

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

**Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет**

**Кафедра энергетических и промышленно-гражданских
сооружений**

БОГОЛЕПОВ И.И

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ В
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ПРОМЫШЛЕННО-ГРАЖДАНСКИХ
СООРУЖЕНИЯХ**

Методические указания к курсовым проектам

**Санкт-Петербург
2003**

ОГЛАВЛЕНИЕ

- 1. Назначение и область применения**
- 2. Основные исходные данные**
- 3. Общие рекомендации по звукоизоляции машины, стены и кабины**
- 4. Этапы проектирования звукоизоляции**
- 5. Требования к акустическому расчету**
- 6. Основные расчетные схемы и формулы**
- 7. Требования к конструкции звукоизоляции**
- 8. Расчет звукоизоляции одностенной преграды**
- 9. Расчет звукоизоляции двустенной преграды**
- 10. Акустические материалы**
- 11. Требования к технологии изготовления звукоизоляции**

Литература

Приложение 1. Список государственных стандартов.

Приложение 2. Список международных стандартов.

Рисунки

1. Назначение и область применения

Современные машины, механизмы и производственное оборудование (далее "машины") во многих случаях являются источником интенсивного шума. Шум оказывает вредное влияние на организм человека. Это проявляется в функциональных расстройствах нервной системы, поражения органов слуха, нарушениях сердечно-сосудистой системы. Шум уменьшает иммунобиологическую реактивность организма по отношению к различным заболеваниям. Под воздействием шума заметно снижается качество и производительность труда.

"Шум бедствие современного мира и нежелательный продукт его технической цивилизации" (ЮНЕСКО).

Основное средство защиты от шума – звукоизоляция. Звукоизолирующие устройства используются трех видов. Первый вид – это звукоизолирующая оболочка вокруг машины (звукоизолирующий кожух), второй вид – звукоизолирующая стена (переборка, выгородка) между помещением источника шума и помещением, где находится человек, третий вид – звукоизолирующая оболочка вокруг человека (звукоизолирующая кабина).

Конструкции звукоизоляции указанных трех видов – называемой промышленной звукоизоляцией - создаются специально для защиты от шума, строительные требования в них являются подчиненными. Это позволяет наиболее полно реализовать возможности современной акустической науки и специальных технологий.

Назначение и область применения звукоизоляции в энергетических и промышленно-гражданских сооружениях должны отвечать следующим требованиям: 1) ГОСТу 12.1.003-83 "Шум. Общие требования безопасности" (Система стандартов безопасности труда. Госкомстандартов Совета министров СССР. Москва, 1983), 2) СНиПу 11-12-77 "Защита от шума" (Строительные нормы и правила. Госстрой России. Москва, 1997), 3) Другим государственным и основным международным стандартам, указанным в Приложениях 1 и 2.

2. Основные исходные данные

Основными исходными данными при проектировании звукоизоляции являются: 1) вид звукоизолирующего устройства, 2) шумовые характеристики машины, 3) допустимые уровни шума на рабочих местах и местах отдыха, 4) требуемая величина звукоизоляции.

К трем основополагающим видам звукоизолирующего устройства предъявляются следующие требования, а именно.

Звукоизоляция машины должна иметь замкнутую звукоизолирующую оболочку с виброизоляцией и глушителями шума в технологических отверстиях.

Звукоизолирующая стена должна иметь сплошную конструкцию без отверстий. Если в ней имеются дверь или окно, то они должны иметь звукоизоляцию не меньшую, чем стена.

Звукоизолированные кабины должны иметь ограждающие конструкции, окна и двери, а также глушители шума вентиляционного отверстия с примерно равной акустической эффективностью.

Шумовыми характеристиками машины в соответствии с международным стандартом ИСО 3740-80 "Акустика. Определение уровня звуковой мощности источников шума" являются: уровень звуковой мощности L_N и уровень звукового давления L_p на измерительной поверхности S_p , проходящей через рабочее место или рабочую зону. Эти две величины связаны соотношением в дБ (дБА) следующим образом

$$L_N = L_p + 10 \lg S_p$$

Шумовые характеристики машины указаны в нормативно-технической документации на машины в соответствии с ГОСТ 12.1.023-80 "Шум. Методы установления значений шумовых характеристик машин".

Допустимые уровни шума L_H на рабочих местах или местах отдыха определяются по соответствующим нормативным документам, указанным в ГОСТ 12.1.003-83 и СНиП 11-12-77.

Звукоизоляция машины, стены и кабины определяется разностью уровней звукового давления или эквивалентных уровней звука машины до и после установления звукоизоляции. *Требуемая величина звукоизоляции* должна обеспечить допустимые нормы шума на рабочих местах или местах отдыха.

3. Общие рекомендации по звукоизоляции машины, стены и кабины

Звукоизоляция машины

Это наиболее результативный вид звукоизолирующего устройства, хотя и звукоизолирующие кабины, и звукоизолирующие стены имеют важное практическое значение.

Звукоизоляция машины R_M обеспечивается, прежде всего, звукоизолирующей оболочкой с эффективностью R (главная часть), а также виброизоляцией машины, звуковиброизоляцией коммуникаций машины, глушителем газо- и гидродинамического шума, глушителем шума в технологических и вентиляционных отверстиях в оболочке машины. Рекомендуется, чтобы эффективность всех перечисленных составляющих частей звукоизоляции машины была примерно равна эффективности ее главной части.

Основой звукоизоляции машины являются звукоизолирующие оболочки, подразделяющиеся по степени связи их с машиной на две группы: оболочки независимой от машины конструкции с воздушным слоем между оболочкой и машиной и оболочки, конструкция которой вплотную прилегает к машине без воздушного промежутка.

Звукоизолирующие оболочки *первой группы* имеют несколько адекватных названий: звукоизолирующий кожух, звукоизолирующая камера, звукоизолирующий капот. Форма оболочки обеспечивается геометрической заданностью конструктивных узлов и жесткостью ее стенок, которые или не связаны с машиной или имеют контакт с машиной лишь в местах коммуникаций и виброопор. Оболочки первой группы могут поставляться как вместе с машиной, так и отдельно от нее с последующим монтажом на месте.

Звукоизолирующие оболочки *второй группы* обычно называются звукоизолирующими покрытиями. В этом случае ослабление излучения звука осуществляется с помощью двухслойных или многослойных покрытий, наносимых непосредственно на машину. Между наружным слоем покрытия, изготовляемым из материала повышенной плотности, и корпусом машины располагают слой материала с малой объемной плотностью. Покрытия менее эффективны. Звукоизолирующие оболочки второй группы в данном случае не рассматриваются.

Звукоизолирующие оболочки первой группы применяются следующих типов. *Звукоизолирующий кожух* в виде жесткой замкнутой оболочки вокруг машины используется для стационарных машин с необходимостью большой эффективности защиты от шума. *Раздвижная звукоизоляция* используется для машин, требующих быстрого и удобного доступа ко всей машине или к ее значительной части при отсутствии свободного пространства сверху и при

наличии свободной площади около машины. *Капотная звукоизоляция* используется для машин, требующих быстрого доступа к значительной части машины при наличии свободного пространства сверху и при отсутствии свободной площади около машины. *Блочная звукоизоляция* используется для машин, которые рационально помещать в специально для них сконструированные звукоизолирующие помещения – боксы – с обслуживанием машины внутри этого помещения.

Звукоизоляцию машины рационально применять с *виброизоляцией*, которая может быть выполнена в соответствии с одним из следующих конструктивных типов. *Виброизоляция* машины обеспечивается *виброизолирующими опорами*, на которые устанавливается машина, а звукоизолирующая оболочка жестко крепится к полу. *Виброизоляция* этого типа используется для защиты оболочки и нижележащих помещений от звуковых колебаний данной машины. *Виброизоляция* звукоизолирующей оболочки обеспечивается *виброизолирующими прокладками*, установленными под опорный контур оболочки, а машина жестко крепится к полу. В этом случае *виброизоляция* используется для защиты оболочки от звуковых колебаний машины и увеличения, таким образом, звукоизоляции машины в данном помещении при отсутствии необходимости звукоизолировать нижележащие или соседние помещения. Часто *виброизоляция* машины и звукоизолирующей оболочки обеспечивается *виброизолирующими опорами под машиной и виброизоляцией под опорным контуром оболочки*. Такой тип *виброизоляции* используется для повышения звукоизоляции машины в данном помещении при одновременной необходимости увеличить звукоизоляцию в нижележащих и смежных помещениях.

