Современные способы борьбы с шумом в зданиях и на селитебных территориях

Д.т.н., профессор ГОУ СПбГМТУ и ГОУ СПбГПУ И.И. Боголепов*

Шум несовместим с нормальным сном, учебным процессом, творческой работой, высопроизводительным трудом, полноценным отдыхом и лечением. Борьбой с шумом занимаются: на судах – судовая акустика [2, 3, 6, 8, 16, 19, 20, 24], на самолетах – авиационная акустика [9, 17], в автомобилях, поездах и строительных машинах – транспортная акустика [7, 31], на предприятиях – промышленная акустика [1, 4, 5, 9, 10, 11-13, 15], в зданиях и на территориях – строительная акустика [9, 14, 18, 21-23, 25, 26, 28]. Самая старшая и распространенная из них – строительная акустика, она касается постоянно большинства людей в мире.

Все перечисленные науки традиционно озабочены снижением шума: а) в источнике его возникновения, б) на пути распространения от источника к объекту шумозащиты и в) на самих объектах шумозащиты. Строительная акустика занята защитой от шума там, где живут, работают, учатся, лечатся и отдыхают миллионы людей. Снизить шум здесь можно наиболее эффективно на самих объектах шумозащиты.

Источниками интенсивного шума в жилых, общественных и промышленных зданиях и на селитебных территориях являются разнообразные машины, устройства и люди (авто-, авиа-, рельсовый и водный транспорт, инженерное оборудование зданий, громкая музыка, шумные соседи, двигатели внутреннего сгорания, вентиляторы, турбины и насосы, электромашины, трансформаторы и т.д.). При проектировании, строительстве и эксплуатации зданий необходимо четко представлять себе все современные способы борьбы с шумом с целью их рационального применения для данного конкретного случая. Но в любом случае должны быть приняты лучшие решения с учетом достижений в продвинутых областях – в судовой, авиационной, транспортной и промышленной акустиках. Данная статья посвящена анализу современных способов борьбы с шумом и разработке соответствующих эффективных рекомендаций для инженера-строителя.

Начнем с определения сущности и эффективности основных способов снижения шума машин. Под термином «машина» здесь обозначены все машины, механизмы и производственное оборудование. Акустическим коэффициентом мощности машины назовем отношение звуковой мощности W, Вт, излучаемой во внешнюю среду машиной, к её функциональной мощности W_M, Вт, создаваемой или потребляемой этой машиной, $\eta_A = W / W_M$.

Наибольшим акустическим коэффициентом мощности обладают такие устройства, как громкоговорители. Если, например, функциональная мощность громкоговорителя W_M = 10 Вт, а уровень излучаемой звуковой мощности в лучшем случае равен 117дБ ($N = 0{,}5Bm$), то акустический коэффициент $\eta_A = 0{,}05(5\%)$. Эти устройства созданы специально для звукоизлучения, но их функциональная мощность по сравнению с мощностью машин мала.

Один из наиболее распространенных и типичных источников шума машин – двигатель внутреннего сгорания. Уровень мощности внутри цилиндра дизеля равен примерно 220 дБ (10 000 000 000 Вт). Излучаемая корпусом звуковая мощность такого дизеля на средних частотах равна 120 дБ ($W = 1Bm$). Мощность на выходном валу ориентировочно $W_M = 1000000Bm$. Акустический коэффициент мощности здесь $\eta_A = 10^{-6}(0{,}0001\%)$. Несмотря на очень малый η_A звуковая мощность машин может значительно превысить звуковую мощность самого большого высокоэффективного громкоговорителя.

Физический механизм звукоизлучения машины, например дизеля, может быть представлен схематически следующим образом. Вынужденная переменная сила $F(t)$, определяемая функциональной мощностью W_M, вызывает в некоторой части машины внутри нее в точке «1» колебательную скорость $v_1(t)$. Внутренний механический импеданс в этой точке:

$$Z_M = F(t) / v_1(t).$$

От действия указанной силы на поверхности машины в точке «2» возникают колебания со скоростью $v_2(t)$, в результате чего излучается звуковая мощность W. Пусть колебания в точках «1» и «2» связаны посредством коэффициентом передачи (передаточная функция) a_M линейной зависимостью $v_2 = a_M v_1(t)$. Тогда звуковая мощность, излучаемая поверхностью машины вблизи точки «2», запишется в виде:

$$W = \rho c\, v_2^2(t)\, S\, \gamma \quad ,$$

где ρc – импеданс среды вокруг машины,

S – площадь излучения вблизи точки «2»,

γ – коэффициент излучения, равный отношению интенсивности звука, излучаемого поверхностью машины вблизи точки «2», к интенсивности звука, излучаемого колеблющимся поршнем с той же площадью S и той же скоростью $v_2(t)$. В результате получаем важную для нас формулу звуковой мощности машины:

$$W = \frac{F(t)^2\, a_M^2}{Z_M^2}\, S\, \rho\, c\, \gamma$$

Проанализируем, исходя из этой формулы, первые шесть основных способов снижения шума.

