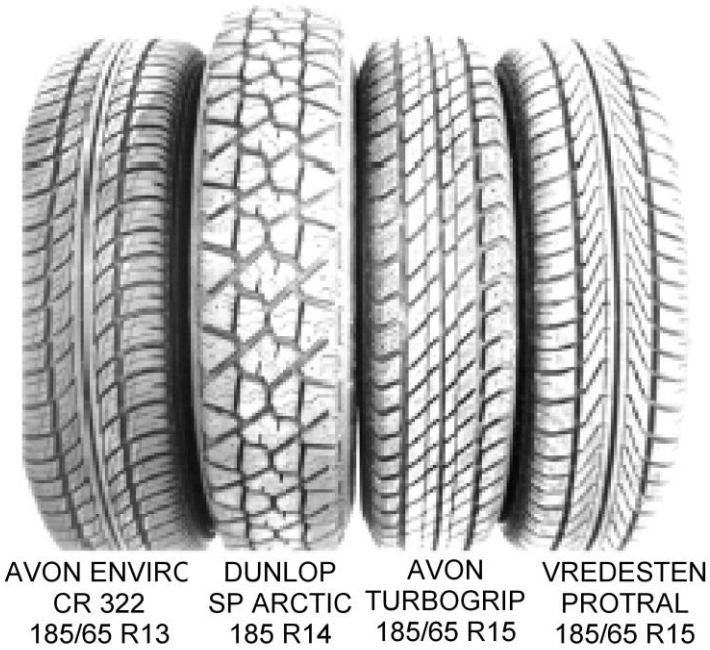


Figure 2. Standard tyres used in the Close Proximity Method (CPX)

In the CPX method the tests are performed with the intention of determining the “Tyre/road sound level”, L_{tr}, at one or more of the nominated reference speeds. This can be met by testing at, or close to one of the reference speeds, or by testing over a wide range and using an appropriate method of normalising for speed deviations.

For each reference tyre and each individual test run with that tyre, the average sound levels over short measuring distances (segments of 20 m each), together with the corresponding vehicle speeds are recorded. The sound level of each segment is normalized to the reference speed by a simple correction procedure. Averaging is then carried out according to the purpose of the measurement (measuring a particular segment or a number of consecutive segments a section). The resulting average sound level for the two microphones at that reference speed is called the “Tyre/road sound level”, L_{tr}. There will be one L_{tr} for each reference tyre and each reference speed.

For the purpose of reporting the acoustic characteristics of road surfaces, the Tyre/road sound levels for the selected reference tyres may be averaged, to give a single “index” which constitutes the final result. This index is called the “Close-Proximity Sound Index (CPXI)” and can be used for comparison of road surfaces.

2.2 Sound Test Trailer

To develop a technique for measuring the noise level produced by different pavement surfaces and to use that technique to evaluate the effects of different types of surfaces on tyre noise, a sound test trailer was built.

The sound test trailer used in this study was built according to design specifications that meet the requirements of ISO Standard ISO/CD 11819-2 for the close-proximity method[10]. Since the suspension of the trailer should be designed in such a way as to have a spring rate and damping coefficient similar to those of the suspension of a car, a straight axle from 1996 Buick Century with complete suspension system was used. The frame was made of carbon steel to support the sound attenuation box. The sound attenuation box was made of light gauge carbon steel panels and it was covered inside with 76 mm Polyester convoluted foam (Alpha Pyramid). This screens the test tyre and the microphones from unwanted noise sources. The foam had an NRC of 0.7-1.05. In addition, a retractable covered rear axle was included for relocation. This rear axle is lowered and retracted with hydraulic cylinders, powered by a 12 volt system. The design weight for tyre static loading was 317.5 kg. The sound test trailer had a frame of total length of 2.44 m and width of 1.22 m. The sound attenuation box placed on this frame is 2.44 m length, 2.44 m wide and 0.915 m height. The drawing of the sound test trailer is shown in Figure 3.

In the sound test trailer, close to the towing ball, a control box with all the valves was included. The test tyre is inflated to 170 kPa ± 10 kPa in cold condition.

The noise generated by the tyre/surface was measured by two ½ inch electric pre-polarized microphones (GRAS 40AD). These microphones have a dynamic range up to 148 dB. The microphones were located about 203 mm from the tyre and 102 mm from the surface of the roadway. The front microphone was mounted at an angle of 45º to the rolling direction and the rear microphone was mounted at an angle of 135º to the rolling direction. Both microphones were separated a distance of 406 mm. The microphones were placed in microphone holders which do not cause too much microphone vibration. The microphones used a windscreen of a type specified by the microphone manufacturer. The microphone set up is shown in Figure 1.

The electric signals from the microphones were fed to a portable four-channel sound analyzer (OROS OR24) located inside the cabin of the towing truck. The sound analyzer performed frequency analysis of the measured sound using third-octave-band resolution, as recommended by the ISO standard. In addition, a photo sensor was placed in the sound test trailer to detect and activate the measuring system. The electric tachometer signal from the sensor was fed to the other channel of the sound analyzer. Figures 4 and 5 show the trailer used for the CPX tyre/road noise measurements. Other designs can be seen in references [11,12].

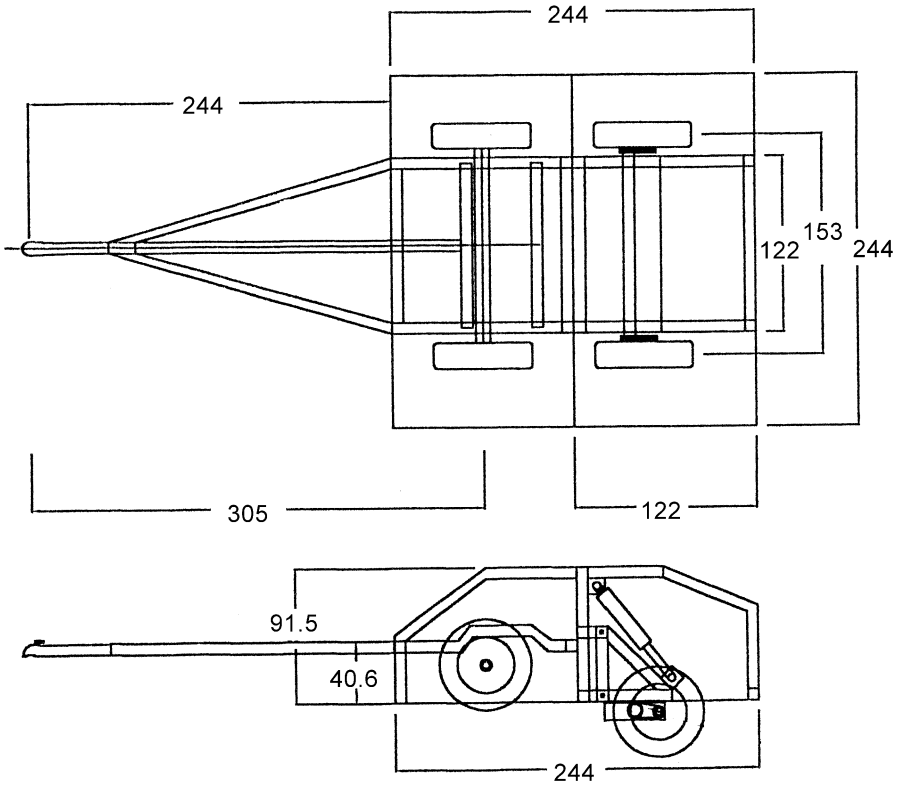


Figure 3. Plan and elevation view of the CPX trailer built at Auburn University. Dimensions in cm.

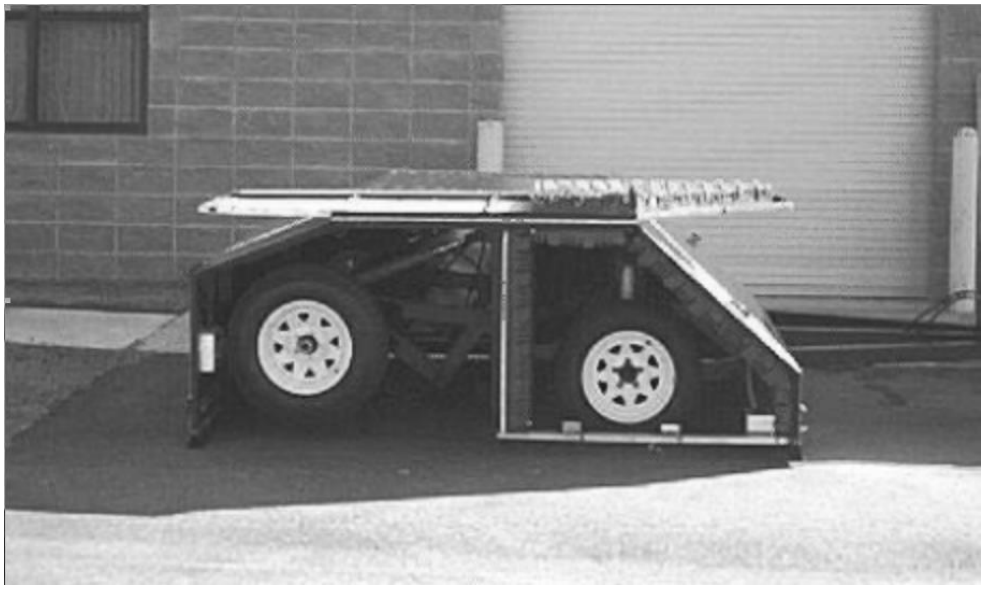


Figure 4. CPX trailer built at Auburn University. View of interior.

Figure 5. Finished View of CPX Trailer Built at Auburn University.

2.3 Calibration

ISO requires that following the warm-up period, the sensitivity of the measuring system be checked following the manufacturer's recommendations. This requires the use of a standard sound source such as a calibrator or pistonphone. This check is repeated at the end of the measurements and at least every four hours of operation. Any deviations are recorded in the test report. If the calibration readings differ more than 0.5 dB between checks, all intermediate measurements are considered invalid. The sound calibration device shall meet the requirements of ICE 60942, Class 1 and be itself calibrated every two years.

There is a need to develop a technique for evaluating the entire system to insure that all of the pieces are functioning. It is suggested that a very smooth surface such as indoor/outdoor carpet 200 feet long might make a good calibration surface. The advantage of this type of system is that it could be used anywhere prior to testing or on a periodic basis.

For measurements of A-weighted overall sound levels the background A-weighted sound level (including any wind noise) should be at least 10 dB below that produced by the tyre under test. For measurements using third-octave-bands, this condition shall be met for each third-octave-band within the range of 315 Hz to 4000 Hz. Measurements which obviously are disturbed by wind gusts or by noise from other sources shall be discarded.

It is instructive to compare the sound absorption results with the CPX tyre noise measurements. Figures 6 to 8 show that on the freeway tyre noise is concentrated usually in a range near to 1000 Hz at speeds up to about 100 km/h.

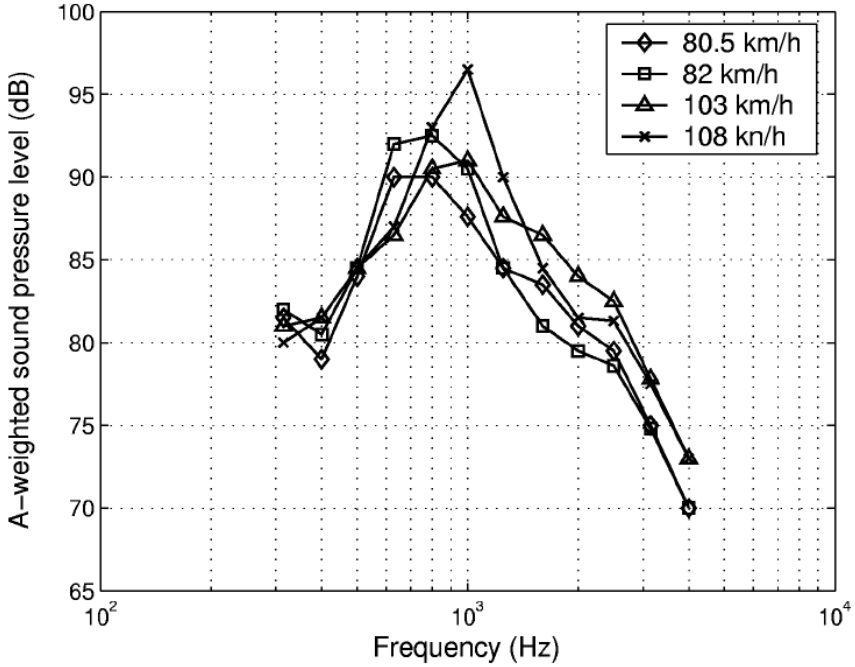


Figure 6. Tyre noise measurements in Asphalt Rubber-Asphalt Concrete friction course made with the CPX trailer at different speeds.

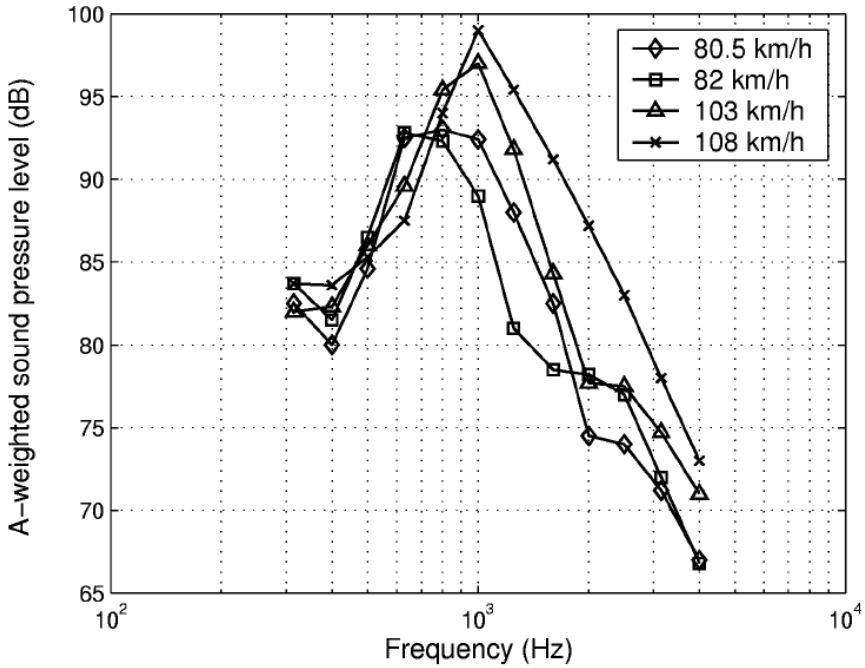


Figure 7. Tyre noise measurements in Asphalt Concrete friction course made with the CPX trailer at different speeds.

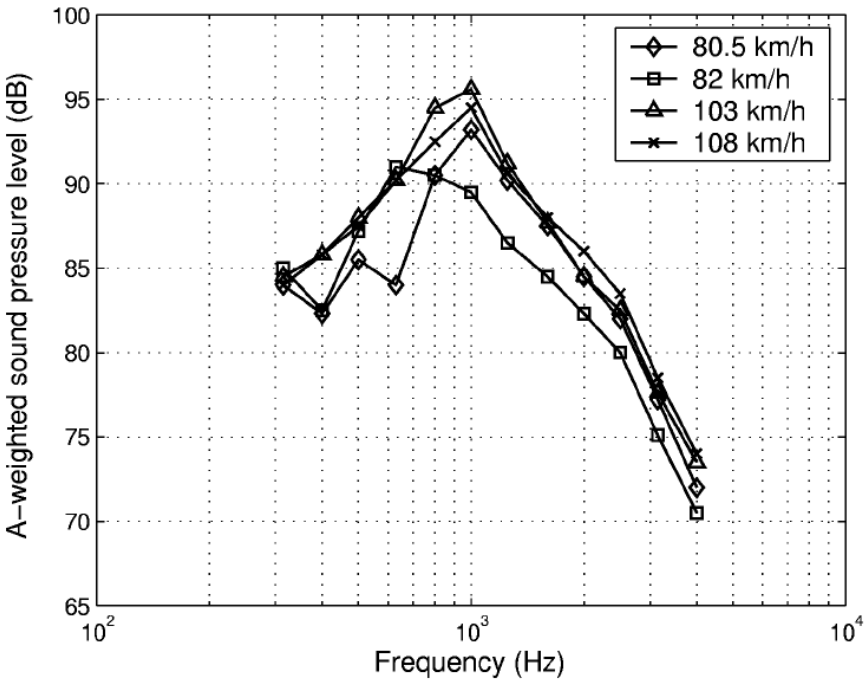


Figure 8. Tyre noise measurements in Stone Matrix Asphalt made with the CPX trailer at different speeds.

3 ACOUSTICAL PROPERTIES OF POROUS ROAD SURFACES

The sound absorption of porous road pavement surfaces is affected by several geometrical and other parameters of the road pavements. These include: 1) the *thickness d* of the porous layer, 2) the *air voids* (V_a) or "porosity", 3) the *air-flow resistance per unit length*, *R*, 4) the *tortuosity*, *q*, and 5) the *coarseness of the aggregate mix* (use of small or large aggregate, etc). For most common dense asphalt mixes, V_a is about 5%, while for new porous mixes, the air void content.

Series	Type of Mix	Thickness of core *d* (mm)	Air Voids V_a	A-weighted Sound Level Measured by the NCAT CPX Trailer
N1	Superpave	76.20	4.82	92.7
N7	Superpave	76.20	3.31	93.9
N13	SMA	76.20	3.00	94.6
S1	Superpave	76.20	3.43	90.9
S4	Superpave	76.20	4.08	92.5
S5	Superpave	76.20	3.90	93.2

3.3.1 Track Samples

The thickness of the hard low porosity pavement samples studied is 76 mm. The first peaks of sound absorption are in the working frequency range of the 153 mm tube. In each of the different hard pavements types studied, six samples were tested using the 153 mm tube and the average absorption coefficient of these samples was calculated. Figure 10 compares the sound absorption coefficients of these different pavements.

As expected, the most porous pavement, N13, has a much higher overall magnitude of absorption than the other pavements. However, the overall absorption coefficient magnitude is much less than one. There are two peaks for all of the pavements, presumably because the thickness of these samples is 76 mm.

The OGFC (open graded fine core) samples that were tested are not as thick as these samples, so only single peaks are observed. The second, third and higher frequency peaks would be above the upper frequency limit of the impedance tube plane wave capability limit. Table 2 lists the properties of the OGFC samples tested. Figure 11 shows some of the OGFC samples that were tested.

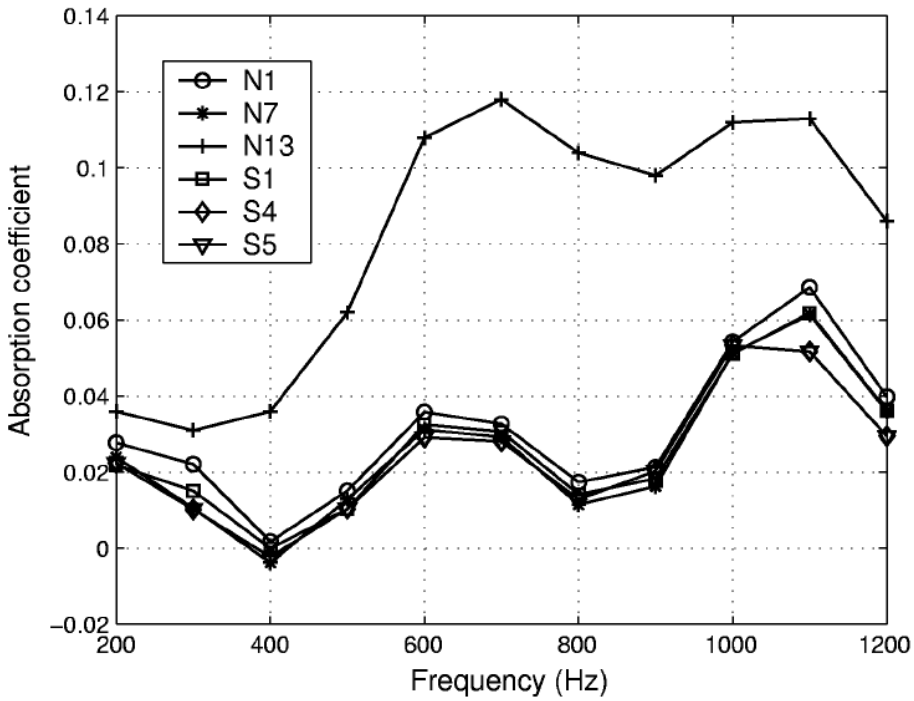


Figure 10. Comparison of the sound absorption coefficients of hard samples measured in the 153 mm tube.

Open graded fine core samples studied.

Table 2

SLAB	Material	Gradation (mm)	Thickness (mm)
A	OGFC	9.5	50.80
B	OGFC	9.5	38.10
C	OGFC	9.5	25.40
D	OGFC	15.9	50.80
E	OGFC	15.9	38.10
F	OGFC	15.9	25.40

Figure 11. OGFC graded coarse 38 mm thick 153 mm diameter porous cores

The sound absorption, mechanical properties and tyre noise were measured for the dense pavement samples. So far the tyre noise has not been measured for the porous surfaces. Tyre noise measurements will be made on such porous surfaces when they have been laid and become available on the test track.

3.3.2 Testing of Laboratory Manufactured Slabs

To be able to evaluate the effect of different thicknesses and gradations of OGFC materials, slabs were manufactured in the laboratory. The slabs consisted of a 63.5 mm dense graded Superpave mix with an OGFC placed on top. Two OGFC gradations were used: a 9.5 mm and a 15.9 mm mix, or referred to here as fine and coarse aggregates. Three different thickness layers were used (25 mm, 38 mm and 50 mm). To have more realistic boundary conditions, the impedance tube was mounted on asphalt slabs vertically, and the sound absorption coefficients were measured by using the same procedure. Figure 12 illustrates the experimental setup used for the in-situ acoustics measurements.

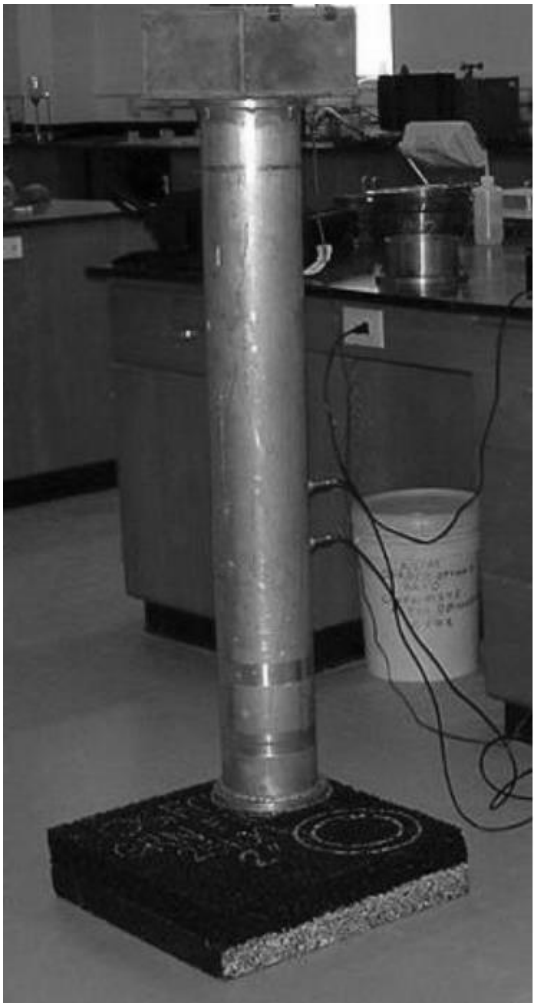


Figure 12. Experimental setup for in situ measurements of sound absorption coefficient of slabs.

To study how serious the sound leakage was from the interface between the tube and slabs, a rubber “O” ring and some grease were applied to seal the metal collar at the lower end of the tube to the pavement slabs. However, we observed that the measured absorption coefficient results for the conditions: (a) no seal, (b) with only “O”-ring, and (c) with “O”-ring and grease, were not very different.

On each slab, the absorption coefficient α at four different positions was measured and an average of the sound absorption-frequency curve for each pavement was calculated. The porosity on the surface is not distributed uniformly over each block. Therefore, the acoustical properties are dependent on the surface location under test. So different sound absorption coefficients were observed at different positions on each pavement block.

The frequencies of the peak sound absorption of the fine aggregate samples are seen to be slightly lower than those of the coarse aggregate samples, and the peaks for the fine aggregate samples are broader. Figure 13 compares the results obtained for the six slabs.

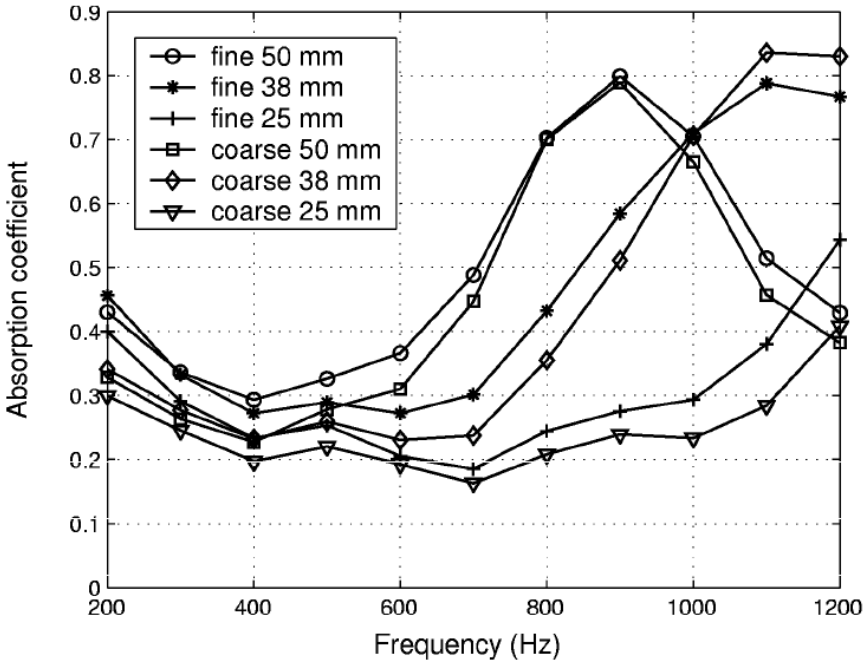


Figure 13. Comparison of sound absorption coefficients of OGFC slabs measured by the 153 mm tube.

The thinner the sample, the higher the frequency that the peak absorption occurs. Especially for the 25 mm thick slabs, the frequency of the first absorption peak is higher than 1250 Hz. So a 102 mm tube was utilized for measurements with these slabs. With the 102 mm tube, the absorption coefficient can be measured up to 1.95 kHz. Then the peaks could be observed that could not be measured with the 153 mm tube.

The pavement area tested with the 102 mm tube is less than one-half of that with the 153 mm tube. So the individual surface properties of the samples have more of an effect on the sound absorption results than when the 153 mm tube is used. After more surface averages were taken, satisfactory results were obtained. The results measured by the 102 mm tube have the same shape and the peaks occur at almost the same frequencies as those measured by the 153 mm tube, even though the magnitudes vary by about 10% (see Figure 14).

After the in-situ tests were completed, cores were cut from the slabs and more measurements of sound absorption were carried out with the impedance tubes. Figure 15 shows the results.

Figure 16 shows a comparison of the absorption coefficients of the fine aggregate pavement samples measured both with in situ tube tests and the two different diameter laboratory impedance tube core tests. For the comparison of the 25 mm thick porous pavements, the 102 mm impedance tube was used. However, for the 38 mm and 50 mm thick porous pavements, the 153 mm diameter impedance tube was used. The results are seen to be very similar considering the different boundary conditions in the different tests.

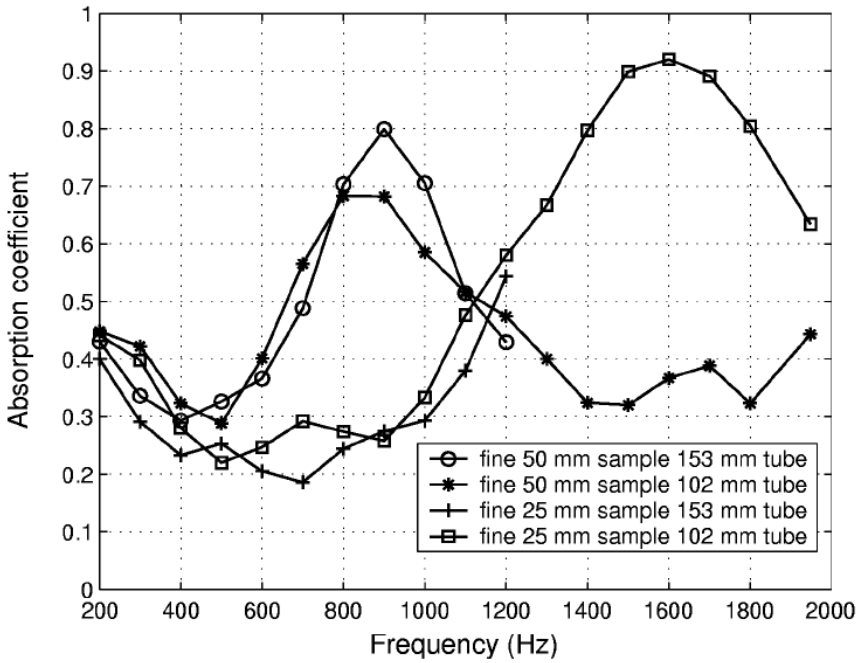


Figure 14. Comparison of sound absorption coefficients of OGFC slabs measured by 153 mm tube and 102 mm tube.

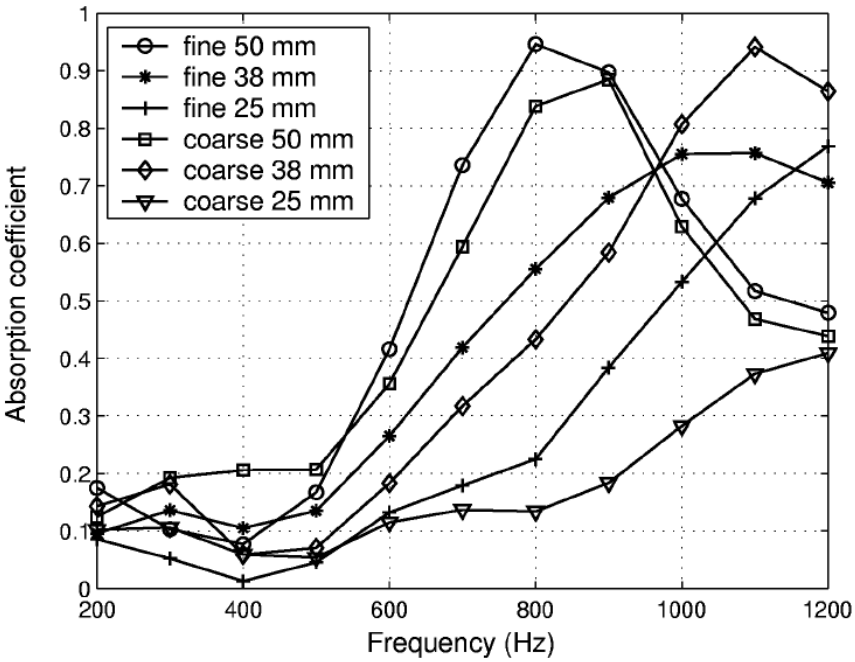


Figure 15. Comparison of sound absorption coefficients of OGFC cores measured in 153 mm tube.

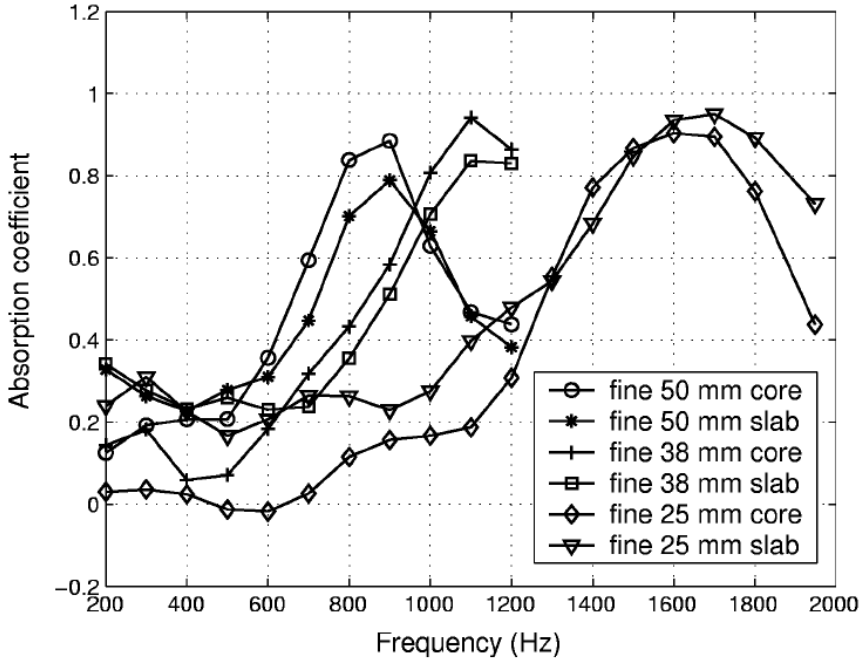


Figure 16. Comparison of the sound absorption coefficient of OGFC aggregated fine slabs and cores.

Comparing Figures 13 and 15 it can be seen that the sound absorption coefficients measured on the slabs and in the impedance tube are very similar, except that the peaks measured in the tube are shifted to a lower frequency by about 10 to 50 Hz. The absorption coefficients of more OGFC samples were measured in the 102 mm tube as well. Similar results were obtained as shown in Figure 13.

In contrast to the dense track samples, the sound absorption coefficients of the OGFC samples are close to one in a particular frequency range. For the 50 mm samples, the peak frequency is about 900 Hz, which coincides with the noise generated by automobiles in interstate travel and the sound absorption peak is fairly broad, so it is attractive to use such a porous surface to reduce noise. Additionally, as we have seen in the preceding sections, the air voids of OGFC samples are much larger than those of the track samples, so that they possess not only good sound absorption properties, but good drainage properties as well.

4 CONCLUSIONS

The results of tyre/road interaction noise measured on different types of road pavement surfaces have been presented. The results were obtained using a sound test trailer and by means of the close proximity method. In addition, the absorption coefficients of dense and porous road surfaces have been measured using core samples with 102 and 153 mm diameter impedance tubes and with an impedance tube mounted vertically directly on the pavement surfaces. The 153

mm tube allows the absorption of a large sample surface to be determined, but only up to a frequency of about 1250 Hz. The 102 mm tube allows the absorption coefficient to be determined up to a frequency of almost 2000 Hz; but because the surface area of the 100 mm core samples is less than half that of the 153 mm cores, more core samples must be measured to obtain confidence in the results. The two different diameter impedance tubes were also mounted vertically on some of the same pavement types and the absorption coefficient of these pavement types was measured this way too. There were some slight differences in the first peak frequency and magnitude of the peak absorption coefficients determined using cores in the two different diameter tubes and when the tubes were mounted directly in situ on the pavement surfaces. These differences are thought to be caused because the test material is not locally reactive but extended reactive, so more of it is involved in absorbing sound for the slab.

Preliminary results of tyre noise measurements on the dense surfaces investigated in the laboratory suggest that the tyre noise is lower on surfaces which have greater sound absorption. But these results are still preliminary and further tyre noise measurements are planned on the porous surfaces also tested for sound absorption in the future. The peak absorption coefficient measured of the fine and coarse mix aggregate porous surfaces suggests that the first peak frequency and peak absorption coefficient magnitude is only slightly different for the two types of surface. Since the fine mix aggregate porous surface is smoother, it is preferred since it should result in less tyre tread impact noise and thus lower overall tyre noise than the coarse aggregate surface. A porous surface of between 38 and 50 mm thick is recommended for the type of porous surface examined, if a peak absorption frequency of about 1000 Hz is desired, to be most effective at reducing interstate highway noise of automobiles.

REFERENCES

1. Sandberg, U. and Ejsmont, J.A., *Tyre/Road Noise Reference Book*, Informex, Sweden, (2002).
2. Sandberg, U., Tyre/road noise – myths and realities. *Proceedings Internoise 2001*, August 27-20, 2001, Hague, The Netherlands, (2001).
3. Wozniak, R., Measurement of tyre/road noise in longitudinal slip conditions. *Proceedings Internoise 2001*, August 27-20, 2001, Hague, The Netherlands, (2001).
4. Sandberg, U., A road surface for reduction of tyre noise emission. *Proceedings Internoise-79*, Warsaw, Poland, pp. 517-520, (1979).
5. Sandberg, U and Descournet, G., Road surface influence on tyre/road noise – Part I., and Descournet, G. and Sandberg, U., Road surface influence on tyre/road noise – Part II, *Proceedings Internoise-80*, Miami, pp 259-272, (1980).

6. van Blokland, G. and Kuijpers, A., Type approval and COP tests for low noise surfaces. *Proceedings Internoise 2001*, August 27-20, 2001, Hague, The Netherlands, (2001).
7. Waser, M. P. and Crocker, M. J., Introduction to the two-microphone cross-spectral method of determining sound intensity, *Noise Control Engineering* 22, 76-85, (1984).
8. Crocker, M.J. and Arenas, J.P., Fundamentals of the direct measurement of sound intensity and practical applications, *Acoustical Physics* 49, 163-175, (2003).
9. Padmos, C. J., The Roemer as an instrument for control of noise production of tyres on highways. *Proceedings Internoise 2001*, August 27-20, 2001, Hague, The Netherlands, (2001).
10. International Organization for Standardization, Acoustics □□Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise, Part 2: The close-proximity method, Draft Standard ISO/CD 11819-2, Geneva, Switzerland: ISO/TC 43/SC 1/WG 33, December, (2000).
11. Sainio P. and Halén I., Noise measurement trailer HUT NOTRA - Means for measuring noise during evolution of road surface. *Proceedings Internoise 2001*, August 27-20, 2001, Hague, The Netherlands, (2001).
12. Ejsmont, J. A., Certification of vehicles designed to perform close proximity tests of tyre/road noise. *Proceedings Internoise 2001*, August 27-20, 2001, Hague, The Netherlands, (2001).
13. Losa, M., Diotisalvi, V., Licitra, G., Marradi, V., Bérengier, M., de Bouaye, R., Cerchiai, M., and Marradi, V., Physical characteristics of road pavements and noise emission. *Proceedings Internoise 2001*, August 27-20, 2001, Hague, The Netherlands, (2001).
14. Hamet, J-F., Deffayet, C. and Palla, M-A., Air pumping phenomena in road cavities, *Proceedings International Tyre/Road Noise Conference*, Gothenburg, STU information no. 794-1990, NUTEK, Stockholm, (1990).
15. von Meier, A., Acoustically porous road surfaces, recent experiences and new developments, *Proceedings Internoise-88*, Avignon, France, (1988).
16. von Meier, A., van Blockland, G. J., and Heerkens, J. C. P., Noise of optimized road surfaces and further improvements by tyre choice, *Proceedings INTROC 90*, Gothenburg, Sweden, (1990).
17. Bies, D.A. and Hansen, C.H., Flow resistance information for acoustical design, Applied Acoustics 13, 357-391, (1980).
18. International Standards Organization, ISO 10534-2: Acoustics □ determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes, Part 2: Transfer-function method, (1998).

Опыт снижения шума в г. Москве

Шубин И.Л. (1), Никольский А.И.(2)
НИИСФ РААСН (1),
ООО «Трансбарьер» (2)

Одним из наиболее широко распространенных и оказывающих весьма неблагоприятное воздействие на население продолжает оставаться внешний городской шум. Нужно отметить, что уровни шума сегодня определяются уровнями транспортного шума, поэтому в данном докладе излагается опыт работы по снижению транспортного шума в г. Москве.

Произошедшие за последние годы социально-экономические изменения в стране оказали, в частности, очень сильное влияние на развитие автомобилизации, особенно в крупных и крупнейших городах. Так, в Москве темпы прироста парка легковых автомобилей в 1991-1995 гг. превысили темпы прироста за 1986-90 гг. более чем в 5,5 раз. Такие же высокие темпы продолжают сохраняться и в настоящее время. Сейчас по улицам Москвы ежедневно передвигается около 2,3 млн. автомобилей, а к 2020 г. их число возрастет до 3 млн., и уровень автомобилизации в Москве составит 300-350 автомобилей на каждую 1000 человек. Это в свою очередь уже привело к сильной перегрузке многих магистралей, частому возникновению автомобильных пробок. В дальнейшем ситуация еще более ухудшится.

Расчеты показали, что в условиях интенсивной автомобилизации доля улично-дорожной сети г. Москвы в общем балансе территорий столицы должна возрасти в ближайшей перспективе до 20% против нынешних 8%, а плотность улично-дорожной сети должна возрасти на 30% и составить 8 км на 1 км^2 городской территории. Это позволило бы стабилизировать загруженность улично-дорожной сети г. Москвы в течение расчетного срока на существующем уровне 0,9-0,95 и заложить фундамент для последующего улучшения условий автотранспортного движения в Москве.

Однако для реализации этих условий требуется увеличить темпы дорожно-мостового строительства в 2-2,5 раза, что при постоянном недостатке финансовых средств представляет очень трудную для реализации задачу.

Таким образом, можно прогнозировать, что, несмотря на предпринимаемые усилия, шумовое загрязнение Москвы в течение расчетного срока будет оставаться весьма значительным.

В этих условиях было бы интересным и полезным проанализировать, какими темпами изменяется шумовое загрязнение Москвы и можно ли каким-либо образом хотя бы затормозить этот процесс?

Для оценки шумового состояния города могут применяться различные акустические параметры и различные методы (например, метод выборочных натурных измерений шума, метод социологического опроса населения о беспокоящем действии шума и др.).

Но наиболее наглядным и удобным для практического применения способом оценки шумового загрязнения города является использование комплексных карт шума, отражающих как настоящее, так и ожидаемое в перспективе шумовое загрязнение.

Важность использования карт шума подтверждается принятием в 2002 г. Европейским Союзом «Директивы по оценке и регулированию шума в окружающей среде», в которой констатируется необходимость иметь для каждого более или менее значимого города собственную карту шума. В Директиве ЕС также подчеркивается необходимость усиления исследований по гармонизации методов разработки карт шума и норм допустимого шума с точки зрения предупреждения раздражающего действия шума и сохранения здоровья городского населения.

Ранее в 60-70 годы карты шума улично-дорожной сети представляли собой план основных городских магистралей, на котором условными линиями были показаны наиболее вероятные шумовые характеристики транспортных потоков в часы «пик» на тех или иных участках транспортных магистралей.

В настоящее время этого мало. На комплексной карте шума должны быть дополнительно показаны зоны акустического дискомфорта вокруг основных автомобильных и железнодорожных магистралей, вокруг промышленных и энергетических объектов. Зона акустического дискомфорта представляет собой по-существу санитарно-защитную зону по фактору шума вокруг транспортной магистрали или промышленного (энергетического) объекта.

В результате комплексные карты шума обладают следующими преимуществами:

- они дают наглядное представление о степени шумового загрязнения города, показывая распределение зон акустического дискомфорта и отражая информацию о шумовых характеристиках основных источников городского шума;
- на основе карт шума производится привязка объектов нового строительства, выявляется целесообразность и размещение наиболее рациональных средств защиты от городского шума;
- сравнение карт шума, составленных по состоянию на различные периоды, позволяет выявить тенденцию и степень изменения со временем шумового режима города в целом и отдельных его районов (микрорайонов).

Комплексные карты шума должны обязательно входить в состав проектной документации при разработке технико-экономических основ развития городов и их генеральных планов развития, а также использоваться при проведении экологических экспертиз проектов планировки и застройки городских территорий.

Одна из первых комплексных карт шума г. Москвы была разработана научно-исследовательским институтом строительной физики (НИИСФ) в середине 80-х годов прошлого столетия. В то время интенсивность транспортного движения на наиболее загруженных автомагистралях Москвы доходила до 7000 единиц в час «пик» при процентной доли грузового и общественного транспорта 6-67% и при средней скорости транспортных потоков 25-70 км/ч. В тот период въезд грузовых автомашин в центр города не ограничивался, и шумовой режим в центре города мало отличался от шумового режима за пределами центра (Садового кольца).

Шумовые характеристики автотранспортных потоков (по ГОСТ 20444-85) составляли 70-83 дБА, а общая площадь зон акустического дискомфорта вдоль автомагистралей составляла свыше 2715 га или 28% от общей площади прилегающих к автомагистралям селитебных территорий. На территории указанных зон акустического дискомфорта в конце 80-х годов проживало около 1,9 млн. человек. Наиболее пораженными шумом являлись территории, прилегающие к Садовому кольцу, МКАД и основным радиальным магистралям.

К 1995 г. интенсивность движения автотранспорта в г. Москве составляла на основных магистралях 1500-9900 ед./ч при доле грузового и общественного транспорта 10-71% и средней скорости транспортных потоков 28-70 км/ч. При этом шумовые характеристики автотранспортных потоков возросли до 72-85 дБА, т.е. в целом по городу в среднем на 2 дБА. Увеличение размеров зон акустического дискомфорта составило около 3% по сравнению с 80-ми годами, а число жителей в зонах дискомфорта возросло до 2,1 млн. человек, т.е. на 10%.

Следует отметить, что улично-дорожные условия и особенности движения автотранспортных потоков для этих двух сравниваемых периодов оставались примерно одинаковыми, и изменения произошли в основном за счет увеличения интенсивности движения автотранспорта. В эти периоды автомобильные пробки на дорогах встречались редко, в настоящее время, они стали на основных магистралях Москвы, к сожалению, регулярными.

В 2004 г. НИИ строительной физики и Департаментом природопользования г. Москвы были проведены измерения шумовых характеристик на основных магистральных и кольцевых трассах Москвы.

Они показали, что шумовые характеристики автотранспортных потоков на участках магистралей между Садовым кольцом и МКАД возросли в среднем на 1,8 дБА по сравнению с предыдущим периодом. Примерно для 25% наиболее загруженных магистралей они возросли на 2,5-4 дБА. Интенсивность движения составляла от 2500 до 120000 ед./ч, доля грузового и общественного транспорта колебалась от 3 до 22%, в среднем 15%. В прежние годы она доходила до 70%. Это лишний раз показывает насколько возросло количество легковых (менее шумных) автомобилей по сравнению с грузовыми автомобилями. Кроме того, исчезло большинство грузовых

автомобилей средней грузоподъемности, которые в основном обслуживали магазины. Теперь вместо них развозка товаров производится с помощью пикапов – фургонов, являющихся менее шумными.

За последние годы в Москве было запрещено движение грузовых автомобилей в центре, было построено Третье транспортное кольцо между Садовым кольцом и МКАД, было введено одностороннее движение на Садовом кольце. Основной поток грузовых автомобилей передвигается теперь по Третьему транспортному кольцу и за его пределами. В результате шумовые характеристики автотранспортных потоков на Садовом кольце заметно уменьшились – на 6-10 дБА по сравнению с 80-ми годами. Если раньше доля грузовых автомобилей на Садовом кольце составляла 15-40%, то теперь она едва достигает 2-8%. Все это привело к тому, что хотя интенсивность движения на Садовом кольце значительно увеличилась (6000-14500 ед./ч) по сравнению с 80-ми годами (4000-9500 ед./Ч), шумность транспортных потоков заметно снизилась.

Запрещение грузового движения в центре Москвы, за исключением особых случаев, привело к уменьшению шумовых характеристик автотранспортных потоков в центральной части Москвы на 3-6 дБА. Меньшее по сравнению с Садовым кольцом уменьшение шумовых характеристик можно объяснить тем, что в центре города очень плотная сеть улиц и перекрестков, большое количество автомобилей, частые пробки, многие улицы узкие и к тому же еще более сужены припаркованными автомобилями. Все это не позволяет развивать автомобилям на многих центральных улицах большую скорость, что также способствует уменьшению их шумности.

Таким образом, наглядно подтверждается, что уменьшение доли грузовых автомобилей в транспортном потоке может заметно снизить его шумность.

В настоящее время в Москве проектируется строительство Четвертого транспортного кольца между Третьим транспортным кольцом и МКАД. Можно предполагать, что перенесение части грузового движения на Четвертое транспортное кольцо уменьшит зоны акустического дискомфорта между Третьим и Четвертым кольцами, т.е. будет происходить как бы «вытеснение» грузового движения и связанной с ним повышенной шумности от центра к периферии Москвы.

Попутно можно отметить еще два резерва уменьшения шумности транспортных потоков, связанные с уменьшением шума в источнике.

Измерения показали, что многие отечественные автомобили и легковые, и особенно грузовые создают часто более высокий шум, чем аналогичные зарубежные модели. Следовательно, конструкторам автомобилей и производящим заводам необходимо поработать над доведением шумности отечественных автомобилей до мирового уровня.

Второй резерв уменьшения шумности автомобилей связан со снижением составляющей шума, обусловленной взаимодействием шины с по-

верхностью дороги, т.е. с ее шероховатостью. Было установлено, что увеличение шероховатости ∇ верхнего покрытия проезжей части приводит к повышению уровня звука отдельного автомобиля при той же скорости в среднем на:

$$\Delta L = 3 \lg (\nabla /0,3) \text{ дБА},$$

при этом шероховатость должна быть в пределах $0,3 \leq \nabla \leq 10$ мм, нижнее значение шероховатости ограничено соображениями безопасности движения (отсутствие проскальзывания шин).

Исследованиями установлено, что при каждом увеличении скорости движения автомобиля вдвое шум от шин может возрастать на 9-13 дБА в зависимости от типа шин и шероховатости дороги, причем для верхнего покрытия из бетона увеличение шумности больше, чем при пористом покрытии.

Относительно недавно был предложен оригинальный способ дополнительного снижения шума от движения автотранспорта (изобретение 95/21964 Междунар. PCT. МКИ^{6}E 01 C 3/02 (S.P/A. № 94/00011). Для этого применяется специальная конструкция дорожного покрытия, которое состоит из верхней части, образованной слоем износа из асфальтобетона с гранулами среднего размера и из нижней части, поддерживающей слой износа. Нижняя часть в свою очередь состоит из множества горизонтальных коробчатых ячеек, расположенных на армированной сетке и заполненных гранулированным материалом, например, щебнем с гранулами 3-5 см. Сверху ячейки покрыты стяжкой из цементного раствора или бетона. Такое дорожное покрытие обладает определенными звукопоглощающими свойствами.

Снижение воздействия шума от автотранспортных потоков должно обеспечиваться не только уменьшением шума в источнике, но и его уменьшением на пути распространения от источника к защищаемому от шума объекту. Здесь наиболее перспективными являются два способа борьбы с транспортным шумом – возведение придорожных шумозащитных экранов и установка на фасадах жилых зданий, больниц, школ, детских садов и т.п., обращенных к магистрали, окон повышенной звукоизоляции.

В последние годы акустические экраны начали более широко применяться как в Москве, так и в других городах. В Москве такие экраны, сооружены, например, вдоль ряда участков МКАД, на международном шоссе при выезде из аэропорта «Шереметьево-2», вдоль Новокаширского шоссе, на развязке МКАД и Ярославского шоссе, на Рижской эстакаде, на ряде участков Третьего транспортного кольца, на площади Гагарина, вдоль железнодорожных линий в пределах Москвы и др.

Эти экраны имеют различную конструкцию – они выполнены из бетона, металла, пластмассы, из звукопоглощающих панелей, из светопрозрачных панелей и т.п., имеют или не имеют в верхней части наклонный козырек. Высота экранов составляет обычно от 3 до 6 м. Измерения показали, что акустическая эффективность экранов находится в пределах 5-11 дБА и зависит как от геометрии экрана, так и от расположения экрана относительно магистрали и защищаемого объекта, от ширины магистрали (т.е. от числа полос движения автотранспорта), от свойств поверхности территории и др. факторов.

Особую роль шумозащитные экраны приобретают при сооружении линий легкого метрополитена, которые прокладываются на опорах на высоте 8-10 м над уровнем территории. К таким линиям относится Бутовская линия легкого метро, которая эксплуатируется уже несколько лет; проектируемая Солнцевская линия легкого метро; линия скоростного трамвая ВДНХ-Тимирязевская.

Для защиты жилых домов, расположенных в непосредственной близости от Бутовской линии легкого метро на расстоянии 30-50 м, по краям несущей конструкции пути были установлены экраны высотой 3 м, причем их нижняя часть до высоты 1,7 м была выполнена из звукопоглощающих панелей, а верхняя часть из светопрозрачных панелей. С учетом того, что соседние с линией жилые дома являются многоэтажными, в проекте были рекомендованы экраны высотой не менее 6 м, дугообразно изогнутые. Однако из-за ограниченности в финансах были построены экраны высотой только в 3 м. Это привело к тому, что требуемый шумозащитный эффект не был достигнут, и начались жалобы жителей на шум от поездов метро.

Проведенные измерения показали, что на верхних этажах соседних с линией метро зданий, где экран уже не перекрывает звуковые лучи от метропоездов, превышения допустимых уровней шума в жилых помещениях при открытых для вентиляции форточках составляют в дневное время 3-7 дБА, в ночное время - 13-17 дБА. При закрытых форточках и окнах превышений допустимых уровней шума в дневное время нет, в ночное время они составляют 3-8 дБА.

Таким образом, из этого примера видно, что несоблюдение проектных рекомендаций может заметно уменьшить ожидаемый шумозащитный эффект от применения экранов. Хотя в действительности бывают случаи, когда выполненный в точном соответствии с проектом экран тем не менее не обеспечивает ожидавшийся шумозащитный эффект. Это связано с влиянием в натуре ряда дополнительных факторов окружающей среды, трудно поддающихся учету.

Экраны целесообразно применять при невысокой застройке (3-5 этажей в зависимости от удаленности здания от магистрали). При более высоких зданиях обычно требуется установка на верхних этажах окон повышенной звукоизоляции. В частности, с помощью таких окон можно было

бы решить проблему с шумом Бутовской линии, однако в данном случае все опять уперлось в проблему нехватки финансовых средств.

Учитывая, что шумовые характеристики транспортных потоков в г. Москве нередко достигают высоких значений (75-85 дБА), а здания часто расположены в нескольких метрах от магистралей, следовало бы более широко применять для защиты от транспортного шума окна повышенной звукоизоляции. В ряде случаев потребовались бы окна, снижающие внешний шум в режиме вентиляции на 30-40 дБА. В настоящее время разработаны и выпускаются промышленностью отдельные типы шумозащитных окон, обеспечивающие такое снижение шума.

В силу того, что шумовое загрязнение г. Москвы, как впрочем и многих других городов России, продолжает оставаться высоким и имеет в целом тенденцию к дальнейшему увеличению необходимо наметить и постепенно осуществлять ряд основополагающих мероприятий:

1. Необходимо разработать новую комплексную карту шума г. Москвы, отвечающую реалиям сегодняшнего дня. Отсутствие такой карты не позволяет архитектурно-планировочным органам столицы проводить адекватную с точки зрения защиты от шума политику в масштабах города, хотя известно, что уже на стадии генплана и стадиях проекта, рабочего проекта районной (микрорайонной) планировки и застройки можно с помощью только планировочных мер уменьшить, и притом значительно, расходы на борьбу с транспортным шумом.
2. Необходимо установить систему мониторинга за шумностью транспортных средств и транспортных потоков для г. Москвы. Зарубежный опыт показывает, что при организованном мониторинге шума можно найти пути его снижения на 3-5 дБА при тех же мощностно-скоростных показателях.
3. Необходимо ввести в качестве обязательного элемента при проведении техосмотра автомобилей проверку их шума на соответствие ГОСТ 19358-85 «Внешний и внутренний шум автотранспортных средств. Допустимые уровни и методы измерений». Целесообразно также разработать Московские региональные нормы на допустимые уровни шума автотранспортных средств различных категорий.
4. Продолжить работу по строительству Четвертого транспортного кольца, радиальных улиц-дублеров основных магистралей, по рекомендации и расширению основных транспортных улиц и дорог, по упорядочению организации транспортного движения в г. Москве, учитывая, что запрет на грузовое движение в центре, введение на Садовом кольце и ряде улиц одностороннего движения дало заметный положительный эффект.
5. Создать законодательно-правовую базу, которая заставляла бы владельцев личного транспорта, а также все предприятия, организации и фирмы, эксплуатирующие транспортные средства сознательно стре-

миться к уменьшению создаваемого их техническими средствами внешнего шума до технически достижимых пределов.

6. Создать в Москве общегородскую автоматизированную систему управления движением транспорта, охватывающую практически всю магистральную сеть улиц, включающую в себя координируемое светофорное регулирование, мониторинг транспортных потоков, оперативное информирование участников дорожного движения об особенностях транспортного движения на том или ином участке.
7. Создать в Москве сеть стационарных и передвижных постов по шумовому мониторингу столицы.
8. Шире использовать внедрение средств защиты от шума в виде акустических экранов в сочетании с шумозащитными и окнами.
9. Обратить внимание Правительства Российской Федерации и Правительства г. Москвы на включение в перечень актуальных федеральных целевых научных программ - программу «Защита от шума городов».

Важную роль в борьбе с шумом в городах и, в частности, с транспортным шумом, играет нормативно-правовая деятельность. В связи с нарастанием шумовой угрозы здоровью городского населения, ухудшением комфортности проживания многие страны Европы и Америки приняли законы по охране окружающей среды и уменьшению вредного воздействия транспортного шума на население.

В Российской Федерации в последнее время был принят ряд законов, относящихся, в частности, и к проблеме транспортного шума:

- Закон РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 19.04.91 г.;
- Закон РФ «Об охране окружающей природной среды» от 19.12.91 г.;
- Закон РФ «О защите прав потребителей» от 07.02.02 г.;
- Закон РФ «О сертификации продукции и услуг» от 10.06.93г.;
- Федеральный закон «О техническом регулировании»;
- Закон «О регулировании состояния акустической среды в г. Москве»;
- готовится к принятию Федеральный Закон «Об охране окружающей среды от акустического загрязнения и защите человека от вредного акустического воздействия»;

Можно надеяться, что наличие и продолжающее совершенствование нормативно-правовой базы, дальнейшее проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и организационно-планировочных работ позволят уменьшить остроту шумовой проблемы в г. Москве, сдержать дальнейшее возрастание уровней транспортного шума и улучшить экологическое состояние столицы.

Контроль шума с помощью новейшей сертифицированной программы для расчета шума SoundPLAN

Буторина М.В. (1), Берндт А. (2), Шаль Й.(2)
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова (1),
SoundPLAN LLC, США – Германия (2)

Введение

Автотранспортные магистрали являются наиболее распространенным и интенсивным источником шума в мегаполисе. Территория, на которой уровни шума автотранспорта значительно превышают допустимые значения, может простираться вглубь застройки на 350 м от внутриквартальных улиц и на 1,5 км от автомагистралей. В результате более четверти населения большого города, где жилые здания вплотную примыкают к проезжей части, оказывается под воздействием повышенного уровня шума. Негативное влияние шума проявляется в нарушениях нервной и сердечно-сосудистой деятельности. После 10 лет проживания в условиях постоянного воздействия шумов с уровнем 80 дБА и выше (что соответствует уровню шума, создаваемому интенсивным движением по четырехполосному городскому проспекту) отмечается значительный рост общей заболеваемости населения.

Контроль акустической нагрузки на население осуществляется на стадии проектирования транспортной магистрали при помощи оценки ожидаемых уровней шума. Основными этапами оценки шума проектируемых или реконструируемых автодорог являются:

- определение ожидаемых уровней звука транспортного потока (или шумовой характеристики транспортного потока);
- определение ожидаемых уровней звука у наиболее близко расположенных жилых зданий;
- оценка расстояний, на которых уровни шума, генерируемые транспортным потоком, снизятся до предельно допустимых уровней.

Важно отметить, что, согласно СНиП 23-03-2003 «Защита от шума», оценка уровней шума, создаваемых автодорогой, производится по уровню звука (в дБА), который наиболее точно отражает воздействие транспортного шума на организм человека. Такая интегральная оценка шумового воздействия позволяет также наглядно представить результаты расчетов в виде карт шума, которые являются неотъемлемой частью акустического расчета согласно СНиП 23-03-2003.

1. Российский опыт построения карт шума

Для крупнейших городов России, например, Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Новосибирска и др. были созданы карты шума. Составление карт шума базировалось на данных многочисленных акустических измерений, поэтому эти карты не могут в полной мере отобразить акустическую обстановку в городах. Рассмотрим особенности таких шумовых карт, а также акустическое состояние городов на примере Санкт-Петербурга. Рассмотрим акустическую карту Санкт-Петербурга, составленную в 1991 г. по результатам инструментальных замеров (рис. 1).

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 или 2-5 раз по субъективному ощущению громкости.

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. по некоторым данным шум на основных магистралях возрос за эти годы на 4-5 дБА (т.е. в 1,5 раза) из-за увеличения количества автомобилей. 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.

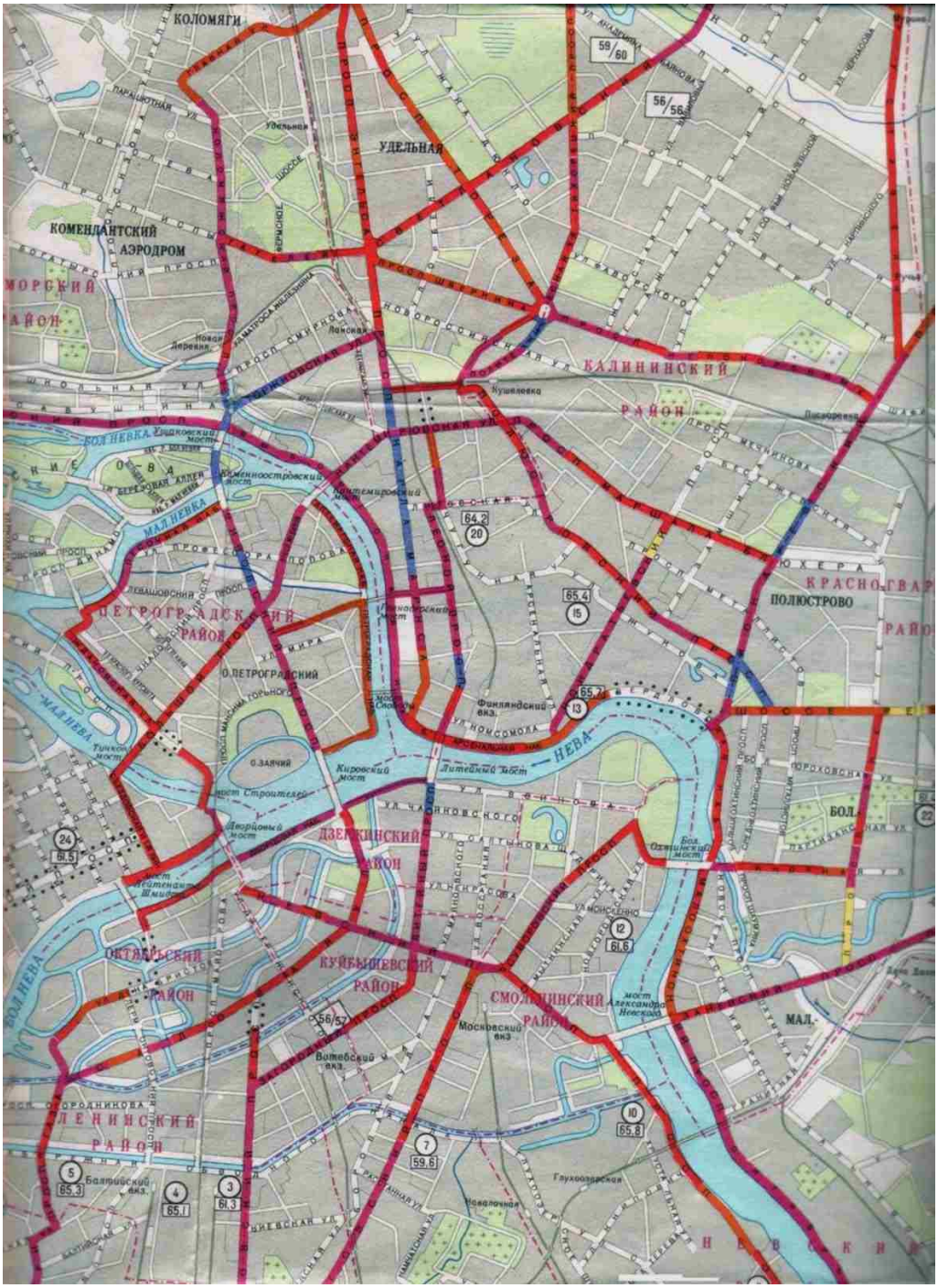


Рис. 1. Карта шума основных транспортных магистралей Санкт-Петербурга (1991 г.). Составлена по результатам замеров

Итак, к основным недостаткам данных о шуме в городе следует 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 го-

родской 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 по территории жилой застройки.

Выходом из этого положения может быть разработка расчетных моделей, адекватно описывающих акустическую ситуацию в условиях городской застройке. Поэтому необходимы точные методики, позволяющие с минимальной погрешностью оценить уровень шума в застройке. Как показывают исследования, существует множество расчетных методик, дающих погрешность расчетов в 5-7 дБА. Не существует единой стандартизованной методики расчета уровней шума, которая удовлетворяла бы как проектировщиков, так и контролирующие органы. Результаты расчетов зачастую противоречат друг другу. Этот факт вызывает конфликтные ситуации при планировании и сдаче новых объектов особенно транспортного комплекса.

На основании российских СНиПов создаются программы для расчета карт шума. Однако российские программы позволяют представить карты шума лишь в виде изолиний равного уровня звука. К тому же российские расчетные программы не всегда охватывают весь спектр источников. Как правило, в них отсутствует методика для определения шума железных дорог или аэропортов.

На рис. 2 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.

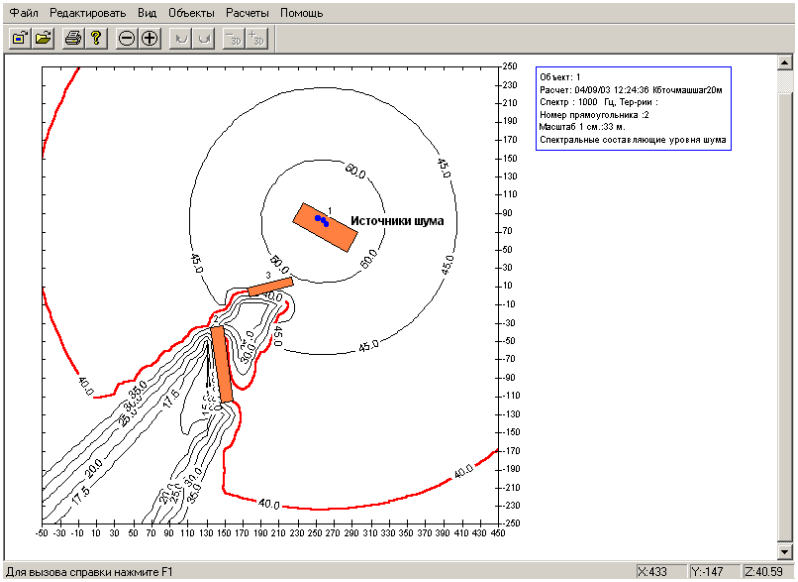


Рис. 2. Карта шума с нанесением линий равных уровней звука (современная российская программа расчета)

2. Западный опыт составления карт шума

В Европе законодательная база для создания карт шума была определена Директивой ЕС 2001/С 297/04, принятой 7 июня 2001 г. 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 и как численные значения в электронном виде. Карты строятся для шума авто-, железнодорожного и авиатранспорта, а также для промышленных предприятий (включая порты). 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 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.

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 представляться в службы мониторинга.

Следует отметить, что в настоящее время в Комитете по экологии Государственной Думы подготовлен Закон «О защите населения РФ от повышенного шума», в котором находит отражение западный опыт по разработке карт шума.

На основании западного опыта борьбы с шумом специалистами Германии и США была разработана расчетная компьютерная программа SoundPlan, 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 как малой территории, так и таких комплексных объектов со многими источниками шума как мегаполис (рис. 3). При этом карта шума может быть представлена как в виде зон с различными уровнями шума, так и с помощью линий равного уровня звука, либо при помощи комбинации обоих методов. 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. Математические модели, лежащие в основе расчетов, основаны на государственных стандартах европейских стран и США.

Следует отметить, что западные методики не всегда отражают реальные условия, свойственные России. Отличие результатов, полученных при помощи российских и западных методик, достигает 10 дБА. При этом результаты, полученные при помощи российских методик ближе к российским экспериментальным данным. Поэтому при применении западных программ следует с осторожностью относиться к полученным результатам.

В настоящее время силами специалистов БГТУ «Военмех» произведен перевод программы SoundPLAN на русский язык и адаптация ее к российским расчетным методикам (СНиП II-12-77, СНиП 23-03-2003, Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов и др.).

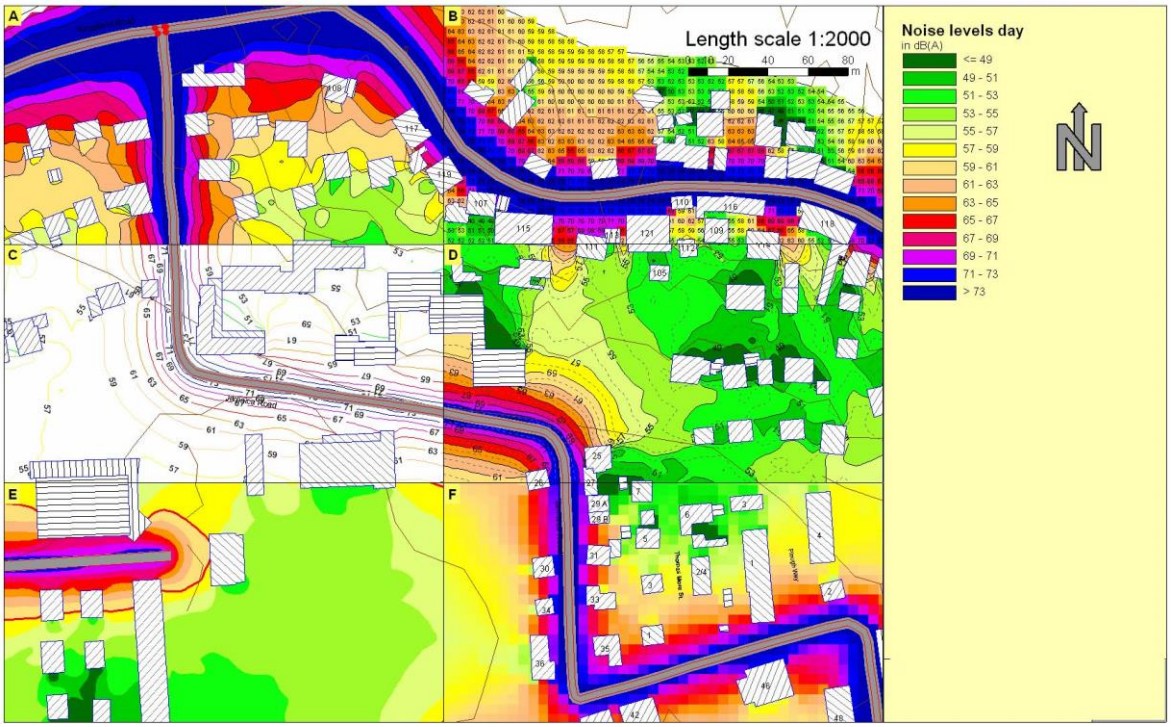


Рис. 3. Карта шума в жилой застройке,
разработанная с помощью программы SoundPLAN

3. Применение западного опыта картирования шума для российских условий

В России не существует единых правил и методик для оформления карт шума. Не существует и единых унифицированных расчетных методик для определения уровней звука в жилой застройке и оценки эффективности шумозащитных мероприятий с достаточной степенью точности.

При проектировании кольцевой автодороги (КАД) вокруг Санкт-Петербурга была разработана расчетная методика, позволяющая с высокой степенью точности спрогнозировать акустическую нагрузку и разработать наиболее эффективные мероприятия по снижению шума.

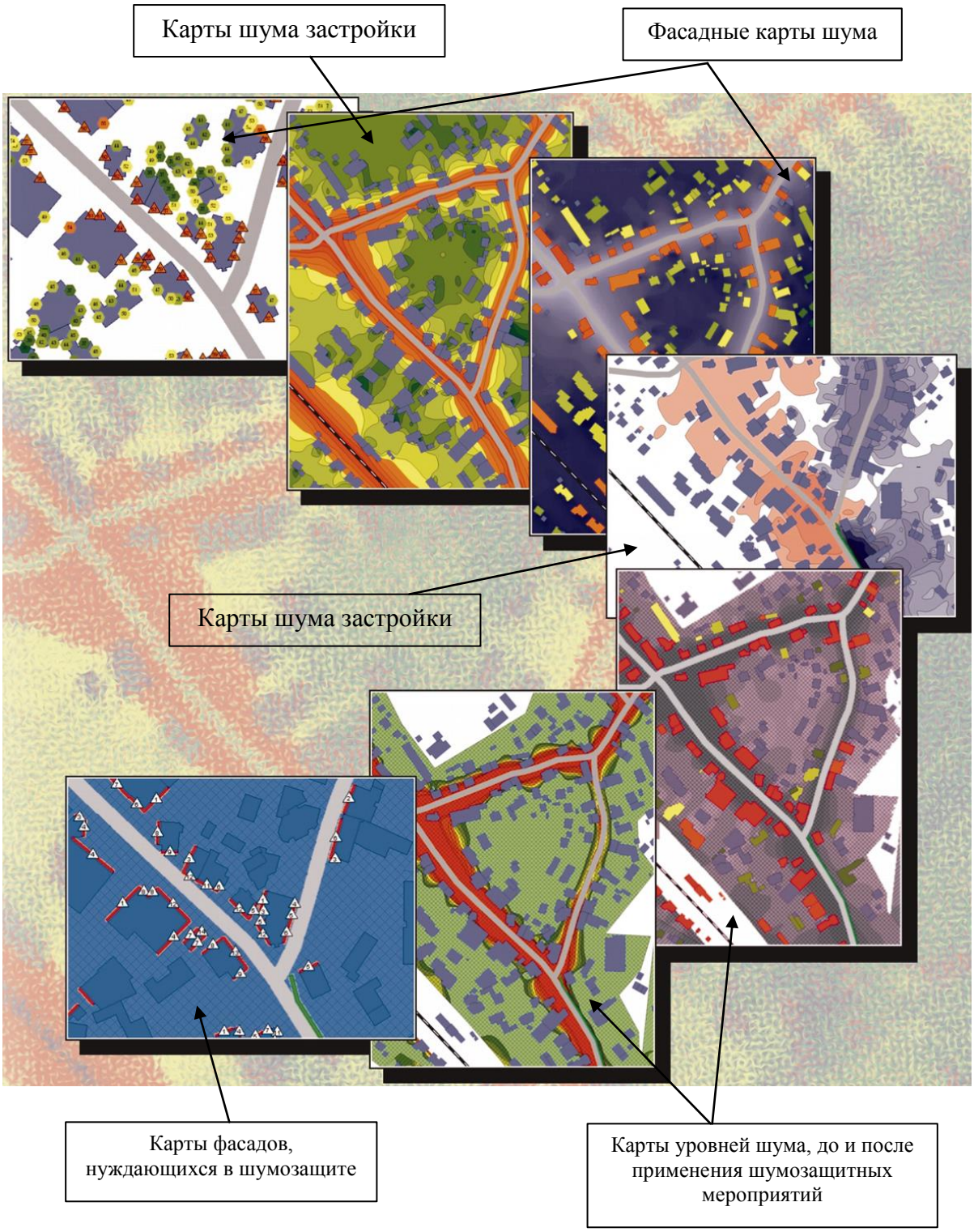
При помощи модернизированной методики была составлена укрупненная карта шума 2 лота КАД. На карте отображены линии равного уровня звука – “изодецибелы” – для 70 дБА и 55 дБА. Территория в пределах изодецибел с индексами 70 дБА соотвествует “черной” зоне, а территория между изодецибелами 70 и 55 дБА соотвествует “серой зоне”. Результаты картирования показали, что первый ряд застройки вдоль КАД будет расположен в черной зоне, в то время как серая зона накроет здания вплоть до пятого и даже шестого ряда. Разработанная карта шума позволила оценить роль шумозащитных мероприятий в обеспечении акустического комфорта на территории вдоль КАД. Так, установка акустического экрана вдоль основного хода КАД и его съездов позволяет перевести черную зону в разряд серой, а серую – в зону с уровнями звука равными и ниже нормативных. Для зданий, в которых установка экрана не может обеспечить нормативные уровни звука, дана рекомендация по специальному шумозащитному остеклению. Применение новейших разработок в области контроля шума позволило также оптимизировать мероприятия шумозащиты по параметрам эффективности и стоимости.

Разработанный подход был проверен и подтвержден при помощи расчетной программы SoundPLAN. Результаты расчета, полученные при помощи SoundPLAN, и результаты, полученные по российским методикам, совпадают.

Заключение

Составление карт шума является новым важным этапом контроля шума в городской застройке. Составление карт шума ведется уже довольно длительное время, как на территории западных стран, так и на территории России. Однако российский подход к составлению карт шума ограничен отсутствием единых расчетных методик и удобных методов представления результатов расчета. Западные методики зачастую не приспособлены к российским условиям. Выходом из данного положения является разработка программы, базирующейся на западном опыте программирования и картирования, которая бы включала в себя российские разработки по борьбе с шумом. Такой программой является SoundPLAN, возможности которого представлены на рис. 4-6.

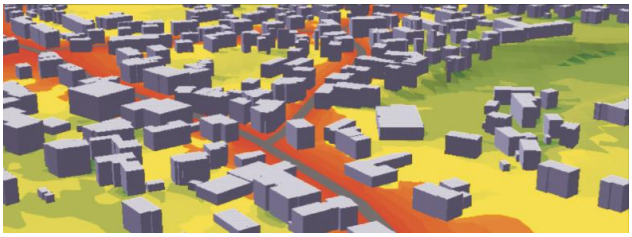
При помощи программы SoundPLAN можно построить*:



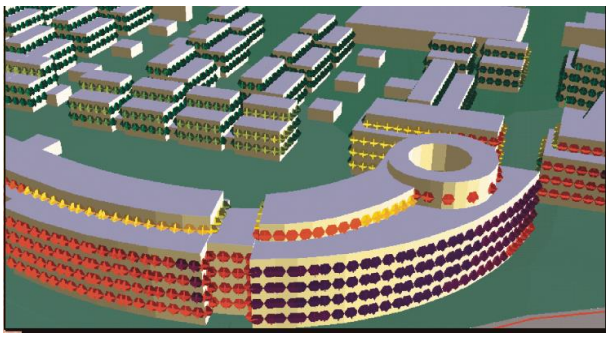
* по желанию Пользователя в программе SoundPLAN результаты расчета карты шума могут быть представлены в любом или во всех вышеуказанных видах

Рис.4. Возможности программы SoundPLAN

Программа SoundPLAN также позволяет:



Представлять
построенные карты шума
в виде 3-хмерной графики



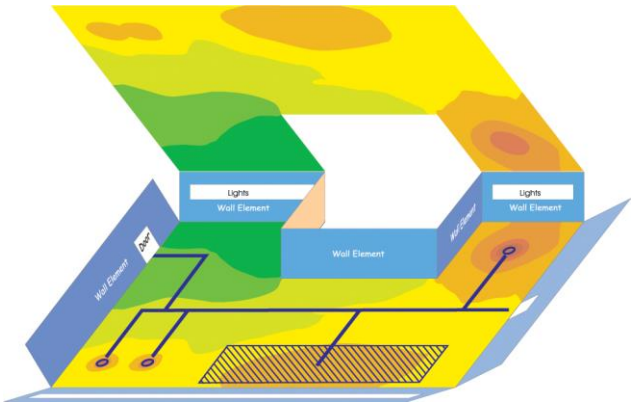
Рассчитать уровни шума
на каждом этаже
и отобразить полученные
значения на 3-хмерной модели
здания (фасадная карта шума)

Спроектировать акустический
экран, оптимизировать его
по критериям эффективности
и стоимости

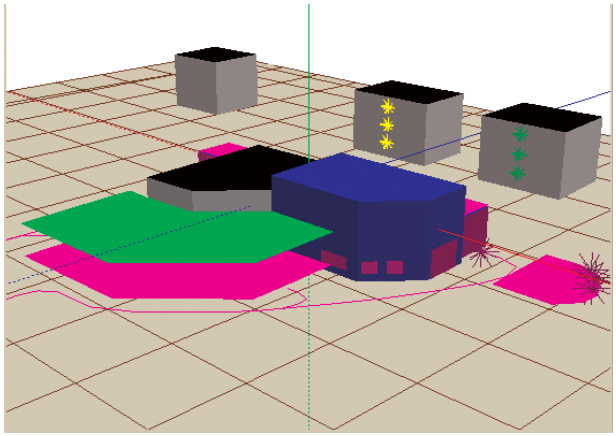
Представить
цифровую модель местности
в виде 3-хмерной модели
с учетом особенностей
ландшафта

Рис. 5. Возможности программы SoundPLAN

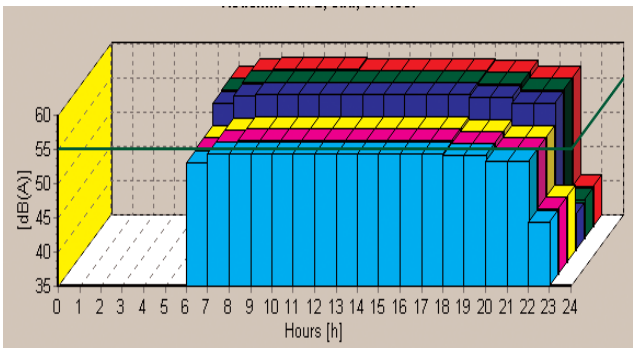
Расчетный модуль «Промышленный шум» программы SoundPLAN позволяет:



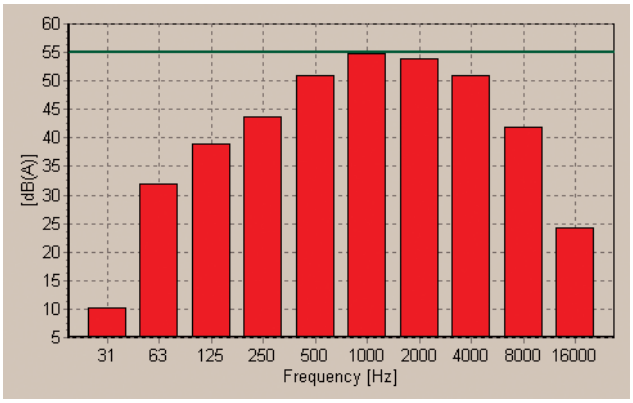
Рассчитать и построить карту распределения шума оборудования внутри промышленного здания



Рассчитать проникновение шума из промышленного здания на прилегающую территорию и в точки, расположенные у защищаемых объектов. Оценить эффективность и стоимость шумозащиты



Оценить вклад источников в процесс шумообразования в расчетной точке в зависимости от времени функционирования источника до и после применения шумозащиты



Оценить спектры шума источников

Рис. 6. Возможности программы SoundPLAN

Литература

1. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов, Министерство транспорта Российской Федерации, Москва, 1995.
2. СНиП 23-03-2003. Защита от шума/Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 2004.
3. М.В. Буторина, Н.В. Тюрина. Оценка акустического загрязнения от автомобильных дорог и выбор мероприятий по снижению шума, Экология и БЖД, (10), 2005.

Опыт применения акустических экранов на МКАД и перспективы их применения на автомобильных дорогах

Поспелов П.И.
Московский автомобильно-дорожный институт
(государственный технический университет)

Основное направление снижения шума на автомобильных дорогах, проходящих через жилую застройку, заключается в применении локальных средств защиты от шума, к которым относятся шумозащитные сооружения типа акустических экранов. Осуществление первого крупномасштабного проекта строительства шумозащитных экранов на МКАД, вызвало значительный интерес к проблеме защиты населения от шума на автомобильных дорогах, позволило в дальнейшем существенно расширить сферу применения экранов для защиты застройки от шума на автомобильных дорогах. В дальнейшем были осуществлены проекты защиты населения на Третьем транспортном кольце г. Москвы, при реконструкции Киевского шоссе до аэропорта Внуково и многие другие. Если ранее подобные проекты только разрабатывались, но до их реализации дело не доходило, то теперь их осуществление стало реальностью, и далеко не самой фантастической. Расходы на осуществление мероприятий по снижению шума, как правило, редко превышают 1-2% от стоимости строительства, что предопределило возможность их широкого применения.

Накопленный опыт проектирования шумозащитных сооружений заставляет внимательно рассмотреть проблемы, которые стали заметны только с началом реального строительства шумозащитных сооружений.

Шумозащитные сооружения – один из элементов автомобильных дорог. Акустические расчеты, как правило, составляют только 5% от всего объема работ по проектированию сооружений, все остальное это вопросы ландшафтного проектирования, устойчивости сооружения, решение вопросов безопасности движения и производства работ и т.д. При значительной протяженности экранов, а на МКАД длина одного из экранов составила 1300 м, даже незначительная ошибка в оценке высоты шумозащитного экрана могла привести к существенному изменению сметной стоимости строительства, нерациональному расходованию бюджетных средств, а также к недостаточному снижению уровней звука, не обеспечивающему требования санитарных норм.

Основное требование, которое необходимо предъявлять к шумозащитным сооружениям – функциональность, они должны нести ту смысловую нагрузку, которую вложили в сооружения проектировщики. Сооружение не должно выглядеть как забор либо бесхозный вал, чуждый по размерам, структуре материала, надежности и долговечности всем элементам автомобильной дороги.

Функциональность обеспечивается точными акустическими расчетами, размещением сооружений на дороге или возле нее таким образом, чтобы любой проезжающий понимал смысловую нагрузку, которую несет сооружение. Оно должно быть фрагментом застройки и дороги, связывающим эти разные по назначению и качествам элементы в единую архитектурную среду. 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 проезда, затемнение прилегающей к автомобильной дороге территории и т. д.).

Требования функциональности заставили при проектировании сооружений на МКАД реализовывать конструкции из различных материалов, применяя их комбинации, варьируя фундаментами. Там где возникала необходимость значительного снижения уровней звука, применяли высокие экраны из монолитного бетона, проектирование экрана в районе зоны отдыха Битца для сохранения красивого вида с дороги на близлежащие озера потребовало применения прозрачного поликарбоната и т.д. Проезжая часть представлена пятью полосами движения в каждом направлении с разделительной полосой шириной 5 м, на которой установлено ограждение типа «Нью-Джерси» с размещением опор освещения. Из 13108 м шумозащитных экранов, построенных на МКАД, конструкции были представлены в основном четырьмя типами. Высота экранов составляла от 4 до 9 м.

Структура затрат на строительство шумозащитных экранов представлена в табл.1.

Таблица 1

Материал экрана	**Стоимость строительно-монтажных работ по элементам экрана, %**		
	Фундамент со стойками	**Панели**	**Благоустройство, ограждение**
Асбоцементные экструзионные панели	36	57	7
Перфорированные металлические панели	18	78	4
Прозрачный поликарбонат	13	89	3
Монолитный бетон	46	35	19

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

1. При проектировании шумозащитных экранов на земляном полотне автомобильных дорог часто нарушается 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;
- расстояние между ограждением и экраном должно обеспечивать устойчивость экрана при наезде на ограждение автомобилей.

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

2. Стадийность осуществления мероприятий по снижению шума. Проблема имеет два аспекта:

- не предусмотрена стадийность осуществления мероприятий по снижению шума. Несмотря на то, что интенсивность движения

достигнет своего расчетного значения только через 20-лет после сдачи дороги в эксплуатацию, согласующие органы требуют осуществления мероприятий сразу на перспективные значения. Но увеличение уровней звука за период эксплуатации может достигать 5 дБА. Вопросы стадийного осуществления 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 мероприятий;

– в расчетах полностью отсутствует программа и перспективы снижения внешнего шума автомобилей. Экраны рассчитывают на автомобили, выпускаемые 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 уменьшения шума отдельных автомобилей признан наиболее эффективным, так как снижение шума происходит сразу во всей жилой застройке. Но технические возможности здесь ограничены. Предельные уровни звука для обобщенных категорий автомобилей приведены в табл.2.

Таблица 2

Автомобили	**Предельные уровни внешнего шума в соответствии с нормативными документами, дБА**				
	ГОСТ 19458-74	**ГОСТ 27436-87**		**Правила ЕЭК ООН №51**	
		Производство начато до 1.1.87	**Производство с 1.1.87**	**Поправка 01**	**Поправка 02**
Легковые и грузопассажирские	84	82	80	77	74
Средние грузовые	89-92	84-91	82-85	78-81	76-77
Тяжелые грузовые, автобусы	89-95	89-91	86-88	81-81	77-80

Таким образом, за последние 25 лет уровень звука внешнего шума легковых автомобилей в стандартах уменьшен на 10 дБА, грузовых и того больше. Введение стандартов внешнего шума автомобилей должно было

бы привести к заметному снижению шума транспортных потоков, однако этого не происходит по ряду причин, среди которых можно отметить:

- рост интенсивности движения на автомобильных дорогах компенсирует снижение внешнего шума автомобилей;
- с совершенствованием конструкции автомобилей увеличивается и срок их службы, и появление в транспортном потоке малошумных автомобилей не компенсирует увеличение уровней внешнего шума во время эксплуатации автомобилей;
- на российском рынке продаются автомобили со значительным сроком эксплуатации, выпущенные по старым стандартам и достаточно изношенные;
- условия движения, при которых происходят испытания автомобилей, не соответствуют реальным условиям движения на дорогах, дорожным условиям, загрузке автомобилей, условиям эксплуатации и т.д.

Не учитывать перспективу снижения внешнего шума автомобилей значит превышать расходы на строительство шумозащитных сооружений, игнорируя технический прогресс. Снижение внешнего шума автомобилей уже сейчас позволяет уменьшить расчетные уровни шума транспортных потоков на 1 дБ в 2002 г. и 2,5 дБА на двадцатилетнюю перспективу.

3. 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.

При расчетах эффективности шумозащитных экранов необходимы уточнения в части установления акустического центра источника шума (многополосность, распределение интенсивности движения по полосам проезжей части, высота источника шума над уровнем проезжей части, выбор расчетной схемы и т.д.), учет инженерного оборудования на проезжей части (ограждения, ограничение скорости движения и т.д.), схем организации движения на пересечениях и т.д.

4. 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 физика работы сооружения, часто его разбивают на мелкие участки с разрывами для подъезда к отдельным домам.

5. Типовое решение отвода воды с проезжей части предусматривает разрыв в бортовом камне и устройство лотка для пропуска воды под панелями экрана. Такое решение не очень эффективно с позиций снижения шума, и измерения эффективности снижения шума показали, что оно уменьшило эффективность снижения шума на 1 дБА. Лотки часто оставляют открытыми, не засыпая их дренирующим щебнем, т.к. это создает дополнительные трудности при замерзании воды в щебне. Разработка системы водоотвода с применением закрытой системы водоотвода приводит к значительному удорожанию сооружений и недостаточно эффективна при поперечных профилях земляного полотна, запроектированных как для загородных дорог.

6. Зачастую строительство шумозащитных сооружений неоправданно. Есть пример, когда органы СЭС потребовали строительства шумозащитных экранов на путепроводе через железную дорогу, когда уровни шума от проходящих поездов намного превышали уровни шума транспортных потоков на путепроводе. При любом строительстве в первую очередь надо решать проблемы с наиболее шумным источником, а не тем который не приводит ухудшения акустической обстановки.

7. 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 по сравнению с применяемыми шумоотражающими экранами. При проектировании следует учитывать, что экраны должны быть не только эффективными, но и экономичными и долговечными. Полностью игнорируется такой тип экранов как грунтовые валы, метод широко распространенный за рубежом, который конечно имеет ряд недостатков, но и преимущества его очевидны.

Расчетные методики для прогнозирования зашумленности в городах

Харди Штапельфельдт (1), Юлия Неклеса (1), Йорген Брааш (2)
Инженерное Бюро Штапельфельдт, Германия (1),
Брюль и Къер, Дания (2)

Введение

Европейская Шумовая Директива (ЕШД) направлена на расчеты шумовых карт для обширных территорий. Ее цель – анализ влияния шумовых воздействий на людей и поверхность. Это информация необходима для проведения мероприятий по улучшению и обеспечению здравоохранения.

Программы и методы защиты от шума различны в каждой стране, т.к. вид, имеющийся в распоряжении информации, юридические требования и технические приемы не одинаковы. Тем не менее, существуют общие аспекты в работе всех, кто занимается решением проблемы шумов окружающей среды. Рабочая группа европейского сообщества по оценке окружающего шума (WG-AEN) учредила практическое руководство (Good Practice Guide, GPG) которое основано на предложении объединения разных методов решений. Для создания карт шумов масштабных поверхностей необходимо большое количество информации и определенная точность расчетов. Для этого необходимо решение следующих задач:

- сбор данных;
- последующая обработка банных;
- расчет ожидаемых уровней шума;
- составления карты уровней шума;
- подготовка отчетов для общественности и для лиц, принимающих решения;
- планирование защитных мероприятий.

В этой статье мы хотим дать общее представление об основных требованиях и последних разработках. Кроме того, мы покажем некоторые результаты последних проектов, среди которых пример расчета шумов территории земли Саксония (~20 000 км^2).

Исторические предпосылки

Каждая страна участник Европейского сообщества имеет свою историю создания карт шумов. В Германии это законодательно урегулировано с 1987 года. Идея была использовать стандартизированные данные таких

шумовых источников, как автодороги и железные дороги, исходя из величины потока транспорта. Также были стандартизированы шумы промышленных зон и спортивных объектов. По сегодняшний день одна основных задач в Западной Европе – основываясь на измерениях шума автомобильных дорог – обосновать влияние шумов на население. В Японии и Корее такие измерения тоже получили широкое распространение. Однако чтобы иметь полное представление о больших территориях или смоделировать возможные изменения – необходимо прогнозирование, основанное на теории распространения звука и модели распространения шумов.

С 1987 года появилась потребность в картировании шумов и в 1988 году наша фирма начала разработку программной системы LimA, которую мы продолжаем развивать и совершенствовать по сегодняшний день. Немецкие программы всегда строго ориентированы на международный рынок. Разработками акустических программ также заняты такие фирмы как DGMR в Голландии (Программа Predictor), WS Atkins в Англии и CSTB во Франции.

Сбор данных

В наше время подготовка или обработка информации осуществляется при помощи ряда графических программ (GIS tools), которые доступны и удобны для обработки геоданных. Географическую информацию, возможно, получить в местных администрациях, кадастровых центрах или у операторов мобильной связи. Информация о транспортообороте находится в отделах дорожного планирования или в управлениях дорогами.

Ранние программы по картированию шумов были совершенно автономны. Пользователь должен был научиться создавать и обрабатывать особые геометрические структуры и уметь создать большую модель можно сказать с «нуля». В последующих версиях стало возможным преобразовывать данные в геоинформационных системах (ГИС) с помощью конверторов. Такие форматы, как SHAPE, используются как единый или стандартный в картировании шумов. Проект немецкого стандарта DIN 45687 использует SHAPE формат, как основной, для обмена данными между различными программными обеспечениями. Также широко используют форматы MapInfo или GeoMedia.

В основном программа по расчету шумов поддерживает все эти форматы. Если данные предоставлены институтами планирования, то исходные данные часто получают в форматах программ VISUM или AUTOCAD. Последние разработки программного обеспечения для расчета шумов позволяют производить расчеты в отдельном потоке или распределять задачи между компьютерами в сети. Пользователь может обрабатывать и вводить данные для расчетов через имеющуюся графическую оболочку. Такие возможности предоставляет программа “LimAarc”.

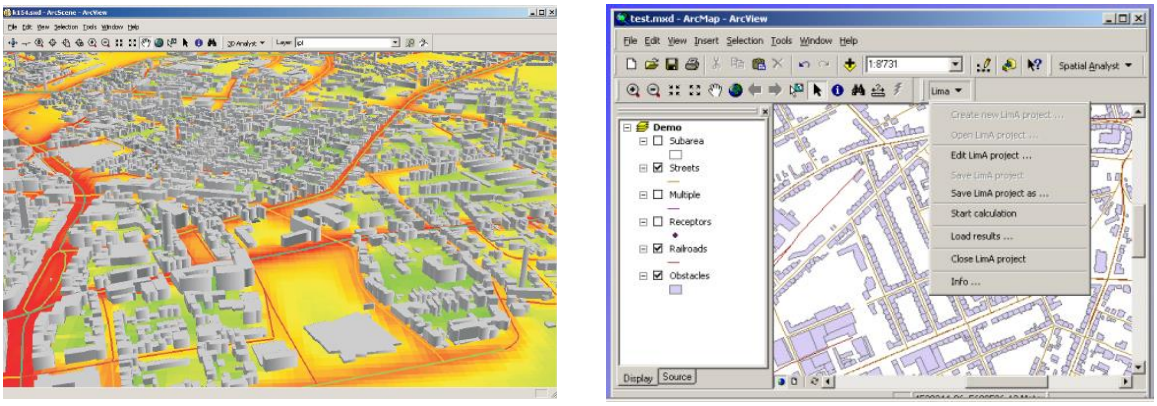


Рис. 1. Кадры из LimAarc.

Схема работы через интерфейс была осуществлена в Гонконге. Министерство охраны окружающей среды приняло решение производить расчеты, поместив данные модели Гонконг на сервере своей локальной сети (интранет). Основой для акустических расчетов была программа LimA. Через дополнительный Веб-интерфейс, разработанный компанией Гонконга, каждый пользователь, имеющий полномочия входа в сеть, мог запустить расчет со своими собственными требованиями, используя одну и ту же исходную модель. Это экономит программные ресурсы и обеспечивает сохранение исходных данных используемой модели.

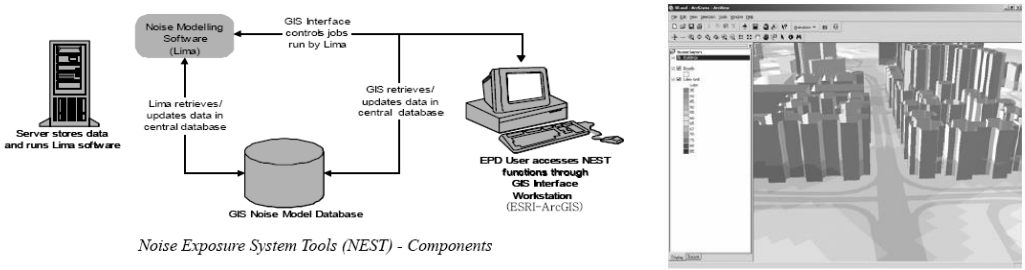


Рис. 2. План схемы интранет в Гонконге

В отличие от автономных или независимых акустических программ, геоинформационные системы позволяют работать параллельно многим пользователям с одной и той же моделью. Если акустическая программа является частью ГИС, то данные читаются непосредственно из банка геоданных (GeoDataBase). Таким образом, расчет всегда основан на одинаковом наборе данных. Если соединение с базой данных не «жесткое» и пользователь получает видоизмененные в других программах исходные данные, появляется риск потери какой-либо информации. Чтобы этого избежать, необходимы дополнительные меры по синхронизации обработанных данных.

Собранные геоданные имеют многоцелевое использование, что может быть несовместимым с требованиям акустических расчетов. Например, сложная геометрия фасада старинного здания. В акустической программе ее упрощают, чтобы избежать потери коэффициента отражения от плоскости.

Учитывая, что исходные данные модели уточняются и изменяются со временем и чтобы быть готовым к следующему циклу расчетов (каждые 5 лет по предписаниям Европейской Шумовой Директивы) лучше всего хранить основную структуру моделей в банке данных GIS. Целостность данных может быть гарантирована, когда необходимые последующие геометрические обработки производятся уже в акустических расчетных программах. Так при проектировании акустических программ мы постарались насколько возможно воссоздать все разнообразие геометрических форм. Для облегчения правки геометрии или данных можно использовать макрокоманды, которые экономят время, деньги и необходимости присутствия экспертов.

Последующая обработка данных

Сбор данных в Геоинформационных системах – это непрекращающийся процесс, часто начатый много лет назад. По этой причине типы собранных данных редко могут сразу же соответствовать требованиям специалистов по акустике. Необходимы уточнения и последующая их обработка. Правка модели часто утомительна и требует много времени. Good Practice Guide предлагает множество подходов к решению проблемы. Указания, лежащие в основе старой редакции вели к большим отклонениям в расчетах, поэтому в Англии министерством по защите окружающей среды (DEFRA) были произведены особые исследования и новая версия GPG издана в 2006 году. На эту тему фирма Hepworth Acoustics (Англия) представила доклад на осенней встрече в Оксфорде в 2005 году.

Преобразование двухмерных данных в трехмерные

Акустические модели должны быть трехмерными. Двухмерная геометрия имеет специальные характеристики для преобразования ее в трехмерную. Для удобства наша программа предлагает поддержку:

- абсолютной высоты (относительно уровня моря);
- относительной высоты к поверхности земли;
- относительной высоты к зданию под объектом (например, защитный экран на мосте);
- относительной высоты или угол наклона в конструкции откосов.

Поскольку дороги в основном вводятся в модель с высотой 0.0 относительно поверхности земли, что затрудняет автоматическое конструирование эстакад. Мосты, к сожалению, тоже не входят в информационные данные зданий. В дорожной сети Гонконга был использован специальный атрибут для описания эстакад, парапетов, полуограждений и ограждений, т.к. они были в информационной базе управления планирования. Идея программы LimA использовать определенные объекты и их атрибуты позволяет легко приспосабливать программу к конкретному случаю. Дополнительный атрибут мо-

жет быть использован для автоматического генерирования геометрической конструкции уже в момент, когда начат расчет и читаются данные модели.

Недавно специалисты по борьбе с шумами окружающей среды городского совета Бирмингема производили вычисления для транспорта движущегося по круговой магистрали, поднятой над поверхностью. С помощью глобальной система навигации (GPS) трехмерные данные записывались на портативный компьютер и потом в ГИС программе были обработаны и сохранены как трехмерные отрезки. Акустическая программа трансформировала такую информацию в полилинии и представила в виде трехмерной конструкции моста.

Как уже говорилось дорожная сеть главным образом доступна в двухмерном измерении. Это не влияет на точность расположения дорог находящихся на поверхности цифровой топографической модели. Но, если дорога расположена на естественной топографии и не учтены склоны и искусственные насыпи, тогда в расчетах может быть не учтена информация о влиянии барьеров. С такой ситуацией мы столкнулись, работая с проектом земли Саксония, где одни области имели очень подробные данные, например область Дрездена, а для периферийных областей информация была самой общей. Цель проекта была воссоздать модель для заказчика, которая бы содержала все необходимые данные для шумового картирования согласно Европейской Шумовой Директиве.

Для важных дорог, таких как федеральные дороги и автострады, инструкции дорожного планирования Германии ограничивают коэффициент подъема дороги и ее вертикальный радиус в зависимости от классификации дорог и ограничения скоростей на них. После импорта данных эта информация используется для определения позиции дороги: или она возвышается над поверхностью или погружена, утоплена. Акустическая программа симулирует топографическую модель и расположение дорог на ней. В таких местах поверхность автоматически видоизменена согласно максимальным уклонам соседних откосов.

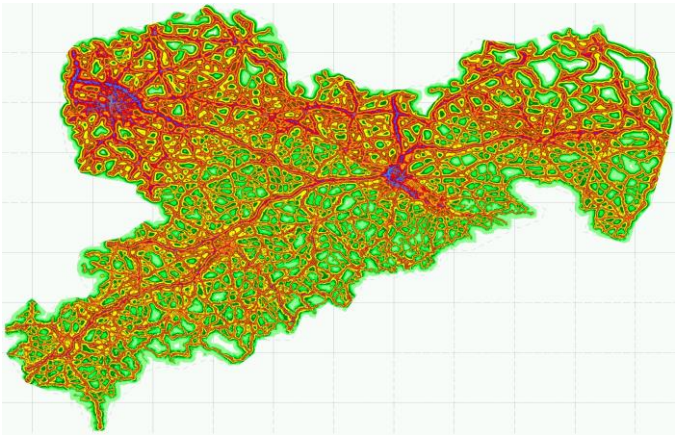


Рис. 3. Модель Саксонии

Расчет площади 20000 км² с 50 метровым шагом на 4-х компьютерах был произведен за 10 часов. На первой модели вы видите около 600 000 участков дороги, более 5000000 контурных линий (здания и сооружения не показаны).

Для обработки двухмерных моделей зданий существует целый ряд процедур. Самое простое решение – создать здания в виде плоских многоугольников и задать высоту для каждого района или квартала. В автоматическом режиме высота будет присвоена каждому зданию в соответствующем районе. В модели города Вестминстер (проект Hepworth Acoustics, Warrington), использован метод подгонки или выравнивания для подготовки модели к картированию шумов (доклад Саймона Шилтона, Internoise 2003). Имелись в распоряжении высокоточные двухмерные модели зданий и упрощенные здания с информацией о высоте каждого здания, предоставленные оператором мобильной связи. Акустическая программа соединила два вида исходных данных и переняла введенную высоту как атрибут в двухмерную модель. Такая же методика используется для дорожного движения. Нужно отметить, что многие схемы, позволяющие получить информацию о высоте здания не функционируют для преград. Особенно важны звукозащищающие стены и важные заграждения. На начальных стадиях шумовые карты Вестминстера показывали высокие шумы на территории Букенгемского дворца. Необходимо было собрать информацию о шумовых барьерах и заграждениях.

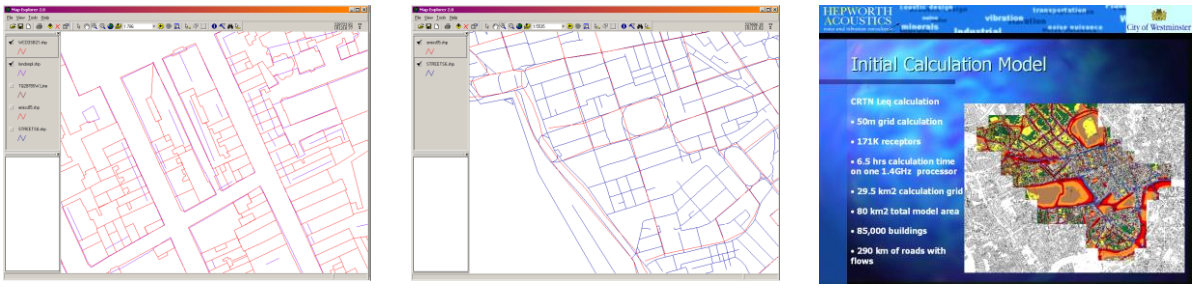


Рис. 4. Карта шумов Вестминстера: приведенные в соответствие дома, дороги и итоговая карта шумов

В последние годы большое распространение получил метод лазерного сканирования. Для примера: в проекте Дрездена были предоставлены гигабайты данных, описывающих каждые 2 метра поверхности. В программе это было трансформировано в трехмерные модели топографии и зданий. В этом случае двухмерный полигон здания был использован для разделения точечной информации поверхности внутри и снаружи очертаний здания. С внешней стороны зданий лазер считывал не только топографию поверхности, но и другие объекты. Например: машины, высокие деревья, фонарные столбы и новостройки, которые не входят в предоставленную модель. Все это нужно было отфильтровать, чтобы получить высокоточную топогра-

фическую модель поверхности. Измерения, проведенные в Бонне 10 лет назад, имеют отклонения в высоте поверхности 0.3 м. С помощью лазерных данных определяется и высота зданий. С акустической точки зрения нас интересует лишь высота здания по карниз. Чтобы найти высоту фасада программа учитывает наклон откосов крыши. На самом деле конструкция крыши редко имеет четкую форму и данные зданий – это в основном их плоские очертания + высота.

Традиционно ГИС программы используют для создания фактически существующего плана. В этом случае для создания топографии достаточно иметь модель со стандартными или нестандартно расположенными точками высоты, которые возможно соединить в треугольную сеть или в контурные линии. Требования акустиков в этом случае различные в зависимости от того, что планируется индустриальный объект или новая дорога. На основании старой топографической информации можно создать новую модель. Для этого программа должна иметь:

- точки с информацией о высоте;
- контурные линии;
- границы откосов, с вводом абсолютной, относительной высоты или высоты относительно другого объекта;
- насыпи.

Это основные составляющие. Но не все акустические программы поддерживают этот полный комплект и поэтому не могут генерировать поднимающийся вдоль дороги земляной вал.

Объединение

В программе LimA здания определены как замкнутый многоугольник. Это позволяет программному обеспечению распознавать рецепторы внутри зданий, что практично в презентации результатов и в вероятной интерполяции уровня шумов фасадов и результатов сеточного расчета. Если здания представлены как одиночные фасады, то они автоматически объединяются.

Индивидуальная геометрия

ГИС программы позволяют работать со сложной геометрией различных форм и профилей. Для использования этих возможностей нужно быть информированным о том, какие геометрические формы поддерживает акустическая программа.

Сложная геометрия

Когда акустическая программа может интерпретировать сложную геометрию – это сокращает объем работы. Например, здание, стоящее на

крыше другого здания могут быть заданы с абсолютной или относительной высотой, или послойные абсорбирующие зоны.

Комбинирование геометрии

Акустическая программа интерпретирует и комбинированную геометрию.

Основные требования к шумовым расчетам

Расчеты шумовых карт часто результат детального анализа выбранных территорий или заранее производится детальный расчет для других планируемых результатов. В обоих случаях важно уметь использовать одну и ту же модель и получить не противоречащие друг другу результаты. Поэтому для шумового картирования нужно стараться избегать использования очень упрощенных моделей (например, использовать дома в виде заградительных экранов, или только дома, расположенные рядом с дорогой). Важные шаги, обеспечивающие высокое качество результатов в программах шумового прогнозирования:

- линейные источники шума делят с учетом расположения барьеров на пути распространения звука, что гарантирует точность уровня шума в рецепторах. Значение уровня шума плавно изменяется от рецептора к рецептору и предотвращает возможные скачки звука у соседних рецепторов.
- изображения области как источника шума по инструкциям обозначается множество точечных источников шума. Программа автоматически генерирует линейные источники шума вместо ряда точечных.
- возможность использования сложной геометрии.
- обеспечение качества.
- подробные таблицы результатов, дающие представление о распространении отраженного звука
- тест случайных пунктов с высокоточным расчетом данных параметров и статистический анализ разницы результатов
- запись импортированных данных фактической расчетной модели в контрольный файл (Пользователь должен быть уведомлен, если программа значительно упрощает комплексную топографию)

Существует еще пару важных пунктов относительно картирования шумов больших областей:

- создание пользователем новых типов объектов и атрибутов помогает привести программу в соответствие запросам конкретного проекта;

- изменение входных параметров (например, заданная погрешность) позволяет ускорить расчет.

Регулирование скорости расчетов

Существует 5 основных методов, которые влияют на скорость расчета больших моделей:

Заданный радиус для источников шума

При расчете уровня шума в определенной точке учитываются только те источники шума, которые находятся внутри запрашиваемого радиуса. Если часть модели находится за пределами расчетного радиуса, то будет определена пограничная зона расчета. Такой метод используется при делении больших моделей на расчетные квадраты.