Виброизолирующие опоры применяются следующих видов: резинометаллические сварные, резиновый элемент которых привалкунизирован к металлической части; металлические, составленные из стальных пружин или других упругих металлических элементов; комбинированные, имеющие резиновые и упругие металлические элементы; пневматические, имеющие в качестве упругого элемента сжатый воздух; рыхловолокнистые и пористые в виде плит из пластмассы, минерального или металлического войлока. Материалы для *виброизоляции* указаны в разделе 10, конструкцию *виброизоляторов* следует принимать по литературным данным.

Звуковиброизоляция коммуникаций (трубопроводов, валопроводов, приводов управления, электропроводка) должна выполняться как неотъемлемая часть звукоизолирующего устройства машины. Для трубопроводов в качестве *виброизоляторов* часто применяются резинометаллические патрубки, резинотканые и резинометаллические рукава и шланги, металлические сильфонные компенсаторы, гибкие металлические шланги. Для валопроводов в качестве *виброизоляторов* широкое применение получили резинометаллические муфты, шинно-пневматические муфты, сборные муфты с резиновыми, резинокордовыми, резинометаллическими и упругими металлическими элементами. *Виброизоляторы* следует устанавливать до выхода коммуникаций наружу через звукоизолирующую оболочку. Трубопроводы и валопроводы, к

конструкцию которых нельзя вводить эффективные виброизоляторы, должны быть задемпфированы и закрыты собственной оболочкой. Места ввода коммуникаций в звукоизолирующую оболочку должны быть обязательно от нее виброизолированы. В качестве виброизоляторов используют резиновые, резинометаллические, пластмассовые и композитные диафрагмы, мембраны и прокладки. Коммуникации по возможности следует объединять в пучки и вводить сквозь звукоизолирующую оболочку через один виброизолирующий узел. Они должны быть снабжены разъемами. Применение таких разъемов делает удобным монтаж и демонтаж звукоизолирующей оболочки. Конструктивные подробности – см. литературу, указанную в конце данных методических указаний.

Глушители газо – и гидродинамического шума машины являются важнейшим средством ее звукоизоляции, если соответствующий шум превышает допустимые нормы. Электрические машины, двигатели внутреннего сгорания, газотурбинные установки, компрессоры, пневматические двигатели и устройства, вентиляторы, насосы и другие машины с шумами большой интенсивности должны иметь глушители следующих типов: активные с пористо-сплошным, трубчатым, пластинчатым и экраным звукопоглотителем, камерные с облицовкой и без облицовки звукопоглотителем, резонансные (с применением резонатора Гельмгольца). Конструкцию глушителей шума, их проектирование и расчет следует выполнять по литературным данным, указанным в конце методических указаний.

Глушители шума в технологических и вентиляционных отверстиях звукоизолирующей оболочки составляют необходимую часть звукоизоляции машин. Их эффективность должна быть такова, чтобы звуковая мощность, передаваемая через них, была бы меньше мощности излучения звукоизолирующей оболочкой. Глушители могут выполняться в виде отдельной автономной приставки к оболочке или изготавливаться как неотъемлемая часть этой оболочки. Площадь проходного канала глушителя вентиляции выбирается исходя из допустимой скорости воздушного потока в канале. Площадь проходного сечения технологического отверстия должна быть минимальной и выбираться из конструктивных соображений. Подробности указаны в прилагаемой в конце литературе.

Общие рекомендации по проектированию звукоизолирующей стены и звукоизолирующей кабины аналогичны вышеизложенным для звукоизоляции машины.

4. Этапы проектирования звукоизоляции

Цель курсового проекта по звукоизоляции в энергетических и промышленно-гражданских сооружениях состоит в демонстрации студентом знаний, полученных им на лекциях, практических занятиях, выполнении домашних заданий, при изучении научно-технической литературы, и в умении применить эти знания на практике.

Проектирование звукоизоляции машин, звукоизолирующей стены или звукоизолирующей кабины (различные курсовые проекты) включает следующие этапы.

Этап 1. Работа руководителя и студента. Разработка руководителем технического задания (ТУ) на выполнение студентом курсового проекта для данного устройства защиты от шума. Начало работы студента по ТУ: информационный поиск прототипа проектируемого устройства и анализ его средств снижения шума по литературным данным.

Этап 2. Работа студента. Определение шумовых характеристик источника шума, допустимого уровня шума на рабочем месте или месте отдыха по литературным данным. Расчет требуемой величины звукоизоляции. Выбор конструкции главной части звукоизолирующего устройства и предварительный расчет ожидаемой шумности на рабочем месте.

Этап 3. Работа студента. Выбор всех остальных частей звукоизолирующего устройства с эффективностью, примерно равной главной части. Окончательный расчет ожидаемой шумности на рабочем месте. Написание текстовой и составление графической части курсового проекта. Указание в текстовой части проекта технологии изготовления и требований техники безопасности.

Этап 4. Работа студента, руководителя и заведующего кафедрой. Окончательное оформление студентом курсового проекта с помощью программы MathCAD. Рассмотрение и подпись руководителем и утверждение заведующим кафедрой СПбГУ разработанного студентом курсового проекта.

5. Требования к акустическому расчету.

Акустические расчеты выполняются с целью выбора оптимального комплекса звукоизоляции. Выбор происходит методом последовательных приближений: сначала звукоизоляция первоначально выбранной конструкции оценивается расчетом, затем в случае необходимости эта конструкция уточняется и вновь оценивается расчетом и т.д. до получения требуемого результата защиты от шума.

При проектировании звукоизоляции, в конечном счете, важен уровень шума L_p в так называемых расчетных точках, где должна быть обеспечена норма допустимого уровня шума L_N . Октавные уровни звукового давления (или уровни звука) в расчетной точке от источника звука – машины – определяются с вероятностью 0,9973 по формуле

$$L_p = L_N + 3\sigma_{\max} + \Delta L_{\Pi}$$

где

L_N - уровни звуковой мощности в дБ (или скорректированные уровни звуковой мощности в дБА) источника шума;

σ_{\max} - максимальные средние квадратические отклонения (принимается по ГОСТам: 12.1025-81, 12.1.024-81, 12.1.026-80, 12.1.027-80, 12.1.028-80. В первом приближении $3\sigma_{\max}$ можно принять равной 10 дБ (дБА).

Величина ΔL_{Π} , связывающая уровень звуковой мощности с уровнем шума в расчетной точке, рассчитывается в общем случае по формуле

$$\Delta L_{\Pi} = 10 \lg \left(\frac{\chi}{S_p} + \frac{4}{Q_{\Pi}} \right),$$

где

χ - коэффициент диффузности поля излучения звуковой мощности источника шума;

S_p - площадь воображаемой замкнутой поверхности излучения, на которой находится расчетная точка;

Q_{Π} - постоянная помещения, учитывает звукопоглощающие свойства помещения.

Коэффициент диффузности поля излучения звуковой мощности машиной зависит от максимальных габаритов источника шума l_{\max} в м. и от расстояния r в м. от центра источника шума до расчетной точки следующим образом

$$\chi = 1 \quad \text{при} \quad \left(\frac{r}{l_{\max}} \right) \geq 3,$$

$$\chi = 4 - \frac{r}{l_{\max}} \quad \text{при} \quad 1 < \left(\frac{r}{l_{\max}} \right) \leq 3,$$

$$\chi = 4 \quad \text{при} \quad \left(\frac{r}{l_{\max}} \right) < 1.$$

В первом приближении машину можно считать точечным источником шума, тогда $\chi = 1$.

Площадь воображаемой поверхности S_p зависит от положения источника шума в помещении и принимает следующие значения;

на равных расстояниях от пола, стен и потолка она равна $4\pi r^2$,

на плоской поверхности в ее центре - $2\pi r^2$,

на стыке двух плоских поверхностей в двугранном углу - πr^2 ,

на стыке трех плоских поверхностей в трехгранном углу $0,5 \pi r^2$

Постоянная помещения, где установлена машина, или постоянная пространства под оболочкой звукоизолирующего кожуха машины определяется формулой

$$Q_{\Pi} = \frac{\alpha_{\Pi} S_{\Pi}}{(1 - \alpha_{\Pi})}$$

где

α_{Π} - **средний коэффициент звукопоглощения поверхности помещения или оболочки (тогда нижний индекс будет «0») с площадью ограждающих конструкций S_{Π} , м².**

Площадь поверхности S_{Π} для достаточно большого помещения, в котором установлена малая по отношению к объему помещения машина, равна сумме всех площадей ограждающих это помещение конструкций,

включая пол помещения, но площадь поверхности самой машины не учитывается. Для пространства под оболочкой звукоизолирующего кожуха машины площадь поверхности S_{Π} следует принимать равной сумме площадей кожуха со стороны машины и наружной поверхности самой машины.

