ЦНИИЭП учебных зданий
Госграждансстроя

Рекомендации

по созданию оптимального акустического режима в учебных помещениях

Москва 1983

gost.e-ecolog.ru

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ ТИПОВОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШКОЛ, ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ, СРЕДНИХ И ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ (ЦНИИЭП УЧЕБНЫХ ЗДАНИЙ) ГОСГРАЖДАНСТРОЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЖИМА В УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Москва Стройиздат 1983

УДК 534.84:727.1/.4

Рекомендованы к изданию решением Научно-технического совета ЦНИИЭП учебных зданий.

Рекомендации по созданию оптимального акустического режима в учебных помещениях / ЦНИИЭП учебных зданий Госгражданстроя. — М.: Стройиздат, 1983. — 48 с.

Приведены правила и приемы акустического проектирования учебных зданий. Даны конструктивные предложения по обеспечению оптимального акустического режима (отличной разборчивости речи) в учебных помещениях различного назначения, рекомендации по оптимальному времени реверберации и обеспечению оптимального шумового режима в учебных помещениях.

Для архитекторов, проектировщиков, инженеров-акустиков.

Табл. 12, ил. 33.

ЦНИИЭП учебных зданий
Госгражданстроя

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО СОЗДАНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЖИМА В УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Редакция инструктивно-нормативной литературы

Зав. редакцией *Г. А. Жигачева*
Редактор *Л. Н. Кузьмина*
Мл. редактор *Л. Н. Козлова*
Технический редактор *Ю. Л. Циханкова*
Корректор *Н. О. Родионова*

Н/К

Сдано в набор 16.08.82. Подписано в печать 06.01.83. Т-03108. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 3. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 2,52. Усл. кр.-отт. 2,73. Уч.-изд. л. 2,91. Тираж 6000 экз. Изд. № XII—81. Заказ 1250. Цена 15 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а.

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, 103051, Цветной бульвар, 26.

Р 3202000000—233
047(01)—83 Инструкт.-нормат., II вып. — 196—82

© Стройиздат, 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

В нашей стране строится много учебных зданий. Ежегодно вступает в строй около 2 тыс. школ, увеличивается сеть ПТУ, техникумов и вузов. Вместе с тем вопросы акустики учебных помещений мало освещены в литературе. Отсутствуют и обоснованные рекомендации по их акустическому проектированию. При составлении настоящих Рекомендаций по акустическому благоустройству учебных зданий наряду с опытом их проектирования использованы результаты акустического исследования некоторых существующих учебных зданий.

Представлены правила и приемы акустического проектирования учебных помещений и всего учебного здания в целом. Даны указания по выбору объема и формы помещения, допустимому запаздыванию звуковых отражений, правильному распределению отраженного звука, времени реверберации и его расчету, а также приведены коэффициенты звукопоглощения различных абсорбентов и другие данные для акустических расчетов, в том числе условия применимости геометрических отражений и приемы их построения.

Рекомендации по созданию оптимального акустического режима в учебных помещениях разработаны для учебных помещений вместимостью до 300 мест (за исключением музыкальных учебных помещений) отделом внутренней среды общественных зданий ЦНИИЭП учебных зданий (канд. техн. наук. С. П. Соловьев и инж. Т. И. Галактионова).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. Рекомендации применяются при проектировании новых, реконструируемых и расширяемых учебных зданий. Настоящие Рекомендации содержат основные правила и приемы акустического проектирования учебных помещений вместимостью до 300 мест.

1.2. Акустической особенностью учебных помещений является то, что в них должна быть обеспечена хорошая слышимость речи педагога как в натуральном звучании, так и со звукоусилением. Соблюдение рекомендаций важно и для хорошей работы звукоусилительной аппаратуры в учебном помещении. Рекомендации устанавливают комплекс мероприятий, обеспечивающих акустическое благоустройство учебных зданий. В соответствии с этим они содержат нормативные требования к допустимым уровням шума, проникающего в помещения классов и аудиторий, нормативные требования звукоизоляции ограждающих конструкций, методы расчета звукоизоляции ограждающих конструкций, ожидаемой шумности в помещениях, эффективности сооружений, экранирующих шум, а также рекомендации по размеще-

нию учебных зданий на жилой территории, по их внутренней планировке, акустической обработке помещений, устройству и передаче информации.

Основные понятия и определения, применяемые в настоящих рекомендациях, приведены в прил. 1.

1.3. Акустическое благоустройство помещений достигается надлежащим выбором участка застройки учебных зданий с учетом необходимого удаления застройки от источника шума, устройством в некоторых случаях защитно-экранирующих сооружений, соответствующей внутренней планировкой помещений, надлежащим размещением и установкой инженерного и производственного оборудования, устройством наружных и внутренних ограждающих конструкций, обладающих нормативной звукоизоляцией, применением звукопоглощающих облицовок, надлежащим устройством системы озвучения и звукоусиления.

1.4. Порядок проектирования мероприятий по акустическому благоустройству следующий:

а) выбираются рекомендуемые разрывы между транспортными магистралями и учебными зданиями;

б) при решении вопросов внутренней планировки зданий учитываются требования по обеспечению нормативной шумовой характеристики в учебном помещении;

в) определяется необходимая нормативная звукоизоляция наружных и внутренних конструкций;

г) производится выбор и расчет звукоизоляции ограждающих конструкций, обеспечивающих нормативные требования, в соответствии с разд. 2 и прил. 5 или соответствующими каталогами звукоизолирующих качеств ограждающих конструкций;

д) устанавливаются помещения, подлежащие акустической обработке, производится выбор типа звукопоглощающей облицовки и расчет времени реверберации в соответствии с разд. 2 и прил. 3 и 4;

е) проводится расчет ожидаемого уровня шума в основных учебных помещениях, согласно прил. 6. Если ожидаемые уровни шума превосходят допустимые уровни, необходимо увеличить звукоизоляцию наружных ограждений или расстояние между источником шума и защищаемым зданием;

ж) производится выбор и расчет системы озвучения и звукоусиления в соответствии с разд. 3.

НОРМЫ ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ ШУМА

1.6. Нормами устанавливаются предельно допустимые уровни шума в помещениях учебных зданий. Нормы служат для соответствующих расчетов ожидаемого уровня шума в учебных помещениях, выбора необходимой звукоизоляции ограждающих конструкций, необходимой эффективности сооружений, экранирующих шум, определения

допустимости шума, создаваемого работой систем санитарно-технического и инженерного оборудования зданий.

1.6. Для оценки и нормирования уровней шума используется семейство кривых предельных спектров (рис. 1), величины звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами для индекса спектра ПС-35 приведены в табл. 1.

1.7. Для ориентировочной оценки шума, проникающего в учебные помещения, можно пользоваться суммарными уровнями звука в дБА. Предельно допустимый суммарный уровень звука в дБА численно равен индексу предельно допустимого спектра шума, увеличенного на 5 дБ.

В качестве допустимого шума устанавливаются уровни звукового давления в октавных полосах одного из предельных спектров, измеренный или рассчитанный спектр шума наносится на график. Его оценкой является индекс ближайшего предельного спектра, уровни которого не превышаются ни в одной из октавных полос.

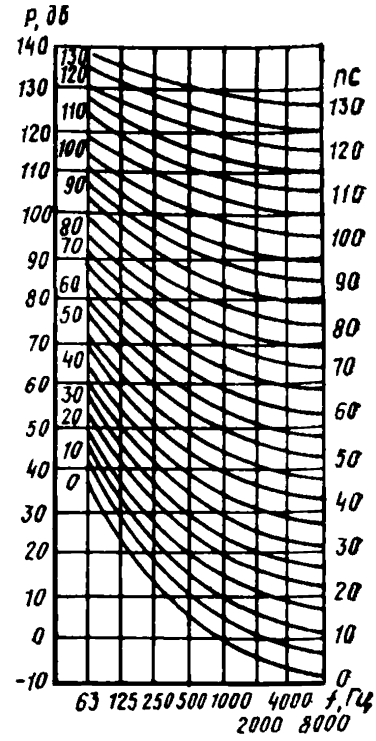


Рис. 1. Семейство кривых предельных спектров

Таблица 1

Помещения и территории	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Участки школ	67	57	49	44	40	37	35	33	45
Классные помещения, учебные кабинеты, аудитории школ и других учебных заведений	63	52	45	39	35	32	30	28	40

СНИЖЕНИЕ ШУМА САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗДАНИЙ

1.8. Санитарно-технические коммуникации следует располагать как можно дальше от учебных помещений, группируя их возле лестничных клеток. Трубопроводы необходимо обертывать матами из стеклянной или минеральной ваты.

Санитарно-техническая арматура и трубопроводы должны соответствовать стандартам и техническим требованиям. Следует ограничивать применение фасонных и соединительных частей труб; при соединении труб разного диаметра необходимо пользоваться переходной муфтой; перед заборными кранами, производящими шум, должны устанавливаться понижающие вентили.

В санитарных узлах необходимо применять малошумное оборудование, все оборудование следует прикреплять к стенам на прокладках из резины.

1.9. Для устранения передачи вибрации и шума по конструкциям здания насосы центрального отопления следует устанавливать на виброизоляторах, между насосом и трубопроводом помещать упругую вставку длиной 80—100 см, трубопроводы изолировать от строительных конструкций упругими прокладками.

Механическое и электрическое оборудование, лебедки лифтов необходимо устанавливать на виброизоляторах, магнитную станцию, трансформаторы и другие элементы электрооборудования — на резиновых упругих прокладках.

Лифтовые шахты не должны примыкать к аудиториям, а машинные отделения лифтов располагаться над аудиториями.

В машинных отделениях лифтов следует устанавливать двойные, плотно закрывающиеся двери, со средней звукоизоляцией не ниже 35 дБ.

Отверстия для подъемных канатов и канатов ограничителя скорости в перекрытиях лифтовых шахт должны быть минимальными и иметь специальные глушители, уменьшающие не менее чем на 20 дБ шум на частотах 300—1200 Гц (наиболее интенсивные частоты спектра шума, возникающего в машинном отделении).

РАЗМЕЩЕНИЕ УЧЕБНЫХ ЗДАНИЙ НА ЖИЛОЙ ТЕРРИТОРИИ

1.10. При размещении учебных зданий необходимо учитывать воздействие шума, возникающего от городского транспорта. Разрывы между учебными зданиями и транспортными магистралями следует *принимать по расчету.*

1.11. В случае невозможности обеспечить рекомендуемые разрывы следует осуществлять защиту от шума с помощью защитных сооружений, экранирующих шум. Целесообразность применения сооружений, экранирующих шум, должна быть обоснована соответствующими

технико-экономическими расчетами. Метод расчета снижения шума за счет экранирующих сооружений приведен в прил. 6. Конструкция и размеры экранирующих шум защитных сооружений должны определяться для каждого конкретного случая. Защитные сооружения, экранирующие шум, в первую очередь целесообразно применять при необходимости снижения шума на частотах выше 250 Гц.

1.12. Территориальные разрывы между транспортными магистралями различных категорий и учебными зданиями при использовании в качестве шумозащиты стен высотой 8 м и экранирующих зданий высотой в два, пять, девять этажей, расположенных на пути распространения транспортного шума, представлены на рис. 2,3. При этом оценка снижения уровня транспортного шума производится для двух характерных случаев движения транспорта:

при максимально возможной интенсивности движения, допустимой по нормативным показателям для различных категорий улиц и дорог;

при интенсивности движения наиболее целесообразной по технико-экономическим показателям, которая составляет 0,7 максимальной.

1.13. В связи с тем, что в нормативных документах не содержится данных о пропускной способности жилых улиц, уровень шума на них принят:

исходя из пропускной способности полос движения улиц и дорог регулируемого движения;

исходя из перспективного уровня автомобилизации населения, который может достигнуть 150 автомобилей на 1 тыс. чел.

1.14. Микроклимат выбранного участка является также одним из средств борьбы с шумом — позволяет изменять направление распространения звуковых волн, поэтому размещение учебных зданий на откосах и низинах требует мероприятий по разрыву возможных акустических связей с источником шума. Но данное мероприятие эффективно только при расположении учебного здания целиком в зоне звуковой тени. Сооружение тоннелей, устройство кавальеров и экранов, а также сооружение магистралей в выемках является наиболее эффективным средством защиты от шума.

1.15. Важным фактором снижения шума в классах и аудиториях учебных зданий может явиться применение проектов с односторонней ориентацией учебных помещений. Эффективность снижения шума на стороне здания, обращенной в сторону, противоположную транспортной магистрали, достигает 20—24 дБА.

1.16. В зависимости от конкретных условий застройки наиболее целесообразно зонирование районов застройки; при этом между магистралью и учебным зданием размещаются кинотеатры, гаражи и другие нежилые здания, а затем административные здания, зоны отдыха.

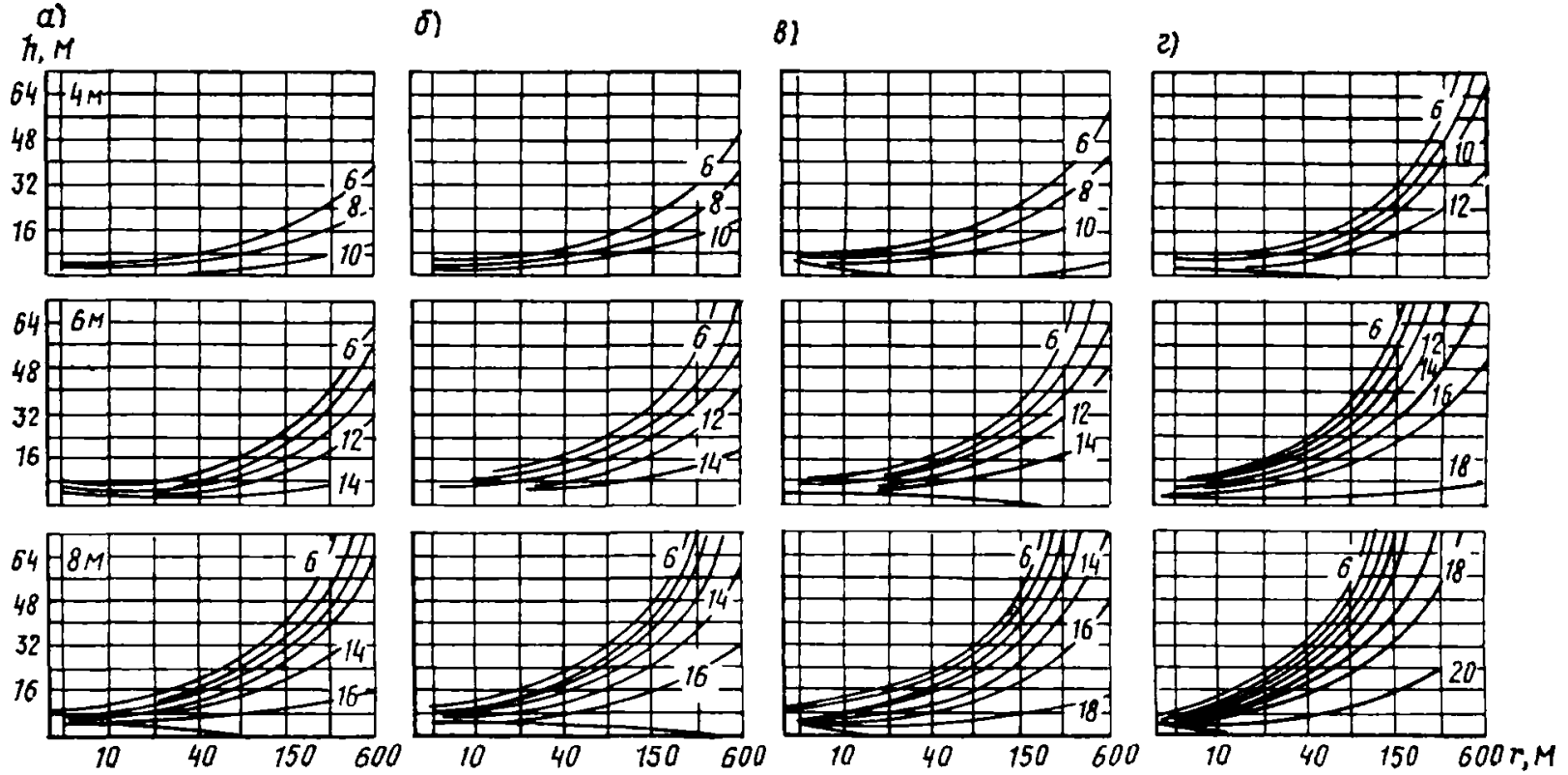


Рис. 2. Снижение уровня транспортного шума экранирующими стенками высотой 4,6 и 8 м на общегородских магистралях непрерывного (*а*) и регулируемого (*б*) движения, районных магистралях регулируемого движения (*в*) и жилых улицах (*г*)

h — высота экранирующей стенки, м, *r* — расстояние между экранирующим сооружением и расчетной точкой, м