Заданный радиус для рефлекторов

Используется для нахождения важных рефлекторов для источников шума в расчетных точках. Эти рефлекторы перемещают, чтобы найти всевозможные комбинации рефлекторов, чтобы пользователь мог найти одинарное или двойное отражение.

Предел динамической погрешности

Программа будет игнорировать источники шума, воздействие которых оценено как несущественное**.** Предел динамической погрешности - величина, на которую может быть увеличен уровень шума в дБ по отношению к рассчитанной величине, если пренебречь влиянием некоторых источников шума.

Упрощение геометрии

Геометрическую структуру можно упростить, чтобы уменьшить количество рассчитываемых вершин. Особенно внимательным нужно быть при работе с трехмерными объектами. Нужно не забывать, что сглаживание фасадов необходимо, чтобы гарантировать «минимально отражающую поверхность».

Расчетная сетка

Европейская Шумовая Директива рекомендует 10-метровую расчетную сетку .GPG советует более мелкую сетку для английских дорог, про-

легающих в ущельях. Увеличение расчетной сетки с целью экономии времени расчета не рекомендуется для городских областей.

Требования Европейской Шумовой Директивы (ЕШД)

Временные промежутки

Рассчитывая уровень шума для трех логических периодов (день, вечер, ночь), можно синхронно разделить эти периоды на несколько подпериодов. В некоторых случаях это может быть период в 1 час.

Метеорологическая поправка

Метеорологическая поправка – одно из требований ЕШД. Существующие инструкции должны быть изменены, учитывая влияние ветра или коэффициент C0 в ISO9613. Поправка вносится двумя способами – или общей величиной, что противоречит точности вычислений, или программа позволяет генерировать данные из статистических данных ветров, правда может быть сложным найти существующие статистики ветров для определенных временных периодов согласно ЕШД.

Шумовое воздействие

Влияние шума на население рассчитывается для фасадов зданий. В ЕШД указана расчетная высота 4м, хотя более точный анализ может быть получен на основе расчета уровня шума для каждого этажа здания отдельно. На такую стратегию решились в Гонконге, не смотря на все их высотные здания. Уровень шумов фасадов может быть рассчитан отдельно от расчетов сетки поверхности. При готовых результатах сеточных расчетов практическое руководство (GPG) советует перенять для фасада здания уровень шума ближайшей точки сетки.

Мы считаем, что более точными будут результаты, если фасады рассчитываются методом интерполяции. Это возможно, если акустическая программа способна обрабатывать результаты точек находящихся внутри здания. Это использовалось в проекте расчета шумовых карт Бирмингема (отчет представлен в Гааге А. Джеллимен из городского совета Бирмингем). Сравнивания рассчитанные и интерполированные результаты всех фасадов, они продемонстрировали среднюю величину интерполяционной погрешности 0.34 дБ со стандартным отклонением 0.78 дБ. В конкретном случае из 2457 фасадов только 19 (чуть больше 0.7%) имели погрешность от 3-4 дБ и ни один более 4дБ. ЕШД предлагает обозначать отдельные фасады жилых домов, где уровень шума ниже максимального на 20 дБ. (GPG определило для фасадов максимально возможную величину 55 дБ). Увы, такой анализ не считается обязательным и не все его осуществляют.

В программе Lima пользователь может создать двухмерный график, показывающий отношение количества людей, живущих в зданиях к средней величине (+ max или min)уровня шума фасадов. Количество жителей лучше указывать для каждого здания отдельно, но эти данные не всегда доступны. В основном количество жителей вносится для определенной площади охватывающей жилые кварталы. Распознавание индустриальных зданий или зданий, где используются под жилье только верхние этажи, производится автоматически программой или пользователем.

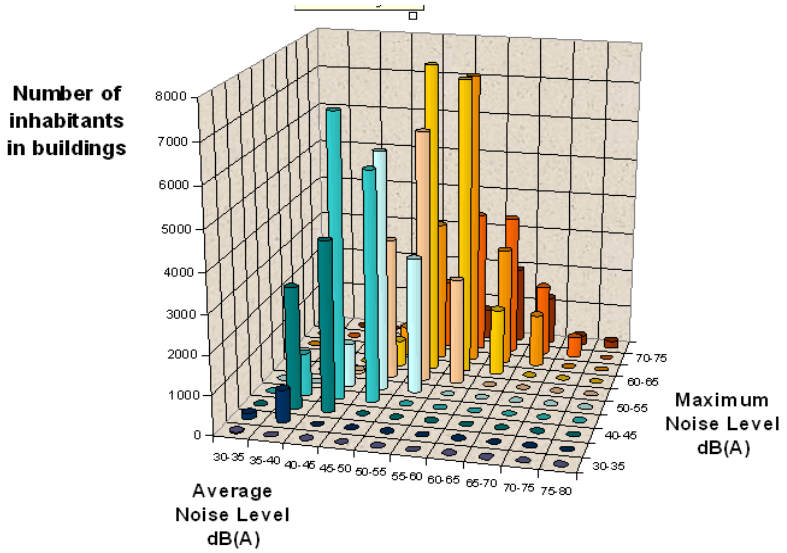


Рис. 5. Отношение количества людей, живущих в зданиях к максимальной величине уровня шума фасадов

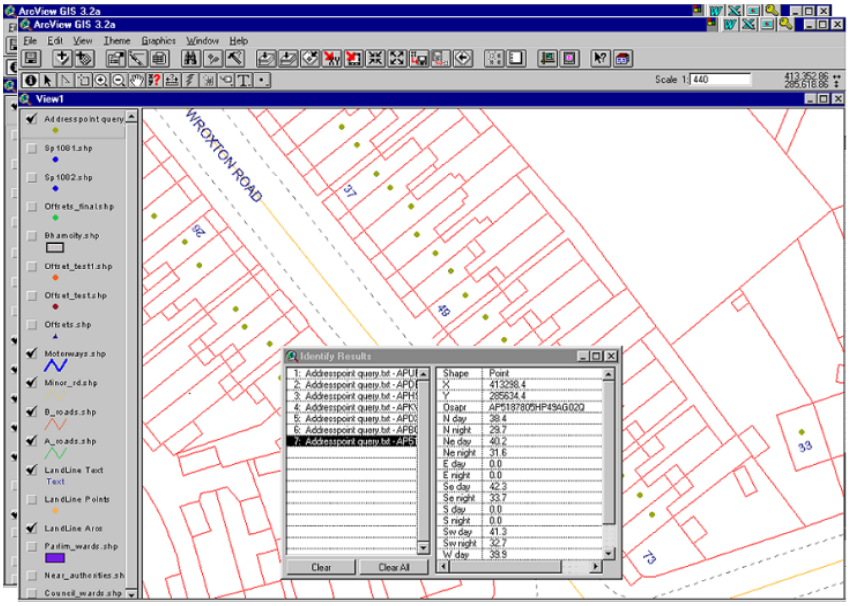


Рис. 6. Точки адрессовки данных в программе ArcGIS (модель Бирмингем)

В модели Бирмингема данные были адресованы к зданиям, а в проекте Саксонии (Дрезден) данные адресовались к различным отрезкам дорог, содержащих информацию о количестве домашних хозяйств и жителей в регионе.

Tile	Addresspoint	N day	night	NW day	night	W day	night
ASP1385.BNA	APW5878G5J6498G01Q	36	26.7	42.6	34	0	0
ASP1385.BNA	AP72878G5J7498GG1Q	36	26.7	42.6	34	0	0
ASP1385.BNA	APPD6L855J4499HGCQ	40.5	31.7	0	0	42.2	33.7
ASP1385.BNA	APFG6L855J4499H0CQ	40.5	31.7	0	0	42.2	33.7
ASP1385.BNA	APKE0C855J349AJGVQ	39.8	31.1	0	0	41.4	32.9
ASP1385.BNA	APP987805J349AG03Q	39.8	31.1	0	0	41.4	32.9
ASP1385.BNA	AP3B6B8C5JU498JGUG	0	0	41.9	33.3	0	0
ASP1385.BNA	APWEA3825JT498J0X0	0	0	41.9	33.3	0	0

Рис. 7. Таблица шумового уровня для различно ориентированных фасадов в каждой адресной точке

Использование замеров в шумовом картировании

Конечные итоги шумового картирования должны соответствовать оценке качества и утвержденным нормам. ГИС программы используют большое количество методов для проверки правильности рассчитываемой модели, таких как цветное маркирование атрибутов, маркирование общих введенных значений для региона или трехмерное изображение. Но это нельзя сравнить с проверкой реальными измерениями. Если данные о свойствах дороги и о количестве потоков транспорта неполные, то невозможно рассчитать реальную эмиссию. В этом случае замеры - единственный способ получить данные об эмиссии шумового источника. Измерения, производимые стационарной станцией с микрофонами, не всегда отражают реальный шум определенного источника. Возможными помехами являются: воздействие нескольких независимых источников шума; экранирование источника шума; отражение шума; многополосные дороги.

Там, где замеры производились в сложных условиях, в программе LimA есть возможность калибровки (reverse engineering) и определения неизвестных источников. При помощи калибровки определяется уровень шума каждого источника, чтобы максимально приблизиться к измеренной величине. Когда эмиссия определена, можно производить расчеты.

Теоретически результаты измерений и расчетные должны быть идентичны.

Результатом существенных отклонений в расчетах с помощью акустических программ могут быть ошибки в подготовке модели (недостающие барьеры или рефлекторы). Метод калибровки (reverse engineering) широко использован в создании шумовых карт Мадрида.

Рис. 7. Мобильная станция фирмы «Брюль и Кьер» по измерению шумов. Картирование результатов. Расположение контрольных пунктов измерений в окрестностях Мадрида

Использование результатов шумового картирования

Исходные результаты расчета сохраняются в текстовом виде (ASCII файл) с информацией о координатах и высоте (x,y,z), и информации об уровне шума, который представлен несколькими отдельными колонками: день, вечер, ночь, Lden, Leq24 и/или уровень воздействия различных групп источников шума (например: автострады и дороги местного движения).

Если результаты расчетов конвертированы в ГИС программу, особое внимание должно быть уделено точкам расчетной сетки там, где рецепторы расположены внутри зданий и за пределами данного расчета.

Для презентации результатов ГИС программа предлагает целый ряд способов. ЕШД определяет, что быть найдены площади с определенным уровнем шума. Если акустическая программа не рассчитывает точки внутри зданий, здание расчетом игнорируется и это ведет к фальсификации расчетных данных. Требования ЕШД проводить вычисления на высоте 4м над поверхностью позволяют получить более точные результаты, если воздействие шума рассчитывается для городского планирования. Европейская Шумовая Директива считает необходимым информировать общественность о результатах шумового картирования. Некоторые продукты ГИС предлагают возможность запроса результатов через Интернет. Примером служит демонстрация результатов шумовых карт земли Северный Рейн Вестфалия и города Штутгарт. Штутгарт недавно представил On-ISY-S (Online Information System Stuttgart) почасовые данные загрязнения воздуха и данные уровня шума.

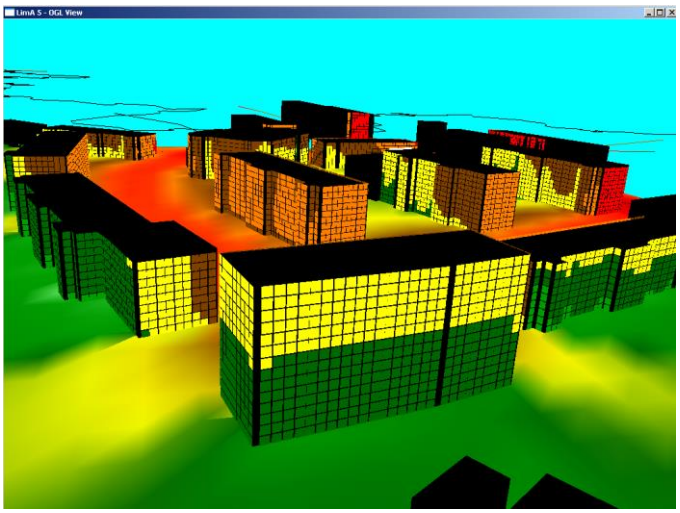


Рис. 9. Вычисления фасадов

Заключение

Шумовое картирование, согласно Европейской Шумовой Директиве, возложило новые требования на ГИС инструменты и на качество обработки данных в геоинформационных программах. Желательно достигать высшую ступень интеграции между акустическими расчетными программами и ГИС программами. Нужно учесть, что не все ГИС продукты могут поддержать пользователей в области создания шумовых карт. Не имея ГИС инструментов, пользователь может работать с акустической программой, но для обработки модели придется приложить больше времени и ручной работы. Шумовое картирование требует интенсивных расчетов, замеров и утверждения рассчитанных уровней шумов. Там, где эмиссия не может быть определена с помощью численного алгоритма, калибровка (reverse engineering) поможет подсчитать эмиссию источника из произведенных замеров. Акустическая программа предлагает множество методов и инструментов, чтобы получить высококачественные результаты расчетов.

Применение акустических экранов для снижения шума в жилой застройке

Тюрина Н.В.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Введение

Одной из наиболее распространенных мер для снижения шума на пути распространения являются экранирующие сооружения – акустические экраны. Появление первых акустических экранов, использованных для снижения транспортного шума в жилой застройке, относиться к концу 1960-х началу 1970-х годов [1], когда в 1968 г. в Калифорнии (США) был сооружен первый акустический экран. Появление во многих странах “Законов о шуме” послужило толчком к массовому применению этих сооружений. На сегодняшний день во многих странах протяженность экранов вдоль автодорог достигает нескольких тысяч километров.

Экраны, в зависимости от длины, высоты, конструктивного исполнения и прочих факторов обеспечивают снижение шума на величину от 5 до 20 дБА, что во многих случаях является достаточным для обеспечения норм по шуму на прилегающей территории.

1. Классификация акустических экранов

Экранирующие сооружения могут быть чрезвычайно разнообразными и уместно дать их классификацию. В зависимости от конструктивного исполнения и достигаемого эффекта снижения шума все экранирующие сооружения можно свести к следующим четырем классам: экраны-барьеры; широкие экраны; экраны-тоннели; комбинированные экраны.

Экран-барьер представляет собой неширокую сплошную плоскую физическую преграду, отделяющую источник шума (например, автомобильную дорогу) от жилой застройки. Материалы, применяемые для сооружения АЭ самые разнообразные: металл, дерево, бетон, стекло и пр. Увеличение эффективности АЭ достигается применением сложной составной части, располагаемой на свободном (верхнем) ребре экрана. В отличие от барьера насыпное сооружение (насыпи, земляные валы) имеет широкую верхнюю часть, обеспечивающую дополнительное шумоглушение. Комбинированный экран позволяет сочетать положительные качества насыпных экранов и АЭ-барьеров. Экранирующее сооружение может иметь сложную конструкцию, имея, например, тоннелеобразный вид. Эти экраны имеют наибольшую эффективность, но достаточно сложное конструктивное исполнение. Для анализа особенностей описанных конструкций рассмотрим физические принципы снижения шума экраном.

2. *Физические принципы снижения шума акустическими экранами*

Физический эффект, обеспечивающий снижение шума при установке АЭ основан на отражении звука от физической преграды (акустического экрана), поэтому в классификации средств защиты от шума акустический экран рассматривается как конструкция звукоизоляции. Но, в отличие от звукоизолирующих конструкций бесконечных размеров (например, звукоизолирующая перегородка и др.), экран имеет конечные размеры, и звуковая энергия, падающая на экран, частично отражается от него, а частично, учитывая, что размеры экрана могут быть сравнимы с длиной волны (например, в области низких и средних частот), огибает свободное(ые) ребро(а) экрана, дифрагируя за него. Факторы, влияющие на эффективность экрана, используемого для защиты от автодорожного шума можно условно разделить на три группы: относящиеся к источнику шума, окружающей среде и самому экрану. Наиболее существенными из них являются следующие: высота экрана; расположение экрана относительно системы «источник-защищаемый объект»; конфигурация экрана; звукопоглощение материала экрана; особенности источника шума (спектральные характеристики источника – чем ближе спектр источника шума к высокочастотному, тем эффективнее шумозащита экраном, протяженность источника шума); метеорологические условия и характеристики местности (отражение звука от поверхности земли, растительности или вблизи расположенных сооружений); звукоизоляция акустического экрана [1,2].Акустический экран работает на нескольких принципах акустической защиты, основными из которых являются отражение и поглощение звука. Эффект снижения шума экраном образуется за счет образования звуковой тени за АЭ, где звук снижен. Ухудшение эффективности работы АЭ получается за счет явления дифракции. Рассмотрим эти принципы на примере, показанном на рис. 1.

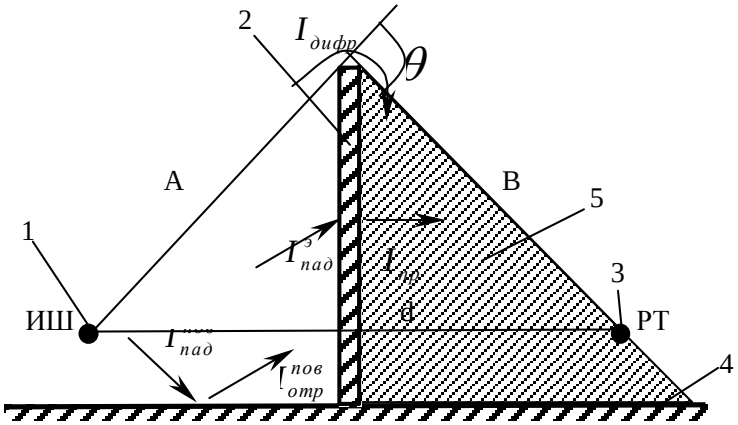


Рис. 1 Схема расчета эффективности акустического экрана:
1–источник шума (ИШ), 2–акустический экран (АЭ), 3–расчетная точка (РТ),
4–близрасположенная поверхность (отражающая или поглощающая),
5 – область звуковой тени

На рис. 1 приняты следующие обозначения: $I_{пад}^{пов}$ – интенсивность звука, падающего на поверхность перед АЭ, $I_{отр}^{пов}$ – интенсивность отраженного от поверхности звука, $I_{пад}^{э}$ – интенсивность падающего на АЭ звука, $I_{пр}$ – звук, прошедший через АЭ, $I_{дифр}$ – звук, дифрагирующий через свободное ребро АЭ; θ – угол дифракции АЭ, образованный направлением луча от ИШ к АЭ и луча от АЭ к РТ.

Звуковая энергия по пути от ИШ к РТ перераспределяется и уменьшается за счет следующих эффектов. Сначала происходит частичное затухание звука за счет поглощения звукопоглощающей поверхностью. Звуковая энергия падающая на АЭ вычисляется следующим образом:

$$I_{пад}^{э} = I_{пад}^{пов}(1-\alpha_{пов}) \tag{1}$$

где $\alpha_{пов}$ – коэффициент звукопоглощения поверхности

Уменьшившаяся звуковая энергия падает на физическую преграду – акустический экран (АЭ). Часть падающей энергии проходит через АЭ, а часть поглощается АЭ, если он имеет звукопоглощение, или отражается от него. Если АЭ имеет ограждающую поверхность часть звуковой энергии дифрагирует через свободное ребро АЭ; при этом, если АЭ отражает звук, то к падающей энергии добавляется часть энергии отраженного звука. Эти вклады звука выражаются коэффициентом звукопроводности ($\tau_{экр}$), звукопоглощения ($\alpha_{экр}$) и дифракции ($\beta_{дифр}$) и выражаются:

$$\tau_{экр} = \frac{I_{пр}}{I_{пад}^{э}} \tag{2}$$

$$\alpha_{экр} = \frac{I_{погл}}{I_{пад}^{э}} \tag{3}$$

$$\beta_{дифр} = \frac{I_{дифр}}{I_{пад}^{э}} \tag{4}$$

Значение звукопроводности более удобно выражать через звукоизоляцию, которая равна:

$$ЗИ_{экр} = 10\lg\frac{1}{\tau_{экр}},\ дБ \tag{5}$$

Как распределяются упомянутые вклады? Вероятно, принципиальным является вопрос о соотношении прошедшей через АЭ и дифрагирующей за

АЭ звуковой энергии. По измерениям в акустических камерах, которые в нашей стране выполняются с целью сертификации АЭ, известно, что звукоизоляция экранов, используемых для снижения шума транспорта, как правило, составляет 28-35 дБА. В то же время, предельно возможная эффективность акустических экранов-барьеров не превышает 15 – 18 дБА. Если вклад одного канала (через АЭ) на 10 и более дБА более ниже, чем вклад другого (дифракция звука), то вклад первого может не учитываться. Если АЭ правильно спроектирован и установлен (без щелей и проемов), то всегда звукоизоляция АЭ достаточна для обеспечения эффективности АЭ. Это означает, что стремиться к увеличению эффективности АЭ-барьера увеличивая его толщину и массу нецелесообразно.

Рассматривая процессы отражения и поглощения звука АЭ отметим, что максимально возможная эффективность (для АЭ одной и той же высоты и конструктивного исполнения) достигается когда коэффициент звукопоглощения материала или конструкции АЭ близок к единице. Рассмотрим значения коэффициентов звукопоглощения различных АЭ (табл. 1):

Значения коэффициентов звукопоглощения ($\alpha_{экр}$) различных АЭ

Таблица 1

Материал или конструкция АЭ	Значения $\alpha_{экр}$ в октавных полосах частот, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Металлический АЭ с перфорацией и ЗПМ* URSA	0,68	0,88	1,0	1,0	0,87	0,7
Бетон	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04
Дерево	0,3	0,32	0,19	0,13	0,11	0,11
Стекло	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Цементно-шлаковая штукатурка	0,08	0,16	0,23	0,3	0,32	0,35

*ЗПМ – звукопоглощающий материал

Дополнительная эффективность применением АЭ со звукопоглощением зависит от многих условий, но максимально может достигать до 3-5 дБА.

В конструкциях некоторых типов АЭ встречаются резонаторы Гельмогольца, которые увеличивают эффективность АЭ на 1–5 дБ на отдельных частотах в низкочастотном диапазоне.

Из изложенного следует, что основной эффект АЭ достигается уменьшением доли дифрагированного звука и созданием зоны акустической тени за экраном. В литературе существует многочисленные подходы к определению эффективности АЭ, базирующиеся на представлении дифракционной картины. Обратимся к самому простому и пожалуй наиболее

известному подходу, предложенным японским ученым З. Маекавой [3]. Формула Маекавы, определяющая эффективность АЭ в области $N \geq 1$, выглядит следующим образом:

$$\Delta L_{экр} = 10 \lg 20N, \quad дБ \tag{6}$$

где N – число Френеля

$$N = \frac{(A + B - d)}{\lambda} \tag{7}$$

значения A, B и d, м можно увидеть из рис. 3;
λ – длина звуковой волны;

$$\lambda = \frac{c}{f}, м \tag{8}$$

где c – скорость звука, м/с; f – частота, Гц.

Эта зависимость позволяет понять, что эффективность АЭ имеет частотно зависимый характер. Чем выше частота (меньше длина звуковой волны), тем один и тот же АЭ имеет большую эффективность.

Анализируя формулу (6) можно легко понять, что снижение дифрагирующей через АЭ звуковой энергии, а, следовательно, увеличение эффективности АЭ, может быть достигнуто следующими путями:

1. снижением расстояния от источника шума до АЭ и от АЭ до защищаемого объекта;
2. увеличением высоты и/или длины АЭ.

Приближение АЭ к источнику – не всегда реализуемая мера (например, этот метод широко распространен для снижения шума от подвижного состава железнодорожного транспорта, но имеет свои ограничения при проектировании автомобильных дорог). Таким образом, как правило, основной путь увеличения эффективности АЭ, устанавливаемых на автодорогах, – это увеличение их высоты и/или протяженности.

3. Выбор параметров акустических экранов

Проектирование акустического экрана, как правило, представляет собой компромисс между достижением требуемого эффекта снижения шума, обеспечением безопасности движения, и стоимостью производства, установки и эксплуатации экрана. Рассмотрим наиболее важные характеристики экрана, определяющие его эффективность.

3.1 Материал экрана

Выбор материала экрана влияет на его стоимость, эффективность, а в ряде случаев, и на возможность использования экрана в конкретной ситуации. Все акустические экраны по типу применяемого материала и отражающим или поглощающим свойствам, влияющим на коэффициент звукопоглощения, можно разбить на 2 группы:

– однослойные (отражающие);
– двух- или трехслойные (как правило, поглощающие).

В первой группе АЭ отражают звуковую энергию, а во второй в конструкции АЭ, наряду с отражающими свойствами, обеспечено звукопоглощение.

АЭ принадлежащие к первой группе изготавливаются из бетона, асбоцементных панелей, кирпича, дерева, пластиков, стекла и пр. Основные свойства этих экранов – отражающие, коэффициент $\alpha = 0{,}01 - 0{,}05$ и они имеют меньшую эффективность, чем АЭ со звукопоглощающими материалами. Чтобы снизить отражение звука от однослойного АЭ, например, в бетонную смесь добавляются древесные материалы и тогда такие АЭ не имея хороших звукопоглощающих свойств ($\alpha = 0{,}05 - 0{,}15$) имеют определенные свойства звукопоглощения (примерно как у штукатурки). Заметим также, что небольшими поглощающими свойствами обладает дерево (табл.1). Тем не менее, невозможно создать однослойный АЭ совмещающий требуемые прочностные свойства и приемлемое звукопоглощение, поэтому приходиться усложнять конструкцию АЭ за счет введения специальных звукопоглощающих материалов (ЗПМ) значения коэффициента звукпопоглощения которых варьируются в пределах $\alpha = 0{,}5 - 1$. В основном такие АЭ можно разбить на два типа: металлические трехслойные, где ЗПМ располагается между сплошными и перфорированным металлическими слоями и бетонные двухслойные, где в качестве поглощающего слоя применяются полистербетон, пенобетон и пр.

В качестве ЗПМ в трехслойных АЭ применяют такие материалы как URSA, шлаковата, капроновое волокно, стекловата, пенополиуретан и др. пористые или волокнистые материалы. Перфорация в трехслойных АЭ обеспечивает проникновение звука к слою ЗПМ. Конструктивно перфорация может применяться в виде щелей или отверстий.

Сравнительный анализ эффективности и стоимости АЭ, применяемых при строительстве 2-го кольца МКАД был выполнен в МАДИ [4]. Результаты этого анализа приведены в табл. 2 и 3.

Структура затрат на строительство АЭ на МКАД

Таблица 2

Материал АЭ	**Стоимость строительно-монтажных работ по элементам, %**		
	Фундамент со стойками	**Панели**	**Благоустройство, ограждения**
Асбоцементные панели	36	57	7
Перфорированные металлические панели	18	78	4
Прозрачный поликарбонат	13	89	3
Монолитный бетон	46	35	19

Сравнительные данные эффективности и стоимости АЭ на МКАД

Таблица 3

Материал АЭ	**Снижение УЗ, дБА**	**Относительная стоимость 1 м^2 АЭ, %**
Асбоцементные панели	8 – 12	100
Перфорированные панели	14 – 16	185
Монолитный бетон	–	158
Прозрачный пластик	10 – 12	224

Анализируя данные, приведенные в табл. 2-3 можно найти подтверждение того, что эффективность поглощающих многослойных АЭ более чем в 1,5 раза выше чем отражающих. Отметим также, что стоимость АЭ – показатель относительный. Для того чтобы бетонным АЭ достигнуть эффективности металлического АЭ необходимо осуществить практически сравнимые затраты, т.к. высоту бетонного АЭ требуется увеличить.

Следует отметить, что в реальных условиях зачастую применяются сочетания металлических АЭ с АЭ из стекла или прозрачного пластика для осуществления обзора, улучшения внешнего вида АЭ. Такие АЭ несколько менее эффективны (на 2–3 дБА), чем сплошные металлические экраны, но необходимость обеспечения обзора обуславливает широкое распространение таких конструкций.

Таким образом, выбор материала АЭ диктуется несколькими соображениями: эффективностью конструкции, стоимостью, внешним видом, условиями эксплуатации и, наконец, местными традициями. В странах Скандинавии, особенно в Финляндии, находят большое применение деревянные АЭ, в США практически отказались от использования металлических АЭ, а в Италии, Португалии и Японии в основном применяются металлические АЭ со звукопоглощением.

3.2 Размеры экрана

Основными параметрами экрана являются его высота и длина. Обратим внимание, что этими двумя параметрами обеспечиваются различные принципы снижения шума. Высотой АЭ создается зона акустической тени, снижающая эффект дифракции через верхнее ребро, в то время как длина АЭ выбирается таким образом, чтобы обеспечить затухание звука, проникающего через боковую грань АЭ.

Основной принцип, который должен быть положен в основу выбора длины АЭ выражается правилом: звук, проходящий через боковые грани АЭ ($L_{экр.}$) должен быть на 3 дБА ниже чем требуемая эффективность АЭ ($L_{треб.}$):

$$L_{экр.} = L_{треб.} - 3,\ дБА \tag{8}$$

Длина АЭ существенно зависит от протяженности жилой застройки, которая защищается акустическим экраном (рис. 2).

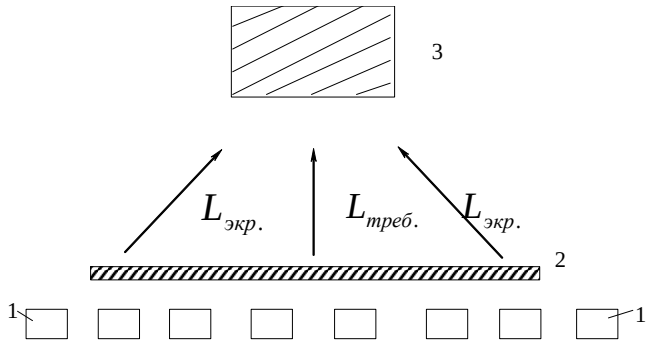


Рис. 2 Схема прохождения звука за боковые грани АЭ:
1 – транспортный поток, 2 – АЭ, 3 – защищаемый объект.

Соблюдения этого требования предполагает установку весьма протяженных АЭ. Для защиты даже одиночного строения от шума транспортной магистрали длина АЭ должна быть несколько сот метров.

3.3 Установка АЭ

Рассмотрим три основные случая установки АЭ, оказывающих влияние на его эффективность (рис. 3):

- расположение двух экранов с обеих сторон дороги параллельно друг другу;
- расположение экрана на эстакаде;
- расположение экрана на краю выемки.

Анализируя установку параллельных АЭ, отметим наличие отражения друг от друга, начиная с определенного расстояния между АЭ, что особен-

но неблагоприятно, если экраны выполнены отражающими. Ухудшение эффективности АЭ за счет отражения может достигать 3–6 дБА:

Расположение АЭ на эстакаде или на склоне (вершине) выемки значительно улучшает эффективность АЭ за счет увеличения угла дифракции. При этом чем больше глубина выемки или высота эстакады тем больше эффективность АЭ. Эффективность экрана может увеличиться на величину не менее 4–5 дБА при расположении АЭ на эстакаде высотой 15–20 м (или на краю выемки глубиной 4–5 м).

3.4 Форма АЭ

Обычно АЭ устанавливаются как вертикальные конструкции, но нередко АЭ выполняются Г-образными, при этом устройство в верхней части АЭ носит название козырек (рис. 4).

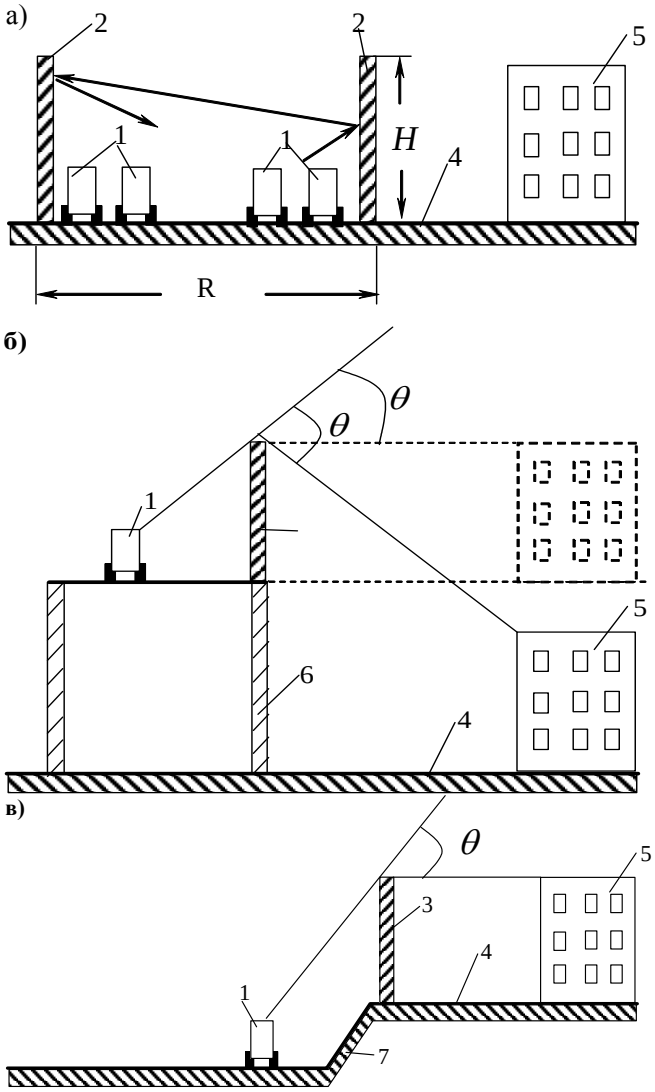


Рис. 3. Схемы расположения АЭ (а) – параллельно друг другу, б) – на эстакаде, в) – на склоне выемки): 1 – ИШ, 2 – параллельные АЭ, 3 – АЭ, 4 – поверхность, 5 – защищаемый объект,6 – эстакада, 7 – выемка;

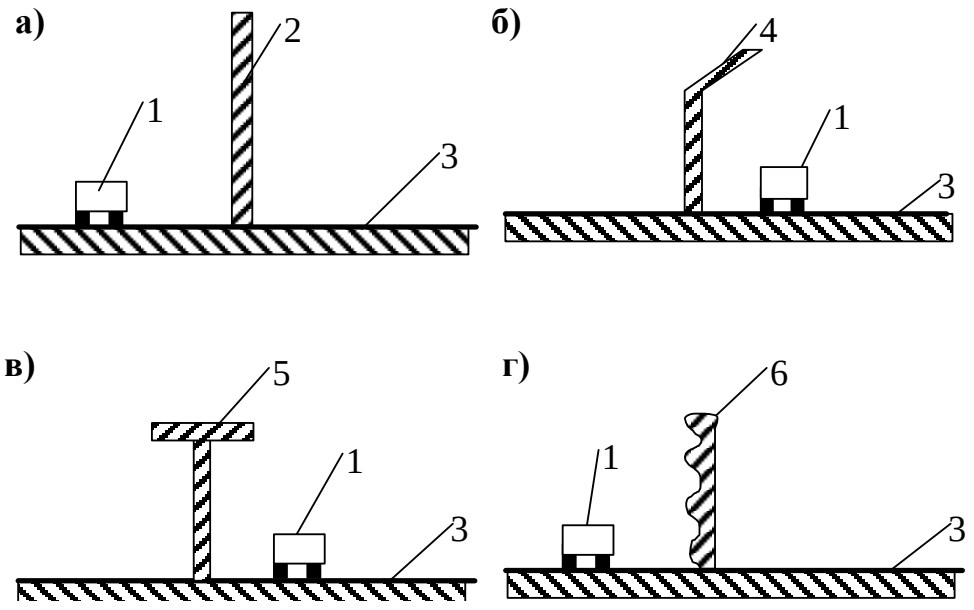


Рис. 4. Установка АЭ различной формы
(а) – вертикальный, б) – Г-образный, в) – Т-образный, г) – волнообразный
1 – ИШ, 2 – вертикальный АЭ, 3 – отражающая ил поглощающая поверхность, 4 – козырек, 5 – полка, 6 – волнообразная составляющая

Г-образный АЭ более эффективен, чем вертикальный (на 1–3 дБА) в зависимости от величины козырька. Еще более эффективны Т-образные АЭ. В обоих случаях эффективность возрастает за счет увеличения угла дифракции, но, если полка Т-образного АЭ облицовывается ЗПМ, то за счет этого и формы АЭ может быть получен ощутимый дополнительный эффект до 3–6 дБА.

Некоторые АЭ имеют волнообразную структуру (например, изготавливаемые из пластиков и композиционных материалов). Придание АЭ такой формы, вероятно, представляется попыткой обеспечить дополнительное звукопоглощение, однако, нашими исследованиями наличие дополнительного звукопоглощения такими структурами не подтверждено.

3.5 Монтаж АЭ

Как следует из опыта использования экранов для снижения шума транспортных потоков в Москве и Санкт-Петербурге существенное влияние на эффективность экрана имеет монтаж конструкции. При неправильном монтаже АЭ могут возникнуть щели, проемы, через которые звук проходит через АЭ. Чаще всего встречается ситуация когда образуется щель между бетонным основанием, на которое монтируются сборные панели АЭ, и нижним краем АЭ. Величина такой щели может колебаться от 10 до 500 мм. Данные сравнительных испытаний эффективности АЭ со щелью и без показаны на рис. 5:

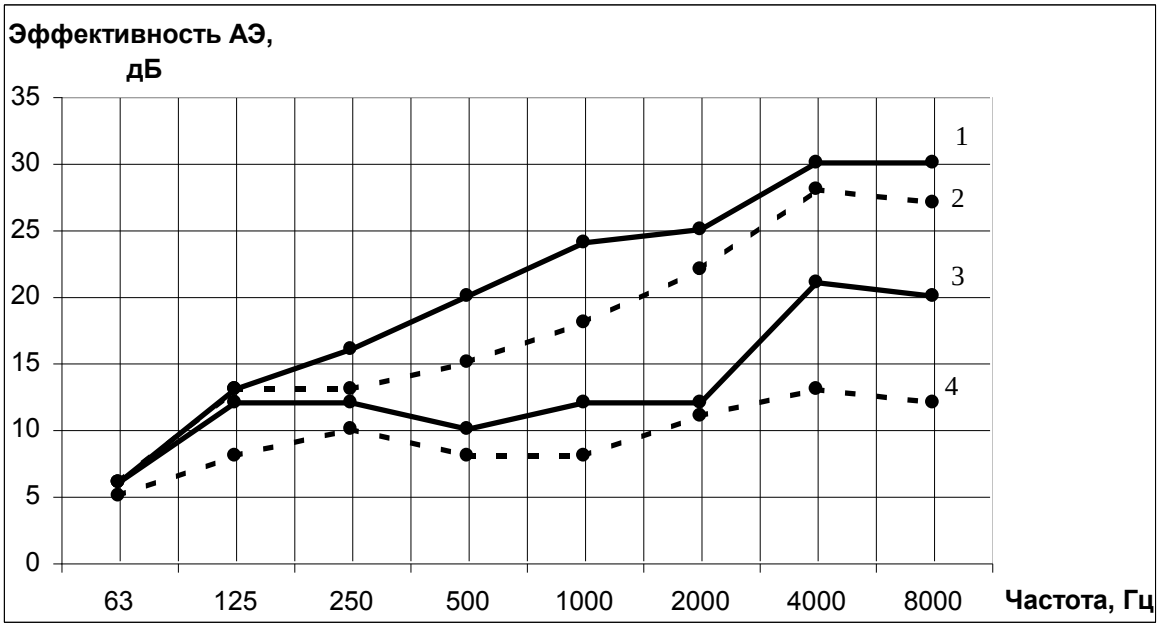


Рис. 5. Эффективность АЭ при измерениях на 30 м. (1, 3) и 60 м (2, 4): 1, 2 – без щели, 3, 4 – со щелью 150 мм

Как следует из результатов экспериментальных исследований, проведенных специалистами Балтийского государственного технического университета, даже сравнительно небольшая щель по всей длине АЭ (Рис. 6) снижает его эффективность на 5–6 дБА [5].

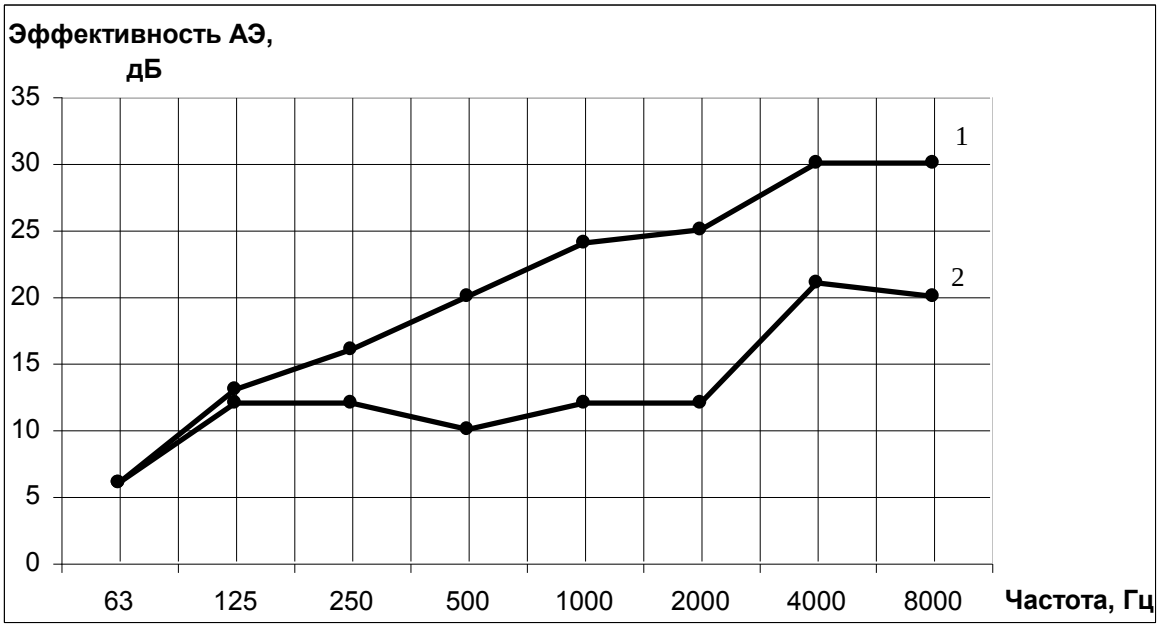


Рис. 6. Эффективность АЭ при измерениях:
1 – без проема, 2 – с проемом около 1 м^2.

4. Методы экспериментальной оценки эффективности экрана

В настоящее время в России разработаны государственные стандарты, представляющие методы экспериментальной оценки эффективности экранов, гармонизированные со стандартами ИСО [6,7,8].

Стандарт [6] устанавливает прямой и альтернативный методы экспериментальной оценки эффективности экранов для снижения шума транспорта.

Прямой метод является основным и предпочтительным. Прямой метод может использоваться только в том случае, если экран еще не установлен, может быть передвинут или разобран для проведения измерений без экрана. Измерения уровня звука (эквивалентного уровня звука, уровня звукового давления) до и после установки экрана должны производиться в одной и той же контрольной точке и одновременно с этим в одной и той же опорной точке. Должны соблюдаться требования эквивалентности источника звука, рельефа местности, акустических характеристик поверхности земли и метеорологических условий.

Если выполнение испытаний в одной и той же контрольной точке при наличии и отсутствии экрана невозможны, выполняются испытания непрямым методом, которые выполняются в другом месте, подобном исследуемому. При подборе места для выполнения испытаний непрямым методом требуется точное соответствие выбранного места тому месту, где установлен экран, по характеристикам источника шума, расположению микрофонов, рельефу местности, характеристикам поверхности и метеорологическим условиям.

Измеряемыми величинами являются уровни звука (L_A) или октавные уровни звукового давления (L) в октавных полосах со средними геометрическими частотами от 63 Гц до 8000 Гц при постоянном шуме источника, либо эквивалентный уровень звука ($L_{Aэкв}$) при непостоянном шуме источника. Указанные уровни должны быть измерены до установки акустического экрана ($L^{б/э}$) и после его установки ($L^{с/э}$) в одних и тех же контрольных и опорных точках при сохранении прочих условий окружающей среды. Минимальная высота контрольной точки должна быть 1,2 м.

При проведении испытаний используется один из следующих трех типов источников шума: реальный источник, для снижения шума которого был спроектирован экран; контрольный реальный источник; контрольный искусственный источник.

Если параметры реального источника шума изменились или предполагается, что будут разными при проведении серий испытаний с экраном и без экрана, то можно применять контрольный реальный источник. Например, если такие параметры дорожного движения, как поток транспортных средств или отношение тяжелых транспортных средств к легким на исследуемом участке значительно меняется, нужно выбрать одно или несколько

наиболее типичных транспортных средств для использования их при проведении испытаний с экраном и без экрана в качестве контрольного реального источника. При этом должны выполняться требования по обеспечению идентичности источника шума.

Если невозможно обеспечить эквивалентность характеристик реального (или контрольного реального) источника для проведения испытаний с экраном и без экрана, а также в случае, если применение реального (или контрольного реального) источника шума не эффективно из-за недостаточной звуковой мощности, особенно при испытаниях при наличии экрана, может быть использован контрольный искусственный источник шума. Обычно, оказывается возможна достаточно идеализированная замена реального (или контрольного реального) источника шума искусственным ненаправленным точечным источником розового или белового шума.

Для достоверного определения эффективности экрана при проведении испытаний с экраном и без экрана характеристики источника шума в обоих случаях должны быть максимально подобны. Характеристиками источника шума, влияющими на эффективность экрана, являются спектральный состав, направленность, пространственное и временное распределение, вертикальные и горизонтальные координаты источника, число и тип индивидуальных источников шума (для составных источников), скорость движения (для реального и контрольного реального источников). Для исключения возможных ошибок при измерении эффективности экрана должны осуществляться два контрольных мероприятия: отслеживаться указанные характеристики источника шума и их вариации, а также должен контролироваться шум в опорной точке измерений.

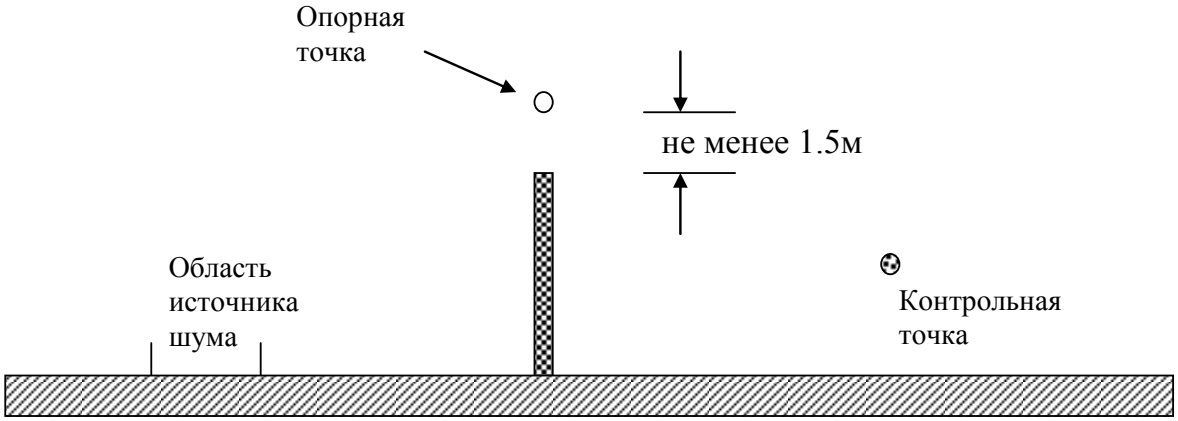


Рис. 7. Расположение контрольной и опорной точек
при измерении эффективности экрана.

Местность, выбираемая для проведения измерений при отсутствии экрана непрямым методом, считается подобной исследуемой, если выполняются следующие условия: по возможности выбираемая местность должна

располагаться сразу же за исследуемой местностью там, где заканчивается экран; условия отражения звука от земли или прочих поверхностей, определяемые характеристиками звукопоглощения и звукоизоляции отражающих поверхностей (бетон, асфальт, земля, песок, наличие и плотность растительности и пр.), а также их влажностью, должны быть подобными в секторе 60º относительно линий, соединяющих контрольные точки с источником звука, а также на расстоянии 30 м вокруг контрольных точек; выбираемая местность должна иметь подобные исследуемой характеристики рельефа в секторе 60º относительно линии, соединяющей контрольные точки с источником звука, а также на расстоянии 30 м вокруг контрольных точек.

При испытаниях должны соблюдаться требования по обеспечению идентичных метеорологических условий при проведении испытаний с экраном и без него.

Предварительные измерения фонового шума проводят в тех же контрольных точках, в которых будут выполняться основные измерения уровней звукового давления (уровня звука) и в том же частотном диапазоне (по полосам частот или по кривой коррекции А).

Эффективность акустического экрана определяется в зависимости от применяемого метода измерений вычислениями, основываясь на результатах выполненных измерений.

При использовании прямого метода измерений эффективность экрана (ΔL) рассчитывается по формуле:

$$\Delta L = \left(\overline{L_o^{с/э}} - \overline{L_o^{б/э}}\right) - \left(\overline{L_k^{с/э}} - \overline{L_k^{б/э}}\right),\ дБ\ (дБА) \qquad (9)$$

где $\overline{L_o^{с/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в опорной точке при наличии акустического экрана, дБ (дБА);

$\overline{L_o^{б/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в опорной точке в отсутствии экрана, дБ (дБА);

$\overline{L_k^{с/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в контрольной точке при наличии экрана, дБ (дБА);

$\overline{L_k^{б/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в контрольной точке в отсутствии экрана, дБ (дБА).

При использовании непрямого метода измерений эффективность экрана (ΔL) рассчитывается следующим образом:

$$\Delta L = \Delta L^{с/э} - \Delta L^{б/э},\ дБ\ (дБА) \qquad (10)$$

$$\Delta L^{б/э} = \overline{L_o^{б/э}} - (\overline{L_k^{б/э}} - C),\ дБ\ (дБА) \qquad (11)$$

$$\Delta L^{с/э} = \overline{L_o^{\ с/э}} - (\overline{L_k^{\ с/э}} - C'), \text{ дБ (дБА)} \qquad (12)$$

где $\overline{L_o^{с/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в опорной точке при наличии акустического экрана, дБ (дБА);

$\overline{L_o^{б/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в опорной точке на эквивалентной местности в отсутствии экрана, дБ (дБА)

$\overline{L_k^{с/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в контрольной точке при наличии экрана, дБ (дБА);

$\overline{L_k^{б/э}}$ – средние октавные уровни звукового давления или уровни звука в контрольной точке на эквивалентной местности в отсутствии экрана, дБ (дБА);

С (С’)– поправка, учитывающая особенности расположения контрольной точки, дБ (дБА), С (С’) = 0 дБ (дБА) для условий полусвободного звукового поля; С (С’) = 3 дБ (дБА), если контрольная точка располагается на расстоянии 2 м от фасада здания; С (С’) = 6 дБ (дБА), если контрольная точка располагается на отражающей поверхности.

Результаты экспериментальной оценки эффективности акустических экранов оформляются протоколом.

Заключение

Показано, что акустические экраны (АЭ) при их правильном проектировании и монтаже обеспечивают снижение до нормы акустического загрязнения окружающей среды. Проектирование АЭ базируется на нескольких ясных физических принципах, которые определяют выбор материала АЭ, его размеры и способ установки. Описаны методы экспериментальной оценки эффективности акустических экранов. Акустические экраны – новая передовая и успешно развивающаяся технология экологической безопасности.

Литература

1. N.I. Ivanov, N.V. Tyurina A problem of noise control in cities, Proc. of the Seventh International Congress on Sound and Vibration, Garmisch-Partenkirchen, 4, 2389-2396, (2000).
2. Natalia Tyurina, Andrew Nikolsky, Features of acoustical barriers used in Russia for transport noise attenuation, Proc. of the Tenth International Congress on Sound and Vibration, 7-10 July 2003, Stokholm, Sweden, 3003-3010.
3. Maekawa Z. Environmental and architectural acoustics, UK, London. E&FN –Spon, 1994.

4. П.И. Поспелов, Д.М. Строков, Технико-экономические показатели конструкций шумозащитных экранов на Московско кольцевой автомобильной дороге// Проектирвоание автомобильных дорог, Сборник научных трудов МАДИ (ГТУ), Москва, МАДИ, 2002, с.131-136.
5. Н.В. Тюрина Расчет эффективности акустических экранов для снижения транспортного шума, Сборник трудов научно-технического семинара «Применение акустических экранов при строительстве автомобильных дорог для снижения шума в жилой застройке», Павловск, 17-19 декабря 2002, с. 55-63
6. ГОСТ Р 51943 «Экраны акустические для защиты от транспортного шума. Методы экспериментальной оценки»
7. ГОСТ Р 30690 «Экраны акустические передвижные. Методы определения ослабления звука в условиях эксплуатации».
8. ISO 10847, Acoustics. In situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types, 1997.

Снижение шума в помещениях

Кирпичников В.Ю. (1), Титов Б.В. (1), Дроздова Л.Ф. (2)
ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова» (1)
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова (2)

Проблема снижения шума в жилых, общественных и производственных помещениях, несмотря на значительные успехи в развитии акустики как науки, накопленный опыт в борьбе с шумом и наличие обширного арсенала противошумовых средств и методов, по-прежнему остается актуальной.

Вполне понятно, что рассмотреть, даже бегло, все стороны этой проблемы не представляется возможным. Но в этом нет необходимости, поскольку ее достаточно полное освещение можно найти в научно-технической литературе (см. например [1]–[5]).

Поэтому не будем останавливаться на системном обзоре проблемы, а кратко рассмотрим лишь аспект недооценки роли специалистов-акустиков при выполнении различного рода проектов производственных корпусов, установки технологического оборудования в зоне жилой застройки и т.д. Именно на этой стадии при наличии шумящих объектов наиболее просто и успешно выполняются работы в части принятия правильных архитектурно-планировочных решений, выбора и компоновки оборудования, применения средств противошумовой защиты. Однако обращения к специалистам с предложением разработки и внедрения мероприятий, направленных на снижение уровней шума, очень часто поступают уже после практической реализации проектов.

Исправить ситуацию в таких случаях не всегда удается, а иногда оказывается, без значительных затрат, весьма затруднительно, либо технически невозможно.

Приведем несколько примеров из личной практики авторов.

1. На одном из предприятий цех сборки холодильников был оборудован системой воздушного отопления с помощью размещенных на стенах воздухонагревательных агрегатов [6]. Каждый из этих агрегатов состоял из калорифера и осевого вентилятора, продувающего через него воздух, смонтированных в едином корпусе. При включении этой системы отопления уровни шума в цехе повышались с 55–60 дБА до 81–82 дБА (рис. 1). При этом спектральный характер шума приобретал ярко выраженную тональность и субъективно шум воспринимался как крайне неприятный, раздражающий «вой» высокой интенсивности на частотах примерно 190, 380 и 570 Гц.

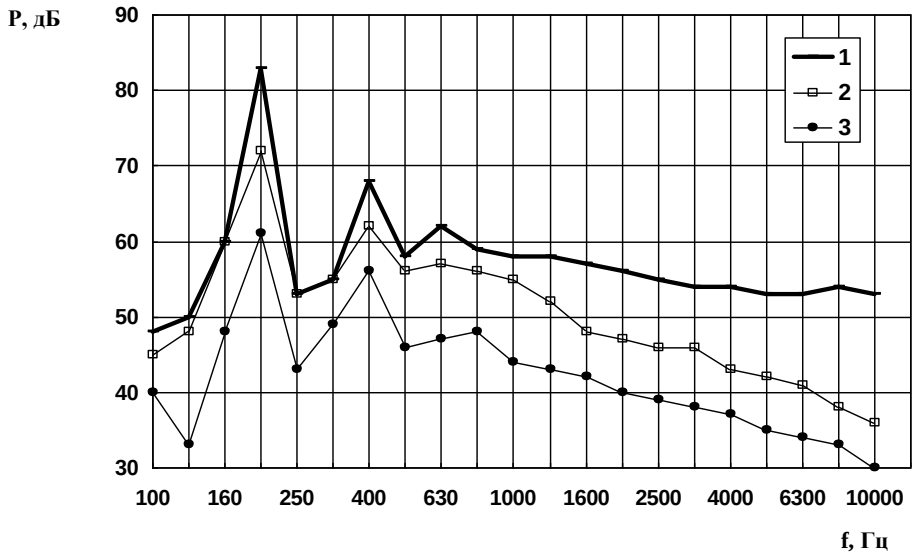


Рис. 1. Третьоктавные спектры шума на одном из рабочих мест в цехе сборки холодильников
1 – до начала работ по модернизации ВНУ;
2 – после модернизации части ВНУ (при работе всех ВНУ);
3 – при работе только модернизированных ВНУ.

Проведенное обследование показало, что вентиляторы закреплены к корпусам с помощью двух балок-швеллеров (рис. 2). Эти балки пересекали входное отверстие в корпусе агрегата и будучи расположенными непосредственно у рабочего колеса вентилятора грубо искажали набегающий на лопасти воздушный поток.

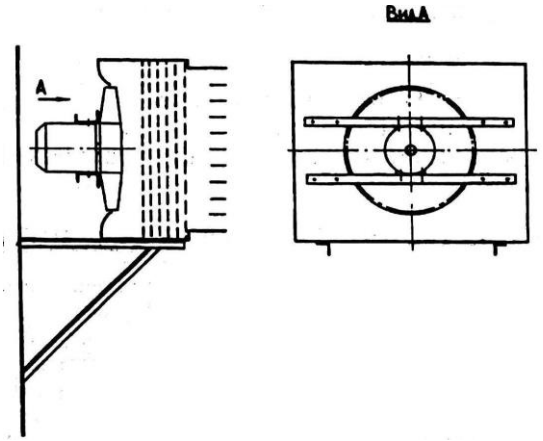


Рис. 2. Исходная схема крепления вентилятора ВНУ

В связи с этим можно было предположить, что причиной повышенного шума агрегатов и его специфического тонального характера являются, прежде всего, аэродинамические процессы, обусловленные неоднородностями набегающего потока. Возникновению тональных составляющих, видимо, «способствовали» и интенсивные колебания вентилятора на резонансных частотах балок-швеллеров.

Был проведен ряд экспериментов с одним из воздухонагревательных агрегатов при различных вариантах крепления вентилятора и с отдельно взятым вентилятором. Производился как октавный, так и узкополосный спектральный анализ возникающего шума.

Полученные результаты, как и ожидалось, полностью подтвердили предположение о причинах повышенной шумности. Было предложено убрать балки-швеллеры и закрепить вентилятор на узком кронштейне, ориентированном вдоль потока засасываемого воздуха (рис. 3). Реализация этого предложения даже для части агрегатов позволила снизить уровни шума в цехе до величин 56–66 дБА по уровню звука (рис. 1). При этом уровни тональных составляющих в спектре шума снизились на величину более 10 дБ.

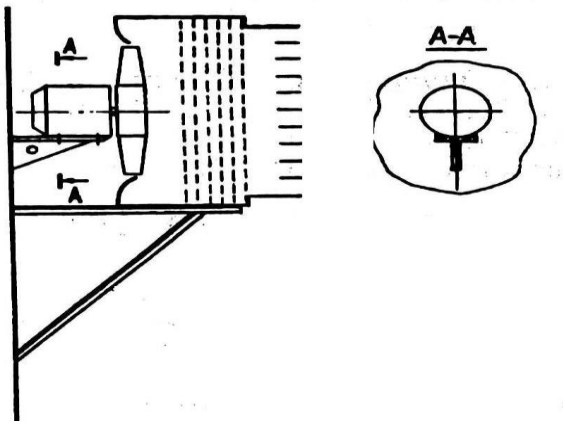


Рис. 3. Рекомендованная схема крепления вентилятора ВНУ

Это пример того, что грубой технической ошибки можно было бы избежать, проведя своевременно консультации со специалистами-акустиками.

2. Существенно более сложная ситуация возникла после сдачи в эксплуатацию газовой котельной сравнительно небольшой мощности [7]. Котельная снабжала теплом несколько соседних жилых домов в центре Санкт-Петербурга. Она была размещена в отдельно стоящем здании. Средствами снижения уровней шума, создаваемого оборудованием на окружающей территории, котельная не оснащалась.

Уровни шума от работы котельной превышали их допустимые значения для жилых комнат квартир и территории, прилегающей к жилым домам, на величину до 11–13 дБА [8]. В измеренных спектрах шума регистрировались низкочастотные (60–100 Гц) тональные составляющие, частоты которых менялись при изменении режима работы котельной.

Известно, что шум котельных формируется следующими основными составляющими:

- воздушным шумом от работы основного и вспомогательного оборудования (котлы, вентиляторы, насосы и пр.);
- шумом аэродинамического происхождения;
- шумом, связанным с процессами горения.

Был проведен комплекс достаточно сложных измерений уровней шума, создаваемого искусственным источником – динамиком – и котельной на различных режимах работы ее оборудования.

На первом этапе соответствующих работ было показано малое влияние на суммарный шумовой сигнал у жилых зданий составляющей, связанной с воздушным шумом основного и вспомогательного оборудования котельной. (Именно эта составляющая, как известно [9], часто является основной при формировании шума на территории, прилегающей к котельным).

С учетом того, что расчетное определение уровней шума аэродинамического происхождения и горения было затруднено из-за отсутствия ряда исходных данных и конструктивных отступлений отдельных узлов газоотводного тракта от их общепринятого оформления, было предложено определить соотношение уровней указанных составляющих экспериментально. Суть эксперимента состояла в измерении уровней шума котельной при работе горелки и непосредственно после ее отключения, но при вдувании в разогретые котлы максимально возможного объема воздуха (рис. 4). Был сделан вывод, что основным источником шума котельной у жилых домов являются процессы горения.

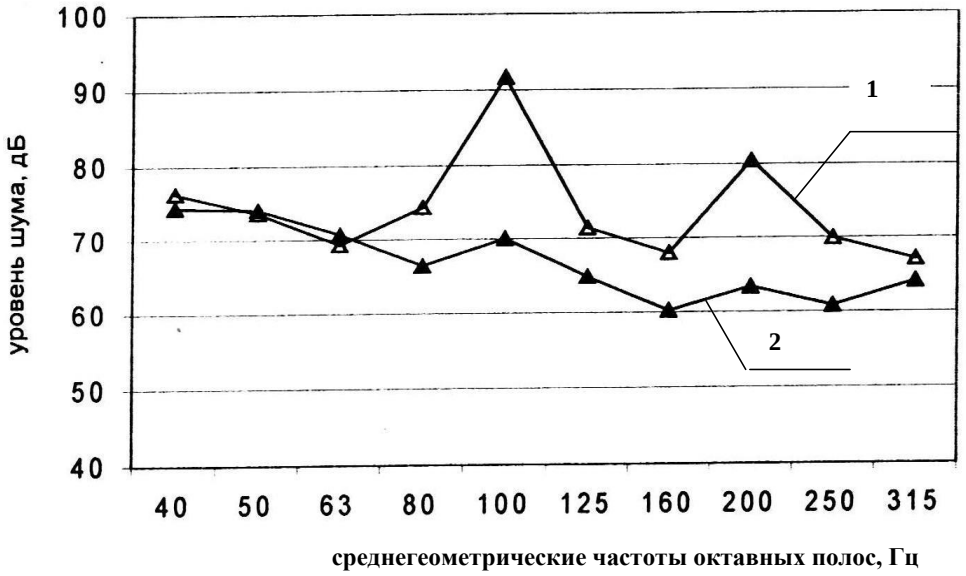


Рис. 4. Уровни шума в контрольной точке при работе котла на штатном режиме (1) и при выключенной на этом режиме горелке, работает только вентилятор (2)

Для уменьшения уровней шума горения был разработан (рис.5–7) и изготовлен (рис.6–7) низкочастотный глушитель. В процессе проектирования, изготовления и установки достаточно габаритного (диаметр 1,3 м и длина 0,8 и) глушителя исполнителям пришлось решать ряд сложных технических задач, которых можно было избежать при участии специалистов-акустиков в разработке проекта котельной.

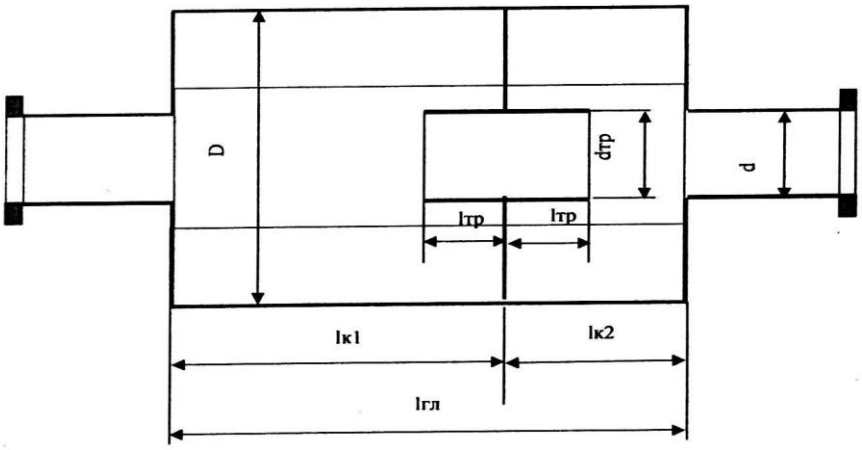


Рис. 5. Двухкамерный расширительный глушитель (предложенный вариант) D=0,88 м; dтр=0,365 м; d=0,365 м; lгл=1,74 м; lк1=1,16 м; lк2=0,58 м; lтр=0,29 м; t°=200°С и 50°С

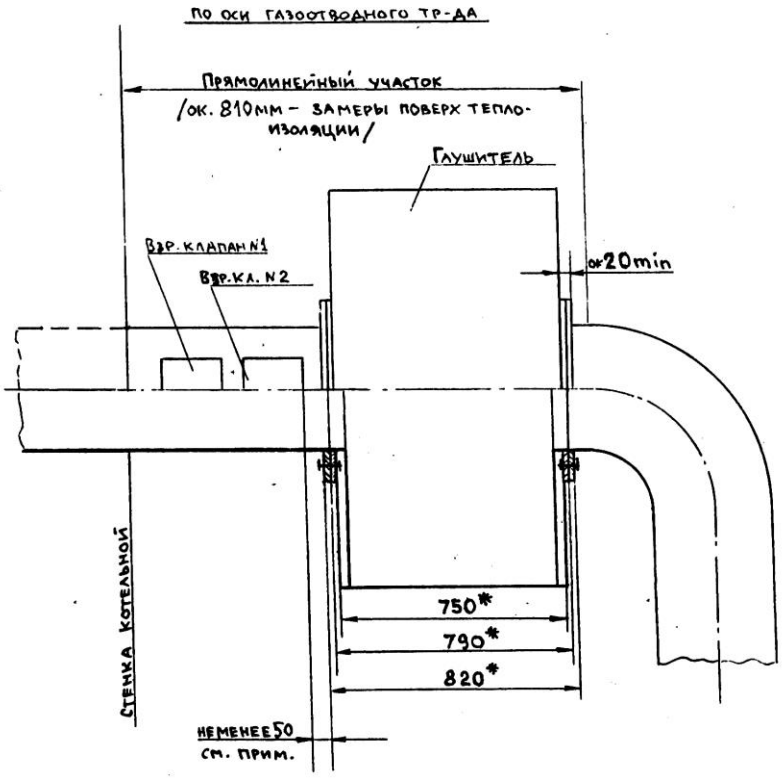


Рис. 6. Схема установки глушителя

Примечание:

1. Глушитель размещается в пределах прямолинейного участка газоотвода, фактическая длина которого уточняется после снятия теплоизолирующего покрытия.
2. При невозможности обеспечить зазор между фланцем на газоотводном трубопроводе и взрывным клапаном № 2, необходимый для заводки болтов (около 50 мм), взрывной клапан № 2 ликвидируется или переносится в район установки взрывного клапана № 1 с установкой под углом к вертикали.
3. * – размеры для справок.

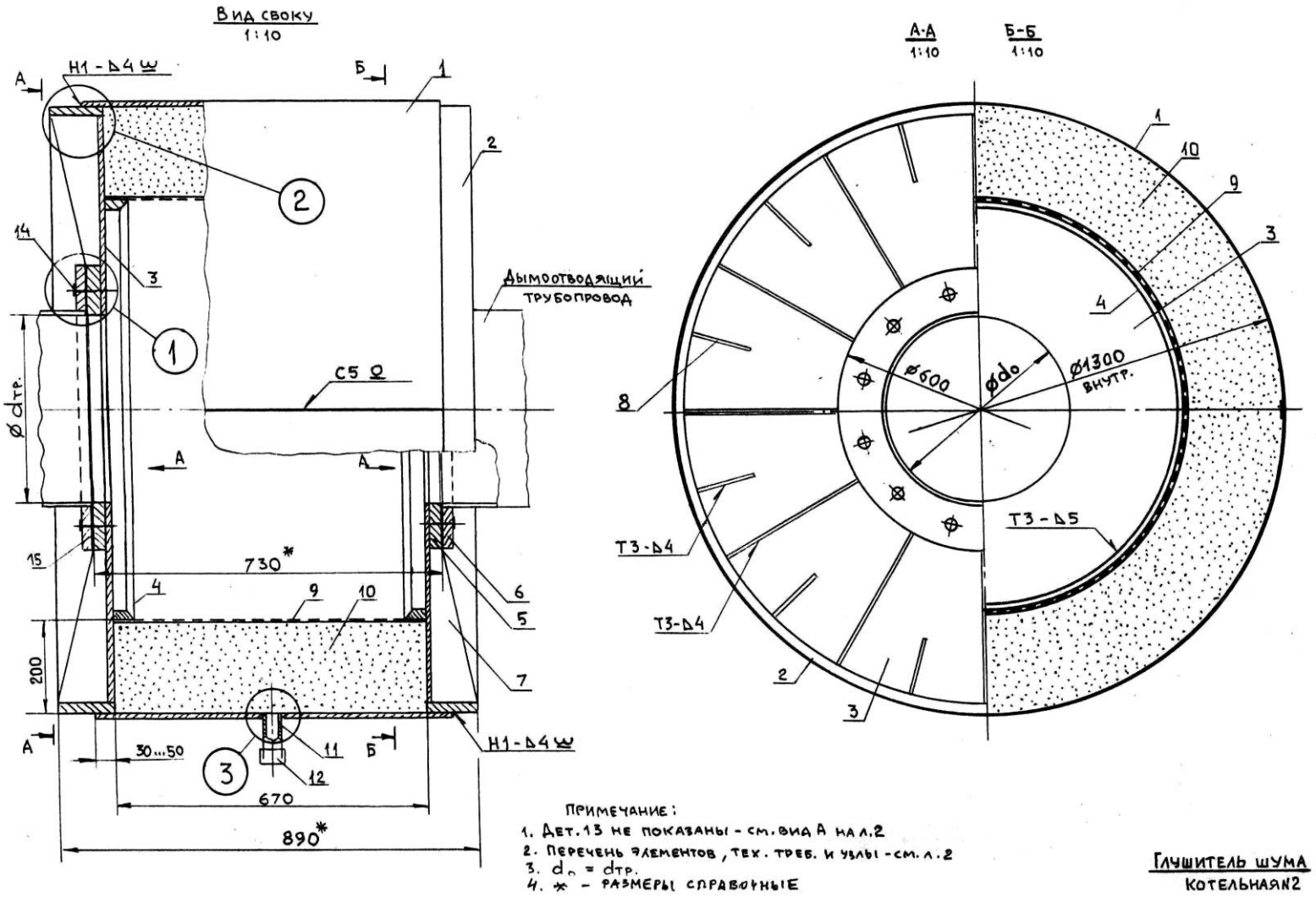


Рис. 7. Конструкция глушителя

Шумозаглушающая эффективность глушителя, как показали измерения после его монтажа, оказалась достаточно высокой. К сожалению, глушителем был оснащен газоотводный тракт только одного котла (их в котельной было два). Было рекомендовано именно этот котел и использовать в ночное время суток.

Отметим, что в сравнении с ранее приведенным примером улучшения шумовой обстановки в цехе изготовления холодильников работа по снижению шума котельной оказалась достаточно сложной и длительной (продолжалась около года). Однако возникшую из-за недоработки проекта акустическую проблему снижения шума и в этом случае решить все же удалось.

К сожалению, так бывает не всегда.

3. На одном из предприятий по производству алюминиевых банок для напитков были отмечены весьма высокие уровни шума (в среднем по цеху от 94 до 97 дБА). Обследование показало, что столь высокие уровни шума, были обусловлены высоко производительными крупногабаритными вентиляторами, обеспечивающими удержание заготовок на транспортерных лентах путем отсоса воздуха из под лент, а также несколькими воздуходувками, задействованными в технологическом процессе. Эти вентиляторы и воздуходувки размещены непосредственно в цехе, забор и выброс воздуха также производятся непосредственно в объеме цеха.

Применить какие-либо средства снижения шума этих источников в условиях действующего предприятия со сложившейся плотной компоновкой оборудования не представилось возможным. Даже установка предложенных звукоизолирующих кабин наблюдения для временного пребывания обслуживающего персонала в условиях высокой плотности оборудования в цехе оказалось проблематичной. Единственное, что оставалось сделать в сложившихся условиях, это перейти на постоянное использование индивидуальных средств защиты слуха и ввести технологические перерывы, позволяющие в какой-то мере разгрузить обслуживающий персонал от постоянного интенсивного шумового воздействия.

Описанную ситуацию можно было прогнозировать еще на стадии проектирования и в целях снижения уровней шума в цехе предусмотреть размещение наиболее шумящего вентиляционного оборудования на техническом этаже с внедрением необходимых мероприятий по его звукоизоляции от основного объема цеха. Видимо, в целях удешевления и сокращения сроков строительства, этого сделано не было.

Кратко остановимся на следующем вопросе. Проектными архитектурно-планировочными решениями при строительстве промышленных,

жилых и общественных зданий зачастую предусматривается установка различного рода шумящего оборудования на междуэтажные перекрытия над помещениями, в которых санитарными нормами [8] определены предельно допустимые уровни шума (ПДУ). Как показывает практика, часто в таких случаях сталкиваются с превышениями установленных ПДУ, что требует необходимости принятия определенных конструктивных мер по виброизоляции этого оборудования от строительных конструкций (прежде всего от перекрытия) и мер по дополнительной звукоизоляции расположенных под перекрытием помещений.

Приведем примеры решения подобной технической задачи.

4. Высокие уровни шума в цехе одной из табачных фабрик были обусловлены работой используемых при упаковке пачек сигарет в целлофан систем вакуумирования, которыми были оснащены все рабочие места.

При модернизации фабрики было решено перейти к использованию централизованной системы вакуумирования, поместив ее на техническом этаже. Однако из-за уже сложившейся архитектурно-планировочной схемы фабрики, размещение вакуум-насосов и крепление централизованного воздуховода вакуумирования необходимо было осуществить на перекрытии, под которым уже был размещен ряд административно-служебных помещений. Поэтому, во избежание повышенных уровней шума в этих помещениях, уже на стадии проектирования был разработан ряд соответствующих мероприятий, направленных на снижение шума.

Для установки вакуум-насосов была разработана конструкция виброизолированных от перекрытия установочных площадок (рис. 8). Для крепления воздуховода системы вакуумирования была разработана конструкция с введенными в нее виброизолирующими узлами с использованием в них резино-металлических виброизоляторов (рис. 9). Одновременно было предложено использовать эту конструкцию и для виброизолированной прокладки воздуховода общецеховой вентиляции (рис. 10). Были предложены и мероприятия по усилению звукоизоляции административно-служебных помещений и по повышению в них звукопоглощения.

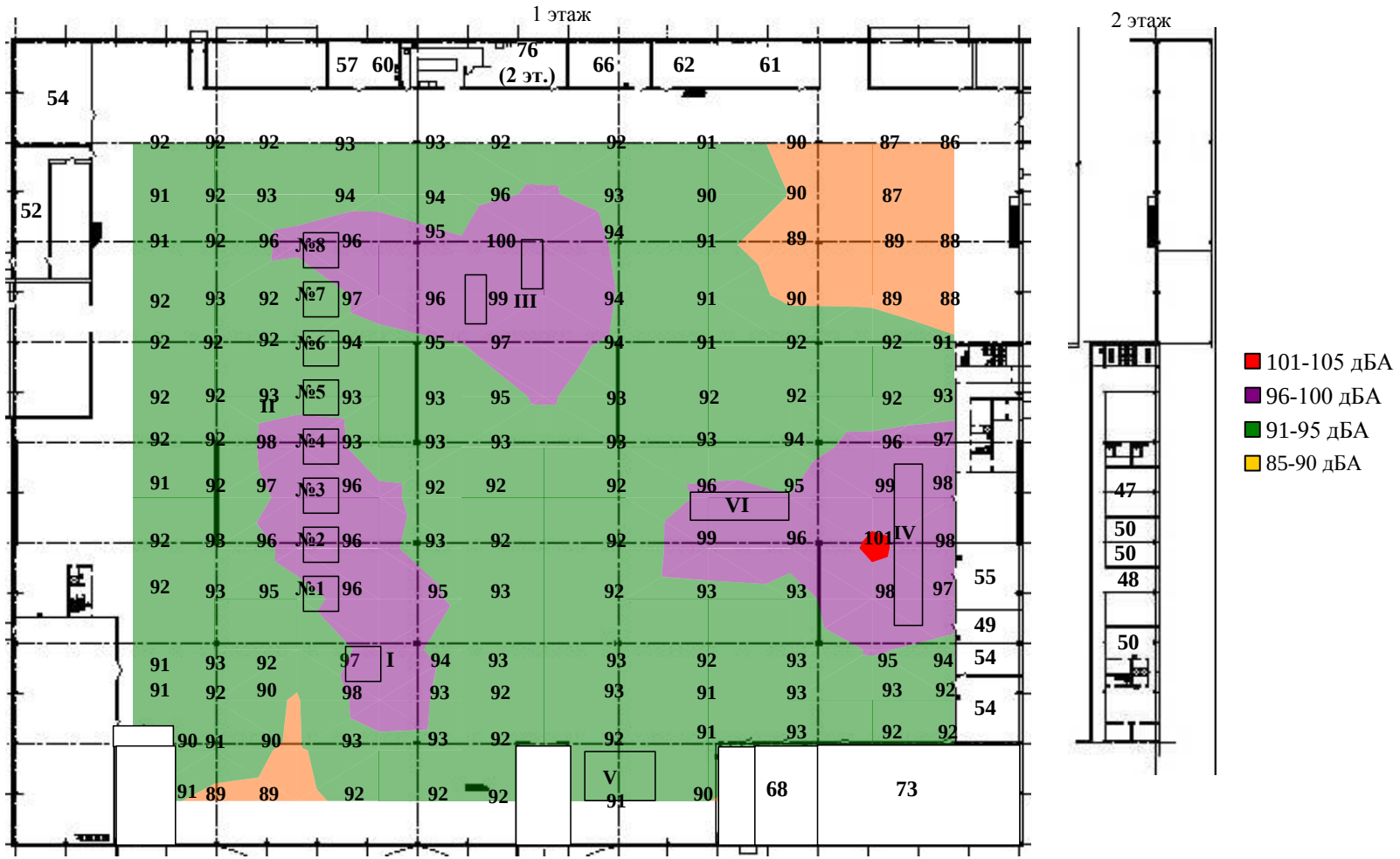


Рис.8. План цеха с расположением наиболее шумного оборудования и измеренные уровни звука (дБА):
I – чашкообразующий штамп (каппер); II – корпусообразующие машины (бодимейкеры), 8 шт.; III – декораторы, 2 шт;
IV – машина формирования шейки (неккер); V – прессы систем сбора баночного скрапа; VI – спрей-машины.

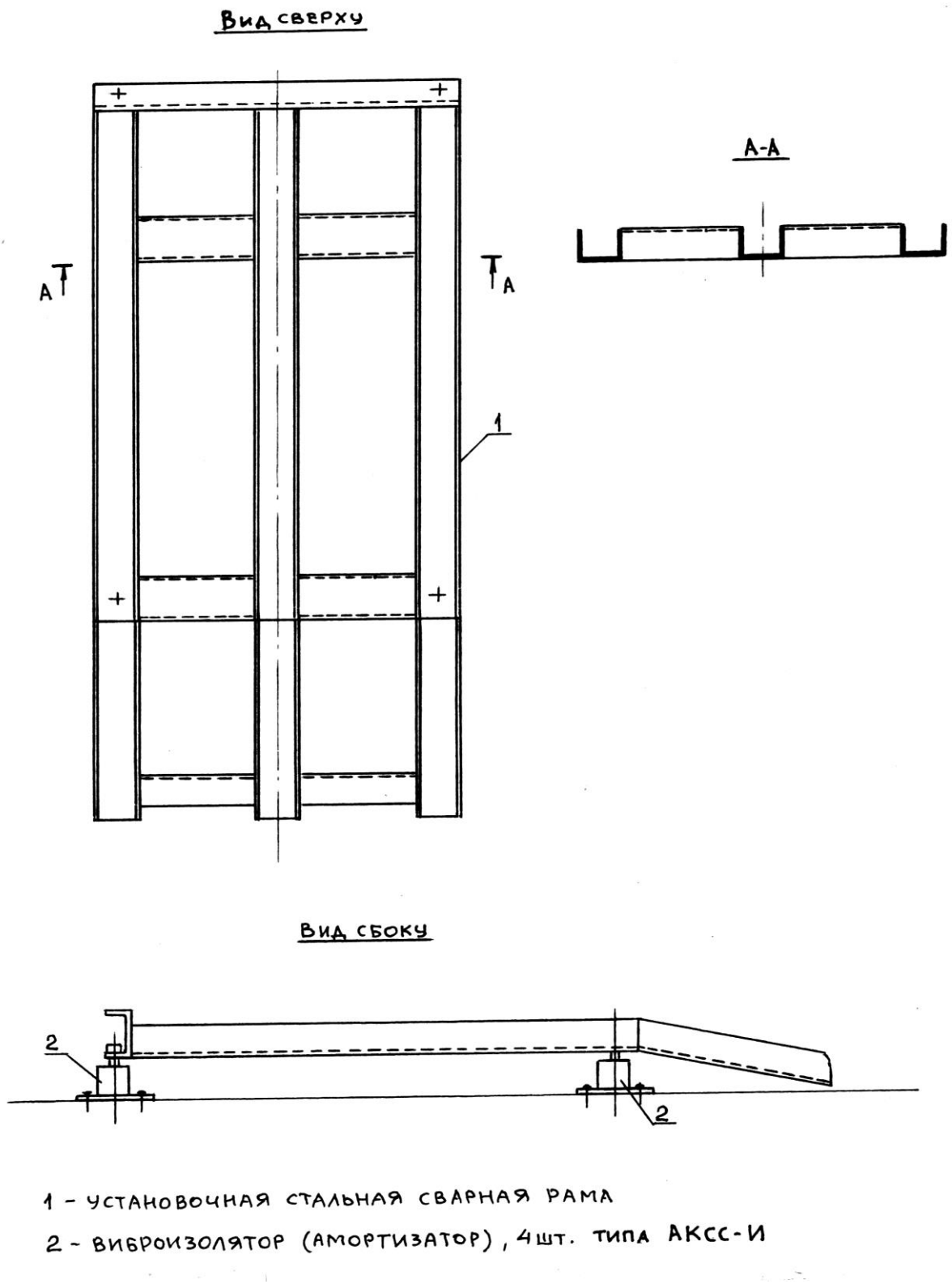


Рис. 9. Стационарная виброизолирующая площадка

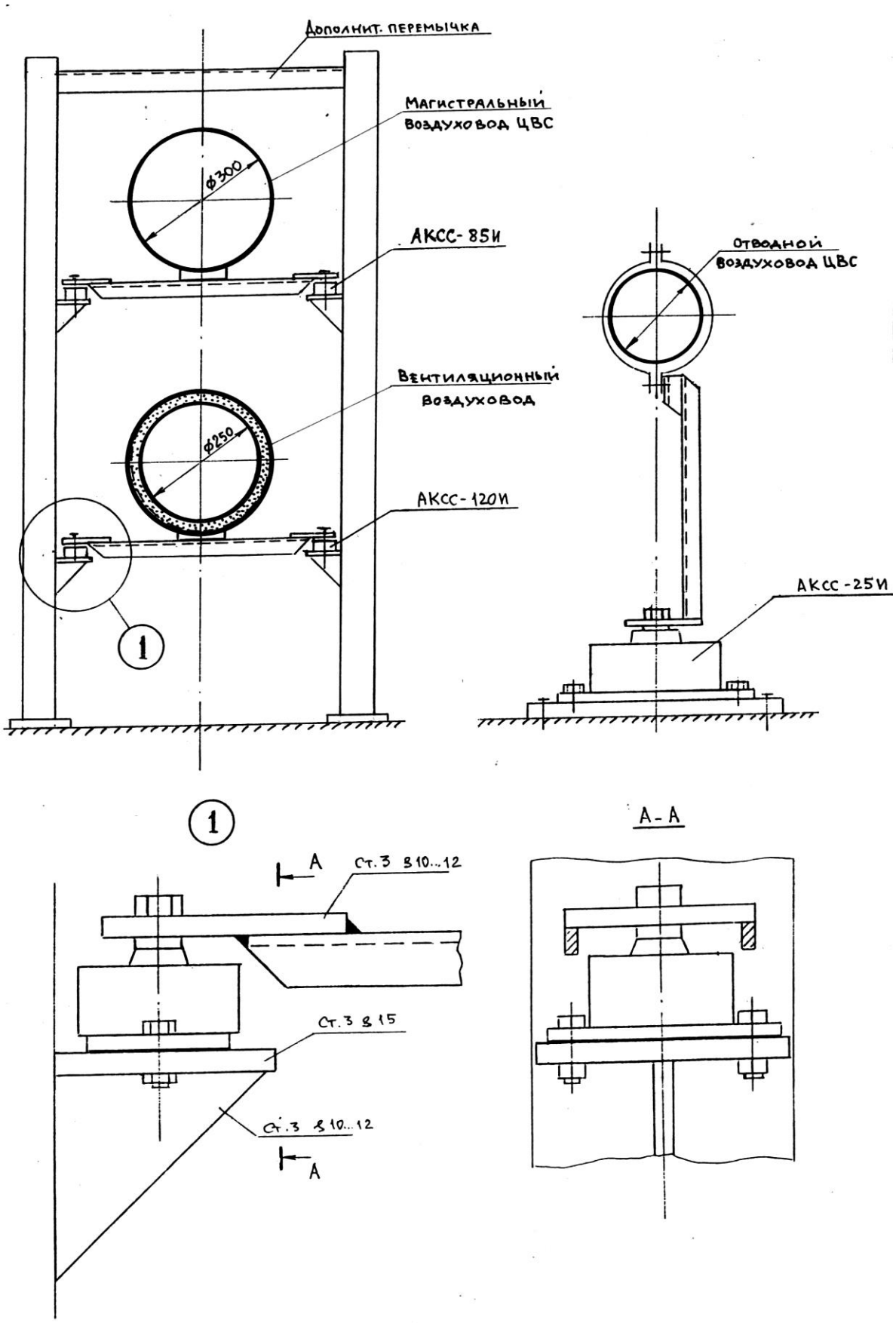


Рис.10. Виброизоляция воздуховодов

5. При реконструкции одной из гостиниц Санкт-Петербурга необходимо было разместить на техническом этаже достаточно мощную установку для кондиционирования воздуха. Проектно-монтажная организация, производящая эту работу, весьма серьезно подошла к вопросу защиты от шума нижерасположенных нормируемых по шуму помещений – жилых номеров и ресторана. Оборудование, входящее в состав установки, было скомпоновано на двух сборочных рамах, закрепленных через виброизоляторы АКСС-И на общую несущую рамную конструкцию (рис. 11). В свою очередь общая несущая рама была оперта в шести точках на капитальные кирпичные стены через низкочастотные пружинные виброизоляторы «Gerb» (Германия) (рис. 12). Этим был полностью исключен прямой контакт виброактивного оборудования с перекрытием, а двойная система виброизоляции обеспечила эффективное снижение вибрации, передаваемой на капитальные стены.

Для предотвращения распространения акустической энергии по воздуху установка была размещена в звукоизолирующей выгородке, все внутренние поверхности которой были облицованы звукопоглощающим материалом.

Измерения уровней шума подтвердили высокую эффективность разработанных и внедренных мероприятий и их достаточность для выполнения требований санитарных норм по шуму в жилых номерах и ресторане [8].

6. Можно привести еще ряд примеров, связанных с задачей уменьшения шума в помещениях, расположенных под перекрытиями, на которых установлено шумящее оборудование с высокой виброактивностью.

Во всех случаях необходимо было разработать применительно к конкретным условиям оригинальные звукоизолирующие конструкции и специальные рамные конструкции для установки оборудования с введением в эти конструкции виброизоляторов и демпфирующих элементов.

В одном из случаев, при реконструкции старинного особняка, даже пришлось разработать конструкцию «плавающего потолка» (по аналогии с «плавающим полом»), подвешенного к балкам перекрытия на виброизоляторах. Это было вызвано не только необходимостью получить высокую звукоизоляцию помещения, т.к. этажом выше реставрационные работы с вскрытием полов еще не выполнялись (и потому их звукоизоляция не могла быть определена расчетом), но и обеспечить защиту художественных лепных рельефов на потолке от повреждения при возможных интенсивных ударных нагрузках на перекрытие.

В заключение отметим, что решение акустических задач на стадии проектирования жилых домов и предприятий позволяет не только избежать сложных и «неудобных» работ на введенном объекте, но и значительно сэкономить (примерно в 4–5 раз по оценкам специалистов) стоимость работ по снижению шума. Это достигается, прежде всего, оптимизацией размещения и компоновки оборудования, схемы противошумовой защиты, а также максимальным приближением реализуемой эффективности отдельных средств к их номинальной эффективности.

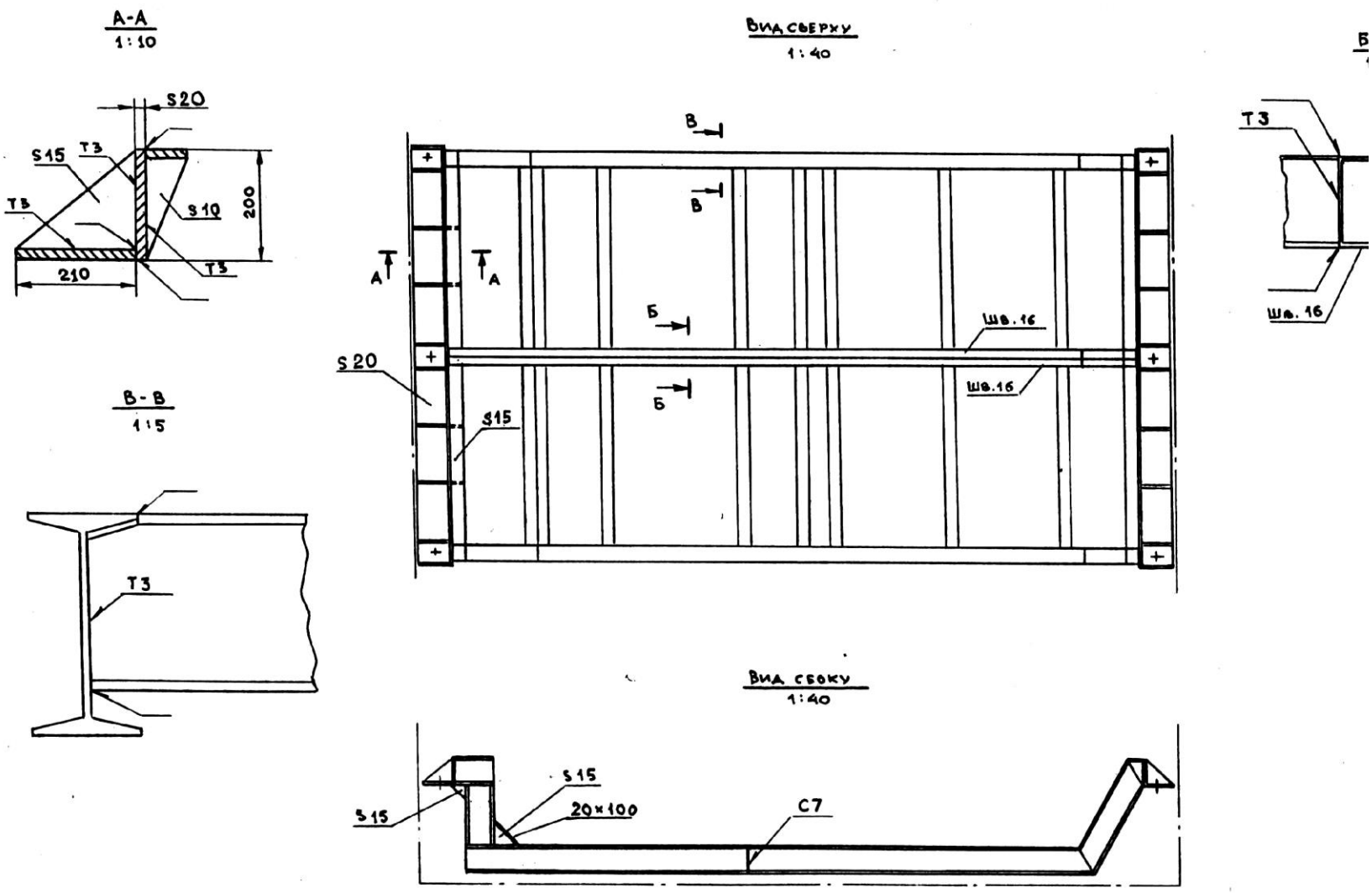


Рис. 11. Сборочная рама

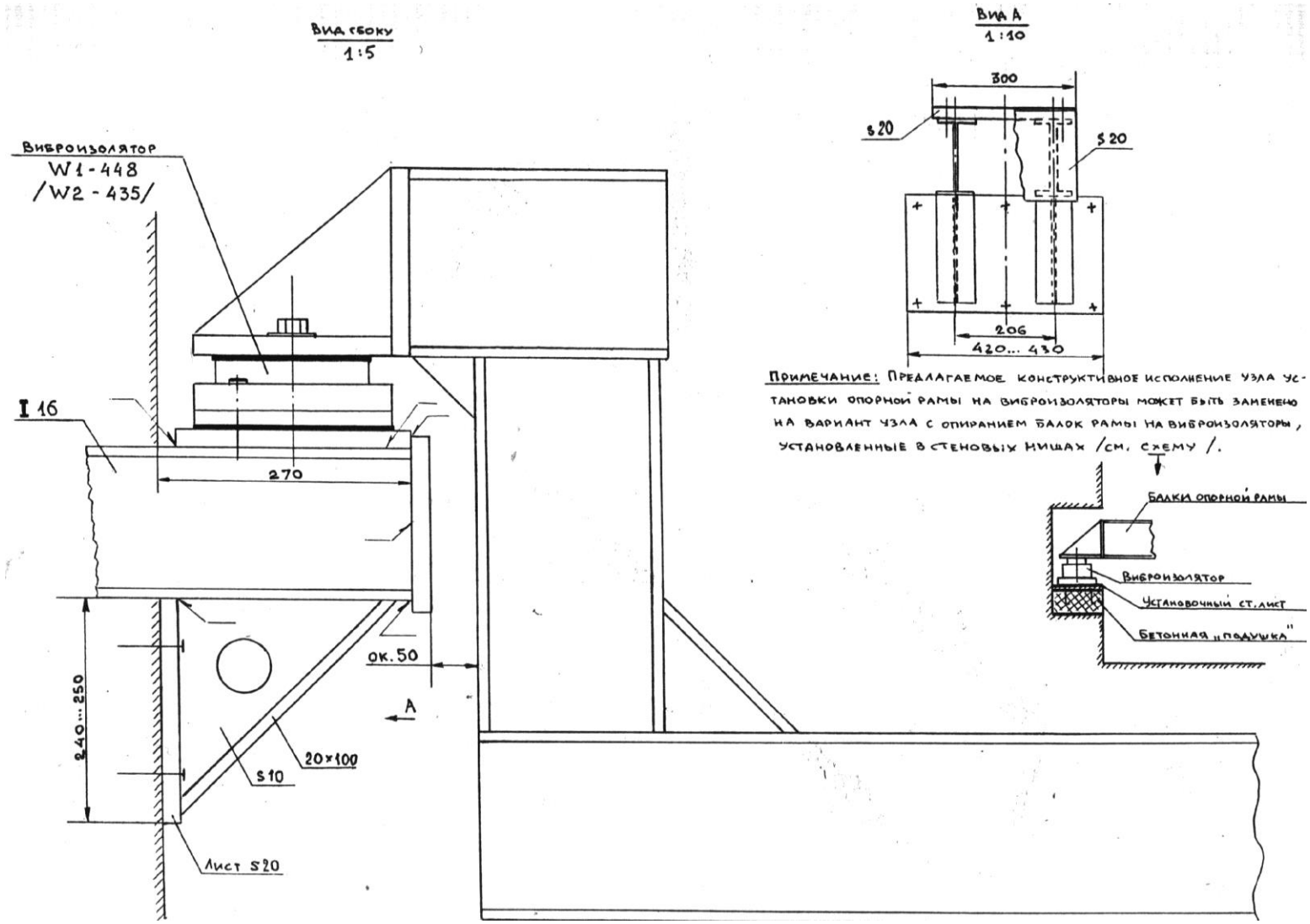


Рис. 12. Узел установки сборочной рамы на виброизоляторы

Конечным результатом подобного подхода к решению рассмотренной технической задачи будет являться введение в строй объектов, пригодных для эксплуатации без нарушения требований санитарных норм по уровням шума и вибрации.

Литература

1. Борьба с шумом. Под ред. Е.Я.Юдина, М., Издательство литературы по строительству, 1964.
2. И.И. Клюкин. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. Издательство «Судостроение», Ленинград, 1971.
3. Справочник проектировщика. Защита от шума. Под ред. Е.Я.Юдина, М., Стройиздат, 1974.
4. Борьба с шумом на производстве. Справочник. Под ред. Е.Я.Юдина, М., Машиностроение, 1985.
5. Авиационная акустика. Под ред. А.Г.Мунина, М., Машиностроение, 1986.
6. В.Ю.Кирпичников, Б.В.Титов, Л.Ф.Дроздова. Снижение шума от системы воздушного отопления в цехе. Научно-практический и учебно-методический журнал «Безопасность жизнедеятельности». Вып.8, 2005.
7. В.Ю.Кирпичников, Ю.Н.Мукалов, Б.В.Титов, Л.Ф.Дроздова, Е.И.Тимофеева. Снижение уровней шума, создаваемого введенной в эксплуатацию котельной. Вторая Всероссийская школа-семинар с международным участием. Новое в теоретической и прикладной акустике. С-Пб, 17–18 октября, 2002.
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», Минздрав России, М., 1997.
9. В.Б. Тупов. Шумовое воздействие от небольших газовых котельных. Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности. Доклады и тезисы докладов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 16–18 июня 1998 г., под ред. д.т.н., профессора Н.И.Иванова (том 3, стр.586).

Разработка требований к системам шумозащиты в составе ОВОС при проектировании

Пшенин В.Н.
ЗАО «Экотранс-Дорсервис»

В настоящее время в проектах транспортного строительства акустические расчеты, при проведении оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), приобретают главенствующую роль. Как правило, такие расчеты, несмотря на свою сложность, проводятся на должном уровне, с использованием программных вычислительных комплексов и с построением карт шума, что позволяет достаточно корректно назначать те или иные шумозащитные мероприятия. Однако, практическая реализация таких мероприятий нередко вызывает справедливые нарекания по разным обстоятельствам: эффективность мероприятий не соответствует расчетной, шумозащитные конструкции имеют неприглядный вид, быстро подвергаются износу, недолговечны, нарушают нормальное функционирование других систем и т.п.

Одна из основных причин, приводящих к столь нежелательным последствиям, – отсутствие должной детальной проработки шумозащитных конструкций в контексте основных проектных решений по объекту, в согласованном сочетании требований шумозащиты с другими инженерными требованиями.

В рамках ОВОС для транспортного строительства акустический расчет, как правило, заканчивается всего лишь назначением места установки и габаритов шумозащитных экранов, шумозащитных зеленых полос, а также указанием требуемых параметров звукоизоляции для оконных заполнений. Дальнейшая детализация и увязка с другими инженерными решениями не проводится. Проектировщики рассматривают шумозащитные экраны и оконные заполнения, как типовые покупные кон-

струкции с заданными свойствами, которые строителю – подрядчику достаточно установить на указанные места, чтобы все получилось хорошо. Но хорошо, далеко не всегда и не везде получается. И как может быть иначе, если в результате такого поверхностного подхода, например для акустических экранов, не разработаны архитектурные решения, не учтено воздействие агрессивной среды со стороны транспортного потока, не приняты во внимание предпочтения местных жителей в части обеспечения местных коммуникаций, освещенности и т.п.

Для того, чтобы изменить отношение к порядку и качеству проектирования средств акустической защиты от транспортного шума, к качеству выполнения строительно-монтажных работ, необходима большая и планомерная работа, в том числе и по созданию необходимых нормативных и методических документов. Одним из первых шагов в этом направлении, предпринятых ЗАО «Экотранс-Дорсервис», явилась разработка «Рекомендаций по проектированию акустических экранов для Кольцевой автомобильной дороги вокруг Санкт-Петербурга (КАД)».

Рекомендации разработаны для организаций и специалистов, занимающихся проектированием и строительством акустических экранов (АЭ) на КАД. Они полезны также и для Заказчика строительства, позволяя ему четко определить требования к проектной документации и к завершенным строительством объектам. Требования, сформулированные применительно к акустическим экранам на КАД, в настоящее время повсеместно используются и в разделах ОВОС для других проектов.

Рекомендации направлены на:

- выполнение нормативных требований, предъявляемых к материалам и конструкциям АЭ;
- обеспечение детальной проработки архитектурного облика АЭ;
- обеспечение требуемой надежности и долговечности АЭ;
- принятие согласованных проектных решений по АЭ, реализуемых различными подрядными организациями;
- предотвращение возможных недостатков, связанных с выбором материалов и конструкций АЭ;
- уменьшение издержек и затрат на эксплуатацию АЭ.

В части архитектурно-ландшафтных решений предлагается придерживаться следующих рекомендаций:

- для протяженных АЭ (длиной 300 – 500 и более метров) избегать монотонности визуального восприятия конструкций за счет изменения высоты, формы и цвета, фактуры материалов АЭ, зеленых насаждений;
- использовать ритмические последовательности, а также чередование симметричных и асимметричных форм экранов;

- обеспечивать гармоничное сочетание АЭ с ландшафтом и архитектурными формами с учетом особенностей рельефа, а также плана и профиля дороги;
- АЭ должны обеспечивать визуальную ориентацию и восприятие архитектурно-ландшафтных доминант;
- для ландшафтного оформления АЭ использовать по возможности зеленые насаждения различной формы и высоты.

Прозрачные элементы АЭ должны быть мотивированы с архитектурно-ландшафтных позиций, например, вид на красивый пейзаж, поддержка оптической направленности, создание ритма на протяжённом участке. Не рекомендуется в непосредственной близости от дороги применять конструкции с большими прозрачными поверхностями, особенно в нижней части АЭ.

На длинных прямолинейных участках шумозащитных экранов рекомендуется применять нарушения прямых линий, используя подчёркнуто выступающие опоры, дугообразные линии или отличающиеся от вертикальных выступающие плавные формы.

При установке АЭ на участках со значительными уклонами (более 50‰) рекомендуется верхние и нижние кромки экранов сохранять в горизонтальном положении, набирая высоту ступеньками по секциям.

Архитектурные элементы АЭ предлагается создавать с помощью максимально простых и надёжных конструктивных решений, мелкие элементы декора и детали не рекомендуются.

Основное внимание в Рекомендациях уделяется материалам и конструкциям экранов.

Материалы и конструкции элементов экранов должны обеспечивать долговечность, стойкость к атмосферным воздействиям и выхлопным газам автомобилей, горюче-смазочным материалам, противогололедным смесям и детергентам.

Наиболее подходящими материалами для экранов являются бетон, кирпич, горячеоцинкованная сталь, алюминий, пластмассы, модифицированные древесные материалы.

Материалы и конструкции АЭ для обеспечения их долговечности в условиях агрессивной среды придорожного пространства должны удовлетворять требованиям Единой системы защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС).

Акустические экраны в придорожной полосе крупных автодорог подвержены атмосферному влиянию оксидов азота (NO_x) в концентрациях от 0,1 до 5 мг/м^3, диоксида серы (SO_2) – до 0,5 мг/м^3, что дает основание отнести их к группе В по агрессивности согласно СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии». Помимо атмосферного воздей-

ствия различные элементы АЭ подвергаются воздействию пыли, солей, а конструкции фундаментов – воздействию грунтов и грунтовых вод. Деревянные конструкции подвержены биоповреждениям.

Меры защиты конструкций АЭ от коррозии и старения устанавливаются согласно СНиП 2.03.11-85 в зависимости от материалов и в соответствии со степенью агрессивности среды.

Степень агрессивности различных сред придорожного пространства, установленная для конструкций АЭ согласно СНиП 2.03.11-85, приведена в табл. 1.

Таблица 1

Степень агрессивности различных сред, влияющих на АЭ в придорожном пространстве (по СНиП 2.03.11-85)

Материал	**Среда**		
	газы	**пыль и соли**	**грунты**
Бетон	неагрессивная	слабоагрессивная	не учитывается
Железобетон	среднеагрессивная	сильноагрессивная*	среднеагрессивная*
Каменные конструкции	неагрессивная	слабоагрессивная**	не учитывается
Деревянные конструкции	слабоагрессивная	слабоагрессивная	-
Металлические	среднеагрессивная***	среднеагрессивная	сильноагрессивная*

Примечание:
** – при использовании хлоридов для борьбы с зимней скользкостью;*
*** – среднеагрессивная для силикатного кирпича;*
**** – слабоагрессивная для конструкций из алюминия.*

Защита стальных элементов конструкций акустических экранов, как несущих, так и ограждающих, должна соответствовать качеству защиты не ниже IIIа 2 (60) (в терминах СНиП 2.03.11-85), где:

- III – группа лакокрасочных покрытий для стальных конструкций (эпоксидные, кремнийорганические, перхлорвиниловые и на сополимерах винилхлорида, сланцевиниловые, полистирольные, полиуретановые, фенолоформальдегидные);
- а – индекс покрытия, в данном случае обозначает, что покрытие должно быть стойким на открытом воздухе;
- 2 – число покрывающих слоев;
- (60) – общая толщина покрытия, включая грунтовку, мкм.

Стальные элементы ограждающих конструкций должны быть выполнены из горячеоцинкованной стали с толщиной покрытия не ниже I класса (ГОСТ 14918-80). Таким образом, толщина цинкового покрытия суммарно с двух сторон должна составлять от 18 до 40 мкм, а масса цинка на единицу поверхности, соответственно – от 258 г/м^2 до 560 г/м^2.

Конструкции металлических экранов должны иметь эффективную систему отвода конденсированной влаги.

Покрытие внешних поверхностей металлических конструкций АЭ должно быть устойчивым к воздействию ультрафиолетового излучения и абразивному истиранию.

Сопряжение отдельных элементов конструкций экрана должно обеспечивать их плотное примыкание друг к другу без щелей и отверстий. Не допускается наличие просветов и щелей между нижней кромкой экрана и основанием.

Основания АЭ должны обеспечивать дренаж ливневых и талых вод. Отверстия для дренажа ливневых вод не должны ухудшать акустические характеристики экранов. Во избежание этого отверстия допускается делать размером не более 200*200 мм при расстоянии между центрами труб более 3 м, и 200*400 мм при расстоянии более 6 м и расположении ближайшей к АЭ оси полосы движения более 3 м.

Прозрачные материалы, помимо достижения эстетических целей и обеспечения акустической защиты, должны предусматривать возможность:

- обзора окружающего ландшафта;
- ориентирования водителя на местности, особенно при очень длинных экранах с двусторонним расположением;
- обзора дороги с внешней территории;
- скрытия при визуальном восприятии массивности искусственного сооружения или шумозащитного экрана.

Для прозрачных элементов, предназначенных для обеспечения видимости, светопропускание должно быть не ниже 85%. Уменьшение светопропускания за 10-летний период должно быть не более 5%.

Для акустических экранов, исходя из накопленного отечественного и мирового опыта эксплуатации, рекомендуется применение двух видов светопропускающих материалов:

- органическое стекло (полиметилметакрилат);
- поликарбонат.

Оба материала могут применяться как в прозрачном, так и в непрозрачном исполнении.

Следует учитывать, что применяемые прозрачные материалы должны обеспечивать указанные выше параметры и сроки эксплуатации при воз-

действии ультрафиолетового излучения и интенсивного абразивного истирания при эксплуатации АЭ возле дороги.

Рекомендуется предусматривать меры по противодействию бликам, особенно на криволинейных участках дороги, которые могут возникать при косых солнечных лучах и ночью от света фар автомобилей. Проектные материалы по экранам должны содержать проработки по этому вопросу. В качестве мер противодействия бликам могут быть использованы, например, следующие проектные решения:

- установка экранов с наклоном в сторону от дороги;
- использование выступов на поверхности экранов;
- применение антибликового покрытия;
- применение матовых поверхностей.

Подтверждение фактической акустической эффективности АЭ, установленных по месту, выполняется в соответствии с ГОСТ Р 51943-2002 «Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности».

Для подтверждения акустической эффективности АЭ до их установки в контрольных точках объектов, защищаемых от шума, должны быть измерены фоновые эквивалентные уровни шума.

Изготовители конструкций АЭ должны гарантировать сохранение акустических (звукоизоляция и звукопоглощение), механических и оптических (для светопропускающих элементов АЭ) параметров в условиях придорожной среды на срок не менее 10 лет.

Гарантийный срок на наружные покрытия АЭ в условиях эксплуатации в придорожной среде – не менее 10 лет. Межремонтный срок эксплуатации АЭ должен составлять не менее 15 – 20 лет. Срок службы АЭ должен составлять не менее 30 лет.

В проектной документации на экраны следует обосновывать:

- расходы на материалы для АЭ;
- расходы на строительно-монтажные работы;
- расходы на эксплуатацию экранов;
- иные расходы, связанные непосредственно с реализацией шумозащитных мероприятий.

В документации должны быть обоснованы сроки межремонтных периодов и объемы соответствующих ремонтных работ.

Экраны и их основания должны быть рассчитаны на ветровые и весовые нагрузки согласно СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».

Конструкция АЭ должна обеспечивать вандалоустойчивость в течение срока службы, т.е. невозможность преднамеренного разрушения конструкции или любой ее части без использования специальных инструментов, оборудования и механизмов. Внешняя поверхность АЭ должна быть труд-

ноокрашиваема бытовыми красками, например аэрозольными, либо затруднять возможность применения таких красок и обеспечивать удаление красителей в процессе содержания АЭ.

Разработка Рекомендаций для акустических экранов, отдельные положения которых приведены выше, – это только первый шаг по пути повышения качества проектирования шумозащитных конструкций. Понятно, что нельзя ограничивать детализацию проектных решений по акустической защите рамками раздела ОВОС, поскольку здесь возникает масса технических вопросов, выходящих за рамки природоохранной сути этого раздела. Для обеспечения полноценной и качественной шумозащиты необходимо не только разработать соответствующие нормативно-методические документы, но и изменить психологию, отношение к делу шумозащиты, как ответственной инженерной работе, всех участников процесса – заказчика, проектировщика, строителя.

