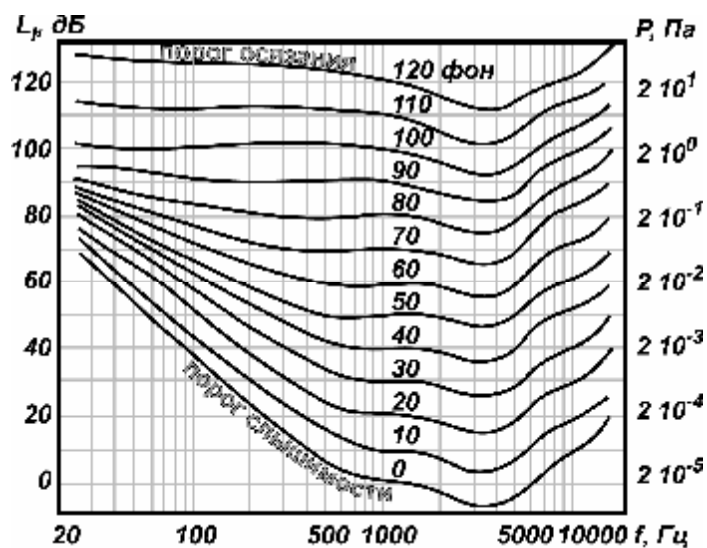


Федеральное агентство по образованию
Дальневосточный государственный технический университет
(ДВГУИТ имени В.В. Куйбышева)

АКУСТИКА СТУДИЙ ЗВУКОВОГО И ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ. СИСТЕМЫ ОЗВУЧИВАНИЯ

Учебно-методическое пособие по дисциплине
«Электроакустика и звуковое вещание»



Владивосток

2006

Одобрено научно-методическим советом ДВГТУ

УДК 621.396

А 44

Акустика студий звукового и телевизионного вещания. Системы озвучивания: учебно-методическое пособие/сост. Л.Г. Стаценко, Ю.В. Паскаль. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006 – 96 с.

Настоящее пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям: « Радиосвязь, радиовещание, телевидение», дисциплина « Электроакустика и звуковое вещание» и «Акустические приборы и системы», дисциплина « Шумы и вибрации», в системе очного, заочного и дистанционного образования. Содержит программу, методические указания, контрольные вопросы и задачи, указания по выполнению курсовой работы. Данное пособие может быть использовано для самостоятельной работы студентов.

Печатается с оригинал-макета, подготовленного авторами.

© Л.Г. Стаценко,

Ю.В. Паскаль, 2006

© ДВГТУ, Изд-во ДВГТУ, 2006

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА

Дисциплина «Электроакустика и звуковое вещание» является специальной, определяющей подготовку инженера радиосвязи, радиовещания и телевидения. Базируется на знании других специальных дисциплин, в частности «Электроника», «Радиопередающие устройства», «Радиоприемные устройства», «Схемотехника», «Микропроцессоры и цифровая обработка сигналов». Целью преподавания является изучение вопросов преобразования, обработки и передачи по каналам связи и вещания звуковых вещательных сигналов.

В программе дисциплины «Электроакустика и звуковое вещание» - теория звукового поля, психофизиологические основы восприятия звука, акустические процессы в помещениях, микрофоны, громкоговорители и телефоны, системы озвучения и звукоусиления, одно- и многоканальные системы звукового вещания и передачи звука в телевизионном вещании, устройства формирования, регулирования и контроля электрических сигналов звукового вещания, аналоговой и дискретной (цифровой) записи и воспроизведения сигналов, системы контроля и управления вещательными устройствами.

Изучив курс, студенты должны научиться проектировать и эксплуатировать устройства, входящие в системы звукоусиления, озвучивания, обработки и записи сигналов: проводить электрические и акустические измерения отдельных элементов и систем звукового вещания в целом; получить навыки технической эксплуатации аппаратуры звукового вещания, подготовки помещений к работе аппаратуры, записи, воспроизведения.