Средний коэффициент звукопоглощения α_{Π} поверхности S_{Π} следует определять по формуле

$$\alpha_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i}{S_{\Pi}}.$$

где α_i - коэффициент звукопоглощения площади S_i ,

$$S_{\Pi} = \sum_{i=1}^n S_i \text{ - суммарная площадь.}$$

Область применения расчетов имеет следующие ограничения.

Первое ограничение. Нижняя частотная граница расчетного диапазона частот f_H определяется тем, что, с одной стороны, наибольший линейный размер устройства l_{\max} в м. должен быть больше длины воздушной звуковой волны в м., тогда

$$f_{HR} \geq \frac{340}{l_{\max}}.$$

С другой стороны, наименьший размер помещения l_{\min} в м., в котором устанавливается устройство, должен быть больше примерно трех длин воздушной звуковой волны в м., тогда

$$f_{HP} \geq \frac{1000}{l_{\min}}$$

Нижняя частотная граница расчета f_{HR} или f_{HP} выбирается как наибольшая из них.

Второе ограничение. Верхняя граница расчетного диапазона частот

определяется толщиной стенки устройства. Стенка должна быть достаточно тонкой для того, чтобы можно было бы ее колебания представить только изгибными волнами. Для этого должно выполняться следующее условие

$$f_B < 0,05 \frac{c}{s}$$

где

c - скорость продольных звуковых волн в материале стенки, м/с,

s - толщина стенки, м.

В промышленной звукоизоляции второе ограничение обычно выполняется. Именно поэтому теоретической моделью одностенной конструкции при расчетах звукоизоляции в данном случае служит тонкая пластина. Верхней частотной границей тогда служит верхняя частотная граница допустимых уровней шума.

Таким образом, расчет производится в диапазоне октавных частот от

f_H до f_B .

6. Основные расчетные схемы и формулы

Все виды звукоизоляции, как указывалось выше, могут быть представлены тремя схемами, каждой из которых соответствует своя расчетная формула требуемой звукоизоляции.

Схема 1. Снижение шума путем звукоизоляции машин. Это основной вид звукоизоляции. На рис.1 представлена схема, по которой замкнутая звукоизолирующая оболочка с воздушным слоем вокруг машины акустически изолирует машину от окружающей среды. В этом случае при проектировании акустической изоляции используются два понятия: "звукоизоляция машины" и "звукоизоляция оболочки машины".

Звукоизоляция машины R_M дБ (дБА) по ГОСТ 23628-79 "Шум. Методы измерения звукоизоляции кожухов" есть разность между уровнем шума машины на рабочем месте (в расчетной точке), когда машина не имеет звукоизолирующей оболочки, и уровнем шума звукоизолированной машины в том же месте (в тех же расчетных точках) при прочих равных условиях. Под уровнем шума здесь и далее понимаются: или октавные уровни звукового давления в дБ (для постоянного шума) или уровни звука в дБА (для непостоянного шума). Величина звукоизоляции машины служит для оценки эффективности снижения шума изготовленной звукоизолированной машины, т.е. конечного результата изготовления звукоизоляции.

В процессе проектирования используется другое более общее понятие, а именно звукоизоляция оболочки машины R в дБ (дБА), адекватное понятию звукоизоляции панели, стены, переборки, оболочки кабины, которое определяется согласно ГОСТ 15116-79 "Шум. Методы измерения звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций зданий" как разность интенсивности звука в падающих на преграду волнах и интенсивности в прошедших через преграду волнах. Величина R является предметом проектирования, расчета и наиболее точных измерений звукоизоляции в звукомерных камерах.

Уровень шума L_R в расчетной точке, находящейся на расстоянии r от центра машины со звукоизоляцией оболочки R , определяется с вероятностью 0,9973 формулой

$$L_R = L_N + 3\sigma_{\max} + 10 \lg \left(\frac{\vec{x}}{S_{об}} + \frac{1}{Q_{об}} \right) - R + 10 \lg \left(\frac{S_{об}}{x} \right) + 10 \lg \left(\frac{x}{S_p} + \frac{4}{Q_{\Pi}} \right),$$

где

L_N - уровень звуковой мощности машины,

\vec{x} - поправка на ближнее поле в пространстве между машиной и звукоизолирующей оболочкой,

$S_{об}$ - площадь звукоизолирующей оболочки,

$$Q_{об} = \frac{\alpha_{об} S_{об}}{1 - \alpha_{об}} \quad - \text{ постоянная пространства под оболочкой,}$$

χ - коэффициент искажения поля излучения звуковой мощности звукоизолированной машиной,

$S_p = 2 \pi r^2$ - площадь поверхности сферической формы, проходящей через расчетную точку r ,

Q_p - постоянная помещения, где установлена машина.

Поправка на ближнее поле в пространстве между машиной и оболочкой - величина $\bar{\chi}$ - имеет следующие безразмерные значения

Третьоктвные полосы

частот, Гц	63	80	100	выше 100
$\bar{\chi}$	14	4	2	1

Формула расчета требуемой звукоизоляции оболочки (кожуха) машины $R_{тр.об}$ в дБ (дБА) определяется при условии выполнения в расчетной точке (на рабочем месте) нормы допустимого для человека уровня шума L_H с вероятностью 0,9973 получает вид

$$R_{тр.об} = L_N + 3\sigma_{\max} + 10 \lg \left[\left(\bar{\chi} + \frac{\alpha_{об} - 1}{\alpha_{об}} \right) \left(\frac{1}{S_p} + \frac{4}{Q_{П\chi}} \right) \right] - L_H,$$

В этой формуле величина $3\sigma_{\max}$ (≈ 10 дБ (10 дБА)) выступает как предельная величина поправки на надежность технических методов измерения и расчетов.

Схема 2. Снижение шума путем установки звукоизолирующей стены.

На рис.2 представлена схема, на которой стена площадью $S_{ст.}$ разделяет помещение с постоянной $Q_{1П}$, где установлена машина со звуковой мощностью L_N и коэффициентом искажения поля излучения χ , и помещение с постоянной $Q_{2П}$, где находится рабочее место.

Если принять, что в помещении, где находится рабочее место человека с нормой допустимого уровня шума L_H уровень шума во всех точках примерно одинаков, то формула расчета требуемой звукоизоляции стены $R_{тр.ст.}$ в дБ (дБА) с вероятностью 0,9973 имеет вид

$$R_{mp.cm.} = L_N + 3\sigma_{\max} + 10 \lg \left[\left(\frac{\bar{x}}{S_p} + \frac{1}{Q_{1П}} \right) \left(\frac{4S_{cm}}{Q_{2П}} \right) \right] - L_H.$$

где S_p , м² – площадь поверхности расчетной точки с минимальным расстоянием r , м, от центра машины до стены.

Часто звукоизолированная стена находится на достаточно большом расстоянии от машины, так что

$$(x/S_p) \ll (1/Q_{1П}).$$

и диффузность в обоих помещениях достаточно велика. В этом случае требуемая звукоизоляция стены

$$R_{mp.cm.} = L_N + 3\sigma_{\max} + 10 \lg \left(\frac{4S_{cm}}{Q_{1П} Q_{2П}} \right) - L_H.$$

Но бывает, что стена располагается близко от машины, так что

$$(x/S_p) \gg (1/Q_{1П}).$$

Тогда требуемая звукоизоляция стены

$$R_{mp.cm.} = L_N + 3\sigma_{\max} + 10 \lg \left(\frac{4x S_{cm}}{S_p Q_{2П}} \right) - L_H.$$

Звукоизоляция стены (переборки, выгородки, окна, витрины, двери) – традиционный и самый древний вид звукоизоляции.

Схема 3. *Снижение шума путем установки звукоизолированной кабины.* Установка звукоизолирующей оболочки вокруг рабочего места человека является рациональным способом снижения шума, в случае, когда размеры машины очень велики или же когда необходимое звукоизолирующее пространство для человека невелико, или же имеет место быть и то и другое одновременно.

При определении требуемой звукоизоляции здесь, так же как и для звукоизоляции машины, используются два понятия, а именно: "звукоизоляция кабины" R_K и "звукоизоляция оболочки кабины" R . Последнее понятие адекватно понятию "звукоизоляция оболочки машины". Звукоизоляция кабины по ГОСТ 23426-79 "Шум. Методы измерения звукоизоляции кабин наблюдения и дистанционного управления в производственных зданиях" есть разность между уровнями шума в расчетной точке до установки кабины и после ее установки.