Секционные доклады

Три фрагмента из деятельности специалистов в области технической акустики в постперестроечное время

Кришневский Б.А. (1), Изак Г.Д. (2), Александрова Т.А. (1), Фролов М.В. (1), Сугака Д.П. (1)
ООО «ЭРГОС», Санкт-Петербург (1),
ООО «Научнойз», Санкт-Петербург (2)

Фрагмент 1.
Защита от шума в жилой квартире от внешнего источника

В исторической части Санкт-Петербурга в последние годы наметилась тенденция освоения первого и второго этажей зданий под кафе, магазины, офисы, спортивные и развлекательные клубы. В проектах таких объектов предусматриваются системы вентиляции и кондиционирования, которые, несмотря на предусматриваемые, как правило, комплексы мер защиты от шума, тем не менее, являются достаточно интенсивными источниками шума.

Представляет научный интерес на реальном примере показать решение такой проблемы в кафе с поэтическим названием «Наша кухня», расположенном на 1-м этаже в жилом 5-этажном доме по адресу: Клинский пр., 21. В кафе одна небольшая организация сделала вытяжную вентиляцию, в которой вентилятор центробежного типа был установлен в небольшой 1-этажной пристройке, расположенной в углу внутреннего двора, имеющего сечение близкое к квадрату и площадью около 240 м^2.

Пристройка имела крышу, покрытую железом с уклоном к центру двора порядка 10о. Вентиляционная труба диаметром 315 мм выходила из крыши вертикальным участком 0,5 м высотой. Расстояние от этого участка трубы до двух жилых квартир, расположенных в углу на втором этаже здания, было 1,5 – 2 м. Далее труба имела горизонтальный участок 3 м до угла примыкания пристройки к зданию и вертикально поднималась над его крышей на 2 м.

Уровни шума вблизи окон квартир, расположенных над пристройкой, составляли 66-69 дБА. В этих квартирах шум должен был превышать допустимые уровни. Однако с жалобами на шум вентиляции в районную СЭС настойчиво обращался житель квартиры №20, которая находилась по диагонали в противоположной углу двора на 5-м этаже здания. Шум мешал ему работать днем, как врачу психотерапевту.

Оценка фактического состояния шумовых характеристик специалистами СЭС показала, что в центре двора имеют место превышения допу-

стимых уровней шума на частотах 125 Гц, 250 Гц, 500 Гц и 1000 Гц соответственно на 6 дБ, 3 дБ, 7 дБ и 6 дБ. В квартире врача превышения допустимых уровней шума были отмечены только на низких частотах 125 Гц и 250 Гц соответственно на 3 дБ и 4 дБ.

Ситуация осложнялась тем, что решение проблемы неоднократно до этого откладывалось, конфликт дошел до критической точки, время для работ самое неудачное – декабрь, зимние условия, пристройка не отапливалась.

Система вентиляции из мер защиты от шума имела только в начале горизонтального участка над крышей пристройки небольшой стандартный трубчатый каналовый глушитель, пользы от которого не было. Естественно, что вроде бы решение проблемы лежало на поверхности. Необходимо снизить звукоизлучение выходной трубы вентиляции над пристройкой.

Контрольные измерения показали, что от выхода трубы из крыши до перехода к вертикальному участку в углу уровни шума на частотах 63 Гц и 125 Гц возрастают на 10 дБ и 7 дБ соответственно, а на 250 Гц – на 2 дБ, то есть интенсивность излучения трубы увеличивается (трехгранный угол).

Для уменьшения этого излучения был изготовлен и установлен дополнительный трубчатый глушитель длиной 1,5 м и диаметром 550 мм с конусными концевыми частями. Уровни шума снизились у перехода к вертикальному участку трубы на 3 – 4 дБ. Однако на уровни шума в центре двора и в жилой квартире №20 это не отразилось.

Требовалось более эффективное средство шумозащиты на низких частотах. Поэтому был рассчитан, спроектирован и установлен на крыше над вентилятором камерный глушитель объемом 1 м^3, в котором оси воздуховодов были взаимноперпендикулярны. При этом в первый момент уровни шума в ближнем поле источника увеличились в 2 раза. Причинами этому послужило: с одной стороны – разрыв воздуховода при выходе из крыши; с другой стороны – слабая акустическая герметизация глушителя, отсутствие демпфирования металлических поверхностей и звукопоглощения.

После устранения этих причин было зафиксировано снижение уровня шума в центре двора на 3 дБА. Это был первый положительный результат. Однако выяснилось, что теперь необходимо уменьшить излучение шума непосредственно самого источника – вентилятора. Проблема непростая. Вентилятор был консольно закреплен к стене дома, имеющей криволинейную поверхность, и находился под потолком пристройки. Поэтому вентилятор был заключен в металлическую конструкцию типа «полукапсула» со звукопоглощением. Эта конструкция и центробежная часть вентилятора были демпфированы вибропоглощающей мастикой ВПМ-1.

Ожидаемый акустический эффект должен был составить на низких частотах 7-10 дБ, но измерения показали отсутствие результата. Выяснилось, что при измерениях вентилятор работал не в режиме, так как не было одной фазы. После устранения такой неожиданной причины был получен требуемый результат, приведенный в табл. 1.

Уровни шума в контрольных точках

Таблица 1

Точки измерения	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	
1. Двор в центре	63	62	58	49	43	38	35	29	25	**47**
Санитарная норма 55 дБА – 5 дБ, день	85	70	61	54	49	45	42	40	39	**50**
2. Гостиная в квартире №20	46	46	34	30	22	18	15	14	13	**26**
3. Кухня в квартире № 20	43	45	37	34	20	15	15	14	13	**26**
Санитарная норма 40 дБА – 5 дБ, день	74	58	47	40	34	30	27	25	23	**35**

Измерения в квартире были выполнены с открытой форточкой. На время измерений пришлось остановить настенные часы, которые маскировали шум от системы вентиляции кафе.

Фрагмент 2.
Вибропоглощающие материалы.
Обобщенный анализ предложений на отечественном рынке

Предлагаемые в настоящее время вибропоглощающие материалы условно можно разделить на четыре группы. К 1-й группе относятся материалы, которые изготавливаются на эпоксидной основе, ко 2-й – материалы, изготавливаемые на каучуковой основе, к 3-й – материалы, выпускаемые на битумной основе, к 4-й – материалы, которые производятся на полимерной основе.

Материалы могут быть двух типов. В виде листовой трехслойной конструкции, где средним слоем является вязкий материал на каучуковой, полимерной или битумной основе. Наружным слоем является алюминиевая фольга, а внутренним – клеевая основа, защищаемая антиадгезионной пленкой. Имеются листовые материалы на основе ПВХ и ПВА, наклеиваемые на поверхности эпоксидным клеем. Другой тип – это мастичные материалы.

Листовые материалы примерно в 2-2,5 раза дороже мастичных материалов при прочих равных условиях. Тем не менее, листовые материалы целесообразны для демпфирования тонкостенных конструкций, имеющих небольшие площади. Здесь их более высокая стоимость компенсируется существенно меньшими технологическими затратами.

Для демпфирования металлоконструкций большой площади, расположенных в пространстве, как правило, в трех плоскостях, применяются мастичные материалы на полимерной основе. Наибольшее распространение получили мастики марки «Адем» и ВПМ-1, выпускаемые более 20 лет,

и изначально разработанные кафедрой химической технологии пластмасс СПб ГТИ (ТУ).

В апреле 1992 года ООО «ЭРГОС» приступило к промышленному выпуску мастики ВПМ-1 под авторским контролем разработчиков. За прошедший период, в начале, пришлось преодолевать негативные явления, связанные с ухудшением качества компонентов. Затем исчезли производители большинства компонентов мастики. Поэтому ведется постоянный поиск по поддержанию вибропоглощающих свойств ВПМ-1 на заявленном уровне.

Покрытие ВПМ-1 имеет следующие основные свойства: коэффициент потерь колебательной энергии на металлической пластине – 0,18, а на стержне -0,12; прочность при отрыве (круглый образец) – не менее 4 МПа; прочность при сдвиге (плоский образец) – не менее 5 МПа.

По отношению к конкурентам ВПМ-1 имеет сертификат пожарной безопасности № ССПБ.RU.ОПО19.НОО138 и относится к разряду негорючих (группа Г1).

В 2005 году был разработан в соавторстве с СПб ГТИ (ТУ) перспективный универсальный полимерный материал ВПМ-1У («СТОИК»). Коэффициент потерь колебательной энергии материала – 0,7- 0,8 в диапазоне частот 90 – 1150 Гц и не имеет температурной зависимости в интервале 10 – 80°С. Поверхностная твердость – не менее 40 МПа. Расширена область применения материала. Это – покрытие конструкций и путей эвакуации людей в строительстве, на транспорте, в судостроении.

Возвращаясь к базовой рецептуре ВПМ-1, отметим следующее. Мастика выпускается в двухкомпонентном варианте для обеспечения гарантийного срока хранения 6 месяцев. Хотя возможна поставка и в однокомпонентном варианте.

Как показывает многолетний опыт работы с ВПМ-1 наиболее приемлемым и эффективным методом нанесения мастики является безвоздушное распыление под давлением 300 -350 атмосфер. Это позволяет работа на пневматической установке типа 65/1 производства французской фирмы «Кремлин – Рексон». На фотографии показана работа установки в условиях трамвайного завода.

Фрагмент 3.
Гостиница «Амбассадор» класса 4 звезды.
Измерения шума в помещениях

В ноябре 2005 года была принята в эксплуатацию гостиница «Амбассадор», построенная фирмой из Югославии. Представители фирмы обратились с просьбой оценить состояние шумовых характеристик, чтобы принять меры в случае их несоответствия допустимым величинам.

Была поставлена задача. Определить шум в номерах гостиницы, который создается системами вентиляции, оборудованием постирочной на 3-м

этаже, венткамерами на 10 этаже. Определить звукоизоляцию стен между номерами и между номерами и коридорами. Определить уровень фонового шума из ресторана на 9-м этаже в помещениях президентского апартамента на 8-м этаже, находящихся под ним. Шумовые характеристики в гостиницах такого класса отсутствовали.

Это вызывало повышенный интерес к этой работе. Было установлено, что практически во всех номерах шум, создаваемый системой вентиляции, мало отличался от фонового шума и не превышал требований санитарных норм для дневного и ночного времени суток.

Шум в номерах от оборудования постирочной не превышал допустимых для гостиниц категории А в дневное время. Шум в гостиной номера «Люкс» на 8-м этаже, создаваемый вытяжной вентиляцией, превышал допустимый для дневного времени на 17 дБА. Шум в ресторане 9-го этажа не превышал допустимый. Зато в расположенном по соседству с ним конференц-зале превышения шума составили 6 – 8 дБА.

Измерения звукоизоляции стен и перекрытий показали. Индекс изоляции от воздушного шума стен между номерами лежит в пределах от 41 дБ до 52 дБ и отличается значительным разбросом. Это можно объяснить различием в конструктивном исполнении стен и низким уровнем герметизации мест прохода коммуникаций. Средняя величина индекса изоляции от воздушного шума у стен – 45 дБ, что ниже нормативного на 7 дБ.

Звукоизоляция стен между номерами и коридорами формально не нормируется. В виду явно низкой звукоизоляции такие измерения были сделаны. Оказалось, что индекс изоляции от воздушного шума лежит в пределах 21 – 31 дБ. Конструкция дверей не позволяла достичь большего.

Индекс изоляции от воздушного шума перекрытий между номерами находится в пределах 55 – 60 дБ и удовлетворяет нормативным требованиям. Однако перекрытие номера «Люкс» на 8-м этаже имеет индекс изоляции от воздушного шума на 9 дБ ниже нормативного.

По нашим рекомендациям строительной фирмой была улучшена звукоизоляция дверей в номерах, за счет более плотного притвора, звукоизоляция перекрытия между рестораном и президентскими аппартоментами.

Вопросы защиты от шума и вибрации в специальных технических регламентах по безопасности автотранспортных средств

Галевко Ю.В. (1), Щепкин А.И. (2)
Научно-исследовательский центр
по испытаниям и доводке автомототехники (1),
САТР-Фонд (2)

Введение

В июне 2003 года вступил в силу Федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании». В целях реализации этого закона правительство организует разработку специальных технических регламентов (СТР). В соответствии с программой разработки технических регламентов, утвержденной распоряжением правительства РФ №1421-р, предполагается выполнить разработку технического регламента «О безопасности автотранспортных средств», который будет разработан в ранге Федерального закона и установит правовые основы технического регулирования в отношении продукции автомобилестроения. Еще один специальный технический регламент «О требованиях к конструктивной безопасности автотранспортных средств» также разрабатывается в рамках Программы в целях установления конкретных требований конструктивной безопасности транспортных средств и их составных частей, которым они должны соответствовать при выпуске в обращение [1]. Основой этого СТР должны стать Правила ЕЭК ООН, являющиеся приложением к Женевскому Соглашению 1958 года, к которому присоединилась Российская Федерация и национальные стандарты РФ, учитывающие дорожно-климатические особенности эксплуатации автомототранспортных средств в России как применяемые в настоящее время, так и которые следует в достаточно короткие сроки разработать [2].

Следует отметить, что разработка СТР ведется не на голом месте. Основой являются «Правила по проведению работ в системе сертификации механических транспортных средств и прицепов» [3], которые успешно функционируют в Российской Федерации уже более 10 лет. Проект технического регламента «О безопасности автотранспортных средств» в числе прочих предусматривает обязательные требования в отношении следующих характеристик транспортных средств: шум (внешний и внутренний); вибрация (общая и локальная); инфразвук [4]. В приложении к проекту СТР «О требованиях к конструктивной безопасности автотранспортных средств» приводятся допустимые уровни вышеперечисленных показателей и даются ссылки на методы испытаний установленные Правилами ЕЭК ООН или ГОСТ Р.

Следует отметить, что на протяжении всего периода существования требований по шуму и вибрации к АТС в Российской Федерации (а ранее в СССР) существовали и имеют место быть противоречия по реализации этих требований между Минздравом и Минавтопромом (на сегодняшний день между Роспотребнадзором и Минпромэнерго). Основное отличие этих подходов заключается в следующем: Минавтопром устанавливал допустимые уровни с учетом технически достижимых на определенный период времени, полученных на основе единообразной и обладающей повторяемостью результатов методики оценки, по возможности согласующейся с международными стандартами; Минздрав устанавливал только допустимые величины независимо от методики испытаний.

Далее будут изложены подходы которые пытаются реализовать разработчики СТР по установлению требований к шуму и вибрации колесных транспортных средств.

1. Внешний шум

Под внешним шумом в данном случае подразумевается уровень звука, генерируемый колесным транспортным средством в слышимом звуковом диапазоне частот, измеряемый по определенной методике. Также сюда относится шум, генерируемый при взаимодействии шин с дорожным покрытием, шум, возникающий при работе звукового сигнального прибора.

Для нормирования внешнего шума предполагается использовать Правила ЕЭК ООН, о применении которых заявлено Российской Федерацией (Правила №№51, 41, 9, 63, 117, 59, 92, 103, 28). Допустимые уровни, вводимые данными поправками для колесной техники, приведены в литературе [5,6,7,8].

1.1 Шум АМТС

В качестве основного режима испытаний при измерении шума АМТС в Правилах ЕЭК ООН заложен разгон с максимальным ускорением. Этот режим основан на том, что 90% шума, создаваемого автомобилем, генерируется силовым агрегатом и системами газообмена двигателя.

Следует отметить, что Правила ЕЭК ООН №59, 103 распространяются только на АТС категорий M1 и N1. С учетом ситуации имеющей место на Российском рынке сменных систем выпуска их действие предлагается распространить на сменные системы выпуска и для других категорий АТС [9].

1.2 Шум шин

6 апреля 2005 года вступили в силу Правил ЕЭК ООН №117, касающиеся официального утверждения шин, в отношении шума, производимого ими при качении. В качестве метода испытаний определен накат. По результатам измерения уровня звука на различных скоростях, используя регрессионный анализ, с учетом корректировки по температуре испытатель-

ной поверхности определяется уровень звука, создаваемый шинами, приведенный к опорной скорости.

ФГУП НИЦИАМТ на протяжении ряда лет проводит испытания шин для отработки методики и набора статистического материала [10]. Как показали результаты испытаний, достаточно большое количество шин не удовлетворяет требованиям Правил (до 30%). Введение этого технического требования позволит эффективно воздействовать на снижение шума в населенных пунктах т.к. действие этого стандарта распространяется на первичный и вторичный рынки.

1.3 Требования к звуковым сигнальным устройствам, устанавливаемым на автомототранспортных средствах

В России в целях сертификации звуковых сигнальных приборов в настоящее действует Правила ЕЭК ООН №28. Эти Правила устанавливают требования, как к самим звуковым сигнальным приборам, так и к их установке на автомототранспортных средствах. Также в рамках сертификации в России действует стандарт ГОСТ 50574. Из-за отсутствия четких требований к методике испытаний в настоящее время необходимо разрабатывать новый стандарт, в котором должны быть определены требования по надежности, требования к установке, требования к акустическим показателям непосредственно специальных звуковых сигнальных приборов, а также разработана методика испытаний.

2. Требования к условиям жизнедеятельности водителя и пассажиров

2.1 Шум и вибрация в салоне автомобиля

2.1.1 Внутренний шум АТС

В России в национальной системе сертификации транспортных средств действует ГОСТ Р 51616, которые распространяется практически на все категории транспортных средств, предназначенных для эксплуатации на дорогах России, и устанавливает требования к шуму в слышимом диапазоне частот внутри транспортного средства”[11]. По допустимым уровням и применяемой методике ГОСТ Р 51616 является правопреемником ГОСТ 27435. Методика испытаний ГОСТ Р 51616 в своей основе соответствует стандарту ISO 5128 и Приложению 8 “Сводной резолюции о конструкции ТС”[11], т.е. гармонизирована с международными документами. Стандарт предусматривает измерение максимальных уровней звука, воздействующих на водителя/пассажиров в процессе движения транспортного средства.

Допустимые уровни внутреннего шума транспортных средств находятся в пределах 78-82 дБ (А) в зависимости от их категории. Допустимые уровни приняты по результатам огромного количества испытаний, и их

можно трактовать как максимально допустимые и по назначению они являются техническими нормами. Предельный спектр ПС-75, установленный по ИСО-1999-75, соответствует нулевому риску потери слуха и соответствует уровню звука 80 дБА, что также положено в основу допустимых уровней вводимых ГОСТ Р 51616. Следует отметить в настоящее время, и не последнюю роль в этом сыграл используемый при сертификации ГОСТ Р, возможно для ряда категорий АТС снижение допустимых уровней на 2-3 дБ(А). Скорректированные значения в настоящее время предполагается ввести как изменение к стандарту.

Однако в России существуют Санитарные нормы, которые также устанавливают требования по внутреннему шуму, не увязывая их с какой-либо методикой испытаний. Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука в СН 2.2.4/2.1.1.8.562-96 установлены в 70 дБ А для рабочих мест водителей и обслуживающего персонала грузовых автомобилей и в 60 дБ А для рабочих мест водителей и обслуживающего персонала (пассажиров) легковых автомобилей и автобусов. Эти нормы технически недостижимы на современном этапе развития автомобильной техники. Современные образцы легковых автомобилей достигли уровней в 70 дБА грузовые в 75 дБА при испытаниях по методике ГОСТ Р 51616.

2.1.2 Инфразвук в салоне автомобиля

Проведенными ранее исследованиями установлено, что инфразвук с уровнями свыше 100 дБ при длительном воздействии на человека вызывает нарушение нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной, эндокринной систем организма, приводит к потере слуха, остроты зрения, снижению работоспособности и производительности труда.

В 1980 году Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения были выпущены «Гигиенические нормы инфразвука на рабочих местах» №2274-80. Допустимые уровни звукового давления в дБ в октавных полосах установлены в105 дБ. В 1996 году Госкомсанэпиднадзора выпускает новые санитарные нормы по инфразвуку на рабочих местах (СН 2.2.4./2.1.8.583-96 Так же как и при установлении норм по внутреннему шуму методика испытаний в указанных санитарных нормах не установлена.

НИЦИАМТ еще в 1980 году начал отрабатывать методику испытаний по определению инфразвука и набирать статистику по различным категориям автомобилей. Выяснилось, что на рабочих местах практически всех испытанных автомобилей как отечественного, так и зарубежного производства присутствует выраженный инфразвук [12].

Заниматься инфразвуком, безусловно, необходимо, так как имеются некоторые образцы техники с уровнями инфразвука более 130 дБ. К настоящему времени имеется методика (стандарт ААИ, РД [13]), которая позволяет накапливать статистику по уровням инфразвука с тем, чтобы

определить их достижимый уровень и в последующем разработать соответствующий ГОСТ Р.

2.1.3 Вибрационная безопасность

В России в настоящее время идет пересмотр основной части комплекса стандартов, связанных с воздействием вибрации на человека. При этом ставится задача максимально сблизить его с хорошо разработанным и постоянно обновляющимся комплексом аналогичных международных и, в первую очередь, европейских стандартов Следует отметить, что в этом комплексе стандартов изложен «заявительный» принцип. На сколько это позволит реально влиять на производителей техники - неизвестно.

Для автомобильной техники Роспотребнадзором предлагается ввести нормы по показателям общей и локальной вибрации в СТР, взятые из ГОСТ 12.1.012-90, при этом нормируются как спектральные составляющие, так и корректированные величины. Несмотря на то, что нормативные показатели ГОСТ 12.1.012-90 были продекларированы давно - в автомобильной промышленности нормирование по вибрационным показателям не проводилось. Как следствие этого отсутствует методика испытаний и не накоплена статистика по реально достижимым уровням вибрации выпускаемой в настоящее время технике. Для включения требований по вибронагруженности в СТР необходимо как минимум разработать методику испытаний, определиться с нормами и выпустить ГОСТ Р. Этот процесс по самым оптимистическим прогнозам займет не менее года.

Заключение

С учетом вышеизложенного:

- в качестве допустимых уровней и методов испытаний по внешнему шуму следует ориентироваться на международные требования, изложенные в Правилах ЕЭК ООН;
- в отношении требований к внутреннему шуму следует ориентироваться на ГОСТ Р 51616 с учетом незначительной корректировки действующих норм;
- для оценки инфразвука в качестве норм можно использовать нормы предложенные Минздравом в 1980 году, методику использовать из стандарта ААИ и РД. При этом необходимо на основе указанных документов разработать национальный стандарт или включить новый раздел в ГОСТ Р 51616;
- для определения подхода к нормированию вибрации необходимо проводить комплексные испытания и на основе полученных результатов разрабатывать методики и нормы;
- следует объединить усилия заинтересованных сторон в реализации программы создания нормативной базы.

Литература

1. Гируцкий О.И., Кисуленко Б.В. Реализация политики технического регулирования в автомобильной промышленности и его нормативное обеспечение. //Журнал ассоциации автомобильных инженеров.- 2005.- №6(35). - С. 26-32.
2. Гусаров А.П., Отечественные стандарты в перечне обязательных требований. Особенности эксплуатации АТС в России, которые следует учесть в технических регламентах. Журнал ассоциации автомобильных инженеров.- 2005.-№5(34).- С. 12-16.
3. Правила по проведению работ в системе сертификации механических транспортных средств и прицепов.// Москва.- 1998.
4. Проект «Федеральный закон о безопасности колесных транспортных средств и их компонентов (специальный технический регламент).//Вестник технического регулирования.- №2(3).-С.49-53.
5. Галевко Ю.В., Иванова Т.В., Енукидзе Б.М. Новые требования к уровню внешнего шума АТС. //Автомобильная промышленность.- 1997.- №1.-С. 30-33.
6. Галевко Ю.В, Иванова Т.В. Действующие и перспективные требования по шуму автомототранспорта.// Бюллетень ААИ №3.- июль 1999.-С. 7-10.
7. Галевко Ю.В., Щепкин А.И. Проекты новых Правил и поправки к действующим стандартам, обсуждаемые на рабочей группе по шуму (GRB)// Журнал ААИ.- 2002.- №2 (14).-С.23-25.
8. Галевко Ю.В, Иванова Т.В. The requirements to vibroacoustic parameter motor vehicles and their units showed in Russian Federation at certification// Proceedings of the 6 International Symposium “Transport Noise and Vibration” 4-6 june, St. Petrsburg, Russian.- 2002.- 6 p.
9. Галевко Ю.В. Сменные системы выпуска – красивый вымысел и реальная действительность.//AUTO PARTS.-2004.- №5-6.-С.13-16.
10. Галевко Ю.В., Иванова Т.В. Акустическая безопасность автомобилей// Известия Самарского научного центра РАН /Специальный выпуск «ELPIT 2005».- том 1.- Самара.- 2005.-С.38-42.
11. Галевко Ю.В. Внутренний шум автотранспортных средств – допустимые уровни и методы испытаний.// Журнал ААИ.-2001.- №2 (10).-С.35-36.
12. Галевко Ю.В., Иванова Т.В., Тюрин В.П. Infrasound in vehicle cabin// Сборник докладов/ 7-ой Международный Симпозиум «Шум и вибрация на транспорте».- 2004.
13. Галевко Ю.В, Иванова Т.В. О проекте стандарта по уровням инфразвука на рабочем месте водителя// Журнал ААИ.-2002.- №1 (13).-С.26-27

Защита населения г. Тольятти от повышенного шумового воздействия

Васильев А.В.
Тольяттинский государственный университет,

Современные крупные города характеризуются высокими уровнями шума, неблагоприятно воздействующего на жителей, причем городской шум имеет тенденцию к росту. Уровень шума в городах возрастает ежегодно в среднем на 0,5-1,0 дБА в год, а основным источником шума является автомобильный транспорт.

Тольятти является типичным индустриальным городом, для которого характерно наличие как ряда крупных промышленных предприятий, так и значительного автотранспортного парка, оказывающих значительное акустическое воздействие на прилегающую селитебную территорию. При этом наибольшие проблемы создает низкочастотное акустическое воздействие. Проблема усугубляется тем, что ряд предприятий и автотранспортных магистралей вплотную примыкает к селитебной зоне, в результате чего значительная часть населения города подвергается воздействию значительного уровня шума. Специфическая особенность города – наличие значительного автотранспортного парка, существенную часть которого составляют легковые автомобили. Это обуславливает интенсивные транспортные потоки на улицах города, генерирующие значительное шумовое воздействие. Следует отметить, что для г. Тольятти характерен сравнительно однородный состав транспортных потоков – отсутствует рельсовый городской транспорт, исключено воздействие авиационного шума.

В 2001-2004 гг. сотрудниками научно-исследовательской лаборатории "Виброакустика, экология и безопасность жизнедеятельности" Тольяттинского государственного университета и специалистами Комитета экологии и природных ресурсов мэрии г. Тольятти были проведены исследования влияния внешних источников шума на селитебную территорию города. Были проведены измерения шумовых характеристик в шумоопасных точках согласно требованиям ГОСТ 23337-78*. Всего было обследовано свыше 100 точек, причем для оценки эквивалентных уровней звука в каждой из этих точек согласно требованиям ГОСТ было проведено 360 отсчётов уровней звука. Особое внимание уделялось селитебной территории г. Тольятти, примыкающей к шумоопасным зонам вблизи транспортных магистралей. Были проведены измерения как в дневное, так и в ночное время.

Анализ результатов измерений позволил выявить наиболее значительные превышения предельно-допустимых уровней шума.

В Комсомольском районе в дневное время в точке К-10 по ул. Чайкиной, 67 (см табл. 1) величина превышения норматива по максимальному уровню звука составляет 9 дБА; в точке К-13, Ярославской, 61 – 9 дБА. В ночное время в точке К-07 по ул. Матросова, 60 величина превышения норматива по эквивалентному уровню звука составляет 8 дБА, по максимальному уровню – 6 дБА; в точке К-12, ул. Ярославской, 11 величина превышения норматива по эквивалентному уровню звука составляет 5 дБА, по максимальному уровню звука – 8 дБА.

В Центральном районе (см. табл. 2) в дневное время по ул. Мира в районе остановки "Дом природы" величина превышения по эквивалентному уровню звука составляет 6 дБА, по ул. Баныкина – 4 дБА, по ул. Мира, 114 величина превышения норматива по эквивалентному уровню звука составляет 4 дБА, по максимальному уровню звука – 3 дБА. По максимальным уровням звука полученные акустические характеристики в основном соответствуют нормативным требованиям. В ночное время по ул. Ленина, 98 величина превышения норматива по эквивалентному уровню звука составляла 10 дБА, по максимальному уровню звука – 5 дБА; по ул. Мира, 60 величина превышения норматива по эквивалентному уровню звука составляет 12 дБА, по максимальному уровню звука – 12 дБА.

В Автозаводском районе в дневное время в точке А-04 по ул. Тополиной 21 величина превышения норматива по максимальному уровню звука составляет 19 дБА; в точке А-12, ул. Дзержинского, 31 величина превышения норматива по эквивалентному уровню звука составляет 3 дБА. В ночное время в точке А-32 по ул. Дзержинского, 31 величина превышения норматива по эквивалентному уровню звука составляет 8 дБА, по максимальному уровню – 3 дБА.

Был разработан комплекс мероприятий по защите населения г. Тольятти от повышенных шумовых воздействий, включающих архитектурно-планировочные методы, акустические средства, организационно-технические методы, мониторинг шумовых воздействий. Рассмотрим вкратце некоторые из них.

1. Центральный район, ул. Мира

Улица Мира является одной из транспортных магистралей города, где движение транспорта наиболее интенсивно. Между тем, требования по величине санитарно-защитных зон между магистралью и жилыми домами во многих случаях (в том числе и для данной точки) не выдерживаются, в результате чего некоторые жилые дома недопустимо близко примыкают к магистрали. Было рекомендовано использование шумогасящих дорожных покрытий. В первую очередь использование покрытий представляется целесообразным на участке ул. Мира от пересечения с ул. Карбышева до пересечения с ул. Жилина. Из других мероприятий были предложены: шумозащитное озеленение ул. Мира, повышение звукоизолирующих качеств окон жилых домов, выходящих на магистраль и др.

Соответствие результатов измерений и расчета шума селитебной территории нормативным требованиям по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (Комсомольский район)

Таблица 1

№ п/п	№№ точек измерения	Измеренные эквивалентные уровни звука, $L_{Аэкв}$, дБА	Нормативные значения эквивалентных уровней звука, $L_{Аэкв}$, дБА	Заключение о соответствии нормативам	Измеренные макс. уровни звука, L_{Amax}, дБА	Нормативные значения макс. уровней звука, L_{Amax}, дБА	Заключение о соответствии нормативам
1.	Точка К-01 ул. Громовой, 20	68	65	Не соответствует	80	80	Соответствует
2.	Точка К-02 ул. Громовой, 46, в районе поликлиники	57	55	Не соответствует	66	70	Соответствует
3.	Точка К-03 ул. Коммунистическая 89	57	65	Соответствует	70	80	Соответствует
4.	Точка К-04 ул. Матросова 1	66	65	Не соответствует	79	80	Не соответствует
5.	Точка К-05 ул. Матросова 8	62	65	Соответствует	71	80	Соответствует
6.	Точка К-06 ул. Матросова 36	63	65	Соответствует	75	80	Соответствует
7.	Точка К-07 ул. Матросова 60	63	55	Не соответствует	76	70	Не соответствует
8.	Точка К-08 ул. Механизаторов 16	57	55	Не соответствует	71	70	Не соответствует
9.	Точка К-09 ул. Чайкиной 36	60	65	Соответствует	83	80	Не соответствует
10.	Точка К-10 ул. Чайкиной 67	68	65	Не соответствует	89	80	Не соответствует
11.	Точка К-11 ул. Ярославской 9, в районе кафе "Парус"	59	65	Соответствует	70	80	Соответствует
12.	Точка К-12 ул. Ярославской 11, напротив ВНИИНеруда	60	55	Не соответствует	78	70	Не соответствует
13.	Точка К-13 ул. Ярославской 61	54	65	Соответствует	89	80	Не соответствует

Соответствие результатов измерений и расчета шума селитебной территории нормативным требованиям по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (Центральный район)

Таблица 2

№ п/п	№№ точек измерения	Измеренные эквивалентные уровни звука, $L_{Аэкв}$, дБА	Нормативные значения эквивалентных уровней звука, $L_{Аэкв}$, дБА	Заключение о соответствии нормативам	Измеренные макс. уровни звука, L_{Amax}, дБА	Нормативные значения макс. уровней звука, L_{Amax}, дБА	Заключение о соответствии нормативам
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Точка Ц-01 ул. 50 лет Октября, у магазина "Автолюбитель"	65	65	Соответствует	76	80	Соответствует
2.	Точка Ц-02 ул. 50 лет Октября, пересечение с ул. Ленина	58	65	Соответствует	68	80	Соответствует
3.	Точка Ц-03 ул. 50 лет Октября, в районе ресторана "Север"	59	65	Соответствует	69	80	Соответствует
4.	Точка Ц-04 Автозаводское шоссе, 43	64	65	Соответствует	73	80	Соответствует
5.	Точка Ц-05 ул. Баныкина, 60	67	65	Не соответствует	82	80	Не соответствует
6.	Точка Ц-06 ул. Баныкина, 34	64	65	Соответствует	75	80	Соответствует
7.	Точка Ц-07 ул. Баныкина, 10	64	65	Соответствует	79	80	Соответствует
8.	Точка Ц-08 ул. Белорусская, 10	58	65	Соответствует	68	80	Соответствует
9.	Точка Ц-09 ул. Гагарина, 6	66	65	Не соответствует	82	80	Не соответствует
10.	Точка Ц-10 ул. Голосова, 26, пересечение с ул. Мира	58	65	Соответствует	68	80	Соответствует
11.	Точка Ц-11 ул. К. Маркса, 24	67	65	Не соответствует	74	80	Соответствует

табл. 2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
12.	Точка Ц-12 ул. К. Маркса, 50, в районе мэрии	68	65	Не соответствует	85	80	Не соответствует
13.	Точка Ц-13 ул. К. Маркса, 76, напро-тив кинотеатра "Космос"	68	65	Не соответствует	85	80	Не соответствует
14.	Точка Ц-14 ул. К. Маркса, 80	67	65	Не соответствует	85	80	Не соответствует
15.	Точка Ц-15 ул. К. Маркса, 86, дом быта "Россия"	64	65	Соответствует	76	80	Соответствует
16.	Точка Ц-16 ул. Ленина, 71	70	65	Не соответствует	85	80	Не соответствует
17.	Точка Ц-17 ул. Ленина, 91	68	65	Не соответствует	82	80	Не соответствует
18.	Точка Ц-18 ул. Ленина, 98	65	55	Не соответствует	75	70	Не соответствует
19.	Точка Ц-19 ул. Ленинградская, 36, в районе театра "Колесо"	68	65	Не соответствует	82	80	Не соответствует
20.	Точка Ц-20 ул. Лесная, 15	64	65	Соответствует	75	80	Соответствует
21.	Точка Ц-21 ул. Лесная, 46	41	65	Соответствует	68	80	Соответствует
22.	Точка Ц-22 ул. Мира, 90	47	65	Соответствует	82	80	Не соответствует
23.	Точка Ц-23 ул. Мира, 60	67	55	Не соответствует	82	70	Не соответствует
24.	Точка Ц-24 ул. Мира, 114	69	65	Не соответствует	83	80	Не соответствует
25.	Точка Ц-25 ул. Победы, 78	67	65	Не соответствует	76	80	Соответствует
26.	Точка Ц-26 ул. Родины, 36, напротив автовокзала	63	65	Соответствует	76	80	Соответствует
27	Точка Ц-27 ул. 50 лет Октября, 30	61	65	Соответствует	76	80	Соответствует

2. Центральный район, ул. Баныкина

Оценивая воздействие транспортного шума на селитебную территорию по ул. Баныкина, следует иметь в виду, что по этой улице расположены корпуса стационара городской больницы им. Баныкина и двух школ. Для этих объектов гигиенические требования по шуму особенно строгие, и их соблюдение в данном случае должно стать обязательным объектом дальнейших исследований.

Наряду с использованием административно-организационных мероприятий и шумоглушащих дорожных покрытий, в данном случае представляется эффективной установка шумозащитных экранирующих сооружений. Для рассматриваемого участка было рекомендовано использование акустических экранов-стенок со звукопоглощением. Они изготавливаются сборно-разборными, как правило, из металла. Основным элементом таких акустических экранов является акустическая панель со звукопоглощающим материалом (ЗПМ).

Там, где необходимо достичь заглушения шума по всему частотному диапазону (в больничных корпусах, школьных классах) возможно использовать гибридные акустические экраны, сочетающие заглушающие свойства звукопоглощающих панелей и активных глушителей шума.

Рекомендовано также улучшить звукоизолирующие качества окон жилых домов, выходящих на ул. Баныкина.

3. Центральный район, ул. Карла Маркса.

Снижение шума в данной точке и в целом на участке ул. Карла Маркса от кинотеатра "Космос" до мэрии не должно ограничиваться только жилой зоной. Поскольку в данной зоне сосредоточена сеть магазинов, объектов досуга, рядом находятся школа №19, учебный корпус ПТИС и другие объекты, то поток пешеходов здесь является весьма интенсивным. Предложено использование административно-организационных мероприятий, вплоть до полного запрета движения транспорта и превращения участка в "Тольяттинский Арбат".

4. Автозаводской район, ул. Тополиная

Для снижения внешнего шума в жилой зоне по ул. Тополиной рекомендуется использование следующего комплекса мероприятий:

1. Усиление звукоизолирующих качеств окон жилых домов, выходящих на автомагистраль;
2. Шумозащитное озеленение ул. Тополиной;
3. Мероприятия режимного характера по недопущению генерации внутриквартальных источников шума в ночное время.

5. Автозаводской район, ул. Дзержинского

Ул. Дзержинского является одной из главных улиц города, связывающей жилые массивы города с другими районами, промышленными предприятиями, учебными заведениями и др., поэтому использование административных и архитектурно-строительных мероприятий (ограничение, а тем более запрещение) движения, установка шумозащитных экранов и др.) является здесь затруднительным.

Для снижения внешнего шума рекомендовано использовать шумогасящие дорожные покрытия. В первую очередь, использование шумогасящих покрытий представляется целесообразным на участке ул. Дзержинского от пересечения с ул. Степана Разина до пересечения с Московским проспектом.

Мониторинг шумового загрязнения на территории г. Ижевска

Гагарин С.А. (1), Дмитриев В.Р. (2)
Удмуртский государственный университет (1),
Территориальное управление Роспотребнадзора по УР (2)

Проблеме акустического загрязнения с каждым годом уделяется все большее внимание. По мнению гигиенистов, 30-40% городского населения России проживает в зоне акустического дискомфорта. Шум относится к одним из наиболее агрессивных техногенных факторов урбанизированной среды, поэтому контроль над уровнем шумового загрязнения и рекомендации по его снижению становятся все более актуальными. В связи с этим, для оценки шумового режима селитебных территорий в крупных городах должна быть разработана соответствующая программа мониторинга, которая бы учитывала специфику загрязнения данного населенного пункта.

Источники шумового загрязнения в г. Ижевске условно можно разделить на три категории – это транспорт (включая автомобильный и рельсовый), промышленные предприятия и объекты инфраструктуры (торговые, бытовые центры и зоны досуга). В таблице 1 по данным многолетних наблюдений за интенсивностью и структурой автотранспорта представлены результаты инструментальных и расчетных значений интенсивности шумового загрязнения (на удалении 7,5 м). По результатам 10-ти летних наблюдений за транспортными потоками с 1996 по 2005 года отмечается значительное увеличение автомобильного парка, примерно в 1,5 раза. При этом, претерпели изменения и другие характеристики потоков – так значительно вырос вклад малогабаритных автобусов и грузовых автомобилей, значительно увеличился рост электротранспорта (трамваи, троллейбусы).

Действующие промышленные предприятия, как источники шумового загрязнения, в настоящее время, практически не рассматриваются. В то время как санитарно-защитная зона при рассмотрении проектов ПДВ (предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу) должна обосновываться как по химическому, так и физическому критериям безопасности. С другой стороны, удаленность и закрытость промышленных объектов ограждающими конструкциями (выполняющие одновременно и функции шумозащитных экранов) значительно снижает уровень шума от них.

Максимальный уровень шума по данным инструментальных замеров в 1997 и 2000 гг. на наиболее шумных участках улиц города Ижевска. [1, 2]

Таблица 1

Год и место опробования	**Удмуртская**	**Либкнехта**	**Азина**	**Кирова**	**Пушкинская**	**10 лет Октября**	**Горького**	**Ленина**	**Орджоникидзе**	**Советская**	**9-ое Января**	**Новоажимова**	**Ворошилова**
	уровень шума, dБ												
1997 год – перекресток	79	78	76	79	73	76	73	77	80	77	72	76	69
1997 год – линейный участок	78	76	75	78	70	76	83	75	70	75	72	81	80
2000 год – линейный участок	81	79	81	78	79	78	78	78	73	78	75	80	78
	интенсивность автомобилей в час пик, ед/час												
1996 год	1894	2696	676	1723	1844	1946	936	1262	760	680	1349	2290	888
2000 год – линейный участок	2168	2712	920	2314	1848	1776	1168	1720	508	906	1490	1968	1156
2004 год – линейный участок	3144	2782	2387	1756	2400	1842	2564	2162	1632	1434	1628	2636	2320

Третьей категорией источников шумового загрязнения являются объекты инфраструктуры. Для индустриального Ижевска это сравнительно новый тип, отличающийся своеобразием. Среди этих источников особенно следует выделить торговые центры и места сервиса (в первую очередь автомобильного). Данное явление носит типично эволюционный характер, связанный с «заполнением» очередной ниши в экономике. На лицо процесс укрупнения в сфере сервиса. Собственно, как источники шума, такие центры оказывают незначительное усиление акустического дискомфорта, но опосредованно, в первую очередь через изменение структуры транспортных потоков в данных районах, можем наблюдать не только количественную, но и качественную перестройку транспорта, как источника шумового загрязнения.

В настоящее время, систематизированную информацию по фактору шумового загрязнения на территории города можно получить по данным формы статистического наблюдения №18 [1]. Ниже приводится фрагмент таблицы 5 «Источники химического загрязнения, неблагоприятных физических факторов и ионизирующих излучений в городских и сельских поселениях» из данной формы отчетности по г.Ижевску за 2005 год.

Форма отчетности по неблагоприятным физическим факторам (фрагмент) по Ижевску за 2005 год

Таблица 2

	№ строки	Исследование уровня загрязнения атмосферного воздуха		Измерение уровня шума		Измерение уровня вибрации	
		всего точек измерения	из них не отвечает санитарным нормам и гигиеническим нормативам	всего точек измерения	из них не отвечает санитарным нормам и гигиеническим нормативам	всего точек измерения	из них не отвечает санитарным нормам и гигиеническим нормативам
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Автомагистрали, улицы с интенсивным движением в городских поселениях	01	64	7	57	24		
Железнодорожные пути, проходящие через жилую застройку	03						
Аэропорты	05			15		15	
Промышленные предприятия, расположенные без необходимых разрывов от жилых районов	07	64	21				
Эксплуатируемые жилые и общественные здания	09	40	11	518	49	212	52
Учреждения, организации, размешенные на 1 этаже жилых домов	14			321	32	69	4

Анализируя данную форму нельзя не отметить скудность информации, представленной в ней. Что объясняется отсутствием методических рекомендаций по проведению и организации мониторинга шумового загрязнения для населенных пунктов. На существующий момент применяются различные инструкции по проведению инструментальных опробований по слышимому шуму, инфразвуку, но речь идет о локальных источниках воздействия или их группе. С другой стороны, имеет смысл рекомендовать на местах таблицу №5 дополнять более детальной информацией. Так в графе «6» количество измеренных точек несоответствующих санитарным нормативам желательно уточнение по частотным составляющим: инфразвук, низкие частоты (до 200 Гц) и средние частоты (наиболее воспринимаемые человеком до 1000 Гц).

Значительным недостатком анализа существующей акустической обстановки в городе оказалось игнорирование железнодорожного транспорта как источника шумового загрязнения. Несмотря на то, что город пересекают 3 железнодорожные ветки, инструментальные замеры в последние годы фактически не проводились на прилегающих территориях.

Таким образом, для организации полноценного мониторинга по шумовому загрязнению применительно к городу Ижевску рекомендуются:

- дополнить официальную отчетность по результатам инструментальных замеров с учетом спектральной составляющей звука (инфразвук, низкие и средние частоты) и степени превышения ПДУ;
- проведение исследований с учетом максимальной нагрузки автотранспорта на городских улицах, фиксируя при этом интенсивность и структуру транспортных потоков;
- проведение совместного мониторинга по источникам шумового загрязнения с подфакельными и передвижными постами наблюдения за химическим типом загрязнения;
- проведение инструментальных анализов по шуму от железнодорожного транспорта для жилых домов, расположенных вблизи полотна;
- проявлять повышенные требования по соблюдению санитарных нормативов к крупным торговым и сервисным центрам, как факторам значительного влияния по фактору шума и химического загрязнения вследствие перераспределения структуры и интенсивности транспортных потоков.

Литература

1. Отчет о научно-исследовательских работах по теме: Создание шумовой карты г. Ижевска в масштабе 1:10000. Ижевск, 1998.
2. 6th International Symposium TRANSPORT NOISE AND VIBRATION 4–6 June 2002 • St. Petersburg • Russia S.A.Gagarin.

Проблемы обеспечения санитарных разрывов по фактору шума от промышленных производств в сложившейся застройке городов

Горин В.А., Даниелян А.С.
Кубанский государственный технологический университет

Складывающиеся во многих городах условия взаиморасположения объектов промышленности и гражданского строительства часто приводят к превышению нормативных уровней шума на селитебных территориях. Основной причиной несоответствия уровней шума допустимым значениям является нарушение санитарных разрывов между промышленным предприятием и защищаемой от шума территорией [1, 2].

Определение шумовой характеристики промышленного объекта является достаточно сложной задачей, поскольку зачастую промышленное предприятие представляет собой совокупность линейных (автомобильные, железнодорожные и т.п. магистрали) и точечных (здания с шумным оборудованием, технологическое оборудование установленное на открытых площадках и т.п.) источников шума. Такие условия размещения отдельных шумоизлучателей на территориях предприятий, как в состоянии "перемещения", так и в "неподвижном" состоянии вызвали необходимость выделения промышленных объектов в самостоятельную группу источников шума и их классификацию как "пространственные", что определило их самостоятельную методику измерения и оценки шумовых характеристик.

Согласно международному стандарту ISO 8297 [3] шумовой характеристикой пространственного источника шума является корректированный уровень звуковой мощности L_{PA}, дБА, определяемый путем натурных измерений. У нас в стране используется методика оценки внешнего шума промышленных предприятий [4], также позволяющая экспериментальным путем получать шумовые характеристики предприятий в виде среднего $L_{PA_{ср}}$, дБА, и максимального $L_{PA_{макс}}$, дБА, корректированных уровней звуковой мощности. По полученным шумовым характеристикам вычисляются ожидаемые уровни звука на территориях прилегающих к промышленным объектам, размеры санитарно-защитных зон, а также выбираются и проектируются средства защиты.

Однако в действительности объединение отдельных источников шума предприятия в комплексный пространственный источник возможно в том случае, когда выполняются определенные условия, а именно:

– источники по спектру и мощности излучения равны;
– высота расположения источников шума над отражающей плоскостью одинакова;
– распространение звука от источников шума до точек приема происходит в равных условиях;
– расстояние от отдельного точечного источника шума до точки приема более чем в два раза превышает наибольший размер источника.

В случае невыполнения этих условий необходимо разбивать территорию промышленного предприятия на участки, в границах которых эти требования обеспечиваются, а каждый участок рассматривать как отдельный пространственный источник звука.

При оценке воздействия шума на окружающую среду вновь проектируемых и реконструируемых предприятий нормативный документ СНиП 23-03-2003 [5] регламентирует расчетным путем определять уровни звука на защищаемых от шума территориях от отдельных источников шума (точечных и линейных), а затем их суммировать.

Сложившиеся в нормативных документах различия в оценке внешнего шума промышленных предприятий измерительным и расчетным методами приводят и к различию в получаемых результатах, что создает определенные трудности при решении практических задач по обеспечения санитарных разрывов и защите прилегающих к промышленным объектам селитебных территорий.

С такими трудностями приходиться сталкиваться при выполнении работ по оценке шумового режима работы промышленных предприятий различных отраслей промышленности и их влияния на окружающую среду.

Так при исследованиях шумового режима работы котельных установок (котельных), предназначенных для обеспечения теплом систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий на территории г. Краснодара, с целью построения санитарно-защитных зон по фактору, было определено следующее. Котельные установки по размещению в застройке отдельностоящие, в качестве генераторов тепла используются водогрейные и паровые котлы, тепловая мощность котельных не превышает 20 Гкал, что позволяет отнести их к категории малошумных, к шумному технологическому оборудованию относятся вентиляторы, дымососы, насосы, горелки котлов и газорегуляторные установки, объемно-планировочные и конструктивные решения зданий котельных однотипны.

В связи с отсутствием шумовых характеристик технологического оборудования котельных (в прилагаемой к оборудованию технической и технологической документации заводом-изготовителем данные о шуме не указаны) они определялись путем натурным измерений по ГОСТ Р 51401-99 (ИСО 3744-94) [6]. Полученные данные позволили рассчитать шумовые

характеристики котельных установок и размеры их санитарно-защитных зон. Результаты расчетов уточнялись измерениями уровней звукового давления и уровней звука на территориях жилой застройки расположенной в окрестностях котельных. Анализ выполненных исследований показал, что расхождения в расчетных и измеренных значениях шумовых характеристик котельных и уровней звука на прилегающих территориях лежат в пределах погрешности ориентировочного метода измерений и не превышают 4 дБА.

На основании проведенных расчетно-экспериментальных исследований шумового режима работы котельных установок были разработаны и внедрены мероприятия шумозащиты, для котельных у которых величины санитарно-защитных зон превышали регламентированные нормами значения (подбор и замена шумного насосного оборудования, звукоизолирующие кожухи для оборудования на открытых площадках, повышение звукоизолирующей способности оконных ограждений).

При выполнении оценки шумового воздействия на окружающую среду табачной фабрики ОАО "Филипп Моррис Кубань" для определения ее шумовой характеристики использовалась методика измерений, рекомендуемая в работе [4]. Измерения проводились на измерительном контуре, совпадающем с границей территории фабрики, расстояние между точками измерений не превышало 50 м. Измерения проводились в дневной и ночной периоды суток (режим работы фабрики – круглосуточный), в интервалы времени технологически соответствующие наиболее шумным периодом ее работы. На основании полученных результатов рассчитывались шумовые характеристики (средний $L_{PA_{ср}}$ и максимальный $L_{PA_{макс}}$ корректированные уровни звуковой мощности) и ожидаемые уровни звука в расчетных точках на территории прилегающей жилой застройки.

Другим этапом исследований были проведены измерения отдельных источников шума на территории фабрики (газовые электростанции, котельная, градирня, пожарная насосная станция, сигаретный и табачный цеха, стоянка грузовых автомобилей, складские здания, движущийся по территории фабрики автомобильный и железнодорожный транспорт) и по полученным данным выполнен расчет ожидаемых уровней звука в тех же расчетных точках расположенных на жилых территориях. Полученные значения уровней шума в точках расчета от каждого источника шума суммировались.

Натурные измерения эквивалентных и максимальных уровней звука на территории жилой застройки в выбранных точках от действия фабрики показали, что расчетные значения, получаемые по методике [4] оказались завышенными в сравнении с измеренными. Значения уровней шума в расчетных точках определяемые от действия отдельных источников шума дали результат близкий к измеренным значениям и удовлетворяющий практической точности.

По полученным данным были рекомендованы и внедрены шумозащитные мероприятия, обеспечившие нормативные уровни шума на территории застройки, прилегающей к фабрике (шумозащитный экран-стенка для газовых электростанций блочного типа, изменение регламентных профилактических работ пожарных дизельных насосов).

Литература

1. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 22 с.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: Санитарные нормы. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 20 с.
3. ISO 8297 1994. Акустика – Определение уровней мощности звука от многочисленных источников на промышленных предприятиях для оценки уровня звукового давления в окружающей среде – Технический метод.
4. Рекомендации по измерению и оценке внешнего шума промышленных предприятий / НИИСФ. – М.: Стройиздат, 1989. – 8с.
5. СНиП 23-03-2003. Защита от шума / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 31 с.
6. ГОСТ Р 51401-99 (ИСО 3744-94). Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. – М.: Госстандарт России, 2000. – 20 с.

Проблемы нормативного обеспечения защиты от транспортного шума

Марков С.Б., Пшенин В.Н.
ЗАО «Экотранс-Дорсервис»

Акустическое воздействие транспортных потоков – одна из важнейших проблем охраны окружающей среды, решаемых при проектировании объектов транспортного строительства. Как в городах, так и за их пределами – в районах прохождения крупных транспортных магистралей – транспорт является основным источником шума, что в большинстве случаев требует разработки шумозащитных мероприятий.

Существующие в настоящее время расчетные методы, при всей сложности решаемой задачи, позволяют тем не менее достаточно точно спрогнозировать акустическую обстановку при заданных исходных условиях и для проектируемых средств шумозащиты.

В то же время имеющиеся достижения в части расчетов далеко не всегда приводят к рациональному решению проблем защиты от транспортного шума, поскольку трактовка окончательных результатов зачастую испытывает различные нормативно-правовые коллизии, обусловленные несовершенством действующих норм и правил.

Порядок проведения акустических расчетов для транспортных магистралей, расчета эффективности средств шумозащиты регламентируется строительными нормами и правилами, а также отраслевыми документами Росавтодора. В компетенции органов санитарно-эпидемиологического надзора – определение допустимых уровней звукового воздействия для различных территорий, объектов, условий, что закреплено в санитарных нормах и правилах. По целому ряду позиций эти документы не согласованы между собой, имеют внутренние противоречия, что нередко является причиной неоправданных и неэффективных решений, как с гигиенической, так и с экономической позиций. Такое положение дел, безусловно, требует скорейшего исправления создавшейся ситуации.

Рассмотрим некоторые существенные противоречия.

При разработке и назначении природоохранных мероприятий для защиты от шума территорий садово-огородных участков, как с жилой застройкой, так и без нее, и населенных пунктов, где к жилым домам примыкают приусадебные участки, необходимо определять размеры зоны санитарного разрыва, исходя из санитарно-эпидемиологических требований по допустимым уровням акустического воздействия.

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 (п. 2.22) не допускается размещение в санитарно-защитной зоне коллективных или индивидуальных дачных и садово-огородных участков. Однако, документ, регламентирующий допустимые нормы акустического воздействия, - СН 2.2.4/2.1.8.562-96 – не устанавливает нормативных значений уровня шума для территорий коллективных или индивидуальных дачных и садово-огородных участков. Последнее не позволяет установить размеры зоны санитарного разрыва по фактору шума для указанных территорий, на которых не размещены жилые дома.

В случае, когда на рассматриваемых территориях имеются жилые строения, использование нормы для «территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам» (см. табл. 3, п. 9, СН 2.2.4/2.1.8.562-96) требует уточнений. Не ясно, относится ли указанная норма ко всей территории участка или к ее части. В санитарных нормах не определено понятие «территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам» и не указаны границы таких территорий. Это понятие также отсутствует в Градостроительном и Жилищном кодексах.

Данное понятие частично определено в СНиП II-12-77 и используется в СНиП 23-03-2003 для проведения расчетов уровней шумового воздействия. В п. 5 таблицы 1 СНиП II-12-77 указано, что «территории, непосредственно прилегающие к жилым домам» это территории, удаленные на расстояние 2 м от ограждающих конструкций зданий. В СНиП 23-03-2003 (п.7 и п.12) при проведении расчетов допустимых уровней шума в жилых помещениях и на селитебных территориях рассматриваются территории, удаленные от ограждающих конструкций зданий на 2 м. Подобное определение было введено с целью обеспечить автоматическое выполнение норм по шуму в жилых помещениях при обеспечении достижения норм на фасаде зданий. Нормирование шума по категории «территории, непосредственно прилегающие к жилым домам» иным способом не предусмотрено.

Настойчивое желание удовлетворить одновременно сразу двум санитарно-гигиеническим документам – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 – приводит к парадоксальным требованиям со стороны санэпиднадзора, когда проектировщика заставляют по критериям для ночного шума защищать огород, на котором находятся только соломенное чучело, да грядки с огурцами.

Таким образом, по принципиальному вопросу – нормированию акустического воздействия на территориях, прилегающих к жилой застройке (огороды, приусадебные участки и т. п.), - в санитарно-эпидемиологической нормативной документации ответов или рекомендаций не содержится. Это лишает проектные организации возможности корректно выполнять расчеты и назначать шумозащитные мероприятия для указанных территорий, а также лишает Заказчиков строительства законных оснований по выделению средств для такой защиты.

Важным в практике проектирования является вопрос разделения «ответственности» за тот или иной источник шума, дающий вклад в общую картину акустического загрязнения.

Очень часто в условиях городской застройки довольно сложно определить относительный вклад различных источников транспортного шума – проспектов, улиц, местных проездов – в акустическую обстановку, складывающуюся вблизи объектов, требующих защиты.

К примеру, около границы жилой застройки проходит транспортная магистраль, шум от которой на фасадах зданий составляет 70 дБА. На некотором удалении от нее проектируется параллельная магистраль, расчетный шум от которой на тех же фасадах – 60 дБА. Понятно, что суммарный уровень шума от этих двух источников практически не изменится, и будет составлять те же 70 дБА, так как определяется вовсе не проектируемой магистралью, а существующей.

В тоже время известно, что экспертные и контролирующие органы требуют для нового строительства или реконструкции достижения нормативных требований в жилой застройке, в результате чего все затраты по нормализации акустической ситуации ложатся на заказчика проектируемого объекта. В результате заказчику нового строительства приходится расплачиваться дорогостоящими шумозащитными мероприятиями не только за свои, но и за другие транспортные объекты, что несправедливо. Если заказчик вкладывает средства в шумозащитное остекление, то это не самый плохой выход из проблемной ситуации. Однако, если по условиям строительства около новой дороги используются экраны, то в рассматриваемом случае их эффективность по отношению к жилой застройке будет равна нулю, а немалые средства будут потрачены впустую. К сожалению, такие ситуации, обусловленные провалами в нормативных документах, случаются на практике в условиях городского транспортного строительства.

Отдельно стоит обсудить ситуацию, складывающуюся в случае реконструкции существующих транспортных магистралей. Зачастую имеется возможность существенно улучшить акустическую обстановку в результате реализации проектных решений по реконструкции, в то время как объективные обстоятельства не позволяют достичь при этом нормативных требований.

Например, до реконструкции шум на фасаде составлял 78 дБА, после реконструкции – 70 дБА. Очевидно заметное улучшение условий проживания людей притом, что нормативное значение шума – 55 дБА – не достигается. Однако, в силу существующих нормативных требований, такой проект будет обречен на отрицательные заключения санитарно-эпидемиологической и экологической экспертиз, а значит и лишен прав на реализацию. Таким образом, существующие нормативные положения, в контексте рассматриваемой проблемы, препятствуют постепенному и планомерному улучшению условий проживания граждан.

После завершения строительства или реконструкции дорожного объекта, по мере его ввода в эксплуатацию, необходимо проведение натурных измерений. Цель таких измерений – контроль выполнения нормативов, определение правильности расчетных оценок акустического воздействия и эффективности проведенных шумозащитных мероприятий. Нередко приходится решать спорные вопросы с жителями по поводу качества и эффективности выполненных мероприятий по защите от транспортного шума.

Порядок проведения натурных акустических измерений регламентируется соответствующими ГОСТами. Однако, эти документы не учитывают некоторые важные обстоятельства, связанные с контролем именно транспортного шума.

При проведении измерений на селитебных территориях и в помещениях жилых и общественных зданий главной задачей является определение основных характеристик шумового воздействия и установление факта соответствия, либо несоответствия этих характеристик нормативным значениям. Если необходимо просто проконтролировать выполнение норм, этого достаточно. В случае, когда необходим не только контроль обстановки, но требуется также выявить причину превышения нормативных уровней, порядок проведения измерений и оформления документации, устанавливаемый ГОСТами, становится явно недостаточным.

При измерениях уровней шума в помещениях ГОСТом не предписано производить идентификацию источников шума и определять их вклады в общий уровень (указывается только на необходимость ориентации микрофона относительно основного источника). Это очень важное обстоятельство, так как протоколы с результатами измерений являются доказательной базой при решении спорных вопросов.

Предположим, после строительства с вводом в эксплуатацию дороги, на которой реализованы определенные шумозащитные мероприятия, в квартире были зафиксированы превышения допустимых норм. Можно ли на основании такого измерения говорить о том, что именно транспортный шум вызвал эти превышения? Ведь шум улицы, складывается из множества источников. Например, лай собаки может вызвать резкое увеличение как максимального, так и эквивалентного уровня измеряемого шума. В таблице 30 СНиП II-12-77, приводятся эквивалентные уровни шума от таких источников как мусороуборочная машина, игры детей, спортивные игры и др. Вклад в общий уровень шума от этих источников весьма высок, а расположены они к жилым домам и территориям гораздо ближе, чем дорога.

С другой стороны, не надо забывать, что существуют многочисленные внутридомовые источники шума. Уровни шума некоторых из них приведены в табл. 1.

Источники бытового шума

Таблица 1

Источник шума	Уровень шума, дБА	Источник шума	Уровень шума, дБА
Музыкальный центр	85	Работа холодильника	42
Телевизор	70	Работа электрополотера	83
Разговор (спокойный)	65	Работа электробритвы	60
Детский плач	78	Работа принудительной вентиляции	42
Игра на пианино	80	Работа кондиционера	45
Работа пылесоса	75	Вытекающая из крана вода	44-50
Работа стиральной машины	68	Стук закрываемой двери лифта	44-52
Наполнение ванны	36-58	Стук закрываемого мусоропровода	42-58
Наполнение бачка в санузле	40-67	Стук по трубе центрального отопления	45-60
Приготовление пищи на плите	35-42	Перемещения лифта	34-42

Внутридомовые шумы распространяются по всему дому в виде воздушного и структурного шума, притом, что звукоизоляция в некоторых домах старой (типа «хрущовок») и новой (выполненной по так называемой технологии «непрерывной разливки») застройки бывает очень низкой. Очевидно, что такие шумы также влияют на результаты измерений, увеличивая общий уровень шума и маскируя основной источник. Таким образом, существующие на сегодня стандарты по проведению измерений шума в помещениях не обеспечивают доказательной базы для выявления транспортной составляющей шума, и, следовательно, могут быть легко оспорены.

Изложенные выше примеры свидетельствуют, что нормативно-правовое обеспечение защиты от транспортного шума не отвечает на многие актуальные вопросы современной практики транспортного строительства и нуждается в своем скорейшем совершенствовании, что позволит с одной стороны избежать неоправданного расходования средств на псевдозащиту от шума, а с другой – позволит планомерно добиваться действительного улучшения акустических условий.

Неспецифическое действие шума на организм: неблагоприятное влияние на здоровье человека и возможные пути профилактики

Ахметзянов И.М., Редько А.А., Сергеев О.Е.
Законодательное Собрание Санкт-Петербурга

Неспецифическое неблагоприятное действие шума на организм человека – одна из серьёзнейших проблем современной профилактической медицины. Известно, что шум относится к факторам, оказывающим отрицательное влияние на здоровье людей. Хорошо описаны и изучены ауральные эффекты, во всех развитых странах разработаны и внедрены программы сохранения слуха, что позволило практически свести на нет такое проявление воздействия шума, как нейросенсорная тугоухость, приводящая к инвалидизации человека.

Однако по-прежнему здоровье людей, работающих в условиях воздействия шума, находится под угрозой, поскольку защита слуха, как оказалось, не устраняет риск развития заболеваний. Имеется весьма большое количество сведений о том, что шум вызывает развитие патологических процессов со стороны практически всех систем организма (1, 2). Это может привести к возникновению болезней, обычно не рассматриваемых в качестве профессионально обусловленных и соответственно не контролируемых санитарно-эпидемиологическими учреждениями (СЭУ) в процессе гигиенической диагностики акустических колебаний, социально-гигиенического мониторинга (СГМ) и государственного санитарно-эпидемиологического надзора (ГСЭН) за условиями труда и состоянием здоровья населения.

Актуальность проблемы шумового загрязнения не только для ряда производств, но и для населения в целом в последние годы стала очевидной. Процесс влияния шума на здоровье населения является сложным, в основе его наблюдается разноуровневое воздействие внешней среды на человека. При этом динамика здоровья конкретного индивидуума зависит как от его пространственно-временных взаимосвязей с акустическим и другими внешними факторами, так и от его индивидуальных социально-биологических особенностей.

В современных мегаполисах уровни шума в зонах жилой застройки достигают весьма высоких значений (до 85-90 дБА). Это чревато не только нарушением субъективного состояния, сна, снижением качества жизни населения, но и другими социально-экономическими последствиями, на первый взгляд не связанными с городским шумом: снижением успеваемости в школах, нарушением режима труда и отдыха на предприятиях, по-

вышением заболеваемости населения и т.п. (3, 4). Весомость данной проблемы настолько высока, что в крупных городах принимаются законодательные акты, направленные на снижение уровней шума. В настоящее время в Законодательном Собрании Санкт-Петербурга подготовлен проект закона Санкт-Петербурга «О защите Санкт-Петербурга от шумовых и вибрационных воздействий», в котором определены основные потенциальные источники шума в городе, предложены меры по снижению его уровней в селитебных зонах, предусмотрены меры ответственности за нарушение шумового режима.

При исследовании особенностей неспецифического действия шума особое внимание исследователями уделяется таким системам, как иммунная, центральная нервная, кардиореспираторная.

В частности, имеются данные о нарушении иммунного статуса при воздействии шума. Это является причиной того, что ухудшение состояния здоровья у работников «шумовых» профессий проявляются по сравнению с персоналом, находящимся в относительно благоприятных акустических условиях, увеличением показателей общей заболеваемости и трудопотерь, заболеваемости и трудопотерь, связанных с такими заболеваниями, как острые респираторные заболевания, ангины, болезни органов дыхания (5,6). Иммунологические нарушения у лиц, подвергающихся профессиональному воздействию шума, проявляются изменениями показателей клеточного иммунитета (уменьшение абсолютного содержания в периферической крови лимфоцитов, общих Т-лимфоцитов и лимфоцитов, несущих рецепторы к интерлейкину-2, снижение содержания лимфоцитов-хелперов и натуральных киллеров, увеличение процентного содержания лимфоцитов-супрессоров, уменьшение хелперно-супрессорного индекса), гуморального иммунитета (снижение абсолютного количества В-лимфоцитов, увеличение концентрации иммуноглобулина А, значительное возрастание уровня циркулирующих иммунных комплексов), что сопровождается нарушением функционально-метаболической активности лейкоцитов (увеличение показателя реакции торможения миграции лейкоцитов с конканавалином А, снижение пикового и суммарного показателей индуцированной хемилюминесценции) и дисбалансом продукции цитокинов (увеличение концентрации интерлейкина 1β, 4α и интерферона) (7, 8).

Действие шума на функцию иммунной системы лабораторных животных проявляется сдвигами показателей иммунного ответа крыс и мышей на тимусзависимый антиген, способствует изменению чувствительности мышей к действию различных факторов физической и биологической природы. Нарушения иммунологической реактивности сохраняются в ранний и последующие периоды после воздействия.

Направленность и выраженность иммунологических сдвигов, развивающихся у лабораторных животных при одно- и многократных воздействиях шума, зависит от уровня звукового давления и обусловлена сочета-

нием нарушений отдельных этапов иммуногенеза (процессов пролиферации, миграции клеток иммунокомпетентных органов, активности регуляторных клеточных субпопуляций, продукции лимфокинов) и состояния неспецифической резистентности организма (9, 10).

Основными патогенетическими факторами иммуномодулирующего действия шума являются: а) нарушения нейроэндокринной регуляции функции иммунной системы вследствие восприятия и переработки сенсорной информации о действии акустических колебаний на организм от механорецепторов кожи, мышц, внутренних органов и вестибулярных рецепторов; б) структурно-метаболические нарушения вследствие непосредственного влияния акустических колебаний на клеточные и субклеточные структуры (2).

Нарушения нейроэндокринной регуляции при действии шума проявляются изменениями гормонального статуса и функции нейромедиаторных систем (холинергической, норадрен-, серотонин- и дофаминергической). Важнейшая роль нейрогуморальных расстройств в развитии иммунозависимых нарушений состояния здоровья подтверждается результатами использования лекарственных средств, усиливающих либо блокирующих действие шума на иммунную систему, и наличием достоверных статистических взаимосвязей между показателями иммунного ответа и концентрациями биологически активных веществ. Изменения функционально-метаболической клеточной активности проявляются у экспериментальных животных сдвигами активности свободно-радикального окисления и состояния антиоксидантной системы клеток крови и иммунокомпетентных органов, изменениями структуры клеточных мембран (11). Достоверные статистические взаимосвязи между уровнем иммунного ответа и показателями индцуцированной хемилюминесценции свидетельствуют, что одним из путей коррекции функции иммунной системы при действии шума является нормализация состояния клеточного метаболизма и процессов свободно-радикального окисления.

Таким образом, медикаментозная профилактика и коррекция иммунологических сдвигов в организме при воздействии шума должна осуществляться с учетом названных основных патогенетических факторов иммунотропного действия (нарушений нейроэндокринной регуляции и структурно–функциональных изменений в клетках) и включать в себя:

- мероприятия по профилактике развития и нормализации собственно иммунологических нарушений у работников «шумовых» профессий;
- профилактику и коррекцию нейроэндокринных расстройств, нарушений обмена и клеточного метаболизма.

Последнее предполагает не только фармакотерапию, но и использование специальных диет, продуктов, блюд, в том числе обогащённых биологически активными веществами, другими минорными соединениями (ами-

нокислоты, витамино-минеральные комплексы, биологически активные добавки к пище). Большое значение имеет использование при организации питания рабочих «шумовых» профессий перспективных витаминосберегающих технологий приготовления пищи (например, вакуумная, сублимационная, инфракрасная сушка и т.п.).

В ходе клинических и экспериментальных исследований было установлено, что воздействие шума, уровни которого, не превышают или незначительно превышают предельно допустимые значения, приводит к нарушению протекания основных психических процессов (эмоций и когнитивных функций) у человека и, следовательно, способствует снижению работоспособности и эффективности деятельности. Длительное (ежедневное) воздействие шума в процессе профессиональной деятельности вызывает эмоциональные нарушения в виде депрессивного синдрома психоорганического генеза, характерного для дисциркуляторной энцефалопатии. С увеличением стажа работы у лиц, подвергающихся профессиональному воздействию шума, усугубляется нарушение протекания основных психических процессов, нарастает выраженность эмоциональных нарушений, появляется склонность к личностным конфликтам, развиваются депрессии, неврозоподобные реактивные состояния и вегетативные нарушения (12, 13).

Основным патофизиологическим механизмом нарушений психики, возникающих в результате воздействия шума, является снижение концентрации адреналина, норадреналина, дофамина и серотонина в коре головного мозга и гипоталамусе, активация дофаминергической системы стриатума (повышение концентрации дофамина) и усиление внутриклеточного свободно-радикального окисления в нейронах (14).

При обследовании работников «шумовых» профессий установлено, что при длительном контакте человека с источниками шума могут развиваться неспецифические изменения и в кардиореспираторной системе: а) синдром артериальной гипертензии; б) нарушения гемодинамики головного мозга; в) бронхообструктивный синдром и эмфизема легких.

Так, при анализе показателей центральной гемодинамики установлено, что у обследованных работников «шумовых» профессий преобладал гиперкинетический тип кровообращения (у 48,8 % – гиперкинетический, 26,8 – эукинетический, 24,4 – гипокинетический). У 50,1 % обследованных отмечено развитие артериальной гипертензии, сопровождающейся гипертрофией миокарда левого желудочка и нарушением его диастолической функции. Выявленное преобладание гиперкинетического типа кровообращения и активности симпатического звена вегетативной иннервации с течением времени могут привести к развитию гипертонической болезни, ишемической болезни сердца (15).

У лиц, длительно подвергавшихся воздействию шума, наблюдались также изменения преимущественно ёмкостных свойств церебральных вен за счет изменения активного компонента тонуса венозной стенки (16). В основе дистонии церебральных сосудов могут лежать нарушения вегетативной регуляции тонуса венозных сосудов вследствие прямого действия акустических колебаний на головной мозг, а также дисбаланс биогенных аминов, в частности повышение уровня серотонина.

Анализ результатов углубленного медицинского обследования выявил наличие умеренной степени дыхательной недостаточности, компенсированной определенным форсированием минутного объёма кровообращения. Снижение максимальной объёмной скорости второй половины выдоха (при оценке форсированной жизненной ёмкости лёгких), выявленное у 78 % лиц, подвергающихся воздействию шума, одновременно сочеталось у 17 % с уменьшением объёма форсированного выдоха за первую секунду. Снижение величины этих показателей отражает повышение дыхательного сопротивления, которое может быть обусловлено, вероятно, разными патофизиологическими механизмами: уменьшением просвета дыхательных путей вследствие бронхоспазма или отёчновоспалительных изменений (интрабронхиальный генез), утратой лёгкими эластических свойств (экзобронхиальный).

Исследование с помощью метода общей плетизмографии тела показало, что у обследованных лиц отмечается более высокое значение величины остаточного объёма лёгких и его доли в структуре общей ёмкости легких. Эти данные позволили предположить, что в данной группе имеет место и тенденция к снижению эластичности легких, характерная для наличия эмфиземы (17).

При проведении комплексной оценки состояния сердечно-сосудистой системы и системы внешнего дыхания обследованных, подвергающихся длительному профессиональному воздействию шума, был проведен факторный анализ методом главных компонент, который выявил сильную корреляционную связь продолжительности контакта с источниками шума и показателями кардиореспираторной системы, указывающими на возможное развитие синдрома артериальной гипертензии, нарушения гемодинамики головного мозга, проходимости дыхательных путей и снижения эластических свойств лёгких.

Несомненно, названными проявлениями неспецифическое действие шума на организм человека не ограничивается. Однако даже на основе имеющихся данных можно попытаться установить чёткие и доступные для практической медицины критерии, которые следовало бы использовать в процессе донозологической диагностики, СГМ, СЭН и других мероприятиях, проводимых медицинскими специалистами клинического и профилактического профиля деятельности и направленных на сохранение здоровья работников «шумовых» профессий и населения в целом.

Литература:

1. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Прокопенко Л.В. Человек и шум. – М., 2001. – 384 с.
2. Неспецифическое действие шума на организм / Ахметзянов И.М., Вобликов И.В., Ломов О.П. и др. – СПб., 2003. – 218 с.
3. Orlando P., Perdelli F., Cristina M.L., Piromalli W. // Eur. J. Epidemiol. – 1994. – Vol. 10, N 5. – P. 549-554.
4. Лысенко А.И. // Гигиена и санитария. – 2002. – № 4. – С. 17-18.
5. Свидовый В.И. Гигиенические аспекты сочетанного воздействия шума и инфразвука в различных производствах. – СПб., 1997. – 24 с.
6. Зинкин В.Н., Вобликов И.В., Ахметзянов И.М. и др. // Современные проблемы военной гигиены. – СПб., 1996. – С. 110-111.
7. Вобликов И.В., Зинкин В.Н., Кузьмина Н.В. и др. // Радиац. биология. Радиоэкология. – 1998. – № 4. – С. 565-573.
8. Свидовый В.И., Федорова З.М. // Врачебное дело. – 1985. – № 8. – С. 114-116.
9. Вобликов И.В., Зинкин В.Н., Кузьмина Н.В. // Гигиена и санитария. – 1996. – № 4. – С. 39-40.
10. Вобликов И.В., Зинкин В.Н., Кузьмина Н.В. // Гигиена и санитария. – 1996. – № 5. – С. 30-32.
11. Воробьева Р.Л., Вобликов И.В., Бубнов В.А. и др. // Современные проблемы военной гигиены. – СПб., 1996. – С. 50-52.
12. Шандала М.Г., Олешкевич Л.А. Защита населения от городского шума. – Киев, 1986. – 88 с.
13. Чубаров И.В., Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М. и др. // Гигиена и санитария. – 1999. – № 2. – С. 16-19.
14. Чубаров И.В., Иванченко А.В., Мороз М.П. // Физиологический журнал. – 1997. – Т. 83, № 10. – С. 24-31.
15. Ахметзянов И.М., Гусаров Д.В., Селезнёв А.Б. и др. // Актуальные проблемы и перспективы развития военной медицины. – СПб., 2003. – Т. 4. – С. 17-33.
16. Селезнев А.Б., Ахметзянов И.М., Бойцов С.А., Зинкин В.Н. // Актуальные проблемы обитаемости, радиационной и химической безопасности кораблей и судов ВМФ. – СПб., 1998. – С.133.
17. Гусаров Д.В., Зинкин В.Н., Кирюхина Л.Д. и др. // Актуальные проблемы и перспективы развития военной медицины. – СПб., 2000. – Т. 2. – С. 74-79.

Защита городов от шума компрессорных станций магистральных газопроводов

Терехов А.Л., Теребнев А.В., Емельянов О.Н.
ООО «ВНИИГАЗ»

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 КС имеет аэродинамическое и структурное происхождение и в основном обусловлен работой газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Известно [1], что интенсивными излучателями шума газотурбинных перекачивающих агрегатов являются воздухозаборная камера (ВЗК) и всасывающий патрубок осевого компрессора, корпус и шахта выхлопа газотурбинной установки (ГТУ), нагнетатель и трубопроводы его технологической обвязки.

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.

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 по-

высить 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 [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, представленные в таблице 1, 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.

Таблица 1

Шумовые характеристики излучателей звука КС

№ п/п	Наименование источника	Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.								
		31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Выхлопная труба ГПА	118	109	105	103	104	102	101	97	91
2	Воздухозаборная камера ГПА	98	89	88	85	85	85	87	83	72
3	Сброс пускового газа ГПА	105	104	110	115	115	114	114	115	106
4	Сброс газа с контура ГПА	126	125	131	136	136	135	135	136	127

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.

Современные требования к инженерному оборудованию зданий и измерения акустических характеристик в полузаглушенной камере фирмы «Арктос»

Изак Г.Д., Водолагина А.Г.
ООО «АРКТОС – СПб»

Основная среда обитания человека – помещение (90% времени человек проводит в помещении), поэтому наибольшую актуальность приобретает вопрос акустической защиты человека от шума в офисах, производственных помещениях для периода его трудовой деятельности и в жилом помещении для периода покоя.

Инженерное оборудование зданий и, в частности системы вентиляции и кондиционирования воздуха, призванные обеспечить благоприятные комфортные условия, в свою очередь создают шум, который следует учитывать при расчёте общего шумового фона в помещении.

Зарубежные и отечественные производители климатической техники должны представлять акустические характеристики на производимое изделие в достаточном для проектирования и расчёта объёме. Представленная в каталогах и рекламных материалах информация приводится в несопоставимых величинах и требует переработки при сравнении однотипных инженерных конструкций. Часто информация о шуме приводится в сокращённом, очень приблизительном или неоправданно усреднённом виде. У проектировщиков, в таком случае, нет возможности выбрать оборудование, обеспечивающее оптимальные условия по аэродинамическим и акустическим параметрам, и заблаговременно предусмотреть мероприятия по шумоглушению.

В настоящий период в РФ существующие специализированные лаборатории не располагают акустическими камерами, предназначенными для измерения шума от вентиляционного оборудования и его отдельных элементов точными методами.

Акустическая камера, предназначенная для вентиляционного оборудования, в отличие от других аналогичных камер, должна иметь аэродинамическую систему подачи и удаления воздуха. Строительство таких камер связано с большими материальными затратами.

Петербургский завод «Арктос», производитель оборудования для систем вентиляции и кондиционирования воздуха, создал свой сертифицированный испытательный центр для получения объективной информации об

изделиях собственных разработок, а также оборудования других производителей. Центр включает аэродинамический и акустический стенды.

Решаемые центром задачи направлены, в частности, на повышение эффективности шумоглушения инженерного оборудования зданий:

- усовершенствование конструкций инженерного оборудования с точки зрения акустических характеристик;
- подбор наиболее эффективных шумоглушителей для конкретного оборудования;
- разработка новых видов шумоглушителей и звукоизоляционных экранов;
- выявление зависимостей акустических характеристик исследуемого оборудования от его основных рабочих характеристик (мощности, сопротивления, потребляемой энергии и т.п.);
- разработка рекомендаций по подбору оборудования по аэродинамическим и акустическим характеристикам.

Акустический стенд «Арктос» имеет полузаглушенную акустическую камеру, соответствующую стандарту ИСО 3745, позволяющую производить измерения акустических характеристик любых видов оборудования точным методом (рис. 1).

Рис. 1. Полузаглушенная акустическая камера

Размеры рабочего пространства камеры (с учётом звукопоглощающих конструкций) 8 × 4 × 4,6 м с высотой 4,6 м. Максимальный канальный вентилятор, который может быть испытан в камере, имеет производительность 8500 $м^3$/ч.

Для создания заглушенного потока разработана система пластинчатых шумоглушителей, включающих резонансные конструкции и звукопоглощающие панели. Скорость движения заглушенного потока воздуха через живое сечение путевого и воздухораспределительного оборудования составляет от 1,5 до 7 м/с при площади поперечного сечения до 0,27 $м^2$.

Для возможности измерений снижения шума на путевой арматуре, включая глушители, и воздухораспределителях, предусмотрена возможность подачи в камеру не заглушенного потока воздуха.

В камере можно измерять акустические характеристики любых источников шума объёмом до 1,2 $м^3$.

Уровни звуковой мощности, генерируемой воздухораспределителями, отличаются низкими уровнями звукового давления, особенно при малых скоростях движения воздуха, и требуют очень высокой степени звукоизоляции камеры от внешних и внутренних источников шума.

В акустической камере могут быть измерены следующие акустические характеристики оборудования:

– уровни звуковой мощности, излучаемой вентилятором в воздуховод в сторону притока и вытяжки воздуха и в окружающее вентилятор пространство, в зависимости от расхода воздуха и развиваемого вентилятором давления;
– уровни звуковой мощности, генерируемой путевой и воздухораспределительной арматурой, в зависимости от скорости движения воздуха («путевого шума» по терминологии ИСО 7235);
– снижение шума, распространяющегося по воздуховоду, путевой и воздухораспределительной арматурой («вносимые потери» по терминологии ИСО 7235);
– характеристика направленности излучения звука.

Принципиальным отличием полузаглушенных камер от реверберационных, которые так же позволяют проводить измерения точным методом, является возможность измерения характеристики направленности шума оборудования. Это особенно актуально для воздухораспределителей.

В настоящее время строятся новые и оборудуются системами вентиляции старые здания с высокими потолками (вокзалы, вестибюли, фойе театров и кинотеатров, спортзалы, бассейны, катки, дворцы спорта, аквапарки, супер- и гипермаркеты и т.п.). Для таких помещений следует разрабатывать воздухораспределители, которые подавали бы большое количество воздуха в верхнюю зону помещения, и шум от которых распространялся бы направленно вдоль потолка, не увеличивая шумовой фон на уровне людей.

Наличие полузаглушенной камеры дает возможность разработать принципиально новый тип воздухораспределителей, отличающихся направленным излучением шума.

Это позволит избежать установки дополнительных глушителей, которые увеличивают аэродинамическое сопротивление сети. Затраты на электроэнергию, потребляемую вентилятором, пропорциональны произведению расхода воздуха на аэродинамическое сопротивление сети [1]. Следовательно, появится дополнительное направление сокращения эксплуатационных и капитальных расходов на вентиляцию.

Таким образом, у производителей инженерного оборудования зданий появляется возможность разработки нового эффективного оборудования, гарантирующего не только качество микроклимата помещения, но и экономию энергетических затрат.

Литература

1. Борьба с шумом на производстве. Справочник. Под общ. ред. Е.Я. Юдина- М.: Машиностроение, 1985.

Мониторинг шума окружающей среды. Новые возможности

Сергеев М.В., Макашов С.Ю.
Группа компаний "Октава+"

Мониторинг шума и его применения

Мониторинг шума означает долговременные измерения шума с периодической записью его показателей: обычно максимальных и эквивалентных уровней звука в дБА за интервалы времени: например, за каждую минуту, каждый час, за сутки, а также, как требуется в Европейском сообществе, за день, вечер и ночь.

В мире наиболее распространен мониторинг шума:

– аэропортов,
– промышленных объектов, работающих 24 часа в сутки,
– автомобильных и железнодорожных магистралей,
– шумных мест развлечений (рестораны, танцевальные площадки и т.п.), граничащих с жильем.

В качестве примера рассмотрим системы мониторинга шума аэропортов. Они появились в США и Европе в 70-е годы прошлого века из-за возникшего конфликта: с одной стороны, для успешного развития крупному городу необходим близко расположенный аэропорт или несколько аэропортов. С другой стороны, аэропорт – источник шума, воздействие которого усиливается вместе с ростом города.

Местные власти в планах развития города и области вынуждены учитывать наличие развивающегося аэропорта, строительство будущих взлетно-посадочных полос, возникновение дополнительных коридоров воздушного движения. Аэропорт делает окружающую его территорию непригодной для строительства жилья, т.е. изымает дорогую пригородную землю из оборота. Самолеты днем и ночью летят также над комфортными дачными поселками, в которых предпочитают жить успешные горожане. Такие горожане умеют добиваться своих прав, так что аэропорт вынужден заняться проблемой шума. Это происходит сейчас с аэропортом Домодедово, Москва.

Чтобы защитить права граждан, в 80-90-е годы XX века в законодательство Европейского Союза и многих других стран был введен принцип: «мероприятия по защите от шума оплачивает тот, кто шумит».

Для аэропортов это может означать, что во всех жилых домах, уже находящихся в зоне повышенного шума, за счет средств аэропорта выполняются работы по защите от шума: устанавливаются окна с повышенной звукоизоляцией и системами вентиляции. Так как жители этих районов, особенно дети, часть времени проводят на открытом воздухе, они получа-

ют ежемесячную компенсацию за вредные условия проживания – тоже за счет штрафов, взимаемых с аэропорта.

Для объективного контроля шума обе конфликтующие стороны: аэропорт и муниципальные власти пригородов, – вынуждены заниматься мониторингом шума близи границы между аэропортом и населенной территорией, поскольку не могут доверять данным измерений, предоставленным противной стороной.

Существуют, по крайней мере, три фактора, влияющие на шум взлета / посадки:

1. шумовые характеристики воздушного судна;
2. режим взлета / посадки (траектория, режим работы двигателей и т.д.), т.е. субъективный фактор;
3. метеоусловия (попутный ветер способствует распространению шума).

Главные причины превышений шума: а) применение устаревших типов самолетов, двигателей по Главе 2, Том 1, Приложение 16 ИКАО, которые уже выведены из употребления в Европе; б) несоблюдение пилотами оптимальных режимов взлета / посадки; 3) постоянный рост аэропортов и воздушного движения.

Только фактор №3 неустраним. Первые 2 фактора регулируемы.

Практика показывает, что, управляя задаваемыми коридорами движения и режимами пилотирования, при одних и тех же самолетах, можно добиться снижения шума в прилегающих населенных пунктах на 5-10 дБА, что немало.

Однако летчики, как и водители автомобилей, не всегда соблюдают правила движения. Поэтому в ряде стран существует практика взимания аэропортом штрафов за каждый «слишком шумный» взлет / посадку, которые берутся с авиакомпаний – владельцев нарушителя.

Аэропорт, на основе сбора представительной статистики с помощью системы мониторинга шума, устанавливает обоснованные пороги допустимого шума, которым удовлетворяют, скажем, 90% взлетов / посадок. Тем, кто не уложился в нормы, предлагается платить штрафы. В результате пилоты начинают лучше соблюдать правила.

Через какое-то время аэропорт может установить новый 90% порог и т.д. Это в итоге позволяет аэропорту компенсировать рост шума на прилега-

ющей территории, обусловленный ростом воздушного движения, за счет снижения шума от каждого самолета.

Используя накопленные данные и специальные компьютерные программы, можно составлять шумовые карты аэропорта и его окрестностей. Карты позволяют контролировать динамику средних уровней шума аэропорта за месяц / квартал / год и т.д. Можно просчитывать перспективы: например, какова будет шумовая карта через 5 лет, если количество и состав рейсов будет расти так-то и так-то. Такие прогнозы должны обсуждаться с муниципальными властями для правильного планирования застройки прилегающих территорий.

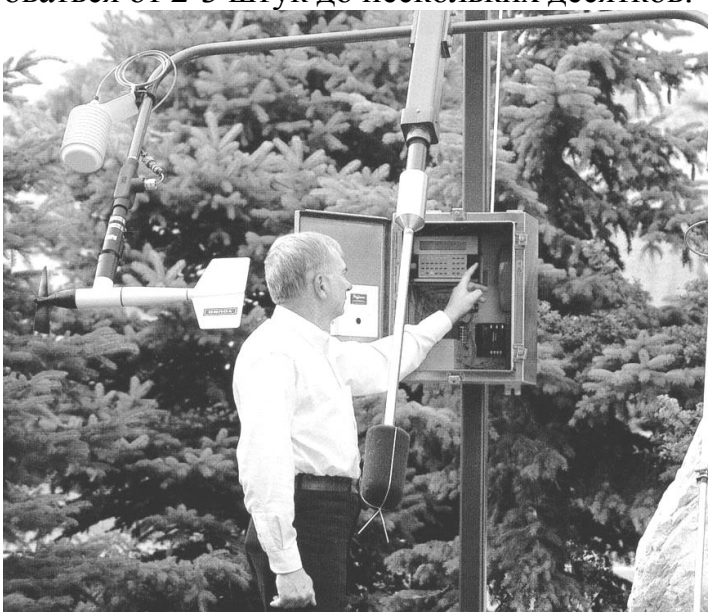
Состав системы мониторинга шума

Типовая система автоматизированного мониторинга шума аэропорта включает несколько пунктов контроля шума (ПК), связанных с центральным компьютером с помощью канала передачи данных.

ПК состоит из специального всепогодного микрофона, установленного на мачте (на земле или на крыше здания) высотой 4 – 6 м, небольшого бокса с регистрирующей аппаратурой и метеостанции (при необходимости). Связь ПК с центральной станцией осуществляется по телефонной линии или радиоканалу. На ПК подается питание 220 В, причем в состав ПК обязательно входит резервный источник электропитания на случай перерывов в энергоснабжении.

Пункты контроля бывают стационарные и мобильные. Мобильные ПК используются для мониторинга шума в течение ограниченного срока (нескольких дней или недель) в интересующей точке, например, в месте жалоб населения. Количество пунктов контроля на аэропорт зависит от задач и размеров аэропорта и может варьироваться от 2-3 штук до нескольких десятков.

Регистрирующая аппаратура ПК включает в себя шумомер 1 класса точности и блок обработки, накопления и передачи данных. Программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме анализировать поступающий шум, измерять и сохранять в памяти его нормируемые параметры. Одновременно результаты измерений передаются на компьютер центральной станции.



С помощью триггерного запуска возможна дополнительная аудиозапись каждого «шумового события» (например, в формате mp 3) для последующего прослушивания и анализа.

Центральный компьютер системы обеспечивает дополнительный анализ измеренных данных со всех точек мониторинга, их архивирование, составление отчетов по шумным рейсам (и, при необходимости, по жалобам населения). Центральный компьютер может получать данные из информационной системы аэропорта, которая подключена к радару системы аэронавигации для идентификации каждого шумового события с конкретным рейсом, с траекторией его движения в реальном времени.

Автономный пункт контроля шума

В настоящее время в компании "Октава+" проходит испытания опытный образец системы мониторинга, состоящий из выделенного сервера центральной станции и одного ПК. При разработке образца учтены все требования, предъявляемые к системе мониторинга авиационного шума.

Основным элементом пункта контроля шума является шумомер Октава - 101АМ, который осуществляет непрерывное измерение уровней звукового давления с различными коррекциями и различными типами временного усреднения одновременно с октавными и 1/3-октавными спектрами. В качестве приемника звукового давления применяется конденсаторный микрофон. Это стандартный микрофон с защитой от осадков и птиц (который можно установить, например, на балконе жилого дома); при необходимости система комплектуется специальным всепогодным микрофоном, устанавливаемым на мачте требуемой высоты, с системой автоматического контроля чувствительности измерительного тракта (для этого обеспечено соответствующее напряжение питания).

Информация от шумомера поступает на устройство накопления, первичной обработки и передачи данных. Первичная обработка заключается в выделении из всего объема данных, поступающих от шумомера, необходимой для выполняемой задачи информации (суммарные уровни звукового давления с коррекцией "А" и временными усреднениями "Fast", "Slow", "Impulse" и эквивалентный уровень). Набор выделяемых данных может меняться в зависимости от конкретной задачи.

В качестве устройства накопления, первичной обработки и передачи данных используется карманный персональный компьютер. КПК не отвечает всем требованиям, предъявляемым к автономной, рассчитанной на длительную непрерывную работу системе, но позволяет легко менять алгоритм обработки и передачи данных. В опытном образце системы мониторинга КПК является макетом, на котором производится адаптация программного обеспечения под конкретную задачу. В дальнейшем обработку и передачу данных будет осуществлять специализированное устройство со встроенным программным обеспечением.

Принятые от шумомера и обработанные данные накапливаются в течение определенного времени, затем передаются на центральную станцию. Для передачи используется GSM-модем, работающий в режиме пакетной передачи данных. Информация передается в виде сообщений электронной почты, на центральной станции осуществляется прием почты, контроль данных и их архивирование. Передача данных организована с учетом возможности временного нарушения связи ПК с центральной станцией. Естественно, что при наличии, например, выделенной линии возможен более простой и дешевый способ передачи данных.

СВОДНЫЙ ОТЧЁТ О МОНИТОРИНГЕ ШУМА					
Отчёт сформирован		**24.02.2006 15:34**			
S/N прибора		**05A001**			
VIN прибора		******			
Суммарные данные (17.02.2006 00:00:00 - 23.02.2006 23:59:59)					
Порог	75.0 дБ				
Гистерезис	3.0 дБ				
	Leq	**# превыш.**			
7-7 час.	64.9	253			
7-23 час.	63.3	224			
23-7 час.	57.0	29			
Данные за каждые расчётные сутки					
Дата	**Leq, дБ**	**# превыш.**			
17.02.2006					
День [07-23]	62.7	24			
Ночь [23-07]	58.3	7			
Сутки [07-07]	65.4	31			
18.02.2006					
День [07-23]	63.0	30			
Ночь [23-07]	56.8	3			
Сутки [07-07]	64.7	33			
19.02.2006					
День [07-23]	62.5	22			
Ночь [23-07]	56.0	3			
Сутки [07-07]	64.0	25			
20.02.2006					
День [07-23]	63.9	46			
Ночь [23-07]	57.4	5			
Сутки [07-07]	65.4	51			
21.02.2006					
День [07-23]	63.5	40			
Ночь [23-07]	56.2	0			
Сутки [07-07]	64.5	40			
22.02.2006					
День [07-23]	64.6	39			
Ночь [23-07]	57.1	5			
Сутки [07-07]	65.6	44			
23.02.2006					
День [07-23]	62.2	23			
Ночь [23-07]	56.9	6			
Сутки [07-07]	64.4	29			

Пример отчета, формируемого системой мониторинга шума (ПК установлен на балконе жилого дома)

Принятая и обработанная информация хранится в базе данных на центральной станции. В настоящее время архивируется вся история изменения акустической обстановки – уровни звукового давления с коррекцией А и усреднениями "FAST", "SLOW", "Leq" – с интервалом 3 раза в секунду. Такая структура архива позволяет получить максимально детализированную информацию за любой период времени, а также осуществлять выделение акустических событий с помощью различных критериев. В соответствии с решаемой задачей

формируются отчеты, в которые входят интегральные характеристики за установленные интервалы времени, история превышений пороговых (допустимых) уровней или другая информация по запросу пользователя.

По мере накопления данных осуществляется формирование архивов верхнего уровня. При этом производится выделение акустических событий и расчет интегральных акустических характеристик. Через определенный промежуток времени наиболее старые исходные данные удаляются. Это сделано для ограничения объема базы данных, но при необходимости возможно хранение всей информации (например, на внешнем носителе).

Измерительная система (шумомер и устройство накопления, первичной обработки и передачи данных) располагается в специализированном всепогодном приборном шкафу.

Приборный шкаф имеет запирающийся двустенный корпус с высокой степенью экранирования. Степень защиты приборного шкафа: IP55. Внутри шкафа размещены система обогрева и предотвращения образования конденсата и резервированный источник электропитания, обеспечивающий автономную работу ПК в течение 9 часов. На боковой стенке внешнего корпуса установлена антенна GSM-модема. Приборный шкаф может устанавливаться на стену или на мачту.

Новое поколение приборов ШИ-01 для аттестации рабочих мест

Арестов С.О., Климов Д.С., Курепин А.Д., Мамаев С.В.
ООО «НТМ-Защита», г. Москва

В последние годы наблюдается быстрое обновление парка шумомеров и виброметров, связанное с появлением доступных по цене приборов нового поколения на основе цифровой обработки сигнала. Главное преимущество приборов нового поколения очевидно – это возможность реализовать параллельное (одновременное) измерение десятков акустических или вибрационных параметров. В случае санитарного контроля и оценки условий труда это приводит к многократному сокращению времени, затрачиваемому на проведение измерений, регламентируемых действующими нормативными документами. Кроме того, цифровая обработка сигналов предоставляет большую гибкость в изменении или дополнении режимов измерения на программном уровне, не затрагивая аппаратную основу.

Мы попытались использовать перечисленные достоинства для создания семейства доступных приборов, ориентированных на проведение массовых измерений службами санитарного контроля и охраны труда. Все приборы построены на единой платформе, основой которой является цифровой сигнальный процессор. Платформа размещена в измерительном блоке (ИБ) и содержит функциональные узлы, показанные на рис. 1.

Нормирующий усилитель с переключаемым коэффициентом усиления предназначен для согласования входного сигнала с амплитудно-цифрового преобразователя (АЦП). Коэффициент усиления изменяется от 0 дБ до 50 дБ с шагом 10 дБ. Эквивалентный уровень собственных шумов, приведенных ко входу, не превышает 2 мкВ с коррекцией «А», и 3 мкВ без частотной коррекции. Максимальный входной сигнал 10В среднеквадратичного значения (СКЗ) при коэффициенте гармоник меньше 0,01%. Частотная характеристика усилителя линейна с допуском 0,3 дБ от 0,5 Гц. Оцифровка сигнала ведется на частоте 48 кГц с разрешением 16 бит. Все виды обработки сигнала – частотные коррекции, октавный и третьоктавный частотный анализ, временное взвешивание и усреднение – проводятся в цифровом виде. Работа с периферийными устройствами – жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ), клавиатура, энергонезависимая память, COM порт для связи с персональным компьютером – осуществляется с помощью программируемой логической матрицы. Таким образом, БИ представляет собой одноканальный блок цифровой обработки сигнала, характеристики которого позволяют, в зависимости от примененного первичного преобразователя, реализовать функции шумомера, виброметра и анализатора спектра в диапазонах частот звука, инфразвука, общей и локальной вибрации.

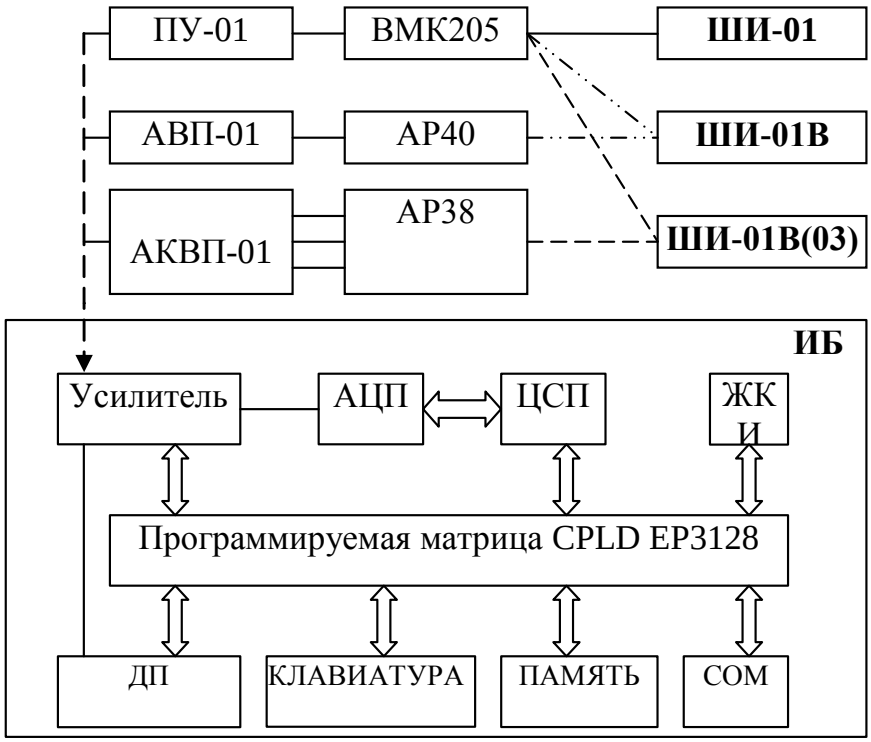


Рис. 1. Структура семейства приборов.

Для проведения измерений предусмотрено использование любого из трех типов преобразователей, выход которых согласован с входом платформы:

- для акустических измерений – конденсаторный микрофонный капсюль ВМК205 с предусилителем ПУ-01;
- для вибрационных измерений – однокоординатный вибропреобразователь АР40 с адаптером АВП-01 или трехкоординатный вибропреобразователь АР38 с адаптером коммутатором АКВП-01.

В зависимости от комбинации платформа-преобразователь доступны следующие варианты приборов:

- ШИ-01-шумомер интегрирующий, анализатор спектра;
- ШИ-01В – шумомер интегрирующий-виброметр, анализатор спектра;
- ШИ-01В(03) – шумомер интегрирующий-виброметр, анализатор спектра с трехкоординатным вибропреобразователем.

Рассмотрим их основные технические характеристики.

ШИ-01

Шумомер соответствует требованиям ГОСТ 17187-81, МЭК 651, МЭК 804, МЭК 61672-1 для шумомера 1 класса. Октавные и третьоктавные фильтры анализатора соответствуют требованиям 1 класса МЭК 1260.

Измеряемые характеристики:

Для частотных коррекций А, С – уровни звука, для частотной коррекции ЛИН – общий уровень звукового давления (УЗД) звукового и инфразвукового диапазонов. Для всех частотных коррекций одновременно, в реальном времени вычисляются эквивалентные уровни и уровни с СКЗ детекторами медленно (S), быстро (F), импульс (I), максимальные и минимальные значения за время измерения.

Для октавных фильтров с номинальными средними геометрическими частотами 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц – эквивалентные УЗД, УЗД с детектором медленно (S), максимальные и минимальные значения во всех детекторах за время измерения – одновременно во всех полосах в реальном времени.

Для третьоктавных фильтров с номинальными средними геометрическими частотами 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400,0; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000 Гц – эквивалентные УЗД, максимальные и минимальные значения за время измерения – одновременно во всех полосах одного из трех режимов в реальном времени.

Частотный диапазон измерений от 2 Гц до 20000 Гц.

Динамический диапазон измерения уровней звука и уровней звукового давления:

– с частотной коррекцией «А» – от 20 дБ до 140 дБ;
– с частотной коррекцией «С» – от 22 дБ до 140 дБ;
– с частотной коррекцией «ЛИН» – от 35 дБ до 140 дБ;
– диапазон шкалы 70 дБ.

ШИ-01В

В качестве шумомера имеет те же характеристики, что и ШИ-01.

В качестве виброметра имеет следующие характеристики:

Для локальной вибрации – уровни виброускорения с временами усреднения 1; 5; 10 с и эквивалентные уровни виброускорения в октавных полосах со средними геометрическими частотами 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц. Корректированный (Wh) уровень виброускорения с временами усреднения 1; 5; 10 с и эквивалентный корректированный уровень.

Для общей вибрации – уровни виброускорения с временами усреднения 1; 5; 10 с и эквивалентные уровни виброускорения в третьоктавных полосах со средними геометрическими частотами 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80 Гц. Корректированные (Wd, Wk) уровни виброускорения с временами усреднения 1; 5; 10 с и эквивалентные корректированные уровни.

Уровни виброускорения с временами усреднения 1; 5; 10 с и эквивалентные уровни виброускорения на частотной характеристике ЛИН.

Октавные и третьоктавные фильтры анализатора соответствуют требованиям 1 класса МЭК 1260.

Частотный диапазон измерений:

– анализатора от 0,8 Гц до 1000 Гц;
– виброметра, ЛИН от 0.5 Гц до 1250 Гц;
– динамический диапазон измерений 80-180 дБ;
– диапазон шкалы 70 дБ.

ШИ-01В (03)

Имеет те же характеристики, что и ШИ-01В. Отличается применением трехкоординатного вибропреобразователя и переключателем, для выбора оси измерения.

Все приборы имеют сертификат об утверждении типа средства измерения и внесены в Государственный реестр. Таким образом, единая платформа для цифровой обработки сигнала и набор первичных преобразователей, имеющих унифицированный выход, позволили реализовать совместимость приборов семейства. Это означает, что при приобретении «младшего» прибора рассмотренного семейства, в будущем достаточно легко модернизировать его до комплектации приборов более высокого уровня. В максимальной комплектации пользователь получит прибор, позволяющий «закрыть» санитарные нормы по шуму, инфразвуку, общей и локальной вибрации. При этом затраты на дооснащение определяются только стоимостью дополнительных преобразователей и программного обеспечения для реализации новых режимов измерения. В этом состоит одна из особенностей семейства ШИ-01.

Другая особенность связана с организацией интерфейса пользователя. Известно, что широкие измерительные возможности цифровых приборов имеют свою негативную сторону. Для управления возможностями подобных приборов производители вынуждены применять систему разветвленных, многоуровневых меню. В приложениях исследовательского характера гибкость в установке режимов измерения может оказаться предпочтительной. Для работ связанных с массовыми, стандартными измерениями удобнее приборы, в которых режимы измерения заранее ориентированы на нормативные требования и позволяют проводить рутинные измерения без дополнительных настроек. Для семейства ШИ-01 была выбрана последняя стратегия. Организация режимов измерения и представления результатов на ЖКИ изначально опирается на требования нормативных документов санитарного нормирования. В каждом из режимов на ЖКИ представлены все нормируемые параметры для данного вида измерения. Этот режим по умолчанию устанавливается при включении прибора. На ЖКИ в графическом и цифровом видах представлены текущие результаты измерения уровня звука с частотной коррекцией «А» одновременно с детекторами

SLOW, FAST, IMPULSE и эквивалентное значение. Эквивалентное значение, как основной параметр нормирования, изображается крупным, легко читаемым шрифтом. При установке маркера на колонку гистограммы, соответствующую одному из детекторов, в цифровом представлении выводятся текущее значение детектора, его максимальное и минимальное значение за время измерения. Оператор имеет возможность оценить достаточность времени измерения по счетчику продолжительности измерения или стабилизации значения эквивалентного уровня. Определить временную характеристику шума, сравнивая максимальное и минимальное значение детектора SLOW. Проверить импульсный характер шума, сравнивая показания детекторов SLOW и IMPULSE. Так как в подавляющем большинстве случаев шум оказывается непостоянным, этого достаточно для оформления протокола измерений. Все нормируемые параметры – эквивалентный уровень с коррекцией «А», максимальные значения для детекторов SLOW и IMPULSE – представлены на ЖКИ и могут быть записаны в энергонезависимую память прибора.

Аналогично построены и другие режимы. При измерении инфразвука на ЖКИ представлены значения в октавах и общий линейный уровень, при измерении вибрации – спектральные данные и корректированные уровни для выбранного вида вибрации. Установка любого режима измерения производится из списка режимов, доступного по кнопке РЕЖИМ клавиатуры прибора.

Управление измерением осуществляется двумя кнопками клавиатуры прибора. Кнопка СБРОС обнуляет все буферы текущих результатов, счетчики времени и служит для начала нового измерения. Кнопка ПАУЗА приостанавливает изменения в буферах текущих результатов. Повторное ее нажатие возобновляет изменение от достигнутых значений. Использование кнопки ПАУЗА дает возможность провести «составное» измерение, которое может существенно упростить определение эквивалентного уровня за смену по измерениям на типичных интервалах времени. Индикация перегрузки при измерении состоит из индикации в момент перегрузки и индикации продолжительности перегрузки в остальное время. Таким образом, оператор в любой момент знает, была ли перегрузка при измерениях, и если да – какова была ее продолжительность.

Работа с энергонезависимой памятью прибора организована следующим образом.

Для записи достаточно нажать кнопку ЗАПИСЬ на клавиатуре прибора. Имя записи в памяти формируется автоматически и состоит из времени начала измерения, его продолжительности, условного обозначения режима проведения измерения. В состав записи включаются все измеренные значения, время проведения и продолжительность измерения, данные о наличии и продолжительности перегрузки, если таковая имела место. Память прибора позволяет хранить результаты 150 измерений. После заполнении

памяти новая запись автоматически заменяет наиболее старую. Таким образом, в памяти находится 150 последних измерений.

Сервисное меню прибора содержит операции просмотра памяти, передачи содержимого памяти в компьютер, установки таймера и часов, калибровки измерительных каналов. Предусмотрена физическая калибровка с помощью акустического и вибрационного калибраторов, а также калибровка «по паспорту», позволяющая вводить вручную паспортные характеристики преобразователей.

В состав программного обеспечения, поставляемого с приборами, кроме программы для передачи данных между компьютером и прибором поставляется программа-калькулятор. Программа-калькулятор устанавливается на персональном компьютере с любой из операционных систем WINDOWS 95÷XP и реализует вычисления суммы и разности уровней, среднего уровня, эквивалентного уровня за смену, уровня 8-часового воздействия и т.д. Использование калькулятора существенно облегчает обработку результатов измерений, предусмотренную действующими нормативными документами по санитарному контролю и аттестации рабочих мест.

Современные приборы для виброакустических измерений

Вишняков А.Н., Куриленко Ю.В.
Группа компаний «ОКТАВА+»

В статье обсуждаются приборы для виброакустических измерений и история их развития.

Цель работы – сформулировать основные свойства современных измерительных систем, которые в ближайшем будущем должны качественно изменить методы измерений звука и вибраций.

Введение

В наши дни происходит новый рывок в области информационных и коммуникационных технологий.

Достижения в этих сферах неизбежно отражаются на измерительных системах, так же как и в предыдущие годы технологические скачки кардинально перекраивали мир средств измерений и формировали новые стили и способы взаимодействия человека с прибором.

Большинство из нас помнит (а кое-кто до сих пор использует) приборы поколения 60-70 гг. По существу, это были стрелочные усредняющие микровольтметры с подключенным микрофоном или вибродатчиком.

Естественно, они обладали огромным количеством недостатков.

В первую очередь, это маленький динамический диапазон, абсолютно неадекватный динамическому диапазону реальных исследуемых сигналов. Аналоговые цепи фильтров требовали подстройки и были чувствительны к внешним воздействиям. Примитивный интерфейс (стрелочная шкала и ручные переключатели) затруднял процесс измерения и повышал роль человеческого фактора.