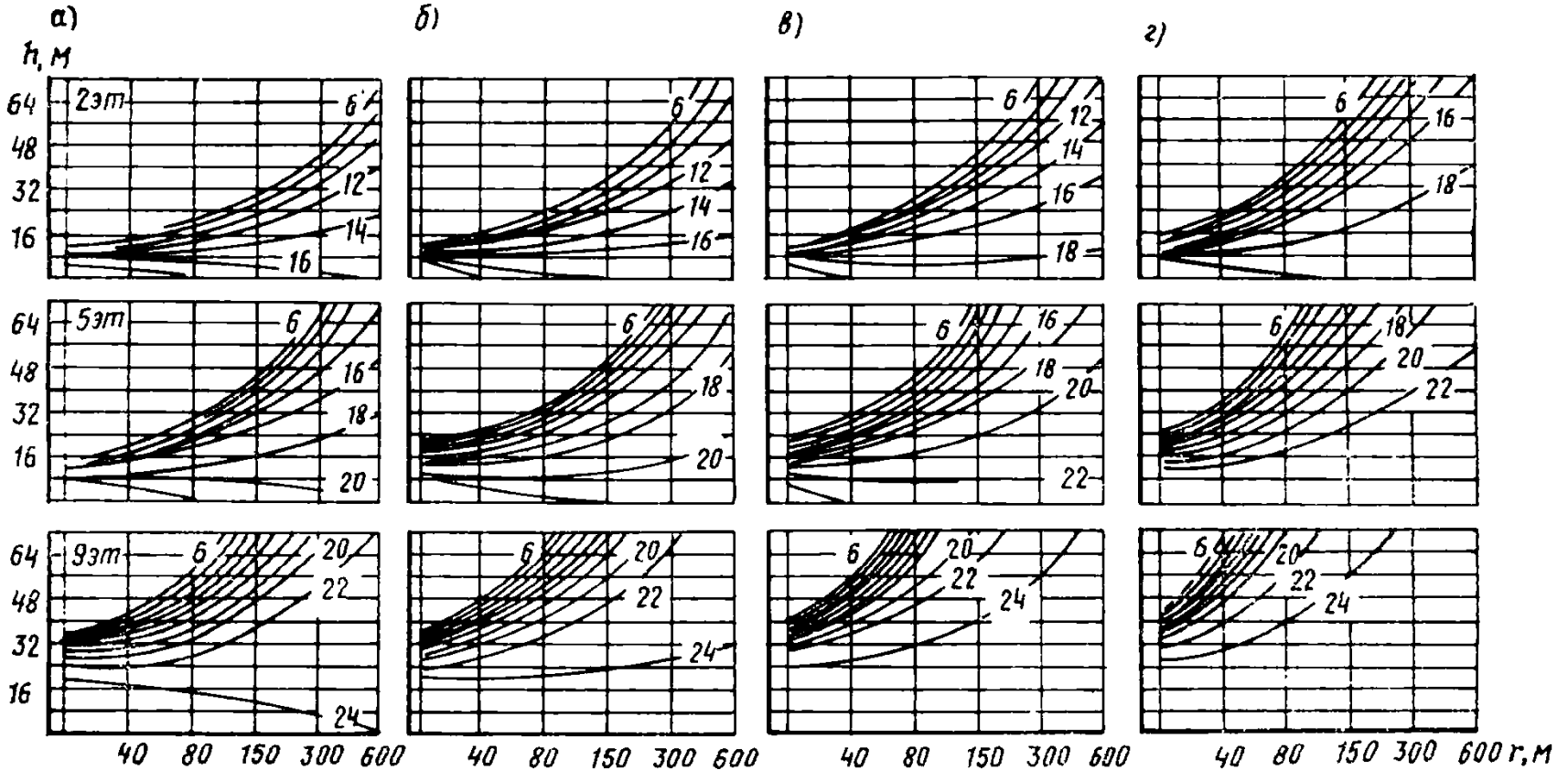


Рис. 3. Снижение уровня транспортного шума экранирующими зданиями высотой 2,5 и 9 этажей на общегородских магистралях непрерывного (*а*) и регулируемого (*б*) движения, районных магистралях (*в*) и жилых улицах (*г*)

2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ БЛАГОУСТРОЙСТВУ УЧЕБНЫХ ЗДАНИЙ

АКУСТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУШНОМУ ОБЪЕМУ УЧЕБНОГО ПОМЕЩЕНИЯ, ЕГО ФОРМЕ И ОЧЕРТАНИЯМ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

2.1. Для простых форм учебного помещения — прямоугольника, трапеции — пределы основных отношений длины, ширины, высоты от 2,5 : 1,5 : 1,0 до 4,5 : 2,5 : 1,0. Общий воздушный объем учебного помещения рекомендуется принимать исходя из объема 3,5—4,5 м^3 на одно место.

2.2. При широком помещении малой длины получается нежелательное запаздывание отражений от боковых стен и вследствие направленности источников звука ухудшается слышимость на боковых местах. Отношение сторон аудитории, близкое к 1, также неблагоприятно для акустики учебных помещений. Отклонения от параллельности двух стен на 2,5—3° или одной на 5—6° ослабляет возможность образования порхающего эхо. Соотношения размеров учебных помещений не должны быть равными, кратными или очень отличающимися друг от друга.

2.3. Если расстояние от источника звука до точки приема превышает 8 м, следует обеспечить кроме прямого звука приход в эту точку мало запаздывающего первого отражения. Для хорошей разборчивости речи желательно, чтобы разность ходов отраженного и прямого луча не превышала 8 м. При этом следует брать истинные длины указанных отрезков, *а не их проекций на* чертеже.

Последовательные запаздывания прихода дальнейших отражений (т. е. промежутки времени между приходами отдельных отражений) также не должны превышать 8 м.

2.4. При расчетах разности ходов высота источника над полом кафедры принимается равной 1,5 м (уровень рта преподавателя), а высота точки приема над полом — равной 1 м для детей и подростков и 1,2 м для студентов (уровень уха сидящего слушателя).

2.5. Очертания потолка и стен зала должны способствовать хорошему распределению отраженного от них звука, направляя большую долю его на удаленные от источника слушательские места. При проектировании аудитории следует при помощи геометрических построений контролировать распределение и запаздывание первых звуковых отражений от потолка и стен. Плоское горизонтальное очертание потолка не является оптимальной его формой. Удаленная от источника часть такого потолка отражает звук не слушателям, а на заднюю стену аудитории. Примыкая к задней стене под прямым углом, потолок дает после вторичного отражения звука от нее запаздывающее обратное отражение к источнику. Часть звука, отраженного от такого потолка, попадает в расположенные на расстоянии менее 8 м от ис-

точника передние ряды слушателей, для которых достаточная слышимость обеспечивается уже одним прямым звуком.

2.6. Если высота передней части аудитории сравнительно велика, то запаздывание отраженного потолком звука по отношению к прямому звуку превышает указанные пределы. Распределение отраженного передней частью потолка звука можно улучшить устройством над кафедрой отражателя, направляющего этот звук в основном не к передним рядам, а к более удаленным. В виде такого отражателя выполняется передняя часть потолка или устраивается отражатель, подвешиваемый под потолком. Отражатель должен иметь поверхностную плотность не менее 20 кг/м^2 и может быть выполнен из железобетона, штукатурки по сетке или иного материала с малым коэффициентом звукопоглощения.

2.7. Распределение звука, отраженного задней частью потолка, улучшается, если потолок имеет наклонный, примыкающий к задней стене участок, в результате этого отраженный звук направляется, мало запаздывая по сравнению с прямым звуком, на задние места аудитории, улучшая тем самым слышимость. Наклон настенных щитов на боковых стенах в сторону слушателей увеличивает приходящую к слушателям долю звуковой энергии первых отражений от этих стен. Хороший эффект дает расчленение стен секциями.

2.8. В аудитории не должно быть вогнутых поверхностей, обладающих свойством концентрировать отражаемый ими звук. Во избежание такой концентрации центр кривизны стены должен находиться на расстоянии от стены, превышающем, по крайней мере, в два раза расстояние от стены до источника. Выпуклые поверхности создают рассеянное отражение звука и повышают его диффузность.

На поверхностях, создающих направленные малозапаздывающие по отношению к прямому звуку отражения, членение может совсем отсутствовать, а если оно имеется, то не должно создавать сильного рассеяния. На поверхностях, дающих малозапаздывающие отражения, недопустимо устройство поперечных прямоугольных пилястр.

2.9. Звуковая энергия, распространяясь над головами слушателей, в значительной степени поглощается ими, если пол аудитории не имеет возвышения (потери на средних частотах порядка 0,5 дБ/м). Пол аудитории должен иметь профиль, обеспечивающий хорошую видимость кафедры. При соблюдении указанного требования уменьшается поглощение прямого звука при распространении его от источника над слушателями и экранирование слушателями друг друга. При проектировании должны учитываться требования главы СНиП II-12-77 «Защита от шума».

ВРЕМЯ РЕВЕРБЕРАЦИИ УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

2.10. Одним из важных условий хорошей акустики учебного помещения является надлежащее время реверберации, характеризующее общую гулкость помещения.

Для достижения высокой разборчивости и четкости речи в учебном помещении частотная характеристика времени реверберации прежде всего должна быть ровной в диапазоне частот от 250 до 4000 Гц. Для частоты 125 Гц рекомендуется спад времени реверберации до 15%. Для лингафонных кабинетов рекомендуется оптимальное время реверберации 0,4—0,5 с, для общеобразовательных кабинетов время реверберации необходимо определять по графику на рис. 4.

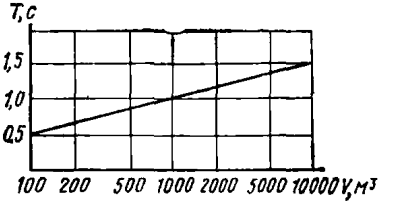


Рис. 4. Зависимость оптимального времени реверберации от объема учебного помещения

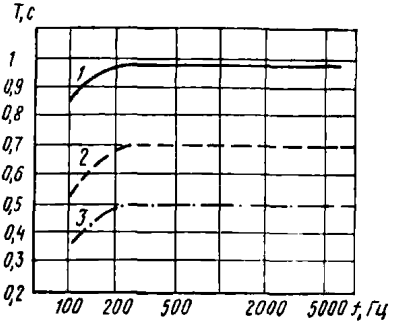


Рис. 5. Частотные характеристики времени реверберации в учебных помещениях

1 — для аудитории объемом 900—1500 м³; *2* — для общеобразовательных кабинетов объемом до 900 м³; *3* — для лингафонных кабинетов

2.11. Для аудиторий и учебных помещений достаточно произвести расчет времени реверберации на трех частотах — 125, 500, 2000 Гц по формуле

$$T = \frac{0{,}164V}{-\ln\left((1-\bar{\alpha})\,S + 4mV\right)}, \qquad (2.1)$$

где V — объем помещения; $3S$ — площадь внутренних поверхностей; α — средний коэффициент звукопоглощения, m — см. прил. 3.

2.12. На рис. 5 показаны рекомендуемые частотные характеристики времени реверберации для лингафонных кабинетов, для классов и аудиторий объемом до 1500 м³. На частотах ниже 250 Гц желательно иметь спад частотной характеристики на 15%.

ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩАЯ ОТДЕЛКА АУДИТОРИЙ И ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ СЛУШАТЕЛЕЙ

2.13. Обработка потолка звукопоглотителями для аудиторий с естественной акустикой является грубой ошибкой, приводящей к нарушению однородности звукового поля.

2.14. Многие виды звукопоглощающих материалов и конструкций (перфорированные конструкции) являются аккумуляторами пыли.

Они не поддаются дезинфекции, их нельзя красить обычными красками, их нельзя применять для обработки стен, где наблюдается большое скопление людей.

2.15. В учебных помещениях звукопоглощающий материал должен иметь максимальный коэффициент звукопоглощения в области низких частот (ниже 500 Гц) для снижения уровня шума и времени реверберации.

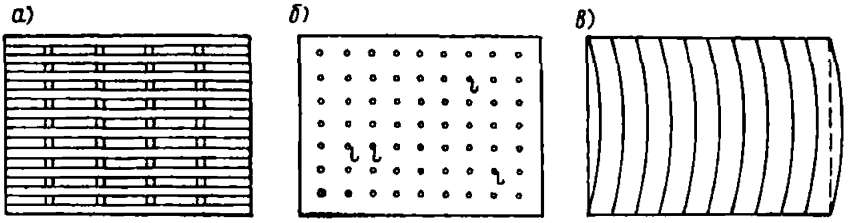


Рис. 6. Приколочные акустические доски
а — реечного типа; *б* — перфорированная; *в* — выпуклая (щиты Бекеши)

Для этого необходимо в стене, противоположной классной доске, из фанеры или сухой гипсовой штукатурки устраивать встроенные шкафы, оклеенные пластиком; на боковой стене, противоположной окнам, размещать приколочные доски из ДСП (рис. 6), реек, кожезаменителя, с относом на 50 мм от стены, который заполнен минераловатными плитами. Коэффициенты звукопоглощения данных абсорбентов представлены в табл. 2. На ножки стульев необходимо надеть

Таблица 2

Измеряемая конструкция	Коэффициенты звукопоглощения на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
1. Плита ДСП толщиной 25 мм на воздушном зазоре 50 мм	0,32	0,13	0,05	0,05	0,05	0,13
2. Плита СГШ на воздушном зазоре	0,23	0,31	0,13	0,09	0,06	0,13
3. Щиты Бекеши	0,7	0,86	0,5	0,26	0,12	0,10
4. Рейки деревянные, за ними заполнитель в стеклоткани	0,86	0,99	0,99	0,97	0,93	0,82

резиновые или полиэтиленовые колпачки. На окнах необходимы занавеси. Если же в классе есть ТСО (кино, телевидение), то на окнах необходимо иметь многослойные гибкие шторы (рис. 7).