На рис.3 показана схема снижения шума путем установки звукоизолирующей кабины, когда источник шума (машина) расположен против передней стенки кабины. В этом наиболее типичном случае прямой

звук от машины может падать (совместно с диффузной составляющей) только на переднюю стенку кабины, а на другие стенки воздействует только диффузная составляющая звукового поля.

Уровень шума в кабине $L_{K.R}$ в дБ (дБА), от проникновения звука через переднюю стенку со звукоизоляцией R и площадью $S_{сб}$ выразится с вероятностью 0,9973 формулой

$$L_{K.R} = L_N + 3\sigma_{\max} + 10 \lg \left(\frac{x}{S_p} + \frac{1}{Q_{II}} \right) - R + 10 \lg \frac{4 S_{сб}}{Q_K}.$$

где величины с индексом "п" – к помещению, где установлена машина, и с индексом "к" – к помещению кабины.

Часто кабины стоят на достаточно большом расстоянии от машины, так что прямым звуком по сравнению с его диффузной составляющей можно пренебречь, и тогда при условии, что все стенки имеют одинаковую звукоизоляцию R с площадью $S_{сб}$, требуемая звукоизоляция оболочки определится формулой

$$R_{mp.сб.} = L_N + 3\sigma_{\max} + 10 \lg \left[\frac{4(1 - \alpha_K)}{Q_{II} \alpha_K} \right] - L_H.$$

где α_K -средний коэффициент звукопоглощения облицовки кабины изнутри.

Эта формула является основной для большинства расчетов требуемой звукоизоляции оболочки кабины.

7. Требования к конструкции звукоизоляции

Требования к конструкции звукоизоляции машины, звукоизолирующей стены и звукоизолированной кабины адекватны. Сформулируем их к конструкции звукоизоляции машины. Аналогичны требования к конструкции звукоизолирующей стены и звукоизолированной кабины.

Звукоизолирующая оболочка машины состоит из стенок-панелей, каркаса и основания. Заданную геометрическую форму и жесткость оболочки обеспечивают стержневой каркас и рамное основание, которые должны выполняться из тонкостенных профилей, Неразъемные соединения элементов каркаса и основания могут осуществляться сваркой, а разъемные – болтовыми соединениями с жесткой фиксацией соединяемых элементов. Главную звукоизоляцию обеспечивают стенки панели.

Панель выполняется из тонкой металлической пластины с рамкой по контуру и, как правило, с ребрами жесткости. Рамку и ребра жесткости рекомендуется делать из углового или зетобразного профиля и соединять их с пластиной с помощью контактной сварки. Панель необходимо облицевать с внутренней стороны звукопоглощающим материалом, закрытым оболочкой из пленки и прикрепленным к пластине с помощью клея. Для панелей, через которые проходят коммуникации и вибропоры, допускается не ставить звукопоглощающую облицовку. Таких панелей должно быть не более 20% от общей площади звукопоглощающей облицовки. Звукопоглощающий материал рекомендуется закрыть перфорированной зашивкой для предохранения его от механических повреждений. Перфорация ее должна составлять не менее 25% площади панели. На внешнюю сторону панели можно нанести вибропоглощающее покрытие, которое играет также и декоративную роль. Допустимо нанести покрытие и с внутренней стороны, если это технологически более целесообразно.

Панели по способу крепления их к каркасу и основанию делятся на стационарные и открывающиеся. *Стационарные панели*, являясь главной частью оболочки, снимаются только при ее полной разборке. Они крепятся к каркасу и основанию с помощью винтов и болтов. В этих панелях следует располагать узлы прохода коммуникаций. *Открывающиеся панели*, обеспечивая необходимый удобный доступ к различным частям машины, должны сниматься без применения какого-либо инструмента, для чего они крепятся к каркасу с помощью замков, например, клинового типа.

Панели днища, если таковые необходимы, должны иметь наклон к центру, где устанавливается коллектор с трубками для слива конденсата. Зашивку днищевых панелей следует выполнять не перфорированную (как для других панелей), а из сплошного листа и закреплять ее необходимо герметически. Пространство между зашивкой и пластиной панели должно быть заполнено звукопоглощающим материалом.

Панели звукоизолирующей оболочки могут иметь ручки, сконструированные с учетом эргономических требований. Ручки конструируют в виде наружных скоб, утопленные в чашеобразной выемке и съемные.

Основные требования ко всей конструкции звукоизолирующей оболочки таковы: а) обеспечить необходимую звукоизоляцию главной части и всех элементов устройства, б) обеспечить герметичность и виброизоляцию. Последнее требование часто бывает важно, не выполнение его может свести на нет все усилия по звукоизоляции. Для этого присоединение панелей к каркасу, крепление проходов коммуникаций и т.д. должны быть надежно уплотнены посредством прокладок из мягкой резины или другого уплотняющего акустического материала так, чтобы отсутствовали *какие-либо отверстия и звуковые мостики.*

Дополнительные сведения по конструкции звукоизоляции следует получить из представленных в конце методических указаний литературных данных.

8. Расчет одностенной преграды

Звукоизоляция одностенной конструкции оболочки определяется по формуле

$$R = R_1 + \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3,$$

где

R_1 - звукоизоляция одностенной основной преграды,

$$\Delta R_1 = 20 \lg \sum_{i=1}^n m_i \quad - \quad \text{учет суммарной массы на единицу}$$

поверхности всех слоев конструкции,

m_i - масса на единицу поверхности одностенной основной преграды,

n - число слоев,

ΔR_2 - влияние ребер жесткости,

ΔR_3 - влияние звукопоглощающего покрытия.

Расчет звукоизоляции одностенной основной преграды (пластины) выполняется графоаналитическим методом в следующем порядке:

- а) для заданного материала и толщины пластины рассчитывается критическая частота $f_{кр}$ - см. таблицу 1, где S толщина пластины в мм,
- б) на типовой координатной сетке в диапазоне от 63 Гц до 8000 Гц по оси абсцисс наносятся в логарифмическом масштабе среднегеометрические значения третьоктавных полос частот f , а по оси ординат откладываются четыре значения абсцисс: $0,25 f_{кр}$, $0,50 f_{кр}$, $f_{кр}$ и $2,00 f_{кр}$;
- в) для указанных выше четырех абсцисс строятся четыре значения ординат R_1 , указанные в таблице 1.

Таблица 1

Ординаты для построения расчетной кривой звукоизоляции R_1

Материал	Плотность Крит.		Звукоизоляция, дБ			
	кг/м ³	частота	$0,25 f_{кр}$	$0,5 f_{кр}$	$f_{кр}$	$2 f_{кр}$
-	$f_{кр}$		Гц			
Сталь	7800	12000/s	35	37	30	39
Титан	4500	12000/s	31	33	26	35
Алюминий	2800	12000/s	29	31	23	31
Стекло силикатное	2500	12000/s	32	34	27	34
Оргстекло	1200	32000/s	31	36	30	39
Стеклопластик	1700	17000/s	28	31	28	34

г) найденные таким способом четыре точки соединяются прямыми линиями, затем от первой точки в сторону низких частот проводят прямую линию с наклоном вниз к началу координат, равным 4 дБ на октаву, а от четвертой точки в сторону высоких частот – прямую линию с наклоном вверх, равным 6 дБ на октаву.

Построенная кривая представляет собой значения величины R_1 (см. рис.4).

Для диапазона частот ниже критической (примерно на октаву) звукоизоляцию одностенной тонкой преграды рассчитывается по формуле:

$$R_1 = 14,5 \lg(m f) - 29, \text{ дБ},$$

где $m = \rho s$ - поверхностная масса преграды в кг/м²,
 (ρ – плотность в кг/м³, s – толщина в м.),
 f - частота в Гц.

Ребра жесткости, если они имеются у одностенной конструкции (ребра жесткости каркаса не в счет), должны иметь высоту менее 30-кратной толщины пластины и расстояние между собой более 700 мм. Для таких ребер жесткости величина $\Delta R_2 = 0$. Если отношение высоты ребер жесткости к толщине пластины больше 30, а расстояние между ними равно и меньше 700 мм, то величина ΔR_2 определяется по графику рис. 5 в зависимости от расстояния "а" между ребрами жесткости.

Влияние на звукоизоляцию звукопоглощающего, установленного вплотную к пластине, определяется следующим образом. Рекомендуемая толщина звукопоглощающего покрытия равна 50 мм. Наиболее подходящие материалы: ППУ-ЭТ, БЗМ и АТМ-1 (см. раздел 10). Для этих трех лучших звукопоглотителей величина ΔR_3 в дБ (дБА) для третьоктавных полос частот в Гц принимает следующие значения.