Способ работы с такими приборами состоял в считывании данных «на глазок» и ручной обработке массивов данных. Однако это вполне соответствовало сложившейся на тот момент системе взаимоотношений «человек-машина (прибор)». Изменения в электронной технике в те времена осуществлялись очень медленно, что дало возможность разработать детальные стандарты и методы измерения. Стрелочный шумомер долгие годы выглядел вполне современно на фоне окружающих его устройств, а сформировавшаяся система стандартов явилась дополнительным консервативным фактором.

Середина 80-х ознаменовалась началом цифровой революции в измерительной технике. Первым шагом в этом направлении было внедрение

аналого-цифрового преобразования (АЦП) сигналов, что сразу позволило резко увеличить динамический диапазон шумомеров и виброметров. Уже в начале 90-х годов «среднестатистический» цифровой шумомер 1-го класса имел динамический диапазон более 80 дБ.

Применение микросхем позволило в несколько раз уменьшить размеры и вес приборов.

Следом за этим стали бурно развиваться микропроцессорные технологии и цифровая обработка сигналов (DSP-процессоры). На смену аналоговым фильтрам пришли цифровые, которые обеспечивали стабильные метрологические характеристики.

К концу 90-х годов микропроцессорные технологии уже позволяли создавать аппаратуру, которая одновременно вычисляла в реальном времени большое количество параметров с применением различных частотных фильтров и временных усреднений. Данные могли сохраняться в собственной памяти вместе с датой, временем и примечанием и передавались в компьютер. Следствием этого развития стали новые стандарты, устанавливающие более жесткие требования к аппаратуре, новые методы измерения, ***новый стиль работы***.

Российская индустрия[1] пропустила все эти этапы. Первые российские цифровые шумомеры и виброметры появились только в 2001 г., когда цифровая революция себя практически исчерпала.

1. Проблемы современных приборов

Лучшие современные приборы для измерения шума и вибрации (например, фирм Bruel&Kjaer, Larson-Davis, Rion, Norsonic, 01dB) впитали в себя все достижения цифровой революции. На бурное развитие компьютерных технологий производители портативных приборов отреагировали предсказуемо: создали устройства, которые «могут посчитать все».

Опыт работы с такой аппаратурой (Larson-Davis модель 824, Bruel&Kjaer Тип 2260 и др.) выявил следующие неудобства.

Огромное количество функций, заложенных в маленький корпус с небольшим экраном, ведет к очень сложной системе меню. Например, модель 824 имеет пять независимых друг от друга меню настроек, шесть различных режимов измерений, большинство из которых включает в себя не менее десятка настраиваемых параметров и примерно столько же форматов представления данных на индикаторе. Понятно, что большинство пользователей уверенно владеют лишь небольшой частью наиболее часто

[1] Имеется в виду индустрия приборостроения для коммерческого использования

используемых функций[2]. Обновление такого сложного и специализированного встроенного программного обеспечения (в том числе и устранение замеченных недостатков) осуществляется медленно, так как программирование цифровых процессоров и контроллеров трудоемко и доступно ограниченному количеству высококлассных специалистов.

Однако главная проблема современного приборостроения заключается в другом. Впервые за много десятилетий стиль «общения» человека с измерительным прибором стал хронически отставать от способа работы с иными окружающими его устройствами, например, с компьютерами. Как избежать этого, если жизненный цикл современного прибора (от запуска в производство до его прекращения) составляет не менее 5-10 лет? Ведь к середине этого срока его интерфейсная часть безнадежно устаревает. Достаточно напомнить, каким анахронизмом сегодня выглядят интерфейс шины GPIB, встроенные дисководы для дискет, перьевые самописцы, принтеры с термобумагой, и т.д.

За последние годы мы стали свидетелями, как минимум, двух попыток решить эту проблему.

Последняя (казавшаяся такой перспективной) состояла в интегрировании внутрь прибора карманного персонального компьютера (КПК). Привлекательность этой идеи была в том, что использование типовых возможностей КПК (большой дисплей, стандартная операционная система с наработанными библиотеками и драйверами) обещало избавить от проблем с интерфейсом и сменой программ. Казалось бы, что может быть современнее гибрида прибора с самым современным на тот момент компьютерным устройством?

Но первые же опыты реализации этой идеи (Bruel&Kjaer Тип 2250, Larson-Davis 831 и др.) ярко проиллюстрировали, что она является лишь косметическим улучшением, а решения сформулированной выше фундаментальной проблемы не дает. Разработчики просто на много лет «заморозили» в своей конструкции текущий вариант портативного компьютера. КПК постоянно обновляются. Более того, они трансформируются в смартфоны и коммуникаторы. Возможно, что через несколько лет КПК (и их программисты) вообще исчезнут, как сегодня практически исчезли еще недавно популярные пейджеры.

Другая попытка связана с так называемыми PC-based системами (например, Pulse, Symphonie, X-Series, Pimento, VXI...), то есть с системами, которые состоят из специализированного модуля АЦП

(обычно многоканального), соединенного с компьютером. Идея заключается в том, чтобы все необходимые параметры вычислял и отображал стандартный компьютер. Такие системы достаточно просто разрабатывать, о чем свидетельствует их огромное количество. Создание при-

[2] За 12 лет поставок прибора Larson-Davis модель 2800/2900, > 100 шт., мы знаем только 1-2 примера, когда пользователь научился самостоятельно настраивать прибор, не пользуясь предустановками.

кладного программного обеспечения можно осуществить силами обычных программистов и даже студентов, имеющихся в большом количестве на рынке труда. Недостатки подобных систем сегодня также всем понятны. Это – громоздкость (необходим мощный компьютер), высокая цена (нужно обеспечить устойчивость к климатическим и механическим воздействиям по стандартам измерительных систем), и проблемы с метрологией (такие системы сложно сертифицировать, так как в случае замены ПК или операционной системы, вообще говоря, получается новый прибор).

2. Российские приборы серии ОКТАВА-110

Российские приборы серии ОКТАВА-110[3] разработаны на основе современных электронных технологий и по техническим характеристикам не уступают лучшим западным образцам. Эти приборы соответствуют как самым современным международным стандартам (МЭК 61672-1, ИСО 8041, МЭК 61260), так и пусть устаревшим, но действующим российским (ГОСТ 17187, ГОСТ 17168, ГОСТ 12.4.012).

Они позволяют производить измерения всех параметров шума и вибрации, предусмотренных российскими санитарными и строительными нормами и иными документами.

По ряду характеристик приборы серии ОКТАВА не имеют аналогов даже за рубежом. Например, виброметр-анализатор спектра ОКТАВА-110В позволяет в реальном времени измерять общую/локальную вибрацию одновременно по трем направлениям с динамическим диапазоном 120 дБ.

Шумомер ОКТАВА-110А обладает широким набором дополнительных режимов: «инфразвук», «ультразвук», «общая/локальная вибрация».

Приборы обладают исключительно низким уровнем собственных шумов, что позволяет проводить измерение крайне слабых уровней (нижний предел измерений определяется первичным преобразователем: микрофоном или вибродатчиком).

Дополнительно отметим, что эти приборы мультиязычны, обладают простым интуитивно ясным меню и удобной USB-связью с ПК (при подключении к ПК приборы распознаются как USB Mass Storage Device – съемный диск).

Как отмечалось выше, первые российские цифровые шумомеры и виброметры появились только в 2001 г. (приборы серии ОКТАВА-101), когда цифровая революция себя практически исчерпала. На смену ей пришла революция информационных и коммуникационных технологий.

Мы считаем, что наши новые приборы не уйдут в прошлое быстро. Почему – объясним подробнее.

[3] Полная информация о серии инструментов ОКТАВА-110 представлена на сайте www.octava.ru

Пожалуй, самое главное, что дал рывок коммуникационных технологий – это мобильность. Мобильность коренным образом поменяла ***стиль работы***. Теперь неудобно работать без интернета и неудобно работать с проводным телефоном. Почему? Ответ простой: это не современный стиль. Интернет и мобильная связь стремительно входят в повседневную жизнь (как 100 лет назад входили электричество и радио), предлагая все больше удобных сервисов и возможностей. Мы не могли не принять это во внимание.

Найденное решение оказалось очень простым - прибор поддерживает высокоскоростной канал телеметрии, по которому передается поток обработанных данных и команды управления прибором. Физически канал обеспечивается адаптером радиоканала Wi-Fi или Bluetooth.

Принимать телеметрию ***одновременно с нескольких приборов*** можно на практически любом ПК или ноутбуке. Как и в PC-based системах, упомянутых в предыдущем разделе, программа визуализации измеренных параметров может легко поддерживаться на современном уровне. При ее изменении нет необходимости повторно проходить процедуру сертификации, так как все метрологические параметры вычисляются в приборе и тестируются вместе с ним.

Наличие радиоканала позволило применить КПК в качестве своеобразного пульта дистанционного управления приборами. Это открыло новые интересные возможности.

Во-первых, в применениях, где необходимо осуществлять длительный мониторинг слабых уровней шума или вибрации (больницы, жилые помещения ночью и т.д.). В этом случае КПК используется для архивирования данных и расчета дополнительных величин. Только такой способ позволяет получить действительно надежные данные.

Другое важное применение - удаленное измерение. Благодаря нашему решению теперь можно запускать измерения и контролировать их результаты на расстоянии без применения кабелей. Например, прибор может быть расположен в тесной кабине или удобно закреплен на рабочем, в то время как оператор, производя замер, находится на соответствующем удалении.

Заключение

Жизненный цикл инструментальных средств измерения шума и вибрации составляет не менее 5 лет. За этот период времени новые технологии существенно меняют само понятие о современном электронном устройстве. Поэтому главная задача разработчиков состоит не просто в том, чтобы сконструировать качественный прибор, а в том, чтобы сделать его удобным и полезным на протяжении всего срока эксплуатации.

История показывает, что самые сложные микросхемы и программы не гарантируют современность прибора на долгие годы. Прибор будет полезным до тех пор, пока он соответствует современному стилю работы.

Последние достижения в коммуникационных технологиях в очередной раз поменяли наши представления о рабочем месте. Мобильность позволяет нам работать без непосредственного контакта друг с другом и с исследуемыми объектами. Все это диктует новые требования и к современным приборам.

Возможно, в ближайшее время сам прибор не будет нуждаться в отдельном индикаторе, полностью занимаясь только необходимыми вычислениями. Встроенный радиоканал позволит передавать параметры шума или вибрации непосредственно в информационную сеть. Для их отображения подойдет любой сетевой коммуникатор, будь это обычный компьютер или будущий планшет с электронной бумагой.

Российские приборы серии ОКТАВА-110 сделали первый шаг в этом направлении. Комплект из прибора, адаптера телеметрии и КПК предоставляет возможность дистанцироваться от точки измерения. Более того, несколько приборов ОКТАВА-110 могут работать с одним КПК и оператор может наблюдать параметры в нескольких удаленных точках измерения одновременно. Уверены, что новые возможности наших систем помогут российским специалистам решать на современном уровне самые сложные задачи, и мы открыты к сотрудничеству в этом направлении.

Построение карт распространения шума с помощью программы Mithra Проверка применимости моделей на территории Санкт-Петербурга

Викторов А.Д., Кустова Э.Л. Шуранов Е.В.
РГГМУ

Введение

Для контроля шумовой ситуации в большинстве европейских стран широко используется компьютерное моделирование. На основе построенных шумовых карт осуществляется выявление наиболее проблемных зон, прогнозирование шумовой ситуации в результате появления новых источников шума, оценка методов защиты от шума. Применение подобного подхода очень перспективно для таких мегаполисов, как Санкт-Петербург.

В данном докладе рассмотрены возможности программного пакета Mithra, предназначенного для построения шумовых карт. Описаны основные преимущества использования данного программного пакета. Особое внимание уделено моделям, используемым для определения уровня мощности источников шума и уровня шума в рассчитываемой точке. Приведены основные формулы расчёта для моделирования распространения шума. Проведена оценка используемых в моделях констант и апробация моделей, приведены результирующие карты шумовой нагрузки микрорайона г. Санкт-Петербурга, ограниченного улицами с интенсивным движением транспорта.

Возможности программного пакета Mithra

Программный пакет Mithra позволяет:

1. Оцифровывать растровые изображения карт, добавлять и корректировать объекты, влияющие на шумовую ситуацию
2. Рассчитать звуковую мощность источников шума наиболее распространённых в условиях города.
3. Рассчитывать уровень шума в указанных точках.
4. Строить карты распределения шумовой нагрузки в вертикальной или горизонтальной плоскости на различных высотах.
5. Прогнозировать изменение шумовой нагрузки в случае добавления/удаления различных объектов (новых дорог, домов, защитных экранов и т.д.).
6. Представлять полученные данные в удобном для пользователя виде. (В том числе в соответствии с рекомендациями ЕС в данной области). Карты могут отображать уровень шума в виде различ-

ных цветов, изолиний или же цифрами возле каждого узла сетки. Уровни шума в наиболее критических местах могут быть представлены в виде таблиц.

Основным преимуществом моделирования является минимизация необходимых измерений шума для получения карты распределения шумовой нагрузки. Фактически измерения шума необходимы лишь для апробации карты в нескольких контрольных точках. Карты, полученные в результате измерений шума с последующей интерполяцией, отличались более низким уровнем точности, поскольку для достижения высокой точности приходилось бы проводить нереальное количество измерений. Кроме того, Mithra позволяет прогнозировать изменение шумовой ситуации и рассчитывать уровень шума там, где измерения произвести затруднительно (например, на уровне 4-го этажа, где уровень шума от автотранспорта достигает наибольшего значения).

Если проводить сравнение с другими моделирующими программами, в качестве преимуществ следует выделить то, что Mithra позволяет проводить моделирование в соответствии с международными стандартами ИСО. Кроме того, Mithra предоставляет удобный интерфейс для ввода необходимых данных и позволяет представлять данные в удобном для дальнейшего использования виде, что значительно уменьшает время, затрачиваемое на получение конечных результатов, и обеспечивает эффективность её использования. Фактически можно выделить только два программных пакета по своим характеристикам схожих с Mithra. Это Sound Plan (Inform-Acoustics), Cadna (Bruel & Kjaer).

Данные, необходимые для построения карты шума.

Для моделирования шумовой нагрузки на окружающую среду необходимо иметь следующие данные:

1. Рельеф местности.
2. Расположение источников звука и их параметры.
3. Расположение объектов влияющих на распространение звука и их параметры.
4. Параметры среды.
5. Методы и параметры расчёта.

Для описания всех приведённых параметров на первом этапе моделирования необходимо получить векторную карту территории, на которой будет проводиться исследование. Если не имеется векторной карты исследуемой территории, в состав программного пакета Mithra входит утилита GeoDGT, позволяющая оцифровывать растровые карты. Данный процесс довольно трудоёмкий, особенно для больших территорий, и для экономии времени рациональней использовать уже готовые векторные карты.

Перед построением карты вносятся текущие метеорологические параметры, и определяется метод расчёта Соответствующие окна программы

представлены на рис. 1. Результаты моделирования могут быть предоставлены в виде карты или таблицы уровней шума в интересующих точках. Карты могут строиться как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости на любой указанной высоте.

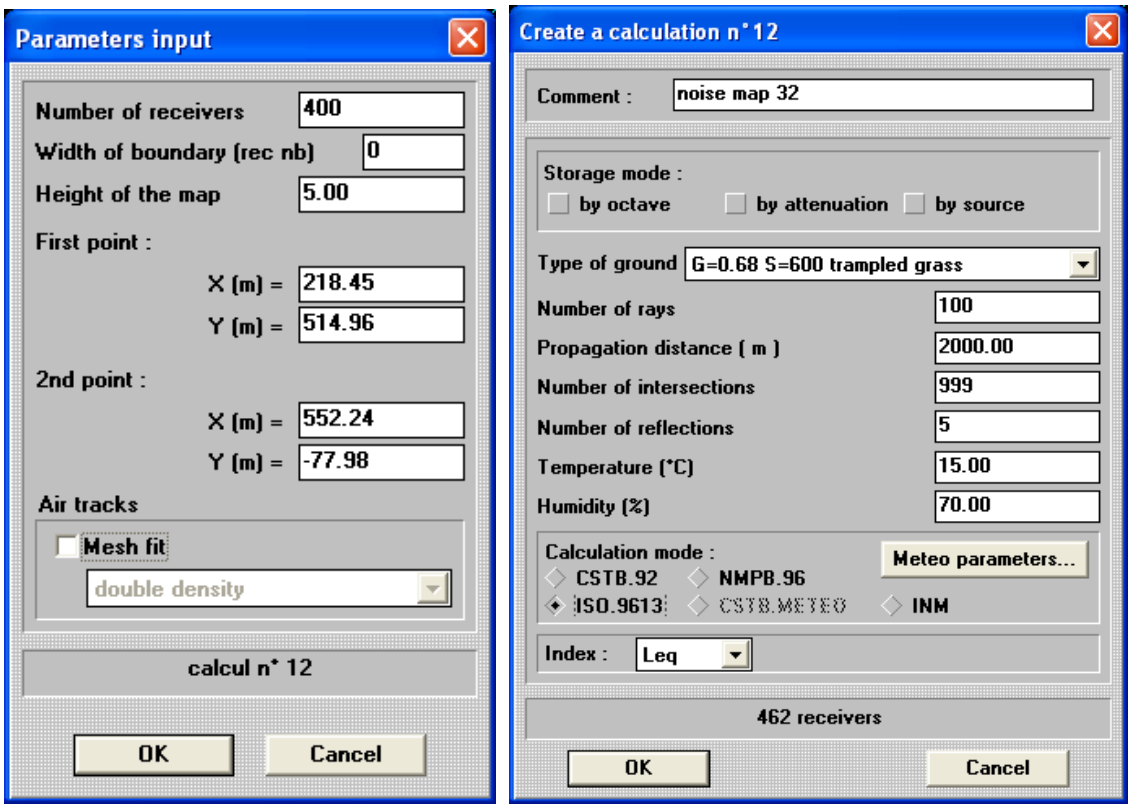


Рис. 1

Основные формулы для моделирования распространения шума. Оценка используемых в моделях констант.

Для построения шумовой карты на исследуемой территории вводится сетка, затем для каждого её узла оценивается количество влияющих на него источников шума, рассчитывается вклад от каждого источника и, наконец, суммируется (в соответствии с правилами сложения логарифмических величин). В качестве сетки используемый программный пакет берёт треугольную, что является оптимальным с точки зрения точности и адаптации сетки к неровностям ландшафта, триангуляция карты является классическим методом при необходимости разбиения карты на элементы при построении геоинформационной модели.

Расчёт уровня шума в точке от одного источника производится по формуле:

$$Lp = Lw - Adiv - Aatm - Aground - Ascreen - Aref, \qquad (1)$$

где Lp – уровень рассчитываемого звукового давления;

Lw – уровень звуковой мощности источника;

Adiv, Aatm, Aground, Aref – коэффициенты, учитывающие пространственное рассеяние, поглощение в воздухе (зависит от температуры и влажности), влияние земли, влияние отражающих поверхностей.

Транспортные потоки являются наиболее распространенным источником шума в условиях города, поэтому трудоёмкость процесса определения звуковой мощности сильно влияет на трудоёмкость всего процесса построения карты шума. Для транспортных потоков уровень звуковой мощности рассчитывается по формуле (уровень звуковой мощности на метр источника):

$$Lw^*=Lwvl+10lg((flow+flow \times \%PL \times (EQ-1)/100)/V50)-30, \qquad (2)$$

где Lwvl – средняя акустическая мощность легкового автомобиля;

flow – количество машин в час на каждой линии;

%PL – процент тяжелых машин;

EQ – коэффициент грузового автомобиля;

V50 – скорость транспортного потока.

Для использования последней формулы необходимо убедиться в том, что величины Lwvl и EQ рассчитаны с допустимой точностью. Данное утверждение, вообще говоря, не очевидно т.к. средняя акустическая мощность, принятая в пакете Mithra может существенно отличаться от средней акустической мощности автомобилей проезжающих по дорогам Санкт-Петербурга. Для уточнения этих величин были произведены измерения, результаты которых отображены на рис. 2.

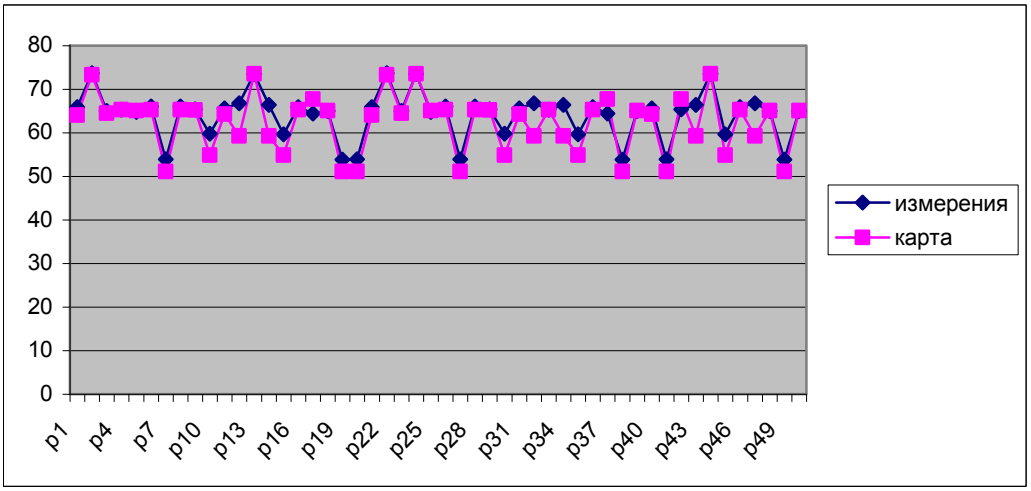


Рис. 2

Данные измерения проводились в непосредственной близости от дороги. Среднее превышение измеренных данных над расчетными составляет ~2дБ.

Таким образом, чтобы результаты расчётов стали ближе к реальным, необходимо соответственно увеличить мощность транспортного потока.

Ещё одной величиной, нуждающейся в аналогичном анализе, является коэффициент отражения домов. Для проверки данной величины были произведены измерения в непосредственной близости от зданий.

Измерения проводились на расстояния 1.5, 5 и 20 м от типовых зданий. В случае, если измерения на расстоянии 20 и 5 м отличались от рассчитанных менее чем на 1%, проводилось сравнение результатов измеренных на расстоянии 1.5 м, где отражение от здания сказывается наиболее существенным образом. В результате суммарные расхождения составили менее 0.5 дБ. Таким образом, проведённые эксперименты показывают соответствие модели измеренным данным с допустимой точностью. Следовательно, для получения карт можно использовать текущий коэффициент отражения зданий без изменений.

Оценка шумового загрязнения окружающей среды и построение карт шумовой нагрузки

Карта изображенная на рис. 3, была построена для микрорайона Санкт-Петербурга ограниченного улицами с интенсивным движением транспорта - пр. Металлистов, ул. Большой Пороховская, шоссе Революции, железной дорогой, параллельно которой проходит пр. Энергетиков внутри выбранной территории.

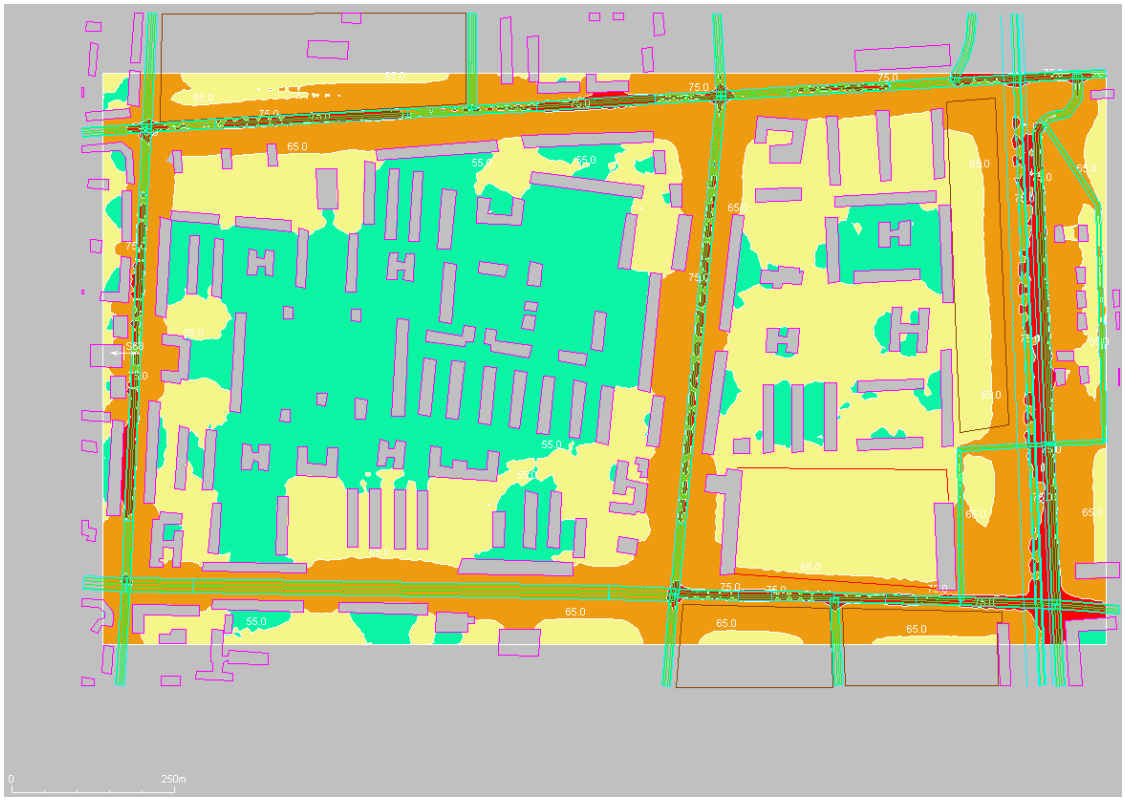


Рис. 3

На карте зеленым отмечен допустимый уровень шума (ниже 55 дБА), желтым 55-65 дБА, оранжевым 65-75 дБА и красным более 75 дБА.

Для проверки достоверности рассчитанной шумовой карты результаты расчёта эквивалентных уровней шума сравнивались с измеренными значениями. На рис. 4 представлены результаты расчётных и измеренных уровней в контрольных точках. Жёлтым цветом отмечены результаты расчётов произведённых с учетом корректировок на среднюю акустическую мощность автомобилей рассмотренных выше. Как видно из рис. 4 расхождения укладываются в 5 дБА, что соответствует допустимой погрешности.

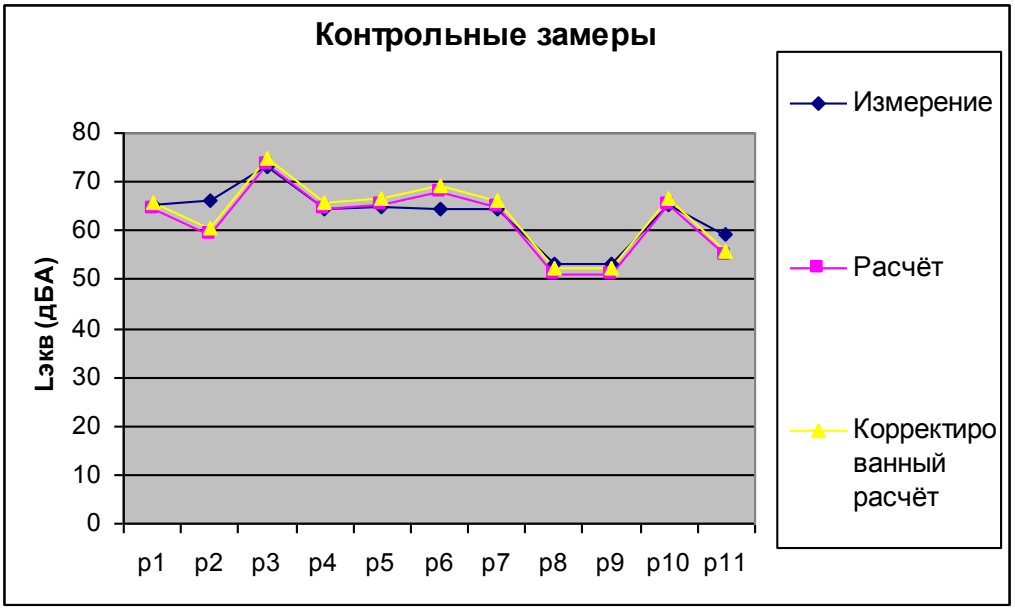


Рис. 4

Результаты построения карты шума продемонстрировали возможность оценки шумовой обстановки путем моделирования. Результаты измерений и шумовые карты являются основой для выработки компетентными властями плана действий на подведомственных им территориях по снижению уровня шума, если это необходимо.

Исходной базой данных об уровнях шума в жилой застройке от различных источников является шумовая карта. По рекомендациям Директив ЕС шумовая карта территории должна являться источником информации о состоянии шумовой обстановки для административных властей и жителей этих территорий.

Проблема изучения акустического режима, разработки и внедрения мероприятий по борьбе с шумом, прогнозирования и обеспечения комфортных условий в жилых районах города и районах перспективной застройки является весьма актуальной. Актуальность таких исследований обусловлена еще и необходимостью оценки реальной стоимости земельных участков, выделяемых под жилую застройку.

Исследования уровней инфразвука от транспортных потоков, движущихся по автомагистралям

Штабинский В.В.
Республиканское унитарное предприятие
«Белорусский дорожный инженерно-технический центр»

Среди физических факторов особую значимость в настоящее время приобретает инфразвук, представляющий собой упругие колебания и волны с частотами ниже диапазона слышимости человека (ниже 20 Гц), который не воспринимается человеком, но является неблагоприятным фактором, влияющим на здоровье и работоспособность человека. Кратковременное интенсивное инфразвуковое воздействие может обусловить высокую вероятность развития тягостного состояния, проявляющегося в ощущении головокружения, тошноты, давления на барабанные перепонки, ознобоподобного тремора тела, резко выраженной общей слабости, головной боли, удушья, кашля, чувства страха, беспокойства и др. [1].

Исследования многих авторов по оценке действия инфразвука свидетельствуют о разнообразных изменениях, возникающих в различных органах и системах организма человека, и указывают на особую реактивность центральной нервной и сердечно-сосудистой системы, слухового анализатора и внутренних органов [2,3].

В связи с тем, что в отечественных и зарубежных источниках информации отсутствуют данные об уровнях инфразвука на автомобильных дорогах, задачей настоящих исследований являлось выявление фактических уровней инфразвука на территории жилой застройки вдоль автомобильных дорог и сравнение их с предельно допустимыми уровнями по СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-35-2002 [4], введенных в действие на территории Республики Беларусь с 2003 года.

Настоящие правила и нормы устанавливают классификацию, нормируемые параметры и предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах, а также допустимые уровни инфразвука в жилых и общественных помещениях, на территории жилой застройки.

Нормируемыми параметрами постоянного инфразвука являются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц.

При одночисловой оценке постоянного инфразвука нормируемым параметром является общий уровень звукового давления при условии, что разность между уровнями, измеренными на частотных характеристиках

шумомера «линейная» и «А» при включении временной характеристики «медленно», составляет не менее 10 дБ.

Нормируемыми параметрами непостоянного инфразвука являются эквивалентные по энергии уровни звукового давления в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц и эквивалентный общий уровень звукового давления.

Предельно допустимые уровни инфразвука в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки в соответствии с СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-35-2002 [4] устанавливаются согласно таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц				Общий Уровень звукового давления, дБЛин
		2	4	8	16	
1	Территория жилой застройки	90	85	80	75	90
2	Помещения жилых и общественных зданий	75	70	65	60	75

Измерения инфразвука проводили с целью выявления источников, определения распространения инфразвука на территории и превышения уровней инфразвука над допустимыми величинами, оценки эффективности мероприятий по снижению инфразвука.

Замеры уровней инфразвука выполняли шумомером-анализатором спектра «Октава-101А» в соответствии с правилами, изложенными в Методических указаниях [5]. Прибор позволяет измерить, записать и удерживать в памяти среднеквадратические уровни звукового давления в октавных полосах 2,4,8 и 16 Гц и общий уровень звукового давления с частотной коррекцией «Лин», а также эквивалентный уровень звука с частотной коррекцией «А».

Измерения проводили по поперечникам вдоль автомобильных дорог I технической категории на открытых участках местности, в выемках, у высоких насыпей, в местах установки шумозащитных экранов и наличия полос зеленых насаждений. Замеры выполняли непосредственно на дороге в 7,5 м от середины крайней полосы движения и с удалением от дороги по поперечнику на расстоянии 15, 30, 60 и 120 м.

Проведенные измерения уровней звукового давления, выполненные на частотных характеристиках шумомера «линейная» и «А» при включенной временной характеристике «медленно» показали следующее.

Транспортный поток, движущийся по автомагистрали, является источником как звуковых волн в слышимой его области частот 31,5-16000 Гц, так называемый «шум», так и упругих колебаний и волн с часто-

тами ниже диапазона слышимости человека (ниже 20 Гц), так называемый «инфразвук».

Инфразвук, источником которого является движущийся по автомагистрали транспортный поток с высокой интенсивностью, можно отнести к постоянному инфразвуку, так как общий уровень звукового давления изменяется за время наблюдения не более чем на 6 дБ. При малой интенсивности движения транспортный поток является источником непостоянного инфразвука.

По характеру спектра инфразвук от транспортного потока широкополосный, так как он имеет непрерывный спектр шириной более одной октавы.

В отдельных замерах замечен гармонический характер инфразвука в октавных полосах частот 2, 4, 8, 16 Гц, превышающий уровень в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ. Например, в 168 проведенных замерах тональный инфразвук выявлен только в 17, что составляет 10 % от общего количества замеров.

Разность между уровнями звукового давления ($L_{лин} – L_A$), измеренными на частотных характеристиках шумомера «линейная» и «А» при включенной временной характеристике «медленно» составляет, в основном, более 10 дБ. Только в 44 случаях из 168 (26 %) разность ($L_{лин} – L_A$) составила менее 10 дБ. Как правило, это наблюдается в точках измерений, находящихся в 7,5 м от середины крайней полосы движения транспорта. За редким исключением это наблюдается в точках на расстоянии 15 или 30 м.

Это говорит о том, что непосредственно на дороге более выражен звук. По мере удаления от дороги разность ($L_{лин} – L_A$) возрастает до 20-30 дБ, что говорит о выраженности инфразвука по отношению к шуму. В некоторых случаях превышение общего звукового давления над эквивалентным уровнем шума составляет более 30 дБ, что говорит о выраженности инфразвука с удалением от дороги.

Оценивая полученные результаты замеров, следует отметить, что на величину уровней звукового давления в первую очередь влияет интенсивность дорожного движения и его состав. Уровни звукового давления, как в октавных полосах, так и общий, больше в случаях с грузонапряженным движением.

При выраженном потоке грузовых машин наблюдаются превышения допустимых уровней звукового давления как в октавных полосах 2-16 Гц, так и общего уровня звукового давления $L_{лин}$. Так, например, при наличии в составе транспортного потока грузовых машин, приведенных к легковому автомобилю, до 50 % мы наблюдаем превышения допустимых уровней звукового давления в октавных полосах 2-16 Гц на расстоянии до 60 м и более от середины крайней полосы движения транспорта. Превышение общего уровня звукового давления $L_{лин}$ наблюдается до 40 м.

Проведенные измерения уровней звука и инфразвука по поперечникам на открытых участках местности вдоль автомобильных дорог показа-

ли, что характер распространения звуковых волн высокой частоты, которые характеризуют наличие шума, аналогичен характеру распространения волн и колебаний малой частоты, присущих инфразвуку. Отличие заключается только в снижении уровней звука и инфразвука по мере удаления от дороги. Так, например, если при прохождении расстояния в 120 м от дороги эквивалентный уровень звука L_A уменьшился на 11,7-24,5 дБА (в среднем на 17,8 дБА), то уменьшение общего уровня инфразвука $L_{лин}$ составило только 7,3-15,0 дБ (в среднем 10,7 дБ). При этом если по мере удаления от дороги снижение эквивалентного уровня звука происходит постепенно и наблюдается во всех случаях, то плавного снижения инфразвука не наблюдается, так как в некоторых случаях последующее измеренное значение инфразвука может быть большим по сравнению с предыдущим. Это объясняется тем, что инфразвук имеет большую длину волны по сравнению со звуком, слабо поглощается местностью, хорошо огибает препятствия и может распространяться на большие расстояния со значительно меньшим ослаблением по сравнению со звуком.

Характер распространения звука и инфразвука у дороги, проходящей в насыпи, примерно одинаков, хотя снижение уровней по мере удаления от дороги разнится. Так, например, в тени откоса насыпи наблюдается резкое снижение как уровней звука (на 12,0-14,9 дБА), так и инфразвука (на 2,1-6,8 дБ). При выходе из тени откоса в некоторых случаях наблюдается увеличение уровней как звука, так и инфразвука по сравнению с уровнями, измеренными у подошвы насыпи. При удалении от дороги, проходящей в насыпи, на расстояние до 120 м снижение эквивалентного уровня звука по сравнению с уровнем на дороге составило от 6,0 до 21,6 дБА (в среднем 16,9 дБА), в то время как снижение общего уровня звукового давления составило от 2,1 до 16,9 дБ (в среднем 9,0 дБ).

При проведении измерений по поперечникам, расположенным в пределах глубоких выемок, характер распространения звука отличается от инфразвука. В пределах откоса выемки изменения эквивалентного уровня звука L_A практически не наблюдается. При выходе в кавальер и по мере удаления от дороги за кавальером наблюдается резкое снижение уровня звука. Что касается распространения инфразвука в выемке, то в пределах откосов падения общего звукового давления $L_{лин}$ также практически не наблюдается. При переходе в кавальер и далее падение уровней инфразвука составляет до 6 дБ, в то время как снижение уровней звука доходит до 20,6 дБА. В некоторых случаях при удалении от дороги на расстояние до 120 м происходит увеличение общего уровня звукового давления $L_{лин}$, хотя увеличения эквивалентного уровня звука L_A не наблюдается. В этом случае увеличение уровня инфразвука обусловлено попаданием его со стороны (слева или справа), т.е. с участка дороги, не прикрытого откосом выемки. Это еще раз подтверждает, что инфразвук распространяется на большие расстояния по сравнению со звуком.

Проведенные замеры уровней звука и инфразвука по поперечникам у полос зеленых насаждений показывают, что в отличие от звука заметного снижения уровней инфразвука полосами зеленых насаждений не наблюдается. К примеру, еловая изгородь шириной 5,5-6,0 м и высотой до 4 м снижает уровень инфразвука на 0,7-0,8 дБ (разница между замерами до и после посадки). По мере удаления за посадкой уровень инфразвука падает только в случае густой посадки (без просветов). При наличии просветов уровень инфразвука за посадкой даже увеличивается, а далее постепенно снижается. Это говорит о том, что инфразвук хорошо огибает препятствия на пути распространения. Так, например, по мере удаления за посадкой на расстояние до 120 м от дороги уровень инфразвука на ровной местности уменьшился на 2,6-4,0 дБ, в то время как эквивалентный уровень звука уменьшился на 5,9-9,8 дБА.

Это подтверждают и замеры уровней инфразвука, выполненных в местах расположения шумозащитных экранов. Характер распространения уровней звука и инфразвука, как до экрана, так и за экраном одинаков. Однако снижение уровней звука и инфразвука экраном разное. Если снижение эквивалентного уровня звука (разность между замерами в 1 м до и после экрана) составляет 13,3-19,8 дБА (в среднем 17,3 дБА), то для инфразвука снижение составляет 5,3-12,0 дБ (в среднем 9,2 дБ). При этом следует заметить, что величина снижения уровня инфразвука экраном в большей степени зависит от высоты экрана. Так, например, экран высотой 2,5 м дал снижение 5,3 дБ, экран высотой 4 м – 8,7 дБ, экраны высотой 6 м – 10,7 и 12,0 дБ. Снижение уровней звука данными экранами составило, соответственно, 13,3; 17,2; 19,8 и 19,0 дБА.

Что касается экранов высотой 4 м, построенных в 2005 году из разных материалов, то замеры показали следующее снижение уровней инфразвука: поликарбонат – 6,3 дБ, дерево – 6,4 дБ, металл – 7,3 дБ, полимеркомпозит – 5,5 дБ (в среднем 6,4 дБ). Снижение уровней звука составило соответственно 13,8; 10,7; 15,7 и 13,4 дБА (в среднем 13,4 дБА).

Приведенные результаты показывают, что экран одной и той же высоты, построенный из одного материала, но эксплуатирующийся на разных дорогах дает разное снижение уровней звука и инфразвука. Большее снижение наблюдается в случае большего начального уровня звука и инфразвука на дороге. Например, экран с заполнением из деревянных досок высотой 4 м при начальном уровне инфразвука 85,9 дБ и звука 79,8 дБА на дороге дал снижение в 8,7 дБ для инфразвука и 17,2 дБА для звука. Такой же экран при начальном уровне инфразвука 77,7 дБ и звука 70,0 дБА на дороге дал снижение, соответственно, 6,4 дБ и 10,7 дБА.

Таким образом, снижение уровня инфразвука или звука экраном зависит в основном от высоты экрана, материала заполнения экрана и начального уровня показателя на самой дороге.

Проведенные замеры показали наличие уровней инфразвука, превышающих допустимые, на территории жилой застройки вдоль автомобильных дорог с высокой интенсивностью дорожного движения, т.е. более 40 тыс. автомобилей, приведенных к легковому автомобилю, и при наличии в составе потока грузового движения в количестве 30 % и более.

Однако следует учитывать, что предельно допустимые уровни инфразвука на территории жилой застройки и в жилых помещениях разнятся на 15 дБЛин (см. табл. 1). Это касается как уровней инфразвука в октавных полосах 2-16 Гц, так и общего уровня звукового давления $L_{лин}$.

Поэтому соблюдение в большинстве случаев допустимых уровней инфразвука на территории жилой застройки не дает гарантии соблюдения допустимых уровней инфразвука в помещениях жилых зданий, расположенных на придорожных территориях, что можно объяснить относительно малой звукоизоляцией ограждающих конструкций зданий на низких частотах, к которым относится инфразвук.

Так как звукоизолирующая способность ограждающих конструкций жилых зданий составляет в среднем 10 дБ, то, учитывая полученные данные, можно сделать вывод о том, что инфразвук на территориях вдоль магистральных автодорог выражен и требует постоянного контроля и мониторинга наряду с шумом.

Литература

1. Худницкий С.С., Запорожченко А.А., Соловьева И.В. и др. Гигиеническая оценка инфразвука в г. Минске.// Здоровье и окружающая среда. Сб. науч. трудов к 75-летию НИИ санитарии и гигиены. Том 2. – Изд-во РУПП «Барановичская укрупненная типография», 2002, с. 418 - 421.
2. Карпова Н.И., Глинчиков В.В. Действие инфразвука на клетки центральной нервной системы.// Шум, вибрация и борьба с ними на производстве. – Л., 1979, с. 118 -120.
3. Малышев Э.Н. Психофизиологические пороги инфразвукового воздействия.// Шум, вибрация и борьба с ними на производстве. – Л., 1979, с. 148 - 149.
4. Санитарные правила и нормы 2.2.4/2.1.8.10-35-2002 Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки. – Мн., 2003.
5. Методические указания для органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы по контролю за выполнением «Санитарных норм допустимых уровней инфразвука и низкочастотного шума на территории жилой застройки» № 4948-89./Мин-во здравоохранения СССР. – М., 1989. – 21 с.

Шумовое воздействие газотурбинных установок

Калашникова Н.К., Руднева Е.А., Лазаренко Н.В., Гордиенко Т.Н. (1),
Веретина И.А. (2),
Лемешев В.П., Сидоров А.Л., Аверин А.А. (3)
ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве»(1)
ТУ Роспотребнадзора по г. Москве(2)
ЗАО Фирма «ТЭПИНЖЕНИРИНГ»(3)

Рост экономики города Москвы и бурное развитие жилого сектора предопределили высокие темпы прироста потребления электрической и тепловой энергии. На сегодняшний день энергопотребление превысило дореформенный уровень и неуклонно продолжает расти.

Так, по сведениям института Генерального плана развития г. Москвы, к 2010 году потребление электроэнергии возрастет на 3,9 млн. КВт. При этом возможности высоковольтных электрических сетей, как межсистемных, так и распределительных, находятся на пределе своих технических возможностей. Так, 25 декабря 2002 года при среднесуточной температуре наружного воздуха –11,4°С и работе всех электростанций с максимально возможной нагрузкой, при дефиците мощности 1700 МВт возникали массовые перегрузки в высоковольтных распределительных сетях 110-220 кВ и отдельных автотрансформаторах 500 кВ.

Не менее важные и сложные задачи необходимо решать и в области теплоснабжения. По прогнозу института Генерального плана, прирост теплопотребления до 2010 года составит 9,8 тыс. Гкал/ч.

С учётом Генерального плана развития г. Москвы на период до 2020 года и утверждённой постановлением Правительства Москвы программы жилищного строительства на период до 2010 года, Департаментом топливно-энергетического хозяйства г. Москвы совместно с ЗАО Фирма «ТЭПИНЖЕНИРИНГ» подготовлен план ввода генерирующих мощностей в Москве до 2010 года для покрытия прироста перспективных тепловых и электрических нагрузок города.

Совместно с ТУ Роспотребнадзора по г. Москве подготовлены и рассмотрены предпроектные проработки разделов «Охрана окружающей среды» по более десяти ГТУ-ТЭЦ, строительство которых предусматривается в черте столицы.

Строительство новых источников генерации предполагается в пределах территории (или с небольшими её прирезками) существующих район-

ных тепловых станций (РТС), газораспределительных станций (ГРС), объектах Мосводоканала, заводах Москвы. Для электроснабжения вновь застраиваемых микрорайонов, не имеющих возможности присоединения к существующим источникам, предполагается строительство новых теплоэлектростанций на базе газотурбинных установок, обеспечивающих и тепло, и электроснабжение.

При выборе мест размещения и мощности новых источников были проанализированы и учтены следующие моменты:

- потребность в тепловой и электрической энергиях в данном районе;
- территориальная возможность размещения источника генерации;
- возможность организации санитарно-защитной зоны (СЗЗ).

С экологической точки зрения размещение энергетических объектов в стесненных городских условиях, в первую очередь, связано с повышенным шумовым воздействием газотурбинных электростанций на прилегающий район.

Основными источниками шума вновь возводимых ГТУ-ТЭЦ и ПГУ-ТЭС с использованием газотурбинного оборудования являются:

- воздухозаборные устройства газотурбинных установок;
- устья дымовых труб котлов-утилизаторов;
- агрегаты охлаждения масляных систем турбин и генераторов;
- оконные проемы зданий, в которых располагаются генерирующие установки и их вспомогательное оборудование;
- помещения дожимных компрессоров или контейнеры компрессоров в случае их установки на открытом воздухе;
- системы вентиляции помещений газовых турбин, котлов-утилизаторов, силовых трансформаторов.

Без внедрения комплекса шумозащитных мероприятий радиус зоны неблагоприятного шумового воздействия от работы таких энергетических объектов превышает 1,5 км, что недопустимо в условиях города и других селитебных территорий.

Проектами 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, которые поставляются фирмами-изготовителями вместе с ГТУ;

- установка пластинчатых глушителей шума между котлами-утилизаторами и дымовыми трубами, которые поставляются заводами-изготовителями вместе с котлом;
- установка двойного остекления оконных проемов главных корпусов станций со стеклами толщиной 4 мм;
- корпуса газотурбинных установок заключаются в звукоизолирующие кожухи, которые поставляются вместе с газотурбинной установкой;
- корпуса котлов-утилизаторов покрываются тепло звукоизоляцией;
- выбор систем вентиляции основных помещений главного корпуса,
- обеспечивающих необходимые условия работы оборудования и персонала без открывания окон, при этом сами системы вентиляции оснащаются глушителями шума для обеспечения требуемых норм, как на прилегающих территориях, так и внутри помещений главных корпусов станций;
- при необходимости установка дожимных компрессоров в помещениях без оконных проемов с обязательным покрытием свободных площадей стен и потолка шумопоглощающими конструкциями и установкой глушителей шума в системах вентиляции этих помещений;
- в случае установки дожимных компрессоров на открытом воздухе дожимные компрессоры должны поставляться фирмами-изготовителями в шумозащитных контейнерах, обеспечивающих снижение уровней шума для обеспечения норм по шуму в прилегающих жилых районах;
- закрытая установка силовых трансформаторов мощностью более 40 МВА с обеспечением камер трансформаторов шумопоглощающими конструкциями и установка пластинчатых глушителей шума на притоке и вытяжке воздуха для вентиляции камер трансформаторов;
- установка трубчатых и пластинчатых глушителей шума в каналах систем механической вентиляции главного корпуса;
- установка газотурбинных установок на специальные виброфундаменты, которые разрабатываются и поставляются фирмами-изготовителями.

Необходимый и достаточный комплекс мероприятий по снижению шума, а также его акустическая эффективность определяется на стадии проектирования расчетным методом с использованием официальных сведений заводов-изготовителей основного и вспомогательного оборудования, сведений о конструкциях и акустической эффективности мероприятий по шумоподавлению, а так же ситуационного плана вновь возводимого или реконструируемого энергетического объекта с учетом официальных сведений о существующем положении и перспективе развития прилегающей территории.

Размеры зоны шумового воздействия (граница – изолиния 40 дБА) для рассматриваемых станций с комплексом апробированных 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.

Газотурбинные установки меньшей мощности уже установлены в Москве для электро-теплоснабжения крупных торговых комплексов. Требования к проведению мероприятий по снижению шума и вибрации устанавливаемого оборудования аналогичны перечисленным для ГТУ –ТЭЦ.

Шум тепловых установок

Калашникова Н.К., Руднева Е.А., Лазаренко Н.В. (1),
Гончаренко И.А. (2),
Аболин В.Ю. (3)
ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» (1),
ГУП НИиПИ Геплана Москвы (2),
МНИИТЭП (3)

Как показывает практика работы 30% обоснованных жалоб населения на повышенный шум, поступающих в санитарно-эпидемиологическую службу города Москвы, вызвано шумом от инженерного оборудования жилых зданий: насосы ЦТП, ИТП, элеваторные узлы, котельные и т.д.

Рассмотрим эксплуатируемые в настоящее время объекты теплоснабжения.

Центральный тепловой пункта (ЦТП)- это отдельно стоящее здание, в котором установлено насосное и теплотехническое оборудование. Минимальное расстояние от отдельно стоящих наземных ЦТП до наружных стен нормируемых помещений рекомендуется приниматься не менее 25 м. [1]. В стесненных условиях города допускается уменьшение расстояния до жилых, административных и общественных зданий до 15 метров при условии соблюдения требований по снижению уровней шума и вибрации от работы насосного оборудования [1].

Без проведения специальных мероприятий по снижению шума зона шумового воздействия ЦТП может достигать более 50 метров. Поэтому строительство отдельных зданий ЦТП необходимо проводить с учетом акустических мероприятий по усилению звукоизоляции их конструкций, разработанных в проекте ОСТО-86-12106-АС2 «Центральный тепловой пункт систем теплоснабжения». При внедрении всех рекомендованных в проекте мероприятий нормативные уровни шума при функционировании ЦТП с отечественными насосами будут обеспечены на расстоянии 15-25м в ночное время суток. В комплекс шумозащитных мероприятий входит установка глушителей шума на каналах для притока и вытяжки воздуха, устройство «плавающего пола и выполнение ограждающих конструкций здания с повышенной звукоизоляцией. При проведении экспертизы проектной документации во ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве» одним из требования является выполнение ЦТП согласно проекту ОСТО-86-12106-АС2.

Повышенный шум, в жилых помещениях вызванный работой насосного оборудования ЦТП, шум может быть обусловлен:

– распространением звуковых волн от здания ЦТП к жилым домам по воздушной среде (воздушный шум) через монтажные ворота, световые проемы и вентиляционные отверстия;
– распространением пульсации давления воды и вибрациями от работающего насосного оборудования по распределительным трубопроводам, жестко связанным со строительными конструкциями в техническом подполье жилого дома (структурный шум).

Воздушный шум, как правило, имеет повышенные уровни звукового давления в октавных полосах частот (500,1000,2000 Гц). Источниками высоких уровней воздушного шума является электродвигатель насосного агрегата, при этом, чем больше его мощность, тем выше уровни шума.

Источниками повышенного шума, как правило, являются высоконапорные насосы холодного водоснабжения типа КМ100-65-200, КМ80-50-200, установленные по параллельной схеме включения или недостаточная звукоизоляция ворот ЦТП.

Замена высоконапорных насосов КМ100-65-200, КМ80-50-200 на низконапорные с обточенным рабочим колесом типа КМ100-80-160, КМ80-65-160, установленными по последовательной схеме включения, позволяет снизить шум в помещениях ЦТП и на территории на 10-16 дБА в диапазоне частот 63-8000 Гц. Недостаточная звукоизоляция ворот ЦТП обусловлена низкой звукоизоляцией полотна ворот, отсутствием порога, не плотным прилежанием полотна ворот к коробке. Замена полотна ворот на облегченные звукоизолирующие ворота с устройством порога и запоров, обеспечивающих плотное прилежание полотна ворот к прокладке по всему периметру, позволяет увеличить звукоизоляцию ворот на 15-35 дБА в диапазоне частот 125-8000 Гц [3]

Наружные двери и ворота тепловых пунктов не должны, как правило, быть направлены в сторону помещений, нормируемых по шуму, и должны иметь уплотнение притворов с допускаемым зазором по периметру не более 1 м. Допускается размещать наружные двери и ворота в стенах тепловых пунктов, обращенных в сторону наиболее удаленного из указанных помещений.

Как ранее указывалось, другой причиной повышенных уровней шума в жилых помещениях являются пульсация давления воды, распространяющаяся по распределительным трубопроводам систем водоснабжения и отопления, жестко связанных со строительными конструкциями в техническом подполье жилого дома (структурный шум), которые, как правило, наблюдаются в секции ввода распределительных трубопроводов в техподполье жилого дома.

Высокие уровни пульсаций давления и вибрации в распределительных трубопроводах циркулирующих систем отопления и горячего водо-

снабжения, как правило, вызваны несогласованностью гидравлической характеристики, «шумящей системы» с зоной оптимального режима рабочей (G-H) характеристики циркуляционного насоса. Для снижения в источнике шума в жилых домах, обусловленных пульсацией давления воды в распределительных трубопроводах, в циркуляционной системы отопления (горячего водоснабжения) необходимо провести работы по согласованию гидравлической характеристики «шумящей системы» с зоной оптимального режима рабочей (G-H) характеристики насоса. Согласование, как правило, осуществляется обточкой рабочего колеса насоса и установкой дроссельных диафрагм в циркуляционных кольцах (узлах управления или секционных узлах).

Это так же наблюдается в распределительных трубопроводах холодного водоснабжения при работе высоконапорных насосов типа КМ 100-65-200 и КМ80-50-200 установленных по параллельной схеме включения.

Для снижения в жилых домах структурного шума, обусловленного повышенной пульсацией давления воды в распределительных трубопроводах холодного водоснабжения необходимо:

– проверить гидравлическим расчетом соответствие фактического, развиваемого данным насосом, давления воды требуемому; требуемое давление воды определяется по формуле: $P_{тр.хв} = H_{геом} + H_{пот} + h_{св}$, где $H_{геом} = h\ n$ – геометрическая высота здания (h-высота одного этажа, n – максимальная этажность застройки, м), $H_{пот}$ – потери давления воды в системе холодного водоснабжения при максимальном расхода, м вод. ст., $h_{св} = 5$м вод.ст.;
– заменить высоконапорные насосы типа КМ 100-65-200; КМ80-50-200, установленное по параллельной схеме включения, на низконапорные насосы с обточенными колесами типа КМ 100-80-160; КМ80-65-160, установленные по последовательной схеме включения.

Для снижения в жилых домах структурного шума, вызванного жесткой связью распределительных трубопроводов со строительными конструкциями здания в техническом подполье, необходимо:

– изолировать распределительные трубопроводы от строительных конструкций здания в местах ввода и вывода, если ввод находится в секции ввода или смежной с ней; зазор между трубопроводом и фундаментом на вводе и выводе должен быть не менее 30 мм; для исключения передачи вибраций узлы ввода и вывода на строительные конструкции могут так же выполняться с применением прокладок между трубой и конструкцией из специального виброизолирующего материала;
– в секциях ввода распределительных трубопроводов в жилой дом установить неподвижные и скользящие опоры не связанные с конструкциями здания.

При реконструкции зданий и расположенных в них тепловых пунктов рекомендуется установка бесшумных насосов исключающих вибрацию трубопроводов, а также необходимо предусматривать дополнительные акустические мероприятия.

Еще одним источником структурного шума в жилых домах являются элеваторные узлы.

Тепловые элеваторные узлы предназначены для присоединения местной системы отопления к источнику теплоснабжения (тепловым сетям), когда возникает необходимость снижения температуры воды, поступающей из тепловой сети путем подмешивания к ней части обратной воды от системы отопления, а также для контроля за параметрами работы местной системы отопления. Элеваторные узлы устанавливаются в техподполье каждой секции жилого дома во всех домах микрорайона, если температура воды в системе отопления жилого дома и тепловой сети не совпадают.

Шум от работы элеваторного узла, как правило, обусловлен кавитацией в камере смешения. Кавитация в камере смешения вызывает высокочастотную вибрацию трубопроводов элеваторного узла. Вибрация трубопроводов элеваторного узла, жестко связанного с несущей стеной жилого дома, вызывает вибрацию несущей стены и пола и, следовательно, и шума в квартире 1-го этажа. Кавитация в камере смешения возникает, когда диаметр сопла и напор воды перед элеватором не соответствует расчетом. Кроме того, при ремонте элеваторных узлов для «экономии» объема поступающей горячей воды в дом, умышленно уменьшают размеры сопла в камере. Это приводит к повышению уровня шума от всей системы элеваторного узла. Гидравлический расчет системы отопления микрорайона, ревизия элеваторных узлов, установка дроссельных диафрагм с целью выравнивания располагаемых напоров, позволяют вывести работу элеваторных узлов микрорайона в расчетный режим.

Индивидуальные тепловые пункты (ИТП) могут размещаться внутри обслуживаемого здания, быть встроенные, размещаться в пристроенном к обслуживающему зданию помещению, быть пристроенными.

Согласно п.10.2, 10.3 [1] ИТП, оборудуемые насосами, не допускается размещать смежно, под или над помещениями жилых квартир, спальных и игровых детских дошкольных учреждений, спальными помещениями школ-интернатов, гостиниц, общежитий, санаториев, домов отдыха, пансионатов, палатами и операционными больниц, помещениями с длительным пребыванием больных, кабинетами врачей, зрительными залами зрелищных предприятий, за исключением тех пунктов, где устанавливаются бесфундаментные насосы, обеспечивающие нормируемый уровень звукового давления. не превышающий допустимый по СН 2.2.4\2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Кроме насосов источником шума в ИТП является место ввода трубопровода в здание. В системе трубопроводов встроенных насосных следует предусматривать гибкие вставки в виде резинотканевых рукавов (в необходимых случаях армированными металлическими спиралями). Гибкие вставки следует располагать по возможности ближе к насосам.

При проектировании встроенных ИТП для обеспечения нормативного уровня шума в жилых помещения второго этажа (первый этаж – нежилой) специалистами ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве» рекомендуется размещать помещения насосной в подвальные помещения здания вне габаритов жилого дома. Размещение в подвале жилого дома ИТП, в том числе с импортным насосным оборудованием, без проведения специальных шумо- виброзащитных мероприятий приводит к распространению повышенных уровней шума в жилых квартирах плоть до 12-го этажа, как это было, например, в г. Зеленограде. Даже после проведения всех возможных шумо- и виброзащитных мероприятий в помещении расположенного на 1-м этаже ИТП с импортными насосами не удалось снизить уровни шума до нормативных в жилых квартирах 2-го этажа. Другим негативным примером может служить обоснованные жалобы жильцов 2-го и 3-го этажей на шум от импортных насосов ИТП в новом жилом доме в Москве. В данном случае ИТП размещен в подвальном помещении и также отделен от жилых квартир 2-го этажа 1-м нежилым этажом. Однако, на стадии строительства не были выполнены необходимые шумо-, виброзащитные мероприятия.

Во встроенных и пристроенных тепловых пунктах насосы следует устанавливать на виброизолирующие основания. В качестве виброизоляторов могут применяться металлические пружины или специальные эластомеры, рассчитываемые в соответствии с теорией виброизоляции, и допускающие длительный срок эксплуатации без замены.

Под опоры трубопроводов и оборудования при их креплении к строительным конструкциям здания необходимо предусматривать виброизолирующие прокладки, в качестве которых рекомендуется применять резиновые виброизоляторы (коврики) или другие виброизолирующие материалы.

Выполнение шумо-, виброзащитных мероприятий после окончания строительства и введения в эксплуатацию систем отопления более трудоемко, требует больших материальных и временных затрат, а также не всегда приводит к желаемому результату.

Одним из вариантов ИТП являются мини-котельные, которые размещаются в подвалах зданий, а также на верхних технических уровнях зданий, так называемые «крышные котельные», а также в пристроенных помещениях. Их преимуществом являются малая длина коммуникаций, снижение потерь и энергозатрат.

Мини-котельные применяются для теплоснабжения производственных зданий, жилых домов и административных зданий. Однако существу-

ют определенные ограничения по размещению мини-котельных в жилых домах п.1.7.[4].

Встроенные котельные применяются для теплоснабжения производственных, административных, общественных и бытовых зданий. Применение встроенных котельных в жилых зданиях запрещено.

Пристроенные котельные применяются для теплоснабжения производственных, административных, общественных, бытовых и жилых зданий.

Согласно [4, 5]:

- не допускается размещение крышной котельной непосредственно на перекрытии жилых помещений, (перекрытие жилого помещения не может служить основанием пола котельной), а также смежно с жилыми помещениями;
- не допускается размещение над помещением с одновременным пребыванием в нем более 50 человек;
- не допускается размещать крышные котельные над производственными помещениями и складами категории А и Б по взрывопожарной и пожарной опасности;
- выход из котельной должен предусматриваться непосредственно на кровлю или наружу;
- не допускается проектирование крышных котельных на зданиях детских дошкольных и школьных учреждений, лечебных корпусах больниц и поликлиник с круглосуточным пребыванием больных, на спальных корпусах санаториев и учреждений отдыха.

Пристроенные котельные применяются для теплоснабжения производственных, административных, общественных, бытовых и жилых зданий.

Одним из примеров децентрализованная схема теплоснабжения может служить комплекс жилых домов в одном из микрорайонов Куркино, расположенном на северо-западе Москвы. При планировании застройки Куркино была принята децентрализованная схема теплоснабжения.

Одним из первых объектов, пущенных в эксплуатацию, стал жилой дом в 16-ом микрорайоне, скомпонованный из шести корпусов этажностью от 7 до 10. Каждый корпус был теплофицирован от отдельной крышной котельной. Все шесть котельных смонтированы с применением отечественного оборудования. В качестве тепло генератора в крышных котельных был использован газовый котел «ГУТ-100», разработанный российскими учеными в рамках конверсионной программы и серийно выпускаемый отечественным предприятием. Здесь следует сказать, что к оборудованию для автономных крышных котельных предъявляются особые требования: полная автоматизация работы котла, повышенная степень безопасности, высокий коэффициент полезного действия, низкий уровень шумов и вибраций, и вредных выбросов в атмосферу.

Вопросы акустического воздействия объектов тепло и водоснабжения необходимо тщательно рассматривать на этапе проектирования и контролировать внедрение мероприятий по шумо- и виброзащите при проведении инструментальных исследований и вводе объектов в эксплуатацию. В практике работы были случаи, когда, несмотря на акустические расчеты, при проведении инструментальных исследований отмечались значительные превышение уровней шума в квартирах из-за отклонения от проектных решений. Все это приводит к тому, что данное инженерное оборудование создает повышенные уровни шума в жилых помещениях домов, что негативно отражается на здоровье проживающих граждан.

Литература

1. СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов», Госстрой Россия, Москва;
2. «Руководство по проектированию тепловых пунктов» МНИИТЭП, ГПИ Сантехпроект Госстроя СССР. М. Стройиздат, 1983 г.;
3. «Руководство по снижению шума в жилых домах от работы насосного оборудования отдельно стоящих центральных тепловых пунктов» Глав АПУ, МНИИТЭП, Москва, 1987 г;
4. СНиП II-35-76 «Котельные установки», Госстрой России, 1997г.

Снижение шума в строительстве

Минина Н.Н.
ЗАО “НИПИ ТРТИ”,
Санкт-Петербург

Строительство является источником жалоб и претензий от населения, проживающего вблизи строительной площадки. 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 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. С этой целью необходимо исследовать уровни шума от строительства в прилегающей жилой застройке.

С тем чтобы определить характер шумообразования от отдельных источников, так и от их совокупности при расположении на стройплощадке были выполнены следующие исследования:

– определение акустических характеристик строительных машин и процессов затухания звука от отдельной машины;
– установление характера затухания звука от стройплощадок;

– выявление характера изменения УЗ на стройплощадке во время работы;
– установление связи шума стройплощадки с видом выполняемых строительных работ;

Исследования шума отдельных машин были выполнены, чтобы понять насколько шумны источники, работающие в составе изучаемых комплексов, а также установить закономерности затухания звука от отдельных машин. Были выполнены измерения внешнего шума 50 наименований СДМ, наиболее часто встречающихся в составе строительных комплексов. Урони звука (УЗ) лежат в диапазоне 64-99 дБА. Гистограмма распределения этих значений (рис. 17) показывает, что только около 2% имеют УЗ до 70 дБА. Это более или менее приемлемые значения для обеспечения малошумного строительства, 40% от 70 до 75 дБА, 38% свыше 80 и до 85 дБА. Таким образом, примерно 60% СДМ имеют очень высокие уровни в диапазоне свыше 75-90 дБА. Наименее шумные (до 75 дБА) машины фирмы «Caterpillar», «Volvo», «Komatsu» без виброактивных рабочих органов. Этот анализ показывает, что замена шумных машин на менее шумные возможна в отдельных случаях и применения шумозащиты на стройплощадках, как правило, не избежать.

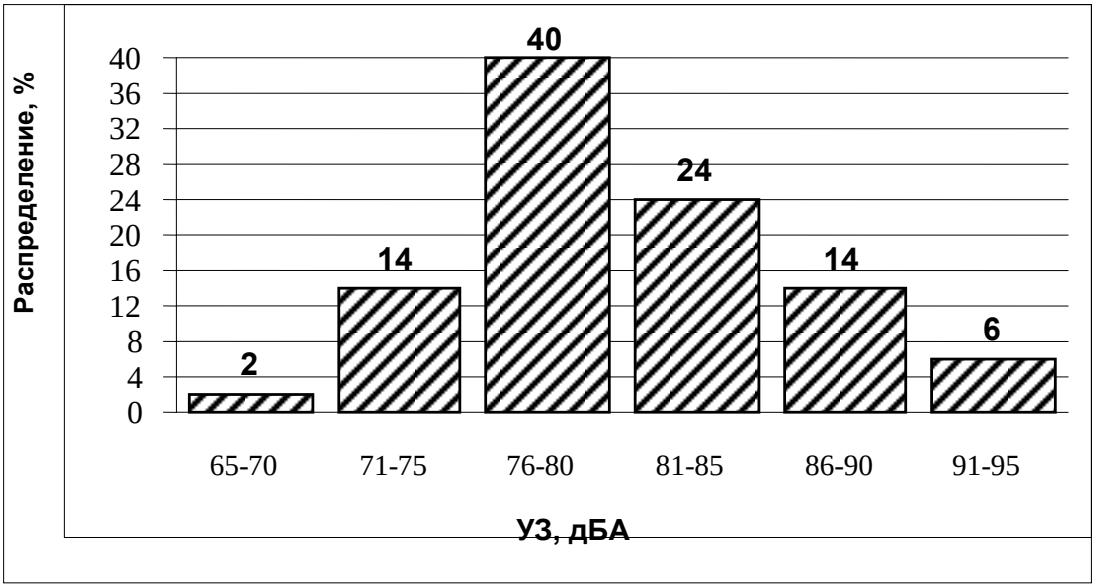


Рис. 1. Внешний шум строительных машин (выборка по 50 маркам)

Характер затухания звука от строительных машин и механизмов показан на рис. 2. Из анализа хорошо видно, что затухание звука для отдельно стоящей машины составляет 5 дБА при удвоении расстояния, а не 6 дБА как это следует из теоретической зависимости для сферических источников. Это подтверждает, что существующие методы расчета стройплощадок базируются на неправильных допущениях и ошибка в расчетах здесь может достигать 10 дБА.

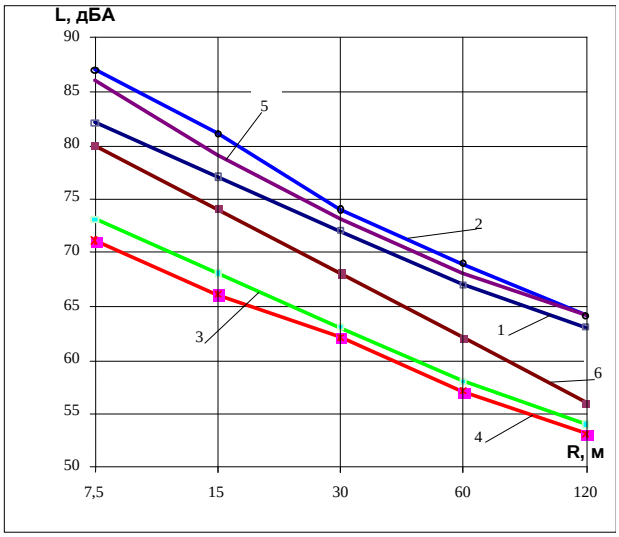
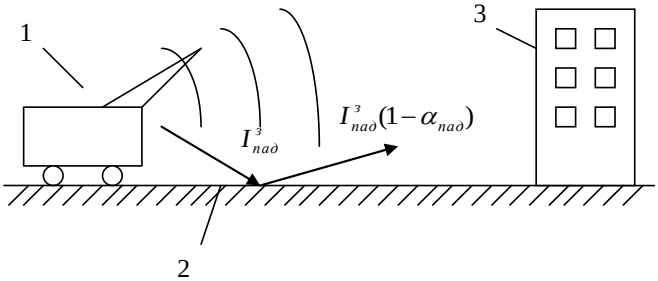
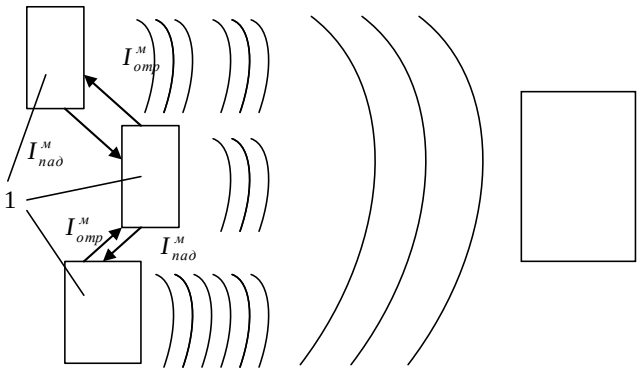


Рис. 2. Затухание звука от строительных машин:
1 – Виброкаток Dynapac CC211; 2 – Фреза Wirtgen 2000 (срезает асфальт); 3 – автогрейдер «Cat» 08 140 H; 4 – экскаватор “Cat” 330CL; 5 – стационарный компрессор; 6 – теоретическое затухание (сферический источник)

Стройплощадка – набор отдельных первичных и вторичных источников (рис. 3), поэтому закон затухания от стройплощадки имеет сложный характер.



а)



б)

Рис. 3. Схема затухания звука от отдельной машины (а) и от группы машин (б)
1 – машина, 2 – поглощающая поверхность, 3 – жилая застройка
$I^{м}_{пад}$ и $I^{м}_{отр}$ – падающий и отражённый звук от поверхности, $I^{м}_{пад}$ и $I^{м}_{отр}$ – падающий и отражённый звук от машины, $\alpha_{пов}$ – коэффициент звукопоглощения поверхности

На рис. 4 приведены экспериментально полученные закономерности затухания звука от стройплощадки. Из анализа видно, что принятое допущение о цилиндрическом характере затухания ближе всего к действительности. Получено, что затухание стройплощадок составляет 4 дБА (на удвоение расстояния).

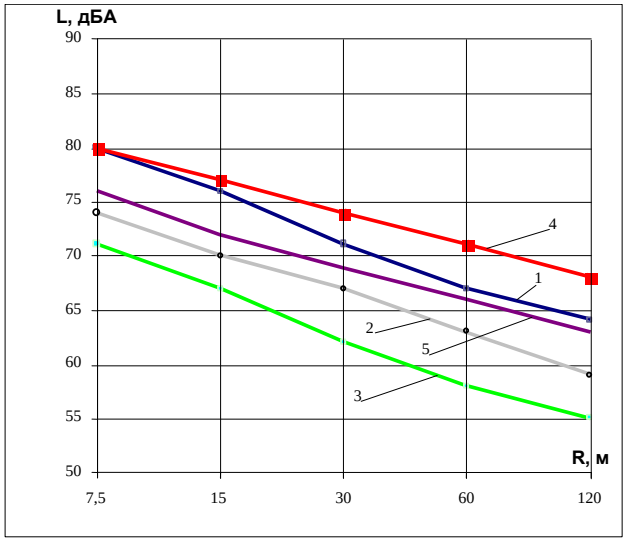


Рис. 4. Затухание звука от стройплощадок:
1 – укладка асфальта (число машин 5); 2 – земляные подготовительные работы; 3 – погрузочные работы; 4 – теоретический характер затухания (линейный источник); 5 – расчётное затухание (по предложенной формуле);

Обобщенные результаты выполненных исследований представлены в табл. 1 и могут быть использованы при расчетах шума в строительстве.

Значение затухания звука от строительных машин и строительных площадок

Таблица 1

Источник звука	Теоретическое или экспериментальное и закон затухания	Затухание звука, дБА и расстояние, м.							
		7,5	15	30	60	100	200	400	800
Строительная машина	Теоретически по сферическому закону	0	6	12	18	24	30	36	40
Строительная машина	Экспериментальные данные	0	5	10	15	20	25	30	35
Строительная площадка	Экспериментальные данные и теоретически по предложенным зависимостям	–	0	4	8	12	16	20	24
Строительная площадка	Теоретические данные в представлении линейным источником звука	–	0	3	6	9	12	15	18

Были выполнены эксперименты по измерениям шума во времени для различных составов строительных комплексов. Для примера на рис. 5 показано изменение уровня звука при проведении земляных работ. Получены изменения от 60 до 69 дБА.

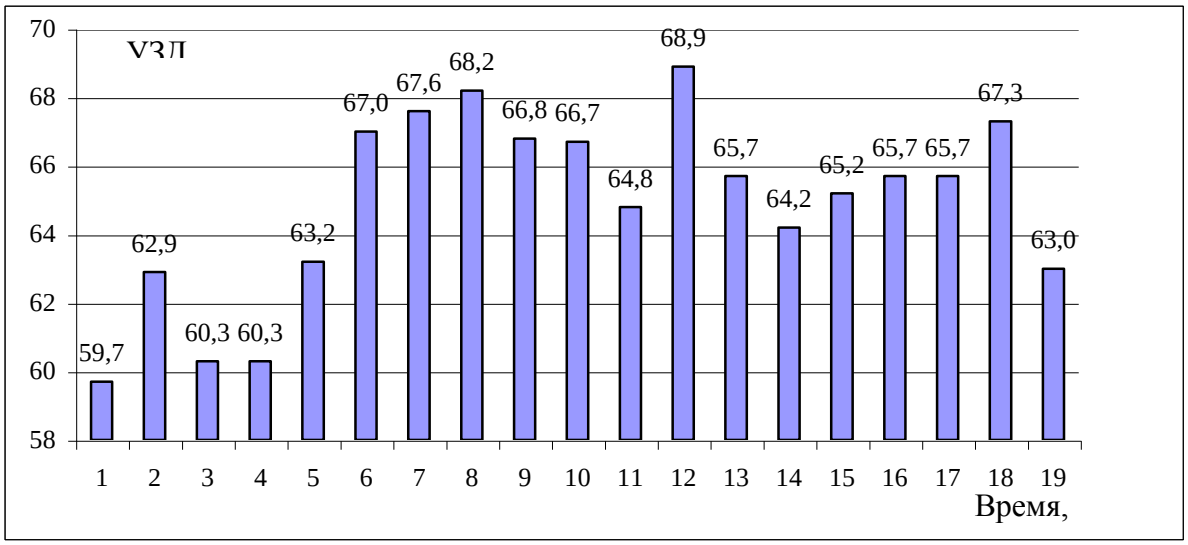


Рис. 5. Характер изменения шума стройплощадки при проведении земляных работ

Обобщенные результаты этих исследований приведены в табл. 2. Изменения колеблются от ±1 до ±5 дБА в зависимости от характера выполняемых работ. Это показывает, что в качестве исходных акустических стройплощадок необходимо использовать только эквивалентные УЗ ($L_{экв}$, дБА).

Изменение шума стройплощадок во время работы

Таблица 2

Характер выполняемых строительных работ	Изменение УЗ, дБА		Среднее отклонение УЗ, дБА
	Минимальные УЗ	Максимальные УЗ	
Земляные работы	60	69	±4
Асфальтоукладочные работы	66	72	±3
Асфальтофрезерные работы	73	76	±1
Земляные и погрузочные работы	60 (58)	70 (68)	±5
Земляные работы (работает компрессор)	64	68	±2

Очень важные для практики результаты показаны на рис. 6 и в табл. 3. Установлена связь шума стройплощадок с характером выполняемых строительных работ. Шум стройплощадок на расстоянии 15 м лежит в диапазоне 71-90 дБА.

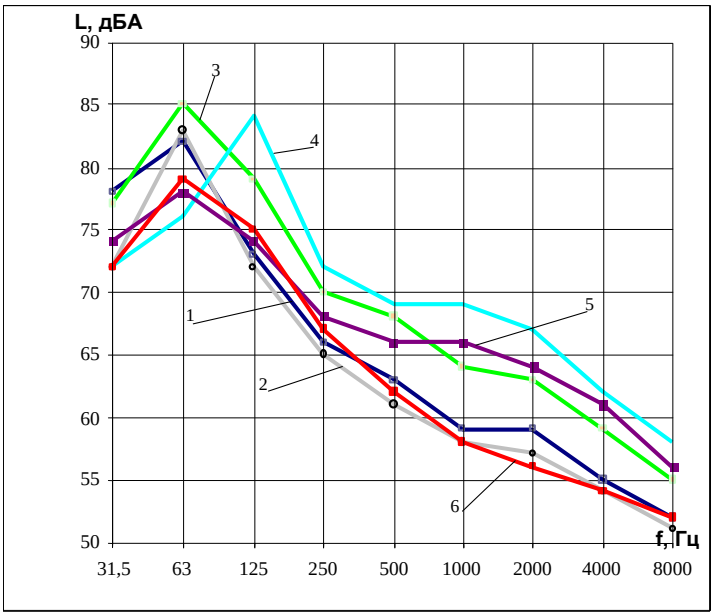


Рис. 6. Изменение спектров шума в зависимости от вида работ на расстоянии 30м от границы стройплощадки

1 – земляные работы (67 дБА); 2 – земляные работы (66 дБА) (другой состав машин); 3 – асфальтоукладочные работы (71 дБА); 4 – асфальтофрезерные работы (74 дБА); 5 – земляные работы с уплотнением виброкатками (72 дБА)

Изменение УЗ дБ от стройплощадки в зависимости от вида строительных работ

Таблица 3

№ п/п	Характер выполняемых строительных работ	Число машин	Эквивалентные уровни звука дБА на расстоянии от стройплощадок, м.		Класс шумности
			15	30	
1	Асфальтоукладочные работы	5	76	72	III
2	Погрузочные работы	4	67	63	I
3	Асфальтофрезерные работы	4	81	75	IV
4	Земляные и подготовительные работы	5	71	66	II
5	Установка свай	4	90	85	VI
6	Земляные работы	7	73	69	II

По уровню шума все исследованные строительные площадки могут быть разделены на 6 классов (табл. 4):

Классификация стройплощадок по шумности

Таблица 4

Класс стройплощадок	Показатель шумности	УЗ, дБА
I класс	сравнительно малошумные	до 70 дБА
II класс	повышенной шумности	св. 70 до 75 дБА
III класс	шумные	св. 75 до 80 дБА
IV класс	очень шумные	св. 80 до 85 дБА
V класс	сверхшумные	св. 85 до 90 дБА
VI класс	непереносимо шумные	св. 90 дБА

Разработанная классификация позволяет обоснованно выбрать шумозащиту от стройплощадок.

В заключение этого этапа исследований рассмотрим влияние рельефа местности на шум, распространяющийся от стройплощадок. На рис. 24 показано затухание шума неглубокой выемкой, которое составляет 3-6 дБ в нормируемом диапазоне частот. Более существенное затухание может быть осуществлено при сооружении земляного вала вокруг стройплощадки (рис. 7). Эта величина достигает 5-12 дБ в диапазоне частот 63-8000 Гц. Экспериментальные поправки в расчеты шума стройплощадок в зависимости от рельефа местности приведены в табл. 4.

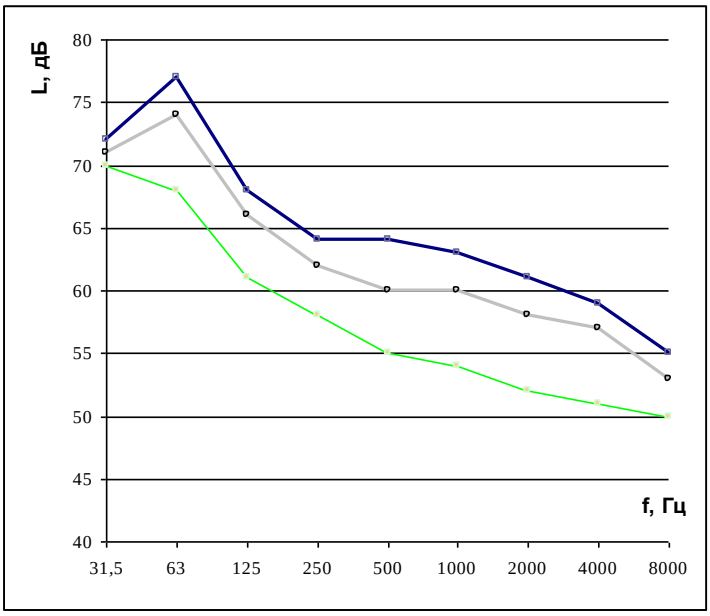


Рис. 7. Влияние рельефа местности на затухание шума от стройплощадки: 1 – внизу насыпи (70 дБ); 2 – на кромке насыпи высотой 6 м ближней к стройплощадке (67 дБА); 3 – за кромкой насыпи противоположной стройплощадке на расстоянии 25 м (58 дБА)

Поправки в расчёты шума стройплощадок

Таблица 5

Искусственное сооружение или рельеф местности	Добавка к полученным расчётом затуханиям, дБА
Здание вблизи строительной площадки	+2
Земляный вал высотой 2-3м	Не менее – 3
Насыпь высотой 6-8м	Не менее – 8
Выемка	Не менее – 10

На основании выполненных исследований разработана методика по выбору и проектированию средств снижения шума от стройплощадок. На первом этапе выбирается класс строительной площадки и в зависимости от расстояния до жилой застройки определяются требования к снижению шума с учетом полученных в работе результатов (табл. 6).

Например, для стройплощадки III класса на расстоянии 100-200 м требуемое снижение УЗ составляет 7-12 дБА. Нами разработаны рекомендации по снижению шума стройплощадок, а также получена эффективность средств шумозащиты, приведенная в табл. 7. Используя эти данные можно выбрать шумозащиту. Так для нашего примера (III класс, 100-200 м) можно использовать зеленые насаждения, а например, класс IV, расстояние 20-50 м необходимо устанавливать мобильные АЭ.

Обобщенные требования к снижению шума стройплощадок

Таблица 6

Класс шумности стройплощадки	Требуемое снижение УЗ, дБА, на расстоянии, м					
	до 20 м	свыше 20-50 м	свыше 50-100 м	свыше 100-200 м	свыше 200-500 м	свыше 500-1000 м
I	свыше 10-15	свыше 5-10	свыше 2-7	свыше 2	–	–
II	свыше 15-20	свыше 10-15	свыше 7-12	свыше 2-7	свыше 2	–
III	свыше 20-25	свыше 15-20	свыше 12-17	свыше 7-12	свыше 2-7	–
IV	свыше 25-30	свыше 20-25	свыше 17-22	свыше 12-17	свыше 7-12	–
V	свыше 30-35	свыше 25-30	свыше 22-27	свыше 17-22	свыше 12-17	до 5
VI	свыше 35	свыше 30	свыше 27	свыше 22	свыше 17	свыше 5

Ориентировочная эффективность мероприятий и конструкций по снижению шума стройплощадок и отдельных механизмов и машин

Таблица 7

Пути снижения шума	**Мероприятия и конструкции по снижению шума**		**Эффективность, дБА**	
	Отдельных машин и механизмов	**Стройплощадок**	**Ма-шин**	**Стройплощадок**
В источнике шумообразования	1. Применение шумных машин	–	3-5	3-5
	2. Применение шумных малошумных строительных технологий (забивка свай)	Применение малошумных технологий (земляные, подготовительные и др. работы)	15-20	1-2
	3. Установка глушителей шума выпуска двигателей внутреннего сгорания	–	4-5	2-3
На пути распространения	–	Установка нешумозащитных бетонных заборов	–	3-4
	Установка звукоизолирующих капотов на стационарные источники шума	–	10-15	2-3
	–	Применение зелёных насаждений (высота 1м)	–	5-6
	–	Расположение в выемке	–	8-10
	–	Применение земляных валов		3-8
	–	Установка переносных АЭ		8-17
	Увеличение расстояния от машины до жилой застройки	Увеличение расстояния от стройплощадки до жилой застройки	5 на удвоение расстояния	4 на удвоения расстояния
	Установка лёгких занавесей на источники шума	–	2-3	–
В жилой застройке	Специальное остекление домов	Специальное остекление домов	10	10

Теоретическими исследованиями АЭ было установлено, что наиболее эффективны АЭ, изготавливаемые с применением металлических панелей

со звукопоглощением. Мобильный АЭ, представляющий собой сборно-разборную конструкцию, состоящую из вертикальных стоек, горизонтальных стоек, горизонтальных профилей и бетонного основания (рис. 8).

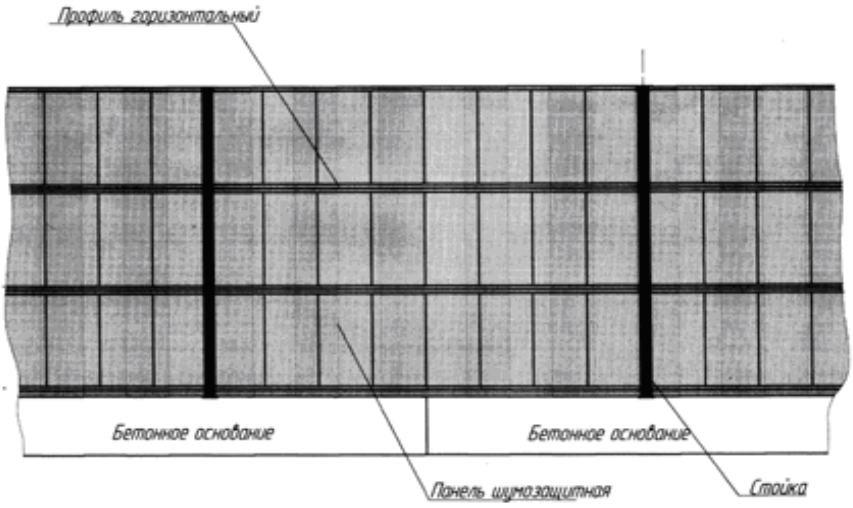


Рис. 8. Общий вид мобильного акустического экрана.

Эффективность таких АЭ составляет 10-15 дБА, что позволит обеспечить снижение шума для большинства практических случаев.

Литература

1. Минина Н.Н., Тюрина Н.В. Снижение шума строительства путем применения АЭ. Сборник трудов 3-ей Всероссийской школы-семинара с международным участием «Новое в теоретической и прикладной акустике», под ред. Н.И. Иванова, СПб, 23-24 октября, 2003. с.182-187.
2. Иванов Н.И., Минина Н.Н., 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 2005г., с. 34-38.
3. Иванов Н.И., Минина Н.Н., Тюрина Н.В. Проблема снижения акустического загрязнения при строительстве магистральных дорог в Санкт-Петербурге. Сборник трудов III-ей международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность автотранспортного комплекса: передовой опыт России и стран Европейского Союза», под ред. В.Н. Денисова, Санкт-Петербург, 21-22 сентября 2005, с. 80-81.

Снижение шума и вибрации железнодорожных магистралей

Иванов Н.И. (1), Буторина М.В.(1),Куклин Д.А. (1), Тюрина Н.В. (1)
Тишкина М.В.(2)
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова (1),
АО «Ленгипротранс» (2)

Введение

Анализ основных видов воздействия на окружающую среду (ОС) от железнодорожных магистралей (загрязнение атмосферы и почвы химическими, вредными веществами (ВВ), повышенная вибрация, электромагнитное загрязнение др.) показывает, что превалирующим фактором является акустическое загрязнение ОС. Это объясняется как высокими уровнями шума, так и специфическими особенностями его распространения в ОС. По расчетам и данным экспериментов эквивалентные уровни звука (УЗ) на расстоянии 25 м от магистрали достигают 80 дБА. При норме шума в жилой застройке в дневное время 55 дБА превышение шума составляет 25 дБА или в 6 раз по субъективному ощущению громкости. Железнодорожный транспорт в расчетах по затуханию звука аппроксимируется линейным источником звука, для которого характерно затухание 3 дБА при каждом удвоении расстояния. Таким образом, при определенных условиях шум может превышать ПДУ в ночное время (норма 45 дБА) на расстоянии свыше 1000 м. По фактору вибрации зоны влияния повышенных уровней несколько меньше, однако, в определенных условиях нормативные уровни вибрации достигаются лишь на расстояниях в 100 м.

1. Определение шумовых характеристик поездов

Определение шумовых характеристик потоков железнодорожных поездов обычно производится с использованием [4]. На данный момент это наиболее точная методика для определения шума железнодорожных поездов. Однако в данной методике не содержится информации о шумовых характеристиках высокоскоростных поездов, которые стали все чаще использоваться в нашей стране.

Для проектирования высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург – Москва были произведены измерения шумовых характеристик высокоскоростных поездов. При помощи замеров была определена шумовая характеристика высокоскоростного поезда (на примере ЭР200) при помощи [1]. Результат расчета представлен в табл. 1.

Расчет шумовой характеристики высокоскоростного поезда

Таблица 1

R_0, м	L_{Amax}, дБА	t, с	v, м/с	T, с	$L_{Аэкв}$, дБА
25	94	7	55,5	3600	67

Таким образом, при проходе одного высокоскоростного поезда в час эквивалентный уровень на расстоянии 25 м будет составлять 67 дБА, при проходе двух поездов в час – 70 дБА.

При измерениях были определены поправки на скорость движения поезда, которые также следует принимать при расчетах:

– до 200 км/ч : – 1 дБА;
– 200 км/ч: 0 дБА;
– 250 км/ч: + 1 дБА.

2. Распространение шума на местности

Распространение шума на местности определяется по [3]. Однако в реальных условиях поезда часто проходят по железнодорожной насыпи, мосту либо в выемке. Поправки, которые необходимо принимать для данных условий, также были определены при помощи измерений.

Для прогнозирования ожидаемого уровня звука, который будет создаваться поездами, следующими по железнодорожному мосту, необходимо было оценить уровни звука, создаваемыми объектом-аналогом. Для исследований была выбрана железнодорожная эстакада высотой около 10 м, по которой следуют товарные поезда.

Измерения производились в расчетной точке на земле (1,5 м над поверхностью), расположенной на расстоянии 150 м от эстакады. При этом по эстакаде двигался товарный поезд со скоростью около 40 км/ч. Вторая серия измерений была произведена после съезда поезда с эстакады в момент, когда у поезда установилась та же скорость. Результаты измерений представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Результаты измерения УЗД (УЗ) товарного поезда

Таблица 2

Расположение поезда	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах с частотами, Гц									УЗ, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На земле	70,3	74,3	62,1	55,8	54	49,6	47	45,4	36,7	65,5
На эстакаде	79,1	79,3	69,6	61,1	61	60,7	58	52,5	42,5	68,6

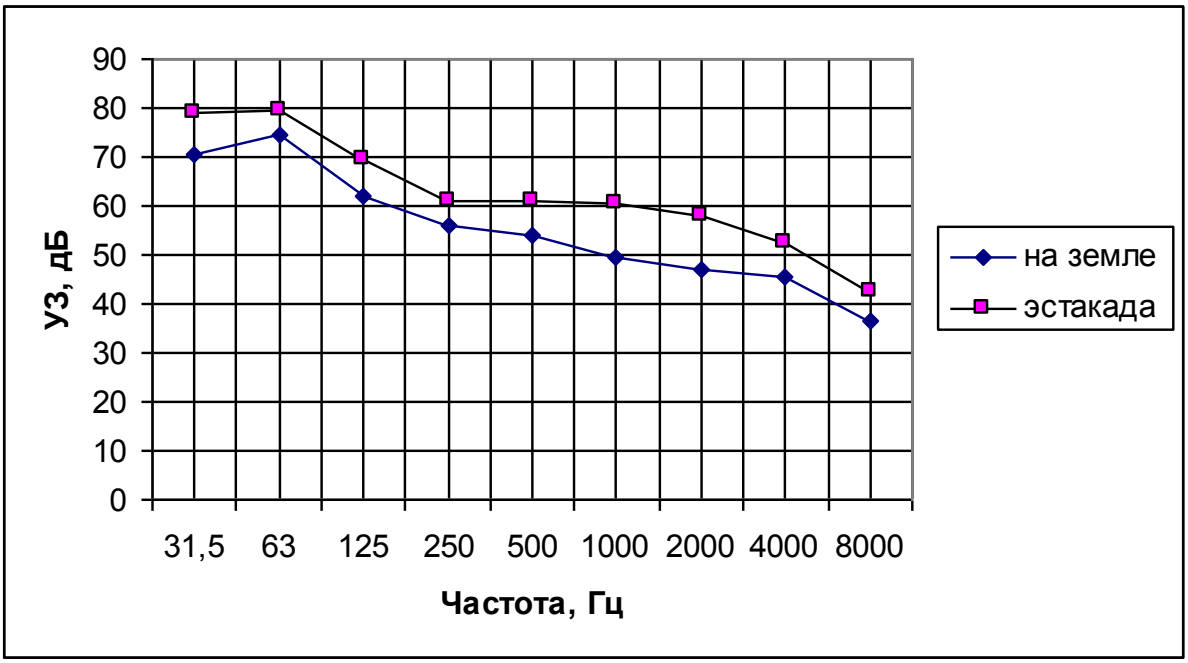


Рис. 1. Спектры шума, создаваемого поездом,
следующим по земле и эстакаде

Как видно из анализа данных, представленных в таблице и на рисунке, разность УЗД (УЗ) составляет 2-3 дБ(дБА). Таким образом, при расчете шумовой характеристики поездов, следующих по эстакаде, следует принимать поправку +3 дБА.

Не менее интересный случай – прохождение поезда в выемке либо за насыпью. Поправки на данные условия были также определены экспериментальным способом. Результаты анализа экспериментальных данных приведены в табл. 3 и на рис. 2.

Затухание звука при наличии насыпи и выемки

Таблица 3

Вид преграды	**Дополнительное снижение УЗ при расстоянии от источника шума до расчетной точки, м**								
	25	**50**	**80**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**	**350**
Выемка	15	12	7,5	7	6,5	6	5,5	5	5
Насыпь	8	6	5	3,5	3,2	2,8	2,3	1,7	1,4

Как показывает анализ данных, использование выемки является более эффективным мероприятием по защите от шума поездов.

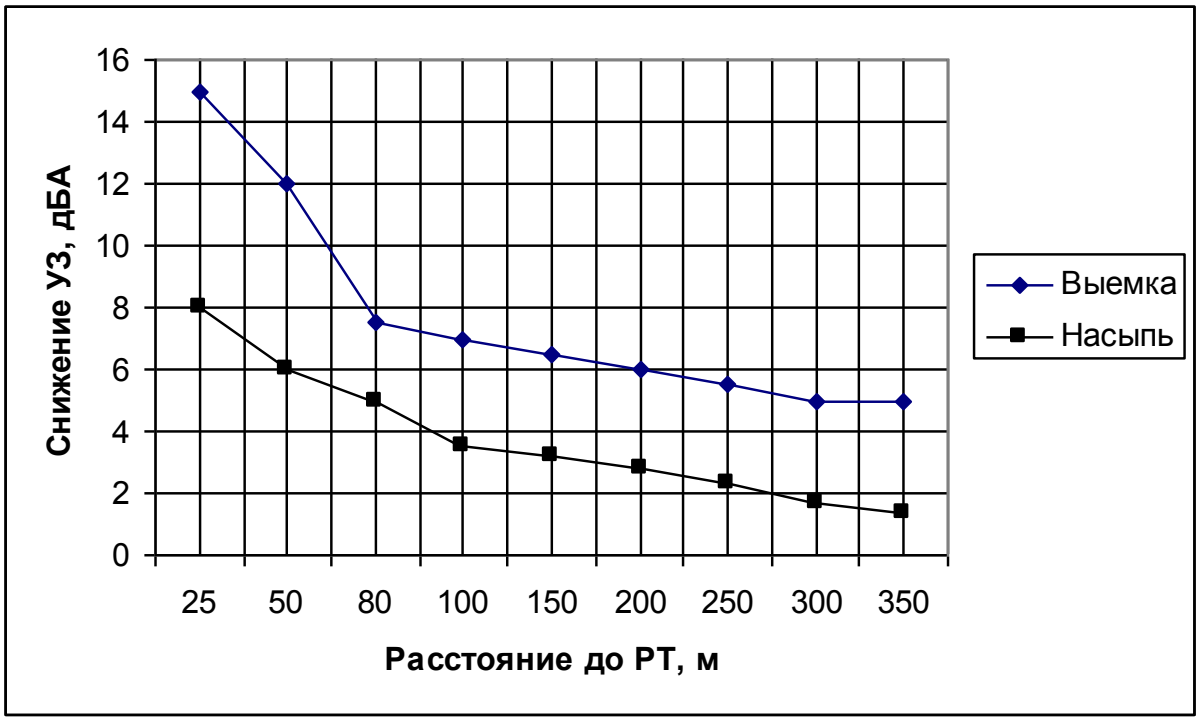


Рис. 2. Снижение уровня звука при наличии выемки и насыпи

3. Разработка мероприятий по защите от шума и вибрации

В ходе выполненных в 2005 г. в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» исследований было оценено влияние антропогенных физических полей (шума, инфразвука, вибрации, электромагнитных полей), создаваемых железнодорожным транспортом на селитебную территорию, административные и жилые помещения после реконструкции железнодорожной магистрали Санкт-Петербург – Москва и организации высокоскоростного движения.

В результате исследований было установлено, что после реконструкции трассы железнодорожной магистрали и введения высокоскоростного движения, зоны повышенных уровней воздействия шума вдоль железной дороги достигают 350 м по дневному времени, когда будут функционировать высокоскоростные поезда. Основным влияющим фактором является шум. Повышенных уровней инфразвука и электромагнитных полей вблизи магистрали не наблюдается.

В зону повышенного шумового воздействия вдоль магистрали попадает 56 населенных пунктов. Расчеты уровней шума выполнены для 745 жилых зданий, прилегающих к трассе магистрали. На границе санитарно-защитной зоны в 100 м, установленной планировочными нормами для железнодорожных магистралей при отсутствии шумозащитных мероприятий, превышение уровней шума достигает 13-15 дБА.

Таким образом, после реконструкции трассы железнодорожной магистрали и введения высокоскоростного движения, зоны повышенных уровней воздействия физических антропогенных полей составят:

По фактору шума:

– от 200 до 350 м в дневное время;
– от 600 до 1000 м в ночное время.

По фактору вибрации:

– 60-80 м от трассы при прохождении поезда по мосту;
– 50 м от трассы на ровной местности;
– 25 м при прохождении поезда по насыпи или в выемке.

Основные меры и конструкции защиты от железнодорожного шума, рекомендованные к применению на высокоскоростной магистрали, можно свести к следующим:

– защита расстоянием (установление санитарно-защитной зоны между железной дорогой и жилой застройкой);
– применение специального остекления в домах, расположенных в зоне сверхнормативного акустического воздействия;
– использование рельефа местности, искусственных сооружений, зеленых насаждений и пр.;
– установка акустических экранов.

Стоимость расселения для жителей, проживающих в домах с повышенным шумовым воздействием, составляет много сотен миллиардов рублей. Для снижения шума предложено в местах повышенного акустического загрязнения устанавливать акустические экраны. Акустические экраны позволяют обеспечить нормативные уровни шума на территории жилой застройки и сократить размер санитарно-защитной зоны.

По предварительным оценкам, общая длина экранов, рекомендованных для защиты от шума ВСМ «Санкт-Петербург-Москва» составляет около 280 км, количество домов, подлежащих остеклению, составляет 286 зданий, количество домов, подлежащих расселению – 57 шт.

Для снижения уровней вибрации следует:

– проводить реконструкцию железнодорожных путей с установкой бесшовных рельсов;
– использовать вибропоглощающие основания железнодорожных путей.

Снизить уровни вибрации можно при помощи виброзащитного экрана, представляющего собой траншею шириной 0,5-1 м, глубиной 3-5 м, но не менее глубины заложения фундамента близлежащих зданий, заполненную зернистым материалом (щебень, гравий) или материалом с существенно отличающейся от грунта плотностью (шлак, аглопорит и т.п.). Защитный экран устанавливают по возможности ближе к дороге. Такие экраны могут снизить уровни виброускорения в 5-10 раз [1].

При проектировании застройки вблизи железнодорожной магистрали следует выбирать фундамент зданий с учетом снижения уровней вибрации железнодорожного транспорта. Так, свайный фундамент позволяет снизить уровни вибрации на 15 дБ, а ленточный на 20 дБ.

Применение комплекса шумо- и виброзащитных мероприятий позволит обеспечить комфортные условия проживания жителей населенных пунктов, примыкающих к трассе высокоскоростной магистрали.

Заключение

Железнодорожный транспорт является источником повышенного шума и вибрации. При проектировании железнодорожных магистралей необходимо учитывать реальные условия распространения звука на местности, принимая поправки, определенные экспериментально либо по литературным данным. При проектировании высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург – Москва были даны рекомендации по разработке шумо- и виброзащитных мероприятий. Наиболее действенным мероприятием, помогающим снизить влияние физических антропогенных полей, создаваемых железнодорожным транспортом, являются акустические экраны.

Литература

1. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
2. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования безопасности.
3. СНиП 23-03-2003 (2004) Защита от шума/Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 2004.
4. 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. – 96 с.

Опыт проектирования, производства и монтажа универсальных шумозащитных экранов

Грибов С.А., Рощина Н.В.
ОАО "Завод акустических конструкций"

Шумозащитные экраны производства ОАО "Завод акустических конструкций" устанавливаются вблизи самых разнообразных источников шума: транспортных магистралей, строительных площадок, различных промышленных источников шума (вентиляторных, компрессорных установок и т.п.).

Так за последние два года наши шумозащитные экраны были установлены: КАД Санкт-Петербурга, на автодорогах в г. Астрахань, г. Пермь (мостовой переход через реку Кама), возле строительной площадки (Танковый пер., Москва), на крыше котельной (Измайловский пер, д. 8а, Москва), на крыше компрессорной завода им. Степана Разина (Санкт-Петербург), у точечных источников шума и по периметру ОАО "Боровический комбинат огнеупоров" (г. Боровичи) и других объектах.

На указанных выше объектах были установлены экраны следующего вида в плане: замкнутые, полузамкнутые (с 2-3 сторон источников шума) и линейные. Согласно пожеланиям компаний-заказчиков некоторые из них были дооборудованы воротами для проезда автотранспорта и калитками для прохода людей.

Универсальность производимых ОАО "Завод акустических конструкций" экранов заключается в том, что экраны могут быть любой разумной высоты, пролеты между стойками могут достигать 6 метров с практически любым шагом. При этом не требуется подгонка панелей по месту, если заранее имеются результаты геодезической съемки расположения фундаментов стоек. Отдельные части экрана могут состыковываться между собой под любым углом в плане. В полотне экрана могут быть двери или ворота, и при этом его акустические свойства не ухудшаются.

Универсальность экрана стала возможна благодаря особой конструкции отдельных элементов экрана. В целом экран состоит из следующих элементов:

1. Панели шумопоглощающие
2. Горизонтальные профили (в которые устанавливаются панели)
3. Опорные профили
4. Стойки (в которые монтируются все остальные элементы экрана)

Основным из этих элементов, 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 оптимальные размеры панели: 1000×500×56 мм. при толщине металла 0,7 мм. для стали и 1 мм. для алюминия. Прочностные расчеты и экспериментальные проверки доказали работоспособность отдельной панели при ветровой 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, особенно это важно для нижнего ряда панелей, воспринимающих нагрузку до 100 кг/п.м. Одна из стенок панели является перфорированной, коэффициент перфорации был рассчитан и рекомендован кафедрой Экологии и безопасности жизнедеятельности Балтийского государственного технического университета "Военмех" (БГТУ) как обеспечивающий требуемое качество шумопоглощения. Определенное расположение и угол загиба жалюзи панели обеспечивает качественное снижение уровня звука в диапазоне частот 32 – 4000 Гц, а также придает дополнительную жесткость перфорированной стенке.

Полиэтиленовые крышки, фиксирующие стенки панели играют важную роль демпфера, гасящего колебания шумопоглощающей панели, вызванные ветровой нагрузкой, и препятствуют их передаче на стойки. Особенно это важно при установке экранов на мостах и эстакадах. В случае, если панель изготавливается из алюминия, крышки также несут функцию изолятора панели от стального профиля, тем самым предотвращая электрохимическую коррозии. Таким образом, достигается дополнительная коррозионная стойкость конструкции.

Материал стенок панели, как указывалось выше, – алюминий (с окраской и без нее) или оцинкованная сталь (со сложным полимерным покрытием типа Pural и 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 5 лет. Изученный опыт применения иных покрытий показывает, что максимальный срок их службы до первой подкраски не превышает двух лет.

Шумопоглощающий элемент обычно изготавливается из минеральной ваты, заключенной в полиэтиленовою оболочку, которая препятствует намоканию минеральной ваты и ее "слеживаемости" и сползанию в нижнюю часть панели.

Эстетическая привлекательность экрана достигается благодаря широкой цветовой гамме покрытия панелей.

Горизонтальный профиль представляет собой холоднокатаный швеллер, в который устанавливаются панели. Он является несущим элементом полотна экрана, передавая ветровую нагрузку от панелей к стойкам. Наличие горизонтальных профилей позволяет существенно увеличить пролет между стойками экрана. Так, если у экранов-аналогов величина пролета не превышает 3 м., то у экранов ОАО "Завод акустических конструкций" может достигать 6м. Тем самым сокращается количество стоек экрана, что, в конечном итоге, снижает его стоимость.

Опорный профиль – стандартный горячекатаный швеллер №№ 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.). Достигается благодаря наличию резинового двухслойного фартука, прикрепленного к швеллеру опорного профиля.

Стойка шумозащитного экрана спроектирована таким образом, что позволяет без нарушения акустической герметичности экрана поворачивать полотно экрана в вертикальной плоскости на любой угол. Достигается это наличием специальных вертикальных профилей, крепящихся к несущей балке стойки. В качестве несущей балки используется двутавр №№ 16÷25 (в зависимости от воспринимаемых нагрузок).

Все несущие элементы экрана были рассчитаны на прочность, что позволило 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. На листы с покрытием PURAL изготовителем дается гарантия на 5 лет. Звукоизоляционные материалы, используемые при изготовлении экрана, инертны к воздействию внешней среды и химическим реагентам, что гарантирует сохранение акустических свойств в течение 10 лет.

Практика установки экранов показала, что монтаж данных конструкций чрезвычайно прост и удобен; и после установки стоек не требует подъемно-транспортного оборудования. Один пролет (секция) экрана площадью 12 м^2 монтируется за 40 минут бригадой из трех неквалифицированных рабочих. Кроме того, конструкция шумозащитного экрана позволяет легко производить и демонтаж: как отдельного пролета, так и вместе со стойками с последующей установкой на новом месте. При этом в конструкцию экрана входит элементы, исключающие возможность не-

санкционированного демонтажа экрана.

Один из ключевых вопросов – минимизация стоимости экрана при максимальной акустической эффективности, прочности и долговечности. Рассмотренная конструкция экрана была подвергнута всестороннему экономическому, прочностному, акустическому анализу и проверена экспериментально. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что конструкция экрана оптимальна по соотношению цена – качество.

В заключение отметим, что продукция ОАО "Завод акустических конструкций" запатентована на территории РФ и сертифицирована в системе ГОСТ Р Госстандарта РФ, а на все материалы, используемые при изготовлении экрана, имеются гигиенические (санитарно-эпидемиологические) заключения.

Улучшение акустического качества зданий как средство защиты от шума окружающей среды

Ягниатинскис А.Л. (1), Кришневский Б.А. (2)
ВГТУ Институт Термоизоляции, Линкмену 28, Вильнюс, Литва (1)
ООО «Эргос», Санкт-Петербург (2)

Введение

Нормативные требования к звукоизоляции жилых зданий появились около 50 лет тому назад и широко используются в строительной практике всех европейских стран. За это время они неоднократно подвергались ревизии с целью поиска наиболее подходящих для этой цели акустических показателей качества звукоизоляции. Паралельно как правило происходило ужесточение нормативных требований, что обуславливало появление новых строительных конструкций и технологий и отражало растущие потребности населения к акустическому комфорту.

Требования к звукоизоляции жилых зданий в различных странах формулировались посредством специальных нормативных документов. В основном это были национальные строительные правила либо стандарты. Объектом нормирования была защита от внутренних шумов бытового происхождения, которая описывалась посредством требуемой звукоизолирующей характеристикой внутренних ограждений. Защита от внешних шумов регламетировалась как допустимым внутренним шумом жилых помещений, так и посредством требований к звукоизоляции фасадов и их элементов. Сложившиеся к середине 80-х годов разнообразие подходов к принципам формулирования требований к звукоизоляции зданий отражали соответсвующие стандарты ИСО (международной организации по стандартизации), США, Японии, Австралии, а также СниП II-12-77.

Введению единообразия требований к звукоизоляции жилых зданий способствовала в 1989 году Европейской Комиссией принятая директива 89/106/EC, сокращенно называемая директивой строительных продуктов (английская абревиатура CPD). Она сформулировала шесть основных требований, которым должны удовлетворять здания и сооружения, среди которых требование №5 называлось «Защита от шума». Этот документ также дал толчок пересмотру основных стандартов по строительной акустике, способствуя унификации используемых показателей звукоизоляции от воздушного и ударного звука.