По курсу «Электроакустика и звуковое вещание» предусмотрено выполнение курсовой работы. Приступая к ее выполнению, студент должен ознакомиться с требованиями программы курса, изучить теоретический материал, изложенный в рекомендуемой литературе. В методическом пособии представлены контрольные вопросы и задачи для самопроверки.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Система звукового вещания

Краткий исторический очерк развития радио- и проводного вещания. Понятие о творческих и технических процессах формирования программ звукового вещания (ЗВ). Структуры каналов и трактов ЗВ. Параметры качества каналов и трактов ЗВ

2. Звуковое поле

Линейные и энергетические характеристики звукового поля. Структуры и свойства акустических плоских и сферических волн. Акустические и электрические уровни.

3. Восприятие акустических сигналов

Психологические и экологические аспекты. Строение слуховой системы. Преобразование сигналов слуховой системой. Восприятие чистых тонов, речевых и музыкальных сигналов, а также акустических шумов. Модели распознавания простых звуковых сигналов и восприятия речевых сообщений и художественных произведений. Смысловая и эмоциональная информация.

4. Сигналы звукового вещания

Статистика мгновенных значений. Статистика уровней. Статистика речевых и музыкальных сигналов, пауз и шумов. Динамический диапазон уровней. Спектральные характеристики звуковых сигналов. Понятия огибающей и мгновенной частоты. Учет статистических свойств и тонкой структуры сигналов при проектировании и эксплуатации устройств звукового вещания, звукозаписи и звукоусиления.

5. Акустика помещений

Звуковое поле в помещениях. Начало волновой, статистической и геометрической теорий акустических процессов в помещениях. Реверберационные процессы в зале, студии, жилом помещении, их структура и восприятие. Основные и дополнительные критерии акустического качества помещений: время реверберации, акустическое отношение, время эквивалентной реверберации, индекс диффузности, четкость реверберирующего сигнала и др. Оптимум времени реверберации, способы приближения к нему.

Недостатки акустики помещения: фокусировка звуковых волн, «порхающее эхо», дискретность спектра собственных частот. Заглушенность и гулкость помещений.

Поглощение звука. Звукопоглощающие материалы и конструкции. Звукоизоляция. Расчет уровня проникающего шума.

Классификация и акустические свойства студий звукового и телевизионного вещания, залов, комнат прослушивания, жилых комнат, салонов транспортных средств. Акустические измерения в помещениях. Компьютеризация формирования программ ЗВ.

6. Электромеханические элементы системы

Электромеханическое преобразование. Электромеханический преобразователь как четырехполюсник. Эквивалентные схемы преобразователей. Электромеханические аналоги. Акустические колебательные системы. Массовые и элитные электроакустические преобразователи.

7. Микрофоны

Классификация и технические характеристики. Микрофон как электромеханический преобразователь. Микрофон как приемник звука. Приемники давления и градиента давления.

Электродинамические (катушечные и ленточные), конденсаторные, электретные микрофоны. Конструкции, принципы действия. Комбинированные и остронаправленные микрофоны. «Петличные» микрофоны. Радиомикрофоны.

8. Громкоговорители телефоны

Классификация технических характеристики Громкоговорители непосредственно излучения Особенности действия в области нижних, средних и верхних частот. Нелинейные искажения Профессиональные и бытовые акустические системы Акустические «люстры». Групповые излучатели и звуковые колонки Системы звуковоспроизведения Hi-Fi и Hi-End. Электромагнитные и электродинамические телефоны. Проблемы уменьшения амплитудно-частотных и нелинейных искажений формирования диаграммы направленности повышения к.п.д.

9. Системы звукопередачи звуковыми телевизионными вещаниями

Функциональные возможности сетей ЗВ. Обобщенная структурная схема системы звукопередачи. Основные форматы звуковых сигналов при их формировании, передаче и воспроизведении. Одноканальная система. Двухканальная стереофоническая система. Качество стереофонического эффекта.

Стереоамбифонические системы. Бинауральная система. Система с панорамным кодированием сигналов источников звука. Многоканальные системы. Система домашнего телетеатра.

Звуковые процессоры. Универсальный формат сигналов.