Первый способ состоит в уменьшении вынуждающих сил $F(t)$. Однако технический прогресс обуславливает постоянный рост мощности и скоростных параметров машин, что приводит к увеличению вынуждающих сил. Сокращение допусков, балансировка и другие мероприятия по совершенствованию машины снижает действие этих сил, но, как правило, в меньшей степени, чем происходит их рост от увеличения мощности и скоростных параметров. Былые упования на борьбу с шумом в источнике его возникновения в качестве кардинального решения проблемы пока не оправдываются.

Второй способ снижения шума машин состоит в увеличении внутреннего механического импеданса Z_M. Этот способ также противоречит тенденции технического прогресса, но уже другой. Эта тенденция состоит в сокращении материалоемкости и уменьшении массы машины, что приводит к увеличению вибровозбудимости: уменьшается Z_M, и как следствие увеличивается шум машины. Таким образом, увеличение внутреннего механического импеданса, даже в своем простейшем виде – путем увеличения массы машин, бесперспективно. По причине роста вынуждающих сил и снижения материалоёмкости шум машин растет.

Третий способ состоит в уменьшении передачи звуковых колебаний от места возбуждения к месту излучения, то есть в уменьшении коэффициента передачи a_M благодаря виброизоляции. Здесь имеются два пути применения виброизоляции: внутренний и внешний. Применение внутренней виброизоляции не находит какого-либо серьезного применения ввиду трудности совместить её с прямым функциональным назначением машины. А вот внешняя виброизоляция машин широко используются для снижения структурного звука, например на судах. В зданиях (особенно высотных и элитных) этот вид звукоизоляции, безусловно, перспективен, например, в виде звукоизолирующих амортизаторов и вибропрокладок для изоляции структурного звука машин, устройств и инженерных систем. Традиционно он применяется для изоляции ударного шума в междуэтажных перекрытиях.

Четвертый способ состоит в уменьшении излучаемой поверхности S. Это иногда удается сделать путем уменьшения габаритных размеров машины (вместо одной большой машины – много малых машин) или использования решетчатого корпуса машины вместо сплошного. Уменьшение излучающей поверхности имеет ограниченное, но реально-эффективное применение. Например, перфорированием поверхности стола высокочастотного вибростенда можно заметно уменьшить излучаемую им звуковую мощность. Из-за простоты применения четвертый способ всегда надо иметь в виду.

Пятый способ состоит в уменьшении импеданса окружающей среды, то есть величины ρc (произведение плотности среды на скорость звука в среде). Замена воздуха другим газом неэффективна, так как разница импедансов различных газов в этом случае практически незначительна. Можно сильно уменьшить импеданс окружающей среды, лишь поместив машину в сильно разреженный воздух. Но в земных условиях это очень дорогой способ снижения шума. Однако в специальных вакуумных звукоизолирующих конструкциях (например, в теплозвукоизолирующих иллюминаторах) и в космических аппаратах (путем выноса шумных агрегатов наружу) он уже находит реальное применение.

Шестой способ состоит в уменьшении коэффициента излучения γ. Это можно сделать, установив вокруг машины звукоизолирующую оболочку. В последние годы для многих сложных машин инженеры разработали совершенные, в том числе и с эргономической точки зрения, ограждающие оболочки (например, корпус для многооперационных станков с программным управлением). К еще более совершенным оболочкам можно отнести корпуса самолетов, вертолетов, судов с динамическими принципами поддержания, легковых автомашин, цельнометаллических пассажирских вагонов. Инженеры-акустики взяли эти оболочки в качестве основы для создания эффективной и удобной звукоизоляции машин и устройств различного назначения. Обобщая, можно сказать, что шестой способ – главный для снижения шума из всех предыдущих способов.

Седьмой способ. При рассмотрении седьмого и восьмого способов снижения шума обратимся к ключевой формуле строительной акустики [28]. Эта формула для уровней звука L_p, дБ, в расчетной точке на расстоянии r,м, от источника шума мощностью W,Вт; α среднего коэффициента звукопоглощения ограждающего помещения; $S_П$,м^2, площади ограждающих поверхностей; $L_Н$, $дБ$, норма допустимого шума в расчетной точке; может быть представлена в виде:

$$L_p = 10\lg\left[W\left(\frac{1}{2\pi r^2}+\frac{4(1-\alpha)}{\alpha S_П}\right)\right] \le L_Н$$

Из формулы, в частности, следует, что мощность шума источника W уменьшается в свободном полупространстве пропорционально квадрату расстояния r. Поэтому, если имеется необходимое большое расстояние от источника шума до человека, то седьмой способ – самый простой и эффективный. Однако в условиях современного города его удается применить редко, так как свободного пространства здесь часто нет, или оно стоит очень дорого. Но всегда следует помнить о том, что кардинально решить проблему шумового воздействия на человека можно, удалив его подальше от источников шума (например, сейчас престижно жить в загородном доме вдали от шума городского).