2.16. В табл. 3 представлено эквивалентное звукопоглощение А, м^2, приходящееся на одного ученика, сидящего за партой, и на одну ученическую парту. В аудиториях вместимостью более 100 чел., необ-

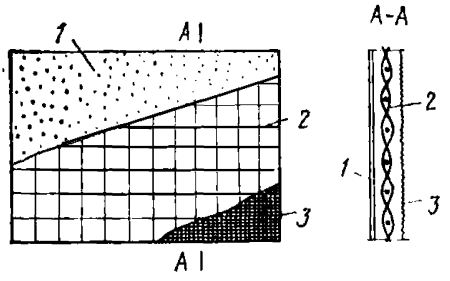


Рис. 7. «Универсальная штора» для помещений с ТСО

1 — пленка солнцезащитная; *2* — стеклорогожа; *3* — декоративная стеклоткань

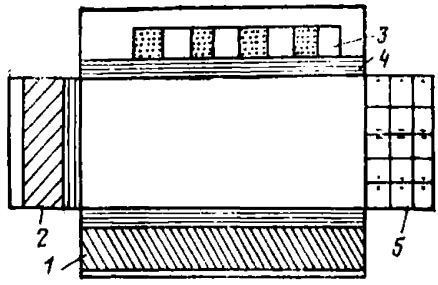


Рис. 8. Эскиз акустического благоустройства общеобразовательного кабинета площадью до 70 м²

1 — универсальная штора; *2* — меловая доска; *3* — приколочные доски из ДСП или реек; *4* — панель; *5* — встроенный шкаф из ДСП, оклеенного пластиком

ходимо нижнюю часть стен на высоту 2 м облицовывать панелью (из ДСП, пластика, фанеры и т. д.), а верхнюю часть стен обрабатывать эффективным звукопоглотителем в области средних и высоких частот. При расчетах предлагается оценивать звукопоглощающую способность

Таблица 3

Объект	Коэффициент звукопоглощения на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Парты деревянные, облицованные пластиком, скамейки деревянные	0,06	0,19	0,22	0,25	0,17	0,14
Ученик, сидящий за партой	0,15	0,25	0,45	0,56	0,62	0,59
«Универсальная штора»	0,75	0,86	0,89	0,85	0,69	—

слушателей средним коэффициентом звукопоглощения пола $\alpha_1=0{,}5$ — при заполненной аудитории; $\alpha_2=0{,}1$ — при отсутствии слушателей для средней полосы звуковых частот.

2.17. Принимая во внимание неодинаковую значимость всех поверхностей в процессе затухания энергии, необходимо считать, что площадь всех поверхностей учебного помещения равна:

$$\overline{S} = 2{,}2S_в + S_н + 2S_{пт} - 4{,}33S_п, \qquad (2.2)$$

индексы при S соответствуют верхней и нижней частям стен, потолку и полу;

а коэффициент звукопоглощения

$$\overline{\alpha} = \frac{2{,}2S_в\alpha_в + S_н\alpha_н + 2S_{пт}\alpha_{пт} + 4{,}33S_п\alpha_п}{\overline{S}}, \qquad (2.3)$$

индексы при α соответствуют верхней и нижней частям стен, потолку и полу.

На рис. 8 представлен эскиз акустической обработки общеобразовательного кабинета площадью от 50 до 70 м².

РАЗБОРЧИВОСТЬ РЕЧИ

2.18. Еще на стадии проектирования необходимо в аудиториях с естественной акустикой вместимостью более 100 чел. проверять разборчивость речи в различных зонах расположения слушателей (рис. 9) по формуле

$$P_A = K_L K_D, \tag{2.4}$$

где K_L — берется из графика (рис. 10); K_D — эмпирический коэффициент, зависящий от четкости речи

$$K_D = \bar{e}^{\frac{3 \cdot 10^{-4}}{D}}, \tag{2.5}$$

где D — четкость речи, которая вычисляется по формуле, разработанной совместно с НИИСФ.

$$D = \frac{\frac{\tau}{4\pi} \sum_m \frac{\varphi_m \beta_m}{r_m^2}}{\frac{\tau}{4\pi} \sum_m \frac{\varphi_m \beta_m}{r_m^2} - \frac{16V}{CAS \ln(1-\bar{\alpha})} e^{\frac{CS}{4V} t_0 \ln(1-\bar{\alpha})}}, \tag{2.6}$$

где τ — длительность звукового импульса; r_m — пути прямого звука и первых звуковых отражений, приходящих в данную точку за время t_0; φ_m — коэффициент направленности, взятый по направлению звуковых лучей, исходящих из точки излучения (рис. 11); β_m — коэффициенты отражения звука от различных поверхностей; m — номер отражения; A — суммарное поглощение в помещении; S — сумма внутренних поверхностей; V — объем помещения; $\bar{\alpha}$ — средний коэффициент звукопоглощения; C — скорость звука в воздухе.

2.19. Для помещений с техническими средствами обучения (ТСО) разборчивость речи в различных зонах слушательских мест необходимо определять по формуле

$$P_A = K_L K_D K_r, \tag{2.7}$$

где K_r — коэффициент, учитывающий фактор повышения разборчивости речи с уменьшением акустического отношения, который вычисляется по формуле

$$K_r = \frac{\left(1 - \frac{1}{6} \lg \frac{1+N}{N}\right) - 1}{1 - \frac{16{,}4}{T}} + 1, \tag{2.8}$$

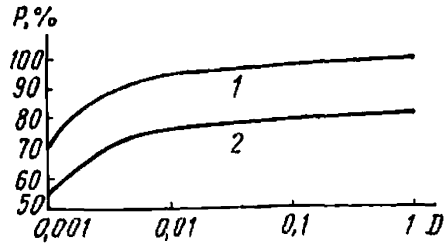


Рис. 9. Зависимость разборчивости слов от четкости речи

1 — при значении коэффициента K_L = =100%; *2* — при значении коэффициента K_L=80%

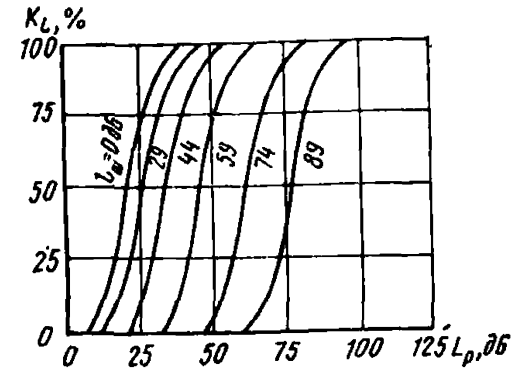


Рис. 10. График для определения процентной зависимости коэффициента K_L от уровня речи и уровня шума

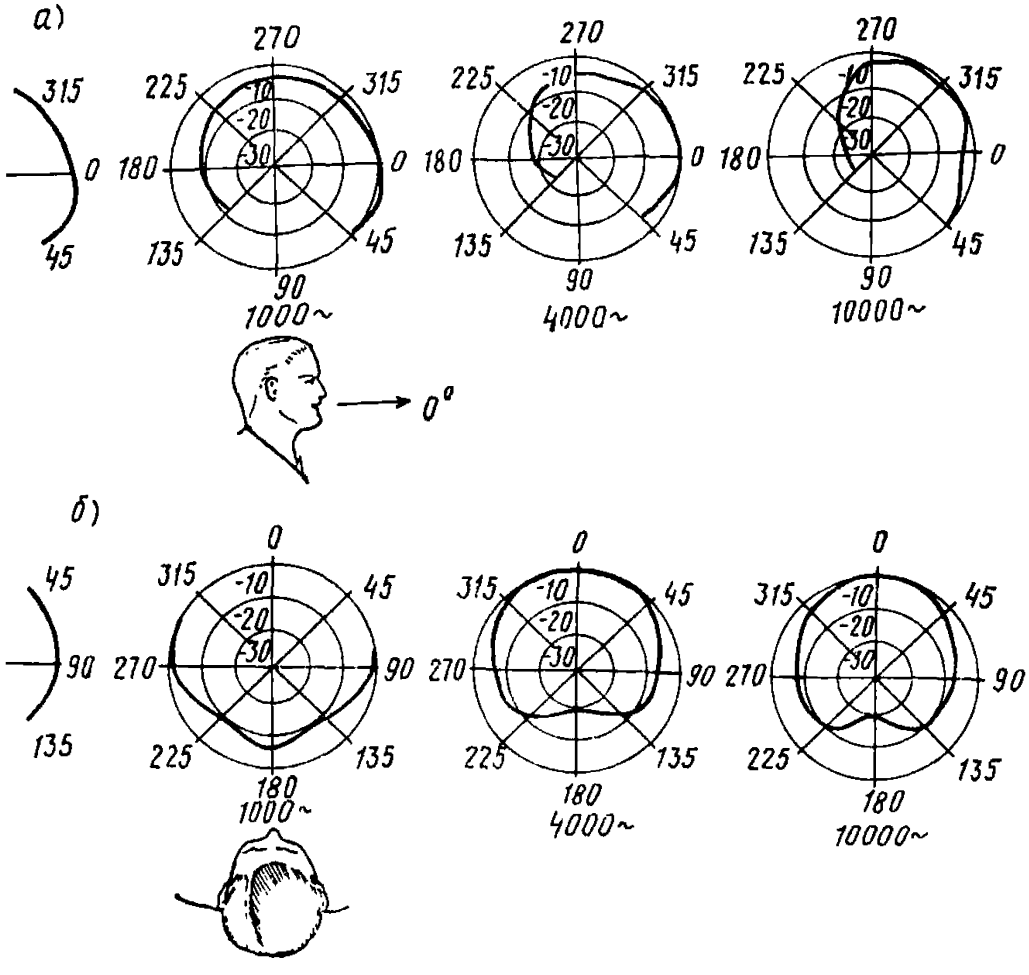


Рис. 11. Характеристика направленности натурального источника

а — в вертикальной плоскости излучения; *б* — в горизонтальной плоскости излучения

где N — акустическое отношение в рассматриваемой точке; T — время реверберации.

2.20. Предлагается оценивать качество передачи речевой информации в учебном помещении в зависимости от величины словесной разборчивости речи: отлично — 96% и выше, хорошо — от 92 до 95%, удовлетворительно — ниже 92%, неудовлетворительно — менее 80%.

ТРЕБОВАНИЯ К ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

2.21. Кроме применения специальных экранирующих сооружений акустический комфорт в классах и аудиториях учебных зданий можно достигнуть, используя при строительстве конструкции с повышенными звукоизоляционными свойствами. Особые требования в этом направлении предъявляются к оконным проемам, так как даже незначительные неплотности и щели в них приводят к резкому снижению звукоизоляции.

2.22. Нормируемыми параметрами звукоизоляции ограждающих конструкций общественных зданий являются индекс изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией $I_в$, дБ, и индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием $I_у$, дБ.

2.23. Индекс изоляции воздушного шума $I_в$, дБ, ограждающей конструкцией с известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристикой изоляции воздушного шума следует определять по формуле

$$I_в = 50 + \Delta_в, \qquad (2.9)$$

где $\Delta_в$ — поправка, определяемая путем сравнения частотной характеристики изоляции воздушного шума по методике, изложенной в прил. 5.

2.24. Индекс приведенного уровня ударного шума $I_у$, дБ, под перекрытием с известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристикой приведенного уровня ударного шума следует определять по формуле

$$I_у = 70 - \Delta_у, \qquad (2.10)$$

где $\Delta_у$ — поправка, определяемая путем сравнения частотной характеристики приведенного уровня ударного шума под перекрытием с нормативной частотной характеристикой приведенного уровня ударного шума по методике, изложенной в прил. 5.

Нормативные индексы изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями $I_в$, дБ, приведенного уровня ударного шума под перекрытием I_v, дБ, учебного здания следует принимать по табл. 4.

2.25. Все шумные помещения должны удаляться от помещений, требующих тишины, и не примыкать непосредственно к последним.

Таблица 4

Ограждающая конструкция	Индекс изоляции воздушного шума $I_в$, дБ	Индекс приведенного уровня ударного шума $I_у$, дБ
Перекрытия между классными помещениями, учебными кабинетами и аудиториями и отделяющие классные помещения, учебные кабинеты и аудитории от помещений общего пользования (коридоры, вестибюли, холлы)	45	70
Стены и перегородки между классными помещениями, учебными кабинетами и аудиториями и отделяющие классные помещения, учебные кабинеты и аудитории от помещений общего пользования (лестничные клетки, вестибюли, холлы, рекреации)	45	

2.26. Звукоизоляция от ударного шума обеспечивается устройством рулонного пола (ПВХ, линолеум на теплозвукоизоляционной основе).

Звукоизоляция от ударного шума при опирании блоков по четырем углам выше, чем при опирании по периметру. Поскольку жесткая передача нагрузки ухудшает звукоизоляцию, в местах сопряжения блоков желательны звукоизоляционные прокладки (например, из асбокартона).

2.27. Звукоизоляция входной двери не должна быть ниже звукоизоляции ограждения, в которое она монтируется, более чем на 10 дБ. Это достигается прокладкой по периметру двери уплотняющего материала, устройством порогов. Во избежание передачи звука в смежные по вертикали блоки дверные коробки тщательно заделываются. Если перечисленных мер окажется недостаточно, следует применять двойные двери.

2.28. Звукоизоляция окон с раздельными переплетами выше, чем окон со спаренными переплетами. Толщина стекол в окнах должна быть не менее 4 мм. Стекла следует крепить упругими прокладками, места сопряжения оконных коробок с наружной стеной — заделывать герметичным материалом, проконопачивать минеральным войлоком, стекловолокном.

2.29. Герметичные оконные проемы могут снижать уровень шума до 40 дБА и более (табл. 5), что позволяет располагать учебные здания на транспортных магистралях города, оборудовав их системами искусственной вентиляции или кондиционирования воздуха.

2.30. Резонансная частота зависит от конструкции окон. Снижение звукоизоляции на резонансной частоте в основном проявляется при его площади не менее 10 м^2.

Таблица 5

Тип оконного проема	Конструкция окна		Снижение уровня звука при герметичном остеклении, дБА	Расстояние от магистрали движения до линии застройки учебными зданиями, м		
	толщина стекол, мм	воздушный промежуток между стеклами, см		непрерывного	регулируемого	жилая улица
Спаренный	1,5—2	3—5	24	180—200	95—115	15—100
	4—5	3—5	27	115—140	60—95	0—60
	6—8	3—5	30	70—80	40—60	0—40
Двойной	1,5—2	10—12	38	20—25	10—15	0—10
		20—25	41	10—15	0—10	0
	4—5	10—12	43	5—10	0	0
		20—25	46	0	0	0
	6—8	10—12	45	0	0	0
		20—25	48	0	0	0

Примечания: 1. Большие значения расстояний до линии застройки соответствуют уровням шума при максимальной загрузке магистрали.