Акустический комфорт

Директиву CPD дополнил пояснительный документ, объясняющий как надо формулировать технические спецификации, характеризующие качество «защиты зданий от шума». Он показал сложность однозначно установить границу между допустимыми и недопустимыми уровнями шума. Более целесообразным явилось установление требований по качеству защиты от шума, то есть по уровню акустического комфорта, который достигается при соответсвующих значениях звукоизоляции ограждений в жилых зданиях.

История развития нормирования звукоизоляции путем классификации зданий по их акустическому качеству показывает, что таким образом учитываются не только экономические затраты на выполнение мероприятий по защите от шума, но и отражается готовность населения платить за них дороже. В целом концепция акустического комфорта характеризуется как возможностью защитить себя от нежелательных звуков, так и возможностью заниматься привычной бытовой деятельностью без акустического воздействия на своих соседей. Необходимо подчеркнуть, что акустический комфорт рассматривает жителя жилого помещения не только как приемник звука, но и как источник звука. Его может раздражать не только соседями производимый шум, но и знание того, что его деятельность слышна соседям и вызывает их недовольство. Плохая звукоизоляция между помещениями может стать не только источником конфликтов, но и лишить возможности заниматься некоторыми видами деятельности, например удовольствия играть на музыкальных инструментах.

Таким образом акустический комфорт здания становится решающим фактором при переходе от строительства социального жилья к комерческому. При этом границу требований к звукоизоляции определяют не результаты исследований последствия воздействия шума на организм человека, а фактическая готовность населения платить дороже за акустический комфорт собственного жилья или его аренду. Проведенные социологические исследования в скандинавских странах показали, что около 60% населения многоэтажных жилых зданий за улучшенную звукоизоляцию готовы платить на 10% дороже. Причем уровень экономического благополучия страны оказывает непосредственное влияние на степень внимания акустическому комфорту.

Исследование критериев акустического комфорта

Исследованиям взаимосвязи между акустическим комфортом и соответсвующими показателями звукоизоляции посвящено много работ [1, 2].

Как правило, только социологический опрос населения позволяет выяснить процент жителей, которые конкретные значения показателя звуко-

изоляции оценивают как удовлетворительные для конкретного жилого помещения. Минимальные требования к показателю звукоизоляции при этом устанавливаются на уровне, когда не более 30% жителей находят что такой акустический комфорт помещения становится неудовлетворительны. Важно подчеркнуть, что такие результаты собираются методом активного опроса населения и всегда отличаются от результатов статистической обработки жалоб на недостаточную звукоизоляцию.

Таким образом разрабатывается система акустических классов (Sound Class) жилых помещений, иначе называемая категориями акустического комфорта. Количество используемых категорий (звуковых классов) колеблется от трех до пяти. Три категории классов используются в Германии[3] и России [4], четыре категории в скандинавских странах [5], пять категорий в Нидерландах[6] и Литве [7]. Как правило требованиями звукоизоляции, описанным в одной из категорий, придается статус строительных требований, что позволяет предоставить пользователю добровольно формулировать количественные требования к более комфортным условиям помещений.

Сравнительный анализ уровня требований в различных странах приведен в таблице 1. Поскольку в соответствии со стандартами серии ИСО 140 и ИСО 717 для оценки звукоизоляции можно применять различные показатели R'_w, $D_{nT,w}$, $D_{nTA,w}$ $L'_{n,w}$, в таблице приведены сравнительные эквивалентные R'_w и $L'_{n,w}$ требования к показателям звукоизоляции между квартирами жилых зданий, действующие в различных странах. Значения добровольно применяемых звуковых категорий приведены в скобках.

Таблица 1

Страна	**Категория**	R'_w	$L'_{n,w}$	**Год**
Россия	(А, Б,) В	(54, 52) 50	(55, 58) 60	2003
Германия	(III, II) I	(59, 56) 54	(39, 46) 53	1994
Норвегия	(A, B) C (D)	(65,60) 55 (50)	(43, 48) 53 (58)	1997
Литва	(A, B) C (D, E)	(65,60) 55 (52, 48)	(43, 48) 53 (58, 60)	2003

Исследование требований к звукоизоляции фасадов

Требованиями директивы по оценке и управлению шумом окружающей среды 2002/49/ЕС [8] в странах Евросоюза введено правило обязательно пользоваться комбинированным оценочным показателем шума окружающей среды *LDEN*, который описан в стандарте ИСО 1996-1:2003 [9]. Его особенностью является учет различного раздражающего эффекта транспортного шума в дневное, вечерние и ночное время. Величина значения *LDEN* определяется как среднее за календарный год и в соответствии с законом должна

быть сообщена населению больших городов посредством специальной шумовой карты. Введение обобщенного показателя шума окружающей среды повышает актуальность перехода от нормирования шума внутри помещения к нормированию показателя звукоизоляции фасада в зависмости от величины показателя внешнего шума. Такой подход к нормированию звукоизоляции фасадов уже много лет использовался в стандарте Германии DIN 4109 [10]. Однако, в соответствии со стандартом ИСО 140-5 звукоизоляция фасадов должна быть описана показателем $D_{2m,nT,w}(C;C_{tr})$ [11]. Соответствующие исследования показали целесообразность использовать систему акустических категорий для нормирования звукоизоляции фасадов зданий. Например, для общепринятого в Европейских странах значения *LDEN* равного 65 дБА, звукоизоляция фасада должна составлять $D_{2m,nT,w}$ = 40 дБ, а показателя $D_{2m,nT,w}$ + C_{tr} быть не менее 33 дБА.

Выводы

1. Система акустической классификации жилых зданий, используемая в различных странах, неодинакова, что связано с субъективной оценкой восприятия шума и качества комфорта. Различия в подходах к проблеме акустического комфорта зависят как от экономических факторов, так и от возможности выбора различных показателей звукоизоляции, которые описанны в стандартах серии ИСО 140 и ИСО 717.
2. Регламентация звукоизоляции жилых зданий в последнее десятилетие имеет тенденцию перехода от допустимых одноуревневых требований к системе классификации по категориям акустического комфорта. Показана целесообразность требования к жилым зданиям формулировать как показателем звукоизоляции от обобщенного уровня бытового шума, так и показателем звукоизоляции фасада от обобщенного оценочного уровня транспортного шума.

Литература

1. B. Rasmussen, J.H. Rindel. “Sound insulation of dwellings – Legal requirements in Europe and subjective evaluation of acoustical comfort”, DAGA, Aachen, 2003
2. A. Jagniatinskis “Relationship between draft Lithuanian regulation “protection against noise” and Nordic standards”, Ultrasound, Nr. 2(47), Kaunas,2003
3. VDI 4100 (1994) Schallschutz von Wohnungen – Kriterium fur planung und Beurteilung.
4. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума», Госстрой России, 2003.

5. INSTA 122:1997 Draft for standard “Sound Classification of Dwellings”
6. NEN 1070:1999.Nederlandse norm. “Noise control in buildings – Specification and rating of quality”/
7. STR 2.01.07:2003 “Protection against noise indoor and outdoor of building” Lithuanian building regulation, 2003.
8. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and the Council relating to the assessment and management of environmental noise. OJ, L189, 18.7.2002.
9. ISO 1996-1:2003 “Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures”
10. DIN 4109 “Schallshultz im Hochbau”
11. ISO 140-5: “Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and facades”.

Оптимизация звукопоглощения в замкнутых помещениях

Устинов Ю.Ф., Жулай В.А., Головач К.И., Зеленин Д.А.
Воронежский государственный
архитектурно-строительный университет

Задача сводится к оптимизации звукозащитными конструкциями в виде облицовочных плиток внутри помещений, которые образуют звукозащитные панели, рассчитанные на поглощение шума на различных частотах. В этом случае требуется определить – какая площадь на стенках помещения должна отводиться под различные звукопоглощающие материалы (ЗПМ), эффективно поглощающие шум на каждой характерной частоте, чтобы общий шум был снижен на максимально возможную величину, а их стоимость не превышала заданного значения.

Задачи подобного типа относятся к классу задач оптимального назначения и при числе допустимых решений даже в несколько десятков могут быть решены полным перебором всех возможных вариантов.

При числе допустимых решений, измеряемых тысячами и более, необходимо применять математическое моделирование [1].

Для составления математической модели задачи на первом этапе оптимизации звукозащиты необходимо выполнить следующее:

1. Ввести критерий – в данном случае за критерий принимаем уровень снижения общего шума в помещении L_p, за счет поглощения звука на i-той частоте в 1/3-октавной полосе в зависимости от площади панелей, покрытой ЗПМ;
2. Обозначить искомые величины как переменные – для каждой пары сочетания ЗПМ и занимаемой им площади принимаем x_{ij}, где j- номер занимаемой площади (столбцы); i – номер ЗПМ (строки);
3. Составить ограничения, т.е. зависимость между переменными. В этой связи на все принципиально важные ограничения: во-первых, все эти переменные в результате решения не могут принимать никаких других значений, кроме 1 и 0; во-вторых, принимаем, что

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если i-я конструкция} \\ \text{занимает j-ю площадь;} \\ 0 \text{ - в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

Следовательно, используются булевы переменные. На основании численных исследований на ЭВМ с использованием метода конечных элементов и определенной топологии помещения, включающей воздушную среду, формируется матрица исходных данных, где критерием является уровень снижения шума L_p, который представлен в верхней части каждой клетки. Пример приводится для помещения, где звукопоглощающее покрытие может быть размещено на ограниченной поверхности равной $S_{ЭПМ}$, м^2. Остальная поверхность – пол и окна.

Матрица исходных данных
для оптимизации звукопоглощения в помещении

№ ЗПМ – i	Площадь, занимаемая ЗПМ, м2 – j				
Среднегеометрическая частота 1/3-октавы, Гц	1 S_1	2 S_2	3 S_3	.	j S_j
1 25	L_{p11} c_{11} x_{11}	L_{p12} c_{12} x_{12}	L_{p13} c_{13} x_{13}	. . .	L_{p1j} c_{1j} x_{1j}
2 31,5	L_{p21} c_{21} x_{21}	L_{p22} c_{22} x_{22}	L_{p23} c_{23} x_{23}	. . .	L_{p2j} c_{2j} x_{2j}
…	…	…	…	…	…
i 8000	L_{pi1} c_{i1} x_{i1}	L_{pi2} c_{i2} x_{i2}	L_{pi3} c_{i3} x_{i3}	. . .	L_{pij} c_{ij} x_{ij}

Примечания: c_{ij} - стоимость ЗПМ, покрывающего j-ю площадь панели (определяется по данным завода изготовителя ЗПМ); $S_{ЭПМ} = \sum_{1}^{j} S_j$, обычно $j \le 10$.

Чтобы составить ограничения, необходимо принять условие, что i-я звукопоглощающая плитка одновременно может быть установлена либо на площади, обозначенной цифрой 1, либо 2 и т.д. это условие при $j = 10$ можно записать так:

$$x_{11} + x_{12} + ... + x_{110} = 1, \qquad (2)$$

т.е. сумма всех переменных в табл. 1 по первой строке равна единице. Аналогично для второй и последующих строк.

Соответственно для площади, обозначенной цифрой 1 (первый столбец), при i = 10 имеем:

$$x_{11} + x_{21} + ... + x_{101} = 1. \qquad (3)$$

Аналогично для второго и последующих столбцов.

В рассматриваемой задаче о назначениях, где число звукопоглощающих плиток i = n =10 и число возможных площадей, покрываемых этими плитками также j = n = 10, возможное число допустимых решений определяется по формуле:

$$N = n! \qquad (4)$$

В нашем случае число вариантов допустимых решений N =3628800.

Для того чтобы из возможных решений выбрать лучшее, необходимо установить, в каком смысле искомое решение должно быть оптимальным. Ранее было отмечено, что оптимальным вариантом будем считать тот, при котором поглощение общего шума в помещении будет наибольшим. Следовательно, целевая функция должна быть выражена следующей зависимостью:

$$\begin{aligned} F = {} & L_{p11} x_{11} + L_{p12} x_{12} + L_{p13} x_{13} + \\ & + ... + L_{p101} x_{101} + ... + L_{p1010} x_{1010} \to \max \end{aligned}, \qquad (5)$$

где коэффициенты перед переменными – оценки уровня снижения шума в помещении для каждой пары, взятые из таблицы.

Таким образом, таблица является матрицей условий задачи о назначениях. В общем случае математическая модель задачи о назначениях будет иметь вид:

$$\begin{cases} F_1 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} L_{pij} x_{ij} \to \max \\ \sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad j = \overline{1,n} & а) \\ \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad i = \overline{1,n} & б) \\ S_{ЗПМ} = \sum_{j=1}^{n} S_j = 1 \quad j = \overline{1,n} & в) \end{cases}, \qquad (6)$$

где i – номер звукопоглощающей плитки;

j – номер площади, занятой соответствующей плиткой;

$S_{ЭПМ}$ – площадь стенок помещения для установки звукопоглощающего материала;

S_j – площадь, занимаемая отдельной i-ой звукопоглощающей плиткой. Величина $\square L_{pij}$ принимается из матрицы условий задачи (см. таблицу); условие а) означает, что каждая i-я плитка с ЗПМ может занимать только одну j-ю площадь; условие б) означает, что каждая j-я площадь может быть использована только под одну i-ю плитку с ЗПМ; выражение в) – граничное условие, определяющее предельное конкретное значение суммарной площади стенок помещения, которая может быть облицована различными по конструкции звукопоглощающими материалами; F_1 – целевая функция, определяющая максимальное значение технического параметра (максимальное значение снижения уровня звукового давления в помещении).

Используя типовые программы для задач о назначениях, получим решения задачи, которые представляются уравнениями следующего вида:

$$\begin{cases} 1)\ \square L_{p15}x_{15} + \square L_{p23}x_{23} + \square L_{p32}x_{32} + \square L_{p41}x_{41} + \square L_{p54}x_{54} + \square L_{p65}x_{65} + \\ \quad \square L_{p77}x_{77} + \square L_{p810}x_{810} + \square L_{p98}x_{98} + \square L_{p109}x_{109} \Rightarrow \square L_{p\max}\partial БА; \\ 2)\ \square L_{p15}x_{15} + \square L_{p23}x_{23} + \square L_{p31}x_{31} + \square L_{p42}x_{42} + \square L_{p54}x_{54} + \square L_{p76}x_{76} + \\ \quad \square L_{p68}x_{68} + \square L_{p87}x_{87} + \square L_{p99}x_{99} + \square L_{p1010}x_{1010} \Rightarrow \square L_{p\max}\partial БА; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ m)\ \square L_{p14}x_{14} + \square L_{p25}x_{25} + \square L_{p33}x_{33} + \square L_{p41}x_{41} + \square L_{p52}x_{52} + \square L_{p66}x_{66} + \\ \quad \square L_{p77}x_{77} + \square L_{p88}x_{88} + \square L_{p910}x_{910} + \square L_{p109}x_{109} \Rightarrow \square L_{p\max}\partial БА; \end{cases} \qquad (7)$$

Таким образом, общий шум в помещении снижается на $\square L_{p\max}\partial БА$, если будет принят какой-либо один вариант из m возможных вариантов.

Обычно уравнения получают с учетом погрешности вычисления ±0,05дБА. Если допустить разброс максимальных значений с погрешностью ±0,1 дБА, то число полученных уравнений (m) может достичь нескольких десятков и даже сотен.

Однозначно задача оптимизации может быть решена на втором этапе при введении новой целевой функции и новых граничных условий. В общем виде в этом случае математическая модель представляется следующими выражениями

$$\begin{cases} F_2 = C \to \min \\ S_{ЗПМ} = \sum_{j=1}^{n} S_j \quad j = \overline{1,n} \qquad а) \\ F_1 = \sum_{j=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} L_{pij} x_{ij} = F_{1\max} \quad б) \end{cases} \tag{8}$$

где F_2 – новая целевая функция, определяющая наименьшее значение стоимости облицовки помещения ЗПМ;

Выражение (а) – ограничение;

F_1- технический параметр, представляющий собой граничное условие. В данном случае $F_{1\max} = L_{p\max} дБА$- выражение (б).

c_{ij} – стоимость плиток с ЗПМ определяется по данным завода – изготовителя.

Значения стоимости (c_{ij}) вводятся в матрицу исходных данных (табл., средняя строка каждой клетки). Тогда выражения (7) через стоимость ЗПМ будут иметь вид:

$$\begin{cases} 1)\ c_{15}x_{15} + c_{23}x_{23} + c_{32}x_{32} + c_{41}x_{41} + c_{54}x_{54} + c_{65}x_{65} + \\ \quad c_{77}x_{77} + c_{810}x_{810} + c_{98}x_{98} + c_{109}x_{109} \Rightarrow c_{\min}, руб \\ 2)\ c_{15}x_{15} + c_{23}x_{23} + c_{31}x_{31} + c_{42}x_{42} + c_{54}x_{54} + c_{76}x_{76} + \\ \quad c_{68}x_{68} + c_{87}x_{87} + c_{99}x_{99} + c_{1010}x_{1010} \Rightarrow c_{\min}, руб \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \quad c_{14}x_{14} + c_{25}x_{25} + c_{33}x_{33} + c_{41}x_{41} + c_{52}x_{52} + c_{66}x_{66} + \\ \quad c_{77}x_{77} + c_{88}x_{88} + c_{910}x_{910} + c_{109}x_{109} \Rightarrow c_{\min}, руб \end{cases} \tag{9}$$

Вполне очевидно, что ЭВМ выдает один из вариантов, представленных в уравнениях (9), являющийся оптимальным, так как он наиболее дешевый и обеспечивает максимальное снижение уровня шума в кабине. Данный вариант рекомендуется для осуществления звукозащиты.

Заключение

На основании вышеизложенного необходимо отметить принципиально важные факторы оптимизации шумозащиты в помещении звукопоглощающими материалами:

1. Алгоритм оптимизации звукозащиты, включающий два этапа. На первом этапе целевой функцией является максимальный уровень снижения шума звукопоглощающими материалами при использовании ограниченной площади покрытия, на втором – осуществляется минимизация новой целевой функции, представляющей собой стоимость звукопоглощающей конструкции;
2. Способ формирования матрицы исходных данных на основе метода конечных элементов и реализации этого способа на базе численного эксперимента на ЭВМ. В результате устанавливается взаимосвязь эффективности снижения уровня шума в помещении и стоимости звукопоглощающих конструкций. Ранее рекомендовался способ определения этой взаимосвязи экспериментальным путем, а значит дорогостоящим и трудоемким;
3. Для выполнения вычислений целевых функций могут быть использованы типовые программы для ЭВМ, например, "MathCAD PRO" (Полная боксовая версия).

Литература

1. Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К.Рэгсдел. Оптимизация в технике / Пер. с англ, в 2-х кн. – М.: Мир, 1986. – кн.1. – 349с., кн.2. – 320с.

Звукоизоляция междуэтажных перекрытий с плавающим полом материалами из вспененного полипропилена Пенотерм или вспененных полиэтиленов типа Полифом и Изолон

Дубнов Д.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 вспененного полипропилена Пенотерм и вспененных полиэтиленов типа Полифом и Изолон ППЭ.

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.

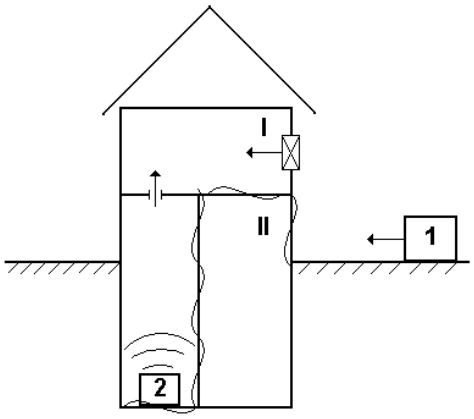
Звукопоглощающие материалы и конструкции подразделяются на:

- Волокнисто-пористые (войлок, минеральная вата, фетр, акустическая штукатурка и др.);
- Мембранные поглотители (пленка, фанера, закрепленные на деревянные обрешетки);

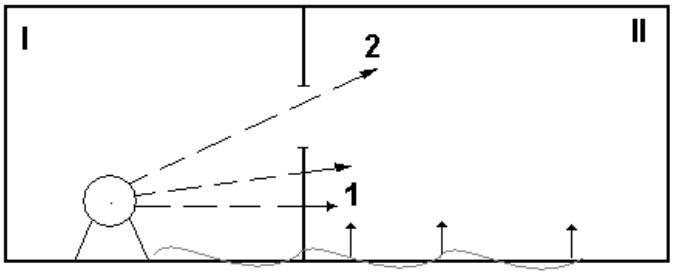
- Резонаторные поглотители (классический резонатор Гельмгольца);
- Комбинированные поглотители.

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.



А)



Б)

Рис. 1. Пути проникновения шумов
А) 1 – источник шума; 2 – источник вибрации;
I – воздушный шум; II – структурный шум;
Б) 1, 2 – звуки, распространяющиеся по воздуху (воздушные звуки или шумы); 3 – энергия упругих колебаний распространяется по строительным конструкциям и излучается в виде шума (структурные или ударные звуки, шумы); I – шумное помещение; II – тихое помещение.

Звукоизоляционные материалы применяют для изоляции помещений от распространения материального (ударного) переноса звука. В отличие от звукопоглощающих эти материалы остаются практически в скрытом от взора состоянии в виде прокладочных слоев в конструкциях внутренних стен (перегородок) и междуэтажных перекрытий зданий. Они располагаются между наружными оболочками (панелей, щитов и др.), находясь в свободном (не сжатом) или даже подвешенном состоянии (например, подвешенные маты). Возможно и некоторое обжатие звукоизолирующей прослойки, например, между несущими панелями потолка и конструкцией пола на упругом основании.

Важной характеристикой качества прокладочного материала является его *жесткость*, которая, во-первых, призвана компенсировать отсутствие жестких связей между стенками в неоднородных конструкциях, а во-вторых, больше погасить ударных звуковых колебаний. Но и жесткость, определяемая *динамическим модулем упругости* не должна быть чрезмерно высокой, так как чем ниже $E_Д$, тем больше ударных шумов поглощает прокладочный материал. По величине модуля упругости различают три класса звукоизоляционных материалов:

- **I** класс ($E_Д$ до 1 МПа);
- **II** класс ($E_Д$ от 1 до 5 МПа);
- **III** класс ($E_Д$ от 5 до 15 МПа).

Звукоизоляционными материалами служат полужесткие минераловатные и стекловатные маты и плиты на синтетической связке, вспененные полимерные материалы (пенополипропилен **Пенотерм**, некоторые виды пенополиполиэтилена **Изолон ППЭ, Полифом**).

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 пористо-

го полипропилена и т.п. Плинтусы следует крепить только к полу или только к стене.

- При проектировании пола в виде монолитной плавающей стяжки необходимо предусматривать по вибродемфирующей прокладке из материалов, имеющих акустический сертификат соответствия, подтверждающего звукоизоляционные свойства. В качестве таковых рекомендуется использовать минераловатные маты на битумной подоснове или вспененные полипропилены (**Пенотерм НПП ЛЭ**) и радиционносшитые пенополиэтилены (Изолон ППЭ, Полифом). 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 стекловолокнисты-

ми плитами, вспененными полиэтиленами и тд.). Оптимальная толщина звукопоглотителя составляет 2/3 толщины воздушного промежутка.

- Внутренние стены, разделяющие жилые и встроенные шумные помещения, к которым предъявляются повышенные требования по изоляции воздушного шума (требуемый индекс R_W = 54…59 дБ), следует проектировать двойными с полным разобщением их элементов между собой и от примыкающих конструкций, исключающим косвенную передачу звука в изолируемое помещение по примыкающим стенам и перекрытиям.

Звукоизоляция междуэтажных перекрытий с плавающим полом

Выбор конструкции плавающего пола определяется назначением помещений и зданий, в которых предполагается устройство пола, а также типом и толщиной несущей плиты перекрытия в жилых и общественных зданиях.

Плавающий пол представляет собой плиту или стяжку из бетона, гипса или асфальта или других подобных материалов толщиной не менее 50 мм и поверхностной плотностью не менее 60 кг/м^2, укладываемую на слой упругого изоляционного материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ. При необходимости выполняется армирование стяжки.

Значения индексов приведенного уровня ударного шума для перекрытий с плитами сплошного сечения следует принимать по табл. 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 LnW 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 определяется расчетом.

Для эффективного использования звукоизоляционного материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ необходимо правильно выбрать соотношение между толщиной слоя изоляционного материала и нагрузкой (стяжкой с покрытием пола) с тем, чтобы резонансная частота колебания пола была минимально низкой и при этом не происходило разрушения звукоизоляционной прокладки.

Применение звукоизоляционных прокладок из материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ в зависимости от толщины прокладки и поверхностной плотности стяжки обеспечивает индекс снижения приведенного уровня ударного шума под перекрытием (AL_{nW}) от 20 до 22 дБ, что в большинстве реальных случаев позволяет выполнить нормативные требования по изоляции ударного шума.

Принципиальные схемы конструктивных решений звукоизоляции междуэтажного перекрытия представлены на рис. 2.

Полы в зданиях

Относительная влажность воздуха в помещениях в процессе устройства покрытия полов не должна превышать 80%. Температура воздуха на уровне пола при устройстве выравнивающей цементно-песчаной стяжки должна быть не менее +5°С. Устройство полов должно выполнятся после окончания всех строительно-монтажных, электротехнических и отделочных работ.

До начала производства работ по устройству полов монтажные отверстия в перекрытиях, зазоры между плитами, места примыкания перекрытий к стенам перегородок, трубам должны быть заделаны цементно-песчаным раствором не ниже М 100.

В местах пересечения инженерных коммуникаций, а также местах примыкания к оконным витражам, конструкциям должна быть выполнена негорючая изоляция.

При укладке звукоизоляционных прокладок из материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ в коридорах, следует предусмотреть рассечки из негорючих материалов шириной не менее 200 мм, устанавливаемые не реже чем через 60 м.

При устройстве теплоизоляции пола над вентилируемым подпольем, толщина материала ПЕНОТЕРМ® НПП ЛЭ подбирается теплотехническим расчетом в соответствии с СНиП П-3-79* «Строительная теплотехника». При это учитывается, что коэффициент теплопроводности .=0,0344 Вт/м °К (Заключение НИИМосСтрой № 2-222/02 от 11.09.02 г.).

Расчет перекрытия

Индекс изоляции воздушного шума R_W в дБ перекрытием определяется по табл. 15 СП «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий», в зависимости от величины индекса изоляции воздушного шума плитой перекрытия R_{wo}, определенного в соответствии с п.п. 3.3 и частоты резонанса f_p в Гц, определяется по формуле:

$$f_p = 0{,}16\sqrt{\frac{E_Д \cdot (m_1 + m_2)}{h_3 \cdot m_1 \cdot m_2}},$$

где

$E_Д = 6{,}6 \cdot 10^5$ Па (динамический модуль упругости звукоизоляционного слоя);

$m_1 = 450$ кг/м^2 (поверхностная плотность плиты);

$m_2 = 108$ кг/м^2 (поверхностная плотность выше звукоизоляционного слоя) – стяжка и покрытие пола;

$h_3 = h_0 \cdot (1 - \varepsilon)$, где h_0 – толщина звукоизоляционного слоя в не обжатом состоянии – 0,008 м; ε – относительное сжатие материала под нагрузкой – 0,1;

$h_3 = 0{,}008 \cdot (1 - 0{,}1) = 0{,}0072$

$$f_p = 0{,}16\sqrt{\frac{6{,}6 \cdot 10^5 \cdot (450 + 108)}{0{,}0072 \cdot 450 \cdot 108}} \approx 160 \text{ Гц.}$$

$R_{wo} = 37 \lg m_1 + 55 \lg K - 43$, 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.

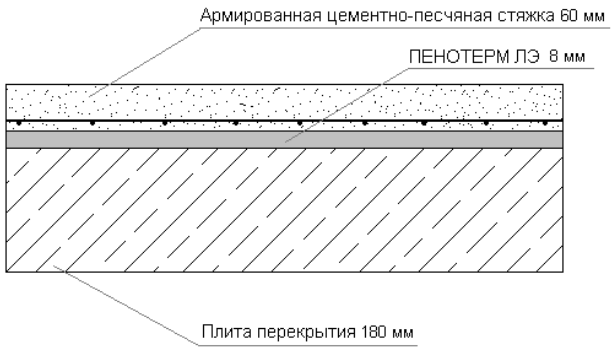


Рис. 2.

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:

$$f_o = 0{,}16\sqrt{\frac{E_Д}{h_3 \cdot m_2}}\text{, Гц,}$$

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.

О влиянии вибропоглощающей прослойки на звукоизоляцию слоистых ограждений

Кочкин А.А.
Вологодский государственный технический университет

Для создания акустического комфорта в зданиях используются и тонкие ограждающие конструкции, граничная частота волнового совпадения которых находится в нормируемом диапазоне частот. Для повышения звукоизоляции необходимо смещать граничную частоту волнового совпадения в область более высоких частот (за нормируемый диапазон), уменьшая изгибную жесткость. Этому могут отвечать слоистые вибродемпфирующие панели (СВДП), состоящие из двух или нескольких жестких слоев (металл, стекло, гипсоволокнистые листы и т.д.) и вибропоглощающего слоя между ними.

Такие ограждения исследовались ранее [1], где отмечалось, что звукоизоляция СВДП в широком диапазоне частот, в том числе на низких и средних частотах, управляется массой, частотой звука, коэффициентом потерь, зависит от размеров ограждения и его жесткостных параметров.

Звукоизоляция СВДП по сравнению с однослойными ограждениями равными по поверхностной массе повышается за счет смещения граничной частоты полных пространственных резонансов в область более высоких частот и повышенного коэффициента потерь (рис. 1).

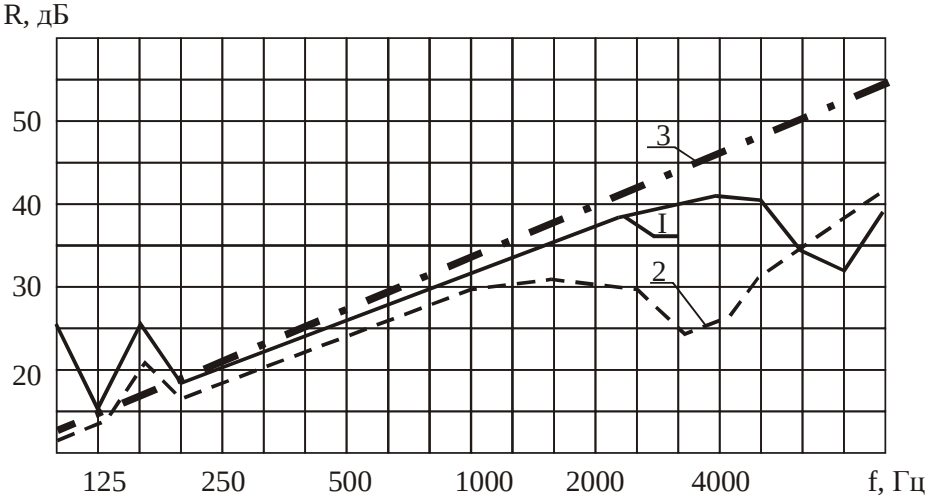


Рис. 1. Частотные характеристики звукоизоляции ограждений:
1 – слоистое из двух обкладок дюралюминия толщиной по 2,0 мм и прослойки из бутвела толщиной 1,0 мм, μ=11,8 кг/м^2; 2 – однослойное из дюралюминия толщиной 4,0 мм, μ=10,8 кг/м^2; 3 – закон массы.

Существует некоторый эффективный коэффициент потерь, превышение которого не приводит к росту звукоизоляции из-за заметного здесь вклада излучаемой мощности часто вынужденными волнами. Значение $\eta_{эфф}$ соответствует величине звукоизоляции для области неполных пространственных резонансов:

$$R = 10\lg 2{,}8\mu^2 f_{cp}\Delta f\eta / 10^3 \left[1-\left(f_{cp}/f_2\right)^2\right] S_{mn_0} \qquad (1)$$

на частоте 500 Гц, где звукоизоляция ограждения определяется законом массы:

$$R = 20\lg \mu f - 47{,}5 \qquad (2)$$

Уравнение движения слоистого ограждения запишем в виде:

$$C_u^6 C_s^2 + C_u^4 C_3^4 - C_u^2 C_2^4 C_S^2 - C_1^4 C_3^4 = 0, \qquad (3)$$

где

$$C_1 = \sqrt{\omega} \sqrt[4]{\frac{\left(F - \frac{TLh_3}{N}\right)}{\mu}};$$

$$C_2 = \sqrt{\omega} \sqrt[4]{\frac{F+T}{\mu}};$$

$$C_3 = \sqrt{\omega} \sqrt[4]{\frac{N}{\mu}}$$

скорости изгибных волн некоторых однослойных пластин соответственно с изгибными жесткостями $\left(F - \frac{TLh_3}{N}\right), (F+T), N$;

$C_s = \sqrt{S/\mu}$ – скорость сдвиговых волн вибродемпфирующего слоя, нагруженного массами внешних слоев.

Следует отметить: если принять $c_2 = c_3$, что возможно при выполнении условия $h_1 = h_2 << h_3$, то выражение (3) по форме будет совпадать с уравнением Куртце, который в своих исследованиях трехслойных конструкций пользовался методами электроакустического моделирования.

Анализ уравнения (3) показывает, что весь диапазон частот можно разбить на три области.

1. На низких частотах, когда $c_1 << c_s$, пренебрегая вторым и последним членами уравнения, будем иметь $c_u \approx c_3$, т.е. панель колеблется в виде изгибных волн как пластина с поверхностной массой μ и цилиндрической жесткостью N.

2. На высоких частотах $c_1 >> c_s$, пренебрегая первым и третьим членами, получим $c_u \approx c_1$, т.е. колебания пластины в основном будут определятся изгибными колебаниями обшивок, нагруженных массой среднего слоя.

3. В промежуточном диапазоне частот от $\omega_1 = \dfrac{S}{\sqrt{\mu \cdot N}}$ до $\omega_2 = \dfrac{S}{\sqrt{\mu\left(F - \dfrac{TLh_3}{N}\right)}}$ преимущественные значение будут иметь сдвиговые колебания заполнителя, т.е. $c_s \approx c_u$. Из полученных данных можно сделать заключение, что с вибродемпфирующим промежуточным слоем сдвиговые деформации играют существенную роль в формировании скорости упругих волн.

Как известно, скорость распространения сдвиговых волн не зависит от частоты, если она будет меньше скорости звука в воздухе, то волнового совпадения не произойдет по меньшей мере до частоты ω_2 и звукоизоляция трехслойной панели будет определятся законом массы.

При анализе дисперсионных кривых (рис. 2) отмечаем, что на низких частотах они асимптотически приближаются к кривой c_3, на высоких частотах – к кривой c_1. В промежуточной области частот наблюдается некоторое выполаживание дисперсионной кривой, которое можно объяснить влиянием волн сдвига среднего слоя.

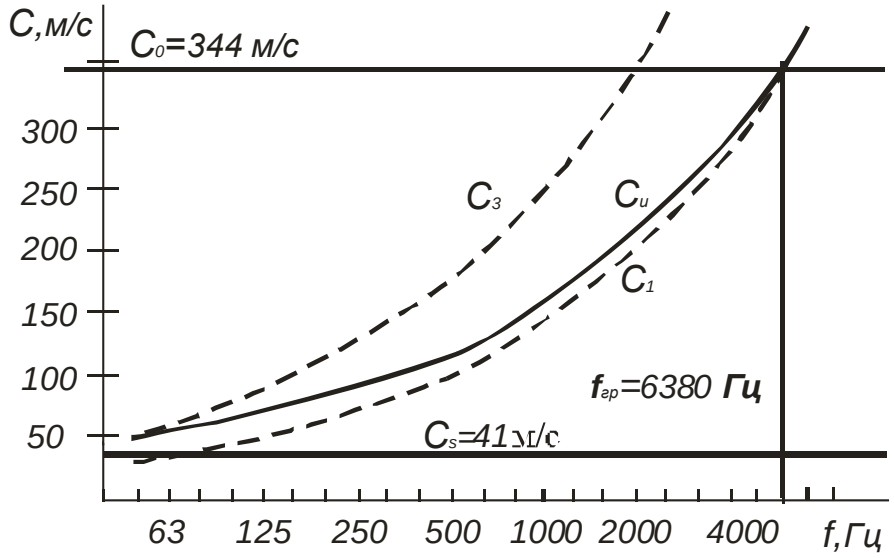


Рис. 2. Дисперсионная кривая слоистой вибродемпфированной панели, состоящей из двух листов дюралюминия толщиной по 2 мм и прослойки из поливинилбутираля толщиной 1 мм

Заметим также, что граничная частота волнового совпадения трехслойной панели находится в районе граничной частоты однослойной пластины равной массы, с цилиндрической жесткостью $\left(F - \frac{TLh_3}{N}\right)$.

В соответствии с изложенным при проектировании трехслойных ограждений, звукоизоляция которых во всем расчетном диапазоне частот определяется законом массы, необходимо выполнить, по меньшей мере, два требования. Первое требование: скорость сдвиговых волн среднего слоя, нагруженного с обеих сторон массой обкладок, должна быть меньше скорости звука в воздухе $c_s < c_0$. Второе требование: граничная частота некоторой пластины с поверхностной массой μ и цилиндрической жесткостью $\left(F - \frac{TLh_3}{N}\right)$ должна лежать выше расчетного диапазона частот, т.е.

$$\frac{c_0^2}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu N}{(FN - TLh_3)}} > f_{рас} \qquad (4)$$

Проведенные экспериментальные исследования звукоизоляции слоистых ограждений с вибродемфирующим материалом и жестким склеиванием листов (рис. 3) показали, что сдвиговые деформации делают существенный вклад в суммарное волновое синусоидальное движение панели в широкой области частот.

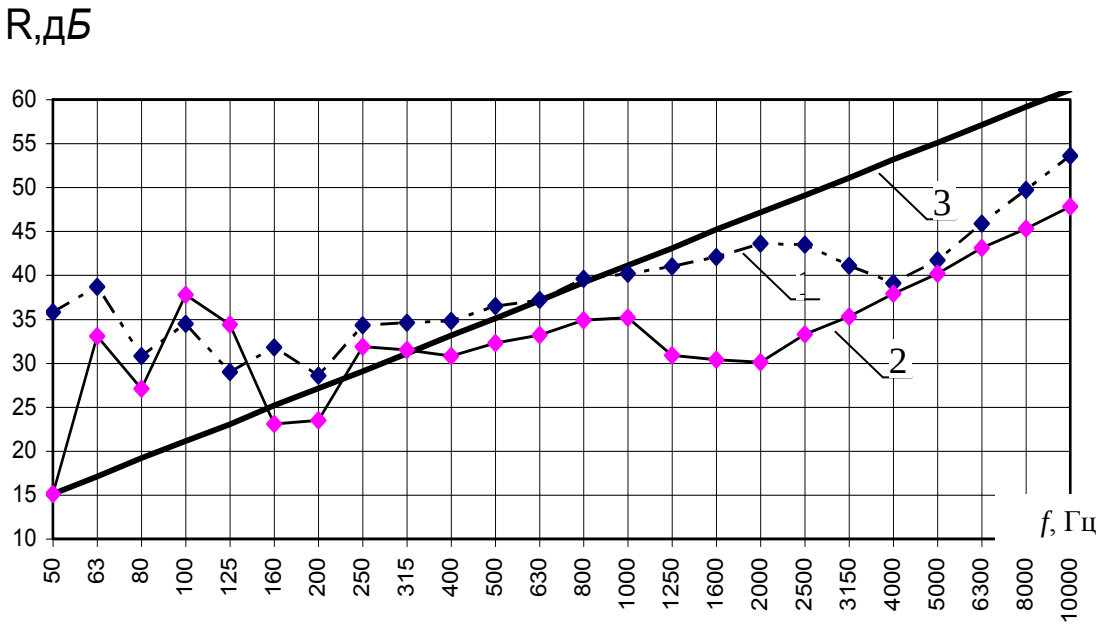


Рис. 3. Частотные характеристики звукоизоляции ограждений: 1 – два листа ГВЛ толщиной по 12мм с вклеенной прослойкой из элабита толщиной 3мм; 2 – два листа ГВЛ толщиной по 12мм склеенных между собой эпоксидной смолой; 3 – закон массы.

Следует только стремиться, чтобы скорость волн с преимущественным вкладом сдвига в среднем слое, нагруженном с обеих сторон массой обкладок, была меньше скорости звука в воздухе. Следует также стремиться и к тому, чтобы граничная частота волнового совпадения некоторой условной пластины со скоростью C_1, лежала выше расчетного диапазона частот.

Литература

1. Седов М.С., Кочкин А.А. О звукоизоляции слоистых вибродемфированных панелей ограниченных размеров. Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1987. № 8. – с. 55-58.
2. Седов М.С., Юлин В.И., Кочкин А.А. Расчет звукоизоляции облегченных ограждающих конструкций: Учеб. пособие. – Горький: ГИСИ им. В.П. Чкалова, 1985. – 55 с.

Изоляция воздушного шума междуэтажными перекрытиями с полами из деревянных элементов

Горин В.А., Клименко В.В.
Кубанский государственный технологический университет

Применяемые в гражданских зданиях конструкции комплексных ограждений, расчленяющих здания на этажи и состоящих из несущей и ограждающей частей – междуэтажные перекрытия, имеют сложный состав, который включает большое количество последовательно лежащих слоев.

Состав пола междуэтажного перекрытия включает покрытие пола (чистый пол), прослойку, стяжку, гидроизоляцию, звукоизоляцию.

Наличие этих слоев обуславливает необходимость удовлетворения большого набора требований, предъявляемых к междуэтажным перекрытиям, они включают в себя общетехнические, технологические, санитарно-гигиенические, эксплуатационные, специальные требования. [2]

Предъявляемые звукоизоляционные требования к междуэтажным перекрытиям определяются их местоположением (чердачное, междуэтажное, надподвальное) и функциями разделяемых помещений.

Все многообразие применяемых покрытий пола подразделяют на две основные группы [2]: покрытия пола из древесных материалов (штучный и мозаичный паркет, паркетная доска, паркетный щит, полы из пробки и другие) и покрытия пола из синтетических материалов (линолеумы, пвх-покрытия, ворсовые покрытия и т.д.).

Появление новых строительных материалов и методик устройства полов привело к созданию более сложных, с точки зрения состава, конструкций междуэтажных перекрытий.

Большое распространение в настоящее время получили конструкции с применением деревянных элементов пола, устраивающиеся "плавающим" способом, их конструктивные схемы были описаны и успешно использовались уже в течение нескольких десятилетий (мозаичный паркет, наклеенный оборотной стороной на эластичный материал, паркетная доска на слое древесноволокнистых плит), сейчас же эти конструктивные схемы широко применяются с использованием современных материалов (ламинат-паркет на подложке, ненесущие паркетные доски и щиты на подложках из вспененного полиэтилена, промышленной пробки и других материалов).

Влияние покрытия пола из деревянных элементов на изоляцию воздушного шума в различных конструкциях междуэтажных перекрытий не достаточно изучено, исключение составляют только однородные (однослойные) конструкции перекрытий с полами из линолеума на теплозвукоизоляционной подоснове, для которых разработаны аналитические методы оценки звукоизоляции. Известно, что такие конструкции ухудшают изоляцию воздушного шума на величину до 1 дБ.

Исследования изоляции воздушного шума междуэтажными перекрытиями с покрытием пола из деревянных элементов проводились в малых реверберационных камерах лаборатории строительной физики Кубанского государственного технологического университета.

При исследовании звукоизоляционных свойств перекрытий в малых реверберационных камерах применялся обычный, для подобных исследований, масштаб моделирования 1:5. При данном масштабе моделирования изоляция воздушного шума перекрытиями измерялась в диапазоне частот 500-16000 Гц (в натуре – 100-3200 Гц), а размер моделей в плане принимался равным 0,5×0,75 м.

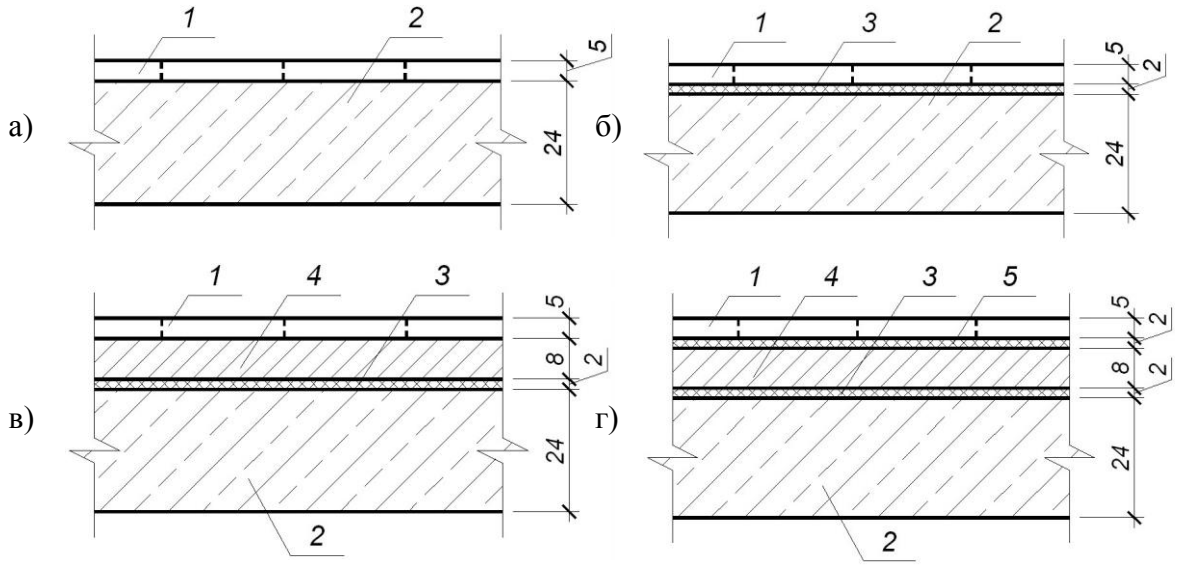


Рис. 1. Конструкции моделей исследуемых междуэтажных перекрытий
а – деревянное покрытие пола, уложенное по несущей плите перекрытия;
б – тоже, на упругой подложке; в – деревянное покрытие пола, уложенное по плавающей стяжке; г – тоже, на упругой подложке;
1 – фанера h=5 мм (береза) с пропилами глубиной 1,5 мм с двух сторон;
2 – сплошная железобетонная плита h = 24 мм; 3 – этафом h = 2 мм;
4 – прессованный асбестоцементный лист h=8мм;
5 – вспененный полиэтилен h = 2мм

Модель для исследования изоляции воздушного шума перекрытиями представлена сплошной железобетонной несущей плитой толщиной 24 мм, стяжкой из асбестоцементного листа толщиной 8 мм, этафома и вспененного полиэтилена толщиной 2 мм, применяемых в качестве подложек и звукоизоляционного слоя, покрытие пола, имитирующее штучный паркет изготовлено из березовой фанеры толщиной 3 мм и 5 мм, с пропилами с обеих сторон глубиной около 1 мм и 1,5 мм соответственно, шаг пропилов 20×100 мм (рис. 1).

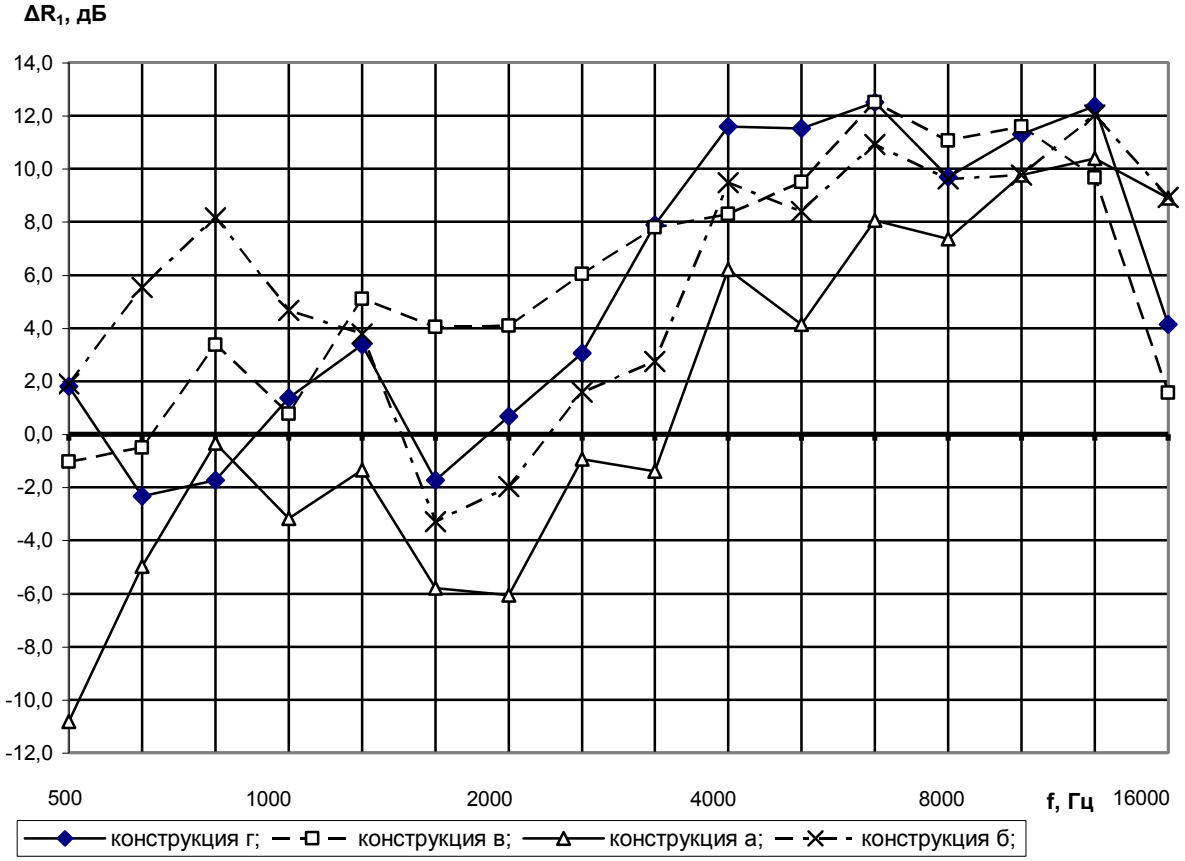


Рис. 2. Изоляция воздушного шума междуэтажными перекрытиями при устройстве пола из деревянных элементов

Влияние на изоляцию воздушного шума междуэтажными перекрытиями в нормируемом диапазоне частот за счет применения покрытия пола из деревянных элементов имеет место в конструкциях, состоящих из несущей плиты и уложенного по ней покрытия пола ΔR_1 (рис. 2).

Видно, что деревянное покрытие пола жестко соединенное с несущей плитой ухудшает изоляцию воздушного шума перекрытием в области частот 100-630 Гц (конструкция "а"). Применение упругой подложки под покрытием пола снижает звукоизоляционные свойства перекрытия на частотах 320-400 Гц (конструкция "б"). Лучшими звукоизоляционными свойствами обладает перекрытие с "плавающим" полом, у которого деревянное

покрытие жестко соединено со стяжкой (конструкция "в"). Применение упругой подложки под покрытие пола "плавающего" типа ухудшает изоляцию воздушного шума перекрытием.

Для оценки влияния на изоляцию воздушного шума междуэтажными перекрытиями различных конструкций покрытий полов из деревянных элементов необходимо разработать аналитические методы, позволяющие прогнозировать звукоизоляцию в процессе проектирования.

Литература

1. Руководство по прогрессивным методам организации и технологии работ при устройстве полов. – М.: Стройиздат, 1978. – 64 с.
2. Рекомендации по проектированию полов (в развитие СНиП 2.03.13-88 «Полы») МДС 31-1.98 / АО «ЦНИИПромзданий». – М.: ГУП ЦПП, 1998. – 68 с.
3. Полы жилых и общественных зданий / Е.Д. Белоусов, Е.М. Линде, А.С. Быков. – М.: Стройиздат, 1974. – 336 с.
4. В. Блази. Справочник проектировщика. Строительная физика. – М.: Техносфера, 2004. – 480 с.
5. Современное здание. Конструкции и материалы. А.А. Батищев, А.В.Волков, Е.Д. Карант и др. – М.-СПб: "НОВОЕ", 2004 – 704 с.
6. Устройство дощатых и паркетных полов / Мерклинг М.И., Савинов С.Г. – М.: Госстройиздат, 1961. – 160 с.

Оценка изоляции ударного шума конструкциями междуэтажных перекрытий с прокладочными материалами из песка

Сенан А.М.
Кубанский государственный технологический университет

По заказу Министерства здравоохранения республики Йемен, Кубанский государственный технологический университет выполняет работу по исследованию звукоизоляции различных конструкций междуэтажных перекрытий с полами по упругим прокладкам из песка. Наиболее распространенной конструкцией междуэтажного перекрытия применяемой при строительстве гражданских зданий является трехслойная (раздельная) конструкция, состоящая из несущей монолитной железобетонной плиты толщиной 120-140 мм, звукоизолирующей прослойки из песка и мозаичных или мраморных мелкоразмерных плит толщиной 25-30 мм, уложенных по слою цементно-песчаного раствора. Песок в междуэтажных перекрытиях используется в качестве выравнивающего слоя под покрытие пола и является достаточно дешевым местным строительным материалом. Звукоизоляционные свойства таких перекрытий пока недостаточно изучены. Отсутствуют сведения о динамических характеристиках звукоизоляционных прокладок из песка в широком диапазоне частот в зависимости от толщины слоя, изменения зернового состава, количества примесей. Не проводились исследования изоляции воздушного и ударного шумов такими перекрытиями в зависимости от физико-механических характеристик элементов покрытия пола и упругих прокладок из песка. Ниже, приведены результаты экспериментальных исследований динамических характеристик упругих прокладок из песка и звукоизоляции раздельных конструкций междуэтажных перекрытий с полами по упругим прокладкам из песка, применяемых при строительстве гражданских зданий в Йеменской Республике.

В Кубанском государственном технологическом университете собраны две установки для измерения динамического модуля упругости и коэффициента потерь в широком диапазоне частот, а также резонансным методом по ГОСТ 16297-80, при продольном колебании образца.

Исследования строительных песков различного зернового состава (с предельной крупностью от 0,25 до 1 мм) под нагрузкой 200÷400 кгс/м^2 показали, что динамический модуль упругости изменяется от $80 \cdot 10^4$ до $230 \cdot 10^4$ кгс/м^2. Различия в величинах, полученных на образцах разной толщины, не носят системного характера и в среднем составляют 15%. Их можно объяснить не влиянием толщины, а возможной неоднородностью самих образцов из сыпучих материалов. Для всех опытных образцов ха-

рактерно увеличение значений динамических характеристик с ростом частоты. В зависимости от зернового состава песка и величины напряжения, увеличение частоты от 100 Гц до 3200 Гц приводит к росту динамического модуля упругости в 1,6÷2,2 раза, а коэффициента потерь в 2,4÷3,4 раза.

Исследования звукоизоляции междуэтажных перекрытий в лабораторных условиях проводились по стандартной методике, в соответствии с требованиями ГОСТ 27297-87 «Звукоизоляция ограждающих конструкций. Метод измерений», в малых реверберационных камерах лаборатории акустики КубГТУ.

В качестве эталонной плиты перекрытия использовалась несущая железобетонная плита толщиной 2 мм, плотностью 2000 кг/м^3, что соответствует толщине плиты натурных размеров 120 мм (принятый масштаб моделирования 1:5). Плита пола представляла собой плоский асбестоцементный лист толщиной 10 мм. Между несущей плитой и полом располагался сплошной слой песка. Засыпки выполнялись из различных фракций природного песка и песка из отсевов дробления по ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний». Толщина слоя песка менялась от 8 мм до 16 мм, нагрузка на междуэтажное перекрытие – от 200 кг/м^2 до 500 кг/м^2. Модели перекрытий имели размеры в плане 500×750 мм.

Анализ полученных результатов измерений частотных характеристик звукоизоляции моделей перекрытий показал, что оптимальные значения изоляции воздушного и ударного шумов наблюдаются в случае устройства засыпки из природного песка фракции 0,14-0,315 мм, при толщине слоя 10 мм и песка из отсева дробления то же фракции, при толщине слоя 8 мм.

Увеличение толщины слоя из природного песка и песка из отсевов дробления свыше 8-10 мм улучшают изоляцию воздушного шума перекрытий во всем нормируемом диапазоне частот. При этом изоляция приведенного уровня ударного шума ухудшается в диапазоне низких частот (100-400 Гц), а в диапазоне средних и высоких частот медленно растет для прослоек из природного песка и заметно увеличивается для прослоек из отсевов дробления.

Разработка эффективных звукоизолирующих конструкций с учетом требований ресурсосбережения

Бобылёв В.Н., Тишков В.А., Монич Д.В.
Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет

При проектировании современных гражданских и промышленных зданий одной из основных задач является обеспечение требуемой звукоизоляции ограждающих конструкций без увеличения материалоемкости. Для того, чтобы правильно решить эту задачу, т. е. запроектировать эффективное звукоизолирующее ограждение, прежде всего, необходимо знание механизма прохождения звука через ограждающие конструкции и его использование в зависимости от объемно-планировочного и конструктивного решения здания.

На кафедре архитектуры ННГАСУ исследования механизма прохождения звука через ограждения зданий проводятся школой профессора М.С. Седова. На базе данных исследований была разработана теория звукоизоляции ограждающих конструкций конечных геометрических размеров, получившая название «Теория самосогласования волновых полей» [1], [2].

Базовым элементом практически всех ограждающих конструкций в здании является однослойное плоское ограждение. Рассмотрим однослойную тонкую ограждающую конструкцию (пластину), установленную между «шумным» и «тихим» помещениями. Согласно теории [1] механизм прохождения звука через ограждение имеет двойственную природу – резонансное и инерционное прохождение.

Звуковые волны, падающие на пластину, возбуждают в ней свободные упругие и инерционные (чисто вынужденные) волны. Инерционные колебания формируются однородной вынужденной волной и краевыми неоднородными вынужденными волнами и распространяются со скоростью следа падающей звуковой волны. Скорость распространения инерционных волн не зависит от упругих характеристик ограждения и управляется только его массой [1].

С учетом двойственной природы прохождения звука, общая звуковая мощность, излучаемая рассматриваемой пластиной, запишется как:

$$W_2 = W_{2С} + W_{2И}, \qquad (1)$$

где $W_{2С}$ – мощность, излучаемая упругими волнами, $W_{2И}$ – мощность, излучаемая инерционными волнами.

Тогда выражение звукоизоляции принимает следующий вид [2]:

$$R = 10\lg\frac{W_1}{W_2} = 10\lg\frac{W_1}{W_{2С} + W_{2И}}, \qquad (2)$$

где W_1 – мощность падающих звуковых волн.

В области частот ниже граничного полного пространственного резонанса (ППР), т. е. для звуковых частот $f < f_{Гmn}$ формула для определения звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций имеет вид [2]:

$$R = 10\lg\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2}\frac{\mu^2 \cdot f^2}{\left(\dfrac{F_И^2}{\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_{2И}} + \dfrac{\pi}{1{,}15}\cdot\dfrac{A^4}{2\cdot\eta\cdot\cos\theta_1\cdot\cos\theta_{2С}}\right)}, \qquad (3)$$

где μ – поверхностная плотность ограждения; η – коэффициент потерь материала; θ_1 – угол падения звуковых волн на ограждение (для диффузного звукового поля используется усредненное значение $\theta_{ср} = 51^0{,}75\ldots$ [2]); $\theta_{2И}$, $\theta_{2С}$ – углы излучения звуковых волн инерционными и свободными волнами соответственно; $F_И$ – функция отклика ограждающей конструкции в режиме инерционных колебаний; $A^4 = A_1^2 \cdot A_2^2$ – характеристика самосогласования звуковых полей перед и за панелью (A_1 и A_2 соответственно) с волновым полем собственных колебаний ограждения:

$$A = \frac{\int_0^a\int_0^b \sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b}\sin\frac{m_0\pi x}{a}\sin\frac{n_0\pi y}{b}\,dx\,dy}{\int_0^a\int_0^b \sin^2\frac{m_0\pi x}{a}\sin^2\frac{n_0\pi y}{b}\,dx\,dy}, \qquad (4)$$

где m, n – числа, характеризующие собственное волновое поле ограждающей конструкции; m_0, n_0 – числа, характеризующие звуковое поле в плоскости ограждения.

Для частот выше граничного ППР ($f > f_{Гmn}$) звукоизоляция ограждений вычисляется по формуле [2]:

$$R = 10\lg\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2}\frac{\mu^2 \cdot f^2}{\left(\dfrac{F_И^2}{\cos\theta_1\cdot\cos\theta_{2И}} + \dfrac{\pi}{8}\cdot\dfrac{f_{Гmn}\cdot\bar{s}_{mn}}{f\cdot\eta\cdot\cos\theta_1\cdot\cos\theta_{2С}}\right)}, \qquad (5)$$

где $\bar{s}_{mn}$ – коэффициент излучения панели, усредненный по полосе пропускания звука Δf.

В знаменателях выражений (3) и (5) первое слагаемое в круглых скобках характеризует инерционное прохождение звука через ограждение, а второе слагаемое – резонансное прохождение. Используя выражения (3) и (5), можно построить частотную характеристику звукоизоляции строительного ограждения с учетом его реальных геометрических размеров, толщины, коэффициента потерь материала и частоты звука.

По результатам проведенных теоретических исследований определена основная задача проектирования эффективных звукоизолирующих ограждений с учетом требований ресурсосбережения: необходимо максимально использовать внутренние резервы звукоизоляции ограждающих конструкций, которые определяются соотношением инерционного и резонансного прохождения звука. [3].

Резервы звукоизоляции количественно можно охарактеризовать как разницу между собственной звукоизоляцией ограждения, и ее предельными значениями:

$$\Delta r = R_{\text{пред}} - R, \tag{6}$$

где Δr, дБ – величина резонансных отклонений, характеризующая снижение звукоизоляции ограждения относительно своих предельных значений за счет резонансного прохождения звука; $R_{\text{пред}}$, дБ – предельная звукоизоляция ограждения конечных геометрических размеров; R, дБ – собственная звукоизоляция ограждения конечных размеров.

Предельная звукоизоляция ограждающей конструкции соответствует случаю, когда резонансное прохождение звука отсутствует ($W_{2C} = 0$ в формуле (2)), а излучение звука в изолируемое помещение происходит только с инерционными волнами. Величина предельной звукоизоляции ограждения определяется только его поверхностной плотностью, геометрическими размерами и текущей частотой звука и не зависит от самосогласования волновых полей и коэффициента потерь [1].

Рассмотрим резервы звукоизоляции ограждающей конструкции на примере гипсоволокнистого листа (ГВЛ). На рис. 1 представлены частотные характеристики звукоизоляции данного ограждения, определенные по формулам (3), (5). Область резервов звукоизоляции, определенная по формуле (6), выделена штриховкой. Анализируя представленные данные, можно видеть, что наибольшие резонансные отклонения и, соответственно, наибольшие резервы звукоизоляции расположены вблизи граничной частоты ППР ($f_{\Gamma mn}$) для данного ограждения. Заметим, что расположение области наибольших резервов звукоизоляции на частотной шкале зависит от соотношения цилиндрической жесткости и поверхностной плотности ограждающей конструкции D/μ. Если это соотношение относительно велико (например, для гипсобетонной панели толщиной 80 мм D/μ = 741 м^4/с^2), то область резервов звукоизоляции расположена на средних ча-

стотах. При уменьшении соотношения (для ГВЛ D/μ = 48 м^4/с^2) область резервов смещается в сторону высоких частот.

Из рассмотрения формул (1) и (6) можно видеть, что для использования резервов звукоизоляции ограждающих конструкций необходимо максимально снижать резонансную составляющую W_{2C} в выражении суммарной звуковой мощности, излучаемой ограждением в изолируемое помещение. С этой целью на кафедре архитектуры ННГАСУ разработана технология повышения звукоизоляции строительных ограждений без увеличения их материалоемкости [3], [4]. Данная технология применяется при проектировании ненесущих ограждающих конструкций – перегородок в зданиях, облицовок кабин наблюдения, кожухов машинного и вентиляционного оборудования и т.п.

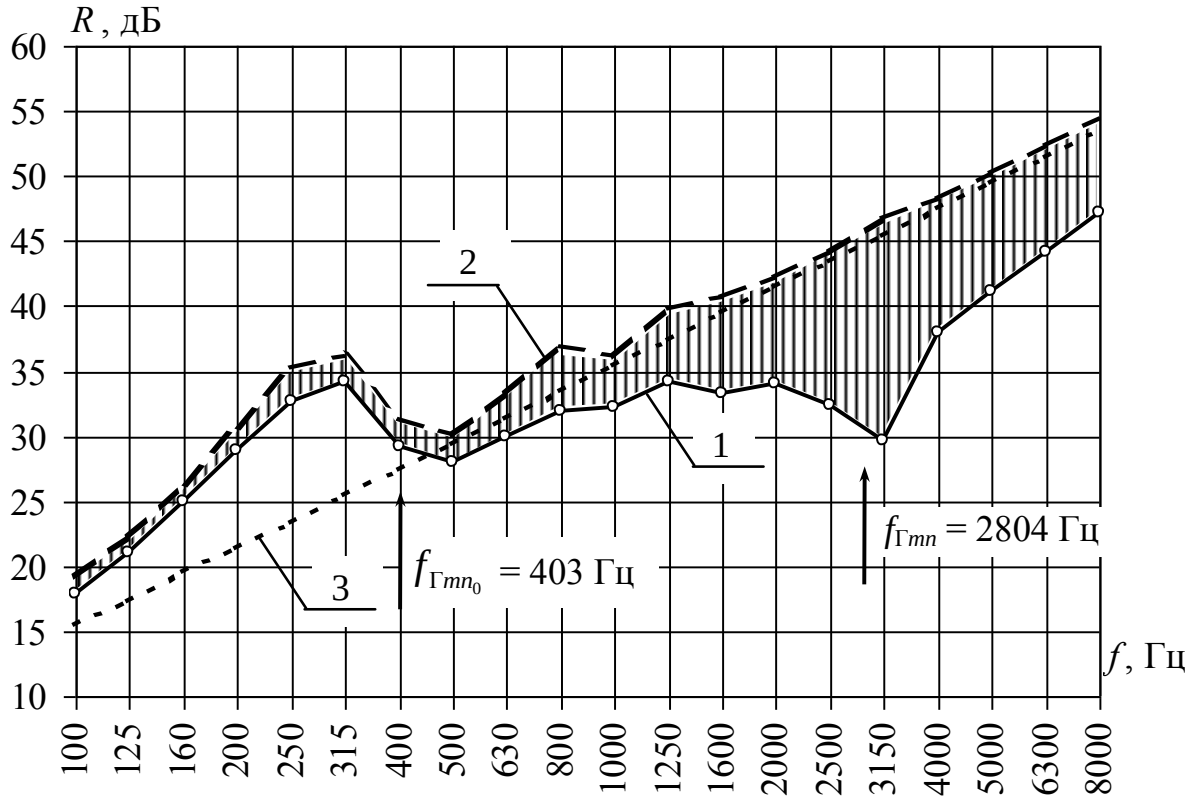


Рис. 1. Частотные характеристики звукоизоляции ГВЛ
(a x b = 1,0 x 0,5 м, h = 12,5 мм, μ = 13,9 кг/м^2, D = 672 Па·м^3):
1 – собственная звукоизоляция; 2 – предельная звукоизоляция; 3 – закон масс

Основой данной технологии является следующее положение: резонансное прохождение звука через ограждение снижается при уменьшении соотношения D/μ [4]. При неизменной массе конструкции это достигается путем снижения цилиндрической жесткости при ослаблении поперечного сечения (ОПС). ОПС ограждающих конструкций выполняется путем нане-

сения на их поверхность продольных и поперечных несквозных прорезей. Параметры ОПС, т.е. глубина и шаг прорезей определяются по расчету [5]. Изменение звукоизоляции ограждения при нанесении прорезей впервые было экспериментально обнаружено Л. Кремером на образцах из фанеры.

На рис. 2 приведены экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции ГВЛ до и после ОПС, измеренные в малых реверберационных камерах лаборатории акустики ННГАСУ. Частотная шкала начинается с граничной частоты диффузности измерительных камер (500 Гц).

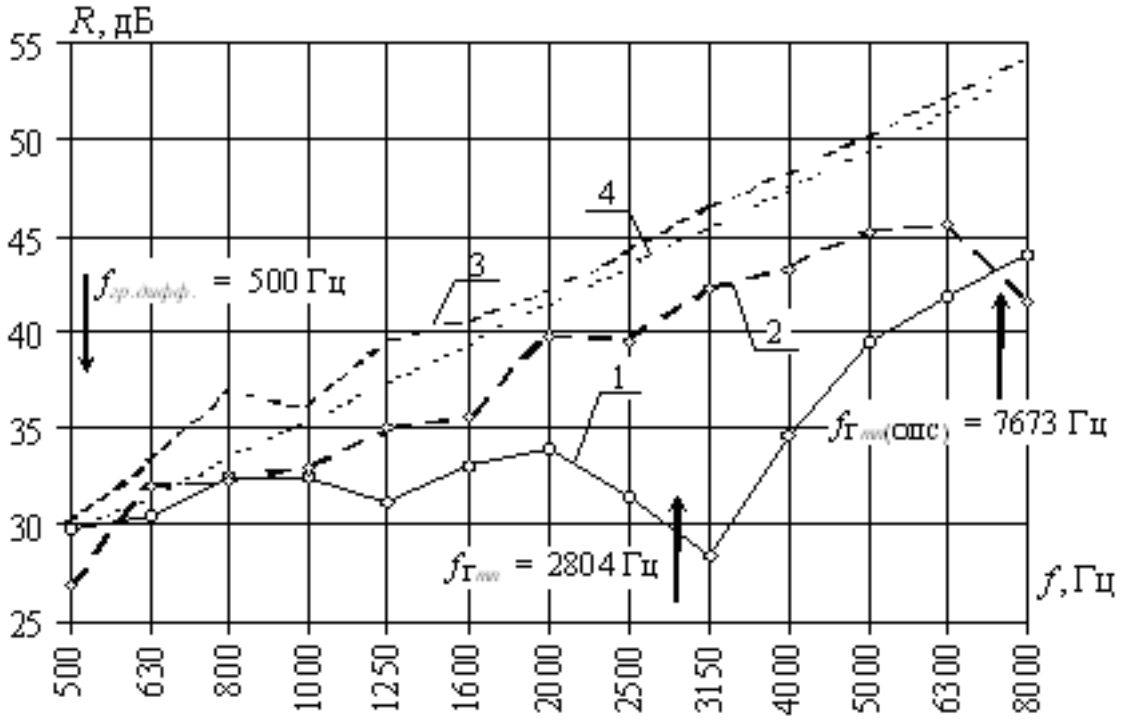


Рис. 2. Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции ГВЛ (a x b = = 1,0 x 0,5 м):
1 – до ОПС (h = 12,5 мм, μ = 13,9 кг/м^2, D = 672 Па·м^3);
2 – после оптимального ОПС ($h_{ОПС}$ = 6 мм, $\mu_{ОПС}$ = 13,3 кг/м^2, $D_{ОПС}$ = 88 Па·м^3);
3 – предельная звукоизоляция; 4 – закон масс

Из рассмотрения рис. 2 видно, что путем ОПС гипсоволокнистого листа можно использовать значительные резервы звукоизоляции в области высоких частот (f > 1000 Гц). После ОПС ограждения его цилиндрическая жесткость снизилась в 7,6 раза, что привело к смещению граничной частоты ППР на более высокие частоты (на 1,5 октавы). При этом расширилась область неполных ПР и звукоизоляция панели повысилась благодаря рассогласованию звуковых полей с собственным волновым полем пластины и снижению резонансного прохождения звука при этом.

Для практического применения ограждающих конструкций с ОПС основным условием является скрытие поверхности с прорезями. Это необходимо из условий обеспечения прочности пропиленной поверхности (она не должна разрушаться при монтаже и эксплуатации конструкции). Для решения данной задачи была разработана комбинированная ограждающая конструкция, которая состоит из двух ГВЛ одинаковой толщины, расположенных вплотную друг к другу (без склеивания поверхностей). При этом одна из панелей – с ОПС, а вторая без ОПС.

На рис. 3 представлены экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции разработанного ограждения в сравнении со стандартным ограждением, используемым в качестве облицовок каркасных перегородок по системе «Кнауф» (двойной ГВЛ той же толщины, но без ОПС).

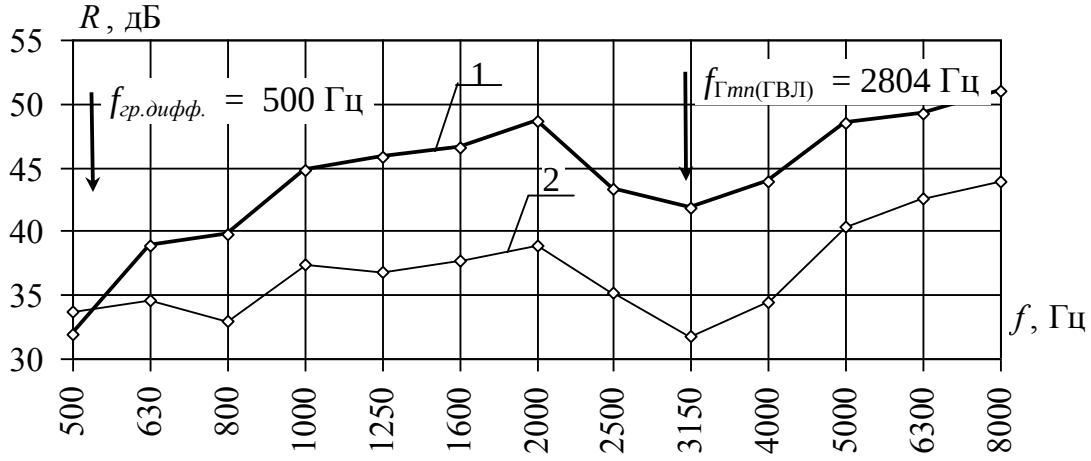


Рис. 3. Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции двойного ГВЛ (a x b = 1,0 x 0,5 м):
1 – ГВЛ + ГВЛ с ОПС (μ = 25,4 кг/м^2); 2 – ГВЛ + ГВЛ (μ = = 27,8 кг/м^2)

Из анализа представленных зависимостей видно, что применение технологии ОПС позволило значительно улучшить звукоизоляцию комбинированной ограждающей конструкции в диапазоне средних и высоких частот. Отметим, что разработанная технология была опробована и доказала свою эффективность для различных типов ограждающих конструкций – панели из оргстекла, ДСП, фанеры, стали, ГВЛ, гипсобетона.

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что технология ОПС позволяет разрабатывать эффективные звукоизолирующие ограждения зданий и сооружений без увеличения их материалоемкости, т.е. путем использования внутренних резервов.

Литература

1. Седов М.С. Звукоизоляция [Текст]/Л.Г. Балишанская, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов, М.С. Седов и др./Справочник "Техническая акустика транспортных машин": Под ред. Н.И. Иванова.–СПб.: Политехника, 1992.–Глава 4–С.68–106
2. Седов М.С. Прогнозирование и измерения звуковой среды: учеб. пособие [Текст] /М.С. Седов, В.Н. Бобылев, В.А. Тишков и др.– Н.Новгород: ННГУ,1991.–67 с.
3. Монич Д.В. Повышение звукоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений без увеличения их массы [Текст]/Д.В. Монич/Автореф. дис. канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2002. – 24 с.
4. Монич Д.В. Резервы повышения звукоизоляции ограждающих конструкций [Текст]/В.Н. Бобылев, В.А. Тишков, Д.В. Монич, Д.Л. Щеголев//Сборник трудов 12-го Российско-Польского научного семинара «Теоретические основы строительства». Варшава: OWPW, 2003–С. 237–244
5. Монич Д.В. Оптимальные параметры звукоизолирующих ограждений [Текст]/В.Н. Бобылев, В.А. Тишков, Д.В. Монич//Сб. трудов XV сессии Российского акустического общества.Том III. М.: ГЕОС, 2004–С. 135–139.

Разработка новых строительных материалов с повышенными совмещенными свойствами изоляции ударного шума междуэтажных перекрытий

Кормилицын В.И., Ганиев С.Р., Пустовгар А.П.
Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН

Интенсивное развитие транспортных коммуникаций, повышение плотности городской застройки, увеличение звуковых воздействий машин и механизмов на рабочих местах и рост шумовых воздействий в жилых помещениях требуют от проектировщиков и строителей применения при возведении зданий и сооружений эффективных звукоизоляционных материалов. Практикуется раздельное изготовления несущих строительных материалов и материалов звукоизоляции, что при строительстве сооружений существенно усложняет их конструктивное исполнение. Здесь несомненный интерес представляют новые материалы, которые сочетают в себе не только конструкционные и конструркционно-теплоизаляционные своейства, но и звукоизоляционные. Основой для получения новых материалов может быть пенобетон, который относится к виду ячеистых бетонов, которые в свою очередь относятся к классу воздухонаполненных материалов. В обычном понимании пенобетон – это взбитый (аэрированный, поризованный) цементный раствор. Его пористость создается не только сферическими ячейками, но и капиллярными порами. Трудностями в достижении материалов с высокими звукоизоляционными свойствами является получение структуры пенобетонов со строго распределенной структурой сферических ячеек воздуха без капиллярных пор. Решение данной проблемы базируется на теории нелинейной волновой механики и технологии, разработанной в Научном центре нелинейной волновом механики и технологии РАН.

В отличие от известных способов изготовления пенобетонов и газобетонов, когда в пенобетонах осуществляют поризацию введением пенообразователей, а в газобетоне за счет веществ, выделяющих газ при химических реакциях, которые и поризуют смесь, нами применен метод непосредственного насыщения воздухом в прямоточном гидродинамическом потоке рабочей массы в сочетании с минимальным применением растворных смесей с поверхностно-активными добавками, снижающими поверхностное натяжение воды и удерживающими вовлеченный при обработке рабочей массы воздух.

В докладе рассматриваются результаты полученного пенобетона по дисперсионным характеристикам, и применению его как нового материала в качестве несущей строительной конструкции, так и как изоляция ударного шума междуэтажными перекрытиями.

По виду и характеру распространения в помещении различают два вида шума: воздушный и структурный. При передаче воздушного шума вибрации создаются, например, разговорной речью, динамиками работающих телевизоров или работающими двигателями автомобилей, что приводит к колебательным движениям частиц воздуха, которые при достаточной энергии источника звука передаются через ограждающие конструкции (стены, перегородки, окна, междуэтажные перекрытия).

Источником структурного шума может быть любое механическое действие, например, ходьба по полу, падение предметов, механические удары по ограждающим конструкциям. При структурном шуме звуковая волна возникает в самом материале и распространяется как по строительным конструкциям, так и воздуху.

Несмотря на большое количество предлагаемых изоляционных материалов и технологий по защите от шума междуэтажных перекрытий, практическое решение этой проблемы до сих пор оставляет желать лучшего. Как правило, для достижения высокого уровня звукоизоляции помещений от воздушного шума необходимо, чтобы ограждающая конструкция была выполнена из плотных материалов и была достаточно массивной. Напротив, для изоляции от ударного шума необходимы материалы с небольшой плотностью, обладающие высокой звукопоглощающей способностью и имеющие строго определенную поровую структуру.

Для оценки изоляции ударного шума используют стандартную ударную машину с пятью молотками свободно падающими с заданной высоты. Полученные уровни звукового давления под перекрытием приводят к октавным полосам частот и единому звукопоглощению, а затем сравнивают с нормативными. Практика показала, что обеспечить нормативные требования изоляции ударного шума с помощью только плит перекрытия практически невозможно. Так, удвоение толщины плиты перекрытия снижает приведенный уровень ударного шума на 9 дБ, а такое же увеличение плотности, модуля упругости и коэффициента потерь повышает изоляцию ударного шума соответственно на 4,5; 1,5 и 3 дБ. /1/. Поэтому для обеспечения требуемого уровня звукоизоляции ударного шума перекрытий требуются дополнительные конструктивные мероприятия при устройстве полов. Для этих целей применяются различные конструкции, полы по лагам и упругим прокладкам, рулонные полы цементные стяжки и т.д. Однако реализация существующих конструктивных решений не всегда приводит к эффективному решению проблем защиты от шума, так, например, широко распространенные полы по деревянным лагам с заполнением звукопоглощающими материалами зачастую, не являются преградой для ударного шума.

Создание экономичных конструкций такого рода стало возможным после разработки дисперсно-армированного поробетона на основе модифицированного гипсового вяжущего. Поробетон на основе гипсовых вяжущих с использованием модификатора гипса – новое развивающееся направление производства сухих строительных смесей, которое может быть организованно на любом из профильных предприятий, а так же на заводах по производству гипсовых вяжущих при минимальных финансовых затратах и незначительных технологических изменениях.

При использовании технологий сухих строительных смесей для производства поробетона решается проблема контроля качества материала на строительной площадке, т.к. контроль качества сухой смеси гипсопоробетона проводиться в лаборатории завода изготовителя. А возможность доставки на строительную площадку сухой смеси гипсопоробетона как в мешках, так и в силосах позволяет широко применять механизированные технологии производства работ с использованием небольших мобильных установок.

Использование гипсопоробетона в конструкциях полов приводит к снижению частоты собственных колебаний и соответственно к снижению уровня ударного шума. Конструктивный прием уплотнения верхнего слоя гипсопоробетона позволяет создать равномерно распределенный слой с высокой поверхностной плотностью. При этом жесткость элементов пола составляет 1/28 от жесткости несущей плиты перекрытия при изгибе. В данной конструкции, также, происходит значительное рассогласование частот собственных колебаний слоев (упрочненный верхний слой, дисперсно-армированная гипсопоробетонная стяжка и плита перекрытия), что дает дополнительный эффект повышения звукоизоляции. Существенным преимуществом дисперсно-армированного гипсопоробетона является сохранение своих вязкоупругих свойств в течение всего нормативного срока эксплуатации здания. Результаты, полученные при проведении экспериментальных исследований изолирующей способности нового материала к ударному шуму позволяют рекомендовать дисперсно-армированный гипсопоробетон как эффективный материал для изоляции от ударного шума междуэтажных перекрытий, что является одним из путей решения проблемы снижения шума в жилых застройках.

Литература

1. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. – М.: Стройиздат, 1986. – 175 с.
2. Ячеистые бетоны с пониженной объемной массой./ Под ред. А.Т. Баранова и В.В. Макаричева. – М.: Стройиздат, 1974.- 118 с.
3. Инженерно-химические проблемы пеноматериалов третьего тысячелетия/ Под ред. Л.Б. Сватовской: Сб. науч. трудов.- Санкт-Петербург: ПГУПС, 1999. – 115 с.

Теоретические исследования механизма прохождения направленного звука через светопрозрачные конструкции

Бобылёв В.Н., Тишков В.А., Щёголев Д.Л.
ГОУ «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Шум, проникающий в помещения жилых и общественных зданий от внешних источников, является одним из наиболее весомых факторов, негативно влияющих на общий акустический комфорт в таких помещениях. При теоретическом рассмотрении механизма прохождения диффузного звука через ограждение принимается средний угол падения звуковой волны, имеющий постоянное значение $\theta = 51{,}75°$. Однако в реальных условиях внешней среды часто встречаются случаи направленного падения звука от различных источников на ограждающие конструкции зданий. Примером тому может служить распространение городского шума, источниками которого являются городской наземный транспорт, воздушный транспорт, строительные машины и механизмы, внутридворовые источники шума и т.п. Каждый из этих источников шума с учетом их удаленности можно рассматривать как точечный или линейный источник звука, звуковые волны которого падают на ограждения зданий, встречающихся на пути их распространения, под некоторым углом. В этой связи особенно актуальным является исследование всех факторов, влияющих на собственную звукоизоляцию наружных светопрозрачных ограждающих конструкций, в том числе, и угла падения звука [1].

Теоретические исследования механизма прохождения направленного звука через светопрозрачные ограждающие конструкции выполнены на основании современной теории самосогласования волновых полей, разработанной на кафедре архитектуры ННГАСУ школой профессора М.С. Седова. Теория самосогласования устанавливает двойственную природу прохождения звука через конструкции – резонансную (в режиме собственных колебаний) и инерционную (в режиме вынужденных колебаний) [2].

В результате проведенных исследований получены расчетные выражения для определения коэффициентов резонансного и инерционного прохождения звука, а также звукоизоляции светопрозрачных ограждающих конструкций, позволяющие проводить анализ влияния угла падения на интенсивность прохождения звука в режиме собственных и вынужденных колебаний.

При рассмотрении звукоизоляции светопрозрачных ограждений при угловом падении звуковых волн в режиме резонансных колебаний необходимо установить влияние на прохождение звука согласования звуковых полей в плоскости ограждения с волновым полем собственных колебаний конструкции.

Основным параметром, отражающим степень согласования волновых полей ограждения и звуковых полей в плоскости пластины является характеристика самосогласования A [3]. На рис. 1 представлены частотные характеристики самосогласования звуковых и волновых полей, построенные для пластины из силикатного стекла толщиной 4 мм при различных углах падения звука.

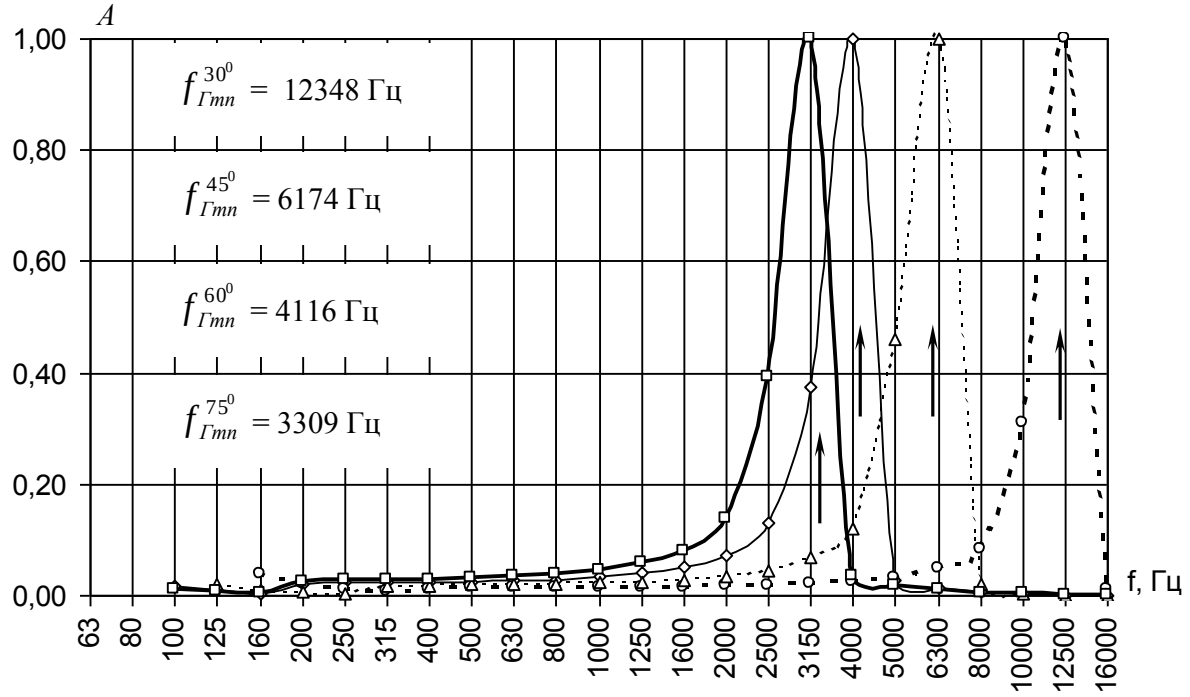


Рис. 1. Частотные зависимости характеристики самосогласования для пластины из силикатного стекла толщиной 4 мм при углах падения звука 30°, 45°, 60° и 75°

В соответствии с теоретическими основами резонансного прохождения направленного звука через светопрозрачное ограждение характеристика самосогласования для области частот неполных пространственных резонансов (НПР), области частот простых пространственных резонансов (ПрПР) и для области частот кратных простых пространственных резонансов (КПрПР) зависит от чисел длин полуволн по сторонам пластины m, n, m_0, n_0, а также от числа собственных частот ΔN_P в каждой полосе пропускания звука Δf. Изменение угла падения звука на ограждающую конструкцию приводит к изменению соотношения характеристик собственного волнового поля пластины со звуковым полем в плоскости ограждения и, как следствие, к изменению значений характеристики самосогласования (см. рис. 1).

На рис. 2 приведены частотные характеристики коэффициента резонансного прохождения звука τ_C для силикатного стекла толщиной 4 мм с нанесенными граничными частотами неполных и полных пространственных резонансов, вычисленными для различных углов падения звука.

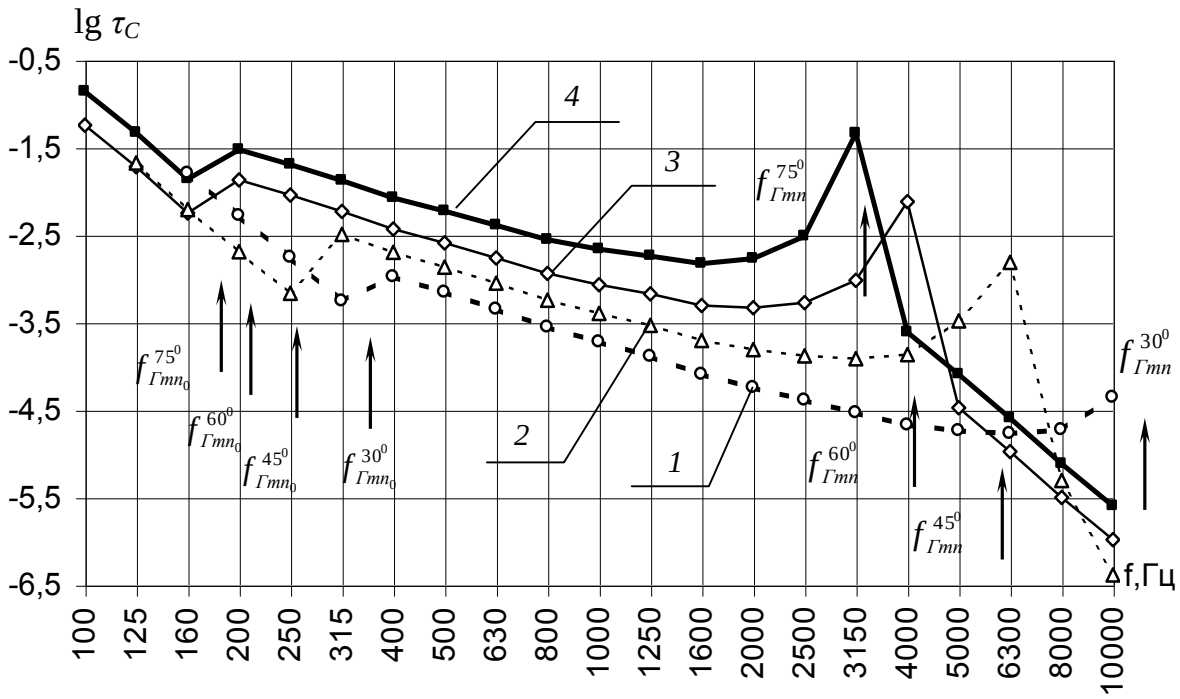


Рис. 2. Частотные характеристики коэффициента резонансного прохождения звука, построенные для стекла толщиной 4 мм при углах падения звука: *1* – 30º; *2* – 45º; *3* – 60º; *4* – 75º

Из рассмотрения рис. 1 и 2 видно, что в случае направленного падения звука на ограждение конечных размеров граничная частота пространственного резонанса $f_{Гmn}^{\theta}$ значительно смещается по частотной шкале, определяя тем самым область повышенного прохождения звука на высоких частотах.

В области частот НПР ($f_{Гmn_0} < f < f_{Гmn}$) на прохождение звука значительное влияние оказывает характеристика самосогласования волновых полей пластины и звуковых полей в плоскости ограждения, находящаяся с коэффициентом резонансного прохождения звука в прямо пропорциональной зависимости. На граничной частоте пространственного резонанса прохождение направленного звука в режиме собственных колебаний определяется коэффициентом излучения. Он находится в обратно пропорциональной зависимости от угла падения и угла излучения звука.

Анализируя представленные на рис. 1 и 2 частотные зависимости характеристики самосогласования и коэффициента резонансного прохождения звука, можно сделать следующие выводы:

– при изменении угла падения звука происходит смещение по частотной шкале граничных частот ($f_{Гm_0n_0}$, $f_{Гmn_0}$, $f_{Гmn}$) расчетных областей;
– коэффициент резонансного прохождения звука в областях частот ПрПР, НПР и КПрПР определяется значениями характеристик самосогласования волновых полей, зависящих от угла падения звука.

При инерционном прохождении звука характеристикой начального состояния ограждения можно считать смещение при таких вынужденных колебаниях, которые формируются однородной вынужденной волной, являющейся следом падающей звуковой волны, и краевыми неоднородными вынужденными волнами, которые отличаются от краевых неоднородных свободных волн скоростью распространения, особенно на низких частотах.

Однородная вынужденная волна является следом падающей звуковой волны, поэтому распространение инерционных волн происходит со скоростью $c_И = c_0/sin\theta$. При этом амплитуда смещений конструкции зависит от угла падения звука и массы ограждающей конструкции.

Основной характеристикой колебаний ограждения при его инерционном движении является функция отклика $F_И$ [2].

На рис. 3 дано графическое представление функции отклика для пластины из силикатного стекла толщиной 4 мм размером в плане 1,13 м × 1,13 м при углах падения звука θ = 30°; 45°; 60° и 75°.

На рис. 4 представлены частотные характеристики коэффициента инерционного прохождения звука $\tau_И$ для силикатного стекла толщиной 4 мм с нанесенными граничными частотами $f_{Г.и}$, определяющими повышенное инерционное прохождение звука.

Анализируя представленные графики (рис. 3 и 4), можно отметить, что при увеличении угла падения звука на ограждение увеличивается и отклик пластины, особенно в области низких частот [4]. По мере увеличения частоты отклик пластины стабилизируется, а функция отклика $F_И \to 1$.

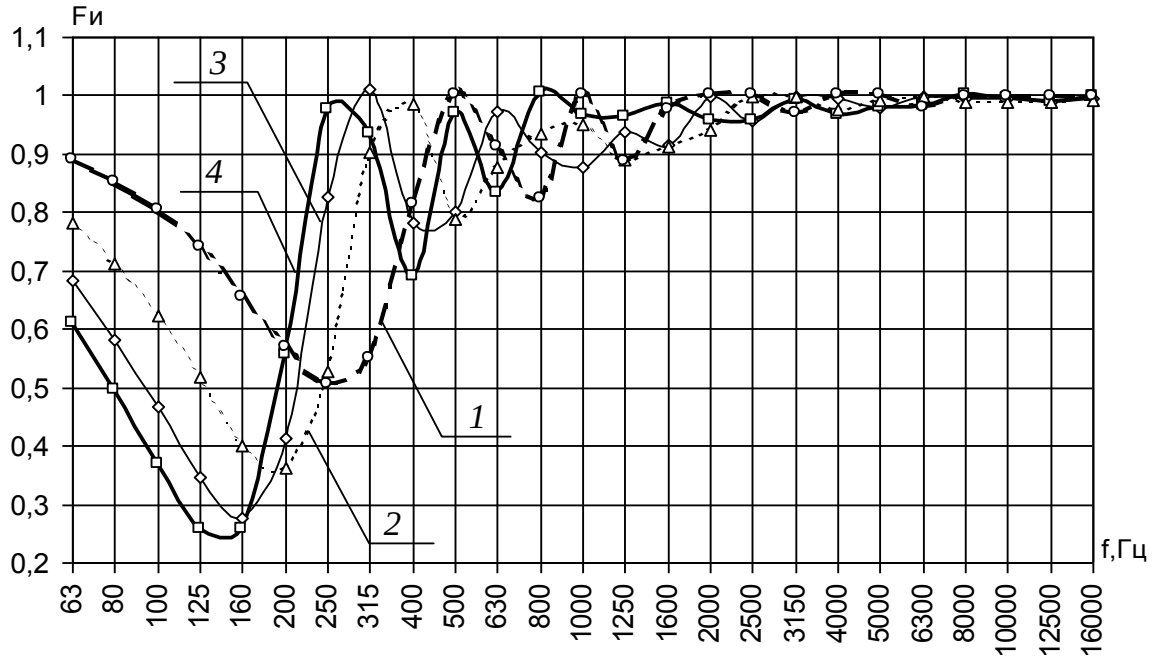


Рис. 3. Частотные характеристики функции отклика для пластины из силикатного стекла размерами в плане 1,13 м х 1,13 м при углах падения звука: *1* – 30°; *2* – 45°, *3* – 60°; *4* – 75°

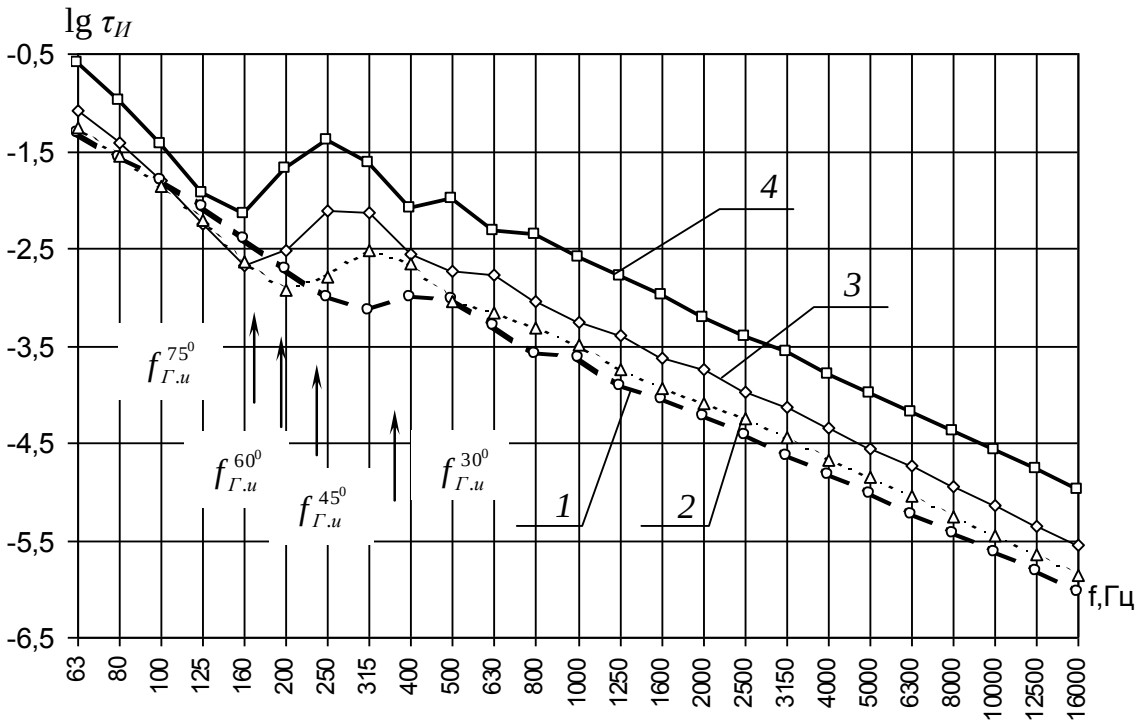


Рис. 4. Частотные характеристики коэффициента инерционного прохождения звука, построенные для силикатного стекла толщиной 4 мм размерами в плане 1,13 м х 1,13 м при углах падения звука:

1 – угол 30° с $f_{Г.и}^{30^0}$ = 340 Гц; *2* – угол 45° с $f_{Г.и}^{45^0}$ = 241 Гц,

3 – угол 60° с $f_{Г.и}^{60^0}$ = 196 Гц; *4* – угол 75° с $f_{Г.и}^{75^0}$ = 176 Гц

На рис. 5 представлено сравнение частотных характеристик звукоизоляции пластины из силикатного стекла толщиной 4 мм, полученных теоретическим путем для различных углов падения звука. На графике также нанесены граничные частоты расчетных областей.

Из рассмотрения рис. 5 видно, что при уменьшении угла падения звука на светопрозрачное ограждение, его звукоизолирующая способность значительно увеличивается, особенно в области средних и высоких частот. Таким образом, при изменении угла падения звука можно выявить значительные резервы повышения звукоизоляции светопрозрачных ограждений при неизменном конструктивном решении.

В результате проведенных исследований были получены количественные соотношения, связывающие звукоизоляцию ограждений с углами падения звука, и разработан инженерный метод расчета звукоизоляции светопрозрачных ограждений при направленном падении звука. Это дает возможность по-новому конструировать наружные светопрозрачные ограждающие конструкции и находить оптимальные планировочные решения как при проектировании отдельных зданий и сооружений, так и при комплексной застройке городской территории, расположенной в зоне повышенного действия транспортного или иного городского шума.

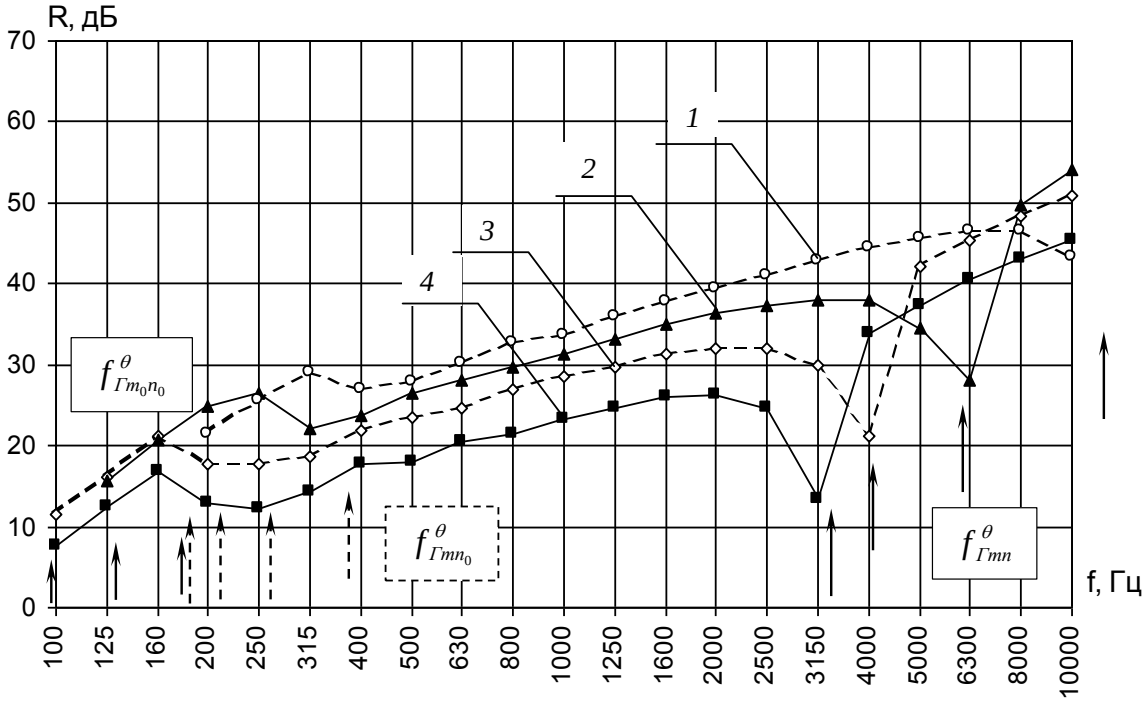


Рис. 5. Теоретические частотные характеристики звукоизоляции пластины из стекла толщиной 4 мм размерами в плане 1,13 м х 1,13 м при различных углах падения звука θ: *1* – угол падения 30˚; *2* – угол падения 45˚; *3* – угол падения 60˚; *4* – угол падения 75˚;
$f^{\theta}_{Гmn}$ – граничные частоты полных пространственных резонансов;
$f^{\theta}_{Гmn_0}$ – граничные частоты областей неполных пространственных резонансов;
$f^{\theta}_{Гm_0n_0}$ – граничные частоты областей простых пространственных резонансов

Литература

1. Седов, М.С. Расчет звукоизоляции однослойных конструкций при направленном падении звука: курс лекций [Текст] / М.С. Седов, В.А. Тишков // Горький: ГГУ им. Н.И. Лобачевского.-1978.-45 с.
2. Седов, М.С. Техническая акустика транспортных машин: справочник [Текст] / Л.Г. Балишанская, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др.; Под ред. д-ра техн. наук профессора Н. И. Иванова. – СПб.: Политехника, 1992. – Глава 4 – С.68–106.
3. Бобылев, В.Н. Исследование двойственной природы прохождения звука через ограждающие конструкции зданий [Текст] / В.Н. Бобылев, В.А. Тишков, Д.Л. Щеголев // Сборник трудов XVI сессии Российского акустического общества. Том III. – М.: «ПК Геос», 2005. – С.172–176.
4. Щеголев, Д.Л. Звукоизоляция светопрозрачных ограждающих конструкций при направленном падении звука: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст]/ Д.Л. Щеголев / Н.Новгород, ННГАСУ, 2003.–24 с.

Исследование двойственной природы прохождения звука через ортотропные конструкции

Бобылёв В.Н., Тишков В.А., Паузин С.А.
ГОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Комплексное решение задач архитектурно-строительного проектирования предусматривает, что наряду с вопросами прочности и красоты должны решаться вопросы создания комфортных условий для человека, находящегося внутри здания.

Ощущение комфорта в большой степени зависит от звукового режима помещений, на который оказывает влияние звукоизоляция ограждающих конструкций. Неточный учет звукоизоляции ограждений может привести к ошибкам при проектировании и возведении зданий и, как следствие, к непроизводительным затратам материалов и труда, в то время как необходимая защита от шума либо не обеспечится, либо обеспечится с низкой эффективностью. Это положение становится особенно актуальным при использовании новых видов ограждений, в частности, легких ортотропных. Поэтому требуются дополнительные теоретические исследования звукоизоляционных свойств этих современных конструкций.

В соответствии с теорией самосогласования прохождение звука через ортотропное ограждение носит двойственный характер, то есть включает в себя резонансную и инерционную составляющие [1].

Резонансный характер прохождения звука через ортотропную пластину позволяет выделить пять областей в её частотной характеристике с различной степенью интенсивности прохождения звука: дорезонансная область, область простых резонансов, области простых пространственных (ПрПР), неполных пространственных (НПР) и полных пространственных (ППР) резонансов. Каждая из этих областей ограничена частотами, называемыми граничными.

Приближенные значения граничных частот определяются из обобщенного выражения [2]:

$$f_г = \frac{c_0^2 \sqrt{\mu}(M^2 \sin^2 \alpha + N^2 \cos^2 \alpha)}{2\pi \sin^2 \theta \sqrt{D_1 \sin^4 \alpha + 2D_3 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + D_2 \cos^4 \alpha}} \qquad (1)$$

Точные значения граничных частот:

$$f_г = f_г^{/} + \Delta f_г \qquad (2)$$

В выражении (2) $f_г$ – точное, а $f_г^{/}$ – приближенное значения граничной частоты; $\Delta f_г$ – положительная по знаку поправка до ближайшей большей частоты собственных колебаний ортотропной пластины.

Коэффициент резонансного прохождения звука определяется как отношение звуковой мощности в волнах, прошедших через ограждение в режиме собственных колебаний к мощности в волнах, падающих на него.

Для случая диффузного падения звука на ортотропную конструкцию выражение коэффициента резонансного прохождения запишется как [1]:

$$\tau_p = \frac{W_p}{W_{пад}} = \frac{1}{2{,}3\pi\mu^2\eta f^2 \dfrac{\cos\theta_1 \cos\theta_{p2}}{\rho_0^2 c_0^2 A^4} + 1}, \qquad (3)$$

где η – коэффициент потерь ограждения;
θ_1 – угол падения звука на конструкцию;
θ_{p2} – угол излучения звука в режиме резонансных колебаний;
A – характеристика самосогласования.

Степень согласования звукового поля перед ограждением и волнового поля самого ортотропного ограждения в резонансном режиме определяется характеристикой самосогласования, которая зависит от соотношения длин проекций звуковых и изгибных волн m_0, n_0 и m, n соответственно.

Поскольку величины m и n зависят от физико-механических параметров ортотропной пластины, в частности от значений изгибных жесткостей D_1, D_2, D_3, то можно показать, что для пластин с разной степенью соотношения этих жесткостей отклик пластины также будет различным.

На рис. 1 представлены теоретические частотные зависимости характеристики самосогласования для двух модельных стальных пластин одинаковых толщины и размеров.

Ортотропные свойства такое ограждение принимает после профилирования или гофрирования. Принято, что у первой пластины соотношение жесткостей изгиба для главных направлений $D_2^{(1)} = 20D_1^{(1)}$, для второй пластины $D_2^{(2)} = 200D_1^{(2)}$. При этом $D_1^{(1)} = D_1^{(2)}$.

Под действием падающего звука в каждый момент времени в ортотропном ограждении возникают инерционные волны, распространение которых происходит со скоростью следа падающей звуковой волны $c_0/\sin\theta$ [1,3]. Эти волны существуют на каждой частоте, а на частотах собствен-

ных колебаний пластины инерционная и свободная волны отличаются начальной фазой движения. Скорость инерционных волн не зависит от внутренних упругих сил и амплитуды в пределах начального состояния конструкции [3].

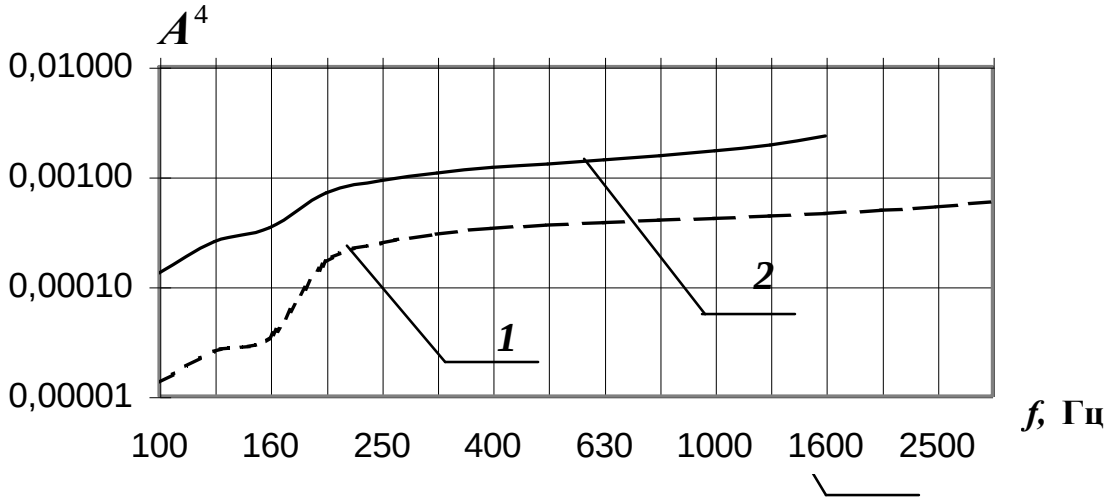


Рис. 1. Значения функции отклика для ортотропных пластин:
1 – соотношение жесткостей $D_2^{(1)} = 20D_1^{(1)}$;
2 – соотношение жесткостей $D_2^{(2)} = 200D_1^{(2)}$

Значение коэффициента инерционного прохождения звука определится из выражения [1]:

$$\tau_u = \frac{W_u}{W_{пад}} = \frac{1}{\dfrac{\pi^2 \mu \cdot f^2 \cos\theta_1 \cos\theta_{u2}}{\rho_0^2 c_0^2 F_u^2} + 1}, \qquad (4)$$

где θ_{u2} – угол излучения звука инерционными волнами;

F_u – функция отклика.