Таблица 2

Значение величины ΔR_3

f	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
ΔR_3	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	21	22

Коэффициента звукопоглощения облицовок α для изделий и конструкций, применяемых в строительстве, берется по СНиП 11-12-77 "Строительные нормы и правила. Защита от шума".

9. Расчет двустенной преграды

Звукоизоляция двустенной конструкции (например, звукоизолирующего окна или звукоизолирующей двойной двери), состоящей из двух одностенных конструкций и слоя воздуха между ними, может быть определена расчетом при выполнении следующих требований.

Одностенные конструкции по разделу 8 должны соединяться между собой звукоизолирующими мостиками, не ухудшающими звукоизоляции двустенной конструкции. Конструкция звукоизолирующих мостиков принимается по литературным данным.

Диапазон частот, в пределах которого расчет правомерен, устанавливается из частотной области общего действия первой и второй одностенной конструкции.

Расстояние между одностенными конструкциями должно быть в пределах от 50 мм (не меньше) до 150 мм (и больше).

Расчет звукоизоляции двустенной конструкции производится в третьоктавных полосах частот. Результат его оформляется в виде графика, на оси ординат которого откладывается значение звукоизоляции в дБ, а по оси абсцисс наносятся в логарифмическом масштабе частоты звуковых колебаний в Гц (аналогично звукоизоляции одностенной конструкции).

Расчет начинается с определения граничной частоты в Гц по формуле

$$f_{Г1} = 85 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{d_2 m_1 m_2}}$$

где

d_2 - расстояние между пластинами в м, m_1 и m_2 - поверхностная масса пластины первой и второй конструкции, кг/м².

Звукоизоляция от нижней границы расчетного диапазона частот до первой граничной частоты $f_{Г1}$ рассчитывается по формуле

$$R_D = 20 \lg(10^{R_{1\Sigma}/20} + 10^{R_{2\Sigma}/20}),$$

где

$R_{1\Sigma}$ и $R_{2\Sigma}$ - звукоизоляция, дБ (дБА) первой и второй одностенной конструкции (см. раздел 8).

Вторая граничная частота в Гц рассчитывается по формуле

$$f_{Г2} = \frac{86}{d_2}$$

В районе частот от первой $f_{Г1}$ до второй $f_{Г2}$ граничных частот звукоизоляция рассчитывается по формуле

$$R_D = R(f_{Г1}) + \frac{R(f_{Г2}) - R(f_{Г1})}{\lg f_{Г2} - \lg f_{Г1}} (\lg f - \lg f_{Г1}),$$

где

$R(f_{Г1})$ - звукоизоляция двустенной конструкции на частоте $f_{Г1}$,

$R(f_{Г2})$ - звукоизоляция двустенной конструкции на частоте $f_{Г2}$.

В районе частот от второй граничной частоты $f_{Г2}$ до верхней границы расчетного диапазона частот звукоизоляция рассчитывается по формуле

$$R_D = 0,9(R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma}),$$

где

$R_{1\Sigma}$ и $R_{2\Sigma}$ - звукоизоляция первой и второй конструкций (см. раздел 8) на частотах от $f_{Г2}$ до верхней границе расчетного диапазона частот.

Для соединения первой и второй конструкций в двустенных конструкциях должны применяться *звукоизолирующие мостики*. Наиболее часто для этого используются так называемые *упругие мостики*. Упругий мостик состоит из виброизолирующей прокладки (см. табл.5) толщиной h_M и площадью S_M , которую устанавливают между соединительными элементами. Жесткость прокладки в Н/м определяется формулой

$$D = \frac{E_M S_M}{h_M},$$

где

E_M -модуль упругости материала прокладки, Па.

Жесткость прокладки должна удовлетворять требованию

$$D \leq s_1^2 f_{Г1} \sqrt{\rho_1 E_1}$$

где

s_1 - толщина пластины одностенной конструкции, м;

ρ_1 - плотность материала этой пластины, кг/м³;

E_1 - модуль упругости этой же пластины, Па.

Жесткость мостика подсчитывается отдельно для пластин первой и второй конструкций, а затем выбирают меньшее значение.

10. Акустические материалы

Акустические материалы по своему назначению делятся на четыре группы: звукоизолирующие, звукопоглощающие, вибропоглощающие и виброизолирующие.

Основные звукоизолирующие материалы представлены в разделе 8. Дополнительные сведения о них даны ниже в таблице 3.

Таблица 3

Звукоизолирующие материалы			
Материал	Плотность, кг/м ³ ρ	Скорость продольных волн, м/с c	Модуль упругости Па E
Сталь	7800	5200	$2,1 \cdot 10^{11}$
Титан	4500	5200	$1,2 \cdot 10^{11}$
Алюминий	2800	5100	$7,0 \cdot 10^{10}$
Стекло силикатное	2500	5200	$6,7 \cdot 10^{10}$
Оргстекло	1200	1900	$4,3 \cdot 10^9$
Стеклопластик	1700	1750	$5,2 \cdot 10^8$

Звукопоглощающие материалы и изделия из них должны иметь определенный коэффициент звукопоглощения, полученный в результате измерения или определяемый расчетом. К хорошим звукопоглощающим материалам обычно относят такие, коэффициент звукопоглощения которых превышает указанные ниже значения:

октавная полоса в Гц	100	250	500	1000	2000	4000	8000
α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

Для звукоизоляции машин, стен и кабин рекомендуются следующие звукопоглощающие материалы.

Звукопоглощающие изделия марки БЗМ изготавливаются в виде матов из холстов на основе штапельных супертонких базальтовых волокон диаметром не более трех микрон, облицованных акустически прозрачной оболочкой из стеклоткани. Объемная масса равна 17 – 25 кг/м³. Размеры мата составляют 500 на 500 мм (минимальные) и 1000 на 1000 мм (максимальные). Толщина матов составляет от 50 до 200 мм. Коэффициент теплопроводности равен 0,035 ккал/м.ч. С. Температура применения – в пределах от – 200 до +700 С. Материал влагостойкий и биостойкий, не выделяет токсических веществ, пожаробезопасен.

Маты из супертонкого стекловолокна марки АТМ-1 представляют собой слой перепутанных штапельных волокон, скрепленных силами естественного сцепления. Стекловолоконное волокно толщиной от двух до трех микрон изготавливается из малоборного стекла. Объемная масса равна 8 кг/м³. Коэффициент теплопроводности равен 0,045 ккал/м.ч. С. Мат может

применяться: до +450 С , с повышенной влажностью при обработке его водоотталкивающей добавкой. Материал негорючий, биостойкий и влагостойкий. Гигроскопичность его равна 50%.

Поропласт полиуретановый эластичный трудносгораемый марки ППУ-ЭТ представляет собой газонаполненную пластмассу пористой структуры. Объемная масса равна 40 кг/м³. Размеры пластин 200 на 400 мм , 850 и 1000 мм , толщиной от 5 до 300 мм . Коэффициент теплопроводности равен 0,045 ккал/м.ч. С. Может применяться при температуре от 15 до 100 С. Материал биостойкий и влагостойкий. Обладает хорошими технологическими качествами. В связи с возможностью выделения в процессе горения токсических веществ его применение должно быть согласовано с органами пожарной охраны и Госсанинспекции.

Значения коэффициента звукопоглощения α указанных материалов толщиной 50 мм , расположенного вплотную к стенке панели приведены в таблице 4.

Таблица 4

Коэффициент звукопоглощения α

Материал	Октавные полосы частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
БЗМ	0,06	0,08	0,27	0,82	0,67	0,76	0,83	0,84
АТМ-1	0,06	0,08	0,17	0,66	0,94	0,89	0,96	0,95
ППУ-ЭТ	0,12	0,18	0,40	0,60	0,62	0,70	0,64	0,58

Значения коэффициентов звукопоглощения облицовок строительных конструкций принимаются по данным СНиП 11-12-77 "Строительные нормы и правила. Защита от шума".

Виброизолирующие материалы должны иметь возможно меньший динамический модуль упругости – не более $2 \cdot 10^7$ Н/м². Наиболее широко применяются для виброизоляции мягкая резина, губчатая резина с замкнутыми порами и базальтовый картон, характеристики которых приведены ниже.