2. Таблица составлена на основании обобщения различных литературных источников.

Уменьшение звукоизоляции в результате резонанса может наблюдаться на частотах порядка около 100 Гц.

Однако на этих резонансных частотах ухо менее чувствительно, чем в диапазоне средних и высоких частот, поэтому снижение звукоизоляции имеет сравнительно малое практическое значение.

2.31. Уменьшение звукоизоляции остекления при явлении волнового совпадения по сравнению с теоретической линейной зависимостью может достигать 10 дБ. Наименьшая (граничная) частота, при которой становится возможным волновое совпадение, вычисляется для стекла толщиной δ по формуле

$$f = 12\,000/\delta, \qquad (2.11)$$

2.32. Область граничных частот большинства строительных стекол, имеющих толщину от 3 до 6 мм, лежит в пределах 2000—4000 Гц.

Звукоизоляция стеклянного ограждения при частотах выше волнового совпадения возрастает интенсивнее, чем на участке, подчиняющемся закону массы.

2.33. На рис. 12 приведены графики частотных характеристик звукоизоляции стеклянных ограждений, построенные по практическому методу, изложенному в главе СНиП II-12-77. Наклон отрезков в левой части графика составляет 4 дБ, а правой — 8 дБ на октаву.

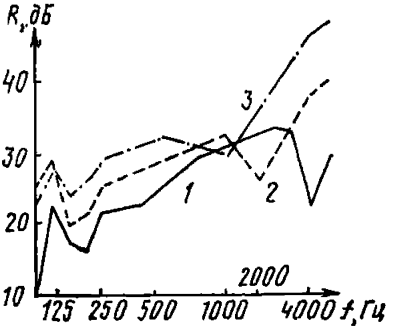


Рис. 12. График для определения звукоизолирующей способности стекла толщиной
1 — 3 мм; *2* — 6 мм; *3* — 10 мм

Величина снижения звукоизоляции в результате волнового совпадения равна 6 дБ.

2.34. Обычно для сравнительной оценки звукоизоляции остекления используют среднее арифметическое значение звукоизоляции от воздушного шума $R_{ср}$ экспериментально полученной звукоизолирующей способности R.

ТРЕБОВАНИЯ К УЧЕБНЫМ ПОМЕЩЕНИЯМ СО СВОБОДНОЙ ПЛАНИРОВКОЙ

2.35. Современная педагогика стремится использовать более активные формы обучения, сочетать групповые и индивидуальные виды занятий, дать большую самостоятельность ученикам при изучении предметов. Важное место в преподавании занимает демонстрация на уроках учебных диафильмов и кинофильмов, прослушивание грампластинок и магнитофонных записей, внедряется учебное телевидение.

2.36. Универсальное использование помещений может быть осуществлено только за счет оборудования их специальной мебелью: универсальной, складной, трансформирующейся и т. д. Требуется особое оборудование учебных помещений и рабочего места учителя, которое должно иметь дистанционное управление для включения различной аппаратуры и механизма зашторивания окон.

2.37. В больших помещениях многоцелевого назначения с внутренней их дифференциацией можно проводить занятия больших групп по 80—150 чел. с использованием громкоговорящей связи, средних групп по 30—40 чел., и небольших групп по 10—15 чел. или 2—6 чел., а также индивидуальную работу.

2.38. Для групповой работы учащихся и проведения семинарских занятий выделяются небольшие зоны помещения площадью около 14 м^2 различной формы, в том числе многогранной, трапециевидной, прямоугольной, рассчитанные на 8—10 чел. Потолок в помещении должен быть акустический (рис. 13).

2.39. Зонирование площадей и трансформация помещений осуществляется за счет гибких перегородок-экранов и мобильной мебели (рис. 14). Расчет эффективности акустических экранов приведен в прил. 6.

Эффективность разработанного акустического экрана с магнитной и меловой досками для помещений групп продленного дня совместно со звукопоглощающей облицовкой представлена на графике рис. 15.

2.40. Размеры индивидуальных экранов для рабочих мест учащихся должны давать возможность удобно разместить все необходимые учебные пособия (рис. 16). Экраны позволят учащимся удобно заниматься, свободно, не мешая соседу, садиться и вставать из-за стола, учителю — непосредственно подходить к каждому ученику, чтобы проконтролировать его работу. Это поможет избежать излишнего шума,

Рис. 13. Звукопоглощающий потолок

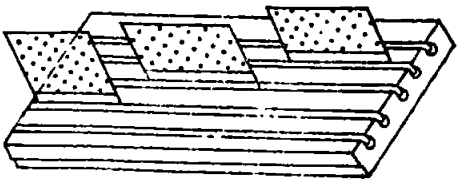


Рис. 14. Зонирование площади учебного помещения при помощи акустических экранов

1 — зона для семинарских занятий; *2* — зона для работы кружка; *3* — зона для просмотра диафильмов; *4* — зона для изокружка; *5* — зона для индивидуальных занятий

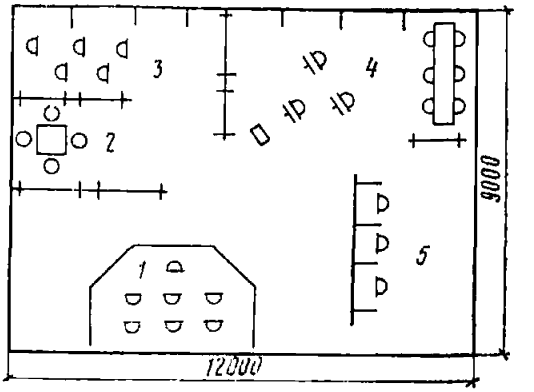


Рис. 15. Эффективность акустического экрана совместно со звукопоглощающей облицовкой

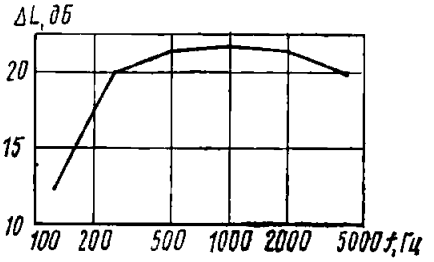
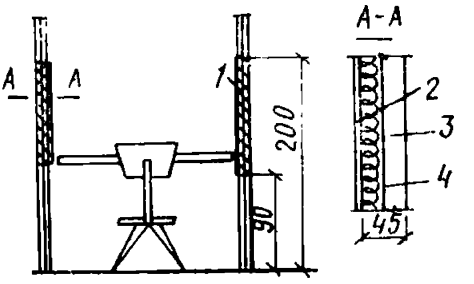


Рис. 16. Индивидуальное рабочее место

1 — часть стенного шкафа, облицованая звукопоглощающим материалом; *2* — АГШ (акустическая гипсовая штукатурка) или стеклопластиковая оболочка, за которой находится минераловатная плита, обернутая стеклотканью; *3* — ДВП (древесноволокнистая плита) со щелевой перфорацией; *4* — фанера или сухая гипсовая штукатурка



Экраны для различных индивидуальных и групповых занятий в учебных помещениях представлены на рис. 17, 18, 19.

3. ТРЕБОВАНИЯ К УЧЕБНЫМ ПОМЕЩЕНИЯМ С ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ОБУЧЕНИЯ (ТСО)

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ МОЩНОСТИ, ПОДБОРУ И РАЗМЕЩЕНИЮ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ В УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

3.1. При использовании ТСО мощность источников звука практически неограниченна. Это позволяет при соответствующем расположении громкоговорителей покрыть прямой звуковой энергией любое место в аудитории, а так как прямая энергия достаточна для достижения высокой степени разборчивости на всех местах, то роль ранних отражений в качестве фактора повышения разборчивости теряет смысл,

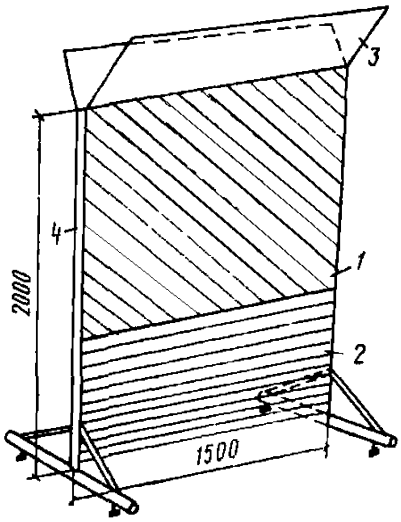


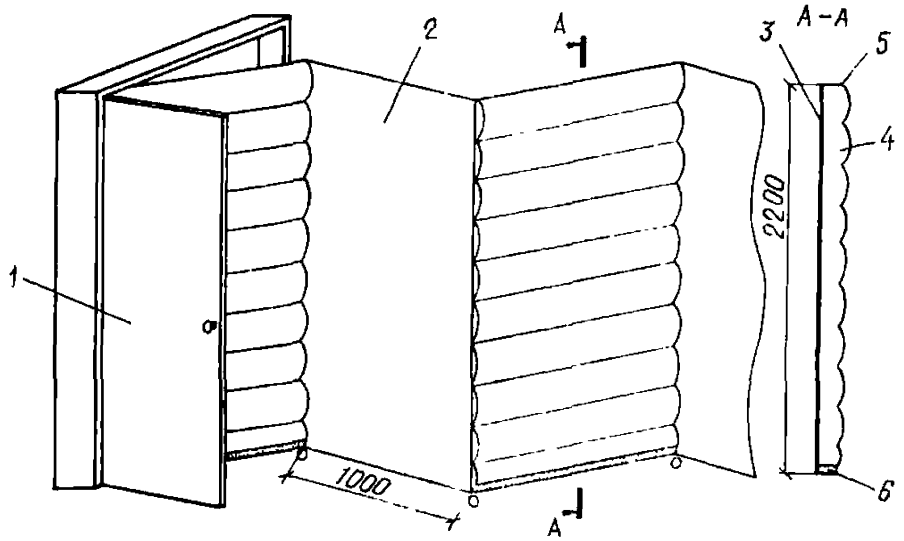
Рис. 17. Акустический экран с магнитной и меловой досками

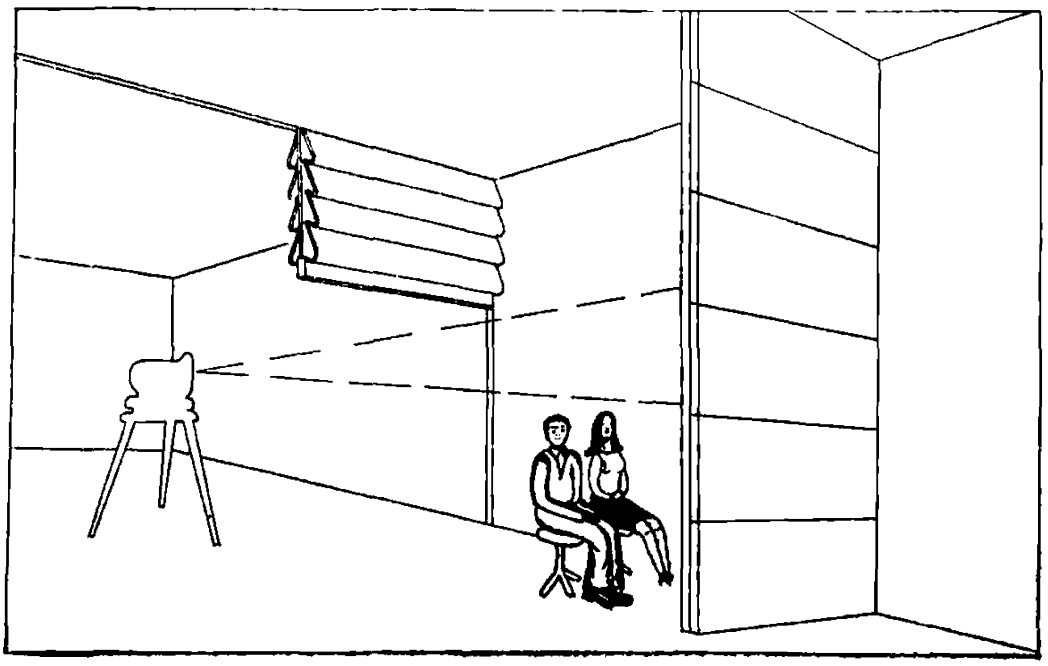
1 — приколочная доска из винипора, обтянутого стеклотканью; *2* — винипор; *3* — ДВП (древесноволокнистая плита), обтянутая кожезаменителем; *4* — экран для проецирования, который поднимается вверх, за ним меловая доска

Рис. 18. Раздвижная акустическая перегородка, убирающаяся в шкаф

1 — шкаф; *2* — акустическая перегородка; *3* — линолеум; *4* — капроновые маты ВТ-4С; *5* — перфорированный кожзаменитель; *6* — поролон

Рис. 19. Мягкий экран-перегородка с экраном для проецирования





3.2. Для более эффективного использования звуковоспроизводящей аппаратуры следует учитывать как технические, так и экономические соображения, которые весьма существенны при применении ТСО в учебных зданиях. Качество речевого и музыкального исполнения в звукофицированных помещениях не должно существенно отличаться от тех условий, которые характеризуют непосредственное слушание речи и музыки в аудитории с хорошими акустическими показателями. Таким образом оказывается необходимым соблюдать требования соответствия конкретного типа аппаратуры определенному классу качества по разборчивости речи. Полное и хорошее усвоение учебного материала может быть обеспечено лишь при использовании электроакустических систем не ниже I класса.

3.3. Частотная характеристика громкоговорителя зависит от места его установки. Установка громкоговорителя в углу комнаты повышает излучение низших частот приблизительно на 4 дБ. Выбор громкоговорителя должен начинаться с определения его номинальной мощности, которая в свою очередь совместно с КПД укажет и мощность выходного каскада усилителя низкой частоты.

3.4. Формула для ориентировочного определения акустической мощности в условиях озвучания имеет следующий вид:

$$P = \frac{4\pi a^2 10^{0,1L-12}}{\theta\,(1+N)}, \qquad (3.1)$$

где N — акустическое отношение для одиночного громкоговорителя, определяемое по формуле

$$N = \frac{16\pi a^2\,(1-\alpha_{ср})}{\theta A}, \qquad (3.2)$$

Для распределенной системы из звуковых колонок N_{max} определяется

$$N_{max} \approx \frac{12{,}8ab\,(1-\alpha_{ср})\sqrt{1-e_в^2}}{\alpha_{ср}S}, \qquad (3.3)$$

где a — длина аудитории; b — ширина аудитории; L — заданный средний уровень громкости в помещении, дБ; θ — коэффициент осевой концентрации; $e_в$ — эксцентриситет диаграммы направленности в вертикальной плоскости для 2КЗ-1 ($e_в$=0,95); $\alpha_{ср}$ — средний коэффициент звукопоглощения в помещении; A — общее звукопоглощение всех поверхностей ($A=\alpha S$).

3.5. Для разборчивой речи уровень громкости должен быть на расстоянии 1 м — 70 дБ, «собственный» шум порядка 40 дБ, а неравномерность поля громкости 5 дБ, Для вычисления уровня речевых помех необходимо обладать сведениями относительно спектра частот фонового шума в октавной полосе. В некоторых случаях известен только уровень звукового давления с корректирующей характеристи-

кой. Зависимость между расстоянием от говорящего до слушателя и уровнем фона изображена на рис. 20.