Регулирование величиной F_u возможно за счет изменения размеров конструкции *a* и *b* и массы.

Используя принцип суперпозиции волн, можно записать выражение суммарного коэффициента прохождения звука $\tau=\tau_p+\tau_u$. Это выражение отражает двойственную природу прохождения звука через ортотропную конструкцию.

Ранее [1, 4] нами было показано, что в большей части нормируемого диапазона частот звукоизоляция ортотропного ограждения снижается из-за наличия резонансной составляющей прохождения звука.

Путем увеличения демпфирующих свойств можно достичь состояния, когда в конструкции не возникают свободные изгибные волны, и она

начинает совершать колебания лишь вследствие суперпозиции чисто вынужденных волн. В этом случае можно говорить о предельной звукоизоляции ортотропного ограждения, которая определяется одним инерционным прохождением [1, 3, 4]:

$$R_{\max} = 20\lg\frac{\mu \cdot f}{F_u} - 46{,}7\,. \tag{5}$$

Ограждающие конструкции зданий и сооружений, в том числе и ортотропные, таким образом, обладают резервами звукоизоляции, которые количественно можно охарактеризовать как разницу между собственной звукоизоляцией ограждения и её предельными значениями:

$$\Delta r = R - R_{\max}\,, \tag{6}$$

где Δr, дБ – величина резонансных отклонений, которая показывает, насколько снижается звукоизоляция ортотропного ограждения относительно своих предельных значений за счёт резонансного прохождения звука;

R_{max}, дБ – предельная звукоизоляция ортотропного ограждения;

R, дБ – собственная звукоизоляция ортотропного ограждения конечных размеров, определяемая с учетом зависимостей (3) и (4) как:

$$R = 10\lg\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2}\frac{\mu^2 f^2}{\dfrac{\pi}{2.3}\dfrac{A^4}{\eta} + F_u^2}\cos^2\theta_{cp} \tag{7}$$

Величина Δr определяется во всём рассматриваемом диапазоне частот и зависит от соотношения резонансного и инерционного прохождения звука через ограждающую конструкцию.

Таким образом, теоретические исследования прохождения звука через ортотропную пластину с учетом двойственной природы позволили получить аналитические выражения звукоизоляции (7), а также выявить резервы звукоизоляции ортотропных ограждений. Это дает возможность проектировать конструкции с повышенной звукоизолирующей способностью в нормируемом диапазоне частот.

На рис. 2 представлены экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции ортотропных ограждений, полученные по результатам измерений, выполненных в лаборатории акустики ННГАСУ, а также теоретические зависимости предельной звукоизоляции.

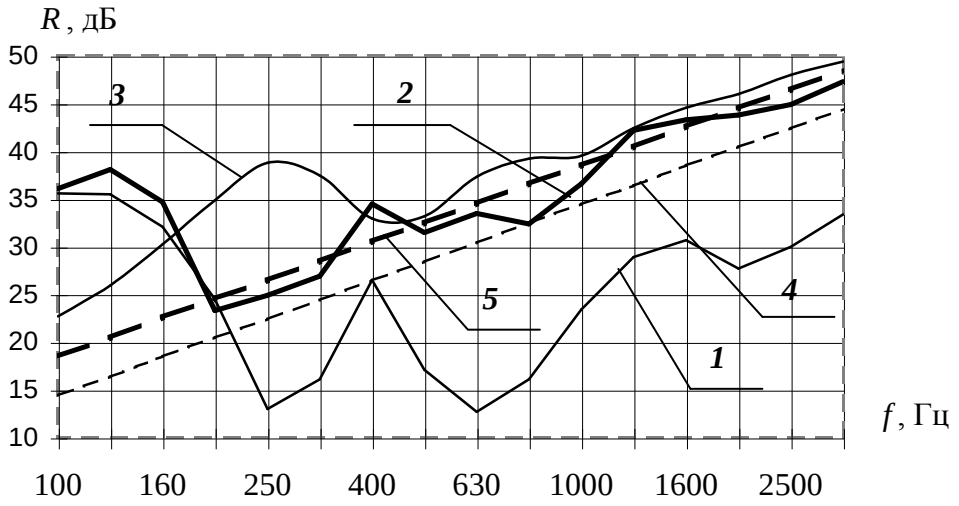


Рис. 2. Частотные характеристики звукоизоляции ортотропных пластин
1 – результаты эксперимента с ортотропным ограждением a*b=(0.8*0.6) м^2 из стального профилированного листа толщиной 1,1 мм;
2 – результаты эксперимента с ортотропным ограждением a*b=(0.8*0.6) м^2 из стального профилированного листа толщиной 1,1 мм и слоя пластмассы «Агат» 5мм;
3 – теоретическая кривая предельной звукоизоляции для пластины 2;
4 – закон масс для пластины 1; 5 – закон масс для пластины 2

На рис. 3 представлены частотные зависимости резонансных отклонений для пластин 1 и 2, определённые теоретически по зависимости (6), которые характеризуют резервы звукоизоляции данных ограждений.

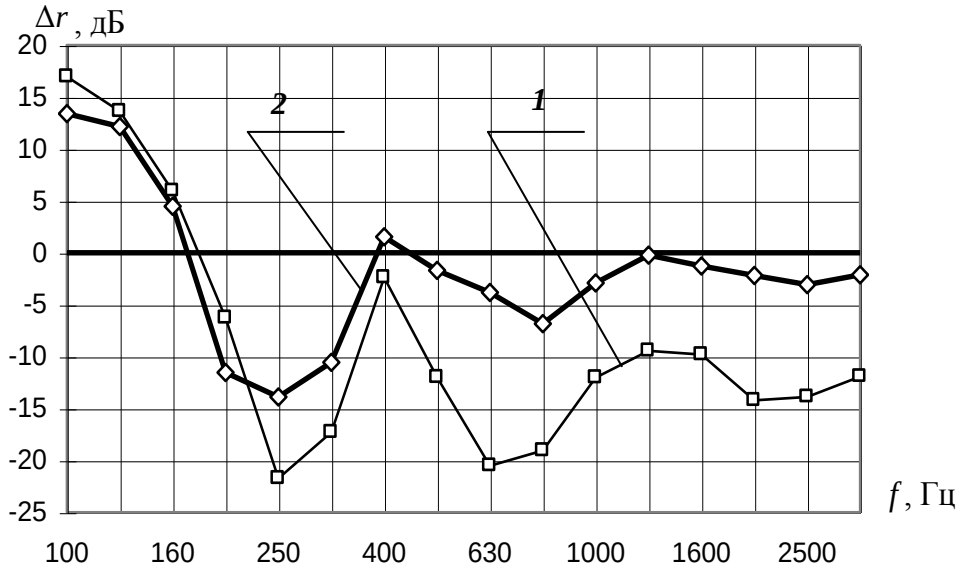


Рис. 3. Значения резонансных отклонений:
1 – для пластины 1 (до демпфирования);
2 – для пластины 2 (после демпфирования)

Из рис. 3 можно видеть, что демпфирование собственных волн ортотропного ограждения, выполненного за счёт «Агата», значительно повысило его звукоизоляцию во всём диапазоне частот и позволило использовать имевшиеся резервы звукоизоляции данного ограждения.

Литература

1. Бобылев, В.Н. Резонансное и инерционное прохождение звука через ортотропные конструкции / В.Н. Бобылев, В.А. Тишков, С.А. Паузин // Теоретические основы строительства: докл. XIII Словацко–польско–российского семинара. – М.: МГСУ, 2004. – С. 211–214.
2. Паузин, С.А. Пространственно–частотные резонансы в ортотропных пластинах / С.А. Паузин // Тр. Всеросс. школы – семинара с межд. участием // Новое в теоретической и прикладной акустике. – СПб: Балт. гос. техн. ун–т, 2001. – С.114 – 118.
3. Седов, М.С. Теория инерционного прохождения звука через ограждающие конструкции / М.С. Седов // Изв. Вузов. – Сер.: Строительство и архитектура, 1990. – № 2.– С. 37 – 42.
4. Паузин, С.А. Резервы звукоизоляции ортотропных конструкций / С.А. Паузин // Матер. межд. конф. / Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов.– Йошкар–Ола: МарГТУ, 2004. – Ч.2. – С.23–27.

Исследование многокамерных резонансных глушителей шума для аэродинамических установок

Яхонтов В.И.
Курганский институт государственной и муниципальной службы (филиал) Уральской академии государственной службы

Для снижения низкочастотного шума, распространяющегося в газовоздухопроводах, особенно при наличии агрессивных газов с высокой температурой, целесообразно применять реактивные, в частности резонансные глушители, частотная характеристика которых имеет ряд узких полос заглушения вблизи собственной частоты резонатора, определяемой по формуле:

$$f_p = c / 2\pi\sqrt{k_0 / V} \qquad (1)$$

где с – скорость звука, м/с;
$k_o = S / t_э$ – проводимость горла резонатора, м;
S – площадь сечения горла, м^2;
$t_э$ – эквивалентная толщина горла резонатора, м;
V – объем воздушной полости резонатора, м^3.

Одиночный резонатор, как правило, очень редко применяется в технике борьбы с шумом, т.к. его акустическая эффективность сравнительно невысока. В этой связи для снижения шума в газовоздуховодах наиболее целесообразно использовать систему резонаторов, настроенную на дискретные составляющие, к которым в частности относятся рассматриваемые ниже резонансные панели.

Расчет резонансных глушителей, состоящих из идентичных камер ведется, как правило, на основе теории четырехполюсников /1/. Суть этого метода состоит в следующем. Резонансную панель, имеющую М ответвлений, можно представить в виде цепочки из М одинаковых ячеек- четырехполюсников. С целью упрощения расчета предположим, что эта цепочка нагружена на характеристическое сопротивление. Тогда постоянная передачи цепочки будет равна постоянной передачи ячейки-четырехполюсника, уменьшенной на М. Опуская промежуточные вычисления, приведем окончательную формулу для определения эффективности многокамерного глушителя на основе резонатора Гельмгольца, состоящего из идентичных камер:

$$\Delta L = 8{,}69 MARCH\left[\cos(kl) + \frac{\sqrt{KV}\, w_o w}{2s\left(w^2 - w_o{}^2\right)}\sin(kl)\right] \qquad (2)$$

где М – число камер;
k – волновое число, w/c;
l – шаг отверстий;
K – проводимость горла резонатора;
V – Объем воздушной полости резонатора;
S – площадь поперечного сечения канала установки;
w_o – резонансная частота;
w – текущая частота.

Как видно из анализа формулы (2), цепочка резонаторов эффективна в диапазоне частот, для которого выражение в квадратных скобках больше 1.

Исследование резонансных панелей, представляющих собой металлические пластины различных размеров и толщины t, проводилось на установке, описанной в / 2 / по методике, приведенной в / 3 /. На пластине было выполнено девять отверстий с шагом 0,1 м., диаметры отверстий d изменялись от 0,01 до 0,05 м. В воздушной полости располагалось восемь перегородок, которые разбивали её на девять равных камер так, что на каждое отверстие приходился одинаковый воздушный объем. В общей сложности на этой установке было выполнено более 200 экспериментов.

На рис. 1 представлены данные зависимости эффективности глушителя от числа задействованных камер при различных диаметрах отверстия резонатора. Видно, что эффективность глушителя, состоящего из цепочки резонаторов Гельмгольца нельзя определять простым суммированием их эффективностей, поскольку при удвоении числа камер общая эффективность конструкции не удваивается.

Для того, чтобы получить снижение шума в области более низких частот, необходимо, следую формуле (1), или увеличить объем полости резонатора, что приводит к увеличению габаритов конструкции, или уменьшать проводимость горла резонатора. В нашем случае осуществлялось уменьшение проводимости горла резонатора за счет увеличения его длины с помощью отрезков труб длиной и диаметром, в то время как остальные параметры резонатора оставались без изменений. На рис.2 представлено влияние увеличения длины горла резонатора на эффективность снижения шума глушителем. Предположение, высказанное выше, подтвердилось : с увеличением длины горла резонатора резонансная частота смещается в низкочастотную часть, но при этом уменьшается эффективность конструкции в целом, в полном соответствии с формулой (2).

При увеличении диаметра отверстия эффективность резонансных панелей увеличивается, что подтверждается данными рис. 1, но при этом увеличивается собственная частота конструкции в целом.

В процессе исследования резонансных панелей возник вопрос о взаимном влиянии расположения отверстий в глушителе друг на друга, другими словами о влиянии взаимного расположения отверстий на суммарную эффективность конструкции. Схема эксперимента позволяла менять расстояние между отверстиями от расстояний меньше, чем *λ/4* (четверть длины волны падающего на глушитель звука), до расстояний больше, чем четверть длины волны падающего звука (табл.1). Нетрудно заметить, что во всех случаях, когда расстояние между отверстиями в панели меньше четверти длины волны падающего звука, эффективность глушителя падает по сравнению со случаем равенства этого расстояния четверти длины волны падающего на глушитель звука. Самой большой эффективностью обладала конструкция, у которой шаг отверстий больше четверти длины волны (табл. 1).

Зависимость эффективности глушителя от расстояния между отверстиями резонаторов

Таблица 1

n	***d***	***t***	***H***	***f***	***ΔL***		
					l<λ/4	***l≈λ/4***	***l>λ/4***
2				300	14	22	23
				305	18	29	31
	0,03	0,005	0,1	310	22	34	39
				315	16	27	32
				320	13	24	25
4				300	26	36	37
				305	30	42	43
	0,03	0,005	0,1	310	35	50	59
				315	29	43	45
				320	23	38	39

При проектировании резонансных глушителей в каналах аэрогазодинамических установок с целью обеспечения максимальной эффективности шумоглушения необходимо, чтобы расстояние между отверстиями в панели было больше, или в крайнем случае равно четверти длины волны падающего на глушитель звука. Однако выполнение этого условия может привести к увеличению габаритных размеров глушителя по длине, что при проектировании систем отвода воздуха выполнить достаточно трудно.

Для случая близко расположенных (по сравнению с длиной волны) друг от друга резонаторов Гельмгольца при $kl \ll 1$ формулу (2) можно записать в следующем виде / 5 /:

$$\Delta L = 8{,}69 MlK \sqrt{\frac{V}{sl} \frac{w_o^{\,2}}{w^2 - w_o^{\,2}} - 1} \qquad (3)$$

Эта зависимость справедлива в диапазоне частот от w_o до $w_o\sqrt{1+\frac{V}{sl}}$. При промышленном изготовлении глушителей очень важно обеспечить герметичность камер резонаторов друг относительно друга. Наличие даже незначительных зазоров у перегородок резонатора, составляющих его объем, резко уменьшает акустическую эффективность всей конструкции. Подтверждением этому являются данные, приведенные в табл. 2. Самой высокой эффективностью обладает конструкция в случае полной герметичности отдельных камер. Наличие даже незначительных зазоров в перегородках (0,001…0,002 м) приводит к резкому снижению эффективности, особенно в районе собственной частоты резонатора.

Влияние зазоров в перегородках на эффективность глушителя

Таблица 2

	150	160	170	180	190	200	210	220
нет зазоров	3	5	12	23	13	10	7	2
зазоры со всех сторон	5	8	11	16	12	9	3	1
зазоры с трех сторон	5	8	11	16	12	9	3	2
зазоры с двух сторон	5	8	11	15	12	9	3	2
зазоры с одной стороны	5	8	11	14	12	9	4	3
нет перегородок	7	9	12	17	10	8	3	2

Особый интерес представляет собой случай настройки глушителя на несколько резонансных частот (на диапазон частот), т.к. у реальной установки в спектре шума может быть не одна, а несколько низкочастотных дискретных составляющих /4, 6, 9/. С этой целью была исследована конструкция, настроенная на разные частоты: шесть одинаковых резонаторов были настроены на частоту 180 Гц, три настроены на частоту 340 Гц. Объемы резонаторов были одинаковы, изменение собственной частоты резонаторов достигалось за счет изменения диаметра и количества отверстий в панели резонатора. В табл. 3 представлены полученные значения эффективности такой конструкции.

Анализируя данные, можно сделать вывод о независимости работы резонаторов, настроенных на далекие друг от друга собственные частоты.

На рис.3 приведена конструкция, настроенная на четыре частоты (240,280, 320 и 400 Гц) для получения широкополосности снижения шума в диапазоне низких частот. При облицовке канала только с одной стороны суммарная эффективность явно мала для практического снижения шума реальной установки (кривая 1), в случае появления дополнительной секции, идентичной первой, общая эффективность такого глушителя возрастает во всем диапазоне частот.

Эффективность глушителя шума, настроенного на разные частоты

Таблица 3

Глушитель, состоящий из 6 камер с 1 отв.		Глушитель, состоящий из 3 камер с 4 отв.		Глушитель, состоящий из 6 камер с одним отверстием в панели и 3 камер с четырьмя отверстиями в панели					
Гц	**дБ**	**Гц**	**дБ**	**Гц**	**дБ**	**Гц**	**дБ**	**Гц**	**дБ**
150	2	300	5	150	2	240	6	330	25
160	8	310	9	160	8	250	5	340	27
170	27	320	15	170	22	260	3	350	21
180	40	330	25	180	41	270	2	360	17
190	25	340	25	190	26	280	1	370	14
200	16	350	21	200	18	290	2	380	11
210	10	360	18	210	14	300	6	390	9
220	7	370	15	220	11	310	10	400	8
230	5	380	9	230	8	320	15	410	5

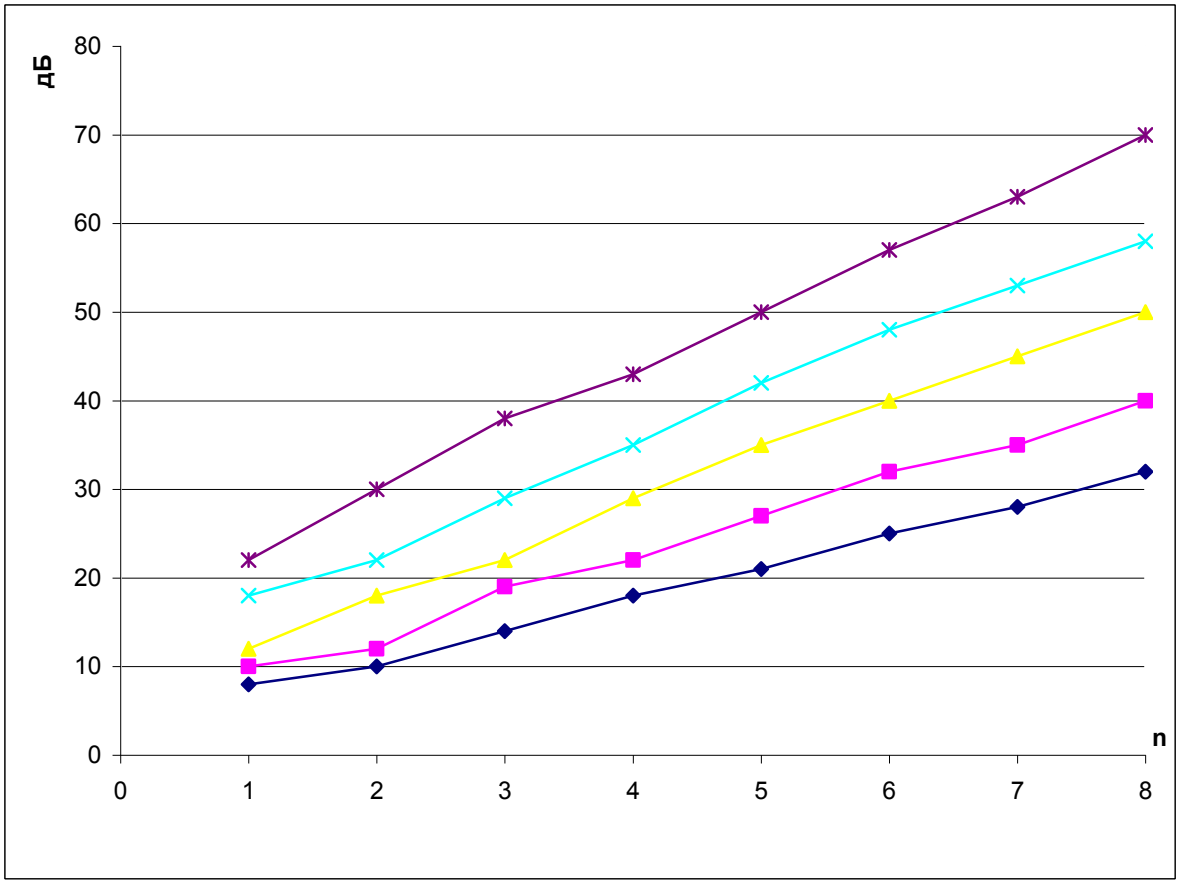


Рис.1. Эффективность резонансных панелей
в зависимости от числа камер *n* (на резонансной частоте)
t=0,005 м.:
◊-◊ d=0,01; □-□d=0,016; Δ-Δd=0,02; x-x d=0,03; ✳-✳ d=0,05

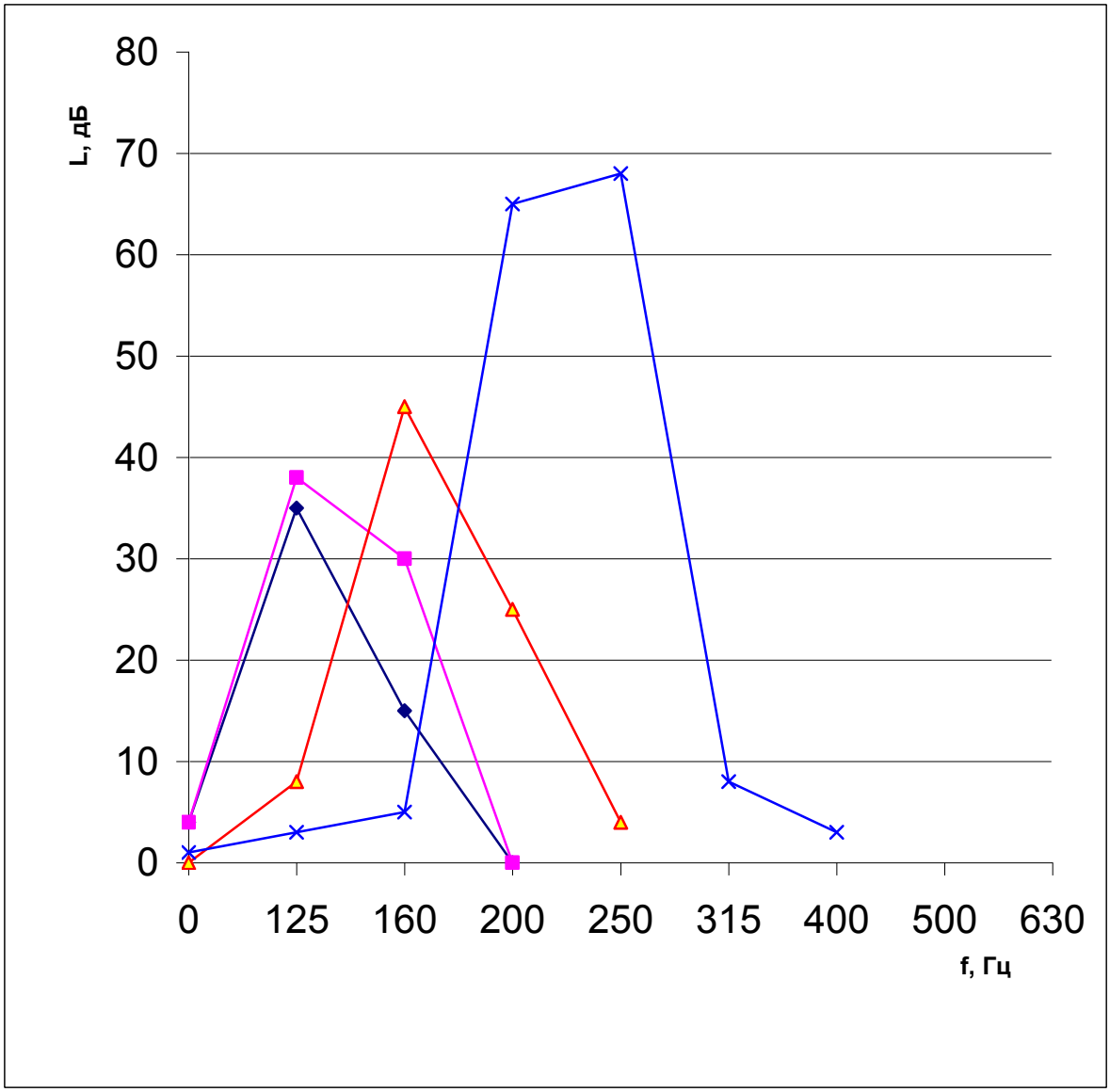
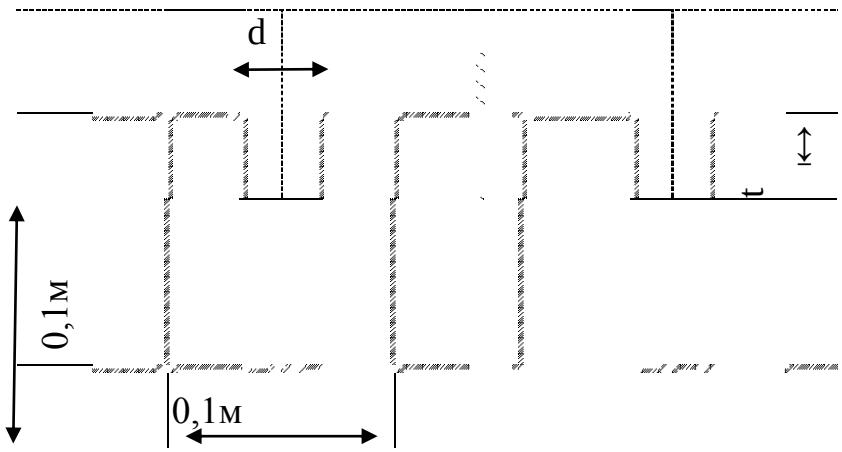


Рис.2. Эффективность конструкции
о-о t = 0,005 9 отв. d 0,03; о-о t = 0,025 9 отв. d 0,025
х-х t = 0,04 9 отв. d 0,025; Δ-Δ t = 0,07 9 отв. d 0,025



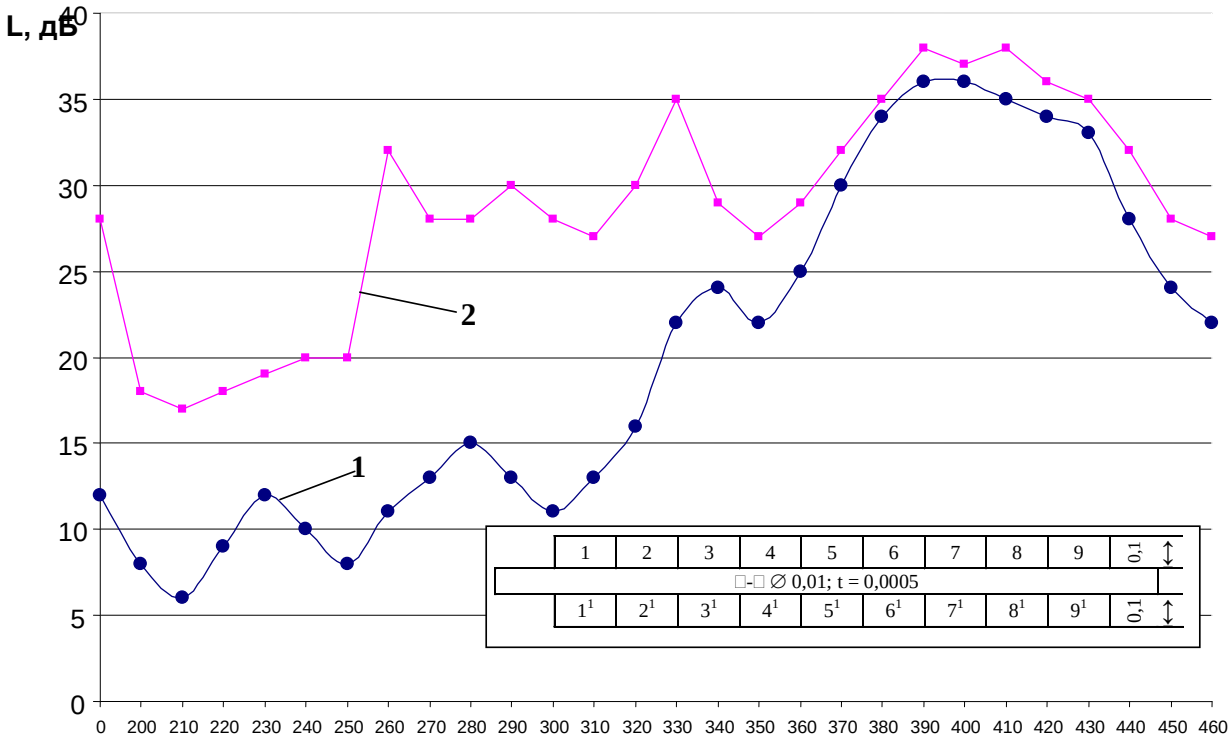


Рис.3. Эффективность резонансного глушителя

1.

∅ 0,01 t = 0,0005 о-о									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,1 ↕

камеры 1÷2 – 1 отв.; 3-2 отв.; 4-3 отв.;
5-4 отв.; 6-5 отв.; 7-6 отв.; 8-7 отв.; 9-8 отв.

2.

□-□: камеры 1'-9' – О-О
камеры 1÷4 – 1 отв.; 5-7 – 2 отв.;
8 – 3 отв.; 9 – 4 отв.

Литература

1. Davis D.D., Stokes G.M., Moore D. Theoretical and Experimental Investigation of Mufflers with Comments of Engine – exhaust Mufflers Design – NASA rep. 1192, 1954
2. Баланцев С.К., Белов С.В. Исследование акустических свойств пористых металлов и глушителей шума. М.: Труды МВТУ № 308, с. 110-128
3. Филиппова Р.Д., Юдин Е.Я. Экспериментальное исследование глушителей в виде труб с отростками. – Промышленная аэродинамика, № 18, Оборонгиз, 1960, с. 33-42
4. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для вузов. –СПб.: Политехника, 2000.-482 с.
5. Лапин А.Д. Акустические длинные линии и волноводы: Учебное пособие. М.: МИРЭЛ, 1979. – 107 с.
6. Яхонтов В.И. Ослабление шума в каналах аэрогазодинамических установок при помощи глушителей. Вестник МАНЭБ № 1(9). Санкт-Петербург, 1998. С.26
7. Яхонтов В.И., А.С. Терехин, С.К. Баланцев, В.Н. Коробов, В.И. Шпикалов, Н.П. Татаренко. Глушитель шума. Б.И. № 42 1986, А.С. 1270383
8. Яхонтов В.И., Применение компьютерного моделирования при проектировании глушителей шума дутьевых машин. /Компьютерное моделирование расплавов и стекол. 4-й Российский семинар. Курган, КГУ, 1998
9. Yakhontov V.I., V.N. Melnicov Calculation and application of compact broadband mufflers for reducing aerodynamic noise. International noise and vibration control conference. St. Petersburg, Russia, 1993

Информация о шумозащитных клапанах

Веретина И.А. (1)
Гордиенко Т.Н., Калашникова Н.К., Лазаренко Н.В., Руднева Е.А. (2)
Гончаренко И.А. (3)
Территориальное управление Роспотребнадзора (1)
ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве» (2)
ГУП «ГУП НИиПИ Генплана Москвы (3)

По мере насыщения отечественного строительного рынка современными герметичными окнами с двумя-тремя контурами уплотнения первоначальная эйфория потребителей по поводу «чудо»-окон постепенно проходит. Для хорошего самочувствия человеку должно быть не только тепло и светло, в помещении должна быть нормальная влажность, которая обеспечивается притоком свежего воздуха и удалением загрязненного. До установки герметичных окон баланс воздуха поддерживался за счет его микро притока через щели оконных конструкций и удаления через естественную вытяжную вентиляцию. После установки современных герметичных окон естественный приток воздуха через щели практически перекрывается.

В последние годы за рубежом и у нас появились специализированные вентиляционные устройства, которые встраиваются в герметичные окна или в стеновые панели. Они обеспечивают необходимый приток воздуха и не снижают шумозащитные свойства окон.

В процессе экспертизы проектной документации нами накоплена информация о вентиляционных клапанах: сертификаты, протоколы испытаний, функциональные и технические характеристики и пр. Предполагаем, что эта информация представляет интерес для большого круга специалистов и населения. Следует, однако, отметить, что инструментальная оценка эффективности клапанов нами не проводилась, поэтому ответственность за достоверность предоставленных данных несет фирма-изготовитель.

Далее перечислим наиболее распространенные на нашем рынке клапаны.

1. **Клапан Аэромат-80.** Распространяет фирма ЗАО «Аэроматика Новый век». Производитель – Германия-Россия. Клапан собирается из комплектующих по немецкой технологии (фирма «Siegenia»). Эффективность снижения шума в режиме проветривания в зависимости от требования заказчика в разных типах клапана от 21 до 41 дБА. Клапан Аэромат-80 может быть вмонтирован во все виды окон, с заменой остекления в одной створке, в которую монтируется клапан, в том числе и в 2-3-х камерные стеклопакеты, в окно из ПВХ и в деревянное окно, изготовленное по евро-

стандарту. Замена и влажная уборка теплоизоляционных материалов может проводиться без монтажа клапана. Срок службы клапана –20 лет. Клапан можно установить как по вертикали, так и по горизонтали (размеры клапана от 300 мм до 3000 мм).

2. **Клапан оконный фирмы «Аэрэко»** размером 4,5х30 см. Производство Франции. Один клапан обеспечивает приток воздуха на комнату до 30 м^2. Клапан применим только при герметичных окнах. Эффект вентиляции основан на автоматическом регулировании влажности в квартире. При установке клапана в окно эффективность снижения шума 33-42дБА в режиме проветривания.

При варианте установки другого типа клапана Аэрэко в стене, (но тоже с автоматическим открыванием клапана в зависимости от влажности помещения), эффективность снижения шума ниже – до 20 дБА. Клапан моется, детали легко подлежат замене.

3. ООО «Монтажлегконструкция» может изготовить окно (деревянное, ПВХ и пр.) с отечественным приточным вентиляционным шумозащитным устройством **УВШ-1 производства ОАО «Мосмонтажспецстрой» и УВШ-3 (производит ДОК-1**). Эффективность снижения шума УВШ-1 и УВШ-3 – 27 дБА в режиме проветривания. Клапаны имеют сертификат соответствия. Гарантийный срок службы клапанов – 3года. Клапан УВШ-3 монтируется в верхний брус створки шириной не менее 650 мм. Клапан УВШ-1 можно установить в любом окне и любой толщины, а УВШ-3 только в раздельных окнах (внешнее стекло, а внутри во внутренних створках – стеклопакет).

4. **Финский клапан KIV –125** вставляется в стену (рядом или над окном). Внешний диаметр пластмассового патрубка – 125 мм, диаметр живого сечения – 80 мм. Эффективность снижения шума 26 дБА. В Москве клапан установлен в домах на Рубцовской набережной, на Нахимовском проспекте, на ул. Большая Очаковская. В проспектах указано, что клапан предназначен для систем механической вытяжной вентиляции и кондиционирования. Без механической вентиляции клапан осуществляет воздухообмен до 8 этажа.

Чистка клапана (ориентировочно через 2 месяца) проводится моечными средствами путём снятия наружной крышки.

5. ДОК-1 изготавливает **шумозащитное окно ОРШВ** с эффективностью снижения шума 23 дБА в режиме проветривания.

6. **Устройство проветривания WINKHAUS Technik GmbH** (Германия), сертификат соответствия №РОСС.DE.СЛ34.Н0031, модель «Absteller WSK – ER2» серий AutoPilot, FLEX – представляет собой фурнитурное поворотно-откидное устройство окна в шумогасящем режиме щелевого проветривания.

Данные устройства проветривания TITON и Winkhaus имеют индекс звукоизоляции Ra = 26 дБА и по результатам испытаний на звукоизоляцию удовлетворяют требованиям для жилых и общественных зданий.

Монтаж только в заводских условиях при монтаже окон.

7. **Вентиляционный шумопоглощающий клапан ВШК А-80**. Производитель ЗАО «Аэроматика Новый Век».

Оконный блок из деревянного бруса с двухкамерным стеклопакетом с проветривателем. При проветривании звукоизоляция Ra < 25 дБА, Rw = 30 дБА.

8. **Приточные вентиляционные устройства производства фирмы «Titon» Hardware Limited** (Великобретания). Сертификат соответствия № РОСС GB.СЛ37.С00005.

Модели «SM 4000 S Vent», «Variglase» представляют собой устройство приточной вентиляции окон с принудительным регулированием потока воздуха, встраиваемые в оконные блоки. Эффективность снижения шума со средними частотами 1/3 октавных полос 22,8 – 34,0 дБ. Испытания проводились по заявке ООО «Политерм-Ком».

9. **Шумозащитный оконный блок марки ПОШВ из ПВХ** профилей фирмы «PLASTO A|S» (Дания) с двухкамерным стеклопакетом и клапаном арт. 2538030 этой же фирмы. Снижение шума 30 дБА при полностью открытом клапане.

10. Вентиляционный **клапан-глушитель типа КГ-9.** Габаритные размеры 300х300, звукоизоляция в режиме вентиляции – 25дБА. Чертежи клапана можно заказ-+ать в техническом отделе МНИИТЭП, РФ.

Многие негативные стороны использования вентиляционных клапанов и отрицательные отзывы владельцев этих устройств связаны с их неправильной эксплуатацией. Как оказалось, население мало информировано о правилах эксплуатации клапанов.

При рассмотрении обращений жителей на неэффективность работы вентиляционных клапанов были выявлены следующие нарушения в их эксплуатации:

1. Использование клапанов при не работающей вытяжной вентиляции. При ее отсутствии в зимнее время на клапанах будет выпадать конденсат (оледенение); в летнее время свежий воздух через клапан в помещение поступать не будет.
2. Закрытие автоматически регулируемых клапанов. При герметичных окнах клапан должен быть открыт всегда (особенно при длительном отсутствии хозяев помещений). Если долго не открывать клапаны, в помещении может образовываться плесень на стенах, появится ощущение затхлости.
3. Неправильное использование регулирующего устройства клапана, работающего в ручном режиме, что может привести к перегреву или переохлаждению помещения.

4. Неправильное место размещения клапана. Клапан должен быть установлен на высоте 1.8м от уровня пола, расстояние от выходного устья до откоса окна не менее 50мм.

При выборе вентиляционного клапана для установки в эксплуатируемом Вами помещении необходимо внимательно изучить функциональные характеристики предлагаемых устройств, инструкции по применению, при возможности выехать на место установки выбранного устройства. Проанализировав полученную информацию, вы сможете принять решение о выборе вентиляционного клапана, оптимального для установки в Вашем помещении.

Защита офисов предприятия от шума, создаваемого технологическим оборудованием

Кирпичников В.Ю. (1), Титов Б.В. (1), Дроздова Л.Ф. (2)
ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова» (1)
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова (2)

Архитектурно-планировочными решениями в проектах промышленных, общественных и жилых зданий часто предусматривается установка различного рода технологического оборудования на междуэтажные перекрытия над служебными и жилыми помещениями. При этом должного внимания мерам противошумовой защиты иногда не уделяется. Обычно это приводит к превышению уровней шума над допустимыми значениями и к необходимости разработки и внедрения комплекса противошумовых мероприятий, ориентированных прежде всего на повышение звукоизоляции междуэтажных перекрытий и на виброизоляцию от них устанавливаемого оборудования.

Рассмотрим пример своевременно выполненных (в рамках проекта) подобных работ по уменьшению уровней шума в офисах одной из табачных фабрик Санкт-Петербурга.

Работа выполнялась в связи с вынужденной необходимостью размещения технологического оборудования на втором этаже производственного корпуса над расположенными внизу офисными помещениями. Причиной такого решения явилось следующее.

Технологическим процессом на фабрике предусмотрены операции упаковки пачек сигарет в целлофан с использованием метода вакуумирования путем отсоса воздуха от упаковочных узлов. Для этих целей на полу цеха непосредственно у рабочих мест были установлены вакуум-насосы. Их высокая шумность являлась причиной существенного превышения уровней шума на рабочих местах над их предельно допустимыми значениями. Последнее явилось основанием для принятия решения о переносе всех (восемнадцати) вакуум-насосов на второй этаж производственного корпуса в изолированное от цеха помещение и создании в нем централизованной вакуумной системы (ЦВС).

Было вполне очевидно, что установка весьма шумных вакуум-насосов в относительно небольшом по объему помещении (около 900 м^3) без средств звукопоглощения приведет к высоким уровням шума в этом помещении. Расчетная оценка, выполненная на основании результатов изме-

рений уровней шума вблизи установленных в цехе вакуум-насосов, показала, что уровень звука в частотной полосе А в помещении ЦВС составит около 92-95 дБА.

В помещении ЦВС не предусматривалась организация постоянных рабочих мест, а предполагалось только проведение периодического осмотра и обслуживания оборудования в течение непродолжительного времени за рабочую смену. Кроме того, наиболее сложное и шумное оборудование ЦВС – вакуум-насосы – были выполнены передвижными (на катках), что позволяет, при необходимости, производить продолжительные по времени профилактические и ремонтные работы вне зоны повышенного шума. В связи с этим было решено в силу экономической нецелесообразности не производить каких-либо работ по снижению шума в помещении ЦВС, ограничившись использованием обслуживающим персоналом средств индивидуальной защиты от шума. Однако при организации ЦВС в район размещения вакуум-насосов и трассировки центрального воздуховода ЦВС неизбежно попадал ряд офисных помещений, расположенных на первом этаже производственного корпуса.

Это обстоятельство поставило под сомнение возможность обеспечения в них уровней шума в пределах допустимых значений. Выполненная расчетная оценка подтвердила эти опасения. Согласно этой оценке, произведенной на основе результатов измерений уровней шума и уровней вибрации, создаваемых вакуум-насосами, уровни шума в наиболее неблагоприятно расположенных офисах достигали 72–75 дБА. Это на 12–15 дБА больше предельно допустимых уровней, установленных санитарными нормами для рабочих мест цехового управленческого аппарата (см. п.2 табл. 2 санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»). При проведении расчетов был сделан также важный вывод о том, что уровни шума в офисах будут в значительной мере определяться уровнями вибрации, передаваемой от вакуум-насосов на перекрытие.

В связи с этим было предложено производить установку вакуум-насосов на индивидуальные стационарные виброизолирующие площадки (рис. 1). В качестве виброизолирующих элементов для установки площадок на перекрытии были выбраны амортизаторы типа АКСС-И, обладающие высокой эксплуатационной надежностью при хороших акустических качествах. Низшая частота колебаний амортизирующего крепления отдельной площадки с установленным на нее вакуум-насосом, за счет некоторой перегрузки амортизаторов, была снижена (по расчету) до 12 Гц. Это позволило получить виброизолирующий эффект до 8–10 дБ уже на нижней границе нормируемого по шуму диапазона частот. (Некоторое превышение нагрузки на амортизаторы относительно номинального значения в данных стационарных условиях эксплуатации для амортизаторов типа АКСС-И вполне допустимо).

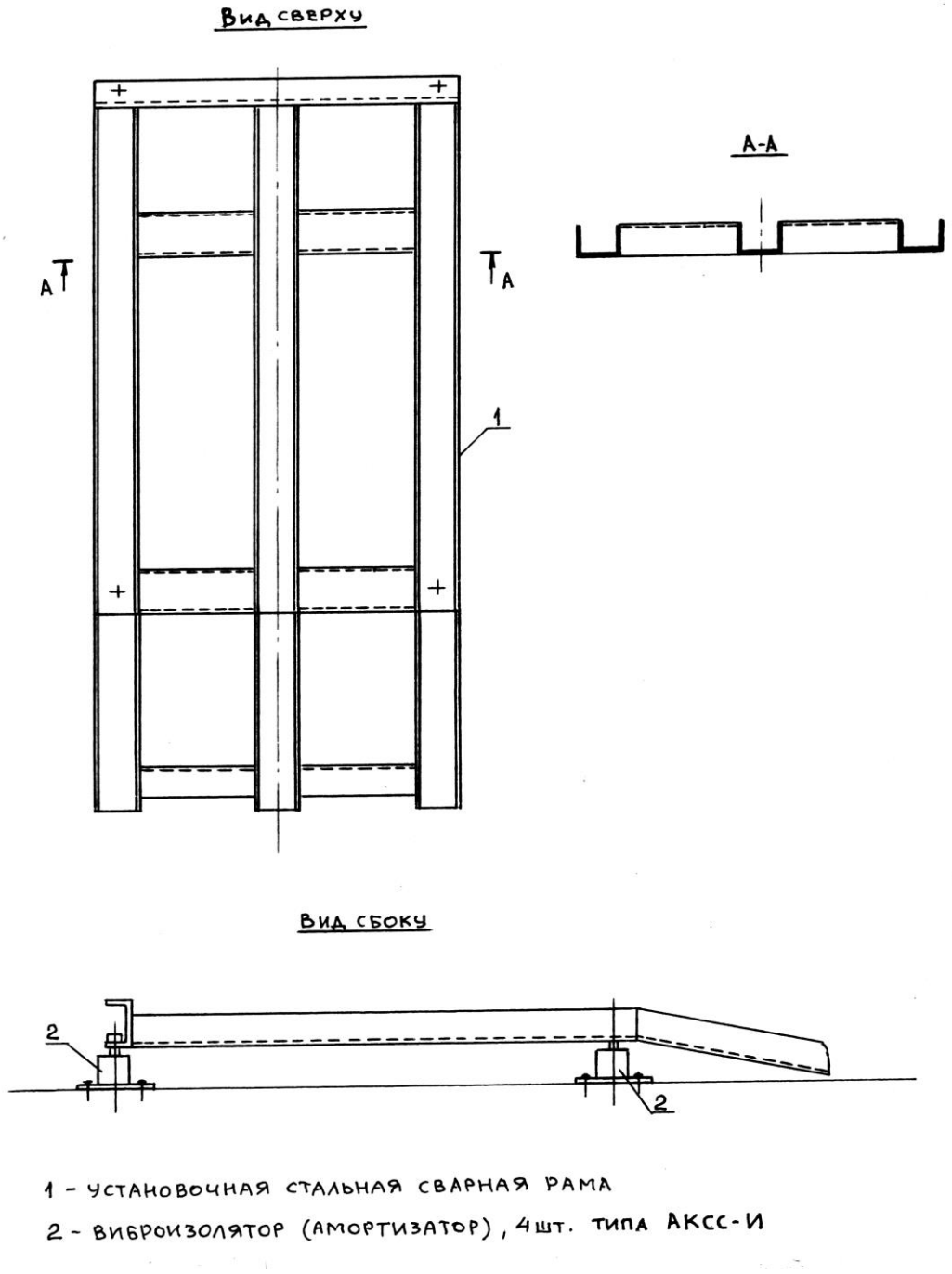


Рис. 1. Стационарная виброизолирующая площадка

Помимо измерений уровней вибрации на полу цеха в местах установки вакуум-насосов были проведены также измерения уровней вибрации и на фланцах подключенных к ним воздуховодов. Несмотря на присоединение воздуховодов к вакуум-насосам через гибкие шланги, уровни вибрации на фланцах оказались весьма высокими. (Эти уровни в звуковом диапазоне частот на 20–25 дБ превосходили уровни вибраций на полу у вакуум-насосов). Это обстоятельство потребовало обратить на него внимание, поскольку крепление центрального воздуховода и отводов от него к ваку-

ум-насосам необходимо было осуществить непосредственно к перекрытию. Вполне очевидно, что такое крепление могло стать причиной повышенных уровней шума в офисах.

В связи с этим пришлось отказаться от первоначально предусматривавшегося проектом жесткого крепления магистрального воздуховода на Н-образных опорах, установленных на перекрытии. Было предложено изменить конструкцию опор, введя в них укрепленные на амортизаторах поперечины для установки воздуховода. Одновременно было предложено таким же образом закрепить на опорах и весьма виброактивный воздуховод мощной системы вентиляции. Было предложено закрепить к перекрытию через виброизоляторы также стойки, поддерживающие воздуховоды каждого насоса.

Учитывая неизбежное проявление в конструкции опор и в перекрытии резонансных явлений при широкополосном возбуждении их вибрацией, что может на отдельных частотах существенно повысить вибрацию, а следовательно и шумоизлучение перекрытия, дополнительно был предложен комплекс мероприятий по усилению звукоизоляции от строительных конструкций наиболее неблагоприятных офисных помещений и по увеличению в них звукопоглощения.

Внедрение комплекса разработанных мероприятий обеспечило выполнение требований к уровням шума на рабочих местах в офисных помещениях фабрики.

Литература

1. Справочник проектировщика. Защита от шума. Под ред. Е.Я.Юдина, М., Стройиздат, 1974.
2. Борьба с шумом на производстве. Справочник. Под ред. Е.Я.Юдина, М., Машиностроение, 1985.
3. В.Ю.Кирпичников, Б.В.Титов, Л.Ф.Дроздова. Снижение шума от системы воздушного отопления в цехе. Научно-практический и учебно-методический журнал «Безопасность жизнедеятельности». Вып.8, 2005.
4. В.Ю.Кирпичников, Ю.Н.Мукалов, Б.В.Титов, Л.Ф.Дроздова, Е.И.Тимофеева. Снижение уровней шума, создаваемого введенной в эксплуатацию котельной. Вторая Всероссийская школа-семинар с международным участием. Новое в теоретической и прикладной акустике. С-Пб, 17–18 октября, 2002.
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, М., 1997.

Проектирование санитарно-защитной зоны Северного промышленного узла г. Тольятти с учетом требований к шуму и инфразвуку

Васильев А.В.
Тольяттинский государственный университет

1. Введение

В современных условиях резко возросло воздействие на селитебную территорию физических полей: акустических, электромагнитных, инфразвуковых, вибрационных и др. Можно утверждать, что загрязнение среды физическими полями, в частности акустическими и инфразвуковыми, в настоящее время представляет собой одну из глобальных проблем [2, 3, 5].

Воздействию повышенных уровней звука в условиях современного промышленного города, по некоторым оценкам, подвергается каждый второй горожанин. Последствием воздействия является возникновение шумовой болезни, то есть общего заболевания всего организма человека с преимущественным поражением слуха и нервной системы.

Инфразвук вредно воздействует на вестибулярный аппарат, сердечно-сосудистую систему и при высоких уровнях может воздействовать на внутренние органы человека. Характерным свойством инфразвуковых колебаний является их распространение на значительные расстояния, поэтому можно предполагать наличие достаточно интенсивных инфразвуковых полей на всей селитебной территории г. Тольятти.

Анализ жалоб населения г. Тольятти на повышенный шум позволяет прийти к выводу, что его причиной является наличие ряда интенсивных источников звука и инфразвука (транспорт, низкооборотные компрессорные установки и другое технологическое оборудование, шум систем вентиляции и кондиционирования и др.), оказывающих значительное воздействие на прилегающую селитебную территорию [5]. Особенно остро стоит проблема воздействия шума и инфразвука на население г. Тольятти в районе Северного промышленного узла, в котором сосредоточен ряд крупных промышленных предприятий города, при работе которых создается интенсивное акустическое излучение. Проблема усугубляется тем, что относительно недалеко от Северного промышленного узла находятся жилые дома Центрального района, жители которых постоянно испытывают повышенное воздействие шума. Таким образом, актуальным является проведение исследований по воздействию шума и инфразвука на население в зоне Северного промышленного узла и в прилегающей жилой зоне Центрального района г. Тольятти.

2. Методика проведения и анализ результатов измерений

Методика проведения измерений шумовых характеристик селитебной территории должна учитывать вид источника шума и характер шумовой нагрузки на территории жилой застройки.

Шум, создаваемый предприятиями Северного промузла, является непостоянным, колеблющимся во времени. Для такого рода шума установлены требования к проведению измерений согласно ГОСТ 23337-78* "Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий", в том числе:

- время оценки шума T в помещениях жилых и общественных зданий и на селитебной территории следует принимать днем – непрерывно в течение 8 часов, ночью – непрерывно в течение 0,5 часа (в наиболее шумные периоды суток);
- измерение непостоянного шума следует проводить в периоды времени оценки шума T, которые охватывают все типичные изменения шумового режима в точке оценки. Продолжительность каждого измерения непостоянного шума T_m в каждой точке должна составлять не менее 30 мин.;
- отсчет уровней звука прерывистого шума, уровни звука которого остаются постоянными в интервалах длительностью менее чем 0,5 мин, а также колеблющегося во времени и импульсного шума следует производить с интервалами от 5 до 6 с. В каждой точке за период измерения шума T_m должно быть произведено 360 отсчётов уровней звука.
- за максимальный уровень звука при проведении измерения шума шумомерами следует принимать наибольшее значение уровня звука за период измерения шума T и др.

При проведении измерений в качестве измеряемого параметра для измерений в соответствии с требованиями ГОСТ следует использовать уровни звука в дБА (одночисловые показатели), а также октавные и третьоктавные спектры звука и звукового давления. Измерения следует проводить в дневное время в будние дни преимущественно в часы "пик".

Для проведения измерений использовались:

- шумомер RFT (Германия) типа 00014 в комплекте с микрофоном МКО 00029, поверенный Самарским центром стандартизации, метрологии и сертификации;
- шумомер – анализатор шума "Октава 101А" с капсюлем микрофона типа ВМК-205 и предусилителем типа КММ400, поверенный.

Были проведены измерения в более чем 20 точках территории Северного промышленного узла г. Тольятти в дневное время. Результаты измерений в каждой из точек были оформлены в виде бланков регистрации из-

мерений, включающих дату, время и место проведения измерений, номера точек измерений и цифровые данные отсчётов уровней шума в измеренной точке. Затем полученные результаты были для получения эквивалентных уровней звука обработаны в соответствии с методикой ГОСТ 23337-78*. Измеренные уровни шума оценивались в соответствии с гигиеническими требованиями, установленными действующими санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и СНиП 23-03-2003 "Защита от шума".

Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные уровни звука L_{Aecv} и максимальные уровни звука L_{Amax}, дБА. Оценка на соответствие допустимым уровням должна проводиться одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука. 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 Φ ($\Phi = 1$, если фактор направленности не известен).

Результаты измерений уровней звука приведены в табл. 1. Наибольшие значения по эквивалентному и максимальному уровню звука наблюдаются в т. 1, ул. Ларина (кольцо ул. Мира – ул. Комсомольская); т.6, ул. Ларина, 147; т.12, ул. Новозаводская, 49.

Проведем расчет уровней звука, создаваемого при работе предприятий Северного промышленного узла, на жилые кварталы Центрального района г. Тольятти. Уровень звука на открытом воздухе в точке наблюдения зависит от характеристик источника (спектр излучаемой мощности, характеристика направленности), от расположения точки наблюдения относительно источника, поверхности земли и других объектов, от влияния земли и погодных условий. При расчете будем принимать следующие допущения:

1. Имеем переменный шум, оцениваемый по L_{ecv}.
2. При наложении нескольких звуковых волн p_i средний квадрат суммарного звукового давления определяется равенством $p_{сум}^2 = \sum p_i^2$ (некогерентность; энергетическое суммирование). Такое пренебрежение слагаемыми $2p_i p_j$ (эффектами интерференции) обычно оправдано при широкополосном шуме и усреднении по времени.
3. Источники звука считаются точечными (их размеры малы по сравнению с расстоянием до точки наблюдения).
4. Точка наблюдения находится в дальнем звуковом поле источника.

Эквивалентные и максимальные значения уровней звука
на территории Северного промышленного узла
с учетом корректирующих поправок

Таблица 1

№ точки	Местонахождение	Дата	Время	Суммарный индекс	Значение	Значение округленное	Максимальное значение
1	Ул. Ларина (кольцо Мира – Комсомольская)	04 октября 2005	9:00	1284890	71,079417	**71**	**83**
2	Ул. Ларина (200 метров от кольца Мира – Комсомольская)	04 октября 2005	9:58	661889	68,189155	**68**	**75**
3	Ул. Ларина (400 метров от кольца Мира – Комсомольская)	04 октября 2005	11:10	737777	68,65387	**69**	**78**
4	Ул. Ларина 170	04 октября 2005	12:26	717589	68,530245	**69**	**82**
5	Ул. Ларина 153	06 октября 2005	12:03	854390	69,292124	**69**	**77**
6	Ул. Ларина 147	06 октября 2005	13:15	1174229	70,672699	**71**	**82**
7	Ул. Ларина 143	06 октября 2005	14:31	724889	68,574948	**69**	**78**
8	Ул. Ларина 139а	06 октября 2005	15:44	654240	68,142315	**68**	**76**
9	Ул. Комсомольская, 175	07 октября 2005	13:00	506079	67,037589	**67**	**75**
10	Ул. Комсомольская, 170	07 октября 2005	14:08	531689	67,234892	**67**	**73**
11	Ул. Комсомольская, 163	07 октября 2005	15:35	549900	67,375193	**67**	**75**
12	Ул. Новозаводская, 49	10 октября 2005	9:58	1120020	70,463398	**70**	**96**
13	Ул. Новозаводская, 55	10 октября 2005	11:05	611856	67,852512	**68**	**75**
14	ул. Новозаводская (управление ВЦМ)	10 октября 2005	12:16	841220	69,228099	**69**	**78**
15	ул. Новозаводская (пересечение с 50 лет Октября)	11 октября 2005	11:17	739429	68,663987	**69**	**74**
16	ул. Новозаводская (троллейбусное депо)	11 октября 2005	12:27	885000	69,440933	**69**	**78**
17	ул. Новозаводская	04 октября 2005	13:40	808377	69,068435	**69**	**78**
18	ул. Индустриальная, 5	13 октября 2005	8:56	636103	68,031249	**68**	**76**
19	ул. Индустриальная, 16	13 октября 2005	10:15	438528	66,392124	**66**	**74**

Уровень звукового давления (дБ), создаваемого точечным источником на расстоянии r (в м) от него в однородной среде без поглощения, вдали от препятствий, равен:

$$L(r) = L_p + 10\lg\Phi - 20\lg r - 10\lg\Omega, \quad (1)$$

где L_p – уровень звуковой мощности источника (или уровня звука), дБ (дБА);

Φ – фактор направленности источника для направления на точку наблюдения;

$\Omega = 4\pi$ – полный пространственный угол (в стеридианах), в который излучается звук, $10\lg 4\pi = 11$.

В ряде работ показано, что уровень звука из формулы (5) спадает на 6 дБ при удвоении расстояния r от источника ($20\lg 2 = 6$) за счет геометрического расширения области, в которую распространяется звуковая энергия [1, 3]. Рассчитаем изменение уровня звука от точек с наибольшими значениями звука и наиболее близко расположенных к жилым домам при распространении в жилую зону Центрального района г. Тольятти. Расстояние r от источника будем условно принимать за 5 м. Результаты расчетов показывают, что наибольшее превышение нормативов наблюдается для жилых зон, расположенных вблизи от точек по ул. Комсомольской и вблизи от точки по ул. Новозаводской (управление ВЦМ).

Нормируемыми характеристиками постоянного инфразвука являются:

– уровни звукового давления (L_p) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц, в дБ;
– уровень звукового давления (при одночисловой оценке), измеренный по шкале шумомера "линейная", в дБ Лин (при условии, если разность между уровнями, измеренными по шкалам "линейная" и "А" на характеристике шумомера "медленно", составляет не менее 10 дБ).

Нормируемыми характеристиками непостоянного инфразвука являются эквивалентные по энергии уровни звукового давления (L_{ecv}) в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц и эквивалентный общий уровень звукового давления, в дБ Лин. В качестве дополнительной характеристики для оценки инфразвука (например, в случае тонального инфразвука) могут быть использованы уровни звукового давления в 1/3 октавных полосах. Предельно допустимые уровни инфразвука на территории жилой застройки согласно СН 2.2.4/2.1.8.583-96 составляют 90 дБ Лин (общий уровень инфразвука), для октавных полос: 2 Гц – 90 дБ; 4 Гц – 85 дБ, 8 Гц – 80 дБ, 16 Гц – 75 дБ.

В соответствии с нормативными данными существенные превышения гигиенических требований по инфразвуку (октавные полосы) и низкочастотному звуку (октавные полосы и эквивалентные значения) были зафиксированы в ряде точек. Был сделан вывод, что с точки зрения воздействия на жилую зону наиболее серьезные проблемы создают низкочастотный звук и инфразвук в т. 13 (ОАО "Волгоцеммаш"), в т. 20 (ул. 50

лет Октября, Центральная СТО) и в т. 21 (Тольяттинский завод технологического оборудования, ул. Комсомольская). Наибольшие превышения нормативов зафиксированы в т. 21 (по инфразвуку уровень звукового давления в октавных полосах: 2 Гц – на 9,5 дБ; 4 Гц – 10 дБ; 8 Гц – 13 дБ; 16 Гц – 21 дБ). Пример представления спектральных уровней низкочастотного звука и инфразвука в виде диаграммы показан на рис. 1.

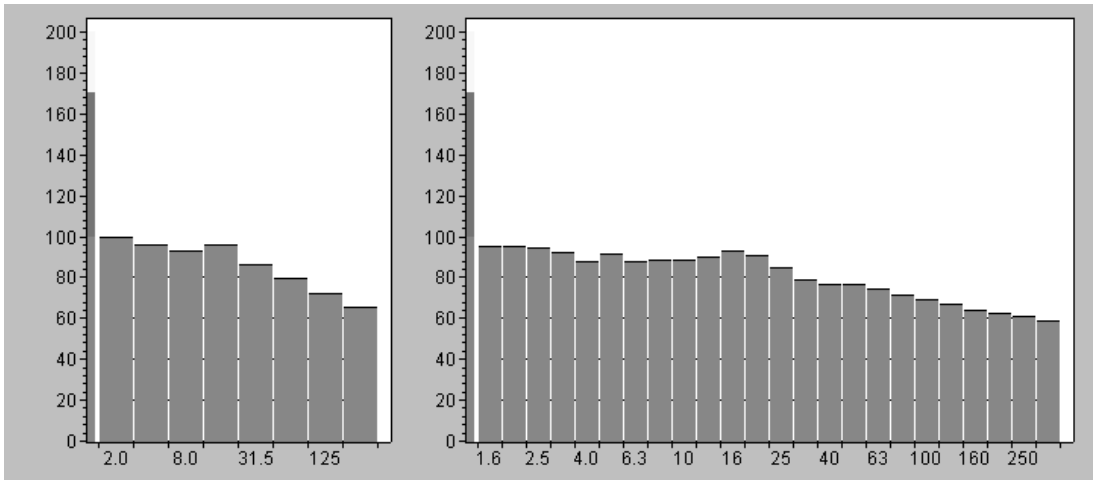


Рис. 1. Диаграмма эквивалентных уровней низкочастотного звука и инфразвука (октавные спектры) в т. 21.

3. Составление карт шума и инфразвука территории Северного промузла г. Тольятти.

С использованием программного обеспечения «Sound City Test» [4] были составлены динамические карты шума, низкочастотного звука и инфразвука при работе предприятий Северного промышленного узла г. Тольятти и в прилегающей жилой зоне Центрального района г. Тольятти.

Карта шума (рис. 2) построена с учетом того, что в измеренных точках наблюдались превышения гигиенических требований. При этом оранжевым цветом на карте показаны точки, для которых эквивалентные значения уровней звука лежат в диапазоне от 65 до 70 дБА, а красным цветом – точки с эквивалентными значениями уровней звука свыше 70 дБА.

Карты низкочастотного звука и инфразвука (рис. 3) включают:

– эквивалентные значения уровней низкочастотного звука и инфразвука;
– значения уровней низкочастотного звука в октавной полосе 31,5 Гц;
– значения уровней низкочастотного звука в октавной полосе 63 Гц.

При составлении карты по эквивалентным значениям уровней низкочастотного звука и инфразвука учитывалось, что имеются как точки, для которых превышения нормативов не выявлено (показаны зеленым цветом), так и точки с превышением уровней звукового давления в диапазоне от 65

до 70 ГЦ (показаны оранжевым цветом) и в диапазоне свыше 70 Гц (значительное превышение, показаны красным цветом).

Исследования проводились сотрудниками аттестованной научно-исследовательской лаборатории НИЛ-9 "Виброакустика, экология и безопасность жизнедеятельности" ТГУ.

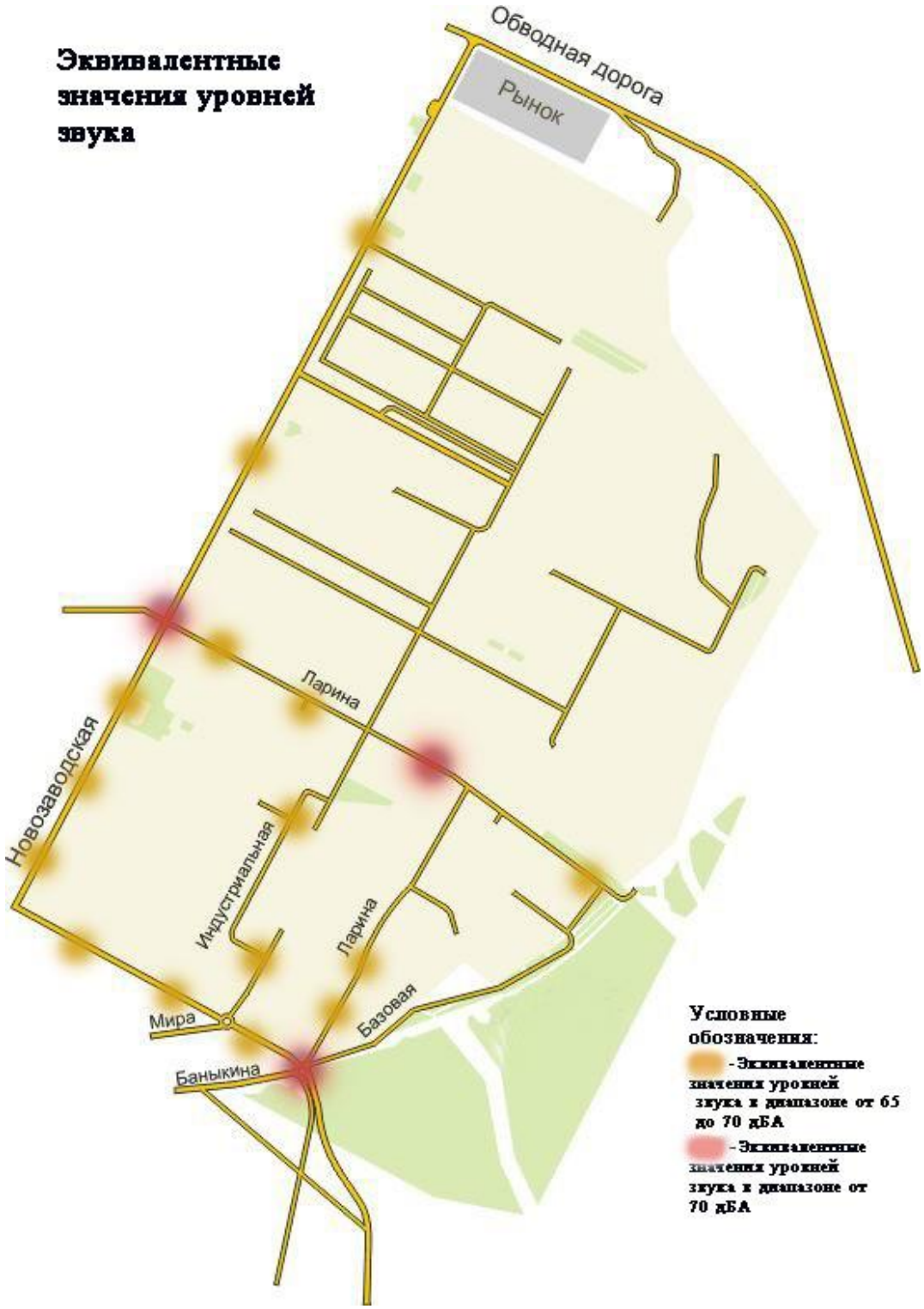


Рис.2.

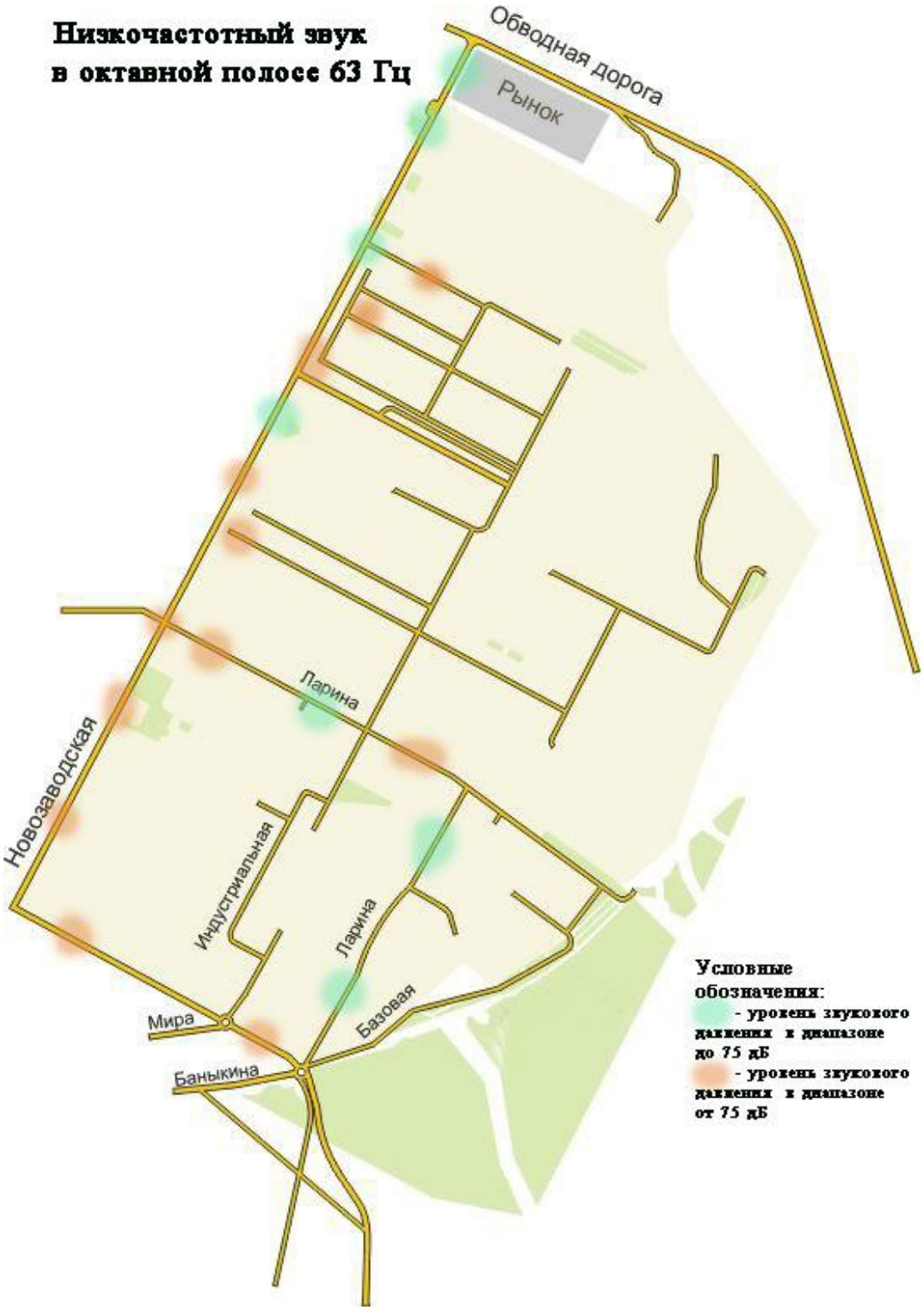

Низкочастотный звук
в октавной полосе 63 Гц
Обводная дорога
Рынок
Ларина
Новозаводская
Индустриальная
Ларина
Базовая
Мира
Баныкина
Условные обозначения:
- уровень звукового давления в диапазоне до 75 дБ
- уровень звукового давления в диапазоне от 75 дБ

Рис. 3.

4. Заключение. Основные выводы.

Были проведены исследования по изучению физических загрязнений (шума, низкочастотного звука и инфразвука) при работе предприятий Северного промузла г. Тольятти, а также прилегающей жилой зоны Центрального района г. Тольятти. Объектом исследований явилась санитарно-защитная зона предприятий Северного промузла и селитебная территория Центрального района г. Тольятти, примыкающая к зонам наиболее интенсивного воздействия при работе предприятий Северного промузла. Анализ характеристик внешних источников физических полей осуществлялся путем проведения натурных измерений. Исследования проводились сотрудниками аттестованной научно-исследовательской лаборатории НИЛ-9 "Виброакустика, экология и безопасность жизнедеятельности" ТГУ.

Проведен анализ результатов измерений. Были сделаны следующие основные выводы: наибольшие значения по эквивалентному и максимальному уровню звука наблюдаются в т. 1, ул. Ларина (кольцо ул. Мира – ул. Комсомольская); т.6, ул. Ларина, 147; т.12, ул. Новозаводская, 49. Результаты расчетов показывают, что наибольшее превышение нормативов наблюдается для жилых зон, расположенных вблизи от точек по ул. Комсомольской и вблизи от точки по ул. Новозаводской (управление ВЦМ). В ряде точек зафиксированы существенные превышения гигиенических требований по инфразвуку и по низкочастотному звуку (октавные полосы и эквивалентные значения). С точки зрения воздействия на жилую зону наиболее серьезные проблемы создают низкочастотный звук и инфразвук в т. 13 (ВЦМ), в т. 20 (ул. 50 лет Октября, Центральная СТО) и в т. 21 (ТЗТО, ул. Комсомольская). Построены карты шума, низкочастотного звука и инфразвука для обследованной зоны.

Литература

1. Борьба с шумом на производстве. Справочник под ред. Е.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 399 с.
2. 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.
3. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для вузов – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.: ил.
4. Vassiliev A.V. Software Development for Transport Noise Propagation and Mapping. Proc. of the 31 Congress of Italian Acoustical Association, Venezia, Italy, May 5-7 2004, pp. 297-303.
5. Vassiliev A.V., Utkin N.D., Pereshivailov L.A. Transport Noise Affection to the Housing Estates. Proc. of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Rotterdam, The Netherlands, 29 June – 3 July 2003, pp. 258-259.

Новые методики расчета эффективности акустических экранов

Тюрина Н.В., Бобровских В.П.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Снижение акустической нагрузки на население осуществляется на стадии проектирования транспортной магистрали при помощи оценки ожидаемых уровней шума и проектирования шумозащитных мероприятий. Одним из распространенных средств снижения шума являются акустические экраны. Недостатком существующих методик расчета эффективности экрана является то, что они не учитывают характеристики материала АЭ и акустические параметры окружающей среды. Новый метод расчета разработан для оценки эффективности акустических экранов на стадии проектирования.

В данном методе расчета предлагается учитывать звукопоглощающие свойства поверхностей, акустического экрана, а также его размеры (высоту и длину) и дифракцию звука через АЭ. Рассмотрим методику расчета экрана для защиты от транспортного шума.

За эффективность АЭ принимаем отношение:

$$\Delta L_{экр} = 10\lg \frac{I_{PT}^{б/э}}{I_{PT}}, \text{ дБ} \qquad (1)$$

где $I_{PT}^{б/э}$ – интенсивность звука в РТ без установки экрана, Вт/м^2;

I_{PT} – интенсивность в РТ при установке экрана, Вт/м^2.

Интенсивность звука в расчетной точке без АЭ выбирается из предположения, что транспортный поток принят за протяженный источник звука, излучающий цилиндрическую звуковую волну:

$$I_{PT}^{б/э} = \frac{W_и(1-\alpha_{пов2})}{2\pi l_{экр} R} arctg \frac{l_{экр}}{2R}, \text{ Вт/м}^2 \qquad (2)$$

где

$W_и$ – акустическая мощность источника звука, Вт;

$\alpha_{пов}$ – звукопоглощение поверхности между ИШ и РТ;

$l_{экр}$ – длина АЭ, м;

R – расстояние от ИШ до РТ, м.

Формула для расчета интенсивности звука в РТ с АЭ представлена следующим образом:

$$I_{рт} = \frac{W_н(1-\alpha_{пов})(1-\alpha_{экр})l_{экр}\lambda\beta_{дифр}(1-\alpha_{пов2})}{l_{экр}h_{экр}2\pi l_{экр}r_2} arctg\frac{l_{экр}}{2r_2}, \qquad (3)$$

Подставив (2) и (3) в (1), получим выражение для расчета эффективности экрана:

$$\Delta L_{экр} = 10\lg\frac{W_н(1-\alpha_{пов2})arctg\frac{l_{экр}}{2R}h_{экр}\pi l_{экр}r_2}{2\pi l_{экр}RW_н(1-\alpha_{пов1})(1-\alpha_{экр})(1-\alpha_{пов2})\lambda\beta_{дифр}}\cdot\frac{1}{arctg\frac{l_{экр}}{2r_2}}, \text{ дБ}, \qquad (4)$$

После преобразований окончательно имеем:

$$\Delta L_{экр} = 10\lg\frac{arctg\frac{l_{экр}}{2R}h_{экр}r_2}{2R(1-\alpha_{пов1})(1-\alpha_{экр})\lambda\beta_{дифр}}\cdot\frac{1}{arctg\frac{l_{экр}}{2r_2}} \text{ дБ}, \qquad (5)$$

Разработанная формула учитывает высоту и дину экрана, поглощающие свойства поверхности перед АЭ, акустические характеристики материала, из которого изготовлен АЭ, свойства звука за экран. Апробация разработанного метода расчета показала, что результаты расчета хорошо согласуются с данными экспериментальных исследований. Результаты моделирования с использованием разработанной методики приведены на рис. 1-3.

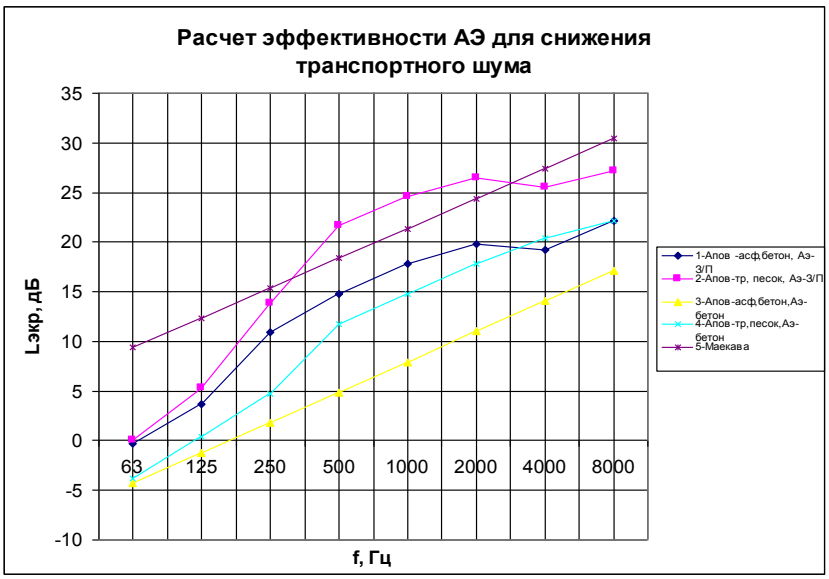


Рис. 1. Влияние звукопоглощения материала экрана на эффект снижения шума экраном

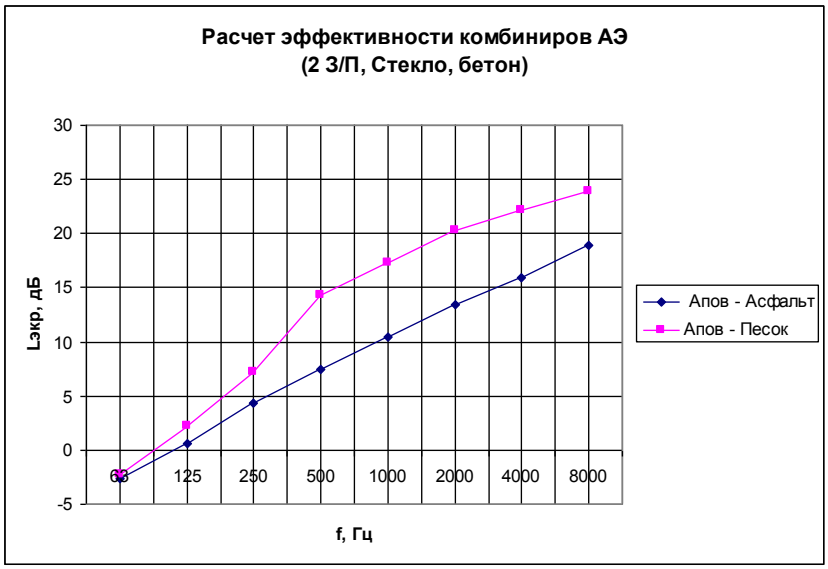


Рис. 2. Влияние характеристик близрасположенных поверхностей на уровень снижения шума экраном

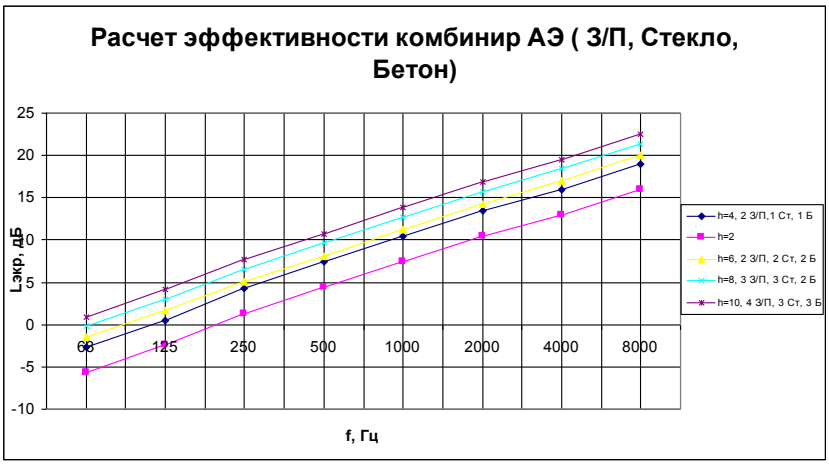


Рис. 3. Зависимость эффективности экрана от высоты

Литература

1. СНиП II-12-77. Защита от шума/Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1978.
2. М.В. Буторина, Н.В. Тюрина. Оценка акустического загрязнения от автомобильных дорог и выбор мероприятий по снижению шума, Экология и БЖД, (8), 2005.
3. Г.Л. Осипов, Б.Г. Прутков, И.А. Шишкин, И.Л. Карагодина. Градостроительные меры борьбы с шумом, М.: Стройиздат, 1975, 215 с.
4. Защита от шума в градостроительстве/ Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др.; Под ред. Г.Л. Осипова. – М. Стройиздат, 1993. – 96 с.

Акустическое загрязнение городской среды транспортными потоками

Зальцман Г.К., Копытенкова О.И.,
Пронин А.П., Плотицын Е.С.
Петербургский государственный университет
путей сообщения Российской Федерации

Проблема акустического загрязнения окружающей среды относится к наиболее важным и трудно решаемым проблемам. В населенных пунктах, вдоль автомобильных и железнодорожных транспортных магистралей шум в определенные периоды превышает допустимые нормы в 2-3 раза. От 30 до 40% населения этих населенных пунктов подвергается действию повышенного уровня шума. По массовости воздействия последствия и тяжести заболеваний этот фактор стоит на третьем месте после проблем чистой воды и чистого воздуха в ряду экологических проблем [1,2,3]. Наибольшие значения уровня шума, достигающие в дневное время 70-80 дБА, фиксируются в жилой застройке, расположенной вблизи высокоинтенсивных транспортных магистралей. На фасадах зданий, обращенных к транспортному потоку, уровни шума в дневное время на 15-25 дБА выше нормативных (55 дБА). При определенных условиях шум может превышать ПДУ в ночное время (норма 45 дБА) на расстоянии до 700-1000 метров [1,2,3].

Значительны шумовые и вибрационные нагрузки и особенно вдоль железнодорожной магистрали в черте Санкт-Петербурга. По результатам акустического мониторинга годы уровни шума в 69% случаев превышали допустимый. (Баринова Л.Д., Карасева Л.Э., 2001).

Современные транспортные средства характеризуются значительными уровнями звука. Шум от городского рельсового электротранспорта возникает при движении металлических колес по рельсовому пути со стыками, при этом генерируются шумы, с высоким уровнем на средних и высоких частотах. Наземные линии метрополитена являются источниками среднечастотного непостоянного шума, возникающего при движении. На поворотах при трении колес о рельсы возникает тональный шум на уровне 75 дБА.

Шум железнодорожного транспорта обусловлен движением поездов и производственными процессами их обработки на товарных и сортировочных станциях. Во время движения и при ударах системы сцепки вагонов уровень шума достигает 80-90 дБА. [4].

Структуру шумового режима населенного пункта целесообразно рассматривать с точки зрения его планировки. Разветвленная уличнодорожная сеть пронизывает жилые районы. Шум, возникающий от интен-

сивного транспортного движения, распространяется далеко вглубь жилых микрорайонов и в жилые дома, создавая зоны акустического дискомфорта. Население в этих случаях подвергается высокой шумовой нагрузке, это ухудшает санитарно-эпидемиологическое благополучие территорий, мешает полноценной трудовой деятельности, нормальному отдыху и сну и является причиной не только многочисленных жалоб, но и ухудшения состояния здоровья. Рост количества источников, их большая распространенность привели к увеличению площадей акустического дискомфорта и количества проживающего в них населения, подверженного воздействию сверхнормативных уровней шума. Так, анализ шумовой карты Санкт-Петербурга показал, что улично-дорожная сеть, железнодорожные линии, создают участки акустического дискомфорта на трети территории от общей площади жилой застройки. На этой территории проживает около 2 млн. человек [1].

Высокая шумовая нагрузка оказывает вредное влияние на здоровье и трудоспособность населения, тем самым, причиняя значительный социально-экономический ущерб народному хозяйству страны. Обращаемость за медицинской помощью, как правило, значительно выше в «шумовых» районах. В целом, по группе обследованных лиц в шумном районе в отличие от тихого района частота обращаемости за медицинской помощью выше (соответственно 2293 и 1349 на 1000 человек). Показатель болевших лиц в шумных районах отмечается на 10-20% выше, чем в тихих районах по всем возрастно-половым подгруппам. Число часто болевших (3-5 раз в год) лиц в 2,5 раза превышает аналогичный показатель в тихом районе. Население шумного района трудоспособного возраста чаще обращаются за медицинской помощью в связи с заболеваниями нервной системы, органов чувств, системы кровообращения, органов пищеварения и др.

По расчетам и по данным экспериментов эквивалентные уровни звука на расстоянии до 50 м. от магистрали с высокоинтенсивным действием акустических полей не только вызывает дискомфорт, но и приводит к таким заболеваниям, как психические расстройства, ухудшение сердечно-сосудистой деятельности, снижение слуха. Под действием шума возникают и развиваются заболевания центральной нервной и сердечно-сосудистой систем; гипертоническая и язвенная болезни, возникают неврозы, раздражительность, бессонница, формируется синдром хронической усталости.

Отрицательное влияние шума на организм детей установлено рядом исследований. Под влиянием шума, интенсивность которого превышает 45 дБА, у школьников понижается слуховая чувствительность, снижается умственная работоспособность, растает содержание в крови адреналиноподобных веществ (с 2,78% при уровне шума 30 дБА до 4,11% при шуме 47 дБА), снижается количество сахара. Приведенные и другие результаты наблюдений являются основанием для безусловного соблюдения гигиени-

ческих нормативов регламентирующих уровень шума на территории населенных пунктов вдоль транспортных магистралей как в дневное, так и в ночное время.

Литература

1. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге за 1980 – 1999 гг., СПб., 2000. – С. 410 – 412.
2. Копытенкова О.И. Региональные особенности состояния здоровья населения и перспективы организации гигиенического мониторинга. СПб., 1998. – С. 147 с.
3. Щербо А.П. Окружающая среда и здоровье. СПб., 2002. – С. 49-52.

Установление и описание физических закономерностей в глушителях шума выпуска двигателей внутреннего сгорания

Иванов Н.И., Дробаха М.Н., Ерофеев В.К., Петров Ю.К.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

1. Введение

Глушитель является важным конструктивным средством шумозащиты любой транспортной машины с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Уровни звука незаглушенного шума выпуска, например, автомобильного двигателя могут достигать 120-130 дБА, в десятки раз превосходя интенсивность звука остальных источников шума. Эти уровни близки к болевому порогу восприятия шума.

Существуют сотни конструкций как глушителей, так и всей системы выпуска ДВС. Проблему создания эффективной системы глушения шума выпуска ДВС до настоящего времени нельзя считать решенной. Основные трудности связаны с наличием шума от различных источников (истекающие продукты сгорания, турбулентный шум, ударно-волновой шум, возбуждение собственных частот элементов системы выпуска, шум, обусловленный срабатыванием впускных и выпускных клапанов и т.д.). С точки зрения газодинамических процессов задача расчета параметров истечения является достаточно сложной, т.е. нестационарной с физико-химическими превращениями в условиях переменных объемов цилиндров и проходных отверстий клапанов, переменных противодавлений, наличия теплопотерь и т.д. Все это привело использованию экспериментальных методов создания и отработке эффективных систем шумоглушения в качестве основных.

В настояшей работе приведены результаты экспериментальных и численных исследований аэроакустических параметров систем шумоглушения различных конструкций. Основное внимание было уделено роли собственных частот элементов системы выпуска и их влиянию на излучение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ). Для выполнения численных исследований были использованы приближенные физико-математические модели расчета определенных газодинамических параметров отработавших газов, акустическая аналогия Лайтхилла для расчета АЧХ неизотермических струй выпуска и набор классических формул для оценки собственных частот полостей различных размеров и конструкций.

2. Методика расчёта собственных частот элементов выпускного тракта (глушитель, трубопровод)

Наличие в выпускном тракте проточных каналов и полостей различных объёмов и конфигураций, обладающих набором собственных частот, потребовало оценки численных величин для возможных механизмов их возникновения. Необходимость этой работы обусловлена возможным проявлением резонансных эффектов в различных частотных диапазонах. Кроме того, информация о собственных частотах полостей позволит проверить предположение о снижении акустического излучения за счёт наличия в глушителях полей стоячих волн.

С учётом особенностей геометрии элементов выпускного тракта были проанализированы различные физические механизмы возбуждения собственных частот (объемные, волновые).

Основные модели возбуждения собственных частот и соответствующие расчётные формулы приведены ниже.

Объёмные резонаторы:

– резонатор с плоским горлом:

$$f_0 = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{d_Г \varepsilon}{W}} \tag{1}$$

– резонатор с удлинённым горлом:

$$f_{01} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{d_Г}{l_Г W}} \tag{2}$$

– резонатор с двумя плоскими горлами:

$$f_{02} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{d_{Г1}\varepsilon_1 + d_{Г2}\varepsilon_2}{W}} \tag{3}$$

– резонатор с двумя удлинёнными горлами:

$$f_{02l} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{S_1\varepsilon_1}{l_{Г1}W_1} + \frac{S_2\varepsilon_2}{l_{Г2}W_2}} \tag{4}$$

– двуполостные резонаторы:

$$f_{20} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{(m+2)c}{W}} \tag{5}$$

$$f'_{20} = \frac{a_0}{2\pi}\sqrt{\frac{mc}{W}} \tag{6}$$

где m = 2, c = 2R для круглого отверстия.

– ¼ волновые резонаторы:

$$f_{\frac{1}{4}} = \frac{a_0 n}{4L}, \tag{7}$$

где n = 1, 3, 5, 7,

– ½ волновые резонаторы (продольные, поперечные):

$$f_{\frac{1}{2}L} = \frac{a_0 k}{2L} \tag{8}$$

$$f_{\frac{1}{2}D} = \frac{a_0 k}{2D} \tag{9}$$

где k = 1, 2, 3, 4

$d_г$, $l_г$ – диаметр, длина горла $[м]$;

W – объём полости $[м^3]$;

$S_г$ – площадь горла $[м^2]$;

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.

3. Результаты экспериментальных и численных исследований функционирования глушителей системы выпуска двигателей внутреннего сгорания

Были выполнены расчеты газодинамических параметров газового тракта от цилиндров ДВС до среза выхлопной трубы и расчет параметров акустических полей, генерируемых истекающими продуктами сгорания на основе имеющихся математических моделей, а также выполнен ряд следующих экспериментов:

– октавные измерения УЗД, УЗА, полученные при прозвучивании конструкций глушителей «белым» шумом (анализ амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) шума в специальной камере);
– октавные измерения УЗД, УЗА, полученные при продувках газового тракта струей холодного воздуха;
– октавные измерения УЗД, УЗА, полученные на работающем дизельном двигателе (холостой ход);
– измерения газодинамических параметров (полное, динамическое и статическое давление, температура в отдельных сечениях газового тракта).

Эксперименты и расчеты были выполнены на моделях, показанных на рис. 1. Для этих глушителей (рис. 1) были также рассчитаны значения возможных собственных частот (см. табл.1, столбец «Расчёт»). Там же (столбец «Эксперимент») приведены данные f / Li (частота/уровень звукового давления в октавных полосах частот), полученные при прозвучивании искусственным источником шума.

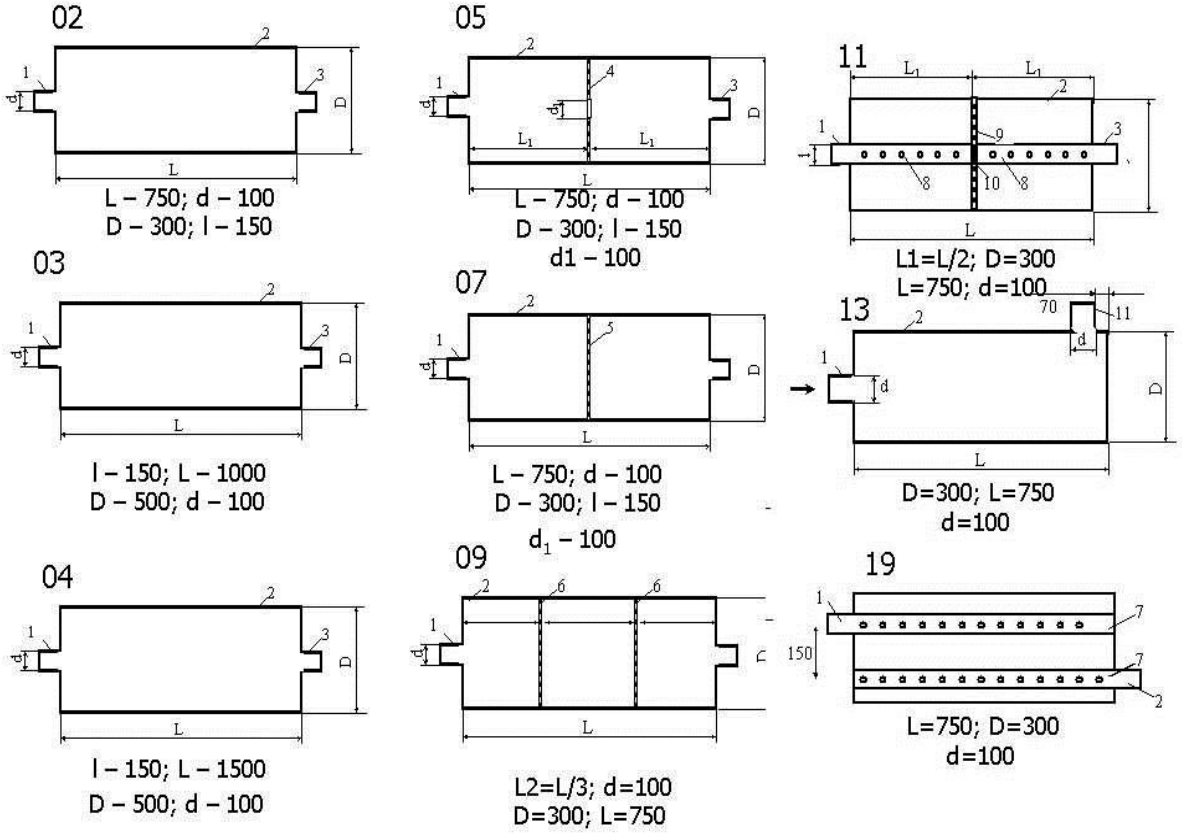


Рис.1 Схемы глушителей.

Результаты экспериментов по прозвучиванию и расчётные значения возможных собственных частот глушителей (холодный воздух)

Таблица 1

№ глуши-теля	02		03		04		05		07		09		11		19		13	
Расчётные формулы f_i	**Расч. f_i**	**Эксп. f_i / L_i**	**Расч. f_i**	**Эксп. f_i / L_i**	**Расч. f_i**	**Эксп. f_i / L_i**	**Расч. f_i**	**Эксп. f_i / L_i**	**Расч. f_i**	**Эксп. f_i / L_i**	**Расч. f_I**	**Эксп. f_i / L_i**	**Расч. f_i**	**Эксп. f i /Li**	**Расч. f_i**	**Эксп f_i / L_i**	**Расч. f_i**	**Эксп. f i / L i**
f_0	74	63/72	39	31,5/65	31	31,5/63	105	125/78	105	125/76	128	125/76	129	125/76	108	125/78	74	63/73
f_{0l}	54	63/72	28	31,5/65	23	31,5/63	76	63/74	76	63/71	93	125/76	76	63/71	61	63/72	54	63/73
f_{02}	105	125/76	55	63/71	45	63/69	149	125/78	154	125/76	189	250/76	175	125/76	153	125/78	97	25/75
f_{02l}	76	63/72	39	31,5/65	32	31,5/63	108	125/78	116	125/76	143	125/76	99	125/76	86	63/72	65	63/73
f_{20}	—	—	—	—	—	—	263	250/76	284	500/82	348	250/76	296	250/77				
f'_{20}	—	—	—	—	—	—	373	500/83	401	500/82	492	500/82	419	500/79				
$f_{1/4}$	113	125/76	85	63/71	57	63/69	113	125/78	113	125/76	113	125/76	113	125/76	113	125/78	113	125/75
$f_{1/2L}$	227	250/76	170	125/76	113	125/78	227	250/76	227	250/76	226	250/76	226	250/76	227	250/78	162	125/75
$f_{1/2D}$	567	500/82	340	250/77	340	250/76	567	500/83	567	500/82	567	500/82	567	500/82	567	500/80	566	500/79

4. Сравнительный анализ функционирования глушителей на холодной и горячей струях газа.

Для анализа экспериментальных данных использованы результаты измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот глушителя 02, полученных при продувках глушителя потоком холодного воздуха (см. табл. 2).

Кроме того, в табл. 2 представлены результаты, полученные при работе двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Результаты экспериментальных и численных исследований АЧХ глушитель 02

Таблица 2

АЧХ в октавных полосах частот	Среднегеометрическая частота, Гц	Расчётные значения собственных частот глушителя (холодный воздух)	УЗД, дБ (холодная струя)	Расчётные значения собственных частот (горячий газ)	УЗД, дБ (струя продуктов сгорания)	Частота работы установки	Источник генерации звука
	31,5		92		102,9	37	Частоты работающего двигателя, собственные частоты
	63	54 74 76	98	65 89	116,5	74	
	125	105 113	93	91 126 136	99,8	149	
	250	227	106	158 272	104,8	192	
	500	567	105	680	94,7		
	1000		118		104,3		Частоты, излучаемые потоком продуктов сгорания
	2000		128		106,1		
	4000		130		102,7		
	8000		127		91,9		
УЗ, дБА/ $L_{P\Sigma}$,дБ			134		110,7/109,5		

Анализ результатов, полученных на струе холодного воздуха (табл.2), и данных, полученных при прозвучивании (табл.1) позволдил сделать следующие выводы.

Анализ функционирования системы шумоглушения с помощью турбулентной изотермической струи воздуха, создаваемой источником сжато-

го газа, показал, что на вход глушителя подаётся поток холодного воздуха, на начальном участке обладающий сверхзвуковой скоростью и возможными дискретными частотами ударно-волновой природы. На определённом удалении от источника сжатого газа скорость становится дозвуковой с присущим ей спектром излучения (более 500…1000 Гц).

Полученные экспериментальные значения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), по-видимому, следует отнести к механизмам генерации шума сверхзвуковыми газовыми струями и нестационарными газодинамическими процессами, которые реализуются в виде автоколебательных процессов при истечении сверхзвуковой струи в канал с внезапным расширением. Перепад давлений на жиклёре $(20{,}5 \div 7{,}5)10^5$ Па и изменение проходного сечения газохода от $d_ж$=8 мм до диаметра трубы $d_{тр}$=100 мм Эти 2 механизма и малая жёсткость конструкции глушителя (толщина стенки ~ 1 мм) – всё это, по видимому, проявилось в условиях данных экспериментов, и привело к высоким уровням звукового давления (УЗ = 134 дБА).

Анализ результатов функционирования глушителя 02 при работающем двигателе показал (табл. 2), что основной вклад в излучаемую мощность, как правило, вносят низкочастотные полосы спектра в отличие от продувок на холодном воздухе.

При этом приближённые оценки частотного спектра работающих механизмов четырёхтактной двигательной установки, показали, что в условиях работающего двигателя необходимо учитывать число оборотов n= 36÷37 об/сек, частоту взаимодействия поршней с цилиндрами f ≈ 148 1/с, частоту открытия клапанов двигателя (четырёхтактный дизель) – f = 36÷37 1/с, f = 74 1/с, f = 148 1/с, f = 192 1/с. Кроме того, необходимо учесть возможное появление собственной частоты четвертьволнового излучателя $f_{1/4}$ с характерным размером H (длина трубы от выпускного клапана до полости глушителя H ≈ 0,5 + 0,15 = 0,65 м).

Газодинамические расчёты тракта, выполненные для различных начальных условий (давление P_0, температура T_0, переменная площадь выпускного отверстия) показали, что параметры потока на срезе выхлопной трубы являются переменными величинами, причём расчёты выполненные с помощью пакета FloWorks подтвердили наличие существенной неоднородности параметров на срезе выхлопной трубы. Кроме того, необходимо представлять, что мы имеем дело с импульсными струями (по числу периодически работающих клапанов выпуска). При расчёте газодинамических параметров на данном этапе исследований импульсный характер истечения не учитывался.

Так для глушителя 02:

– диапазон изменения скорости V = 60-110 м/с
– диапазон изменения температуры T_0 = 330-500 ^oK.
– диапазон изменения давления P_0 = 104000-108330 Па

По результатам исследований были определены значения возможных собственных частот газового тракта и их гармоник (для условий холодного воздуха и продуктов сгорания). Сравнение экспериментальных данных на холодном воздухе и на реальном двигателе позволило высказать предположение о возможных механизмах генерации излучения в различных частотных диапазонах параметров. На холодных продувках (т.е. при не работающем двигателе) основной вклад вносит излучение на частотах 1000-8000 Гц, т.е. шум изотермического газового потока.

При работе двигателя возрастает роль источников, связанных с работой последнего, т.е. в октавных диапазонах частот 31,5 – 500 Гц, это подтверждают выполненные оценки частот, излучаемых двигательной установкой, механизмы которых обусловлены импульсными струями, ударно-волновыми процессами при открытии клапанов, взаимодействием сверхзвуковых струй с преградами и механическим взаимодействием узлов ДВС, процессами горения в цилиндрах двигателя. Расчеты значений интегральных уровней звукового давления, излучаемого в окружающую среду удовлетворительно совпадают с результатами экспериментов.

Таким образом, подтверждена работоспособность расчётных методик необходимых для предварительных оценок эффективности глушителей.

Необходимо отметить, что и для остальных глушителей основные обобщения этой части анализа справедливы.

5. Краткий анализ полученных результатов

Процессы образования шума на выпуске показаны рис. 2, а характер изменения этих процессов в результате установки глушителей шума выпуска показаны на рис. 3.

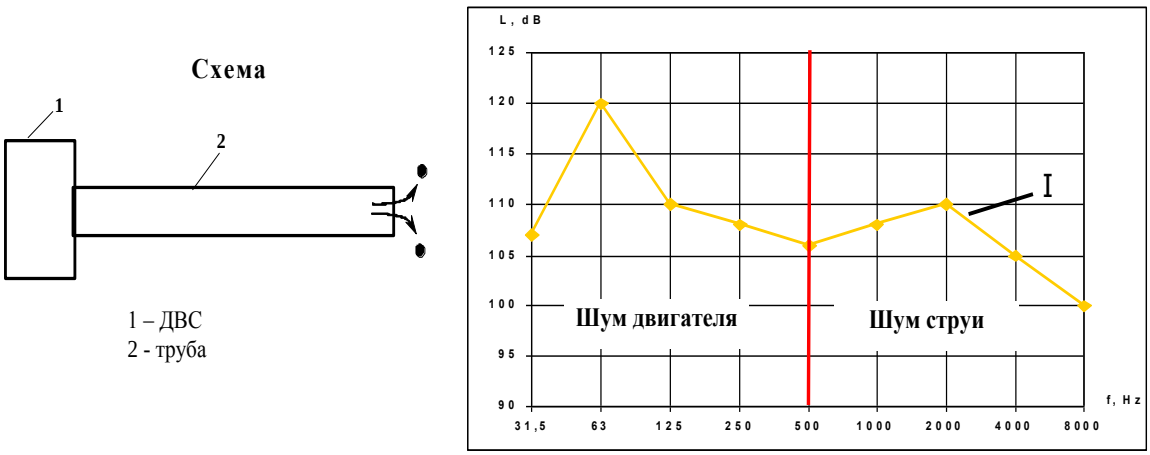


Рис. 2. Спектр шума на выпуске
двигателя внутреннего сгорания без глушителя (I).

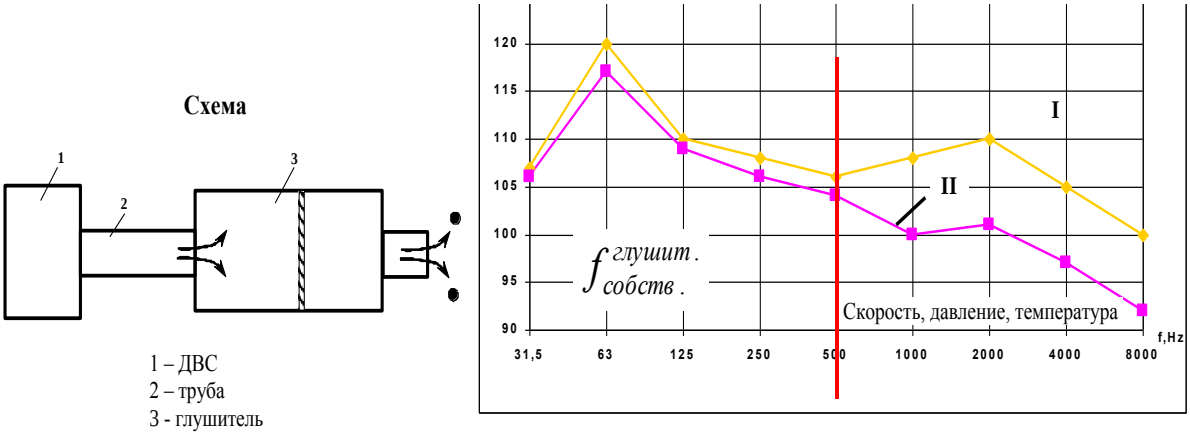


Рис. 3. Характер изменения процессов образования шума на выпуске двигателя внутреннего сгорания без глушителя (I) и в результате установки глушителя (II).

Процессы образования шума на срезе выхлопной трубы (рис.2) связаны с двумя совершенно разными механизмами. Низкочастотная и среднечастотная часть спектра (до 500 Гц) формируются шумом, генерируемым в камерах сгорания, проходящем через выпускные клапаны, а затем по выпускной трубе. Шум на выпуске достигает на отдельных частотах 120-130 дБ. Частоты, на которых происходит основное излучение звука, связаны с частотой работающего двигателя и его гармониками 2-10 порядка, а на высоких частотах 1000 Гц и более связаны с истечением газов из выпускной трубы.

Процесс генерации шума турбулентными потоками в соответствии с акустической аналогией Лайтхилла по физическим механизмам можно разложить на «собственный» шум и «сдвиговый» шум. «Собственный» шум обусловлен турбулентными пульсациями газодинамических параметров. «Сдвиговый» шум обусловлен наличием градиента скорости потока. Все эти составляющие определяются пульсационными и средними значениями газодинамических параметров в каждом сечении потока (скорость, давление, температура и др.).

Анализ численных исследований позволил оценить влияние средней 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.

При малых скоростях существенна роль «собственного» шума, с ростом скорости увеличивается вклад и «сдвигового» шума.

Влияние температуры на излучаемую акустическую мощность менее значительно. Изменение температуры на 100 ÷ 200° 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.

Характер изменения спектра шума при установке глушителя показан на рис.3. В глушителе можно отметить два независимых механизма шумоглушения. Первый связан с воздействием на образовавшийся в выпускном тракте шум. Этот механизм работает, главным образом, на низких и средних частотах в диапазоне до 500 Гц. Здесь глушитель может рассматриваться как набор резонаторов, обладающих рядом собственных частот, которые расположены в диапазоне 20-560 Гц (табл. 1). Конструирование глушителей на работу в этом диапазоне связано с настраиванием их на вынужденные частоты шума двигателя.

Работа глушителя на высоких частотах (выше 500 Гц) связана с воздействием его элементов на газодинамические параметры истекающего потока рабочего газа (скорость, давление и температура). Снижение скорости в диапазоне 25-140 м/с, давления – в диапазоне 8000-10000 Па, а температур – 100-200 °С. Эти эффекты достигаются перфорацией в трубках и перегородках, изменением числа камер, применением звукопоглощения, изменением направления потока и другими конструктивными элементами при выполнении условий минимального противодавления. Необходимо продолжить работу по созданию методики расчета газодинамических параметров продуктов сгорания системы выпуска ДВС.

Литература

1. Лэмб Г. Динамическая теория звука Госиздат. М., 1960.
2. Релей. Теория звука. М., ОГИЗ. 1944. 476 с.
3. Луканин В.А. и др. Двигатели внутреннего сгорания т.1: Теория рабочих процессов. М., В.Ш. 1995.
4. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для ВУЗов – СПб.: Политехника, 2000. – 482с.

Оценка внешнего шума строительных дорожных машин расчетным методом

Курцев Г.М., Куклин Д.А., Элькин Ю.И.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Рассмотрим на примере колесного погрузчика-экскаватора расчет внешнего шума строительной дорожной машины.