Таблица 5

Виброизолирующие материалы

Материал	Плотность кг/м ³	Модуль упр. Н/м ²	Коэфф. потерь	Акуст.сопр кг/м ² .с
Резина листовая по ГОСТ 7338-65	1200	$11 \cdot 10^5$	$15 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^4$
Пластина губчатая с двумя пленками по ТУ 38-106867-75	420	$3,2 \cdot 10^5$	$13 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^4$

при нагрузке

		$2 \cdot 10^3$		
	720	$25,7 \cdot 10^5$	$15 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^4$
		при нагрузке $2 \cdot 10^3$		
Картон базальтовый теплоизоляционный марки БТК-1 по ТУ 21 УССР 915-75	150	$2,5 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^4$

В качестве материалов этой группы могут быть также использованы:

а) плиты из полистирольного эластифицированного пенопласта, имеющие объемную массу $20-35 \text{ кг/м}^3$, относительное сжатие 10% и динамический модуль упругости $8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$,

б) плиты древесноволокнистые изоляционные с объемной массой 250 кг/м^3 , относительным сжатием 1,5 % и динамическим модулем упругости $1,2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$.

Виброизолирующие конструкции из указанных материалов конструктивно принимаются по литературным данным.

Вибропоглощающие материалы должны иметь коэффициент потерь не менее 0,2 и динамический модуль упругости не менее 10^8 Н/м^2 . Вибропоглощение осуществляется двумя способами: нанесением на конструкцию вибропоглощающих покрытий в виде мастик и приклеиванием вибропоглощающего материала на данную конструкцию. Рекомендуются вибропоглощающие материалы указаны ниже.

Таблица 6

Вибропоглощающие материалы

Материал	Плотность кг/м^3	Способ нанесения	Изготовитель
Листовая пластмасса "Агат" по ТУ 605-964-72 Температура эксплуатации от - 20 до + 100 0С	1380	Приклеивается с помощью клея ПН-3 по ТУ 605- -21-843-73	Владимирский химзавод
Мастичный материал "Антивибрит-2" по ТУП 683-70. Температура эксплуатации от -20 до +150 0С	1500	Наносится методом шпателирования	Московский завод пласти- ческих масс
Листовой полимерный материал "Радуга" по			

ТУ 605-211-891-73.

**Температура эксплуата-
ции от – 20 до + 100 0С.**

1470

**Приклеивается с
помощью клея ПН-3
по ТУ 605-211-843-73**

**Московский
завод пласти-
ческих масс**

**Мастичный битумный
материал БПМ по
ТУ 610-882-69. Темпера-
тура эксплуатации
от – 20 до + 35 0С.**

1350

**Наносится методом
шпателирования**

**Черновицкий
химический
завод**

Вибропоглощающие конструкции из указанных материалов конструктивно принимаются по литературным данным, указанным в конце методических указаний.

11. Требования к технологии изготовления звукоизоляции

Основные требования к современной технологии производства заключаются: а) в обеспечении изготовления изделия с наивысшим качеством и при наименьших затратах материалов и времени, б) при минимизации технического обслуживания и ремонта звукоизоляции.

Для всех видов звукоизоляции в энергетических и промышленно-гражданских сооружениях при отработке их конструкции на технологичность ставятся и решаются следующие задачи.

Стандартизация частей звукоизоляции, являющихся сборочными единицами или деталями. Использование стандартных частей облегчает их взаимозаменяемость. Это уменьшает пригоночные работы при сборке и существенно облегчает ремонт звукоизоляции.

Унификация частей изделия. Здесь используются составные части конструкции, отработанные на технологичность и освоенные в производстве, в том числе покупные отечественные и зарубежные изделия, специально выпускаемые для звукоизоляции с минимальным количеством наименований и типоразмеров.

Типовые технологические процессы сборки, обработки, контроля, испытаний, технического обслуживания и ремонта. Это существенно уменьшает конечную стоимость изделия.

Оценка технологичности звукоизоляции имеет три вида показателей: *базовые*, значения которых регламентированы в соответствующей директивной документацией на изделие (техническое задание и т.д.); *проектируемой конструкции*, значения которых достигнуты в процессе отработки конструкции на технологичность; *уровень технологичности конструкции* изделия, значения которого регламентированы соответствующей итоговой документацией на изготовление звукоизоляции (технические условия и т.д.).

Требования к технологии изготовления звукоизоляции должны отвечать требованиям: ГОСТ 14.002-73 "Основные требования к технологической подготовке производства", ГОСТ 14.003-74 "Порядок организации научно-технических разработок в области технологической подготовки производства, приемки и передачи их в производства", ГОСТ 14.201-83 "Общие правила обеспечения технологичности конструкции изделий", ГОСТ 15001-73 "Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения", ГОСТ 16.310-78 "Управление технологическими процессами, Контроль технологической дисциплины, Общие положения", ГСТ 28.001-83 "Система технического обслуживания и ремонт техники, Основные положения", ГОСТ 30.001-83 "Система стандартов эргономики и технической эстетики. Основные положения" и ГОСТ 22851-77 "Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения".

Литература

1. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль. Под редакцией академика И.А.Глебова. Ленинград, "Судостроение", 1986.
2. Боголепов И.И., Осипов Г.Г. Современные акустические материалы в строительстве и промышленности. ЛДНТП, Ленинград, 1977.
3. Звукоизолирующие и звукопоглощающие конструкции в строительстве и на транспорте. Сборник под редакцией И.И.Боголепова. ЛДНТП, Ленинград, 1974.
4. Звукоизолирующие и звукопоглощающие конструкции в практике борьбы с шумом. Сборник под редакцией И.И.Боголепова. ЛДНТП, Ленинград, 1977.
5. Справочник по судовой акустике. Под общей редакцией И.И.Клюкина и И.И.Боголепова. Ленинград, "Судостроение", 1978.
6. 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.
7. Контроль шума в промышленности. Предупреждение, снижение и контроль промышленного шума в Англии. Под редакцией Дж.Вебба. Ленинград, "Судостроение", 1981.
8. Методика обработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. Гскомстандартов СМ СССР. Москва, Издательство стандартов, 1976.
9. Снижение шума в зданиях и жилых районах. Под редакцией Г.Л.Осипова и Е.Я.Юдина. Москва, Стройиздат, 1987.
10. Григорьян Ф.Е., Перцовский Е.А. Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок. Ленинград, "Энергия", 1980.
11. Филатов В.И., Мясников В.В. Рекомендации по снижению шума в цехах литья, экструзии и прессования полимерных материалов, Ленинград, ВЦНИИ ВЦСПС, 1982.
12. Клюкин И.И. Физико-технические основы виброизоляции механизмов и другого виброактивного оборудования. Ленинградский ордена Ленина кораблестроительный институт. 1986.
13. Заборов В.И., Ващук Д.Б., Клячко Л.Н. Инструкция по проектированию и расчету шумоглушения строительными акустическими методами на предприятиях черной металлургии. Челябинск, Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда и техники безопасности черной металлургии. 1979.
14. Звуко- и теплоизоляция ограждающих конструкций. Под редакцией В.Н.Мякшина и А.А.Альбицкого. Научно-исследовательский институт строительных конструкций Госстроя СССР. Киев, "Будівельник", 1976.
15. Борьба с шумом на производстве. Под ред Е.Я.Юдина. Москва, "Машиностроение", 1985.
16. Акустическая изоляция помещений и оборудования в промышленности и на транспорте. Сборник под редакцией В.И.Попкова. ЛДНТП, Ленинград, 1985.
17. Витринский И.М., Корчма М.В., Грандина З.В. Применение общепромышленных решений, способствующих уменьшению шума