10. Системы озвучивания и звукоусиления

Требования, предъявляемые к системам озвучивания и звукоусиления. Типы систем озвучивания и звукоусиления. Системы Долби. Озвучивание открытых пространств. Понятность и разборчивость речи. Методы повышения разборчивости. Звукоусиление в помещениях. Линейные, бытовые и элитные

усилители ЗВ. Защита от акустической обратной связи. Системы синхронного перевода речи. Телеконференцсвязь.

11. Формирование преобразования и обработки сигналов ЗВ

Обработка и передача аналоговых и цифровых сигналов ЗВ по электрическим, волоконно-оптическим кабелям, радиорелейными, спутниковыми системами, сетям

Цели и способы преобразования электрических сигналов ЗВ. Ручные регуляторы уровня. Стерефонические регуляторы. Ручные регуляторы спектра. Смесители и коммутационные устройства. Усилители сигналов ЗВ. Автоматические регуляторы уровня. Их статические и динамические характеристики. Искажения, вносимые автоматическими регуляторами уровня. Устройства и системы подавления помех в трактах звукового вещания и звукозаписи. Устройства звуковых эффектов.

Электронные музыкальные инструменты и синтезаторы. Измерители уровня. Контроль стереосигнала. Пульт звукорежиссера. Звуковые станции. Технологии формирования программ ЗВ. Сопряжения звукового и видео ряда программ телевизионного вещания.

12. Цифровое (дискретное) представление сигналов ЗВ

Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование сигналов. Равномерное и неравномерное квантование. Методы обнаружения и исправления ошибок в цифровых сигналах ЗВ.

Форматы цифровых сигналов. Способы их преобразования. Типовые структуры цифровых сигналов. Преобразования сигналов в среде мультимедиа. Способы сжатия (компрессии) звуковых и видеоданных.

13. Аналоговая и цифровая звукозапись

Классификация систем звукозаписи. Аналоговая магнитная звукозапись. Искажения и помехи в канале магнитной записи. Цифровая магнитная звукозапись. Компандирование и предискажение для шумоподавления и повышения

защищенности сигналов от помех. Особенности помехоустойчивого кодирования в цифровых магнитофонах. Стандарты цифровой записи. Современные методы звукозаписи. Запись сигналов на компакт-дисках на неподвижном носителе.

14. Тракт формирования программ ЗВ. Радиодома и ТВ центры

Классификация радиодомов и телевизионных центров. Структура аппаратно-студийного комплекса. Аппаратно-студийные блоки. Оборудование студий и студийных аппаратных.

Аппаратно-программный блок телевизионного центра и вещательная аппаратная радиодома. Центральная аппаратная. Стационарные и передвижные трансляционные пункты.

15. Тракты первичного распределения программ ЗВ

Структура трактов. Соединительные линии и их коррекция. Аналоговые и цифровые междугородные каналы ЗВ. Оборудование, принципы действия. Передача сигналов ЗВ по радиорелейным линиям связи. Передача сигналов ЗВ по спутниковым линиям связи.

16. Тракты вторичного распределения программ ЗВ

Радиочастотные диапазоны. Построение передающей сети радиовещания. Радиовещание в диапазонах километровых волн (длинные волны) и гектометровых волн (средние волны). Стереофоническое радиовещание в диапазоне гектометровых волн. Синхронное радиовещание. Радиовещание в диапазоне декаметровых волн. Системы передачи звуковой части телевизионной программы.

17. Стереофоническое радиовещание

Системы стереофонического радиовещания в диапазоне метровых волн. Спектры сигналов, занимаемые полосы частот, искажения. Формирование комплексного стереосигнала в системах с полярной модуляцией.

18. Спутниковое и цифровое радиовещание

Системы аналогового спутникового радиовещания. Передача сигналов в цифровой форме, в том числе сигналов звуковой части телевизионной программы. Непосредственный прием сигналов спутникового вещания на домашние приемные установки. Перспективы развития спутниковых и цифровых систем радиовещания.

19. Проводное вещание

Классификация систем и сетей проводного вещания. Подача сигналов программ, телеуправление, телесигнализация. Станционное оборудование. Свойства линий проводного вещания. Частотные и нелинейные искажения. Перекрестные помехи в системах многопрограммного проводного вещания, способы их снижения. принципы расчета линий проводного вещания. Абонентские устройства проводного вещания.