Акустическая модель колесного погрузчика представлена системой, состоящей из отдельных источников излучения, обладающих различной акустической интенсивностью, которые формируют суммарное звуковое поле в расчетной точке внешнего поля. Ряд источников шума располагается в моторном отсеке под капотом, к которым необходимо отнести двигатель внутреннего сгорания, вентилятор системы охлаждения, корпус глушителя и генератор. Другие непосредственно излучают звуковую энергию в открытое пространство (выпуск отработанных газов, ходовая часть).

Все источники излучения шума колесного погрузчика – колебательные системы сложной формы. Расчет звуковых полей таких излучателей затруднен. Поэтому для аналитической модели расчета все источники уподобляются идеализированным излучателем звука простой формы (цилиндрические или сферические звуковые волны). При этом для разработки метода расчета внешнего шума использована статистическая теория акустики с введением соответствующих ограничений и допущений, которые приведены ниже.

Для источников излучения, расположенных под капотом, на основании экспериментальных исследований определяется суммарная звуковая мощность. Панели ограждения капота обладают различными звукоизолирующими свойствами, звукоизоляция которых определяется «прозвучиванием» с использованием искусственного источника излучения. Рассчитывается доля звуковой мощности, проходящая через каждую панель капота, излучаемая в полусферу. Таким образом, определяется суммарное звуковое поле в расчетной точке от источников, расположенных под капотом.

Звуковая энергия от выпуска и всасывания попадает в расчетную точку внешнего поля непосредственно, с учетом затухания от расстояния.

Энергетическое сложение звукового давления в расчетной точке внешнего поля позволяет определить суммарное значение шума, излучаемого всеми источниками и сравнить его с экспериментальными результатами.

Аналитические выражения и этапы расчета по ним суммарного внешнего поля колесного погрузчика-экскаватора представлены в следующем разделе.

Определенная идеализация акустических процессов, обусловленная в первую очередь неучетом волновой природы звука, требует введения соответствующих ограничений и допущений при использовании статистической модели для разработки метода расчета ожидаемой шумности строительной дорожной машины [1].

Суммарная акустическая мощность под капотом от всех основных источников излучения на основании экспериментальных измерений определена по формуле (1):

$$L_{w_{сум.}}^{кап.} = L_{рсум.}^{кап.} - 10\lg\left(\frac{X_{кап.}}{S_{кап.общ.}} + \frac{4\Psi_{кап.}}{B_{кап.}}\right) \quad (1)$$

Доля шума, проникающего в расчетную точку внешнего поля через левую боковую панель капота, определена по формуле (2):

$$L_{P_{лев.кап.}}^{внеш.} = L_{w_{сум}}^{кап.} + 10\lg\frac{S_{лев}}{S_{кап.общ.1}} - ЗИ_{лев} - 20\lg R_{внеш.лев.} - 8, дБ \quad (2)$$

где $L_{w_{сум}}^{кап}$ – суммарная акустическая мощность под капотом от всех источников излучения, дБ;

$S_{лев.}$ – площадь левой панели капота м^2;

$ЗИ_{лев}$ – звукоизолирующая способность левой панели капота, дБ;

$R_{внеш.лев.}$ – расстояние от левой боковой панели до расчетной точки внешнего поля, м.

$S_{кап.общ.1}$ – общая площадь панелей капота, через которые звуковая энергия проникает во внешнее поле, м^2.

Доля шума, проникающего в расчетную точку внешнего поля через правую боковую панель капота, определена по формуле (3):

$$L_{P_{прав.кап.}}^{внеш.} = L_{w_{сум}}^{кап.} + 10\lg\frac{S_{прав}}{S_{кап.общ.1}} - ЗИ_{прав} - 20\lg R_{внеш.прав.} - 8, дБ \quad (3)$$

где $S_{прав.}$ – площадь правой панели капота м^2;

$ЗИ_{прав}$ – звукоизолирующая способность правой панели капота, дБ;

$R_{внеш.прав.}$ – расстояние от правой боковой панели до расчетной точки внешнего поля, м.

Доля шума, проникающего в расчетную точку внешнего поля через верхнюю панель капота, определена по формуле (4):

$$L_{P\,верх.кап.}^{внеш.} = L_{w\,сум}^{кап.} + 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{n} S_{верх_i.}}{S_{кап.общ.1}} - 10\lg\frac{\sum_{i=1}^{n} S_{верх_i}}{\sum_{i=1}^{n} S_{верх_i.}\cdot 10^{-0,1ЗИ_{верх_i}}} \qquad (4)$$

$$-20\lg R_{внеш.верх.} - 8, дБ$$

где $S_{верх_i.}$ – площади верхней панели капота с различной величиной звукоизоляции ($ЗИ_{верх_i}$), м^2;

$R_{внеш.верх.}$ – расстояние от верхней панели до расчетной точки внешнего поля, м;

$L_{w\,сум}^{кап}$ – суммарная акустическая мощность под капотом от всех источников излучения, дБ;

$S_{кап.общ.1}$ – общая площадь панелей капота, через которые звуковая энергия проникает во внешнее поле, м^2.

Доля шума, проникающего в расчетную точку внешнего поля через переднюю панель капота, определена по формуле (5):

$$L_{P\,перед.кап.}^{внеш.} = L_{w\,сум}^{кап.} + 10\lg\frac{S_{перед}}{S_{кап.общ.1}} - ЗИ_{перед} - 20\lg R_{внеш.перед.} - 8, дБ \qquad (5)$$

где $S_{перед}$ – площадь передней панели капота, м^2;

$ЗИ_{перед}$ – звукоизолирующая способность передней панели капота, дБ;

$R_{внеш.перед.}$ – расстояние от передней панели до расчетной точки внешнего поля, м;

Доля шума проникающего в расчетную точку внешнего поля через нижний открытый проем капота, определена по формуле (6):

$$L_{P\,ниж.проем}^{внеш.} = L_{w\,сум}^{кап.} + 10\lg\frac{S_{ниж.проем}}{S_{кап.общ.1}} + 10\lg(1-\overline{\alpha_з}) - 20\lg R_{внеш.ниж.проем} - 8, дБ \qquad (6)$$

где $S_{ниж.проем}$ – площадь нижнего открытого проема капота, м^2;

$\overline{\alpha_з}$ – средний коэффициент звукопоглощения отражающей поверхности, на которой расположен погрузчик;

$R_{внеш.ниж.проем}$ – расстояние нижнего открытого проема капота до расчетной точки внешнего поля, м.

Суммарный уровень звукового давления в расчетной точке внешнего поля от всех источников излучения, расположенных под капотом и проникающий через панели капота, определен по формуле (7):

$$L_{P_{кап.}}^{внеш.} = 10\lg(10^{0,1L_{P_{лев.кап}}^{внеш}} + 10^{0,1L_{P_{прав.кап}}^{внеш}} + 10^{0,1L_{P_{пер.кап}}^{внеш}} + \\ + 10^{0,1L_{P_{верх.кап}}^{внеш}} + 10^{0,1L_{P_{ниж.проем}}^{внеш}}) \quad (7)$$

Уровень звукового давления в расчетной точке внешнего поля от выпуска определен по формуле (8):

$$L_{P_{вып.}}^{внеш.} = L_{P_{вып}} - 20\lg\frac{R_{вып}}{r_{вып}} + ПН - \beta_{выхл}, дБ \quad (8)$$

где $L_{P_{вып}}$ – спектральные уровни звукового давления выпуска, дБ, измеренные на расстоянии $r_{вып}$, м;

$R_{вып}$ – расстояние от среза выпускной трубы до расчетной точки внешнего поля, м;

$ПН$ – показатель направленности выпуска, дБ.

$\beta_{вып.}$ – добавка, учитывающая расположение выпускной трубы на капоте по отношению к расчетной точке, дБ.

Суммарный спектр шума в расчетной точке внешнего поля от всех источников излучения на холостом режиме погрузчика определен по формуле (9):

$$L_{сум.}^{внеш.} = 10\lg(10^{0,1L_{P_{кап}}^{внеш}} + 10^{0,1L_{P_{вып}}^{внеш}} + 10^{0,1L_{P_{всас}}^{внеш}}), дБ \quad (9)$$

Результаты расчета внешнего шума по формулам (7-9) и экспериментальный спектр приведены в табл. 1.

Таблица 1

Источники излучения	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	
$L_{P_{кап.}}^{внеш.}$	64,6	61,4	60,9	59,2	60,6	61,8	57,2	53,2	66,7
$L_{P_{вып.}}^{внеш.}$	70,0	64,4	61,5	54,5	54,0	56,3	51,9	46,8	61,8
$L_{P_{сум.}}^{внеш.}$	71,1	66,2	64,2	60,5	61,5	62,9	58,7	54,1	68,0
$L_{P_{экспер.}}^{внеш.}$	77,5	70,3	67,7	63,8	63,3	64,7	59,4	53,7	69,8
Разница между расчетом и экспериментом	-6,4	-4,1	-3,5	-3,3	-1,8	-1,8	-0,7	0,4	-1,8

Выполним анализ расчетов приведенных в табл. 2 и табл. 4. Расчетом выполнено разделение вклада основных источников шума на расстоянии 8 м от машины. Учитывая, что всасывание для данной машины находится под капотом, вклад в процесс шумообразования внешнего поля вносит шум выхлопа (61,8 дБА) и шум от всех источников, расположенных под капотом (66,7 дБА), при общем уровне звука, составляющем 68,0 дБА. Таким образом, можно констатировать, что внешнее поле формируется, в основном, шумом источников, расположенных под капотом и проникающем через его отдельные панели, при этом добавка от выхлопа составляет 1,3 дБА. Вклад шума от выхлопа и шума проникающего через отдельные панели капота показаны на рис. 1.

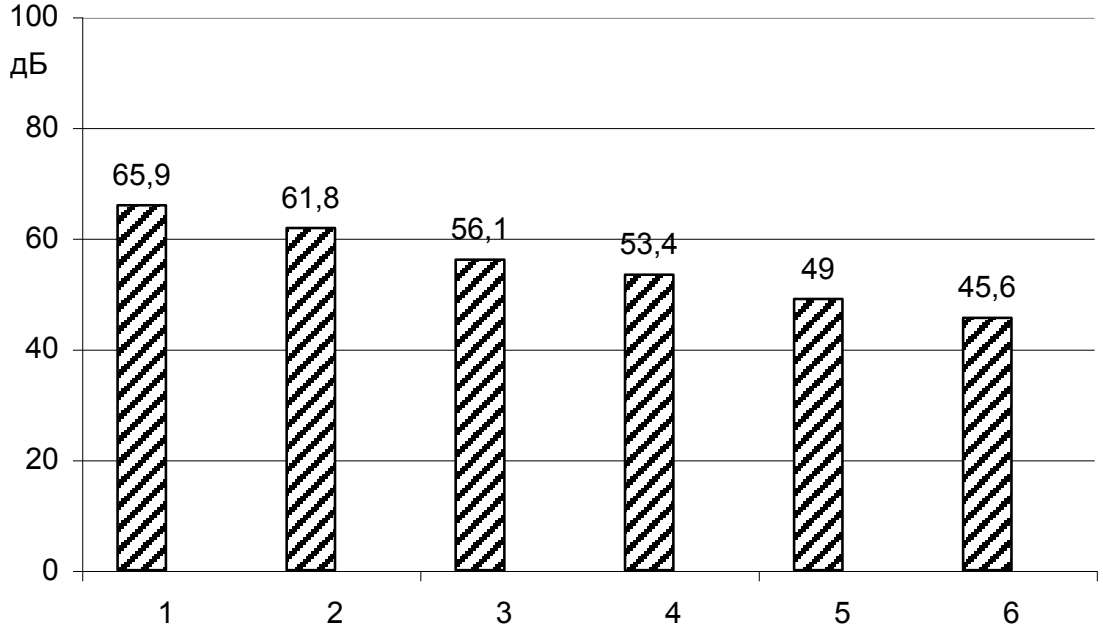


Рис. 1 Вклад источников и каналов проникающего шума во внешнее поле, полученный расчетом

1 через нижний открытый проем капота;
2 выхлоп ДВС;
3 через переднюю панель капота;
4 через левую панель капота;
5 через правую панель капота;
6 через верхнюю панель капота.

Полученное разделение вклада шума позволяет обосновать рекомендации по снижению внешнего шума. Наибольший вклад вносит шум, проникающий через нижний открытый проем капота (65,9 дБА).

Поэтому на основании данных, представленных на рис. 1, можно предложить рекомендации по снижению внешнего шума:

- закрытие нижнего проема капота;
- увеличение эффективности глушителя;
- увеличение звукоизолирующей способности передней и левой панели капота;
- увеличение звукопоглощения под капотом.

Таким образом, предложенная математическая модель позволяет достаточно просто определить пути снижения внешнего шума, а также найти численные значения необходимой эффективности предложенных мероприятий. Закрытие нижнего проема со звукоизолирующей способностью передней панели позволяет снизить уровень звука внешнего поля на 3,8 дБА, а вклад шума от источников расположенных под капотом составляет 60,6 дБА, что на 1,2 дБА, меньше чем вклад шума выхлопа 61,8 дБА, т.е. при закрытии проема вклад выхлопа будет соизмерим с вкладом других источников от капота, что потребует разработки более эффективного глушителя для дальнейшего снижения внешнего шума.

Литература

1. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики., СПб.: Политехника, 2000.-558 с.
2. Техническая акустика транспортных машин: Справочник/ Балишанская Л.Г., Дроздова Л.Ф., Иванов Н.И. и др. – СПб.: Политехника, 1992. – 365с.
3. Иванов Н.И. Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 233 с.

Выбор акустического сооружения для защиты от транспортного шума

Петрова С.С.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Зачастую акустический экран (АЭ) является единственно возможным средством снижения шума на прилегающей к дороге территории. Однако эффективность (ЭФ) экранов определяется не только величиной снижения шума, выраженной в децибелах, но и стоимостью элементов их конструкций, строительно-монтажных работ, затратами на эксплуатацию и содержание. В связи с ростом рынка АЭ, производимых российскими фирмам, перед всеми участниками процесса создания и эксплуатации дорог (в части шумозащиты) возникает проблема определения наилучшей модели АЭ по критерию цена-качество.

Акустическая эффективность сооружения для защиты жилой застройки определяется: долей энергии, прошедшей через него – величиной звукоизоляции (ЗИ); поглощенной и отраженной энергией – коэффициентом звукопоглощения ($\alpha_{экр}$); а также, энергией, дифрагирущей за верхнее и боковые ребра АЭ (в силу конечности линейных размеров сооружения).

Установлено, что ЗИ экрана (30-40 дБА) значительно превышает величину дифрагирующего звука. Следовательно, ЭФ АЭ, в основном зависит не от ЗИ материала, из которого он изготовлен, а от его геометрических параметров и свойств отражающей поверхности.

Линейные размеры АЭ обеспечивают различные принципы шумоглушения: Высотой создается зона акустической тени, снижающая эффект дифракции на верхнем ребре. Наиболее просто эмпирически эффективность экрана с небольшими (до 60^0) углами дифракции может быть оценена по формуле 3. Маекавы /3/:

$$\Delta L_{экр} = 10\lg 40N - 10\lg n, \qquad (1)$$

где n – число ребер АЭ, через которые звук проходит от источника шума (ИШ) в расчетную точку (РТ), $N = (a+b-c)/\lambda$ – число Френеля, $\lambda = c_з / f$ – длина звуковой волны, $c_з$ – скорость звука, 330 м/с; f – частота, Гц, $a = \sqrt{r^2 + (h-h_1)^2}$, $b = \sqrt{R'^2 + (H-h)^2}$, $c = R = \sqrt{(r+R')^2 + (H-h_1)^2}$, r – расстояние ИШ – АЭ, м; h – высота АЭ, м; h_1 – высота акустического центра ИШ, м; R' – расстояние АЭ – жилая застройка, м; H – высота РТ (здания), м; R – расстояние АЭ – РТ.

Эффективность АЭ по высоте:

$$ЭФ_h = 10 \cdot \lg(a + b - c) \cdot f - 9{,}16 \quad (2)$$

Диктуется требуемым снижением звука в зависимости от расстояния от автодороги до жилой застройки, этажностью жилой застройки, рельефом местности. Особенно важно проследить уровень звука (УЗ) на верхних этажах многоэтажных зданий и зданий, размещенных на возвышениях.

Длина АЭ должна обеспечивать затухание звука, проникающего через его боковую грань от незащищенного экраном транспортного потока до защищаемого объекта. Основной принцип, который положен в основу выбора длины АЭ: звук, проходящий через боковые грани экрана должен быть на 3 дБА ниже, чем требуемая эффективность АЭ /2/, т.е.:

$$10 \cdot \lg \frac{R_1}{7{,}5} = ЭФ_h - 3 \quad (3)$$

R_1 – расстояние от края АЭ до застройки: $R_1 = \sqrt{y^2 + R'^2}$, y – расстояние от края АЭ до проекции РТ на АЭ: $y = \sqrt{56{,}25 \cdot 10^{0{,}2 \cdot (ЭФ - 3)} - R^2}$

Длина экрана определится как: $l = L + y_1 + y_2$

где L – длина РТ (здания, жилой застройки), м.

В случае, когда защищаемый объект представлен одним зданием, расположенным параллельно АЭ, или рядом зданий, крайние из которых (расположенные ближе к боковым краям экрана) удалены от АЭ на одно и тоже расстояние R, y_1=y_2 и длину экрана можно рассчитывать по формуле:

$$l = 2 \cdot \sqrt{56{,}25 \cdot 10^{0{,}2 \cdot (ЭФ - 3)} - R^2} + L \quad (4)$$

Особенно важно учесть длину экрана для защиты объектов, расположенных ближе к боковым краям экрана.

Формула (4) может быть использована при расчете длины любой акустической преграды (насыпи или ряда зеленых насаждений (ЗН)). При расчете же их эффективности по (2) необходимо учесть ЗИ.

При увеличении ширины свободного ребра АЭ (верхнее ребро исполняется в виде козырька или системы козырьков) достигается дополнительная эффективность по сравнению с АЭ – стенкой в 2-4 дБА, что позволяет уменьшить требуемую высоту экрана. Наиболее эффективен экран Г-образного профиля с верхней полкой 50-60 см и углом наклона полки по отношению к экрану в пределах 90°-135°. Увеличение ширины полки свыше 60 см дает медленный прирост акустической эффективности АЭ, в то же время усложняя его конструкцию, поэтому нецелесообразно.

Все АЭ по типу применяемого материала и отражающим и поглощающим свойствам, влияющим на $\alpha_{экр}$ можно разбить на 2 группы:

– однослойные (отражающие) – звуковая энергия отражается в противоположную от барьера сторону;
– двух- и трехслойные (поглощающие) – звуковая энергия поглощается в пористых прокладках, не вызывая увеличения уровней звука на противоположной стороне дороги и в салонах проезжающих автомобилей.

При строительстве шумоотражающих АЭ используют: дерево, кирпич, стекло, пластики, ж/бетон, асбоцемент, бутовый камень, габионную кладку с $\alpha_{экр}$ = 0,01-0,05. Чтобы снизить отражение звука от однослойного АЭ, например, в бетонную смесь добавляют древесные материалы ($\alpha_{экр}$ = 0,05 – 0,15). Тем не менее, невозможно создать однослойный экран, совмещающий требуемые прочностные свойства и приемлемое звукопоглощение, поэтому приходится усложнять конструкцию АЭ.

Наличие в конструкции АЭ звукопоглощающих материалов с $\alpha_{экр}$ = 0,5 – 1 заметно повышает его эффективность за счёт снижения интенсивности отражённого звука. Шумопоглащающие экраны в основном строятся из пластмасс, алюминия и черных металлов. В качестве звукопоглощающих средств применяются пористые материалы (минеральное волокно, стекловата и стеклоткань и др) или резонаторы, проникновение звука к которым обеспечивает перфорация. Эффективность пористых материалов, как правило, снижается при уменьшении частоты (что неблагоприятно, учитывая низко- и среднечастотный характер спектра транспортного шума), резонаторы обычно характеризуются максимальным звукопоглощением вблизи их резонансной частоты. Минимально необходимая площадь перфорации, начиная с которой отражение заметно не сказывается на эффективности АЭ, составляет 30 – 35%. /2/

Максимально возможная эффективность (для АЭ одной и той же геометрии) достигается, когда $\alpha_{экр}$ материала или конструкции АЭ близок к 1. В этом случае доля дифрагирующей отраженной энергии → 0 и ЭФ может быть рассчитана по формуле (2). Долю отраженной энергии можно выразить как $\Delta L_{отрАЭ} = 10\lg\alpha_{экр}$. Для того чтобы обеспечить одинаковую акустическую эффективность АЭ с отличными поглощающими свойствами ($\alpha_{экр}$), должны изготавливаться со следующим соотношением высот h_α/h_1 (табл. 1):

Таблица 1

h_1, м	**соотношение высот h_α/h_1 для $\alpha_{экр}$**						
	0,9	**0,8**	**0,7**	**0,6**	**0,5**	**0,4**	**0,3**
2	1,03	1,06	1,09	1,14	1,20	1,28	1,41
3	1,04	1,09	1,15	1,22	1,32	1,46	1,68
4	1,05	1,11	1,18	1,28	1,40	1,59	1,87

Т.о. факторы, влияющие на акустическую эффективность АЭ, используемого для защиты от автодорожного шума можно условно разделить на три группы: относящиеся к источнику шума, окружающей среде и самому АЭ. Наиболее существенными из них являются частотная характеристика ИШ, высота и протяженность жилой застройки, высота АЭ, расположение экрана относительно системы «ИШ – защищаемый объект», конфигурация АЭ, звукопоглощение материала АЭ, звукоизоляция АЭ.

Экономическая ЭФ. Оценку стоимости акустических экранов целесообразно проводить по следующим статьям /7/:

1. *Подготовка территории*. Включает транспортные затраты, затраты на расчистку территории, размещение «полевого» строительного офиса и др. подготовительные действия, необходимые перед началом возведения (установки) АЭ.
2. *Дренаж* – расходы, относящиеся к установке дренажной системы: впуски, трубопровод, поддренажную систему, устройство траншеи (рва), каменную наброску, устройства обслуживания «слива» воды и т.д.
3. *Экскавация.* Включает расходы на устройство различных конструкций для доступа дороги (подъезды, проходы, технические двери, лестничные сходы, дорожные знаки, уклоны, уширение земляного полотна, рвы и т.п.) в местах, где со стороны жилой застройки проходят транспортные пути – местные проезды, автомобильные дороги.
4. *Перила.* Включает стоимость защитных элементов (ограждений), которые могут быть как уже установлены (в качестве обязательного элемента дороги), так и вновь возведены для защиты АЭ от наездов.
5. *Утилиты.* Расходы на подземное и наземное перемещение (временное или постоянное) из-за установки АЭ.
6. *Барьерная система.* Включает стоимость основных физических элементов АЭ: стойки, панели, фундамент, а также: планки, профили, специальные панели, крепежные элементы. Здесь же учитываются расходы, связанные с архитектурой, декорированием или эстетической отделкой, нанесением абсорбирующего, влагостойкого, антикоррозийного, антивандального покрытия.
7. *Ландшафт.* Включает статьи, относящиеся к восстановлению территории по завершению строительства, вписывание АЭ в ландшафт, посадка деревьев и кустарника, озеленение, мульчирование и т.д.

В среднем около 64-69% стоимости АЭ составляют материальные затраты на основные элементы конструкции (стойки, панели, фундамент).

В случае защиты с помощью ЗН или насыпи дополнительно оценивается возможность отвода земли под сооружение и обслуживание жилой за-

стройки. Величина приведенных потерь отраслей дорожно-транспортного комплекса от изъятия сельхозугодий:

$$Э_{сх} = D_0 \cdot \sum_{1}^{T} (1+\eta)^{t-1} \cdot r_t \cdot \frac{d}{10}, \qquad (5)$$

D_0 – чистый доход общества в исходном году с 1 га земляных угодий, р.; T – период суммирования затрат, лет; η – коэффициент роста доходности сельскохозяйственного производства (можно принять равным 0,02); r_t – коэффициент приведения разновременных затрат; d – ширина земляного полотна под сооружение, м.

Существует ряд внешних факторов, влияющих на стоимость АЭ:

1. доступность места установки. Крупногабаритное, более дорогое оборудование часто требует существенного места для размещения и времени для установки. Увеличение этих затрат существенно отражается на стоимости АЭ. А производство деталей для АЭ в мастерских, распределенных по стране, снижает транспортные затраты;
2. рельеф места строительства, в частности, наличие возвышенности может отрицательно сказаться на стоимости и графике работ, т.к. предусматривает проведение дополнительных работ: уширение полотна, бурение, размещение кессон и т.п;
3. ситуация на рынке строительных материалов и услуг, инфляция влияют на полную стоимость строительства и зависит от времени;
4. конструкция и материалы фундамента, методы крепления стоек, конструкция панелей. Спецификация применяемых материалов, которые не всегда имеются в наличии; стандартизация формы, отделки; соответствие эстетическим целям сказываются на стоимости АЭ. Чрезмерный размер панелей влияет на время работы, применяемое для их установки оборудование, доставку к месту строительства, а, соответственно, и на повышение стоимости строительства. В настоящее время все больше проявляется тенденция перехода на экологически безопасные материалы, хоть это и отражается в увеличении стоимости;
5. метод строительства (разработка, выбор поставщиков и (или) подрядчика, строительство) может отразиться на стоимости;
6. контроль качества;
7. размер проекта. Эффект «экономии от масштаба», позволяющий снизить накладные расходы, снижает себестоимость проекта (продукции);
8. конкуренция, главным образом, между поставщиками и подрядчиками. Однако, отношение «спрос-предложение» может повлиять на стоимость в случаях, когда либо в силу большого числа предложений поставщики перезагружены – снижается число по-

требителей и возрастает стоимость; либо, наоборот, низкое предложение проектов сбивает цену;

9. изменения в заказе. Возможны при непредвиденных условиях строительства, что требует дополнительных более детализированных исследований и калькуляции. Эта статья мало определена, а имеющийся опыт не отражает существенного увеличения стоимости проекта;
10. график проекта. Некая гибкость графика может быть следствием перебоев в поставках и конкуренции и мало отражается на стоимости.

Перечисленные аспекты не охватывают всего влияния внешних факторов, но показывают широкий их диапазон и потенциальную возможность учета при расчете стоимости АЭ.

Наиболее существенными критериями выбора строительных материалов для шумозащитных экранов должны быть:

– невысокие затраты на производство панелей и строительство АЭ;
– долговечность (продолжительный срок службы) и низкие расходы на содержание, эксплуатацию, ремонт и реконструкцию;
– малые сроки строительства;
– стабильные физико-механические и акустические характеристики: био- и влаго- пожаростойкость, нечувствительность к действию отработавших газов автомобилей, противогололедных солей, детергентов, масел, света и механических средств очистки;
– эргономичность и эстетичность конструкции. Надо учитывать, что внешний вид многих строительных материалов во времени меняется в худшую сторону, это вызывает чувство заброшенности автодороги. Прозрачный экран даже значительной высоты не создает впечатления замкнутого пространства, негативно влияющего на психологическое состояние водителей. Свободный обзор ландшафта, панорамы города – один из основных принципов архитектурного проектирования дороги.

Выбор акустической преграды (АЭ, насыпь, ЗН) для защиты жилой застройки от транспортного шума целесообразно производить на основе сравнительного технико-экономического анализа, с помощью метода сравнительной эффективности. При условии обеспечения требуемого снижения шума предпочтение следует отдавать тому мероприятию, которому соответствуют меньшие приведенные годовые затраты ($З_П$):

$$З_П = KE_H + C \to \min \text{, тыс. руб. /год} \qquad (6)$$

где K – капитальные вложения в строительство АЭ (тыс. руб.); E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; C – годовые эксплуатационные расходы по содержанию и обслуживанию АЭ (тыс. руб./год).

На практике обеспечение достаточной высоты и длины экрана представляет значительные трудности, связанные как с требованием конечности длины АЭ, так и со значительной стоимостью его установки и эксплуатации. В связи с этим предлагается использовать особенности существующего ландшафта: хозяйственные здания (гаражи, многоэтажные гаражи-стоянки, склады), насыпи, грунтовые валы, зеленые насаждения, которые, примыкая к боковым ребрам экрана, могут служить его продолжением и обеспечивать снижение дифрагирующего звука.

Представляется возможным и экономически целесообразным переход к использованию АЭ частично или полностью самоокупаемых. Например, АЭ из изношенных автомобильных покрышек или из резиновой стружки от утилизируемых изношенных автомобильных шин /1, 8/. Помимо требуемого снижения шума, такие конструкции обеспечивают высокие атмосферостойкость и долговечность, позволяют утилизировать потенциально вредные отходы. Шумозащитное ограждение из сетчатых мешков, заполненных компостом, в котором посажены растения, обеспечивающие ограждению вид естественной насыпи. /4/ Предлагается использовать шумозащитные ограждения в целях размещения рекламного или информационного материала. Возможно размещение на АЭ светящихся объявлений, рекомендаций, указаний, объемных рекламно-информационных материалов, подключение этих материалов к устройствам электронного управления и т.п./5/. И даже размещение на АЭ фотоэлементов, элементов солнечной энергоустановки, вырабатывающих электрический ток /6, 9/. Тогда сравнение вариантов природоохранных мероприятий может производиться по величине их чистого экономического эффекта $Ч_Э$ – превышения среднегодовой величины народнохозяйственного результата (эффекта) Э над приведенными затратами в годовом исчислении, обусловившими его получение:

$$Ч_Э = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} Э_{ij} - З_П \ , \qquad (7)$$

При решении многоцелевой задачи в процессе осуществления природоохранных мероприятий, базирующейся на новой технологии производства или при утилизации отходов (в результате чего может быть получен прирост прибыли от их использования), полный экономический эффект равен:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} Э_{ij} = \sum_{i=1}^{n} \Delta П_i + \sum_{j=1}^{m} \Delta D_j \ , \qquad (8)$$

где $\sum_{j=1}^{m} \Delta D_j$ – прирост годовой прибыли от *j*-ой ресурсосберегающей технологии или использования отходов (тыс. руб./год);

$\sum_{i=1}^{n} \Delta П_i$ - годовой экономический ущерб, предотвращаемый в результате снижения или прекращения воздействия i-го объекта на окружающую среду (тыс. руб./год).

Литература

1. Звукоизолирующая панель. (Sound-barrier panel.), Ogorchoch P., Mcgousin S., №170723, 1996.
2. Иванов Н.И. Экологические проблемы автомобильных дорог и обеспечения экологической безопасности в жилой застройке акустическими экранами. // Материалы семинара «Применение АЭ при строительстве автомобильных дорог для снижения шума в жилой застройке», Санкт-Петербург, 17-19 декабря 2002. – с.5-30
3. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: учебник для вузов, – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с
4. Шумозащитный барьер из сетчатых мешков, заполненных компостом. (A noise barrier comprising netting bags filled with compost.), Flux R.Ch., Acoustic Materials Technology Ltd., № 95087219, 1996
5. Шумозащитное ограждение для транспортных путей. (Schallschutzwand für Verkehrswege). Заявка 10001577 Германия, МПК^7 E 01 F 8/00, Kneussle Winfried. № 10001577, 2001
6. Hawkins Alan C. Strom statt Lärm. Sonnenenerg. sol. 2001, № 3, с. 29
7. Kenneth D. Polcak. Highway traffic noise barriers in the U.S. – construction trends and cost analysis.
8. Sound Barrier, Fiber Composite and tire rubber, ENR, Eng. News-Rec., 1997, 238, (26), 75/
9. Strom aus der Larmschutzwand. Energ. Spektrum., 1999, 14, (5), 6

Оценка ущерба от загрязнения атмосферы автотранспортом (АТ)

Петрова С.С.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Ущерб от воздействия АТ на воздушную среду является комплексной величиной и представляет собой потери и затраты, возникающие в народном хозяйстве вследствие воздействия транспортного шума и ряда загрязнителей (окиси углерода, углеводороды, окислы азота, соединения свинца, пыль).

Следует учитывать прямой ущерб (проявляется непосредственно на объектах, расположенных в зоне негативного воздействия) и косвенный (проявляется в смежных производствах, на объектах непроизводственной сферы и в ОС, например, потери продукции промышленного производства из-за снижения производительности труда и заболеваний трудящихся вследствие воздействия загрязненной среды). Выделяют экономический ущерб – затраты в стоимостном выражении, возникающие вследствие загрязнения ОС на возврат ее в прежнее состояние; социально-экономический ущерб – стоимостные потери, связанные с увеличением заболеваемости населения в зоне влияния источника загрязнения – автодороги (АД) и затраты на восстановление трудоспособности людей и социальное страхование; эколого-экономический ущерб – потери природных ресурсов, обусловленные ухудшением состояния ОС и затраты на их компенсацию и восстановление.

Размер ущерба определяется как сумма ущербов, наносимых отдельными видами загрязнителей в пределах зоны воздействия АД, и определяется для каждого объекта, ресурса, оказывающихся под его воздействием (табл. 1).

Элементы дополнительных расходов
из-за загрязнения ОС автотранспортом

Таблица 1

Объекты влияния и предполагаемые воздействия	**Элементы дополнительных расходов по исключению или смягчению воздействия**
Население: Болезни системы кровообращения, нервной системы и органов чувств, органов дыхания, пищеварения, кожи и подкожной клетчатки, эндокринной системы, расстройство питания, нарушение обмена веществ, т.д.	Медицинское обслуживание, оплата лечебных отпусков, компенсация невыходов на работу, страхование жизни людей, т.д.
Жилищно-коммунальное хозяйство: ▪ Снос строений, переселение людей, связанное с отводом земель для развития АД, ▪ Запыление территории.	▪ Обход населенных пунктов, предоставление жилья и участков земель взамен изымаемых, выплата компенсаций, устройство защитных сооружений, их содержание и ремонт. ▪ Проектирование непылящих дорожных одежд, устройство защитный зеленых насаждений, мероприятия по обеспыливанию покрытий, уборка территории.
Атмосфера: Загрязнение воздушной среды, шумовое воздействие при движении потока автотранспорта	Проектирование АД с оптимальным режимом движения автомобилей, устройство защитных зеленых насаждений и экранов, строительство обходов населенных пунктов

За основу при измерении ущерба, как правило, берется следующая схема причинно-следственных связей: выбросы вредных примесей из источников их образования – концентрация примесей в атмосфере – натуральный ущерб – экономический ущерб.

Первая стадия. Оценку уровня загрязнения воздушной среды отработавшими газами АТ следует производить на основе прогнозов в соответствии с расчетами. Методика расчета основана на поэтапном определении эмиссии (выбросов) отработавших газов, концентрации загрязнения воздуха этими газами на различном удалении от дороги и затем – сравнении полученных данных с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) данных веществ в воздушной среде.

При расчете выбросов учитываются различные типы автотранспортных средств, их интенсивность движения в смешанном транспортном потоке (ТП) и конкретные дорожные условия. На основе методики, представленной в /2/, получены следующие формулы определения мощности эмиссии CO, C_nH_m, NO_x, соединений Pb в виде аэрозолей в воздушную среду:

$$q_{CO} = 2{,}06 \cdot 10^{-7} \cdot m \cdot I \cdot [2{,}1 \cdot ТЯЖ + 0{,}78 \cdot ЛЕГК + 0{,}434 \cdot ДИЗ] \quad (1)$$

$$q_{CH} = 2{,}06 \cdot 10^{-8} \cdot m \cdot I \cdot [4{,}2 \cdot ТЯЖ + 1{,}56 \cdot ЛЕГК + 1{,}147 \cdot ДИЗ] \quad (2)$$

$$q_{NO} = 2{,}06 \cdot 10^{-8} \cdot m \cdot I \cdot [2{,}1 \cdot ТЯЖ + 0{,}78 \cdot ЛЕГК + 0{,}465 \cdot ДИЗ] \quad (3)$$

$$q_{Pb} = 32{,}96 \cdot 10^{-13} \cdot m_P \cdot I \cdot (5{,}95 \cdot ТЯЖ + 4{,}81 \cdot ЛЕГК) \quad (4)$$

где q – мощность эмиссии данного вида загрязнений от ТП на конкретном участке дороги, г/м.с.; $2{,}06 \cdot 10^{-x}$ – коэффициент перехода к принятым единицам измерения; m, m_P- коэффициенты, учитывающие дорожные и автотранспортные условия (принимается по графику или по табл. в зависимости от средней скорости ТП /2/); I – расчетная перспективная интенсивность движения ТП, авт/час; $ТЯЖ, ДИЗ, ЛЕГК$ – относительное количество грузовых автомобилей (6 тонн и более) и автобусов с карбюраторными двигателями; то же с дизельными двигателями; карбюраторных легковых автомобилей и малых грузовых автомобилей (до 5 тонн) в ТП соответственно, %. Коэффициенты при $ТЯЖ, ДИЗ, ЛЕГК$ рассчитаны по средним эксплуатационным нормам расхода топлива для каждого типа автомобилей с учетом условий движения и компонента загрязнения, л/км.

При наличии фактических данных об эмиссии токсических составляющих отработавших газов автомобилей следует принимать непосредственно значения этих данных без пересчета по расходу топлива.

При расчете рассеяния выбросов от автотранспорта и определения концентрации токсичных веществ на различном удалении от дороги C, г/м^3 используется модель Гауссового распределения примесей в атмосфере на небольших высотах:

$$C = \frac{2 \cdot q}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma \cdot V \cdot \sin\varphi} + F, \quad (5)$$

где σ – стандартное отклонение Гауссового рассеивания в вертикальном направлении, м; V – скорость ветра, преобладающего в расчетный месяц летнего периода, м/с; φ – угол, составляемый направлением ветра к трассе дороги. При угле от 90 до 30 градусов скорость ветра следует умножать на синус угла, при угле менее 30 градусов – коэффициент 0,5; F – фоновая концентрация загрязнения воздуха, г/м^3.

Полученные при расчете концентрации загрязнений сопоставляются с ПДК, установленными органами Министерства здравоохранения с учетом класса опасности для токсичных составляющих отработавших газов тепловых двигателей в воздухе населенных пунктов.

Оценку акустического загрязнения начинают с расчета величины эквивалентного уровня транспортного шума, образующегося на эксплуатируемой дороге в зависимости от условий дорожного движения и состава ТП /2/:

$$L_{экв} = 50 + 8{,}8 \cdot \lg I + \Delta L_{тяж} + \Delta L_{диз} + \Delta L_{ск} + \Delta L_{ук} + \Delta L_{пок}, \quad (6)$$

Поправки ΔLтяж ; ΔLдиз ; ΔLск ; ΔLук и ΔLпок определяются по таблицам /2/ в зависимости от *тяж, диз*, средней скорости ТП, уклона и покрытия АД.

Уровень шума убывает от источника загрязнения в зависимости от удаления от дороги и характеристик ОС. И в расчетной точке сопоставляется с нормой шума в жилой застройке.

На основе эмпирических данных строятся функциональные зависимости между концентрациями вредных примесей, уровнем шума и изменениями натуральных показателей (рост заболеваемости, ухудшение условий рекреации, потери в процессе производства и т.п.)

Следующий шаг: оценка натуральных изменений в денежной форме. Ущерб *У* оценивается по формуле, которая характеризует величину убытков, вызванных натуральными изменениями i-го фактора:

$$У = x_i \cdot p_i \quad (7)$$

где x_i – натуральное изменение i-го фактора, p_i – его денежная оценка.

Экологический ущерб можно определять по детализированным элементам воздействия (приведенным в табл. 1) и укрупнено по сферам воздействия. Детализированный расчет базируется на данных объекта-аналога, фактических статистических материалах, экспертных оценках. При укрупненном расчете выделяют три группы сфер влияния (атмосфера, вода, земля), по которым имеются государственные и отраслевые укрупненные оценки удельного ущерба.

Ущерб от выбросов в атмосферу определяется по формуле:

$$У_A = \Psi \cdot \sigma(\lambda) \cdot f(\lambda) \cdot \sum a_i(\lambda) \cdot m_i, \quad (8)$$

где Ψ – нормативный экологический ущерб от выбросов в атмосферу, руб./усл. т.; $\sigma(\lambda)$ – показатель, характеризующий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от типа территории; $f(\lambda)$ – коэффициент, учитывающий характер рассеивания примеси в атмосфере; $a_i(\lambda)$ – показатель относительной агрессивности примеси i-го вида, усл. т/т; m_i – масса годового выброса примеси i-го вида в атмосферу, т/год. Зависимости $\sigma(\lambda)$, $f(\lambda)$, $a_i(\lambda)$ задаются нормативными таблицами.

Ущерб от загрязнения акустической среды определяется по формуле:

$$У_Ш = \gamma \cdot \left[Д_н(l_н) \cdot П_н(l_н) + Д_д(l_д) \cdot П_д(l_д)\right] \quad (9)$$

где γ – нормативный экологический ущерб населению от шума, руб./чел. год, $l_н, l_д$ - суммарный эквивалентные уровни шума в окружающей зоне соответственно в ночное и дневное время, дБа; $П_н(l_н), П_д(l_д)$ – количе-

ство, попадающих в зону влияния шума, в которой суммарные эквивалентные уровни шума при осреднении за ночное и дневное время имеют соответственно значения $l_н, l_д$, чел.; $Д_н(l_н), Д_д(l_д)$ – безразмерные величины, зависящие от $l_н, l_д$.

Хотя идея оценки ущерба проста, значительные трудности вызывает ее практическое воплощение. Как правило, невозможно определить степень «вклада» каждого загрязнителя в нанесение ущерба; влияние загрязнителя проявляется не сразу, может выходить за горизонт периода экономических расчетов и границы социальных оценок; далеко не все отрицательные последствия загрязнения можно выразить в стоимостной форме; сложно определить число людей, способных проявить негативные реакции на воздействие конкретного неблагоприятного фактора.

Их решение в настоящее время возможно благодаря оценке риска (ОР). Этот вид экспертных работ позволяет на основе наблюдений (мониторинга) за фактором и здоровьем населения получить количественную и качественную характеристики влияние фактора на здоровье задолго до того, как проявятся последствия, делает возможным оценивать здоровье или нездоровье населения финансовыми категориями (цена, стоимость, рентабельность и др.), а следовательно, проводить сравнения, осуществлять выбор решения и нормирование /1/.

Предлагается следующая последовательность расчета риска:

1. Определяется потенциальный (прогнозируемый) риск здоровью (немедленного, хронического и специфического действия) для каждой отдельной примеси в каждом из анализируемых компонентов ОС.

Вероятность немедленного токсического воздействия вещества при оценке кратности превышения ПДК$_{м.р.}$ в соответствии с классом опасности может определяться по следующим уравнениям:

1-й класс $\Pr ob_{Pb} = -9{,}15 + 11{,}66 \cdot \lg(C / ПДК_{м.р.})$ (10)

2-й класс $\Pr ob_{NO} = -5{,}51 + 7{,}49 \cdot \lg(C / ПДК_{м.р.})$ (11)

3-й класс $\Pr ob_{CH} = -2{,}35 + 3{,}73 \cdot \lg(C / ПДК_{м.р.})$ (12)

4-й класс $\Pr ob_{CO} = -1{,}41 + 2{,}33 \cdot \lg(C / ПДК_{м.р.})$ (13)

Перевод Prob в Risk может быть осуществлен с использованием модели индивидуальных порогов:

$$Risk = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a+b\cdot\lg C} \exp(-t^2/2)dt, \quad (14)$$

где a и b — эмпирические коэффициенты, либо по табл. нормального вероятностного распределения.

Риск хронической интоксикации может быть описан пороговой или линейно-экспоненциальной моделями, а риск специфических эффектов – многостадийной, линейно-экспоненциальной, гамма моделями.

При оценке риска здоровью от воздействия шума целесообразно пользоваться теоретической моделью действия этого фактора, основанной на экспериментальных данных и на медицинской статистике:

Расчет риска неспецифических эффектов:

$$\Pr ob = -4{,}5551 + 0{,}0853 \cdot L_{экв} \qquad (15)$$

Расчет вероятности предъявления населением жалоб:

$$\Pr ob = -6{,}5027 + 0{,}0889 \cdot L_{экв} \qquad (16)$$

Расчет риска развития специфической тугоухости:

$$\Pr ob = -6{,}6771 + 0{,}0704 \cdot L_{экв}, \qquad (17)$$

где Prob связан с риском уравнением (14)

При использовании уравнений (15) и (17) следует учесть, что они отражают дозозависимую связь при постоянном воздействии шума на протяжении всей жизни человека. В том случае, когда период воздействия меньше, из значения $L_{экв}$, следует вычесть поправку на время действия в течение суток $\Delta L_1 = 10 \cdot \lg(24/T_1)$ и поправку на общий период воздействия $\Delta L_2 = 10 \cdot \lg(70/T_2)$. Где T_1 – среднее время (часы) действия шума в течение суток, T_2 – общий период воздействия (годы).

2. Проводится определение суммарного риска $Risk_{сум}$. Риск комбинированного воздействия нескольких примесей, поступающих через воздух, в соответствии с правилом умножения вероятностей:

$$Risk_{сум} = 1 - (1 - Risk_1) \cdot (1 - Risk_2) \cdot (1 - Risk_3) ... (1 - Risk_n) \qquad (18)$$

$Risk_1 ... Risk_n$ - риск воздействия каждой отдельной примеси.

3. Для каждого типа риска определяется максимальный риск, создаваемый отдельной примесью или группой, что и рассматривается как итог данного расчета.

Зная зону воздействия, число проживающих в ней людей и показатель Risk, можно определить цену риска здоровью населения от любого фактора внешней среды, C_R:

$$C_R = [A + k \cdot (Б + Д)] \cdot \frac{Risk \cdot n}{100} + P + M, \qquad (19)$$

где А – стоимость комплекса лечебно-диагностических мероприятий, ограниченных лимитом обязательного медицинского страхования на одного человека (официальные данные), Б – стоимость комплекса лечебных, санаторно-курортных мероприятий, выходящих за рамки лимита обязательного медицинского страхования на одного человека (расчетные данные), Д – стоимость лечения отдаленных последствий, k – коэффициент, характеризующий тяжесть возможной патологии, возможность осложнений, риск летальности (вычисляется на основе статистических данных), Р – стоимость экспертиз (гигиенических, медицинских, экологических и др.), М – стоимость иска морального ущерба, Risk – экстенсивный показатель риска (расчетный), n – количество населения, находящегося под постоянным воздействием данного фактора.

При всех недостатках предполагаемых экономических расчетов трудно переоценить значение самого показателя цены риска – самого эффективного средства в системе управления риском /1/.

Литература

1. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды. – СПб.: АО «Дейта», 1997
2. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов, Министерство транспорта Российской Федерации, М., 1995

Многокритериальная оптимизация шумозащитного комплекса (ШЗК)

Петрова С.С.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Задача защиты населения от повышенного шумового воздействия должна решаться на каждом этапе проектирования автодорожного комплекса (АДК). Причем, необходимо принимать во внимание все возможные негативные воздействия, в т.ч. и на окружающую природную среду (ОПС), как со стороны строящегося объекта, так и со стороны возводимых защитных сооружений. Одновременно с этим необходимо стремиться к главному назначению КАД – обеспечению экономически эффективных автомобильных перевозок.

Общая задача защиты населения может быть сформулирована как:

$$\begin{cases} L_{экв}(\lambda) \to \min \\ L_{окр}(\lambda) \to \max \\ L_{ШЗ}(ЭФ)(\lambda) \to \max \\ R(ЭФ, L_{окр}, \lambda) \to \min \\ I(L_{экв}, \lambda) \to \max \end{cases} \qquad (1)$$

пятикритериальная, где частные критерии – $L_{экв}$ – эквивалентный уровень звука (УЗ) от АДК, $L_{окр}$ снижение шума ОПС, $L_{ШЗ}$ - акустическая эффективность шумозащитного мероприятия (ШЗ), R – удаление жилой застройки от автодороги, I – интенсивность движения потока автотранспорта – зависят от некоторых обобщенных величин (λ), составляющих аргументы рассматриваемых целевых функций. В качестве аргументных обобщенных величин используются параметры и характеристики, относящиеся к источнику шума (ИШ), окружающей среде и защитному мероприятию. В связи с этим формулируются четыре постановки задачи защиты:

- во-первых, в заданных условиях эксплуатации (ОПС) при принятых режимах движения (характеристиках ИШ) определить оптимальную конструкцию ШЗК и его элементов (форму, размеры, материал);
- во-вторых, при заданных конструкции ШЗК и условиях эксплуатации определить оптимальные режимы движения автотранспорта (интенсивность, скорость и состав потока);
- в-третьих, при заданной конструкции ШЗ и выбранных режимах движения определить оптимальные условия эксплуатации (минимальное удаление от трассы, этажность зданий);

- в-четвертых, определить экстремумы обобщенных целевых функций и провести их сравнение с целью поиска наилучшего варианта.

Данная задача носит многокритериальный характер и требует специальных методов решения. Алгоритм расчета эффективности ШЗК и место в нем трех решений задачи представлен на рис. 1.

Оптимальным условием функционирования АДК является решение четвертой задачи, однако на практике зачастую ограничиваются концепцией конструкции ШЗ $(\lambda_к = \text{var}, \lambda_э = \text{const}, \lambda_р = \text{const})$. Для решения данной задачи используется метод свертывания векторного критерия, учитывающего относительную важность частных критериев оптимальности с помощью построения скалярной функции (поливектора нулевого ранга) *F*. Обобщенная целевая функция сводится к однокритериальной задачи оптимизации:

$$F\left(w, \lambda_к^{\text{opt}}, \lambda_э, \lambda_р\right) = \max_{\lambda_{к\,j} \in \Lambda_к} F\left(w, \lambda_{к\,j}, \lambda_э, \lambda_р\right) =$$
$$\max_{\lambda_{к\,j} \in \Lambda_к} \left\{w_1 N_{экв}\left(\lambda_{к\,j}, \lambda_э, \lambda_р\right) + w_2 N_{окр}\left(\lambda_{к\,j}, \lambda_э, \lambda_р\right) +\right.$$
$$\left. + w_3 N_{ЭФ}\left(\lambda_{к\,j}, \lambda_э, \lambda_р\right) + w_4 N_R\left(\lambda_{к\,j}, \lambda_э, \lambda_р\right) + w_5 N_v\left(\lambda_{к\,j}, \lambda_э, \lambda_р\right)\right\} \quad \textbf{(2)}$$

Решение задачи поиска оптимального варианта ШЗК опирается на неограниченное множество частных целевых функций, включающие помимо отмеченных выше и такие, которые описывают экономические, технологические и потребительские свойства ШЗ. Здесь целесообразней применить многокритериальный метод оценки по *элементарным оценочным показателям*: конструкционных параметров ШЗ $\lambda_к$, характеристик ИШ $\lambda_р$ и окружающей местности – $\lambda_э$. В дополнение к названным входным величинам вводим показатели, определяющие оценочные характеристики по технологичности изготовления, обслуживания и ремонта ШЗК – $\lambda_т$, а также систему, характеризующую социальные и психофизиологические свойства населения – $\lambda_п$. Величины $\lambda_к$, $\lambda_р$, $\lambda_э$, $\lambda_т$, $\lambda_п$ являются поливекторами первого ранга: $\lambda_к = \lambda_к \left\{\lambda_{к\,1}, \lambda_{к\,2}, \ldots, \lambda_{к\,q}\right\}$ и т.д. В связи с чем множество допустимых значений λ может быть представлено как поливектор второго ранга Λ с компонентами $\Lambda_{i\,j}$, где $i = к, р, э, т, п$ или 1,2..5, тогда как $j = 1, 2, \ldots, g$.

Обеспечивая конкретизацию постановки задачи оптимизации ШЗК, разобьем множество $A\left(|A| = m\right)$, включающее в себя оценочные группы по техническим, технологическим, эксплуатационным и экономическим показателям, на два подмножества $B\left(B \subset A, |B| = k\right)$, $C\left(C \subset A, |C| = l\right)$ $k + l = m$, таким образом, чтобы первое подмножество содержало в себе все оценки качества, которые необходимо максимизировать, а второе – которые минимизировать (все стоимостные экономические показатели).

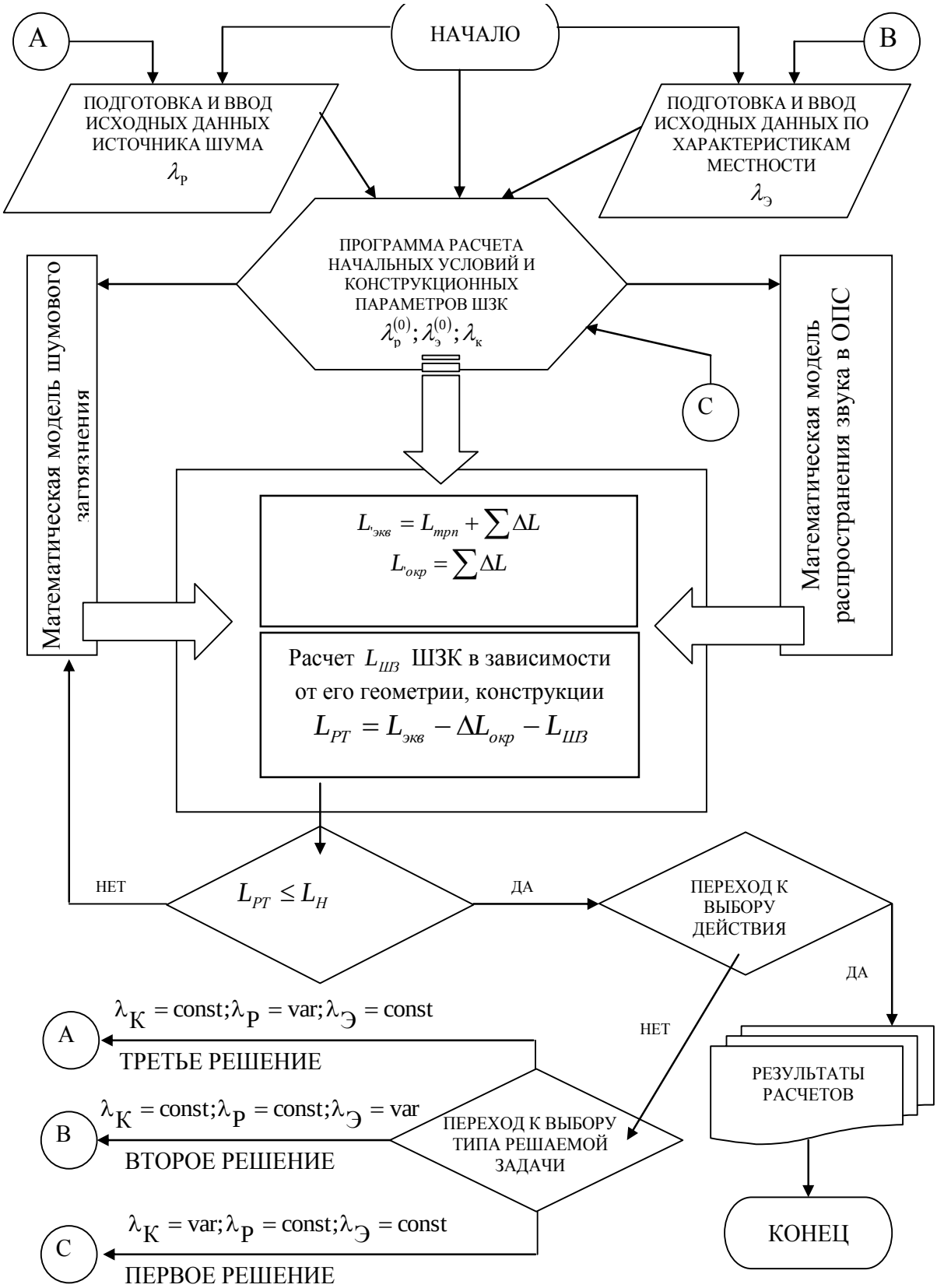


Рис. 1. Алгоритм расчета эффективности ШЗК и его связь с тремя решениями задачи защиты населения

Оценочные показатели, объединенные в подмножествах *B* и *C,* определим как $b_q(\lambda) \in A$, $(q = 1,2,\ldots,k)$; и $c_p(\lambda) \in A$, $(p = k+1, k+2,\ldots,m)$. Тогда математическая постановка задачи оптимизации оценочных параметров ШЗК будет иметь вид:

$$a_i(\lambda) \to \underset{\lambda \in \Lambda}{\text{extr}},\ (i = 1,2,\ldots,m) \text{ или } \begin{cases} b_q(\lambda) \to \max\limits_{\lambda \in \Lambda}, & (q = 1,2,\ldots,k), \\ c_p(\lambda) \to \min\limits_{\lambda \in \Lambda}, & (p = k+1, k+2,\ldots,m). \end{cases} \quad (3)$$

Здесь $a_i(\lambda) \in A$; $\lambda = \xi(\lambda_к, \lambda_э, \lambda_р, \lambda_т, \lambda_п)$.

Обобщенная целевая функция, как и в предыдущих случаях многокритериальной оптимизации, представляется в виде аддитивного критерия с весовыми коэффициентами и нормированными функциями частных критериев:

$$F(w, \lambda^{opt}) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} F(w, \lambda_j) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} \left\{ \sum_{q=1}^{k} w_q\, N_{bq}(\lambda_j) + \sum_{p=k+1}^{m} w_p\, N_{cp}(\lambda_j) \right\} \quad (4)$$

Где $N_{bq}(\lambda_j)$ – нормированное значение функции $b_q(\lambda)$, (q=1,2,..., k), $N_{cp}(\lambda_j)$ – нормированное значение функции $c_p(\lambda)$, (p=k+1, k+2,..., m).

Задача может быть применена как ко всему ШЗК (состоящему из ряда защитных сооружений), так и к отдельному мероприятию ШЗ:

1. для ШЗК определить его оптимальные конструкционные, эксплуатационные, технологические, экономические и потребительские свойства (оптимальные значения обобщенных целевых функций)
2. для сравнения двух и более вариантов ШЗ: выбрав для всех рассматриваемых мероприятий одинаковое количество и тип оценочных параметров, производится расчет поливектора первого ранга – скалярной функции F. Мероприятие, для которого значение функции F будет наибольшим, будет считаться в соответствии с зависимостью (4) предпочтительным среди представленных к рассмотрению вариантов.

В ряде случаев требуется проведение оценки эффективности ШЗК *экспресс-методами.* Для этого необходимо иметь упрощенную математическую модель расчета целевых функций. В качестве одного из возможных вариантов такой модели можно предложить следующую систему математических уравнений (рис.2):

$$\begin{cases} 1.Э\Phi(\lambda) \to \max \\ 2.K(\lambda) \to \min \\ 3.У_2(\lambda) \to \max \\ 4.C(\lambda) \to \min \\ 5.Э(\lambda) \to \max \end{cases} \quad (5)$$

$\lambda = \xi(\lambda_к, \lambda_э, \lambda_р, \lambda_т, \lambda_п)$ (рис. 3), поэтому оптимизацию с помощью обобщенного критерия оптимальности можно производить либо по любому из компонент вектора λ либо по всем компонентам сразу.

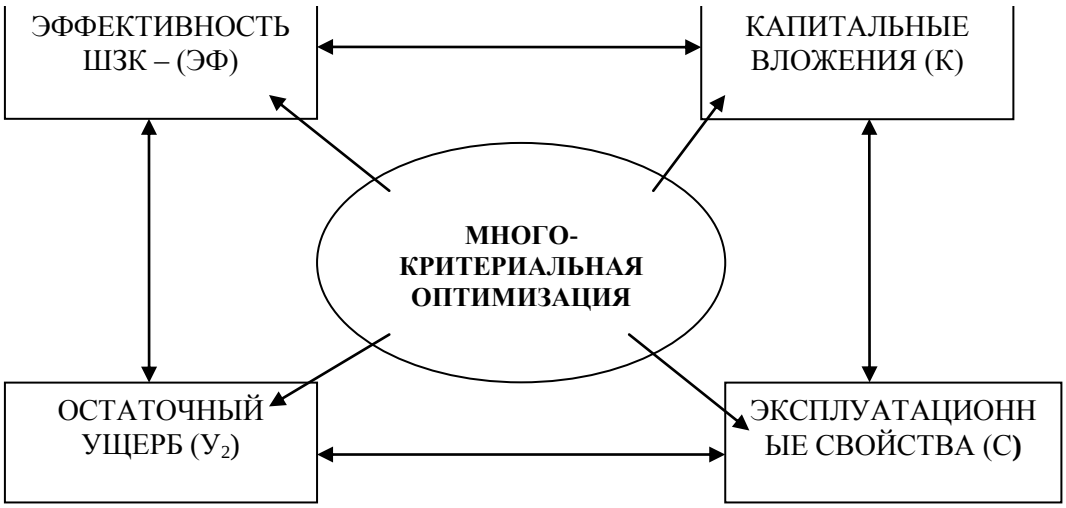


Рис. 2. Экспресс-модель оценки ШЗК
по наиболее важным характеристикам.

Наибольшую трудность вызывает оценка эстетических показателей (Э). Она может быть проведена на основе вероятностных оценок по результатам опросов населения или экспертов – бальная характеристика эстетичности ШЗ. Вместо целевой функции вида (5) целесообразно использовать метод экспертных оценок.

Ограниченное по широте охвата дерево оценок ШЗК

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКА ШУМА:

– интенсивность движения транспортного потока (ТП), авт./час;
– условия дорожного движения и состав транспортного потока;
– относительное количество грузовых автомобилей с карбюраторными двигателями и автобусов в ТП, %;
– относительное количество грузовых автомобилей с дизельными двигателями и автобусов в ТП, %;
– средняя скорость движения, км/ч;

– величина продольного уклона проезжей части, %;
– вид дорожного покрытия;
– частота, Гц.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКРУЖЕНИЯ
– жилой застройки (высота, длина, ширина, м; количество зданий);
– расстояние ИШ – ШЗ, м;
– расстояние ШЗ – жилая застройка, м;
– высота акустического центра ИШ, м;
– норма площади на 1 человека;
– угол обозрения дороги;
– свойства поверхности между автодорогой и жилой застройкой;
– наличие перекрестка.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЗ
– площадь;
– форма;
– характеристики материала (звукоизоляция, коэффициент звукопоглощения).

ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ (СТОИМОСТНЫЕ) ОЦЕНКИ (на единицу ШЗ)
– себестоимость основных физических элементов конструкции;
– подготовительные действия (доставка, расчистка территории, размещение «полевого» офиса, демонтаж и др.);
– монтаж (дренаж, работы по установке, посадке);
– экскавация (устройство конструкций для доступа дороги), расходы на подземное/наземное перемещение (временное/постоянное) из-за установки ШЗ;
– безопасность движения – стоимость защитных элементов (ограждений);
– благоустройство территории (восстановление по завершению строительства, вписывание ШЗ в ландшафт, доп. озеленение т.д.);
– земли под сооружение;
– затраты на компенсацию риска для здоровья людей (стоимость комплекса лечебно-диагностических мероприятий на одного человека, стоимость комплекса лечебных, санаторно-курортных мероприятий, выходящих за рамки лимита обязательного медицинского страхования на одного человека, оплата лечебных отпусков, стоимость лечения отдаленных последствий, стоимость гигиенических, медицинских, экологических и др. экспертиз, стоимость иска морального ущерба);
– компенсация невыходов на работу;
– потери от возможной аварии;
– эксплуатационные затраты.

ОЦЕНКА ПРЕДОТВРАЩЕННОГО УЩЕРБА

– Степень снижения загрязнения, % по факторам:
  Шум;
  Атмосфера (окиси углерода, азота углеводороды, соединения свинца, пыль).

БАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭСТЕТИЧНОСТИ

Показанное применение многокритериальной оптимизации к задаче оценки ШЗК и поиска на этой основе концепции ШЗ по многим методологическим приемам носит условный характер и требует дальнейшей проработки в рамках создания специальных конструкторских пакетов пользовательских программ.

Снижение шума строительных машин звукоизолирующими капотами

Кудаев А.В.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

1. Введение

Строительные машины – заметный источник акустического загрязнения в городах. Основным источником шума самоходных и передвижных строительных машин (без виброактивных рабочих органов) является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Для снижения шума ДВС на них устанавливаются специально сконструированные звукоизолирующие капоты (ЗИК). ЗИК на ДВС – конструкция, которая должна, наряду с шумоглушением, обеспечить теплообмен под капотом. Это предполагает наличие в ЗИК конструкционных проемов для осуществления теплообмена. Проемы в ЗИК ухудшают его акустические свойства, поэтому их необходимо закрывать устройствами, обеспечивающими проход воздуха. В качестве таких устройств используются: жалюзи, глушители, акустические экраны.

Целью исследования является выбор эффективных внутренних конструкций ЗИК.

2. Описание стенда и исходные параметры для исследования

В качестве стенда для исследований процессов под капотом использовалась передвижная компрессорная станция (ПКС), состоящая из компрессора, четырехтактного четырехцилиндрового дизеля с водяным охлаждением, радиатора, крыльчатки, одноосной ходовой части и капота. На радиаторе установлен диффузор, в который заключен вентилятор, что способствует повышению скорости потока воздуха, вследствие чего повышается отвод тепла от радиатора. Номинальная частота вращения вала дизеля 36,6 (2200) $с^{-1}$ (об/мин). При этом двигатель имеет номинальную мощность 59,6 (81) кВт (л.с.) при нагрузке (т.е. работающем компрессоре). На этой же установке испытывались конструкции по закрытию проема в капоте. Были проведены испытания элементов шумозащиты ЗИК. С этой целью был разработан специальный портал, присоединяемый к штатному капоту ПКС. Отверстие на выходе из портала имело площадь, равную площади всех отверстий на штатной панели. Для закрытия отверстия, находящегося на выходе из портала, использовались следующие элементы шумозащиты: жалюзи, глушители и акустические экраны. С целью получения исходных данных, были проведены измерения УЗД и УЗ у отверстия размером 390х390, на торцевой панели портала. Усредненные данные измерений на расстоянии 0,1 м и 1,0 м приведены в табл. 1.

Характеристики шума, излучаемые отверстием 390х390

Таблица 1

Расстояние, м	УЗД, дБ в октавных полосах частот, Гц									УЗ, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
0,1	86	96	96	95	97	101	97	93	85	104
1,0	71	91	82	85	86	90	87	83	79	93

Следует учитывать, что данные на расстоянии 0,1 измерены в ближнем звуковом поле условного источника шума (проема) и можно утверждать, что шум от других источников в эту точку не попадает. Значения эффективности конструкций, полученные при измерениях на 0,1 м, являются максимально приближенными к абсолютным значениям (т.е. максимально достижимым). Измерения в точке на расстоянии 1 м предполагают, что в эту точку проникает шум не только от проема, но и от некоторых других источников (например, других панелей установки). Поэтому эффективность, полученная при измерениях в этой точке, является относительной и лишь показывает на возможное снижение шума испытываемым устройством в реальных условиях, поэтому эта эффективность ниже, чем предыдущая. Измерения в этой точке нами даны, чтобы напомнить, что в реальных условиях эффективность испытываемых конструкций зависит от ряда условий (компоновки капота, расположения выхлопа двигателя внутреннего сгорания, звукопоглощением соседних панелей, наличия звукопоглощения под капотом и др.) Если в конструкции капота учесть все перечисленные особенности, то относительная эффективность испытанных конструкций может быть максимально приближенной к абсолютной.

3. Исследование жалюзи

Жалюзи – одна из наиболее распространенных конструкций, закрывающих проем в капоте. Жалюзи выполняются в виде щелей прикрытых козырьком. Были изготовлены и испытаны жалюзи 3-х типов: с 2-мя, 4-мя и 8-ю козырьками. При этом длина козырька уменьшается по мере увеличения их числа из конструктивных соображений. Были выбраны следующие размеры козырьков в порядке упоминания: 190мм, 85мм, 42,5мм. Данные испытаний жалюзи показаны на рис 1.

Анализ результатов показывает, что акустическая эффективность жалюзи зависит не от их числа, а от ширины козырька. Здесь козырек играет роль акустического экрана. При длинных козырьках (даже при их числе равном двум) эффективность жалюзи может достигать 6 дБА (снижения УЗД 4-8 дБ в диапазоне частот 31,5-8000 Гц). Эффективность жалюзи с меньшей шириной козырьков не превышает 3 дБА, т.е. в 2 раза ниже (1-4 дБ в том же частотном диапазоне). Эффективность в данном случае не зависит от числа козырьков.

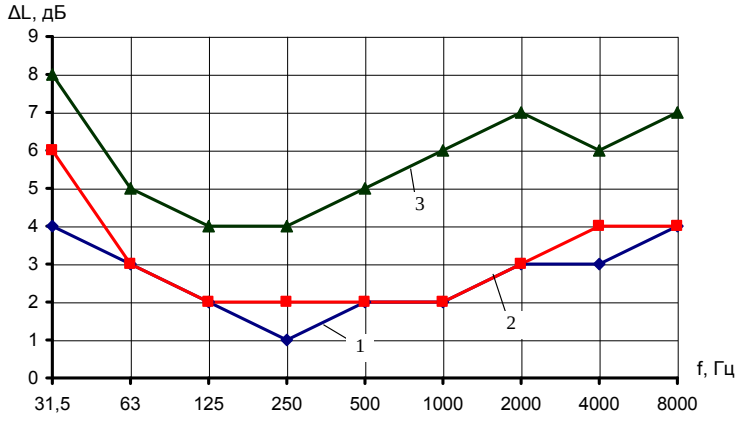


Рис. 1. Сравнительная эффективность жалюзи разного числа и размеров: 1 – 8, 2 – 4, 3 – 2.

4. Исследование эффективности глушителей капота

Для исследований было выбрано несколько конструкций глушителей различной длины:

- однокамерные (без звукопоглощения и со звукопоглощением – абсорбционные);
- 2-х камерные (абсорбционные);
- 4-х камерные (абсорбционные).

Данные испытаний глушителей без звукопоглощения приведены в табл. 2, а абсорбционных глушителей показаны на рис. 2-4.

Испытания однокамерных глушителей без звукопоглощения (расстояние 0.1м)

Таблица 2

Длина глушителя, мм	Снижение УЗД, дБ, в октавных полосах частот, Гц									Эффективность, дБА	Расход, л/мин	Скорость, м/с
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
50	3	2	2	1	0	1	0	1	0	0,5	44	3,7
100	5	1	3	2	1	0	1	0	0	0,5	43	3,8
200	6	4	4	2	-1	0	1	0	0	0	49	4,3
400	7	3	5	2	0	-1	0	-1	0	0	48	4,2

Анализ табл. 2 показывает ожидаемые результаты, очевидность которых в средне-высокочастотном диапазоне в комментариях не нуждается. Отметим лишь, что на низких частотах зарегистрировано некоторое снижение УЗД в зависимости от длины глушителя. Это объясняется какими-то резонансными явлениями в глушителях. Изменение параметров расхода и скорости незначительно.

На рис. 2 показаны значения эффективности однокамерных глушителей. Даже для глушителя длиной 100мм получены определенные значения эффективности 1-4 дБ в средне-высокочастотном диапазонах (1,5 дБА). Прослеживается закономерность увеличения эффективности глушителей с увеличением их длины. Для глушителя длиной 400 мм эффективность составила 3-9 дБ во всем исследуемом диапазоне 31.5-8000 Гц (6 дБА). Значения расхода и скорости воздуха отличаются незначительно (максимально на 10-15%).

Переход от однокамерных абсорбционных к 2-х и 4-х камерным глушителям заметно увеличивает их эффективность (рис. 3, 4) при сохранении ярко выраженной зависимости от длины глушителя (рис. 5). Действительно при увеличении числа камер эффективность глушителя возрастает на 1-3 дБА, а при увеличении длины глушителей их эффективность растет на 1-3 дБА при каждом удвоении длины (рис. 5).

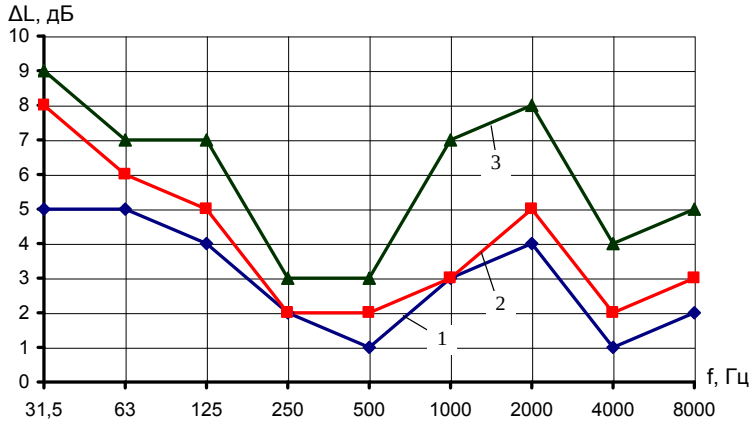


Рис. 2. Сравнительная эффективность однокамерных абсорбционных глушителей разной длины: 1 – 100 мм, 2 – 200 мм, 3 – 400 мм.

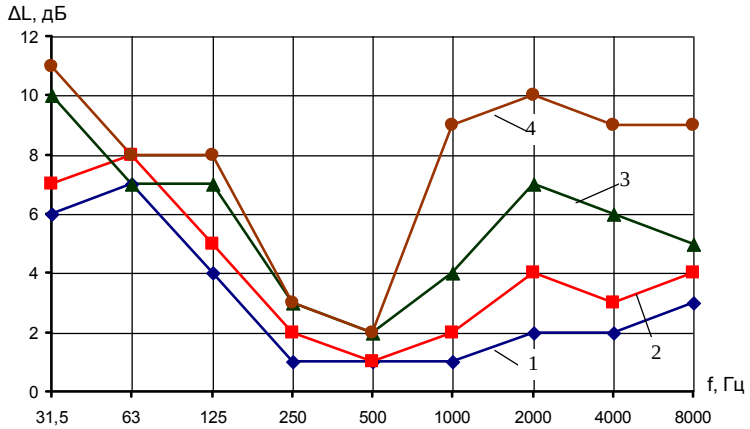


Рис. 3. Сравнительная эффективность двухкамерных абсорбционных глушителей разной длины: 1 – 50 мм, 2 – 100 мм, 3 – 200 мм,4 – 400 мм.

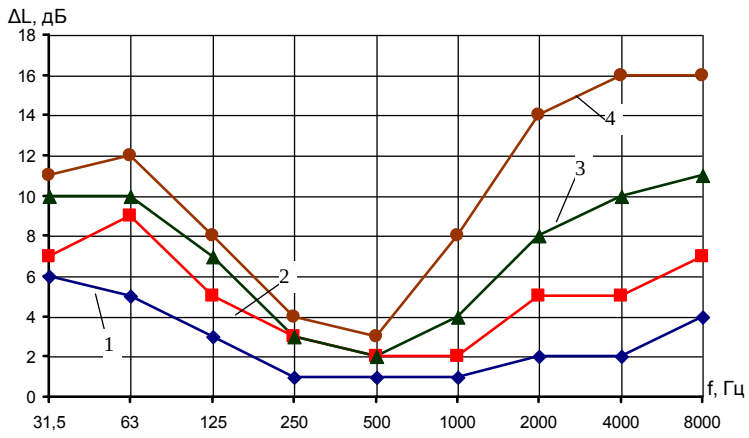


Рис. 4. Сравнительная эффективность четырехкамерных абсорбционных глушителей разной длины: 1 – 50мм, 2 – 100 мм, 3 – 200 мм, 4 – 400 мм.

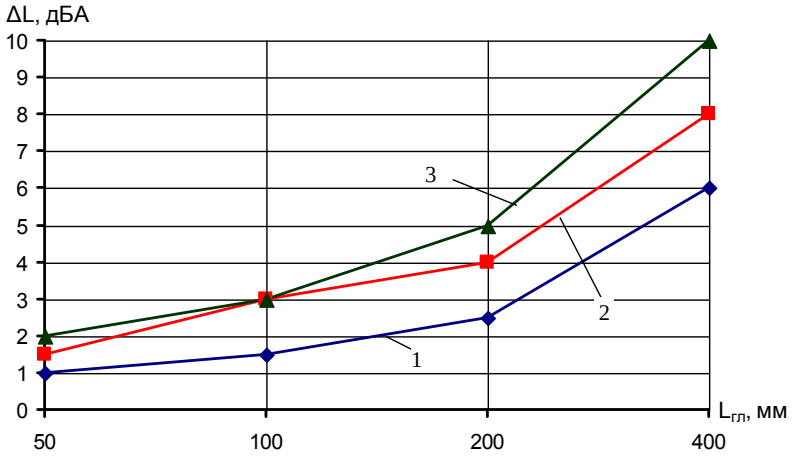


Рис. 5 Зависимость эффективности абсорбционных глушителей с разным числом камер от их длины: 1 – однокамерные, 2 – двухкамерные, 3 – четырехкамерные.

Отмечается очень четко выраженный рост эффективности абсорбционных глушителей на средних и высоких частотах в диапазоне 500-8000 Гц. Для 2-х камерных глушителей повышение эффективности составляет: 1-3 дБ (50мм), 1-4 дБ (100мм), 2-7 дБ (200мм), 2-10 дБ (400мм). Соответственно для 4-х камерного глушителя рост эффективности с увеличением длины глушителя более ярко выражены (рис. 4) на высоких частотах (1000-8000 Гц): 1-4 дБ (50мм), 2-7 дБ (100мм), 4-11 дБ (200мм), 8-16 дБ (400 мм).

Отметим увеличения значений расхода и скорости движения воздуха (по сравнению с исходными данными): для 2-х камерных глушителей увеличение этих параметров составляет до 20-30%, а для 4-хкамерных приблизительно до 30-40%.

Испытания абсорбционных глушителей (на расстоянии 1 м)

Таблица 3

Число камер глушителя	Длина глушителя, мм	Снижение УЗД, дБ, в октавных полосах частот, Гц									Снижение УЗ, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
2	50	1	5	2	2	1	1	2	1	4	1
	100	0	6	1	2	1	0	3	2	5	1
	200	2	7	3	1	-1	1	6	4	4	2
	400	3	8	2	4	2	5	9	6	7	5,5
4	50	1	5	1	0	1	1	2	2	4	1
	100	2	6	2	0	2	1	4	3	4	1,5
	200	1	9	4	2	-1	3	5	5	3	3
	400	1	8	2	3	3	6	11	12	9	6

В табл. 3 приведены данные для наиболее эффективных абсорбционных 2-х и 4-х камерных глушителей. Заметим, что эффективность глушителей на расстоянии 1м почти в 2 раза меньше, чем на расстоянии 0,1м. Это объясняется вкладом других источников. Этот пример, напомним, относится только к исследуемому стенду и является частным случаем для демонстрации одной из возможных ситуаций в практике использования звукоизолирующих капотов.

5. Исследование эффективности акустических экранов (АЭ)

Перекрытие проема при помощи акустического экрана или системы акустических экранов представляется наиболее удобной мерой в конструктивном отношении (установка плоского экрана не ведет к таким сложностям как установка глушителей, требующих немалого пространства для размещения). Экраны дают возможность сочетания большого числа конструктивных вариантов. Остается лишь понять, в какой степени акустические экраны являются эффективными.

Возможное разнообразие установки и размеров испытываемых экранов было сведено к следующим конструкциям. Были испытаны три типа размера экранов: частично прикрывающие проем (190х190) мм, равные размерам проема (390х390) мм, и экраны, размер которых превышает размер проема (590х590) мм.

Предусмотрена установка экранов внутри портала за проемом и с наружной по отношению к порталу стороны проема, а также их комбина-

ция. Также предусмотрено сочетание установки нескольких экранов: 2 и 3 экрана, расположены различно по отношению к проему.

Были испытаны экраны указанных размеров на расстоянии 50, 100 и 200мм от защищаемого проема, устанавливаемые внутри портала. Испытываются экраны без звукопоглощения, а также облицованные звукопоглощающим материалом с одной или с двух сторон.

Эффективность АЭ в зависимости от их облицовки звукопоглощающим материалом меняется незначительно (рис. 6), отмечено увеличение эффективности всего на 1-2 дБ в высокочастотном диапазоне 1000-8000 Гц. Это объясняется небольшой площадью экрана. В большей степени на эффективность сказывается глубина расположения АЭ (рис. 7). Чем ближе АЭ расположен к защищаемому проему, тем его эффективность выше. Например, для экрана 590х590 разница в высокочастотном диапазоне при установке на 50 и 200мм составляет 5 дБ (рис. 7). При этом следует отметить, что при удалении от проема эффективность остается весьма ощутимой, достигая 5-7 дБА.

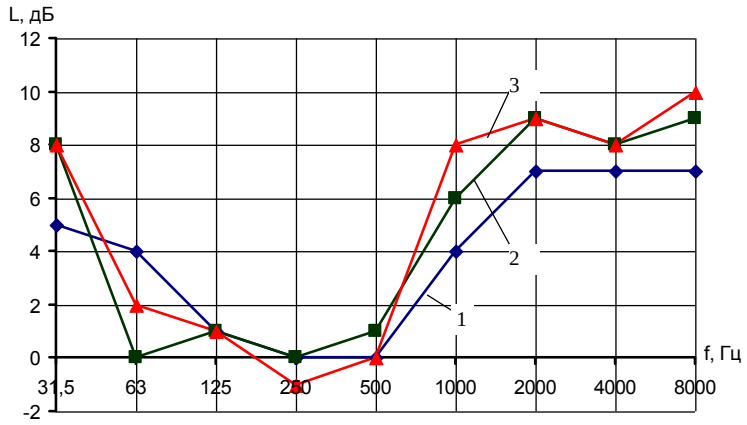


Рис. 6. Зависимость эффективности АЭ (390х390) от облицовки звукопоглощающим материалом – ЗП (глубина 50 мм):
1 – без ЗП, 2 – ЗП с одной стороны, 3 – ЗП с двух сторон.

В наибольшей степени на эффективность АЭ влияют его размеры (рис. 8). При минимальных размерах АЭ (190х190) его эффективность не превышает 1-2 дБ в высокочастотном диапазоне. При установке АЭ сравнимой величины с размерами проема (390х390) его эффективность возрастает дополнительно на 5-7 дБ, а при применении АЭ с большими, чем проем, размерами (590х590) эффективность увеличивается еще на 4-7 дБ в высокочастотном диапазоне и достигает 6-8 дБА.

Величины расхода и скорости движения воздуха зависят от величины АЭ и глубины его установки, при увеличении этих двух параметров скорость и расход возрастают на величину от 10 до 40%.

6. Испытания внутренних акустических экранов.

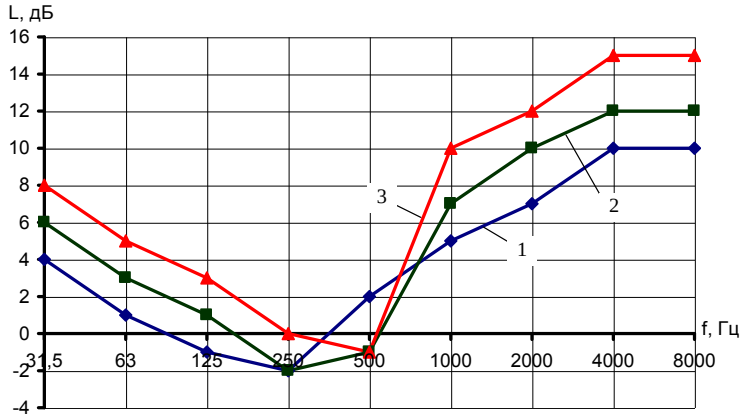


Рис. 7. Зависимость эффективности внутренних АЭ (590x590) от глубины расположения: 1 – 200 мм, 2 – 100 мм, 3 – 50 мм.

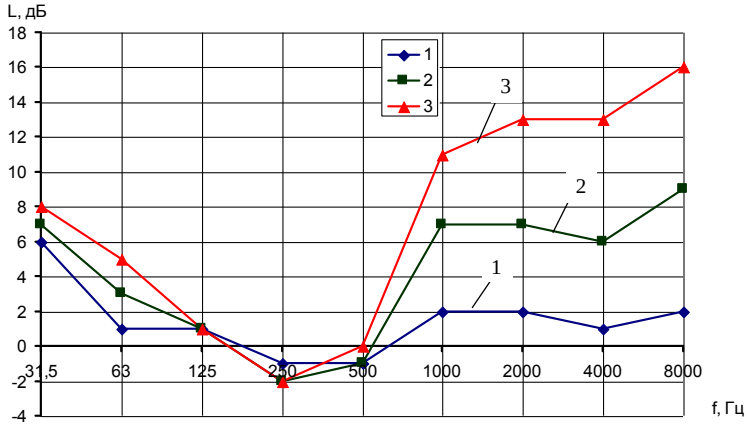


Рис. 8. Зависимость эффективности АЭ различного размера: 1 – 190x190, 2 – 390x390, 3 – 590x590.

7. Расположение экранов снаружи портала.

В некоторых условиях приходится располагать экраны снаружи защищаемого проема.

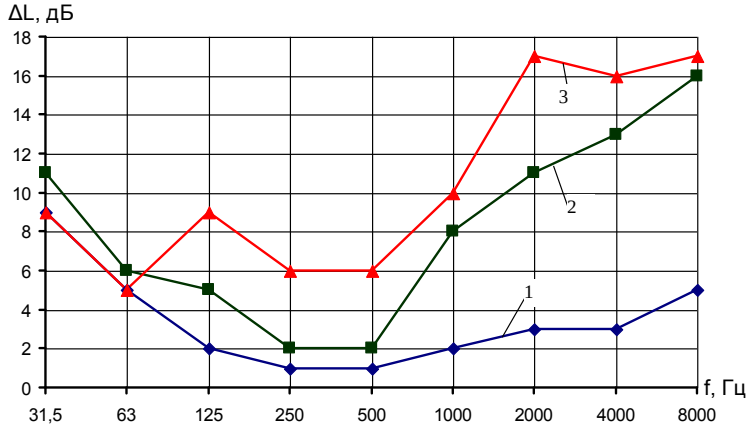


Рис. 9. Сравнительная эффективность внешних АЭ (без ЗП, глубина 50 мм) различных размеров: 1 – 190x190, 2 – 390x390, 3 – 590x590

Из анализа рис. 9 видно, что закономерности по конструктивным параметрам, приведенные для внутренних экранов остаются такими же и для АЭ располагаемых снаружи. Эффективность АЭ размером 590х590 на 5-14 дБ выше, чем АЭ размером 190х190 в диапазоне частот 125-8000 Гц.

На рис. 10 показана сравнительная эффективность внешнего и комбинированного экранов. Эффективность последнего выше на высоких частотах (1000-4000 Гц) на 2-5 дБ.

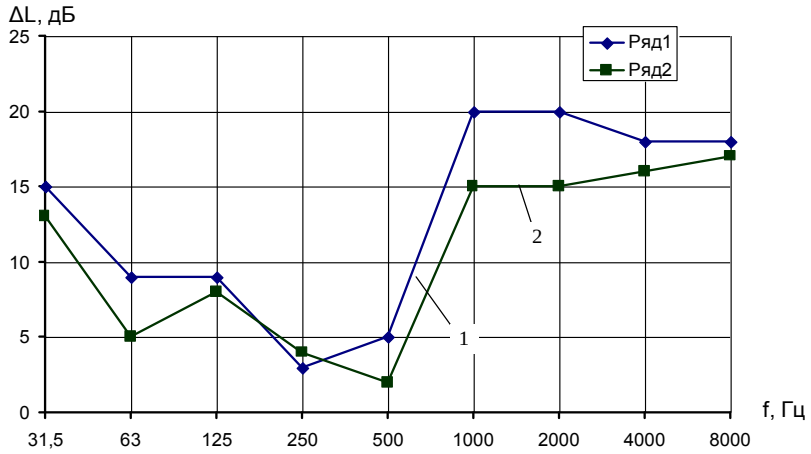


Рис. 10. Сравнительная эффективность внешнего (2) и комбинированного (1) АЭ (590х590, глубина 50).

8. Эффективность составных экранов.

В условиях ограниченного пространства под звукоизолирующим капотом находят применение составные экраны. При этом плоские экраны располагаются друг за другом. При этом обеспечивается 2-х 3-х кратное частичное перекрытие проема, что улучшает прохождение воздуха через защищаемую систему с улучшенной шумозащитой. При сравнении данных, можно заключить, что большие составные АЭ не имеют существенного преимущества по сравнению с плоскими максимальных размеров. В то же время эффективность составных АЭ малых размеров существенно выше, чем эффективность плоского экрана (рис. 11). Эффективность в высокочастотном диапазоне (1000-8000 Гц) выше на 2-5 дБ, для АЭ со звукопоглощением эта эффективность еще выше.

Значения расхода и скорости движения воздуха существенно не меняются с переходом на составные экраны.

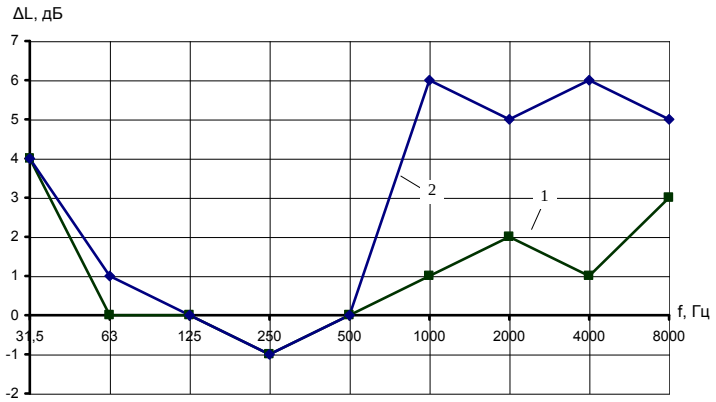


Рис. 11. Эффективность плоского (1) и составного (2) экранов без ЗП

9. Сравнение эффективности испытанных конструкций

На рис. 12 показана сравнительная эффективность основных типов рассмотренных шумозащитных конструкций: жалюзи, глушителя, плоского акустического экрана, составного экрана. Анализ показывает, что эффективность этих конструкций составляет по интегральной оценке от 4 до 9 дБА (от 1-5 дБ до 4-16 дБ в средне- высокочастотном диапазонах 500-8000 Гц). Как правило, эта эффективность обеспечивает вполне приемлемое снижение шума, проникающего через открытый проем. При выборе конструкции защиты проема можно руководствоваться, в первую очередь, требованиями к конструкциям капота. Все конструкции показали приемлемую эффективность, а также не увеличивают свыше, чем на 50%, скорость движения и расход воздуха через защищаемый проем. В случае необходимости выполнения более высоких требований к снижению шума в проеме можно использовать комбинированные и составные экраны больших размеров. Эти конструкции обеспечивают снижение шума, проникающего через открытый проем на 8-10 дБА.

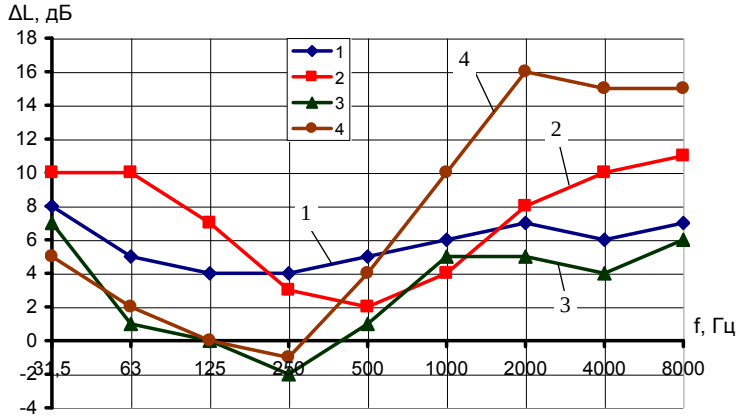


Рис. 12. Сравнительная эффективность шумозащитных конструкций:
1 – жалюзи (2 козырька), 2 – глушитель (абсорбционный четырехкамерный, 200 мм), 3 – экран облицованный ЗП (390х390) глубиной 200 мм,
4 – составной экран (2х590х590).

10. Апробация рекомендаций.

По результатам проведенных исследований была предложена конструкция ЗИК, с внутренним АЭ на проем в капоте. Результаты приведены в табл. 4 и на рис. 13.

Таблица 4

Расстояние, м	**УЗД, дБ в октавных полосах частот, Гц**									**УЗ, дБА**
	31,5	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	
0,1 (без капота)	86	96	96	95	97	101	97	93	85	104
0,1 (с капотом)	80,5	93,7	96,8	96,5	93,2	89,5	79,5	78,3	69,5	94,5

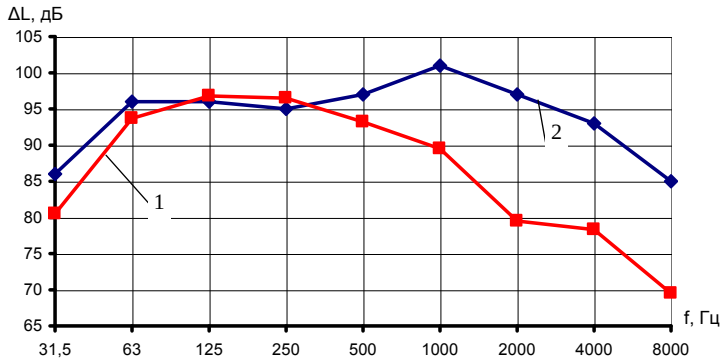


Рис. 13. Акустические характеристики двигателя с капотом (1) и без капота (2)

Анализируя приведенные данные можно отметить, что эффективность капота составляет от 0,8 дБ до 15,5 дБ по уровням звукового давления и до 9,5 дБА по уровню звука.

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. Иванова Н.И. – СПб: Политехника, 1992. – 365 с.

Новые приборы для измерения шума

Фадин И.М., Фадин С.И., Сидоров В.Н.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

В настоящее время актуальна задача совершенствования аппаратуры измерения акустического шума для прикладных и научных исследований.

Проведенные автором исследования выявили, что спросом пользуются три категории шумомеров:

- Портативные шумомеры с широким набором возможностей, и высокой стоимостью (2-3 тыс. долл);
- Шумомеры с минимальным набором характеристик – A, Lin, C и малой стоимостью. (не более 200 долл);
- Шумомеры для учебных целей, используемые в лабораторных работах – такие приборы обладают средней стоимостью (20-50 тыс. руб), кроме минимального набора характеристик позволяют проводить октавный анализ, имеют ручное переключение диапазонов измерений и устройство отображения стрелочного типа.

Начиная с 2003 года, авторами проводятся исследования по созданию новых средств измерения шума. Были разработаны 3 модели шумомеров, имеющих рабочие названия: ИШУ100, ИШП200, ШИП-1.

В настоящее время приборы ИШУ100 и ШИП-1 находятся на стадии изготовления опытных образцов.

Прибор ИШУ100 – шумомер для учебных целей. Позволяет проводить измерения постоянного шума в октавных полосах частот 31.5-12500 Гц и имеет характеристики временного приведения fast, SLOW, IMP, характеристики частотного приведения A, C, lin, G. Прибор имеет память на 1000 результатов измерений и связь с ЭВМ через последовательный порт RS232. Прибор позволяет измерять постоянный шум в диапазоне 30-110 дБА, что вполне соответствует учебным целям. Глубина октавного анализа составляет 40дб, т.е. минимально измеряемый в октавной полосе уровень шума на 40дБ меньше значения, измеренного с характеристикой lin.

Прибор имеет внутренние часы реального времени, показания которых отображаются на дисплее.

ИШУ100 – прибор с цифровым отсчетом в виде алфавитно-цифрового ЖКИ дисплея. Имеется возможность светодиодной подсветки дисплея.

Настройка диапазона измерений производиться автоматически.

Точность измерений соответствует 2-му классу по ГОСТ 17187-81, характеристики октавных фильтров также соответствуют второму классу точности по ГОСТ17168 – 82.

Прибор рассчитан на электропитание от сети переменного тока 220В, но имеет внутренний аккумулятор. Энергопотребление устройства составляет 5 Вт.

Прибор ШИП-1 – дешевый портативный измеритель шума. Обладает характеристиками A, G. Настройка диапазонов измерений производится автоматически. Выходом прибора является алфавитно-цифровой ЖКИ дисплей. ШИП-1 предназначен для контроля уровня звука и инфразвука в полевых условиях. Прибор имеет встроенную память на 500 измерений, часы реального времени. Предусмотрена связь с ПК через последовательный порт RS-232. Точность разработанного устройства соответствует 2-му классу точности по ГОСТ 17187-81. Энергопотребление составляет 1Вт (при включенной подсветке индикатора).

В настоящее время создается макет прибора ИШП-200. Предполагается, что ИШП-200 будет портативным прибором с большим набором характеристик и меньшим по сравнению с предыдущими приборами энергопотреблением. Основой прибора будет цифровой сигнальный процессор с низким энергопотреблением. Предполагается, что прибор будет вести непрерывные измерения – т.е. входной блок АЦП будет обеспечивать преобразование сигналов микрофона во всем диапазоне – от 20 до 140дБ, при этом отпадет необходимость в ручной или автоматической перестройке диапазона измерений.

Прибор будет снабжен графическим дисплеем с сенсорной панелью. Прибор будет иметь стандартный и расширенный набор функций.

К стандартному набору относятся:

- диапазон измерений 20-150 дБ;
- измерение шума и инфразвука с характеристиками частотного приведения A, C, Lin, D, B, G;
- одновременное измерение в октавных и третьоктавных полосах частот;
- временные характеристики Slow, Fast, Imp, max, min;
- измерение эквивалентных уровней с программируемым временем измерений;
- запись результатов измерений, их просмотр;
- связь с ПК через USB.

К расширенному набору относятся:

- измерение узкого заданного участка спектра шума;
- подключение спутникового приемника для одновременного измерения координат;
- подключение к интернет через GPRS-модем;

– генерирование сигналов белого, розового шума, а также сигнала специальной формы для прозвучивания.

Предполагаемое время создания опытного образца 1 кв. 2007 г.

В дальнейшем предполагается освоить серийное изготовление разработанных устройств.

Литература

1. ГОСТ 17187-81 “Шумомеры. Общие технические требования”.
2. ГОСТ 17168 – 82 “Фильтры октавные”.

Экспериментальные исследования шума внутри служебного модуля международной космической станции, а также акустических характеристик элементов его конструкции

Олейников А.Ю.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Как и показывал прогноз специалистов, которые разрабатывали средства снижения шума на станции «Мир», шум в обитаемых отсеках международной космической станции (МКС), значительно превышает нормативные значения, принятые согласно ГОСТ 50804-95 и SSP 50094 от 1996 года. Акустический дискомфорт, который испытывают космонавты и астронавты, пребывающие на МКС, ставят под угрозу их здоровье и работоспособность, так как с учетом показателя назначения станции экипажи должны проводить там достаточно большой период времени. Хотя, надо отметить, что кратковременное нарушение слуха может возникнуть у человека, в момент пребывания его в зашумленной зоне, за гораздо меньший период (7-10 суток), а необратимые процессы нарушения слуха могут начаться, с учетом индивидуальных особенностей организма человека, уже через 15-20 суток. Кроме того, шум, а также вибрация, которая может его сопровождать, оказывают значительное действие на само оборудование для проведения экспериментов и опытов.

Для создания нормальной акустической обстановки в обитаемом служебном модуле МКС не подходят некоторые классические приемы, применяемые на практике, ограничение времени пребывания в зашумленной зоне, использование средств индивидуальной защиты (беруши и наушники), т.к. при этом демаскируется полезный сигнал, нарушается речевая связь. Т.о., единственный путь нормализации шума на станции – это снижение звукоизлучающей способности источников шума и повышение диссипативных свойств конструкций и помещений за счет дополнительных вибродемпфирующих и звукопоглощающих облицовок соответственно.

Однако, применение таких средств снижения шума в большом объеме невозможно, т.к. станция уже работает на орбите. Следовательно, руководствуясь принципом «необходимо и достаточно» в первую очередь следует выявить наиболее «шумные» источники и определить их влияние на формирование звукового поля в СМ МКС.

Настоящая работа посвящена анализу процесса шумообразования в служебном модуле, выявлению акустических характеристик основных источников шума, а также акустических характеристик типовых конструкций применяемых на станции. В основу технического задания на выполнение работы было заложено предположение о формировании звукового поля в местах работы и отдыха в СМ МКС.

1. Основные положения и допущения

Для расчета ожидаемой шумности представим СМ МКС как систему, состоящую из источников звука, каналов распространения воздушного звука и вторичных излучателей. Исходя из характера работы СМ МКС, отметим, что в основном излучаемою акустическую мощность источников шума можно считать постоянной во времени и зависящей только от частоты.

Реальные источники звука представляют собой колебательные системы сложной формы, расчет звуковых полей которых затруднен. Поэтому, применяя в расчетах положения статистической теории акустики, следует представить все источники излучателями звука простой формы, излучающие, в зависимости от типа источника, плоские, цилиндрические и сферические звуковые волны.

Основные положения статической теории акустики:

- звуковое поле диффузное;
- резонансные явления в помещениях не учитываются;
- источники звука некогерентны (т.е. не оказывают взаимного влияния друг на друга) и сложение этих источников производится энергетически;
- замкнутые объемы соразмерны, в них отношение наибольшего размера к наименьшему не превышает 3 – 4.

Учитывая специфику решаемых задач, связанных не только с величиной рассматриваемых объемов, но с необходимостью учитывать размеры источников звука, рассматривать дифракционные задачи и правила в развитие классическим положениям можно добавить:

- звуковые поля в замкнутых объемах квазидиффузные;
- аналогия тепловых полей взамен звуковых распространяется не только на замкнутые объемы, но и на ограждающие конструкции при распространении звука в свободном пространстве;
- все элементы шумозащитных конструкций, преград и пр. по пути распространения звука от излучателя к расчетной точке рассматриваются, как вторичные излучатели линейные или плоские, по всей длине или плоскости, которых расположены точечные некогерентные источники звука;
- все излучатели звука (как первичные, так и вторичные) некогерентные;

- рассматриваются не только источники сферических звуковых волн, но цилиндрических и плоских;
- при выводе новых формул используется закон энергетического сложения источников и правило: $W_1 \to I_1 \to W_2 \to I_2 \to \ldots W_n \to I_n$
- источники звука, расположенные в замкнутом объеме, являются ненаправленными излучателями звука;
- звуковая энергия в расчетной точке от различных источников определяется по принципу энергетического суммирования;
- звуковая волна, проходящая вблизи отражающей поверхности, рассматривается в расчетной точке как результат действия зеркального мнимого источника;
- средний коэффициент звукопоглощения ($\overline{\alpha}$) характеризует акустические свойства замкнутого объема;
- звуковая мощность источника звука не зависит от характеристик замкнутого объема;
- в значениях УЗД, рассчитанных для частот f≤fдиф (fдиф – граничная частота квазидиффузного поля), вводятся экспериментальные поправки;
- ближнее звуковое поле учитывается коэффициентом χ;
- нарушение диффузности звукового поля оценивается коэффициентом ψ;
- все элементы звукоизолирующих панелей интерьера представляют в виде элементарных излучателей, по всей площади (длине) которых расположены точечные сферические источники звука, являющихся некогерентными и вторичными излучателями.

Структура образующегося в СМ МКС звукового поля зависит от акустических характеристик источников шума, их расположения по отношению к расчетной точке (РТ), характеристик и характера конструкций СМ, наличия и характера средств шумозащиты (панелей интерьера, глушителей, экранов) и их расположения по отношению к РТ.

2. Экспериментальные исследования шума в обитаемых отсеках

Экспериментальные исследования в СМ МКС проводились с целью получения акустических характеристик помещений модуля и элементов конструкции.

Эти акустические характеристики необходимы для поведения расчётов и уточнения полученных результатов.

При проведении экспериментов планировалось получение следующих характеристик: коэффициент звукопоглощения, приведенная звукоизоляция, затухание по воздуховодам, затухание по длине модуля.

Основные измерения по определению акустических характеристик в служебном модуле МКС (СМ МКС) были проведены в РКК «Энергия» как на летном СМ, так и на электрическом аналоге СМ МКС. Также в РКК «Энергия» были проведены измерения по вкладу источников шума в контрольных точках, по определению эффективности ряда мероприятий по шумозащите. Совместно с БГТУ 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 некоторым воздуховодам, исследовалось затухание по длине.

На основании результатов измерений были определены акустические мощности источников шума и звукоизоляция панелей интерьера, которые использовались расчете ожидаемой шумности

Измерения проводились в г. Королёве РКК «Энергия», на базе контрольно-испытательного стенда 17КСМ КС

2.1 Измерение звукоизоляции

При измерении звукоизоляции пола в РО2 (рабочий отсек №2), источник шума (акустическая головка АГ) располагалась на глубине примерно 30 см. от уровня пола, на центральной оси СМ. Микрофоны располагались парами на расстоянии 10 см. от панелей пола. В результате были получены результаты которые представлены в табл.1 и на рис. 2.

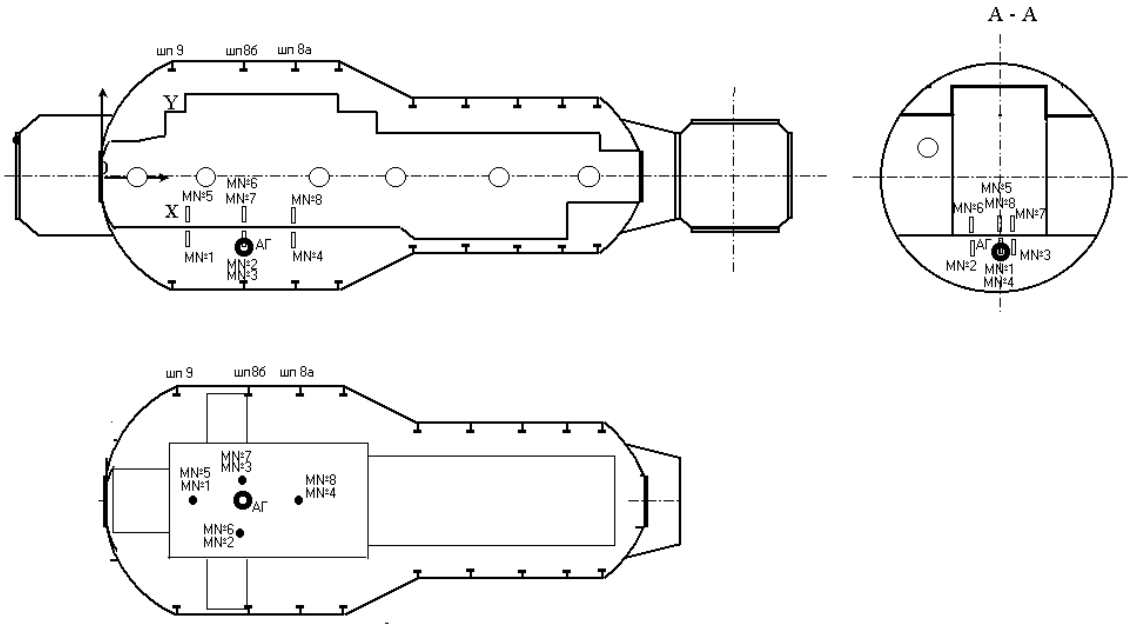


Рис. 1. Расположение микрофонов
при измерении звукоизоляции и звукопоглощения в РО 2

Приведённая звукоизоляция $\overline{ЗИ}$ в РО 2

Таблица 1

Приведённая звукоизоляция $\overline{ЗИ}$, дБ																																			
Номер точки измерения	**Полосы частот**																																		
	10	**12,5**	**16**	**20**	**25**	**31,5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1k**	**1.25k**	**1.6k**	**2k**	**2.5k**	**3.15k**	**4k**	**5k**	**6.3k**	**8k**	**10k**	**12.5k**	**16k**	**20k**	$\overline{ЗИ}$
1	-0,27	-0,33	-0,24	-0,75	4,61	3,37	8,39	7,3	14,5	4,45	2,82	7,89	11,36	12,07	17,23	14,57	15,74	10	13,04	15,49	16,03	19,46	20,28	19,45	17,92	18,91	20,6	20,76	22,63	19,9	24,04	21,16	19,19	13,1	14,04
2	0,05	0,03	0,85	1,12	1,18	3,67	10,93	8,61	11,95	10,01	5,95	7,68	12,31	11,18	14,15	14,48	16,74	16,55	13,68	18,11	19,93	21,49	15,38	15,62	18,21	17,35	19,37	18,8	17,07	17,91	18,8	20,43	16,77	7,92	16,45
3	-0,75	-0,5	0,31	2,21	1,19	6,57	12,57	8,27	12,8	14,54	10,45	13,22	14,33	11,19	19,71	18,21	14,28	14,8	10,24	17,52	21,91	24,18	22,78	19,15	21,05	20,77	19,74	20,47	17,96	21,85	20,84	22,89	20,36	14,97	16,34
4	-1,27	-1,25	2,57	6,55	0,68	7,91	10,39	8,12	2,74	4,2	8,69	10,62	5,52	11,18	15,73	16,8	7,06	9,19	9,67	18,21	17,95	11,68	16,32	22,28	21,11	18,11	16,26	19,07	19,78	16,76	18,13	19,79	16,92	8,23	12,45

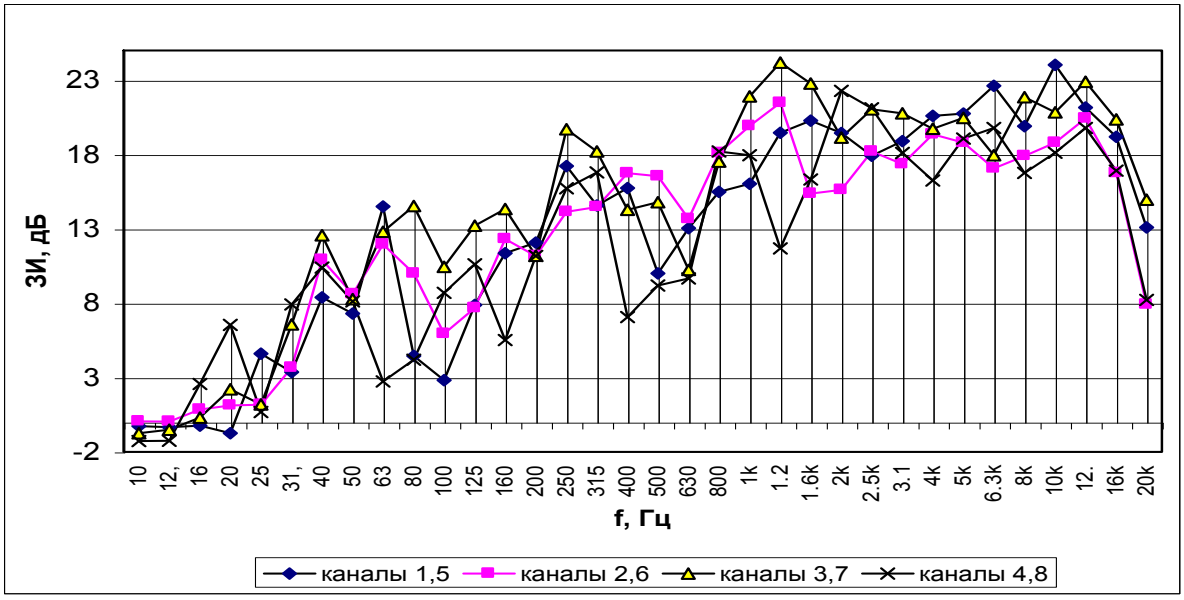


Рис. 2. Приведённая звукоизоляция в РО 2 $\overline{ЗИ}$, дБ

При измерении звукоизоляции потолочных панелей, панелей левого и правого бортов в РО1 (рабочий отсек №1) источник шума (акустическая головка АГ) располагалась внутри рабочего отсека в геометрическом центре РО1, примерно на оси модуля. Микрофоны располагались парами на расстоянии 10 см. от потолочных панелей и панелей левого и правого бортов.