- кузнечно-прессовых машин. Методические рекомендации. Научно-исследовательский институт информации по машиностроению. Москва, 1977.
18. Ляпунов В.Т., Лавендел Э.Э., Шляпочников С.А. Резиновые виброизоляторы. Справочник. Ленинград, "Судостроение", 1988.
 19. Колесников А.Е. Акустические измерения. Ленинград, "Судостроение", 1983.
 20. Никифоров А.С. Вибропоглощение на судах. Ленинград, "Судостроение", 1979.
 21. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций. Ленинград, "Судостроение", 1990.
 22. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. Москва, Стройиздат, 1986.
 23. Ковригин С.Д., Крышов С.И. Архитектурно-строительная акустика. Москва, "Высшая школа", 1986.
 24. Исаков В.М., Федорович М.А. Виброшумозащита в электромашиностроении. Ленинград, "Энергоатомиздат", 1986.
 25. Гомзигов Э.А., Изак Г.Д. Проектирование протившумового комплекса на судах. Ленинград, "Судостроение", 1981.
 26. Вахитов Я.Ш. Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура. Москва, "Искусство", 1982.
 27. Григорьян Ф.Е., Михайлов Е.Н., Ханин Г.А., Щевьев Ю.П. Борьба с шумом стационарных энергетических машин. Ленинград, "Машиностроение", 1983.
 28. Колесников А.Е. Шум и вибрация. Ленинград, "Судостроение", 1988.
 29. Попков В.И., Мышинский Э.Л., Попков О.И. Виброакустическая диагностика в судостроении. Ленинград, "Судостроение", 1989.
 30. Клюкин И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. Ленинград, "Судостроение", 1971.
 31. Эргономика. Лабораторные работы. Под редакцией Г.В.Дуганова. Киев, "Вища школа", 1976.
 32. Справочник проектировщика. Защита от шума в градостроительстве. Под редакцией Г.Л.Осипова. Москва, "Стройиздат", 1993.
 33. Глебов И.А. Проблемы электромашиностроения, электроэнергетики, электрофизики и их решение. Санкт-Петербург, "Наука". 1999.
 34. Овсянников С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях. Томск, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2000.
 35. Ионов А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах. Санкт-Петербург, Государственный научный центр Российской Федерации Центральный научно-исследовательский институт им. академика А.Н.Крылова, 2000.
 36. 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.
 37. Боголепов И.И. Архитектурная акустика. Учебник-справочник. Под редакцией академика И.А.Глебова. Санкт-Петербург, "Судостроение", 2001.

Приложение 1

**(составлено главным научным сотрудником Акустического института РАН
канд. физ.-мат. наук Г.М.Авиловой)**

**СПИСОК ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ ГОСТов,
введенных в действие, после 1990 года**

1. ГОСТ 24647-91. Вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума и методы определения уровня шума на местности.
2. ГОСТ 30163.0-95. Бытовые и аналогичные электрические приборы. Методы определения распространяющегося в воздухе шума. Ч.1. Общие требования.
3. ГОСТ Р 50951-96. Внешний шум магистральных и маневровых тепловозов.
4. ГОСТ 30163.2-96. Бытовые и аналогичные электрические приборы. Методы определения распространяющегося в воздухе шума. Часть 2. Дополнительные требования к посудомоечным машинам
5. ГОСТ 30530-97. Шум. Методы расчета предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин.
6. ГОСТ 30457-97. Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума на основе интенсивности звука. Измерение в дискретных точках. Технический метод.
7. ГОСТ 27409-97. Шум. Нормирование шумовых характеристик стационарного оборудования. Основные положения.
8. ГОСТ Р 51227-98. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения мотоциклов в связи с производимым ими шумом.
9. ГОСТ 30575-98. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Методы измерения и оценки воздушного шума.
10. ГОСТ Р 41.9-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий L2, L4 и L5 в связи с производимым ими шумом.
11. ГОСТ Р 41.51-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных средств, имеющих не менее четырех колес, в связи с производимым ими шумом.
12. ГОСТ Р 41.63-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения мопедов в отношении производимого ими шума.
13. ГОСТ Р 51400-99. Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технические методы для малых переносных источников шума в реверберационных полях в помещениях с жесткими стенами и в специальных реверберационных камерах.
14. ГОСТ Р 51401-99. Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью.
15. ГОСТ Р 51402-99. Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью.
16. ГОСТ Р 12.4.212-99. Система стандартов безопасности труда. Средства

индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Оценка результирующего значения А-корректированных уровней звукового давления при использовании средств индивидуальной защиты от шума.

17. ГОСТ Р 12.4.210-99. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумные наушники, смонтированные с защитной каской. Общие технические требования. Методы испытаний.

18. ГОСТ Р 12.4.213-99. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противошумных наушников для оценки качества.

19. ГОСТ Р 12.4.211-99. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Субъективный метод измерения поглощения шума.

20. ГОСТ 30163.3-99. Бытовые и аналогичные электрические приборы. Методы определения распространяющегося в воздухе шума. Часть 2. Дополнительные требования к стиральным машинам и центрифугам.

21. ГОСТ Р 51616-2000. Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний.

22. ГОСТ 12.2.030-2000. Система стандартов безопасности труда. Машины ручные. Шумовые характеристики. Нормы. Методы испытаний.

23. ГОСТ 30683-2000. Шум машин. Измерение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках. Метод с коррекциями на акустические условия.

24. ГОСТ Р 41.41-2001. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения мотоциклов в связи с производимым ими шумом.

25. ГОСТ 30720-2001. Шум машин. Определение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках по уровню звуковой мощности.

26. ГОСТ 30691-2001. Шум машин. Заявление и контроль значений шумовых характеристик.

27. ГОСТ Р 51920-2002. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Внешний шум. Нормы и методы оценки.

28. ГОСТ 23941-2002. Шум машин. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования.

29. ГОСТ Р 51943-2002. Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности.

30. ГОСТ ИСО 230-5-2002. Испытания станков. Часть 5. Определение шумовых характеристик.

Приложение 2

(составлено главным научным сотрудником Акустического института РАН
канд. физ.-мат. наук Г.М.Авиловой)

СПИСОК МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ИСО,

введенных в действие, после 1990 года

1. ISO 140-8:1997 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 8: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a heavyweight standard floor.
2. ISO 230-5:2000 Test code for machine tools -- Part 5: Determination of the noise emission.
3. ISO 362:1998 Acoustics -- Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles -- Engineering method (available in English only)
4. ISO 389-4:1994 Acoustics -- Reference zero for the calibration of audiometric equipment -- Part 4: Reference levels for narrow-band masking noise
5. ISO 1680:1999 Acoustics -- Test code for the measurement of airborne noise emitted by rotating electrical machines
6. ISO 1999:1990 Acoustics -- Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment
7. ISO 2923:1996 Acoustics -- Measurement of noise on board vessels
8. ISO 3740:2000 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources -- Guidelines for the use of basic standards
9. ISO 3741:1999 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure -- Precision methods for reverberation rooms
10. ISO 3743-1:1994 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources -- Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields -- Part 1: Comparison method for hard-walled test rooms
11. ISO 3743-2:1994 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure -- Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields -- Part 2: Methods for special reverberation test rooms
12. ISO 3744:1994 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure -- Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane
13. ISO 3746:1995 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure -- Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane
14. ISO 3747:2000 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure -- Comparison method in situ
15. ISO 3822-1:1999 Acoustics -- Laboratory tests on noise emission from appliances and equipment used in water supply installations -- Part 1: Method of measurement
16. ISO 3822-2:1995 Acoustics -- Laboratory tests on noise emission from appliances and equipment used in water supply installations -- Part 2: Mounting and operating conditions for draw-off taps and mixing valves
17. ISO 3822-3:1997 Acoustics -- Laboratory tests on noise emission from appliances and equipment used in water supply installations -- Part 3: Mounting and operating conditions for in-line valves and appliances

18. ISO 3822-4:1997 Acoustics -- Laboratory tests on noise emission from appliances and equipment used in water supply installations -- Part 4: Mounting and operating conditions for special appliances

19. ISO 4412-1:1991 Hydraulic fluid power -- Test code for determination of airborne noise levels -- Part 1: Pumps

20. ISO 4412-2:1991 Hydraulic fluid power -- Test code for determination of airborne noise levels -- Part 2: Motors

21. ISO 4412-3:1991 Hydraulic fluid power -- Test code for determination of airborne noise levels -- Part 3: Pumps -- Method using a parallelepiped microphone array

22. ISO 4871:1996 Acoustics -- Declaration and verification of noise emission values of machinery and equipment

23. ISO 5131:1996 Acoustics -- Tractors and machinery for agriculture and forestry -- Measurement of noise at the operator's position -- Survey method

24. ISO 5135:1997 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise from air-terminal devices, air-terminal units, dampers and valves by measurement in a reverberation room

25. ISO 6393:1998 Acoustics -- Measurement of exterior noise emitted by earth-moving machinery -- Stationary test conditions (available in English only)

26. ISO 6394:1998 Acoustics -- Measurement at the operator's position of noise emitted by earth-moving machinery -- Stationary test conditions (available in English only)

27. ISO 6395:1988 Acoustics -- Measurement of exterior noise emitted by earth-moving machinery -- Dynamic test conditions

28. ISO 6396:1992 Acoustics -- Measurement at the operator's position of noise emitted by earth-moving machinery -- Dynamic test conditions

29. ISO 6798:1995 Reciprocating internal combustion engines -- Measurement of emitted airborne noise -- Engineering method and survey method