3.6. Минимальное значение акустического отношения не должно быть меньше 1, для речевых передач иногда допускается $N=1\div0{,}5$, так как обеспечивает большую разборчивость речи, а N_{max} берут не более 6.

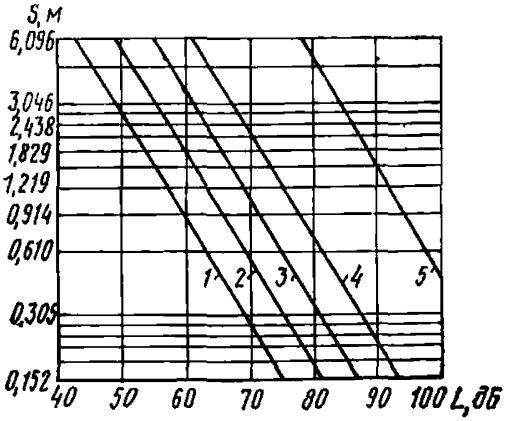


Рис. 20. Зависимость между расстоянием от говорящего до слушателя S и уровнем окружающего шума

1 — нормальный голос; *2* — повышенный голос; *3* — высокий голос; *4* — крик; *5* — максимально возможный крик

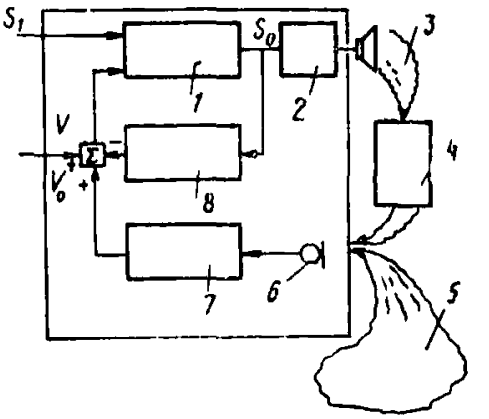


Рис. 21. Схема автоматического регулирования уровня сигнала громкоговорителя по уровню окружающего шума

1 — управляющий усилитель; *2* — усилитель мощности звукового сигнала; *3* — громкоговоритель; *4* — акустическая система помещения и громкоговорителя; *5* — источник шума; *6* — микрофон; *7* — усилитель смеси сигнала с шумом; *8* — усилитель выборок звукового сигнала

3.7. Величина требуемого индекса усиления тракта Q должна быть такой, чтобы создать наилучшие условия для слушателей. Для установок усиления речи Q следует брать таким, чтобы уровень прямого звука, создаваемого громкоговорителем около слушателя, соответствовал уровню, создаваемому оратором на расстоянии 1,0—1,5 м.

3.8. При передаче преподавателем иностранного языка в лингафонном кабинете среднее расстояние от рта до микрофона должно составлять около 25 см. Для педагога со слабым голосом это расстояние может быть меньше, но не менее 10 см, так как при меньшем расстоянии появляются искажения, обусловленные турбулентностью постоянной струи воздуха у корпуса микрофона. Для педагога с сильным голосом расстояние до микрофона может быть несколько большим, чем среднее, но не более 50 см, так как при большем расстоянии увеличивается акустическое отношение и уменьшается отношение сигнал—шум.

В целях уменьшения затухания высокочастотных составляющих речевого сигнала угол между осью рта преподавателя и акустической осью микрофона не должен превышать 45—60°.

3.9. С целью поддержания среднего уровня речевого сигнала и постоянного превышения соотношения уровня речи над уровнем шума целесообразно в кабинетах телекинопоказа ввести в электроакустический тракт громкоговорящей связи автоматический регулятор уровня или систему автоматического регулирования уровня громкости по уровню окружающего шума (рис. 21).

3.10. Если слушатели занимают фиксированное положение, должны выполняться следующие правила:

а) звук должен приходить к слушателям по возможности спереди;

б) прямой звук от громкоговорителей не должен экранироваться каким-либо предметом или рядом расположенными слушателями;

в) приходящий к слушателям прямой звук не должен проходить параллельно звукопоглощающим поверхностям (касательным лучом);

г) при размещении громкоговорителей на боковых стенах желательно оси громкоговорителей развернуть под углом 30—60° к продольной оси помещения в сторону задней стены (недопустимо размещать громкоговорители на противоположных параллельных стенах, когда акустические оси громкоговорителей перпендикулярны поверхности стен);

д) минимальный относ от стены должен быть 0,3 м; желательно за громкоговорителем обрабатывать стену площадью 2,5 м^2 звукопоглощающим материалом. В противном случае увеличивается неравномерность поля прямого звука;

е) при установке громкоговорителей на стенах с резонирующим покрытием следует принять меры для предотвращения передачи вибраций вдоль этих покрытий;

ж) громкоговорители не должны размещаться вблизи витражей, светильников, зеркал и тому подобных элементов, которые под действием звуков могут резонировать (дребезжать).

3.11. Качество звукопередачи речевой информации во многом зависит от выбранной системы размещения громкоговорителей и от их расположения в помещении относительно слушателей. Громкоговорители должны обеспечивать на озвучиваемой поверхности:

необходимый уровень звукового давления с заданной неравномерностью, перекрывающий уровень шума в помещении, но не оглушающий слушателей (не ниже 70 дБ);

благоприятное, с точки зрения разборчивости речи, соотношение между прямой и отраженной энергиями речевого сигнала.

3.12. Выполнение требований пп. 3.10, 3.11 зависит от выбранной системы размещения громкоговорителей, их частотной характеристики, характеристики направленности на различных частотах, расположения относительно озвучиваемой поверхности и акустических характеристик помещения.

3.13. При большой площади озвучиваемой поверхности централизованная система создает большую неравномерность звукового поля прямого звука. Можно рекомендовать использование централизованной

системы только в помещении малой площади с малым временем реверберации. В этом случае целесообразно применение направленных излучателей — рупорных громкоговорителей и звуковых колонок. Для лекционных аудиторий наиболее подходящей является распределенная система размещения громкоговорителей, расположенных в помещениях таким образом, что каждый из них предназначается для покрытия только лишь некоторой площади озвучиваемой поверхности. Для помещений, имеющих большую ширину (более 10 м), наиболее целесообразно размещение распределенной системы громкоговорителей в подвесном акустическом потолке. При этом в помещениях с малой высотой (до 5—6 м) целесообразно использовать направленные громкоговорители.

3.14. В помещениях меньшей высоты применение звуковых колонок в подвесном потолке нежелательно, так как это приводит к концентрации звуковой энергии на ограниченной площади озвучиваемой поверхности и, следовательно, к неравномерности звукового поля на ней. В высоких помещениях (свыше 7—8 м) применение потолочной распределенной системы менее эффективно, вследствие большого расстояния до озвучиваемой поверхности.

3.15. В помещениях небольшой ширины (менее 10 м) могут быть применены линейные цепочки громкоговорителей, расположенных на продольных стенах. В этом случае при меньшей ширине помещения и малом времени реверберации в нем лучше использовать ненаправленные громкоговорители, а при большей ширине и в помещениях с большим временем реверберации целесообразнее применять звуковые колонки.

3.16. Если известно расстояние от громкоговорителей распределенной системы до озвучиваемой поверхности, то расстояние между громкоговорителями, их мощность, тип и количество определяются электроакустическим расчетом.

3.17. Все громкоговорители, работающие в одном помещении, должны быть обязательно сфазированы, что также уменьшает акустическое отношение. Работа несфазированных громкоговорителей приводит к большой неравномерности частотной характеристики излучателя.

3.18. Для типовых звуковых колонок высота подвеса примерно равна:

$$h = 0{,}7l\sqrt{1 - e_{\text{в}}^2}. \qquad (3.4)$$

Для распределенной системы из двух настенных цепочек высоту подвеса определяют по формуле

$$h_{\text{у}} = b/2\sqrt{1 - e_{\text{в}}^2}, \qquad (3.5)$$

где $e_{\text{в}}$ — эксцентриситет диаграммы направленности в вертикальной плоскости; для 2КЗ-1 ($e_{\text{в}}$=0,95); b — ширина помещения, м.

3.19. В учебных помещениях вместимостью до 60 чел. необходимо для озвучивания поставить две звуковые колонки 2КЗ-1. Разместить их надо на передней стене по бокам от классной доски на некотором расстоянии от верхней кромки доски, но не выше чем на 2,7 м от пола (при высоте помещения 3 м) под углом $\gamma = 10—11°$.

Для аудиторий вместимостью до 300 чел. необходимо иметь четыре звуковые колонки 2КЗ-1, причем располагать их надо на боковых стенах.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗВУКОВОЙ АППАРАТУРЫ, РЕКОМЕНДУЕМОЙ К ПРИМЕНЕНИЮ В УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

3.20. Основным требованием к звуковой аппаратуре является обеспечение наилучших условий слышимости в аудиториях и классах. Для выполнения этого требования аппаратура должна иметь достаточно широкий диапазон воспроизводимых частот (100—6000 Гц для речи, 100—16000 Гц — для музыки), достаточно высокий коэффициент усиления. В систему звуковой аппаратуры входят микрофоны, магнитофоны (диктофоны), усилители низкой частоты, громкоговорители (звуковые колонки).

3.21. Микрофон предназначен для преобразования звуковых колебаний в электрические. Основные характеристики микрофонов: чувствительность, частотная характеристика, характеристика направленности (зависимость чувствительности от направления на источник звука). Основные характеристики некоторых типов отечественных микрофонов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Тип	Диапазон частот, Гц	Характеристика		Габариты, мм	Масса, кг
		чувствительность, $мВ \cdot м^2/Н$	выходное сопротивление, Ом		
МД-47	10—10000	15	$5 \cdot 10^5$	94×71×32	0,26
МД-54	140—10000	0,15	250	23×65	0,09
МД-59	50—15000	—	250	34×120	—
МД-63	60—15000	—	250	22×68	0,125
МД-63Р	60—15000	—	250	—	0,09
МД-64	10—10000	1,0	250	35×62	0,120
19А-25	30—16000	17	1000	32×210	0,275
19А-25	40—16000	19	1000	44×23×180	1,09
82А-11	150—8000	1,25	300	30×200	0,25
КМК-11	40—16000	19	1000	44×23×180	0,205
МЛ-18	100—10000	12	250	53×260	1,1
МК-61	40—15000	7,5	250	31,5×100	0,24

3.22. Для оснащения аудиторий рекомендуется использовать динамические микрофоны. Микрофон может быть установлен на столе преподавателя. Имеются варианты нагрудных микрофонов, позволяющие преподавателю отходить от стола на расстояние, ограниченное длиной кабеля. Представляют интерес радиомикрофоны, обеспечивающие независимость преподавателя от кабеля. В одном из образцов радиомикрофона использован микрофон МД-63Р.

Наша промышленность выпускает достаточное число различных типов микрофонов, что позволяет учитывать требования к ним в каждом конкретном случае.

3.23. Усилитель низкой частоты предназначен для усиления низкочастотных сигналов от микрофонов, адаптера, линии трансляционной сети, магнитофона. Технические характеристики некоторых выпускаемых отечественной промышленностью усилителей приведены в табл. 7.

Таблица 7

Тип усилителя	Основные характеристики		Чувствительность входа			Полоса частот, Гц
	выходная мощность, Вт	номинальное выходное напряжение, В	микрофонный, мВ	звукосниматель, мВ	линейный, В	
УМ-50А	50	30; 120	0,0	150	—	60—8000
ТУ-50М	50	30, 120	0,6	150	—	60—8000
ВТУ-40	40	1,5; 30	0,5	—	0,7	80—10000
«ЗВУК» 1-25	25	60 —	1,0	150	—	40—12000
КЗВП-10	12	3,3 —	1,0	150	0,7	60—10000
УНЧ-3	3	3,3 30	3,5	100	10	80—12000

3.24. Для небольших аудиторий и классов используются усилители с выходной мощностью не более 10 Вт. Для больших аудиторий целесообразно использование усилителей типа ТУ-50, УМ-50. В аудиториях, оснащенных стационарной кинопроекционной аппаратурой, возможно использование усилителей киноустановок.

3.25. Магнитофоны предназначены для записи и воспроизведения звуковой информации. Основные требования к используемым в учебном процессе магнитофонам: достаточно высокое качество записи и воспроизведения, возможность дистанционного управления, время непрерывной записи и воспроизведения. Технические характеристики некоторых из выпускаемых нашей промышленностью магнитофонов приведены в табл. 8.

3.26. Громкоговорители предназначены для преобразования электрических колебаний в звуковые. Основными параметрами, характеризующими качество громкоговорителя, являются: номинальная мощность, чувствительность, диапазон воспроизводимых частот, входное

Таблица 8

Тип прибора	Основные характеристики				Наличие дистанционного управления
	к-во дорожек	скорость движения ленты, см/с	Гполоса частот, Гц	выходная мощность, Вт	
«Комета МГ-201»	2	19,05 9,53 4,72	50—10000 100—8000 100—3500	1,5	+
«Комета-209»	4	19,05 9,53 4,76	40—14000 63—10000 63—6300	2,0	+
«Маяк-201»	4	19,05 9,53 4,76	40—16000 63—12500 63—6300	2,0	+
«Яуза-212»	4	9,53 4,76	63—12500 63—6300	3,0	—
«Аврора-стерео»	4	19,05 9,53 4,76	40—16000 63—12500 63—6300	2,0	—

сопротивление, нелинейные искажения, направленность излучения. Характеристики некоторых типов громкоговорителей по литературным данным приведены в табл. 9, а звуковых колонок отечественного производства — в табл. 10.

3.27. Выбор того или иного типа громкоговорителей обусловлен требованиями к качеству звуковоспроизведения, габаритами и акустическими свойствами помещения.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОГО ПОМЕЩЕНИЯ

3.28. Для всех помещений, в которых осуществляется прослушивание фонограмм звуковых кинофильмов, устанавливается норма на акустическую частотную характеристику, которая призвана регламентировать качественные показатели как звуковоспроизводящего тракта, так и акустических условий помещения.

3.29. Акустическая частотная характеристика учебного помещения представляет собой кривую зависимости уровня квадрата звукового давления, усредненного по данным измерения в нескольких точках помещения при объеме от 100 до 500 м^3 в 4—8 точках и при объеме 500 м^3 и более в 5—10 точках от частоты сигнала. Акустическая частотная характеристика помещения выражает собой не только частотные свойства прямого сигнала, но и сигнала реверберационного.