Восьмой способ состоит, как это также следует из вышеуказанной ключевой формулы, в увеличении звукопоглощения в окружающей человека среде – среднего коэффициента звукопоглощения ограждающих поверхностей помещения α. Эта величина имеет также определяющее значение для качества акустики зала. Но для снижения шума в помещении, хотя её роль здесь качественно обязательна (без звукопоглощения невозможно реализовать звукоизоляцию), звукопоглощение само по себе количественно мало влияет на снижение шума. Коэффициент звукопоглощения α можно изменить в реальных конструкциях лишь в небольших пределах, а именно от 0,1 до 0,7, то есть максимум в 7 раз (в отличие от звукоизоляции $R, дБ$, которую конструктор вправе изменить максимально в пределах примерно 60 дБ, то есть по интенсивности звука в 1 000 000 раз!). Таким образом, для защиты людей от шума в первую очередь и главным образом для инженера-строителя важна звукоизоляция. Однако специалист не должен исключать применение и других указанных выше способов снижения шума.

С целью наиболее эффективного решения задач строительной акустики, в частности при строительстве современного жилья (см. Приоритетный национальный проект «Доступное и комфортное жильё – гражданам России» www.rost.ru), из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Выводы

Борьбу с шумом в жилых, общественных и промышленных зданиях и на селитебных территориях рекомендуется осуществлять инженеру-строителю с учетом достижений в других областях техники (судовая, авиационная, транспортная и промышленная акустики), а именно в виде:

1) звукоизоляции ограждающих помещение конструкций зданий (стен, пола, потолка, окон и дверей);

2) звуковиброизоляции и звуковибропоглощении машин, устройств и инженерных систем в зданиях;

3) звукоизоляции и звукопоглощения системы вентиляции и кондиционирования воздуха в зданиях;

4) звукоизолирующих кабин управления и комнат для конфиденциальных переговоров;

5) акустических (шумозащитных) экранов на внешних магистралях и внутри помещений в зданиях;

6) звукоизолирующих (шумозащитных) домов;

7) звуковиброизоляции камер для стандартных акустических измерений звукоизоляции, звукопоглощения, виброизоляции и вибропоглощения.

Эффективность звукоизоляции и звукопоглощения, виброизоляции и вибропоглощения определяется по национальным, европейским или международным стандартам [28]. Результаты этого определения должны быть указаны в нормативно-технической строительной документации на здание и сооружение.

Осуществлению вышеуказанных рекомендаций по снижению шума посвящена представленная ниже литература по этой проблеме [25-32], которую лучше всего получить в оцифрованном виде в трех отечественных книгохранилищах: Российской государственной библиотеке, Российской национальной библиотеке и Президентской библиотеке имени Бориса Ельцина. Литературу [1-24] рекомендуется использовать инженером-строителем как дополнительную. Всю литературу [1-32] удобно разместить в компьютере инженера-строителя в качестве справочного материала. Однако без высококвалифицированного специалиста-акустика иногда бывает очень трудно представить заказчику нужное решение. Автор статьи готов

оказать необходимые консультации и дать мастер-классы по вопросам эффективного применения всех способов борьбы с шумом в жилых, общественных и промышленных зданиях и на селитебных территориях.

В настоящее время готовится к изданию новая книга автора данной статьи под названием «Акустика жилых, общественных и промышленных зданий (Строительная акустика)». Книга содержит изложение научных основ строительной акустики и растолкование их инженерных применений с помощью домашних заданий. Имеет цель научить решению двух главных задач: снижению шума до нормы в современных зданиях и обеспечению в них качественной акустики помещений. В книге уделено должное внимание соответствующим национальным стандартам РФ, Международным стандартам ISO и IEC, Европейским стандартам EN. Приведен полный перечень более 630 указанных стандартов и даны рекомендации по их рациональному использованию.

Книга главным образом предназначена:

а) для студентов и аспирантов строительных специальностей политехнических высших учебных заведений и соответствующих факультетов других вузов России и стран ближнего зарубежья;

б) для инженеров, архитекторов, научных работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией зданий различного назначения, планировкой и застройкой населенных мест с целью защиты от шума и обеспечения нормативных параметров акустической среды в зданиях и на территории жилой застройки;

в) для санитарных врачей, работников экологических служб и коммунального хозяйства городов, областей, краев и республик РФ, занимающихся вопросами борьбы с шумом в зданиях и акустикой залов;

г) для всех жителей городов и весей нашего Отечества и русского зарубежья, страдающих от шума и акустического дискомфорта и активно желающих эти страдания и дискомфорт прекратить.