30. ISO 7188:1994 Acoustics -- Measurement of noise emitted by passenger cars under conditions representative of urban driving

31. ISO 7216:1992 Acoustics -- Agricultural and forestry wheeled tractors and self-propelled machines -- Measurement of noise emitted when in motion

32. ISO 7235:1991 Acoustics -- Measurement procedures for ducted silencers -- Insertion loss, flow noise and total pressure loss

33. ISO 7779:1999 Acoustics -- Measurement of airborne noise emitted by information technology and telecommunications equipment

34. ISO 7779:1999/Amd 1:2003 Noise measurement specification for CD/DVD-ROM drives

35. ISO 7960:1995 Airborne noise emitted by machine tools -- Operating conditions for woodworking machines

36. ISO 8528-10:1998 Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets -- Part 10: Measurement of airborne noise by the enveloping surface method

37. ISO 8960:1991 Refrigerators, frozen-food storage cabinets and food freezers for household and similar use -- Measurement of emission of airborne acoustical noise

38. ISO 9568:1993 Cinematography -- Background acoustic noise levels in theatres, review rooms and dubbing rooms (available in English only)

39. ISO 9612:1997 Acoustics -- Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment

40. ISO 9614-1:1993 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity -- Part 1: Measurement at discrete points
41. ISO 9614-2:1996 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity -- Part 2: Measurement by scanning
42. ISO 9614-3:2002 Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity -- Part 3: Precision method for measurement by scanning
43. ISO 9645:1990 Acoustics -- Measurement of noise emitted by two-wheeled mopeds in motion -- Engineering method
44. ISO 9902-1:2001 Textile machinery -- Noise test code -- Part 1: Common requirements
45. ISO 9902-2:2001 Textile machinery -- Noise test code -- Part 2: Spinning preparatory and spinning machinery
46. ISO 9902-3:2001 Textile machinery -- Noise test code -- Part 3: Nonwoven machinery
47. ISO 9902-4:2001 Textile machinery -- Noise test code -- Part 4: Yarn processing, cordage and rope manufacturing machinery
48. ISO 9902-5:2001 Textile machinery -- Noise test code -- Part 5: Weaving and knitting preparatory machinery
49. ISO 9902-6:2001 Textile machinery -- Noise test code -- Part 6: Fabric manufacturing machinery
50. ISO 9902-7:2001 Textile machinery -- Noise test code -- Part 7: Dyeing and finishing machinery
51. ISO 10302:1996 Acoustics -- Method for the measurement of airborne noise emitted by small air-moving devices
52. ISO 10494:1993 Gas turbines and gas turbine sets -- Measurement of emitted airborne noise -- Engineering/survey method
53. ISO 10844:1994 Acoustics -- Specification of test tracks for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles
54. ISO 10847:1997 Acoustics -- In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types
55. ISO 10996:1999 Photography -- Still-picture projectors -- Determination of noise emissions (available in English only)
56. ISO 11094:1991 Acoustics -- Test code for the measurement of airborne noise emitted by power lawn mowers, lawn tractors, lawn and garden tractors, professional mowers, and lawn and garden tractors with mowing attachments
57. ISO 11200:1995 Acoustics -- Noise emitted by machinery and equipment -- Guidelines for the use of basic standards for the determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions
58. ISO 11201:1995 Acoustics -- Noise emitted by machinery and equipment -- Measurement of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions -- Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane
59. ISO 11202:1995 Acoustics -- Noise emitted by machinery and equipment -- Measurement of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions -- Survey method in situ
60. ISO 11203:1995 Acoustics -- Noise emitted by machinery and equipment -- Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions from the sound power level

61. ISO 11204:1995 Acoustics -- Noise emitted by machinery and equipment -- Measurement of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions -- Method requiring environmental corrections
62. ISO/TR 11688-1:1995 Acoustics -- Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment -- Part 1: Planning
63. ISO/TR 11688-2:1998 Acoustics -- Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment -- Part 2: Introduction to the physics of low-noise design
64. ISO 11689:1996 Acoustics -- Procedure for the comparison of noise-emission data for machinery and equipment
65. ISO 11690-1:1996 Acoustics -- Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery -- Part 1: Noise control strategies
66. ISO 11690-2:1996 Acoustics -- Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery -- Part 2: Noise control measures
67. ISO/TR 11690-3:1997 Acoustics -- Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery -- Part 3: Sound propagation and noise prediction in workrooms
68. ISO 11819-1:1997 Acoustics -- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise -- Part 1: Statistical Pass-By method
69. ISO 12001:1996 Acoustics -- Noise emitted by machinery and equipment -- Rules for the drafting and presentation of a noise test code
70. ISO 13332:2000 Reciprocating internal combustion engines -- Test code for the measurement of structure-borne noise emitted from high-speed and medium-speed reciprocating internal combustion engines measured at the engine feet
71. ISO/TS 13474:2003 Acoustics -- Impulse sound propagation for environmental noise assessment
72. ISO 14163:1998 Acoustics -- Guidelines for noise control by silencers
73. ISO 15086-1:2001 Hydraulic fluid power -- Determination of the fluid-borne noise characteristics of components and systems -- Part 1: Introduction
74. ISO 15086-2:2000 Hydraulic fluid power -- Determination of the fluid-borne noise characteristics of components and systems -- Part 2: Measurement of the speed of sound in a fluid in a pipe
75. ISO 15664:2001 Acoustics -- Noise control design procedures for open plant
76. ISO/TS 15666:2003 Acoustics -- Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys
77. ISO 15667:2000 Acoustics -- Guidelines for noise control by enclosures and cabins
78. ISO 15739:2003 Photography -- Electronic still-picture imaging -- Noise measurements (available in English only)
79. ISO 15744:2002 Hand-held non-electric power tools -- Noise measurement code -- Engineering method (grade 2)

Рисунки

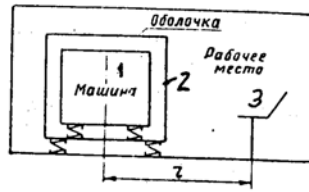


Рис. 1. Схема снижения шума путем звукоизоляции машин.
1- машина, 2 оболочка, 3 – рабочее место

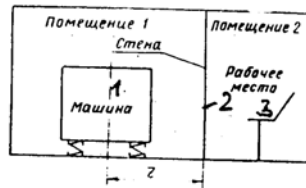


Рис. 2. Схема снижения шума путем установки звукоизолирующей стены
1 – машина, 2 – стена, 3 – рабочее место

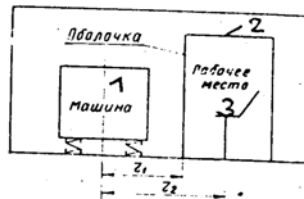


Рис. 3. Схема снижения шума путем установки звукоизолирующей кабины
1 – машина 2 – оболочка, 3 – рабочее место

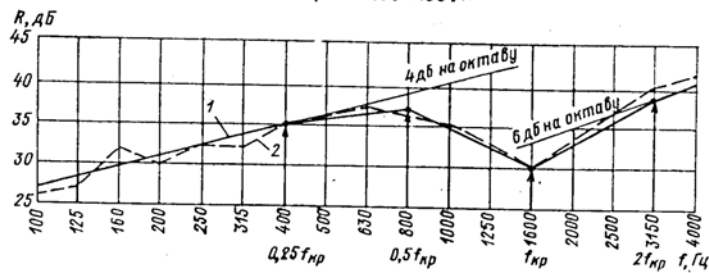


Рис. 4. Звукоизоляция стальной пластины толщиной 7 мм с ребрами жесткости из полособульба № 12
1 – расчетные значения, 2 – экспериментальные значения

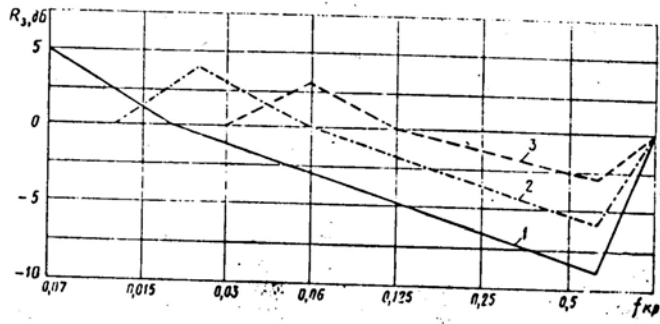


Рис. 5. Влияние ребер жесткости на звукоизоляцию пластины

1 – $a = 300$ мм, 2 – $a = 500$ мм, 3 – $a = 700$ мм.