3.30. Измерения звукового давления производятся на октавных полосах частот (рис. 22). Точки для измерений выбираются в зоне

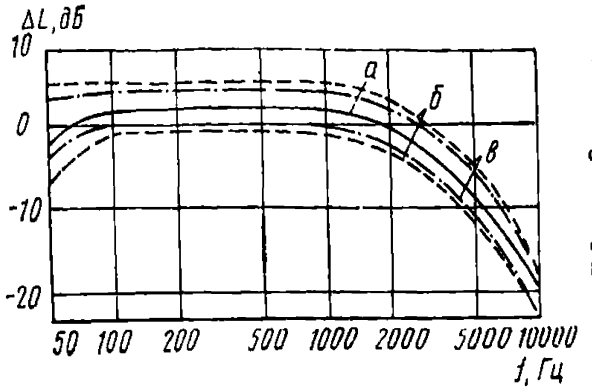


Рис. 22. Акустическая частотная характеристика для помещений с ТСО *а* — кривая, усредненная по данным измерения во всех точках зала; *б* — кривые, показывающие допустимые пределы отклонения характеристики при измерениях $^1/_3$ октавными полосами шума; *в* — кривые, показывающие допустимые пределы отклонения характеристики при измерениях октавными полосами шума (рекомендуемые НИКФИ для залов кино)

Таблица 9

Тип	Номинальная мощность, Вт	Номинальное сопротивление, Ом	Диапазон частот, Гц	Частота резонанса, Гц
1ГД-28	1	6,5	100—10^4	140±20
1ГД-36	1	8,0	—	120±20
1ГД-3РР3	1	6,5	$5\cdot10$—$18\cdot10^3$	$4{,}5\cdot10^3$
2ГД-19	2	4,5	$80\cdot10^4$	8±15
2ГД-28	2	4,5	100—10^4	80±15
4ГД-4	4	8,0	63—12300	45±10
4ГД-4РР3	4	8,0	60—12800	55±10
4ГД-28	4	4,5	60—12000	80±10
4А-33	6	15	45—18000	42±46

Таблица 10

Тип	Головка	Кол-во	Номинальная мощность, Вт	Диапазон частот, Гц	Полное сопротивление Ом, на частоте 1000 Гц при напряжении, В			Габариты, мм
					30	120	240	
8КЗ-1	2ГД-3	4	8	180—600	112	1800	—	830×110××185
8КЗ-2	2ГД-3	4	8	180—6000	112	1800	—	780×130××200
10КЗ-1	2ГД-3	8	10	120—8000	99	1440	5760	750×220××300
10КЗ-2	2ГД-3	8	10	120—8000	90	1440	5760	725×255××365
10ГДН-1	4ГД-1	4	10	80—8000	90	1440	5760	630×520

слушательских мест на расстоянии не менее 1,5 м от ограничивающих поверхностей. Высота размещения микрофона над полом 1,5 м, а его расстояние от громкоговорителя не менее 1 м.

3.31. В процессе измерения определяем звуковое давление в ряде точек, оценивая пространственную равномерность звукового поля исследуемого помещения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

НЕКОТОРЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ И ВЕЛИЧИНЫ

Воздушные звуковые волны и скорость звука

1. Воздушные звуковые волны состоят из чередующихся друг с другом уплотнений и разрежений воздуха. Эти уплотнения и разрежения распространяются со скоростью C, называемой скоростью звука. Скорость звука в воздухе при температуре 20°С составляет около 340 м/с; это значение принимается для акустических расчетов помещений, эксплуатируемых в обычных температурных условиях.

Чистые тона

2. Чистым тоном называется звук, колебания давления которого являются гармоническими, т. е. выражаются в виде синусоидальной функции времени. В этом случае звуковое давление P — избыточное сверх обычного атмосферного давления в какой-либо точке — записывается следующим образом:

$$P = P_{max} \sin (2\pi f t + \psi), \qquad (1.1)$$

где P_{max} — амплитуда звукового давления, Па; f — частота (число колебаний в единицу времени), Гц; t — время, с; ψ — начальная фаза колебания.

Чем больше амплитуда звукового давления, тем сильнее тон; чем больше частота, тем он выше.

Как известно из математического анализа, любое колебание может быть разложено на чистые тона (теорема Фурье). Понятие чистого тона широко используется в акустике.

Длина звуковой волны

3. Длина звуковой волны чистого тона λ связана со скоростью звука C и его частотой f соотношением

$$\lambda = c/f, \qquad (1.2)$$

из которого видно, что чем выше частота, тем короче длина волны.

Так, например, для частоты 100 Гц длина волны λ=340/100=3,4 м, а для частоты 1000 Гц она равна 0,34 м.

Среднеквадратичное звуковое давление

4. Звуковое давление в какой-либо точке изменяется во времени, принимая положительные и отрицательные значения. Поэтому в расче-

ты вводят усредненное во времени среднеквадратичное звуковое давление $P_{ср}$. Для чистого тона $P_{ср} = P_{max}/\sqrt{2}$.

Область звукового восприятия

5. Слух человека ощущает лишь ограниченную по частоте и давлению область воздушных колебаний. Область эта лежит в пределах приблизительно от 20 до 20000 Гц по частоте и от $2 \cdot 10^{-5}$ до 20 Па по среднеквадратичному звуковому давлению (давление выше 20 Па ощущается уже как боль в ушах).

Уровень звукового давления

6. Как видно из приведенных данных, ощущаемые слухом звуки могут отличаться по давлению примерно в миллион раз. Оперировать такими громоздкими числами неудобно, и вместо звукового давления пользуются другой, логарифмической величиной — уровнем звукового давления, дБ:

$$L = 20 \lg \frac{P_{ср}}{P_{0ср}}, \qquad (1,3)$$

где $P_{ср}$ — измеряемое среднеквадратичное звуковое давление; $P_{0\,ср} = 2 \cdot 10^{-5}$ Н/м² — среднеквадратичное звуковое давление, принятое за начало отсчета.

Благодаря введению уровня звукового давления огромный диапазон от $2 \cdot 10^{-5}$ до 20 Н/м² удается преобразовать в сравнительно небольшой и удобный диапазон от 0 до 120 дБ. Вместе с тем уровень звукового давления имеет и другое существенное преимущество: изменение его на 1 дБ приблизительно соответствует минимальному, еще ощутимому человеком изменению громкости звука.

Для сложного звука, состоящего из многих чистых тонов, измеряются либо уровни звукового давления отдельных чистых тонов, либо суммарный уровень звукового давления в некоторой полосе частот. Полоса частот характеризуется ее граничными частотами — нижней f_1 и верхней f_2 и ее среднегеометрической частотой $f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$. Наиболее употребительны октавная полоса ($f_2/f_1 = 2$), полуоктавная ($f_1/f_2 = 2 = 1{,}41$) и третьоктавная ($f_2/f_1 = \sqrt[3]{2} = 1{,}26$).

Диффузность звукового поля

7. В замкнутом помещении звуковые волны, отражаясь от его поверхностей, движутся по разнообразным направлениям. В результате этого в помещении образуется сложное звуковое поле. Важное значение в акустике помещений имеет понятие «диффузное поле», характеризуемое тем, что во всех точках поля усредненные во времени уровень звукового давления и поток, приходящий по любому направлению звуковой энергии, постоянны. Такое диффузное поле является идеальным случаем, не выполняющимся полностью в реальных помещениях, но для создания хорошей акустики помещения следует стремиться, по возможности, приблизиться к нему.

Коэффициент звукопоглощения

8. Звуковые волны несут с собой механическую энергию, получаемую ими от источника звука (звуковую энергию). Падая на какую-

либо поверхность звуковые волны отражаются от нее, теряя часть своей энергии. Этот процесс называется звукопоглощением, а отношение поглощенной при этом энергии к падающей — коэффициентом звукопоглощения α, являющимся безразмерной величиной. При полном поглощении падающей энергии $\alpha=1$, а при полном ее отражении $\alpha=0$. Коэффициент звукопоглощения некоторой поверхности зависит от ее материала и расположенной за ней конструкции, от частоты звука и угла падения звуковых волн. При акустических расчетах помещений обычно применяются усредненные для разных углов падения коэффициенты звукопоглощения поверхностей, соответствующие диффузному звуковому полю.

Эквивалентная площадь звукопоглощения

9. Если какая-либо поверхность имеет площадь S и коэффициент звукопоглощения α, то величина

$$A = \alpha S \qquad (1,4)$$

называется эквивалентной площадью звукопоглощения (ЭПЗ) этой поверхности. Из определения коэффициента звукопоглощения следует, что ЭПЗ есть площадь полностью поглощающей звук поверхности, которая поглощает такое же количество звуковой энергии, как и данная поверхность S. Если S измеряется в м^2, то такую же размерность имеет и A.

К некоторым объектам сложной формы и сравнительно небольших размеров (например, кресла и слушатели) понятие «коэффициент звукопоглощения» трудно приложимо, и звукопоглощающие свойства такого объекта характеризуются его эквивалентной площадью звукопоглощения.

Реверберация

В закрытом помещении после прекращения звучания источника звук исчезает не сразу; звуковые волны продолжают многократно отражаться от поверхностей помещения, теряя при каждом отражении часть своей энергии, вследствие чего уровень звукового давления в воздушном объеме помещения постепенно спадает. Такой процесс спадания уровня звукового давления в помещении после прекращения звучания источника называется реверберацией и обозначается T, с.

Звукоизоляция

Звукоизоляция — способность ограждения уменьшать проходящий через него звук.

Звукоизолирующая способность R — величина звукоизоляции ограждающей конструкции от воздушного звука — при условии исключения всех обходных путей, вычисляется по формуле

$$R = D + 10 \lg \frac{S}{A}, \qquad (1.5)$$

где S — площадь ограждения между комнатой высокого уровня (КВУ) и комнатой низкого уровня (КНУ); A — эквивалентная площадь звукопоглощения КНУ; D — разность уровней звукового давления в помещениях КВУ и КНУ.

Звукоизолирующая способность в натурных условиях R' — звукоизолирующая способность ограждающей конструкции от воздушного

звука (в натурных условиях) при наличии обходных путей для звука. Она определяется по формуле

$$R' = D + 10 \lg \frac{S}{A}, \qquad (1.6)$$

Передача обходными путями — передача звука по окружающим строительным конструкциям, кроме конструкции, непосредственно разделяющей КВУ и КНУ, и другими путями (трещины, отверстия, шахты, каналы).

Изоляция перекрытий от ударного звука характеризуется величиной звуковой мощности, излучаемой перекрытием в находящиеся под ним помещения при работе стандартной ударной машины.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

УСЛОВИЯ ДОПУСТИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ (ЛУЧЕВЫХ) ОТРАЖЕНИЙ И ИХ ПОСТРОЕНИЕ

При некоторых условиях, о которых говорится далее, можно вместо звуковых волн рассматривать звуковые лучи, в направлении которых распространяются эти волны. Распространение таких лучей аналогично распространению световых лучей в геометрической оптике, и построение геометрических (лучевых) отражений широко применяется в архитектурной акустике.

1. УСЛОВИЯ ДОПУСТИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ (ЛУЧЕВЫХ) ОТРАЖЕНИЙ

Законы геометрического отражения хорошо известны из оптики: 1) падающий и отраженный от какой-либо точки поверхности лучи образуют равные углы (угол падения и угол отражения) с нормалью к отражающей поверхности в этой точке; 2) падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости (лучевая плоскость) с нормалью.

Допустимость применения геометрических (лучевых) отражений зависит от длины звуковой волны, размеров отражающей поверхности и ее расположения по отношению к источнику звука и точке приема. На рис. 1 отражающая поверхность взята в виде прямоугольного плоского отражателя со сторонами, равными *2а, 2в,* центр его совпадает с точкой геометрического отражения *О,* а сторона *2а* параллельна лучевой плоскости *П,* в которой лежат падающий луч *QO,* отраженный луч *OM* и нормаль *ON*. R_0 — расстояние от источника Q до точки O; R — расстояние от точки O до точки приема M, γ — углы падения и отражения.

Если ввести безразмерные величины

$$U = a \cos\gamma \sqrt{\frac{2}{\lambda}\left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R}\right)}; \qquad (2.1)$$

$$v = b \sqrt{\frac{2}{\lambda}\left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R}\right)}; \qquad (2.2)$$

где λ — длина звуковой волны, то абсолютное отклонение уровня зву-

кового давления в точке приема M от уровня, получающегося при строго геометрическом отражении, не превысит

$$\Delta L = 4{,}4\left(\frac{1}{u}+\frac{1}{v}\right). \qquad (2\cdot3)$$

Применение геометрических отражений можно считать допустимым, если ΔL не более 5 дБ, а наименьшая сторона отражателя не менее чем в 1,5 раза превышает длину волны λ. Длина волны λ связана с частотой f соотношением (2) прил. 1.

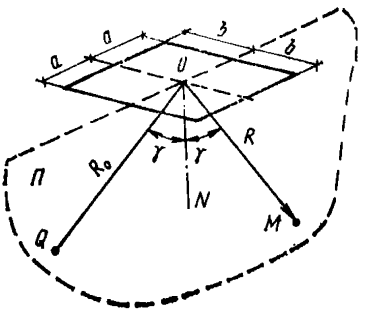


Рис. 1. Отражение звука от прямоугольного отражателя

Если форма и ориентировка отражателя отличаются от показанных на рис. 1, то расчет значительно усложняется. Для приблизительной оценки отклонения от геометрической акустики в этом случае можно использовать формулу (2.3), вписав в контур отражателя прямоугольник, удовлетворяющий рис. 1.

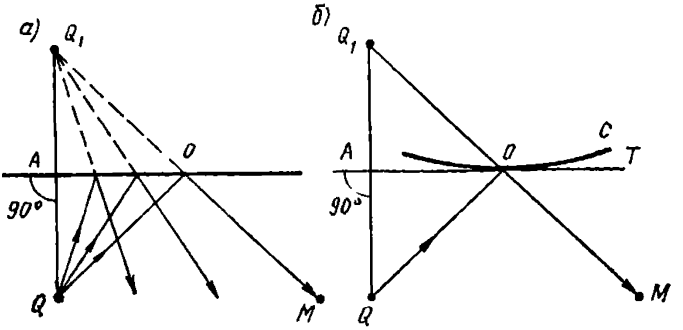
Формула (2.3) применима и для отражателя, обладающего кривизной, если наименьший радиус кривизны не менее чем в два раза превышает длину волны λ.

Поверхности, дающие направленные отражения, следует проектировать таким образом, чтобы приведенные выше условия применимости геометрических отражений выполнялись, по крайней мере для частот, превышающих 300—400 Гц (т. е. для звуковых волн длиною примерно 1 м и менее), так как эти частоты важны для разборчивости речи. Таким образом, для расчета можно принимать $\lambda=1$ м. Если указанные условия выполнены, то построение геометрических отражений допустимо не только от центра отражателя, но и от других точек его поверхности, удаленных от краев отражателя не менее чем на половину длины волны λ. При заданном требовании $\lambda\leqslant 1$ м точки геометрического отражения должны браться не ближе 0,5 м от краев отражающей поверхности.

2. ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОТРАЖЕНИЙ

При построении геометрических отражений от плоскости удобен прием, показанный на рис. 2*а*. Здесь используется мнимый источник Q_1, симметричный с действительным точечным источником Q по отношению к отражающей плоскости и находящийся по другую сторону. Для построения мнимого источника надо опустить из точки Q перпендикуляр QA на отражающую плоскость и на продолжении его отложить отрезок AQ_1, равный отрезку QA. Прямые, проведенные из Q_1, после пересечения отражающей плоскости удовлетворяют условию равенства углов падения и отражения, т. е. являются искомыми отраженными лучами, создаваемыми действительным источником Q.