В результате были получены результаты которые представлены в табл. 2 и на рис 4.

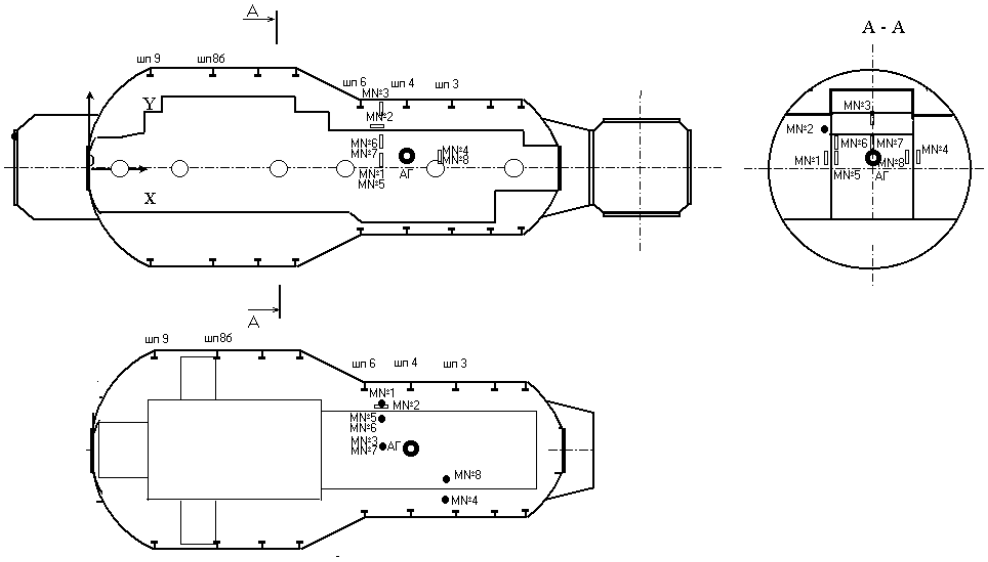


Рис. 3. Расположение микрофонов
при измерении звукоизоляции и звукопоглощения в РО 1

Приведённая звукоизоляция $\overline{ЗИ}$ в РО 1

Таблица 2

Приведённая звукоизоляция $\overline{ЗИ}$, дБ																																		
Номер точки измерения	**Полосы частот**																																	
	10	**12,5**	**16**	**20**	**25**	**31,5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1k**	**1.25k**	**1.6k**	**2k**	**2.5k**	**3.15k**	**4k**	**5k**	**6.3k**	**8k**	**10k**	**12.5k**	**16k**	**20k**	$\overline{ЗИ}$
1	0,4	-1,22	-0,91	-0,67	-0,59	-0,68	-0,45	-2,37	-7,96	-7,31	5,33	10,63	8,97	14,08	1,55	9,82	13,38	8,44	7,61	7,35	11,16	11,01	13,72	15,02	14,34	15,54	12,86	13,3	14,7	14,77	13	17,03	15,77	14,66	9,15
2	-0,27	-2,9	-0,91	-0,65	-0,51	-0,37	-0,11	-1,26	-5,56	-3,62	2,52	7,93	3,1	13,45	9,88	13,97	12,43	3,81	5,23	5,69	11,17	14,51	17,12	13,28	12,16	20,23	21,78	21,22	21,1	20,22	19,26	19,18	18,67	16,08	9,12
3	-3,17	-6,77	0,73	0,76	0,45	0,37	0,11	-1,12	-3,75	-0,82	0	5,42	9,32	12,73	11,05	20,1	13,88	7,65	7,03	10,94	11,74	13,55	16,69	11,47	12,63	12,22	13,68	13,61	16,27	17,42	21,55	17,28	15,79	14,01	11,23
4	2,09	0,75	0,15	0	-0,11	-0,45	-0,9	-0,3	-2,07	-2,43	11,12	13,95	6,16	8,08	14,12	5,77	12,55	10,89	8,06	10,44	10,02	10,74	11,17	15,88	17,64	17,43	18,52	15,93	15,28	14,69	14,86	15,43	17,17	14,56	10,67

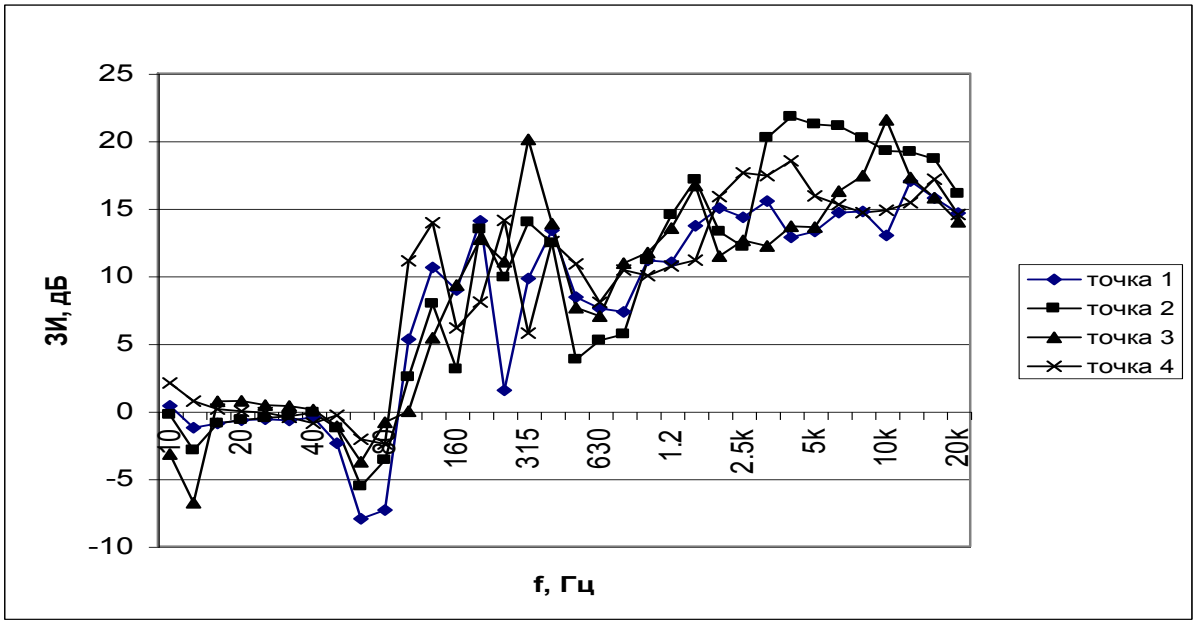
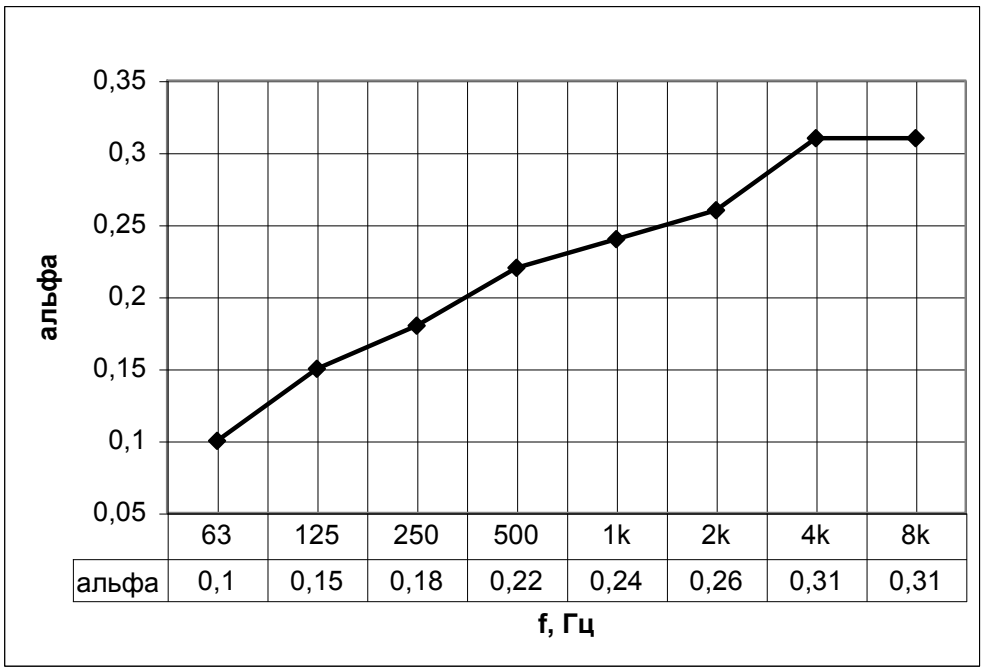


Рис. 4. Приведённая звукоизоляция в РО 1 $\overline{ЗИ}$, дБ

2.2 Измерения коэффициента звукопоглощения

При измерении характеристик объёма находящегося под полом РО2 (рабочий отсек №2), были получены следующие результаты:



	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
альфа	0,1	0,15	0,18	0,22	0,24	0,26	0,31	0,31

Рис. 5. Средние коэффициенты звукопоглощения объема рабочего отсека РО2 СМ в октавных полосах частот

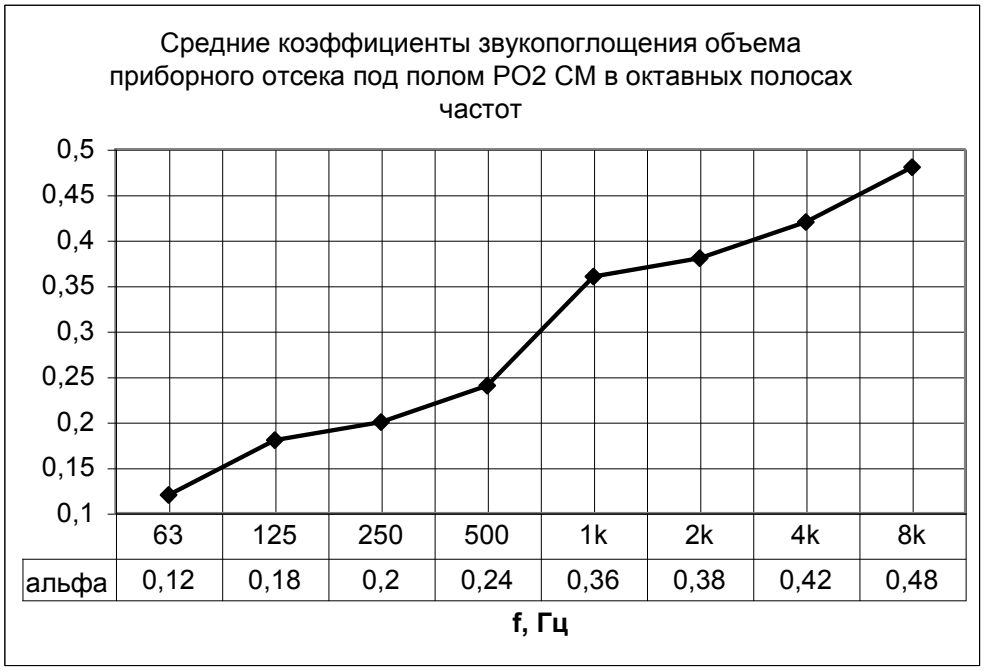


Рис. 6. Средние коэффициенты звукопоглощения объема приборного отсека под полом РО2 СМ в октавных полосах частот

При измерении звукоизоляции потолочных панелей, панелей левого и правого бортов в РО1, были получены следующие результаты:

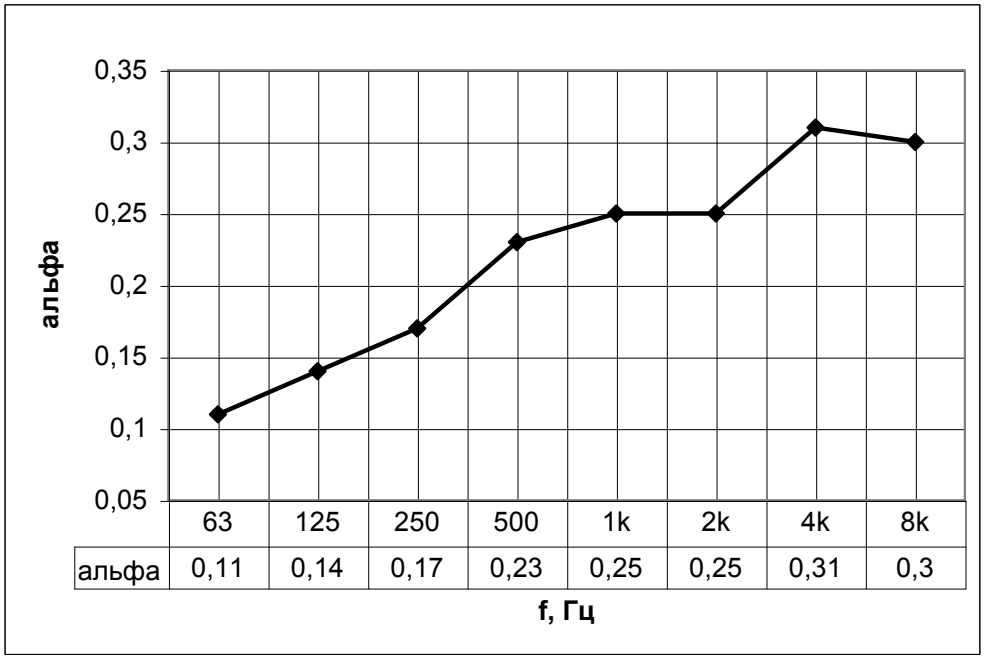


Рис. 7. Средние коэффициенты звукопоглощения объема рабочего отсека РО1 СМ в октавных полосах частот

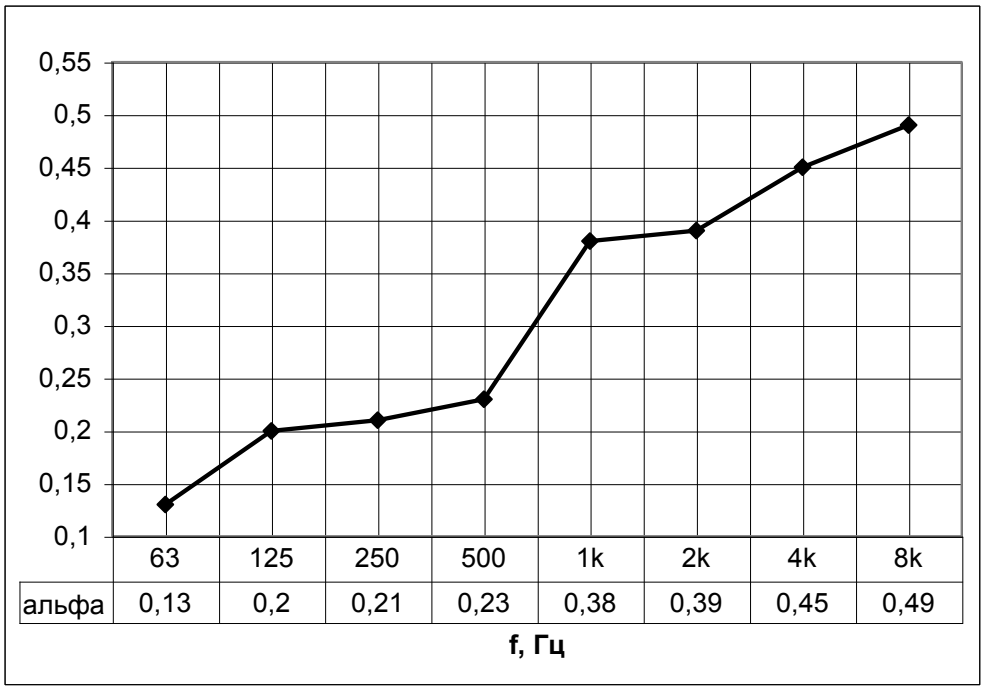


Рис. 8. Средние коэффициенты звукопоглощения объема приборного отсека по левому борту РО1 СМ, в районе шп.6-4 в октавных полосах частот

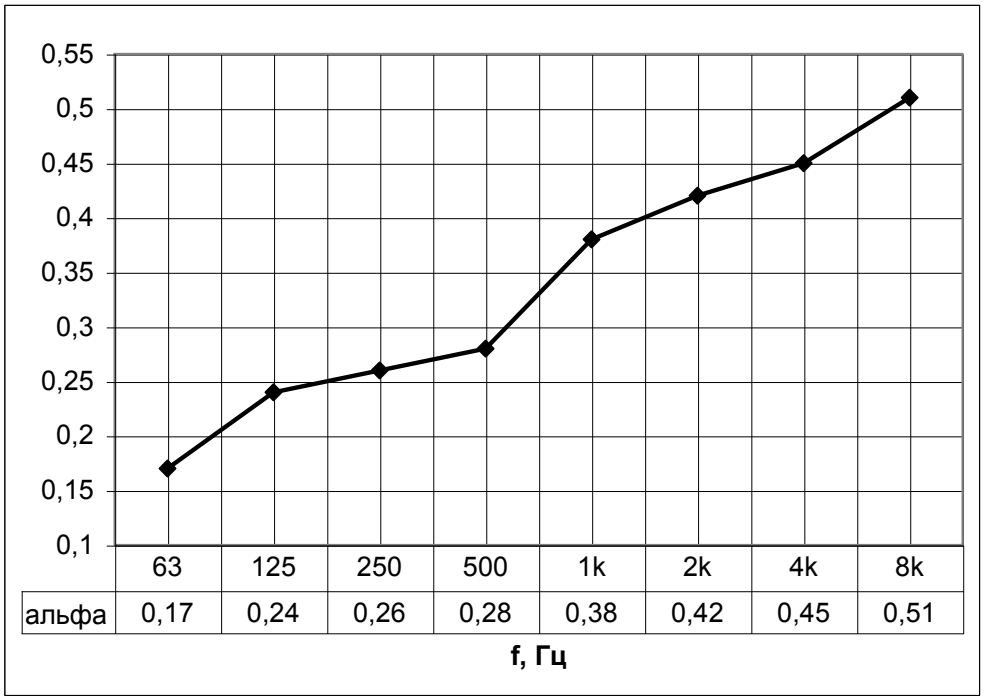


Рис. 9. Средние коэффициенты звукопоглощения объема приборного отсека по правому борту РО1 СМ, в районе шп.4-3 в октавных полосах частот

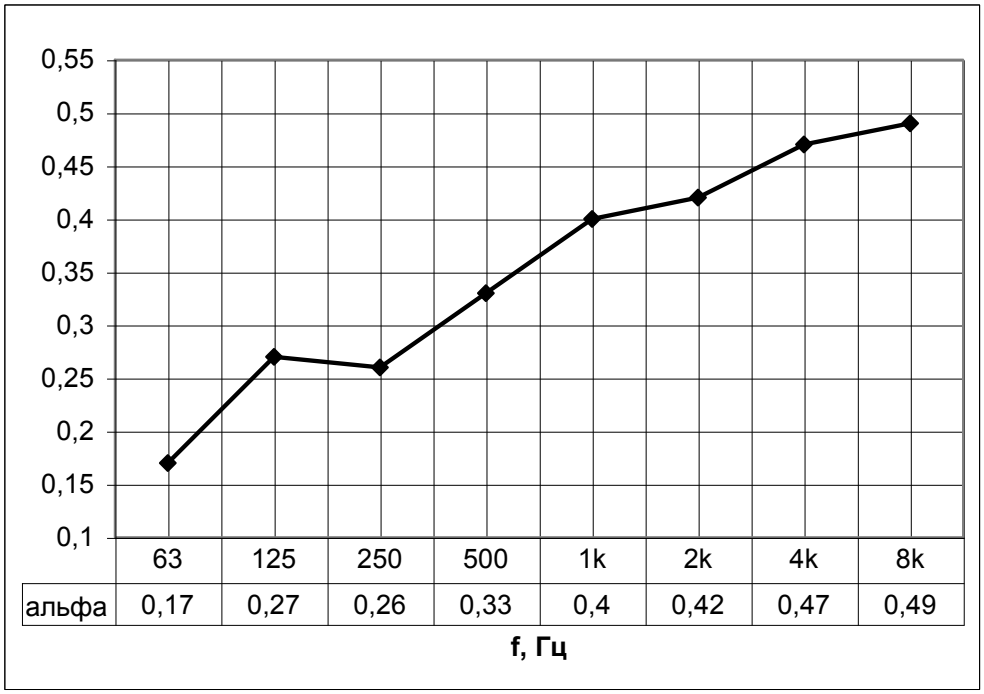


Рис. 10. Средние коэффициенты звукопоглощения объема приборного отсека за потолочными панелями РО1 СМ, в районе шп.6-4 в октавных полосах частот

2.3 Измерения затухания в рабочем отсеке

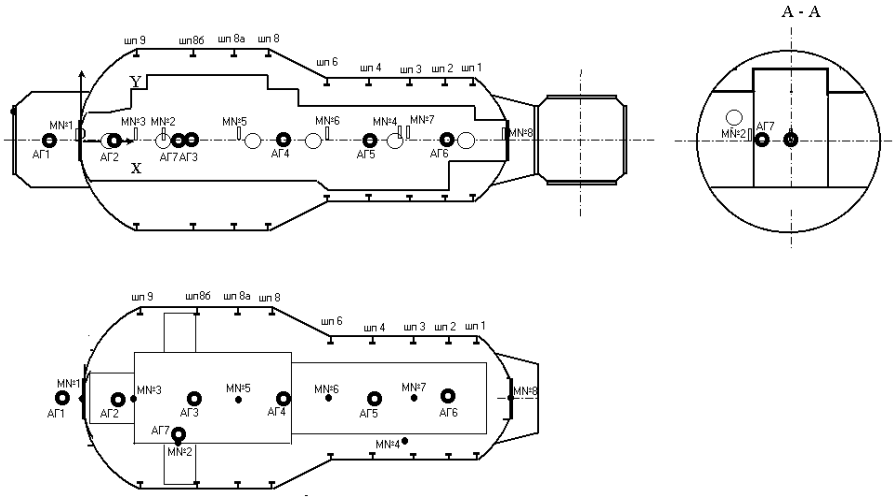


Рис. 11. Расположение микрофонов при измерении затухания

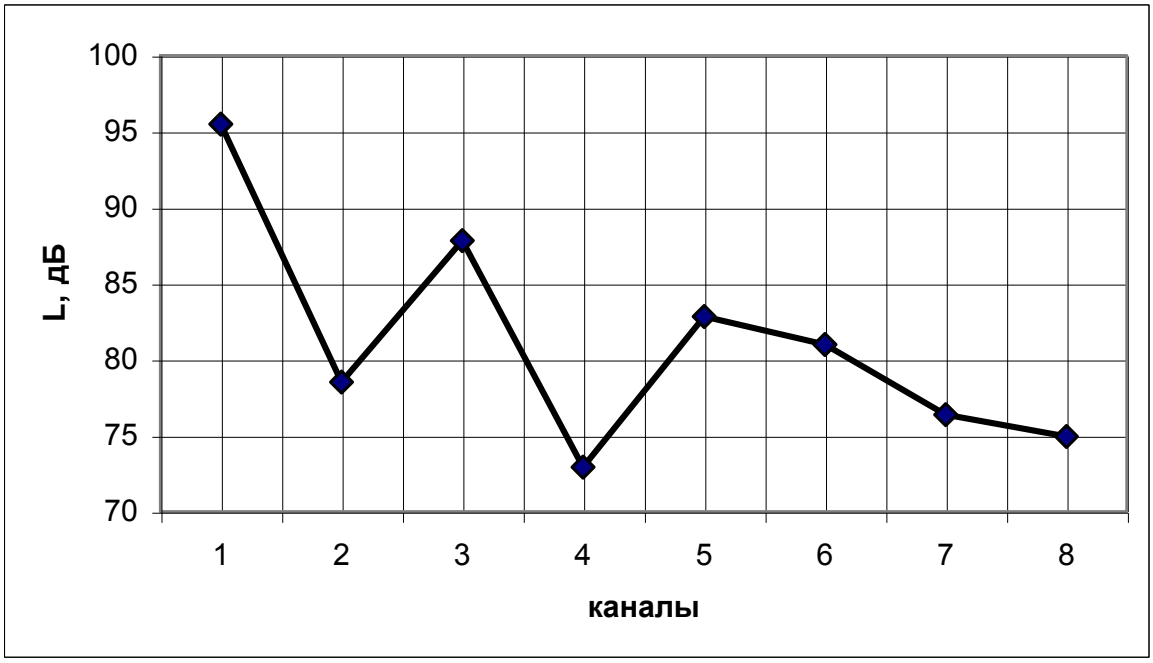


Рис. 12. Затухание звука по длине СМ

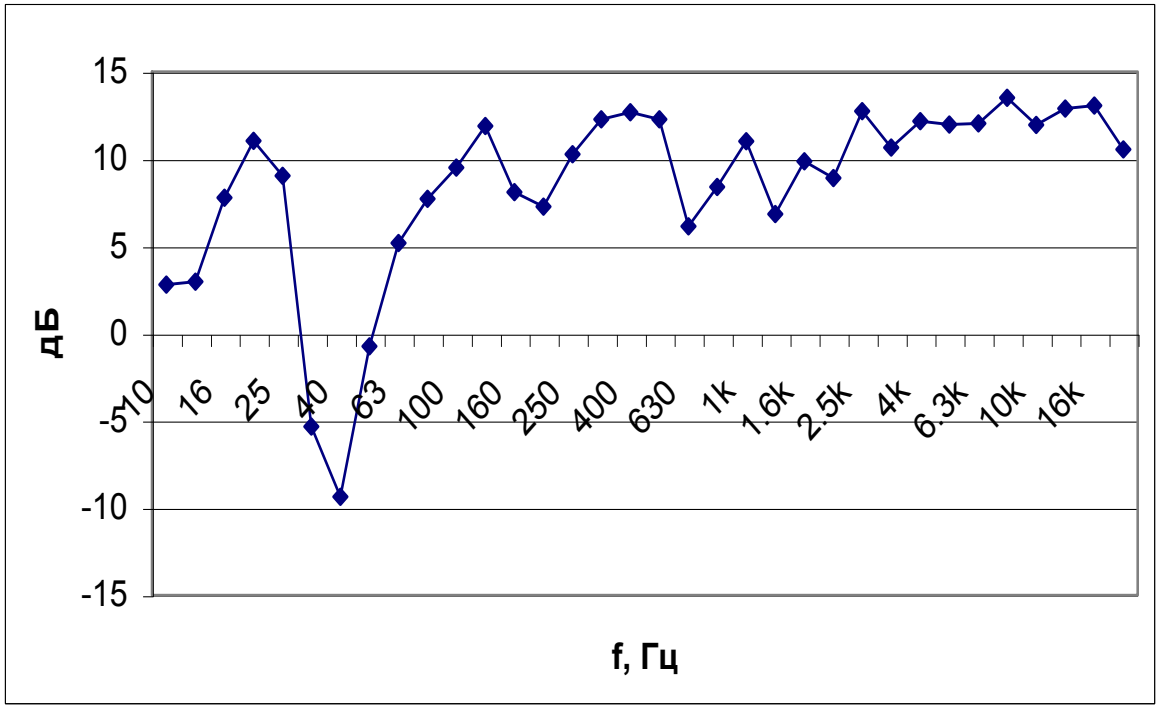


Рис. 13. Перепад УЗД на экране (акустическая головка напротив АСУ)

2.4 Измерение затухания по длине воздуховода

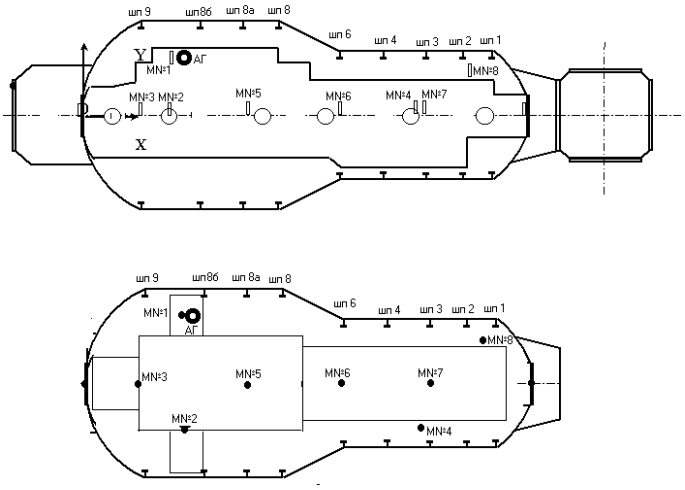


Рис. 14. Расположение микрофонов
при измерении затухания по длине воздуховода

Таким образом, на стадии проектирования модулей, которые предстоит ввести в состав МКС, а также перспективных модулей, которые войдут в состав пилотируемого корабля для полёта на Марс, можно оценить акустическую нагрузку как внутри самого модуля с учетом влияния пристыкованных к нему объектов, так и вклад шумящего оборудования данного модуля в формирование акустического поля в пристыкованных объектах.

Для увеличения точности расчета необходимо иметь уточненные акустические характеристики источников и провести дополнительные исследования.

Литература

1. Лепендин Л.Ф., «Акустика» М.:«Высшая школа» 1978
2. Ю.П. Щевьев, «Архитектурно-строительная акустика», СПб.: 1996
3. Н.И. Иванов, А.С. Никифоров, «Основы виброакустики» СПб.: «Политехника» 2000
4. М.А. Исакович, «Общая акустика», М.: «Наука» 1973.
5. «Борьба с шумом», под ред. проф. Юдина Е.Я., М. Издательство литературы по строительству 1964.
7. “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
8. Crocker, Malcolm J., “Handbook of acoustics” 1998 by John Wiley&Sons, Inc., New-York. Includes bibliographical references and index ISBN 0471-25293-X

Экологичная гидроакустическая антенна

Сидоров В.Н., Смирнов Н.М.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Гидроакустические антенны используют как в стационарных системах, так и в режиме их буксирования.

В стационарном режиме антенна предназначена для анализа подводной и надводной обстановки в прибрежных акваториях для предотвращения несанкционированного проникновения в охранную зону малошумящих подводных лодок и аппаратов, а также маломерных быстроходных катеров.

Буксируемыми антеннами оснащают подводные лодки для шумопеленгования надводных кораблей, подводных лодок и торпед, а также обнаружения сигналов, сопровождающих подводные старты ракет. Их длина может достигать 800 метров.

Буксируемыми антеннами оснащают так же надводные корабли, осуществляющие сейсмопросвечивание рыхлых пород, которые выстилают морское дно. Их длина доходит до 5 км.

В настоящее время наиболее широко применяют антенны, состоящие из ряда секций. Каждая секция представляет гибкую пустотелую оболочку, внутри которой размещены стальной трос, электрический кабель и подсоединенные к нему гидрофоны. Концы секций оснащены соединителями. Для обеспечения нейтральной плавучести внутрь оболочки закачивают нефтепродукты, плотность которых находится в пределах 600-850 кг/м^3.

Основным недостатком антенн с жидкостным заполнителем является возможность загрязнения обследуемой акватории нефтепродуктами при разрушении гибкой оболочки или соединителей. Так, например, для обеспечения нейтральной плавучести гидроакустической антенны длиной 5000 метров требуется около восьми тонн нефтепродуктов.

В случае использования подводного буксировщика кроме загрязнения акватории происходит его демаскировка.

Для обеспечения экологичности проведения гидроакустических работ разработана конструкция антенны не содержащая жидкого заполнителя.

Антенна, представленная на рис. 1, содержит гидрофоны 1, подсоединенные к кабелю 2, поплавковые элементы 3, по периферии которых в продольном направлении выполнены канавки, при этом за счет различной глубины канавок ветви синтетического силового троса 4 приобретают коаксиальное расположение.

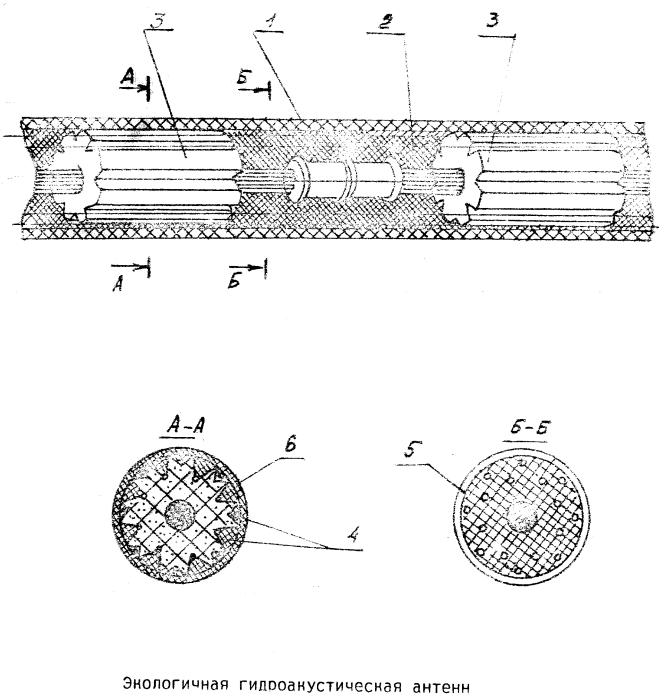


Рис. 1

Гидрофоны 1, кабель 2, поплавковые элементы 3 и ветви силового троса 4 объединены в единое ядро компаундом 5 на основе синтетического каучука марки ПДИ-ЗАК, который имеет плотность 0,93 г/см^3 и сохраняет свои механические свойства до температуры – 60° С.

Само ядро покрыто герметичной оболочкой 6, выполненной на основе высокопрочного и износостойкого каучука марки СКУ-ПФЛ.

В качестве ветвей силового троса используют жгуты из однонаправленных угле- или органонитей.

В заключение следует отметить, что если антенна с жидкостным заполнителем имеет наружный диаметр 51 мм, то у разработанной антенны он составляет 37 мм.

Соединитель секций гидроакустических антенн

Сидоров В.Н., Смирнов Н.М.
Балтийский государственный
технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Многоканальные гидроакустические антенны состоят из отдельных секций длиной от 50 до 200 метров, которые с помощью соединителей образуют гибкие протяженные конструкции от 800 до 5000 метров.

Соединители являются весьма ответственными элементами антенн. Они обеспечивают передачу как усилия буксирования, так и электрических сигналов от гидрофонов на борт судна-буксировщика. При этом сам соединитель, являясь разъемным, должен обеспечить надежную герметизацию внутренней полости, где расположен электрический разъем.

Разработанный соединитель, представленный на рис. 1, состоит из двух полумуфт 1 и 2, которые фиксируются на концах секций 3. При этом один из концов полумуфт 1 и 2 выполнен в виде полого цилиндра, который оснащен узлом крепления 4 силового троса 5 и наружной канавкой для размещения уплотнительного кольца 6. Другой конец полумуфты выполнен в виде продольных планок В , свободные концы которых с внутренней поверхности оснащены выступами 7, имеющими скос и заходящими в отверстия ответного полого цилиндра полумуфты 2, так и полумуфты 1.

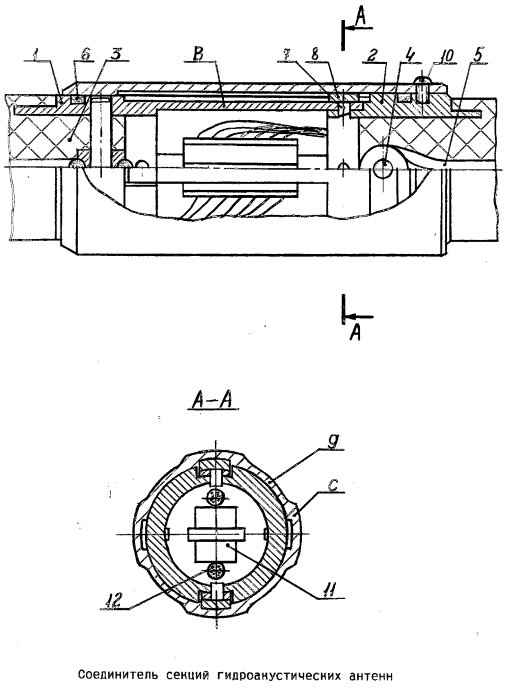


Рис. 1.

С наружной поверхности планки В оснащены приливами 8, входящими в шлицевые пазы, которые выполнены на внутренней поверхности герметизирующей втулки 9.

Втулка 9 перекрывает оба полых цилиндра полумуфт 1 и 2 и фиксируется на них винтом 10. Для обеспечения надежного замыкания силовой цепи шлицевые пазы на герметизирующей втулке 9 выполнены коническими при этом сами пазы расположены под соответствующими ребрами С, выполненными на наружной поверхности герметизирующей втулке 9. Во внутренней полости соединителя расположен электрический разъем 11, к которому подсоединен электрический кабель 12.

Экспериментальные исследования шума на участке тросообжимных станков

Агапитов В.Я.
Донской Государственный Технический Университет

В процессе экспериментов фиксировались уровни звука (дБА) и октавные уровни звукового давления и виброскорости (дБ). Измерения проводились прибором ВШВ-03-М2, конденсаторным микрофоном и вибродатчиками с магнитным креплением к измерительной поверхности. Результаты экспериментов приведены на рис. 1-5.

Спектр шума холостого хода (рис. 1) имеет типичный характер для механических систем, возбуждаемых подшипниками качения. Максимальные уровни шума располагаются в области частот 5000-2000 Гц. Следует отметить, что эти измерения проводились на станке, с которого была снята вся ударная система. Возбуждение вибраций и излучение шума корпуса в этом случае производится только подшипниками наружного шпинделя. Для этого из партии подшипников 2232 и 3530 (по 50 шт. в каждой) на обкатном стенде в лаборатории "Шума и вибрации" кафедры "Металлорежущие станки и инструмент" ДГТУ отбирались наиболее шумный и наименее шумные подшипники (разница в уровнях звука худшего и лучшего подшипников 3530 составила 15 дБА). После этого худшие и лучшие (по шуму) подшипники устанавливались на тросообжимной станок и проводились измерения шума и вибрации. Результаты измерений показали, что разница уровней шума холостого хода составляет 5-8 дБ при идентичном характере спектра шума (рис. 1).

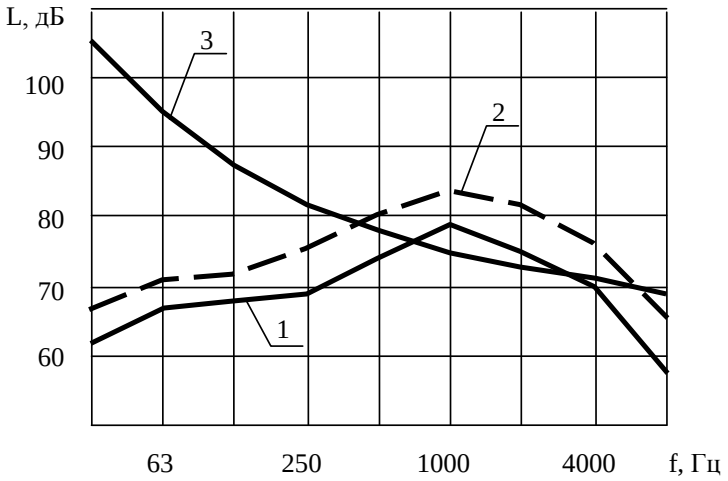


Рис. 1. Спектры шума холостого хода станка:
1 – с наименее шумными подшипниками;
2 – с наиболее шумными подшипниками; 3 – норматив

При работе станка с худшими подшипниками даже на холостом ходу превышается норматив в полосе частот 500-4000 Гц, превышение составляет 3-10 дБ. Станок с лучшими подшипниками также превышает норматив по шуму в полосе частот 1000-2000 Гц, но превышение здесь намного меньше и составляет 2-3 дБ.

Аналогичная картина наблюдается и при измерении вибраций. Разброс уровней вибрации составляет 6-9 дБ по всему частотному диапазону (рис. 2). Интенсивность вибраций несущей системы на холостом ходу невелика и не превышает 80 дБ.

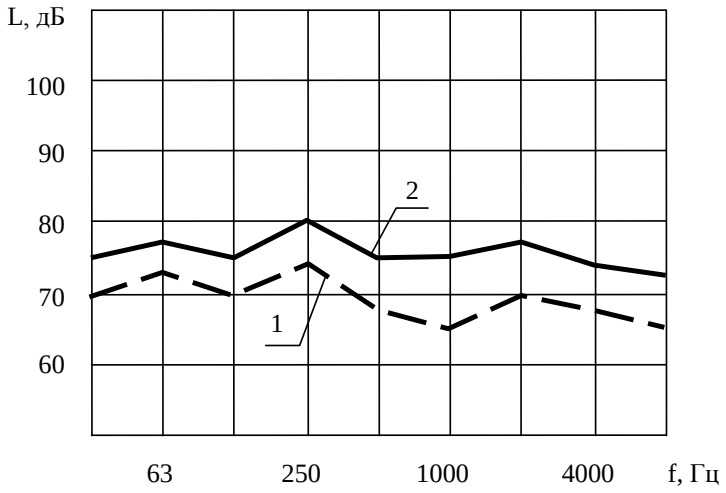


Рис. 2. Спектры вибраций холостого хода:
1 – с лучшими подшипниками; 2 – с худшими подшипниками

Разница в уровнях шума станка с лучшими и худшими подшипниками в рабочем режиме меньше, чем на холостом ходу (рис. 3) в особенности в высокочастотной части спектра, где она не превышает 3-6 дБ.

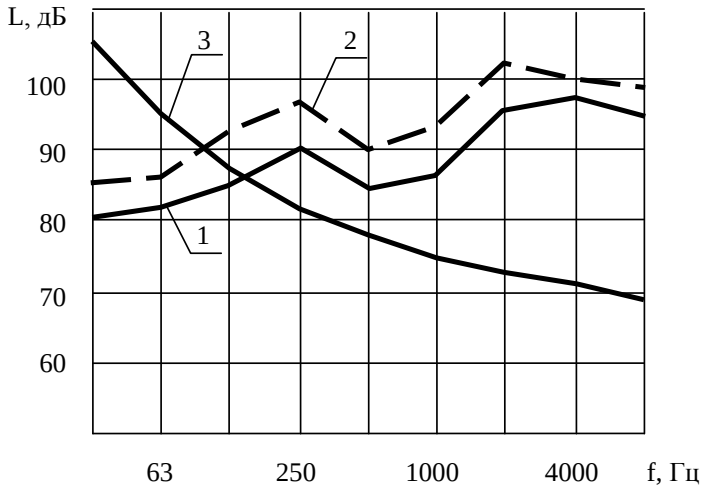


Рис. 3. Спектры шума станка в рабочем режиме:
1 – с лучшими подшипниками; 2 – с худшими подшипниками;
3 – норматив

Подробно виброакустические характеристики изучались на станке с худшими подшипниками.

В интервале частот до 1000 Гц наиболее высокие уровни вибрации зафиксированы на кожухе, закрывающем ременные передачи внутреннего и наружного шпинделей. Спектр вибраций на нем имеет четко выраженные максимумы в октавах со среднегеометрическими частотами 125, 250 и 1000 Гц, уровень вибрации на 10 дБ ниже, чем в 3й и 4й октавах. Станина характеризуется высокочастотным сектором вибрации. Фактически наиболее интенсивные составляющие спектра располагаются в области частот 63 и 125 Гц, а также в интервале 2000-4000 Гц. Следует отметить, что в области низких частот уровни вибрации кожуха на 9-15 дБ ниже, чем на станине. В области же высоких частот интенсивности вибрации станины на 5-7,5 дБ выше, чем у кожуха. В рабочем процессе увеличивается интенсивность вибрации на 10-12 дБ (рис. 4) при неизменном характере спектра, что позволяет предположить доминирующее влияние структурной доли шума.

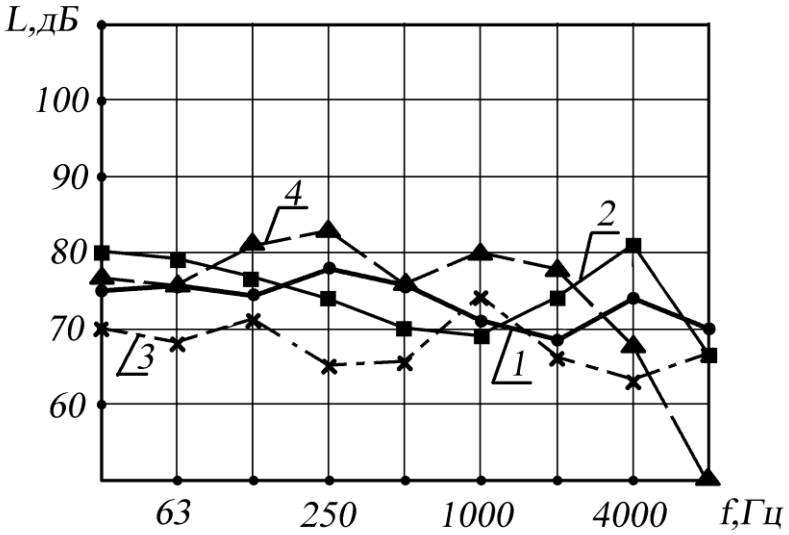


Рис. 4. Спектры вибрации при работе станка:
1 – на переднем шпиндельном подшипнике; 2 – между опорами;
3 – на основании станины; 4 – на кожухе

Среди элементов станины наименее виброактивной является основание станины. На рабочем же месте уровни вибрации намного ниже предельно-допустимых значений. Уровни шума, создаваемые станком, превышают санитарные нормы в широкой полосе частот 125-8000 Гц, т.е. только в октавах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц уровни шума ниже санитарных норм (рис. 5).

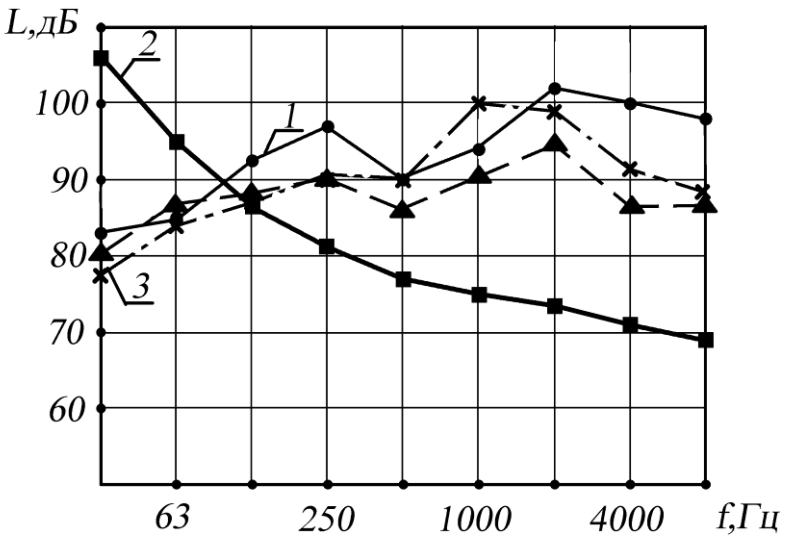


Рис. 5. Спектры шума станка для заделки тросов:
1 – спектры шума; 2 – норматив

Аналогично спектрам вибрации спектр шума имеет две ярко выраженных зоны: октава со среднегеометрической частотой 250 Гц, где превышение над нормативом составляет 16 дБ и диапазон 1000-8000 Гц, в котором превышение над нормативом достигает 30 дБ. Проведенные эксперименты показали, что станок для заделки тросов относится к категории шумоактивного оборудования и, соответственно, следует ограничиться мероприятиями по снижению изучаемого шума. Кроме этого, сравнение спектров шума и вибрации объясняет закономерности шумообразования и источники, создающие превышение над нормативом – в области средних частот это кожух, а в области высоких частот доминирует звукоизлучение несущей системы станка.

Экспериментальные исследования шума в рабочей зоне окрасочно-сушильных камер

Терешкин Б.Ю., Чукарин А.Н.
Донской государственный технический университет

Окрасочно-сушильные камеры (ОСК), представляют собой изолированный бокс, оборудованный теплообменниками, предназначенными для поддержания технологически необходимой температуры сушки лакокрасочного покрытия. Современные ОСК должны соответствовать целому ряду экологических требований, в том числе и по шуму, т.к. производительность труда уменьшается при увеличении шума. Для борьбы с вредным воздействием шума используется изоляция источников шума, например, компрессор, часто размещают в отдельных помещениях, что значительно снижает общий уровень шума в мастерской. Разделение рабочих постов шумопоглощающими перегородками снижает уровень шума на соседних постах. Однако остается источник шума, который невозможно вынести за пределы ОСК или мастерской – это сам окрасочный пистолет и окрашиваемая поверхность.

При работе оператор непосредственно находится внутри камеры, там же располагается источник шума – окрасочный пистолет. Звуковое поле складывается из прямого звука $I_{ПР}$, который излучается непосредственно источником, и отраженного звука $I_{ОТР}$, образующегося в результате отражений от внутренних поверхностей камеры. Рабочее место оператора попадает одновременно в область прямого и отраженного звукового поля. С целью исследования возможных направлений снижения шума на рабочем месте оператора ОСК авторами был проведен эксперимент на окрасочном участке ООО «Компания Автобум» г. Ростов-на-Дону. Схема участка приведена на рис. 1.

Компрессор вынесен за пределы участка. На каждом из постов имеются следующие возможные источники шума:

1. операции рихтовки резиновыми или металлическими киянками, отрезная машинка («болгарка»);
2. углошлифовальная машинка и плоскошлифовальная машинка;
3. возможны сильные удары металлическими молотками большого веса;
4. окрасочный пистолет, вытяжные устройства, компрессор (в нашем случае он вынесен за пределы участка);
5. нет источников шума.

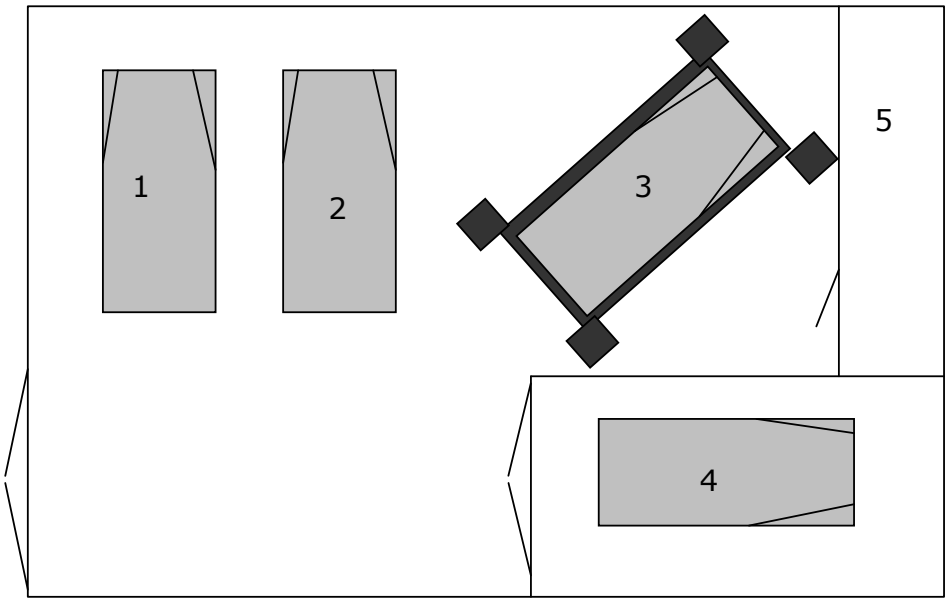


Рис. 1 Окрасочный участок ООО «Компания Автобум»
1 – пост подготовки; 2 – пост рихтовки; 3 – стапель;
4 – окрасочно-сушильная камера; 5 – склад

Авторами данной статьи рассматривается вопрос обеспечения комфортных условий труда операторов ОСК и проводимый эксперимент непосредственно был направлен на выявление степени влияния различных источников шума на оператора.

Замеры шума и вибрации производились измерителем шума и вибраций ВШВ-003-М2, включающими сам прибор, конденсаторный микрофон и комплект вибродатчиков. Шумовые характеристики на рабочем месте внутри окрасочной камеры формируются за счет одновременного воздействия двух источников: внутреннего шума (окрасочный пистолет и вытяжные устройства) и источников внешнего шума, которые далеко не всегда располагаются в непосредственной близости от окрасочной камеры. В данном случае достаточно интенсивными источниками внешнего шума являются операции рихтовки, работа угловой шлифовальной машинкой и зачистки плоскошлифовальной машинкой.

Замеры уровней шума со стороны внешних источников производились снаружи и внутри окрасочно-сушильной камеры.

Уровни шума вне окрасочной камеры показаны на рис. 2 и 3. Наиболее высокие уровни звукового давления наблюдаются при рихтовке металлическими киянками. На рис. 2 показаны максимальные значения октавных уровней звукового давления. Превышение уровней шума над санитарными нормами наблюдается в широкой полосе частот 500…4000 Гц и составляет 9...22 Дб. Аналогичные шумовые характеристики создают отрезная машинка, шлифовальная машинка (рис. 2 и 3), хотя их интенсивность звукового излучения меньше, чем при рихтовке металлическими киянками.

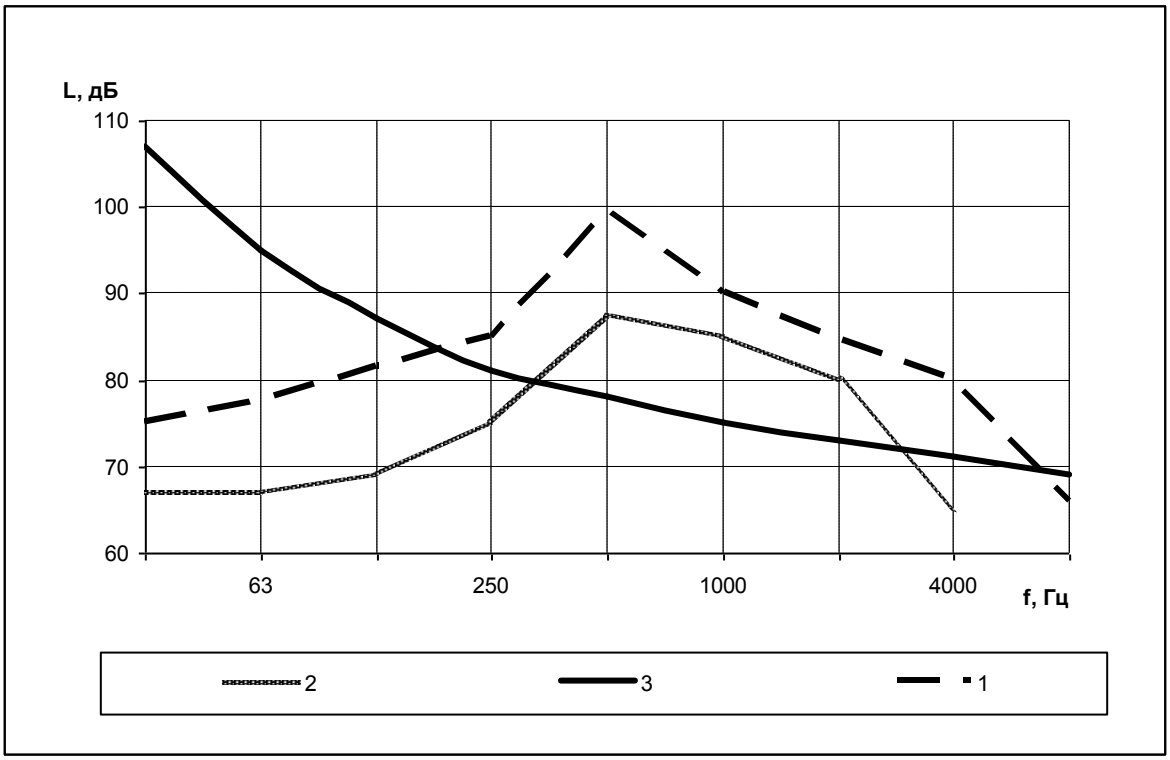


Рис. 2 Спектры шума вне окрасочной камеры:
1 – рихтовка металлическими киянками;
2 – при работе угловой шлифовальной машинкой; 3 – норматив

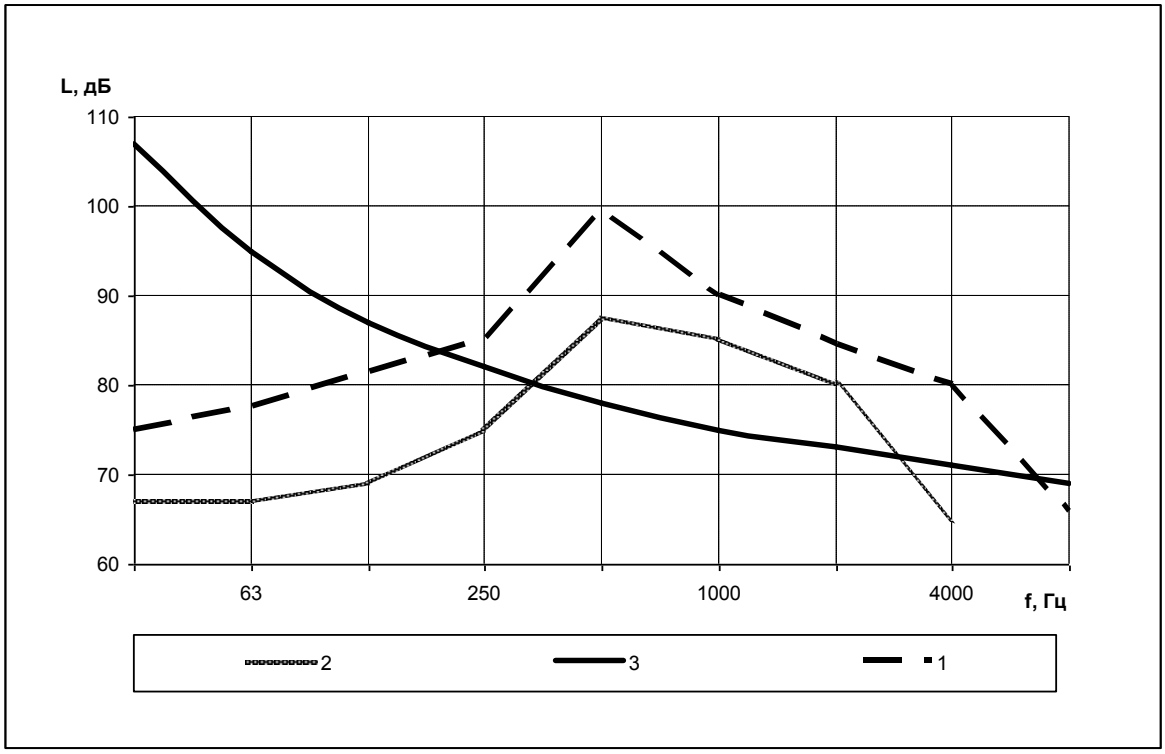


Рис. 3 Спектры шума вне окрасочной камеры:
1 – отрезная машинка; 2 – рихтовка резиновыми киянками; 3 – норматив.

В этих случаях максимальное превышение также наблюдается в среднечастотной части спектра (500…1000Гц) и составляет 12…14 дБ.

При рихтовке резиновыми киянками уровни шума превышают санитарные нормы на 2-3 дБ, что, в принципе, сравнимо с точностью измерений.

Спектр шума внутри окрасочной камеры, когда в ней не производится процесс окраски, т.е. были выключены внутренние источники шума – окрасочный пистолет и вытяжное устройство показаны на рис. 4.

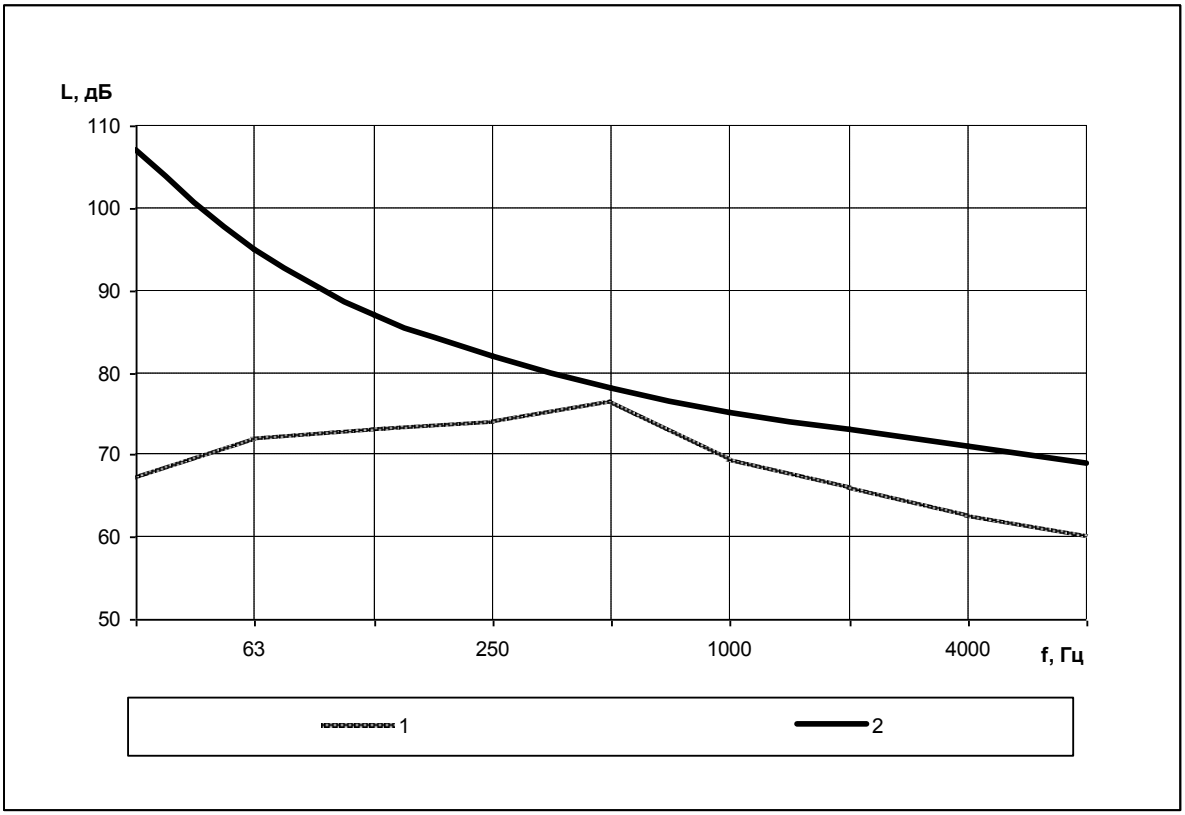


Рис. 4 Спектр шума внутри окрасочной камеры:
1 – уровни шума; 2 – норматив.

Воздействие внешних источников не приводит к превышению предельно допустимых значений во всем нормируемом частотном диапазоне. Однако следует отметить, что в октаве со среднегеометрической частотой 500Гц уровень звукового давления находится практически в предельном значении.

Уровни шума внутри окрасочной камеры на рабочем месте оператора, создаваемые внутренним источником шума – окрасочным пистолетом и вытяжным устройством, показаны на рис. 5.

Внутренние источники шума создают на рабочем месте спектры шума с четко выраженным высокочастотным характером. Норматив превышен в интервале частот 1000…8000 Гц и составляет 3…5 дБ при работе вытяжного устройства и 6…10 дБ при работе вытяжного устройства и окрасочного пистолета.

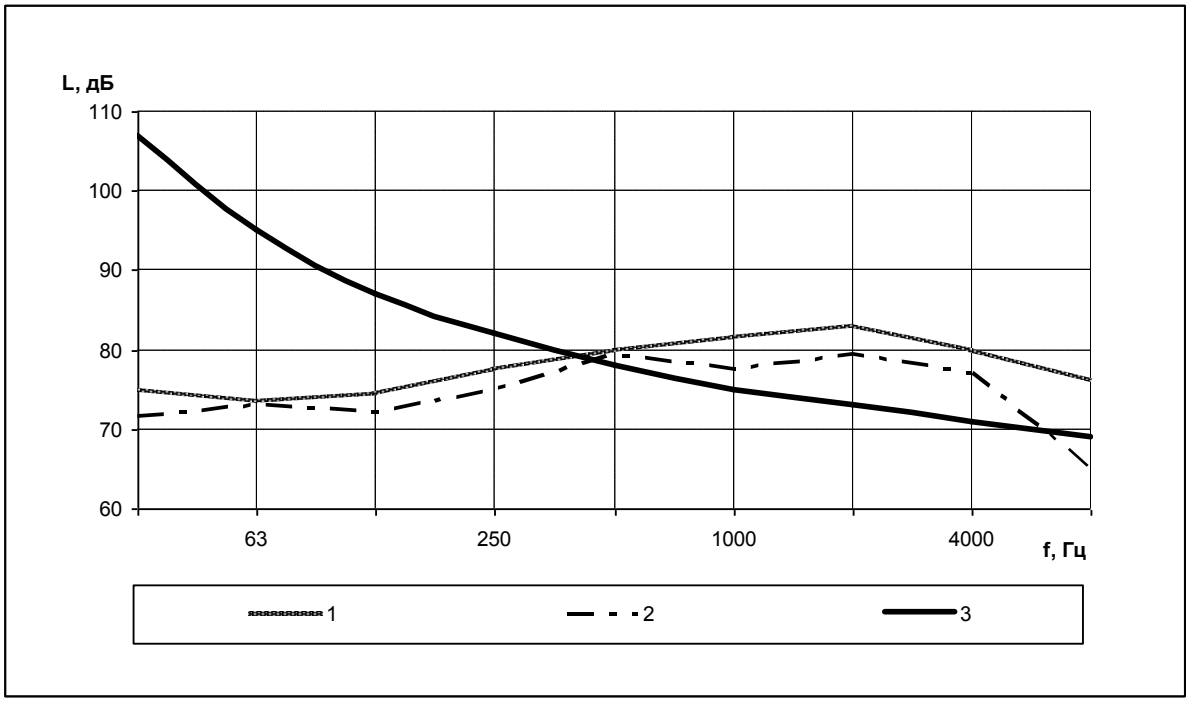


Рис. 5 Спектры шума внутри окрасочной камеры,
создаваемые окрасочным пистолетом (1);
вытяжным устройством (2); норматив (3).

Максимальная интенсивность наблюдается в полосе частот 1000…4000Гц. Следует отметить, что спектры шума не претерпевают изменений при окраске тонкостенных деталей (кузовных панелей автомобиля) и толстостенных деталей (блоков цилиндров, корпусов редукторов), т.е. деталей, существенно отличающихся по величинам изгибной жесткости и габаритным размерам. Эти данные позволяют сделать вывод, что шумоизлучением со стороны детали можно пренебречь и формирование шумовых характеристик внутри камеры на рабочем месте полностью определяется двумя внутренними источниками: окрасочным пистолетом и вытяжной системой.

Шумовые характеристики вибрационных станков

Чаава М.М., Чукарина И.М.
Донской государственный технический университет (ДГТУ)

Вибрационные станки применяются в различных отраслях машиностроения. Несмотря на очевидные преимущества этих станков как технологического оборудования их показатели как система "машина – человек" являются неудовлетворительными из-за повышенной шумо- виброактивности.

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований различных типов вибрационных станков. Измерения проводились в лаборатории виброабразивных станков кафедры "Технология машиностроения" с помощью акустического комплекта *ПИ-6* для следующих типов станков: *УВГ 2х50*; *УВГ 4х10*; *СВТ-10*. Результаты замеров шума приведены на рис.1. Общие уровни шума этих станков составляют: *79 дБА* у *СВТ-10* с закрытой крышкой, *86 дБА* у *СВТ-10* с открытой крышкой, *91 дБА* у *УВГ 4х10* и *94 дБА* у *УВГ 2х50*. Эти данные говорят о том, что уровни шума *УВГ 4х10* и *УВГ 2х50* превышают допустимые на *11* и *14 дБА*.

При работе торовой камеры с открытой крышкой норматив превышается на *6 дБА*, а с закрытой крышкой уровень шума равен предельно допустимому значению. Результаты замеров шума вибрационных станков могут быть приняты без поправок, т.к. разница уровней шума в лаборатории при выключенных и включённых станках превышает *14 дБ* на всех среднегеометрических частотах активных фильтров (рис. 1).

Характерной особенностью спектров шума этих станков является то, что они носят чётко выраженный среднечастотный характер. Уровни шума резко уменьшаются, начиная с частоты *2000 Гц*. Разница уровней звукового давления в интервале частот *63 – 1000 Гц* на *20 – 27 дБ* выше, чем в высокочастотной части спектра *2000 – 8000 Гц* (рис. 1).

Спектры шума торовых станков имеют почти равномерное распределение интенсивности шума в среднечастотной части спектра *63 – 1000 Гц*. Спектры шума *U*-образных станков имеют практически узкополосные спектры, ограниченные диапазоном частот *500 – 1000 Гц*, поскольку разница уровней звукового давления в этом интервале частот и на остальных среднегеометрических частотах активных фильтров составляет *10* дБ и бо-

лее. Этот факт позволяет сделать предположение, что у этих станков имеется достаточно ограниченное число излучателей звуковой энергии, имеющих высокую интенсивность. Торовый станок обладает невысокими звукоизолирующими характеристиками крышки и корпуса. Наглядным подтверждением этому является полная идентичность спектров шума при закрытой и открытой крышке и то, что разница уровней шума при этих измерениях не превышает *8 дБ*. Кроме этого, эти данные позволяют сделать вывод о существенном вкладе структурной составляющей шума. При изучении поэлементного вклада отдельных узлов в формирование звукового поля станка в целом использовался метод последовательного отключения (подключения) источников, поскольку для станков с небольшим количеством источников он намного эффективнее метода измерения шума в ближнем звуковом поле. Эксперименты проводились на станке *УВГ 4х10*.

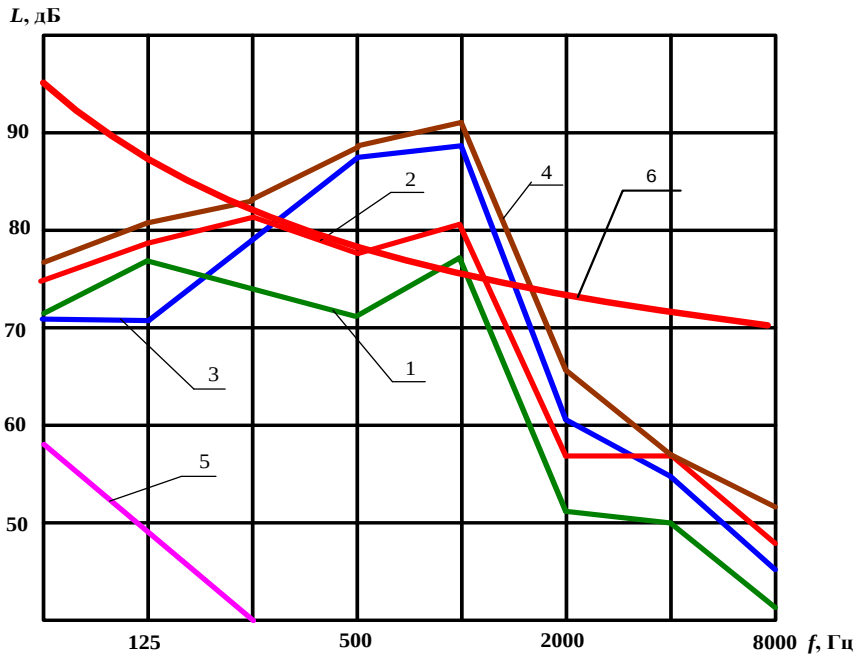


Рис. 1. Спектр шума станков для вибрационной обработки:
1 – *СВТ-10* с закрытой крышкой; 2 – *СВТ-10* с открытой крышкой;
3 – *УВГ 4х10*; 4 – *УВГ 2х50*; 5 – помехи; 6 – норматив

В станках для вибрационной обработки имеют место три основных источника шума: двигатель, плита и сама камера. Выявление влияния шумоизлучения основных источников на формирование звукового поля станков в целом производилось методом их последовательного подключения в следующем порядке. Вначале измерялся шум одного электродвигателя, после этого производились замеры активных уровней звукового давления при установке плиты. После этого устанавливалась камера с абразивом. Результаты замеров приведены на рис. 2.

Как видно из этих спектров, наименее интенсивным источником, практически не принимающим участие в шумообразовании станка, является электродвигатель. Его собственные уровни шума на *5 – 10 дБ* ниже, чем при наличии звукоизлучения со стороны плиты, и на *10 – 20 дБ* ниже, чем при наличии плиты и камеры. Спектры шума при наличии плиты и камеры идентичны по характеру в частотном диапазоне *250 – 1000 Гц*, хотя уровни звукового давления от воздействия камеры на *7 – 10 дБ* выше, чем от воздействия плиты. Именно в этом диапазоне частот камера является источником, формирующим шум станка в целом. В высокочастотной части спектра *4000 – 8000 Гц* шум станка определяет звуковое излучение плиты. Изменение амплитуды возбуждения сопровождается изменением уровней звукового давления в интервале частот *250 – 1000 Гц* при неизменном характере спектра. Изменение уровней звукового давления пропорционально величине $20 \cdot lg \frac{a_1}{a_2}$, где a_1 и a_2 – амплитуды возбуждения.

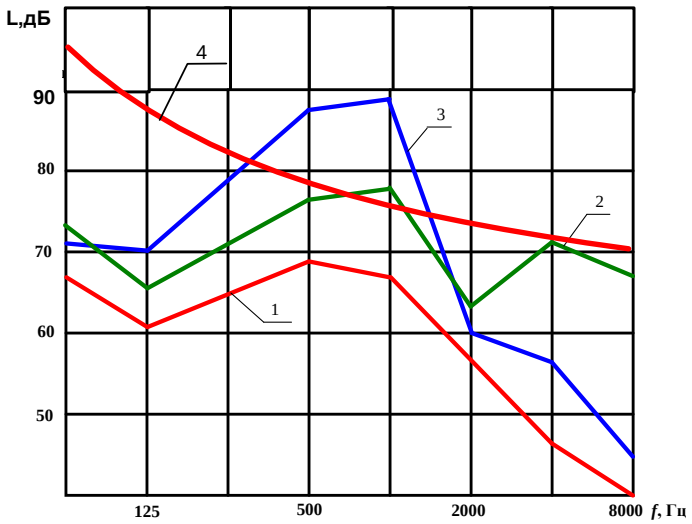


Рис. 2. Спектры шума отдельных узлов станка *УВГ 4х10*:
1 – электродвигатель; 2 – электродвигатель и плита;
3 – станок в сборе (камера с абразивом)

Виброакустические характеристики станков для вибрационной обработки зависят также от рабочей среды. Уровни шума станка с рабочими средами – абразивом и металлическими шарами приведены на рис. 3. Как видно из результатов измерений, изменения в уровнях звукового давления наблюдаются в интервале частот *63 – 1000 Гц*, где разница уровней составляет *3 – 7 дБ*. В высокочастотной части спектра *2000 – 8000 Гц* разница не превышает *2 дБ*. Такое изменение следует считать несущественным, с учётом того, что погрешность измерения составляет *± 1 дБ*. Использование в качестве рабочей среды металлических шаров сопровождается снижением уровня звукового давления в наиболее активной части спектра *250 – 1000 Гц* на *3 – 5 дБ*.

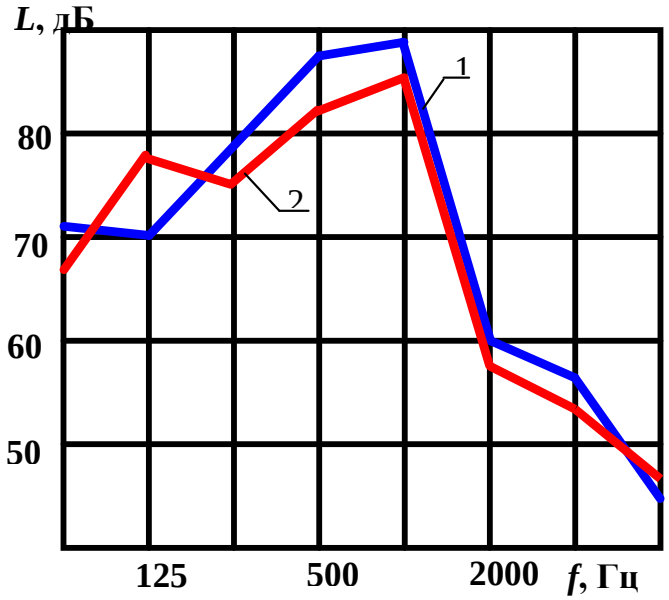


Рис.3. Спектры шума станков с различными рабочими средами:
1 – с абразивом; 2 – с металлическими шарами

Проведённые экспериментальные исследования позволили выявить особенности процесса шумообразования вибрационных станков и диапазоны частот, в которых наблюдается превышение уровней шума над нормативными значениями.

Акустические характеристики рабочих мест на участке центробежно-ротационного наклепа труб лонжеронов вертолетов

Шамшура С.А. (1), Чукарин А.Н. (2)
ОАО "Роствертол" (1),
Донской государственный технический университет (2)

Труба лонжерона, подвергаемая центробежно-ротационному наклепу, представляет собой тонкостенную полую оболочку длиной 14 м переменного момента инерции. Упрочняющий инструмент – вращающийся ротор с двумя или пятью рядами шариков на периферии и индивидуальным приводом от электродвигателя и ременной передачей (частота вращения составляет 2500 об/мин). Измерения шумовых характеристик показали чрезвычайно высокую шумоактивность такого процесса.

Необходимо отметить существенное превышение фактических уровней звука и уровней звукового давления, которые составляют 32-38 дБА и 34-44 дБ при крайне неблагоприятном характере спектра. Превышение уровней шума наблюдается в высокочастотной части спектра 500-8000 Гц (рис. 1). Наиболее интенсивные составляющие спектра сосредоточены в интервале частот 1000-8000 Гц. Из результатов измерений видно, что при этом способе обработки процесс шумообразования полностью определяется акустическим излучением системы "инструмент-заготовка".

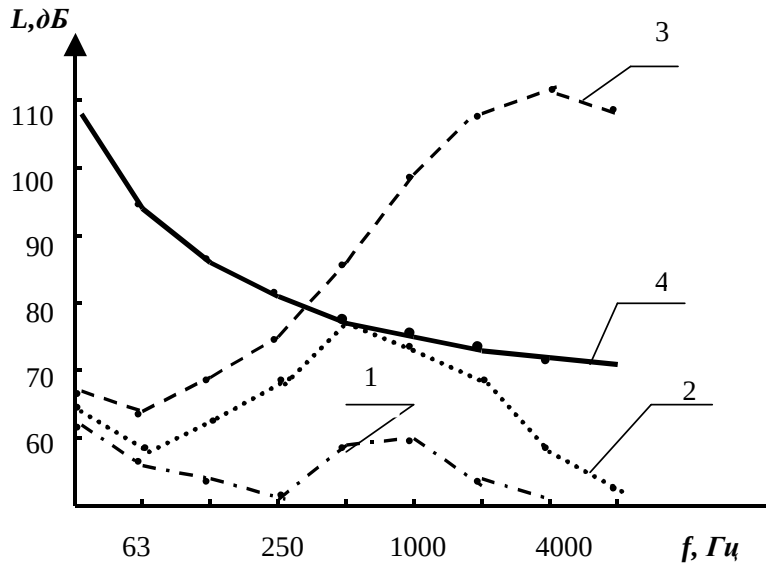


Рис. 1. Спектры шума на рабочем месте:
1 – шум помех; 2 – спектр шума холостого хода;
3 – спектр шума рабочего процесса; 4 – норматив шума

Действительно, спектр шума холостого хода находится в пределах санитарных норм во всем нормируемом диапазоне частот. Причем только на частоте 500 Гц уровень звукового давления достигает предельно-допустимой величины, а во всех остальных октавных полосах частот уровни звукового давления существенно ниже нормативных значений. Характер спектра шума холостого хода соответствует аналогичным данным для токарных станков. Уровни шума увеличиваются до максимального значения на частоте 500Гц, а на более высоких частотах происходит спад интенсивности звукового излучения. Уровни шумового фона помех в интервале частот выше 63 Гц более чем на 10 дБ меньше. Поэтому в результате измерений нет необходимости вводить поправки. В рабочем режиме интенсивность звукового излучения увеличивается достаточно равномерно: на 6-7 дБ в низкочастотной и среднечастотной области спектра 31,5-500 Гц. Это объясняется влиянием технологических нагрузок на элементы кинематики и, следовательно, увеличением интенсивности излучения звуковой энергии несущей системы установки. До частоты 500 Гц уровни шума данного типа оборудования в рабочем режиме намного ниже предельно-допустимых значений. Превышение над нормативом начинается с частоты 500 Гц и в этой октаве составляет 7-12 дБ (рис. 1). В более высокочастотной области интенсивность звукового излучения резко возрастает, достигая максимальных значений в высокочастотной части спектра 2000-8000 Гц.

Замеры вибрации также подтверждают правильность выводов о закономерностях процесса шумообразования при ротационном виброн-аклепе. Спектры вибрации трубы лонжерона характеризуются равномерным спадом интенсивности до частоты 1000 Гц, а на более высокочастотной области интенсивность вибрации возрастает, то есть спектры виброскорости имеют высокочастотный характер (также как и спектры шума).

Спектры вибрации, измеренные на кронштейне в непосредственной близости от инструмента, носят высокочастотный характер с наиболее интенсивными уровнями вибрации в интервале частот 4000-8000 Гц. Спектры вибрации на люнетах имеют низкочастотный характер (рис. 2). В этом заключается их основное отличие от аналогичных спектров вибрации детали и инструмента. Разница в уровнях виброскорости люнета и заготовки находится в пределах 40 дБ во всем исследуемом частотном диапазоне. Таким образом, экспериментальные данные показали, что формирование повышенных уровней шума определяется звуковым излучением самой трубы лонжерона и упрочняющего инструмента. Эти данные можно считать основными для выбора способов и систем шумозащиты.

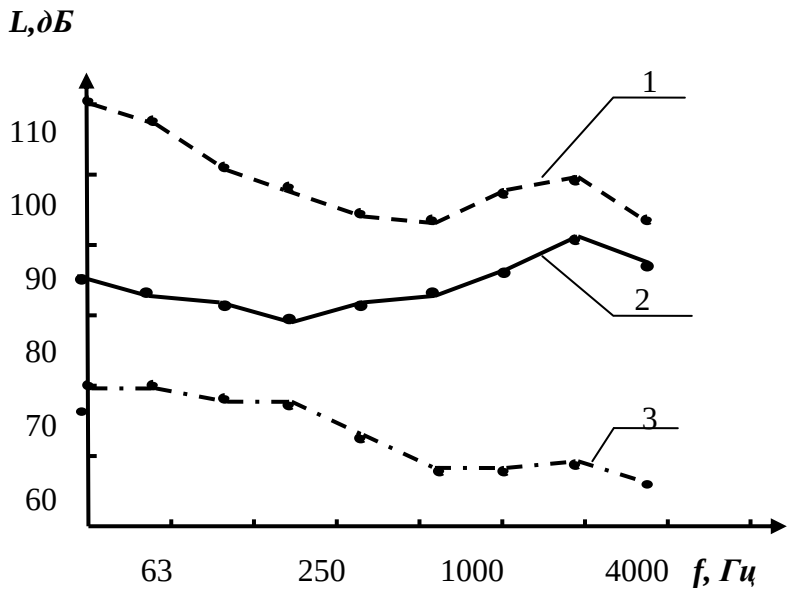


Рис. 2. Спектры вибрации:
1 – на лонжероне; 2 – на кронштейне инструмента; 3 – на люнете

Преподавание дисциплины «Строительная акустика» в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете

Боголепов И.И.
Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет

Акустика как наука зародилась в древней Греции. Acusticus – относящаяся к слуху. Акустика занималась тогда обеспечением хорошей слышимости оратора или музыканта в форумах, храмах, стадионах и других публичных архитектурных сооружениях. Так появилась архитектурная акустика (arhitectura – главный строитель).

Немного раньше, но примерно в то же время, в связи с изготовлением музыкальных инструментов, возникла музыкальная акустика. В средние века она получила высококачественное развитие и достигала больших успехов. Достаточно вспомнить непревзойденные органы, скрипки, виолончели и другие инструменты той эпохи.

Во второй половине XIX века стала развиваться физиологическая акустика. К этому времени обозначились новые знания о сложных филологических устройствах человека: для приема и анализа звуков – слуховом и голосовом аппарате. То и другое для человека должно хорошо функционировать, поэтому важны их профилактика и лечение, что и обусловило развитие новой науки.

В начале XX века появилась техническая акустика и электроакустика – науки об искусственно созданных человеком приемниках и излучателей звука: микрофонах, гидрофонах, громкоговорителях и других устройств. Без них теперь немыслимы первостепенные компоненты современной цивилизации: телефон, радио, гидролокация, ультразвуковое исследование, телевидение, кино, Интернет и т.д.

Во второй половине XX века, в связи с бурным ростом промышленности, транспорта и городов стала развиваться строительная акустика. Она включила в себя традиционную архитектурную акустику. *Строительная акустика (другие её названия сейчас: архитектурная и архитектурно-строительная акустика) занимается решением двух главных задач. Первая задача – снижение в местах работы и отдыха людей сильного шума до уровня санитарных норм. Вторая задача – создание благоприятных условий для качественного восприятия речи и музыки в окружающей человека среде.*

Преподавание дисциплины «Строительная акустика» в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете (СПбГПУ) впервые началось в 2002 году на Инженерно-строительном факультете. Дисципдина предназначена для студентов старших курсов СПбГПУ, обучающихся *по направлениям*: 653500 «Строительство», 656400 «Природообустройство» и 656600 «Защита окружающей среды»; и *по специальностям*: 290300 «Промышленное и гражданское строительство», 290500 «Городское строительство и хозяйство» и 330200 «Инженерная защита окружающей среды»

Курс лекций начинается с изучения основ технической, физиологической и музыкальной акустики. Далее следует основное содержание дисциплины, которое состоит из двух частей: первая – звукоизоляция (борьба с шумом) и вторая – акустика помещений и открытых пространств (хорошая слышимость). В первой части излагаются теория и комплекс средств звукоизоляции, обеспечивающей необходимое снижение шума на производстве, в жилых, служебных и общественных помещениях, на селитебной территории городов и поселений (первый семестр обучения). Во второй части излагаются теория и комплекс средств строительной акустики для получения качественного звучания речи, музыки и полезных сигналов (второй семестр обучения). Главная цель курса – дать будущему инженеру-строителю необходимые знания для проектирования, изготовления и контроля средств строительной акустики. Программа курса рассчитана, как уже указывалось, на два семестра и включает в себя следующие разделы. В виду важности нового курса и для обмена опытом приведем их полностью.

Общая часть

1. Основы технической акустики
1.1. Волновое уравнение. Импеданс и постоянная распространения звука
1.2. Интенсивность звука, плотность звуковой энергии и звуковая мощность
1.3. Определения звукоизоляции, общего звукопоглощения и времени реверберации
1.4. Сущность звукоизоляции и звукопоглощения. Закон сохранения энергии
2. Основы физиологической акустики
2.1. Закон Вебера-Фехнера. Децибелы
2.2. Орган звука – голос. Диапазон речи
2,3. Орган слуха – ухо. Звуки, воспринимаемые человеком
3. Основы музыкальной акустики
3.1. Теорема Фурье и акустический закон Ома
3.2. Частотная полоса чистого тона. Гаммы, октавы и третьоктавы

4. Ключевая формула строительной акустики и её первоначальные применения
4.1. Теоретические основы формулы
4.2. Определение звуковой мощности источника шума
4.3. Расчет требуемой звукоизоляции внутренней стены

Часть I. Борьба с шумом в строительных сооружениях посредством звукоизоляции

5. Основополагающая формула и главные принципы звукоизоляции
6. Главные законы звукоизоляции
6.1. Закон массы
6.2. Закон упругости
6.3. Закон внутренних потерь и активного глушителя шума
6.4. Закон реактивного глушителя шума
7. Звукоизоляция пластины на низких, средних и высоких частотах
7.1. Метод импедансов
7.2. Звукоизоляция пластины на низких частотах
7.3. Звукоизоляция пластины на средних и высоких частотах
8. Звукоизоляция пластины со слоем звукопоглощающего материала
9. Инженерный расчет звукоизоляции одностенной конструкции
10. Звукоизоляция двустенной конструкции
11. Инженерный расчет звукоизоляции двустенной конструкции
12. Сотовые звукоизолирующие конструкции и эффективная звукоизоляция в широком диапазоне частот
13. Факторы, резко уменьшающие звукоизоляцию преграды
13.1. Акустические отверстия
13.2. Акустические мостики
14. Измерение звукоизоляции преграды методом реверберционных камер
15. Исследование звукоизоляции вакуумных конструкций
16. Звукоизоляция типовых строительных конструкций
17. Основные источники шума и их шумовые характеристики
18. Нормы допустимого шума
19. Промышленная звукоизоляция
19.1. Снижения шума путем звукоизоляции машины
19.2. Снижение шума путем установки звукоизолирующей кабины
19.3. Точность и надежность акустических расчетов и измерений
19.4. Этапы проектирования и технология изготовления звукоизоляции

Часть II. Улучшение акустики замкнутых помещений и открытых пространств

20. Основная формула акустики замкнутых помещений
21. Акустика системы вентиляции и кондиционирования воздуха
21.1. Нормы расчета и проектирования
21.2. Исходные данные для расчета и проектирования
21.3. Правила расчета для помещений, где установлена машина
21.4. Правила расчета для помещений, через которые воздуховод проходит транзитом
21.5. Правила расчета для помещений, обслуживаемых системой
21.6. Методика проектирования мероприятий и средств снижения шума
22. Обобщенный коэффициент звукопоглощения сложной конструкции
23. Измерения в интерферометре коэффициента звукопоглощения, постоянной распространения звука и импеданса материала
24. Измерение коэффициента звукопоглощения в реверберационной камере
25. Звукопоглощающие свойства конструкций и облицовок
26. Правила обеспечения безопасности и акустического комфорта
26.1. Первое правило – хорошая звукоизоляция помещения
26.2. Второе правило – диффузность звука в помещении
26.3. Третье правило – отсутствие вредного эха в помещении
26.4. Четвертое правило – достаточное число резонансов помещения
26.5. Пятое правило – оптимальное время стандартной реверберации
27. Акустические требования к помещениям
27.1. Общественные помещения для речи
27.2. Общественные помещения для музыки
27.3. Помещения с совмещением речевых и музыкальных программ
27.4. Служебные помещения
27.5. Жилые помещения
27.6. Специальные по акустическим требованиям помещения
28. Основная формула акустики открытых пространств
29. Шумовая карта города
30. Акустические экраны
31. Звукоизолирующие дома
32. Отечественные и международные стандарты в области акустики
32.1. Необходимость стандартизации
32.2. Международные организации по стандартизации
32.3. Организация стандартизации в России и странах СНГ
32.4. Виды стандартов в области акустики

В помощь студентам, изучающим дисциплину «Строительная акустика», имеется учебное пособие /29/. Излагаемый там материал самодостаточен для первоначального изучения предмета, не требует дополнительных учебников. Для лучшего усвоения дисциплины в учебном пособии приведены домашние задания с решением наиболее актуальных задач. Более глубокое овладение строительной акустикой должно продолжаться уже в процессе практической работы с использованием, в частности, отобранной в пособии литературы и, особенно, государственных отечественных стандартов и международных стандартов, представленных в конце книги. Отметим, что количество международных стандартов IEC, ISO и EN в области акустики за последние десятилетия увеличилось в десятки раз. В четырех приложениях к книге впервые дан перечень стандартов, относящихся, так или иначе, к строительной акустике. Общее число их уже превышает более 400 наименований.

Самостоятельная работа реализуется студентами СПбГПУ при выполнении ими курсовых проектов отдельно в первом и втором семестре изучения строительной акустики по соответствующим методическим указаниям /27/, /28/. Приведем содержание одного из них, а именно «Боголепов И.И. Методические указания к курсовым проектам. Акустический расчет и проектирование системы вентиляции и кондиционирования воздуха» /28/: 1. Введение; 2. Нормы расчета и проектирования; 3. Исходные данные для расчета и проектирования; 4. Методика расчета для помещения, где установлена машина; 5. Методика расчета для помещений, через которые воздуховоды проходят транзитом; 6. Методика расчета для помещений, обслуживаемых системой вентиляции и кондиционирования воздуха; 7. Правила проектирования средств и методов снижения шума; 8. Литература; 9. Государственные стандарты; 10. Международные стандарты; 11. Пример оформления расчета; 12. Заключение.

Курсовой проект в дальнейшем может быть продолжен дипломным проектом, который в свою очередь может быть началом диссертационной работы. Цель курсовой работы – научить студента использовать полученные знания на практике, а также определиться со своим творческим потенциалом. Лучшие курсовые проекты студентов хранятся на выпускающей кафедре технологии, организации и экономики строительства инженерно – строительного факультета СПбГПУ (заведующий кафедрой ТОиЭС профессор докт. техн. наук Николай Иванович.Ватин, e-mail: vatin@mail.ru).

Заканчивается курс лекций «Строительная акустика»: в первом семестре обучения – зачетом и курсовым проектом, во втором семестре обучения – курсовым проектом и экзаменом. Цель изучения дисциплины – дать выпускнику СПбГПУ знания и навыки по специализации "Строительная акустика» для начала инженерной работы, научных исследований и предпринимательской деятельности в этой новой, важной и актуальной области науки и техники *политехнического образования.*

Шум в городах, на транспорте и в сельской местности, с концентрацией в них скоростной машинной техники, растет. Постоянно растут также и требования к безопасности и комфорту в окружающей человека среде. Без решения задач строительной акустики, *политехнических по сути*, в век глобализации стало затруднительно ввести в строй и эксплуатировать больницы, жильё, заводы, скоростные дороги, концертные залы, университеты, гостиницы и т.д. Без решения этих задач невозможен экспорт и импорт многих изделий, товаров и услуг, в первую очередь для стран, входящих во Всемирную торговую организацию. Дисциплина «Строительная акустика» вошла в политехническое образование.

Автор с благодарностью примет все замечания и предложения.

Литературы

1. Звукоизолирующие и звукопоглощающие конструкции в строительстве и на транспорте. Сборник под редакцией И.И.Боголепова. ЛДНТП, Ленинград, 1974.
2. Звуко- и теплоизоляция ограждающих конструкций. Под редакцией В.Н. Мякшина и А.А. Альбицкого. Научно-исследовательский институт строительных конструкций Госстроя СССР. Киев, «Будівельник», 1976.
3. Шумоглушение. Тематический сборник научных трудов. Под общей редакцией И.И. Боголепова и Д.А. Мателенка. Москва, Всесоюзный центральный научно-исследовательский институт охраны труда ВЦСПС. 1976.
4. Боголепов И.И., Осипов Г.Г. Современные акустические материалы в строительстве и промышленности. ЛДНТП, Ленинград, 1977.
5. Звукоизолирующие и звукопоглощающие конструкции в практике борьбы с шумом. Сборник под редакцией И.И. Боголепова. ЛДНТП, Ленинград, 1977.
6. Справочник по судовой акустике. Под общей редакцией И.И. Клюкина и И.И. Боголепова. Ленинград, «Судостроение», 1978.
7. Тейлор Р.. Шум. Перевод с английского Д.И. Арнольда. Под редакцией и с предисловием М.А. Исааковича. Издательство «Мир». Москва, 1978.
8. Справочник по технической акустике. Под редакцией М. Хекля и Х.А. Мюллера. Ленинград, «Судостроение». 1980.
9. Контроль шума в промышленности. Предупреждение, снижение и контроль промышленного шума в Англии. Под редакцией Дж. Вебба. Перевод с английского под редакцией И.И. Боголепова. Ленинград, «Судостроение», 1981.

10. Вахитов Я.Ш. Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура. Москва, «Искусство», 1982.
11. Колесников А.Е. Акустические измерения. Ленинград, «Судостроение», 1983.
12. Борьба с шумом на производстве. Под ред Е.Я. Юдина. Москва, «Машиностроение», 1985.
13. Ковригин С.Д., Крышов С.И. Архитектурно-строительная акустика. Москва, «Высшая школа», 1986
14. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль. Предисловие академика И.А.Глебова. Монография. Ленинград, «Судостроение», 1986.
15. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. Москва, Стройиздат, 1986.
16. Авиационная акустика. В двух частях: Часть 1. «Шум на местности дозвуковых пассажирских самолетов и вертолетов» и Часть 2. « Шум в салонах пассажирских самолетов». Под редакцией А.Г. Мунина. Москва, «Машиностроение». 1986.
17. Снижение шума в зданиях и жилых районах. Под редакцией Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина. Москва, Стройиздат, 1987.
18. Справочник проектировщика. Защита от шума в градостроительстве. Под редакцией Г.Л. Осипова. Москва, «Стройиздат», 1993.
19. Никифоров А.С., Иванов Н.И. Проблема акустического загрязнения в Санкт-Петербурге. «Концепция развития Санкт-Петербурга на ближайший и отдаленный периоды с расстановкой приоритетов, основанных на общественном согласии»: Материалы третьего съезда Санкт-Петербургского Союза научных и инженерных обществ. – СПб, 1996. Т. 1.
20. Овсянников С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях. Томск, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2000.
21. Боголепов И.И. Высокоэффективная звукоизоляция XXI века. «Наука, промышленность, сельское хозяйство и культура в Санкт-Петербурге и Ленинградской области на пороге XXI века»: Материалы четвертого съезда Санкт-Петербургского Союза ученых, инженеров и специалистов производства. – СПб, 2000. Т. 2.
22. Боголепов И.И., Ксенофонтов К.Д., Легуша Ф.Ф. Распространение звуковых волн в слоистых средах. Учебное пособие. Издательский центр Морского технического университета. Санкт-Петербург, СПбГМТУ, 2001.
23. Боголепов И.И. Архитектурная акустика. Учебник-справочник. Предисловие академика И.А. Глебова. Санкт-Петербург, «Судостроение», 2001.

24. Боголепов И.И. Статистическая оценка результатов измерения шума машин. «Научно-технические ведомости», 2 (32) /2003, Санкт-Петербург, издательство СПбГПУ, 2003.
25. Боголепов И.И. Исследование звукоизоляции вакуумных конструкций. «Научно-технические ведомости»,4 (34)/2003, Санкт-Петербург, издательство СПбГПУ, 2003.
26. Боголепов И.И. О повышении надежности акустического расчета системы вентиляции. Сборник трудов Международной научной конференции « ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА. ЭКОЛОГИЯ. (ЕЕЕ-2004)», посвященной 90-летию со дня рождения академика РАН И.А. Глебова. Научный редактор – докт. техн. наук профессор Рубисов Г.В. Федеральное агентство науки и инноваций РФ. Санкт-Петербург, 2004
27. Боголепов И.И. Методические указания к курсовым проектам «Проектирование промышленной звукоизоляции», СПбГПУ, Санкт-Петербург, 2004.
28. Боголепов И.И. Методические указания к курсовым проектом. «Акустический расчет и проектирование системы вентиляции и кондиционирования воздуха», СПбГПУ, Санкт-Петербуог, 2004.
29. Боголепов И.И. Строительная акустика. (В печати). Изд. СПбГПУ, Санкт-Петербург, 2006.

Акустический имитатор как инструмент обоснования санитарных норм шумности перспективных строящихся объектов производственного назначения в жилой зоне

Бубнов Е.Я. (1), Гущин В.В. (2), Шемагин В.А. (2)
ВГАВТ (1),
НИРФИ (2)

Аннотация

На основе априорных экспериментальных данных по характеристикам акустического излучения, создаваемого озонаторной установкой разработан соответствующий имитатор шума. С помощью имитатора проведены экспериментальные исследования по озвучиванию жилого массива, где предполагается в будущем монтаж и эксплуатация озонаторной станции. Получены достоверные значения величин уровней акустического давления в октавных полосах частот и по шкале А, создаваемых имитатором в различных важных точках жилого массива и показано соответствие этих величин требованиям санитарных норм.

При строительстве в жилой зоне необходимых для жизнедеятельности данного района производств, требуется знать соответствие величин шумности, создаваемых этими объектами до момента их создания и проведения в случае необходимости мероприятий по звуковой защите. Перспективным решением этой проблемы может служить разработка на основе априорных данных соответствующих акустических имитаторов, формирующих основные характеристики шума данного производства и проведение с ним в начальной стадии строительства экспериментальных работ для получения количественных характеристик шумности в данных конкретных условиях. В силу небольшого числа параметров, используемых при нормировании шумности, устройство имитации может быть несложным в исполнении и недорогим по изготовлению.

Апробация этого метода была проведена в процессе модернизации водопроводной станции, расположенной в густонаселенном городском районе. В технологический цикл работы станции планировалось ввести устройство по производству озона, необходимого для более эффективной биологической очистки водопроводной воды.

Работа озонаторной установки сопровождается акустическим излучением, которое создается истечением воздушной пульсирующей струи.

Спектр шума такого аэродинамического источника является сплошным и широкополосным, и оказывает неблагоприятное воздействие на проживающее вблизи население. Поскольку на характеристики шумности влияют не только параметры данного источника, но и конфигурация и расположение строений, деревьев, теоретический расчет которых затруднен, то результирующий эффект может быть оценен только после ввода установки в эксплуатацию.

На рис.1 приведено расположение водопроводной станции, объектов культурно-бытового назначения и жилых домов.

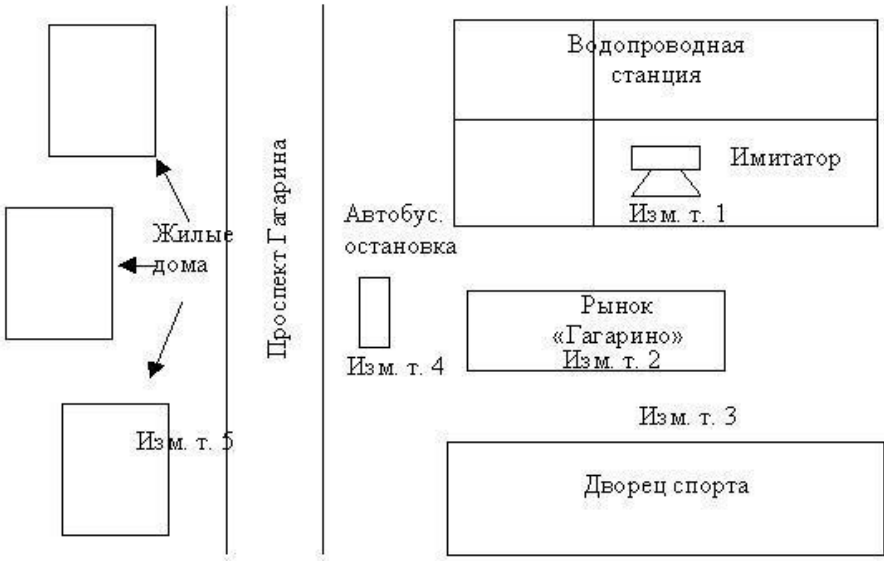


Рис. 1

Необходимые для разработки имитатора акустические характеристики озонаторной установки представлены фирмой-изготовителем. По временным характеристикам шум установки относится к колеблющемуся (нестационарному) шуму. Спектральное распределение максимальных уровней шума в октавных полосах частот на расстоянии 3 м от выхлопного сопла озонатора приведены в строке 3 табл. 1.

Таблица 1

	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах частот								
1.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
2.	Центр. частота октав, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
3.	Озон. установка, паспорт	77	82	79	63	52	46	45	34
4.	Имитатор, т.1	89	94	90	84	76	72	60	48
5.	Разность уровней	12	12	11	21	24	26	15	14

Основные узлы имитатора включают в себя устройство формирования электрического сигнала с заданными характеристиками и акустиче-

ский излучатель. Устройство формирования электрических сигналов состоит из генератора «белого шума и полосового фильтра с малой крутизной спада частотной характеристики. Колеблющийся характер шума в данном имитаторе не учитывается, хотя ввести этот параметр не представляет технических трудностей. Имитатор дает завышенную оценку шумности озонаторной установки, т.к. используются максимальные значения уровней сигнала в октавных полосах частот. В качестве акустического излучателя используется низкочастотный электродинамический громкоговоритель, заключенный в герметичный ящик соответствующего размера. Экспериментальные исследования имитатора показали, что шум представляет собой случайный непрерывный процесс, имеющий широкополосный спектр без наличия тональных составляющих. Для такого шума в качестве основных нормирующих характеристик используются уровни звуковых давлений в октавных полосах частот в дБ со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц и интегральный уровень шума по шкале А [1, 2]. Имитатор и озонаторная установка обладают практически ненаправленными характеристиками в низкочастотном диапазоне излучения.

В строке 4 таблицы 1 приведены экспериментальные данные уровней шума в октавных полосах частот, создаваемых имитатором на расстоянии 3 м. В качестве измерителей уровня шума используются точные импульсные шумомеры 1 класса 00023 и 00017, удовлетворяющие международным стандартам МЭК-Р 225 и ГОСТ 18187-71, с набором измерительных конденсаторных микрофонов МК-102 и встроенными октавными и третъоктавными фильтрами. Для проверки точности измерения приборов используется акустическая калибровка приборов. Погрешность измерения шумомеров составляет 0.5 дБ. Микрофон устанавливается на высоте 1.5 м от поверхности грунта. Экспериментальные данные получены в дневное, вечернее и ночное время. Наилучшие условия распространения звука выполняются в ночное время в условиях практически полного отсутствия источников помех техногенного происхождения.

Для повышения точности проводимых измерений осуществлялось многократное усреднение результатов в каждой измерительной точке. Для определения соотношения сигнал/шум проводилось отключение имитатора, и измерялись акустические шумы в каждой точке наблюдения.

В строке 5 таблицы 1 представлены разности уровней звукового давления, создаваемого имитатором и озонаторной установкой. Эти величины будут использованы в дальнейшем для пересчета измеряемых в эксперименте значений уровней звука имитатора к шуму проектируемой озонаторной установки. Из данных таблицы 1 следует, что имитатор создает большие уровни звукового давления, чем озонаторная установка во всех октавных полосах частот, что обеспечивает большую точность измерений (увеличение соотношения сигнал/шум).

Имитатор во время измерений располагался на крыше водопроводной станции в месте предполагаемого расположения выхлопа озонаторной установки (см. рис 1).

С помощью имитатора проведено озвучивание окрестности водопроводной станции (измерительные точки 2, 3, 4, 5, рис. 1).

На рис. 2 приведены ожидаемые уровни звукового давления, создаваемого выхлопом озонаторной установки в измерительной точке 3 (столбики темного цвета), а столбиками светлого цвета приведены допустимые уровни шума в октавных полосах частот.

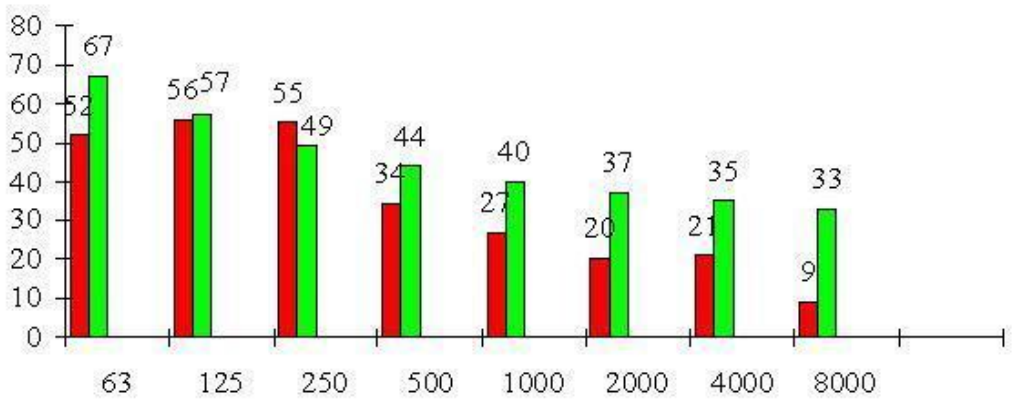


Рис. 2

Как следует из анализа рис. 2 ожидается превышение шума озонаторной станции допустимого уровня на 6 дБ в октавной полосе частот 250 Гц. Это указывает на необходимость проведения технических мероприятий по звуковой защите в этом диапазоне частот (установка звукопоглощающего экрана).

На рис. 3 приведены аналогичные скорректированные ожидаемые уровни шумового сигнала озонаторной установки в октавных полосах частот (столбики темного цвета), измеренные в точке 5 (жилая зона) и допустимые уровни шума в этой зоне (столбики светлого цвета). Как следует из представленных данных во всех октавных полосах частот ожидаемые уровни шума, создаваемые озонаторной установкой меньше уровней допустимого шума, характерного для жилой зоны. Кроме того, в измерительной точке 5 (жилой дом) уровни звукового давления, создаваемого озонаторной установкой, практически совпадают с уровнями акустического фона, обусловленного движением автотранспорта.

Проведенное физическое моделирование акустического шума, создаваемого озонаторной установкой позволило получить разрешение на ее монтаж и эксплуатацию. Последующие измерения акустических полей, создаваемых действующей озонаторной установкой, показали совпадение с предсказанными результатами в пределах ошибки измерения.

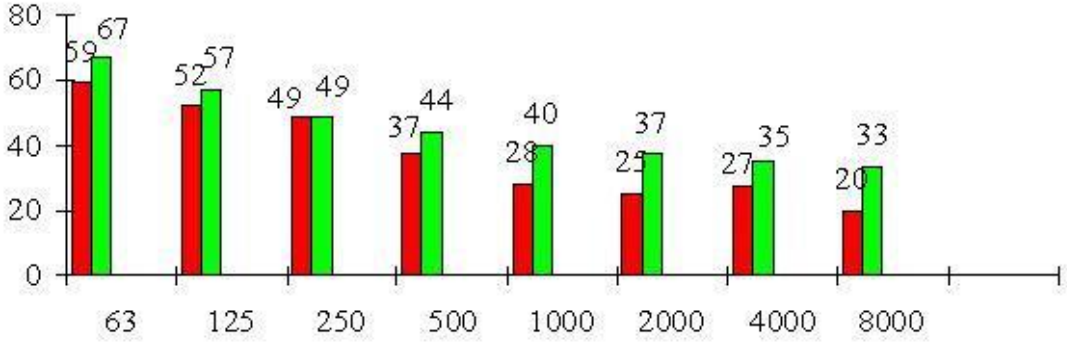


Рис. 3

Таким образом, применение акустического имитатора позволяет проводить тестирование шумовой обстановки потенциальных источников акустического загрязнения.

Сборник докладов конференции

Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Россия, Санкт-Петербург, 21-22 марта 2006 г.) / под ред. д.т.н., проф. Н.И. Иванова, д.м.н., проф. К.Б. Фридмана – Санкт-Петербург : Балт. гос. техн. ун-т, изд-во ИННОВА, 2015. – 425 с. ISBN 978-5-9906108-9-7.

Редакторы: *Н.И. Иванов, К.Б. Фридман*
Художественный редактор: *Д.А. Куклин*
Технический редактор: *Д.А. Куклин*
Оригинал-макет: *Д.А. Куклин*

ISBN 978-5-9906108-9-7

9 785990 610897

ISBN 978-5-9906108-9-7

© БГТУ «ВОЕНМЕХ», ИННОВА, 2015