Книга прошла рецензирование: заведующим кафедрой технологии, организации и экономики строительства инженерно-строительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, профессором, д.т.н. Ватиным Н.И.(рецензия утверждена деканом инженерно-строительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, профессором, д.т.н. Альхименко А.И); заведующим кафедрой физики факультета естественнонаучного и гуманитарного образования Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, профессором, д.ф.-м.н. Легушей Ф.Ф.; главным научным сотрудником Центрального научно-исследовательского института им. академика А.Н. Крылова, профессором, д.т.н., заслуженным деятелем науки и техники РФ Попковым В.И.

Литература

1. Славин И.И. Производственный шум и борьба с ним. Издательство ВЦСПС. Профиздат.1955.
2. Боголепов И.И., Авферонок Э.И. Звукоизоляция на судах. Л., 1970.
3. Клюкин И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. Л., 1971.
4. Шумоглушение. Тематический сборник научных трудов / Под общей редакцией И.И. Боголепова и Д.А. Мателенка. М., 1976.
5. Витринский И.М., Корчма М.В., Трандина З.В. Применение общеинженерных решений, способствующих уменьшению шума кузнечно-прессовых машин. Методические рекомендации. НИИ институт информации по машиностроению. М., 1977.
6. Справочник по судовой акустике / Под общей ред. И.И. Клюкина и И.И. Боголепова. Л., 1978.
7. Иванов Н.И. Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах. М.,1979.
8. Никифоров А.С. Вибропоглощение на судах. Л., 1979.
9. Справочник по технической акустике / Под ред. М. Хекля и Х.А. Мюллера. Л., 1980.
10. Григорьян Ф.Е., Перцовский Е.А. Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок. Л., 1980.
11. Контроль шума в промышленности. Предупреждение, снижение и контроль промышленного шума в Англии /. Под ред. Дж. Вебба. Пер. с английского языка под ред. И.И. Боголепова. Л., 1981.
12. Филатов В.И., Мясников В.В. Рекомендации по снижению шума в цехах литья, экструзии и прессования полимерных материалов. Л., 1982.
13. Борьба с шумом на производстве / Под ред. Е.Я. Юдина. М., 1985.
14. Ковригин С.Д., Крышов С.И. Архитектурно-строительная акустика. Москва, 1986.

15. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль. Предисловие академика АН СССР И.А. Глебова. Монография. Л., 1986.
16. Клюкин И.И. Физико-технические основы виброизоляции механизмов и другого виброактивного оборудования. Ленинградский ордена Ленина кораблестроительный институт. Л., 1986.
17. Авиационная акустика. В двух частях: Часть 1. «Шум на местности дозвуковых пассажирских самолетов и вертолетов» и Часть 2. « Шум в салонах пассажирских самолетов» / Под ред. А.Г. Мунина. М., 1986.
18. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина. М., 1987.
19. Изак Г.Д., Гомзиков Э.А. Шум на судах и методы его уменьшения. М.,1987.
20. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций. Л., 1990.
21. Справочник проектировщика. Защита от шума в градостроительстве. Под ред. Г.Л. Осипова. М., 1993.
22. 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.
23. Овсянников С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях. Томск, 2000.
24. Ионов А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах. СПб, 2000.
25. 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.
26. Щевьев Ю.П. Физические основы архитектурно-строительной акустики. Учебное пособие. СПб, 2001.
27. Л.Г. Осипов, В.Н. Бобылев, Л.А. Борисов и др. Звукоизоляция и звукопоглощение. Учебное пособие для студентов вузов / Под ред. Г.Л. Осипова, В.Н. Бобылева. М., 2004.
28. Боголепов И.И. Строительная акустика. Предисловие академика РАН Васильева Ю.С. СПб, 2006.
29. Боголепов И.И., Лапшина О.В. и Окладникова О.Н. Предложения по совершенствованию аттестации устройства для измерения звукоизоляции строительных конструкций // Научно-технические ведомости, 4-1(52) / 2007. СПб, 2007.
30. Боголепов И.И. Новый метод акустического расчета системы вентиляции и кондиционирования воздуха зданий // С.О.К. (сантехника, отопление, кондиционирование), № 2, 2008. М., 2008.
31. Иванов Н.И. Инженерная акустика. М., 2008
32. Боголепов И.И. Вакуумные звукоизолирующие конструкции // Инженерно-строительный журнал, № 1 2008. СПб, 2008.

**Игорь Ильич Боголепов, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Тел. раб. 297-59-49, 535-79-92

Эл. почта igor.bogolepov@mail.ru