Метод мнимых источников применим и для построения отражения от кривых поверхностей. Если требуется найти отражение от какой-либо точки O кривой поверхности C (рис. 2*б*) при заданном положении источника Q, то следует в точке O построить касательную плоскость T к поверхности. Мнимым источником в этом случае является точка Q_1, симметричная источнику Q относительно касательной плоскости; продолжение OM прямой Q_1O после пересечения ее с поверхностью C является искомым отраженным лучом. Здесь для каждой точки O отра-



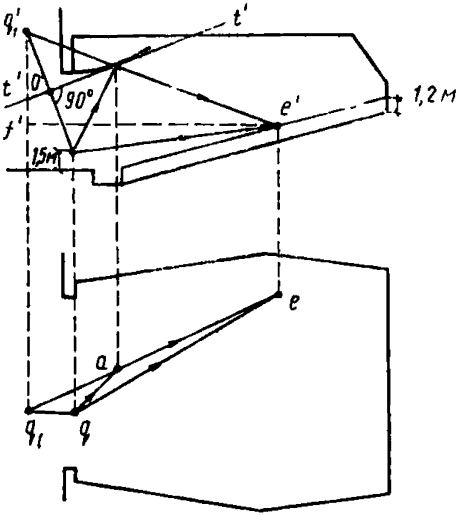


Рис. 2. Построение геометрических отражений с помощью мнимого источника

а — отражение от плоскости; *б* — отражение от кривой поверхности

Рис. 3. Построение геометрических отражений при касательной плоскости, перпендикулярной плоскости проекций

жающей поверхности приходится находить свой мнимый источник Q_1 в отличие от ранее рассмотренного случая плоскости (рис. 2*а*), у которой для отражения от любой ее точки мнимый источник один и тот же (при заданном положении источника Q). Суммарная длина $\overline{QO}+\overline{OM}$ лучей QO и OM, дающая длину полного хода отраженного звука от источника Q до некоторой точки приема M, равна расстоянию Q_1M от мнимого источника Q_1 до точки M (рис. 2 *а, б*). При этом, разумеется, следует брать истинные длины указанных отрезков, а не их проекций.

Если лучевая плоскость $П$ (см. рис. 1) параллельна одной из плоскостей проекций (вертикальной или горизонтальной), то углы падения и отражения проецируются на эту плоскость без искажения, и построение отраженного луча выполняется при помощи описанных выше приемов. Не представляет трудности построение отраженного луча и в тех случаях, когда плоскости проекций параллельна не лучевая плоскость, а лишь нормаль к отражающей поверхности в точке отражения. Это равносильно тому, что касательная плоскость к отражающей поверхности (в этой же точке) перпендикулярна плоскости проекций. Для примера на рис. 3 дано построение геометрического отражения, вызываемого отражателем, имеющим вид цилиндрической поверхности с произвольной криволинейной направляющей и с образующими, перпендикулярными к вертикальной плоскости проекций. Отражатель помещен вблизи потолка перед кафедрой. Точечный источник звука задан

его проекциями q и q'. Требуется найти геометрическое отражение от некоторой точки отражателя, имеющей проекции Q и Q'. В данном случае касательная плоскость к поверхности отражателя в этой точке перпендикулярна вертикальной плоскости проекции; вертикальная проекция этой касательной плоскости есть прямая $t't'$. Прямые $q'a'$ и qa являются вертикальной и горизонтальной проекциями луча, исходящего из источника и достигающего точки отражения.

Вертикальную проекцию мнимого источника q_1' находим, опустив из точки q' перпендикуляр $q'b'$ на прямую $t't'$ и отложив на его продолжении отрезок $b'q_1'$, равный отрезку $q'b'$. Снося точку q_1' на горизонтальную прямую, проходящую через точку q, находим горизонтальную проекцию мнимого источника q_1. Продолжения прямых $q_1'a'$ и q_1a_1, лежащие вправо от точек a' и a, являются соответственно вертикальной и горизонтальной проекциями отраженного луча. Вертикальная проекция отраженного луча пересекает в точке e' расчетную поверхность (проходящую на 1,2 м выше его пола, соответственного положению ушей слушателей). Снося точку e' на горизонтальную проекцию отраженного луча, находим горизонтальную проекцию e точки пересечения отраженного луча с расчетной поверхностью.

Длина ломаной линии, имеющей проекции qae и $q'a'e'$, равна полному ходу отраженного звука от источника до точки приема с проекциями e и e', т. е. равна расстоянию от мнимого источника до точки приема. Прямая с проекциями qe и $q'e'$ показывает ход прямого звука. Из рис. 3 легко найти также ход прямого и ход отраженного звука. Так, например, полный ход отраженного звука (от источника до точки приема) равен:

$$\sqrt{(\overline{q_1e})^2+(\overline{f'q_1'})^2}, \qquad (2.4)$$

где f — точка пересечения горизонтальной прямой, проведенной через точку e', с вертикальной прямой q'_1q_1.

В тех случаях, когда касательная плоскость к отражающей поверхности не перпендикулярна ни к одной из плоскостей проекций, надо при помощи обычных методов начертательной геометрии (замена плоскостей проекций, вращение) перейти к конфигурации, в которой касательная плоскость станет перпендикулярной к плоскости проекций.

3. УЧАСТКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОМЕЩЕНИЯ, ПРИГОДНЫЕ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ДЛЯ СИЛЬНОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ

Специальные звукопоглощающие материалы, обладающие большим коэффициентом звукопоглощения (см. прил. 4), не следует размещать на поверхностях, дающих звуковые отражения к слушателям, малозапаздывающие по сравнению с прямым звуком источника. В правильно запроектированном помещении такими отражениями в основном являются первые отражения от некоторых участков потолка и стен. Эти участки выявляются путем построения геометрических звуковых отражений от разных мест потолка и стен при различных возможных положениях источника звука. Построения производятся методами, изложенными в подразд. 2 настоящего приложения. При этом должно проверяться и время запаздывания отражений.

Такие участки не следует, кроме того, сильно расчленять.

Методом мнимого источника определяются участки, дающие первые отражения к слушателям, на больших плоских поверхностях. На

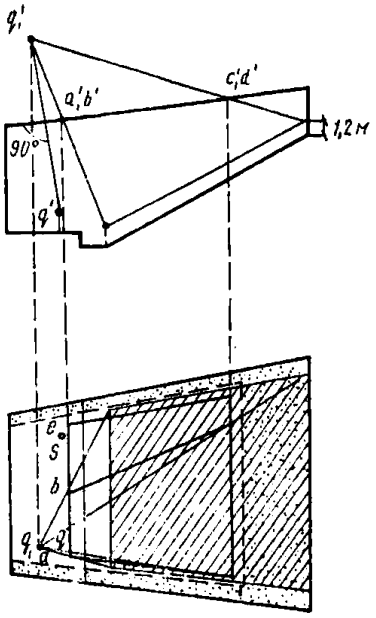


Рис. 4. Нахождение участков потолка, пригодных для размещения звукопоглощающих материалов

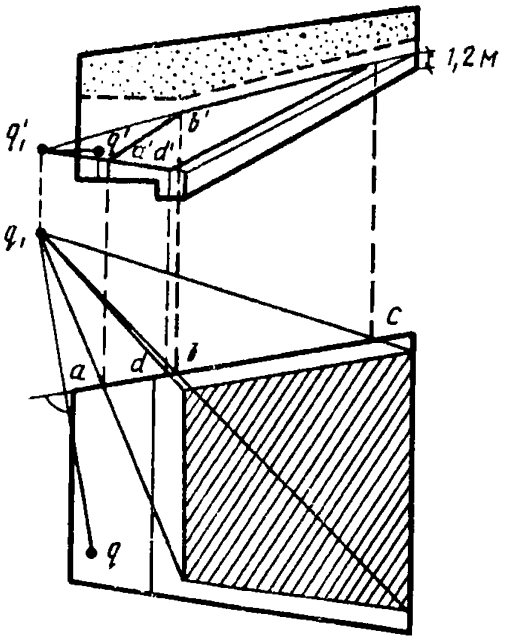


Рис. 5. Нахождение участков стен, пригодных для размещения звукопоглощающих материалов

рис. 4 показано построение такого участка на плоском наклонном потолке. Здесь q и q' — проекция источника, q_1 и q'_1 — проекция мнимого источника. Источник звука находится на кафедре, сбоку. При таком положении искомый участок потолка (с учетом также симметричного положения источника S) принимает наибольшие размеры. Участок партера, занятый слушателями, в плане заштрихован. Проведя из мнимого источника лучи к вершинам этого участка, находим вертикальные проекции a', b', c', d' точек пересечения этих лучей с плоскостью потолка; после этого на горизонтальных проекциях лучей получаем горизонтальные проекции a, b, c, d тех же точек. Таким образом, многоугольник с горизонтальной проекцией $abcd$ является искомым участком потолка, дающим отражения звука к слушателям.

Учитывая также симметричное положение источника S, получим в плане общий участок потолка $aefd$, от которого могут попадать к слушателям первые отражения при этих двух положениях источника. Для того, чтобы обеспечить отражения от краев участка, размеры его должны быть увеличены согласно подразд. 1 настоящего приложения путем добавления по его контуру полосы шириною 0,5 м. Оставшийся (затушеванный в плане) участок потолка можно использовать для размещения звукопоглощающих материалов. Часть потолка, находящуюся над кафедрой, не следует отделывать звукопоглотителями, так как окружающие эстраду поверхности должны быть малопоглощающими (это нужно и для того, чтобы ранние звуковые отражения приходили к самим ораторам).

На рис. 5 аналогичным образом найден участок плоской боковой стены, дающий первые отражения к слушателям. Здесь q и q' — горизонтальная и вертикальная проекции источника, а q_1 и q'_1 — проекции мнимого источника. Теми же приемами, что и для потолка, нахо-

дим в вертикальной проекции участок боковой стены a', b', c', d', дающий первые отражения к слушателям. На затушеванном участке вертикальной поверхности стены можно размещать звукопоглощающие материалы. В части стены около пола размещение звукопоглотителя нецелесообразно из-за возможности его повреждения. Значительная часть стены около кафедры (как и часть потолка на рис. 4), оставлена без отделки звукопоглотителем.

На задней стене звукопоглотители следует размещать в тех случаях, когда от нее поступают к слушателям сильно запаздывающие отражения. Если же (что более рационально) примыкание потолка к задней стене выполнено таким образом, что она дает раннее отражение к слушателям, то ее не следует отделывать звукопоглощающими материалами.

Примечание. После нахождения описанными приемами участков, дающих первые отражения, следует проверить достаточность размеров этих участков для получения от них геометрических отражений, *беря приближенно вместо сложного контура прямоугольник* (*пользуясь* методикой подразд. 1 настоящего приложения). Если размеры участков окажутся недостаточными, их следует соответственно увеличить (уменьшив тем самым участки, на которых можно размещать звукопоглотители).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Для каждой из стандартных частот (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц) расчет производится в следующей последовательности.

1. Определяется суммарное поглощение звука в проектируемом помещении A:

$$A = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i S_i + \sum_{k=1}^{m} a_k N_k, \qquad (4.1)$$

где α_1, α_2, ..., α_i — коэффициенты звукопоглощения поверхностей помещения, имеющих площади S_1, S_2, ..., S_i; a_1, a_2, .., a_k — эквивалентные поглощения каждого из объектов того или иного вида, м²; k — количество этих объектов.

2. Определяется средний коэффициент поглощения $\alpha_{ср}$ в помещении

$$\alpha_{ср} = A/S, \qquad (4.2)$$

где S — суммарная площадь всех внутренних поверхностей помещения, м².

3. Определяется время реверберации проектируемого помещения по формуле

$$T = \frac{0{,}16V}{-S \ln (1-\alpha) + 4mV}, \qquad (4.3)$$

где V — объем помещения, м³; m — коэффициент затухания в воздухе (учитывается только на частотах 2000, 4000 Гц), значения которого (по измерениям Харриса при $t°=+20$ С) приведены в табл. 1.

4. Сравнивается полученное время реверберации с нормативным (см. рис. 4). Если рассчитанное время реверберации не попадает выше заштрихованной области, то помещение удовлетворяет акустическим требованиям и расчет на этом заканчивается.

5. Если $T_{расч}$ окажется выше нормативной величины $T_н$, то опре-

Таблица 1

Относительная влажность воздуха, %	Коэффициент m, $м^{-1}$, при частоте, Гц	
	2000	4000
30	0,0119	0,0379
40	0,0104	0,0287
50	0,0096	9,0244
60	0,0090	0,0224
70	0,0085	0,0213
80	0,0081	0,0204
90	0,0080	0,0200

деляется $\alpha_{ср}$ — средний коэффициент звукопоглощения, удовлетворяющий нормативному значению времени реверберации.

$$\alpha'_{ср} = 1 - e^{-0,163 \frac{V}{T_н S}}.$$

6. Определяется величина дополнительного звукопоглощения ΔA:

$$\Delta A = S(\alpha'_{ср} - \alpha_{ср}). \qquad (4.4)$$

7. Выбираются звукопоглощающий материал или конструкция, обладающие наибольшим значением звукопоглощения (α_{max}) на тех частотах, на которых расчетное время реверберации наиболее отлича-

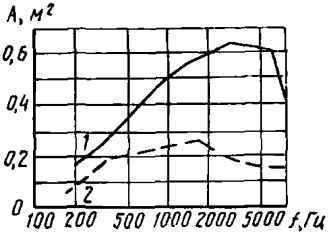


Рис. 6. Звукопоглощение ученика, сидящего за партой (*1*) и парты (*2*)

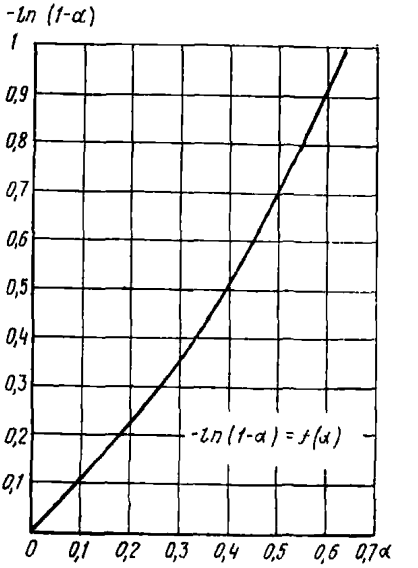


Рис. 7. Значение функции $f(\alpha) = -\ln(1-\alpha)$ для расчета времени реверберации

ется от нормативного (типы звукопоглощающих материалов и конструкций см. в табл. прил. 4 и рис. 6, рис. 7)

8. Определяется площадь, которую необходимо закрыть выбранным материалом:

$$S_{п.м} = \frac{\Delta A}{\alpha_{п.м}}. \qquad (4.5)$$

9. Вновь по формулам находится время реверберации для акустически обработанного помещения и сравнивается с нормативным. В случае несоответствия производится дополнительная корректировка за счет добавления звукопоглощающего материала.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Коэффициенты звукопоглощения материалов и конструкций (табл. 1) и эквивалентная площадь звукопоглощения слушателей и кресел (табл. 2)

Таблица 1

Материалы или конструкции	Коэффициент звукопоглощения для частоты, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
А. Обычные строительные материалы и конструкции						
1. Стены оштукатуренные, окрашенные клеевой краской	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
2. То же, масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
3. Штукатурка по металлической сетке с воздушной полостью позади	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
4. Бетон с железнением поверхности	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
5. Мрамор, гранит и другие каменные породы, шлифованные	0,01	—	0,01	—	0,015	—
6. Панель деревянная толщиной 5—10 мм с воздушной прослойкой 50—150 мм*	0,30	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
7. Плиты древесностружечные неокрашенные толщиной 20 мм с воздушной прослойкой 50—150 мм	0,30	0,25	0,10	0,08	0,05	—
8. Плиты твердые древесноволокнистые толщиной 4 мм, объемной массой 1000 кг/м³, с воздушной прослойкой 50—150 мм	0,30	0,16	0,08	0,05	0,04	0,08
9. Штукатурка гипсовая толщиной 10 мм (ГОСТ 6266—67) с воздушной прослойкой 50—150 мм	0,30	0,25	0,10	0,08	0,05	0,04
10. Переплеты оконные, застекленные	0,30	0,20	0,15	0,10	0,06	0,04
11. Пол паркетный	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
12. Пол дощатый на лагах	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,09

* Здесь и далее имеется в виду воздушная прослойка позади плит.

Продолжение табл. 1

Материалы или конструкции	Коэффициент звукопоглощения для частоты Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
13. Линолеум толщиной 5 мм по твердому основанию	0,02	—	0,03	—	0,04	—
14. Ковер шерстяной толщиной 9 мм по бетону	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
15. То же, на войлочной подкладке толщиной 3 мм	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,30
16. Портьеры хлопчатобумажные на подкладке со складками массой 0,5 кг/м² на 1 м² ткани	0,05	0,30	0,45	0,70	0,65	0,50
17. Портьеры плюшевые со складками массой 0,65 кг на 1 м² ткани	0,15	0,35	0,55	0,70	0,70	0,65
18. Проем сцены, оборудованный декорациями	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
19. Киноэкран	0,30	—	0,40	—	0,40	—
Б. Специальные звукопоглощающие материалы и конструкции						
20. Плиты гипсовые перфорированные с пористым заполнителем размером 810×810×26 мм (Беличский комбинат строительных материалов, УССР):						
без воздушной прослойки	0,05	0,20	0,45	0,75	0,55	0,35
с воздушной прослойкой, мм:						
50	0,05	0,40	0,75	0,55	0,55	0,35
100	0,15	0,60	0,75	0,55	0,50	0,30
200	0,25	0,65	0,65	0,60	0,55	0,30
21. Плиты минераловатные акустические размером 500×500×20 мм (комбинат «Красный строитель», г. Воскресенск, Московская обл.):						
перфорированные ПА/О без воздушной прослойки	0,05	0,15	0,60	0,90	0,80	0,40
перфорированные ПА/О с воздушной прослойкой, мм:						
50	0,05	0,35	0,90	0,80	0,70	0,40
100	0,20	0,40	0,90	0,75	0,70	0,40
отделочные ПА/С «с набрызгом» без воздушной прослойки	0,05	0,15	0,60	0,80	0,85	0,80
то же, с воздушной прослойкой, мм:						
50	0,10	0,30	0,80	0,85	0,80	0,70
100	0,15	0,50	0,85	0,80	0,80	0,70
гладкие декоративные ПА/Д без воздушной прослойки	0,05	0,40	0,40	0,40	0,20	0,10
то же, с воздушной прослойкой, мм:						
50	0,15	0,40	0,40	0,40	0,20	0,10
100	0,25	0,40	0,40	0,40	0,20	0,10
22. Плиты пористые акустические «Акмигран» размером 300×300×20 мм (Павшинский комбинат гипсовых и термоизоляционных изделий, Московская обл.):						
без воздушной прослойки	0,05	0,15	0,50	0,65	0,65	0,70
с воздушной прослойкой, мм:						
50	0,15	0,55	0,55	0,65	0,65	0,70
100	0,25	0,55	0,55	0,65	0,65	0,70
200	0,35	0,60	0,60	0,65	0,70	0,75
23. Фибролит толщиной около 50 мм с воздушной прослойкой 50—100 мм	0,20	0,45	0,45	0,50	0,60	0,65
24. Слой пористого звукопоглотителя толщиной не менее 100 мм, покры-	0,40	0,70	0,80	0,80	0,75	0,65

Продолжение табл. 1

Материалы или конструкции	Коэффициент звукопоглощения для частоты, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
тый стелотканью Э-0,1 или мешковиной и деревянными рейками, шириной 20—25 мм, толщиной 10—12 мм, расстояние между рейками 15—20 мм						
25. То же, вместо реек перфорированные плиты АГШБ размерами 400×400×10 мм и 500×500×10 мм, отверстия диаметром 10 мм с шагом 24 мм, (Павшинский комбинат гипсовых и термоизоляционных изделий, Московская обл.)	0,40	0,70	0,75	0,60	0,45	0,30
Слушатель на кресле:						
мягком и полумягком	0,25	0,30	0,40	0,45	0,45	0,40
жестком	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35	0,35
Кресло:						
мягкое с пористым заполнителем сидения и спинки, обитое воздухопроницаемой тканью	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,30
полумягкое, обитое воздухопроницаемой тканью	0,08	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20
полумягкое, обитое искусственной кожей	0,08	0,10	0,12	0,10	0,10	0,08
жесткое с фанерными спинкой и сидением	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05

Примечание. В поз. 24 вместо реек можно применить перфорированные асбоцементные листы толщиной 5 мм с отверстиями диаметром 7 мм и шагом 14 мм Рижского цементно-шиферного завода.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОПРАВОК $\Delta_в$ и $\Delta_у$ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИНДЕКСОВ ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНОГО ШУМА ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИЕЙ $I_в$ И ПРИВЕДЕННОГО УРОВНЯ УДАРНОГО ШУМА ПОД ПЕРЕКРЫТИЕМ $I_у$

1. Для вычисления поправки $\Delta_в$, дБ, необходимо на график с нормативной частотной характеристикой изоляции воздушного шума (рис. 8) нанести частотную характеристику изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией и определить среднее неблагоприятное отклонение нанесенной частотной характеристики от нормативной.

Неблагоприятными отклонениями следует считать отклонения вниз от нормативной частотной характеристики. Среднее неблагоприятное отклонение следует принимать равным $\frac{1}{18}$ суммы неблагоприятных отклонений.

Если среднее неблагоприятное отклонение приближается, но не превышает 2 дБ, а максимальное неблагоприятное отклонение не превышает 8 дБ, то поправка $\Delta_в=0$.

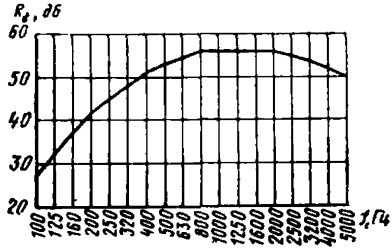


Рис. 8. Нормативная кривая изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией



Рис. 9. Нормативная кривая приведенного уровня ударного шума под перекрытием

Если среднее неблагоприятное отклонение превышает 2 дБ или максимальное неблагоприятное отклонение превышает 8 дБ, то нормативная частотная характеристика смещается вниз (на целое число децибелл) так, чтобы среднее и максимальное неблагоприятные отклонения от смещенной нормативной частотной характеристики не превышали указанные величины. В этом случае поправка $\Delta_в$ отрицательна и равна величине смещения нормативной частотной характеристики.

Если среднее неблагоприятное отклонение значительно меньше 2 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, нормативная частотная характеристика смещается вверх (на целое число децибелл) так, чтобы среднее неблагоприятное отклонение от смещенной нормативной частотной характеристики приближалось, но не превышало 2 дБ, а максимальное неблагоприятное отклонение не превышало 8 дБ. В этом случае поправка $\Delta_в$ положительна и равна величине смещения нормативной частотной характеристики.

2. Для вычисления поправки $\Delta_у$, дБ, необходимо на график с нормативной частотной характеристикой приведенного уровня ударного шума (рис. 9) нанести частотную характеристику приведенного уровня ударного шума, зависящую от нормативной частотной характеристики.

Неблагоприятными отклонениями следует считать отклонения вверх

от нормативной частотной характеристики. Среднее неблагоприятное отклонение следует принимать равным $\frac{1}{16}$ суммы неблагоприятных отклонений.

Если среднее неблагоприятное отклонение приближается, но не превышает 2 дБ, а максимальное неблагоприятное отклонение не превышает 8 дБ, то поправка $\Delta_y=0$.

Если среднее неблагоприятное отклонение превышает 2 дБ или максимальное неблагоприятное отклонение превышает 8 дБ, то нормативная частотная характеристика смещается вверх (на целое число децибелл) так, чтобы среднее и максимальное неблагоприятные отклонения от смещенной нормативной частотной характеристики не превышали указанные величины. В этом случае поправка отрицательна и равна величине смещения нормативной частотной характеристики.

Если среднее неблагоприятное отклонение значительно меньше 2 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, нормативная частотная характеристика смещается вниз (на целое число децибел) так, чтобы среднее неблагоприятное отклонение от смещенной нормативной частотной характеристики приближалось, но не превышало 2 дБ, а максимальное неблагоприятное отклонение не превышало 8 дБ. В этом случае поправка Δ_y положительная и равна величине смещения нормативной частотной характеристики.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЙ, ЭКРАНИРУЮЩИХ ШУМ

1. Когда невозможно обеспечить рекомендуемое расстояние от источников внешнего шума до мест застройки учебного здания, снижение шума может достигаться с помощью специальных защитно-экранирующих сооружений.

2. Оценка эффективности экранирующих шум сооружений проводится по дополнительному снижению уровней звукового давления в октавных полосах частот в диапазоне 125—4000 Гц.

3. Расчет осуществляется по следующим этапам с помощью схемы и графика рис. 10:

а) аналогично приведенной схеме на рис. 10 вычерчивается в масштабе принципиальная схема расположения источника шума, экранирующего сооружения и точки наблюдения;

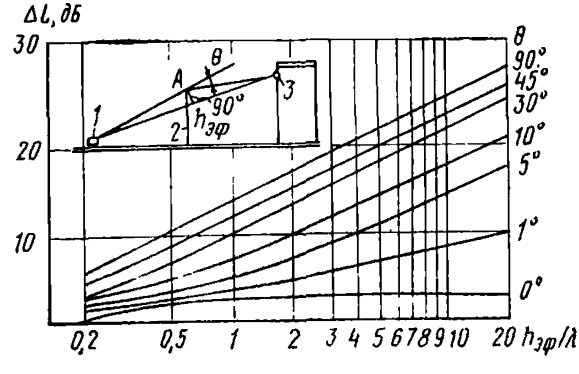


Рис. 10. График для определения эффективности экранов
1 — источник шума; *2* — экран; *3* — точка прослушивания; *4* — угол звуковой тени

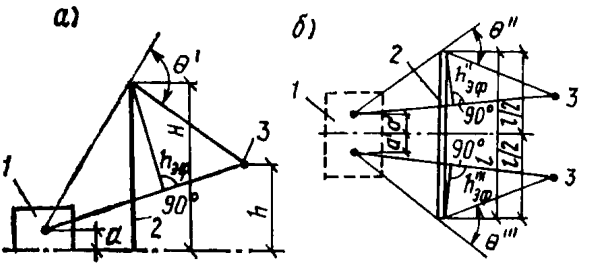


Рис. 11. Расчетная схема для определения эффективности экрана конечных размеров

а — изображение в вертикальной плоскости; *б* — изображение в горизонтальной плоскости;
1 — источник шума; *2* — экран; *3* — точка прослушивания

б) графическим путем определяют величину эффективной высоты экранирующего сооружения $h_{эф}$ и угла θ;

в) по графику рис. 10 в зависимости от $h_{эф}/\lambda$ (где λ — длина волны средних частот октавных полос) и величины угла θ определяется дополнительное снижение уровней звукового давления ΔL экрана.

Эффективность реального экрана конечной высоты и конечной ширины будет определяться формулой

$$\Delta L_{экр} = 10 \lg \frac{1}{10^{-0,1\Delta L'_{экр}} + 10^{-0,1(\Delta L''_{экр}+3)} + 10^{-0,1(\Delta L'''_{экр}+3)}}, \quad (6.1)$$

Если учесть дифракцию звуковых волн через боковые границы экрана в область звуковой тени за экраном, можно достаточно точно рассчитать эффективность экрана конечных размеров. Расчетная схема для определения эффективности экрана конечных размеров представлена на рис. 11.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Строительные нормы и правила.** СНиП II-12-77 «Защита от шума».
2. **Руководство** по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости. НИИСФ Госстроя СССР. — М., Стройиздат, 1981.
3. **Грузинов М. Н., Осипов Г. Л.** Эффективность градостроительных средств при шумозащите территории жилой застройки и жилых зданий. — В кн.: Строительная акустика. Труды НИИСФ, вып. 18. — М., 1978, с. 97—104.
4. **Рудник В. М. и др.** Звукопоглощающие материалы и конструкции. Справочник. — М., Связь, 1970.
5. **Галактионова Т. И., Илленко К. Н., Соловьев С. П.** Звукопоглощающий потолок — заявка на изобретение. Положительное решение ВНИИГПЭ № 2831842 от 16/VII-1981 г.
6. **Галактионова Т. И., Соловьев С. П., Щипанов Ю. М.** Универсальная штора, авт. свид. № 823554. — Б. И. № 15, 1981.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Общие положения 3
Назначение и область применения 3
Нормы допустимых уровней шума 4
Снижение шума санитарно-технического и инженерного оборудования учебных зданий 6
Размещение учебных зданий на жилой территории . . 6
2. Основные требования по акустическому благоустройству учебных зданий 10
Акустические требования к воздушному объему учебного помещения, его форме и очертаниям внутренних поверхностей 10
Время реверберации учебных помещений 11
Звукопоглощающая отделка аудиторий и звукопоглощение слушателей 12
Разборчивость речи 15
Требования к звукоизоляции ограждающих конструкций 17
Требования к учебным помещениям со свободной планировкой 20
3. Требования к учебным помещениям с техническими средствами обучения (ТСО) 21
Основные требования по выбору мощности, подбору и размещению электроакустической аппаратуры в учебных помещениях 21
Основные параметры звуковой аппаратуры, рекомендуемой к применению в учебных помещениях 27
Акустическая частотная характеристика учебного помещения 29
Приложение 1. Некоторые акустические понятия и величины . 31
Приложение 2. Условия допустимости применения геометрических (лучевых) отражений и их построение 34
1. Условия допустимости применения геометрических (лучевых) отражений 34
2. Построение геометрических отражений 35
3. Участки внутренних поверхностей зала, пригодные для размещения звукопоглощающих материалов и для сильного расчленения 37
Приложение 3. Акустический расчет учебных помещений . . . 39
Приложение 4. Коэффициенты звукопоглощения материалов и конструкций (табл. 1) и эквивалентная площадь звукопоглощения слушателей и кресел (табл. 2) 41
Приложение 5. Методика расчета поправок $\Delta_в$ и $\Delta_у$ при определении индексов изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией $I_в$ и приведенного уровня ударного шума под перекрытием $I_у$ 45
Приложение 6. Расчет эффективности сооружений, экранирующих шум 46
Литература 47

gost.e-ecolog.ru