20. Контроль и измерения в звуковом вещании

Виды технического контроля. Метрологические аспекты и сертификация услуг, устройств и систем ЗВ. Методика измерения основных параметров качества. Дистанционные измерения. Звукомерные камеры и измерительные приборы и станции. Автоматический контроль и диагностика нарушений норм параметров качества и возможных отказов. Примеры технических решений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

1. Каков высотный диапазон слуха в частотном и октавном исчислении? Насколько снизится чувствительность слуха при уменьшении частоты от 1000 до 50 Гц при уровне интенсивности звука 40 дБ?
2. Укажите абсолютные и дифференциальные пороги восприятия звука в значениях звукового давления и уровня интенсивности звука. Каков динамический диапазон слуха, исходя из порога слышимости и болевого порога?
3. В чем различие логарифмических единиц, которыми оценивают интенсивность звука, - децибела и фона? Какому значению фонов на частоте 50 Гц соответствует уровень интенсивности звука 40 дБ? То же для уровня интенсивности звука 20дБ?
4. Что такое стереоэффект? Почему на частотах ниже 150 Гц стереоэффект не ощущается? Какой практический вывод из этого обстоятельства вытекает при построении громкоговорящих устройств воспроизведения звука?
5. Почему слуху свойственны нелинейные искажения? Какими практическими примерами можно проиллюстрировать это обстоятельство?
6. Каким образом явление маскировки звука учитывают при построении устройств электросвязи и звукового вещания? Облегчает ли оно или усложняет саму разработку данных устройств?
7. Приведите примеры акустических устройств с сосредоточенными и распределенными параметрами. В чем принципиальная разница между ними? Напишите формулы, по которым рассчитывают резонансные частоты тех и других устройств.
8. Можно ли в жилой комнате воссоздать или имитировать акустические условия большого зала? Если – нет, то почему? Если – да, то какими техническими средствами?

9. Почему для больших залов расчет времени реверберации дает результат, подчас весьма далекий от реального? Какими параметрами оценивают акустические свойства таких залов?

10. В чем различие понятий: звукопоглощение и звукоизоляция? От каких физических причин зависит первое и второе?

11. Рассчитайте собственные (резонансные) частоты помещений с линейными размерами 2,5; 2,5; 2,5 м, а также 6; 5 и 3 м в диапазоне частот 20 – 200 Гц. Какое помещение и почему вы считаете лучшим в акустическом отношении? Можно ли какими-либо способами улучшить акустические свойства небольших помещений?

12. Изобразите эскизы звукопоглощающих конструкций: перфорированной панели и щита Бекеша. В чем различие физических принципов их действия? Какими конструктивными приемами можно изменить область частот, где достигается максимум коэффициента поглощения?

13. Почему при проникании звуков музыки из соседних квартир в вашу звучание воспринимается в виде ритмических ударов, а не мелодии, почему речь (текст песни) оказывается неразборчивой?

14. Почему звукоизоляция преград ухудшается по мере уменьшения частоты?

15. Почему даже небольшое отверстие в преграде существенно снижает ее звукоизоляцию? проиллюстрируйте это обстоятельство примером: рассчитайте, насколько уменьшится звукоизоляция стены площадью 20 м^2 с собственной звукоизоляцией 50 дБ, если в ней проделать отверстие площадью $0,001 \text{ м}^2$, закрытое легкой преградой (например, обоями) с собственной звукоизоляцией 10 дБ?

16. Почему коэффициент поглощения большинства звукопоглощающих материалов с мягкой (тканевой) и жесткой (пористой) структурой увеличивается с ростом частоты? На что тратится звуковая энергия, поглощенная материалом?

17. Зачем необходимы микрофоны с различными диаграммами направленности? Приведите примеры их использования.

18. Для каких целей используют микрофоны, у которых частотная характеристика чувствительности отличается от горизонтальной прямой, например, имеет подъем в области нижних или верхних частот?

19. Изобразите эскиз конструкции электретного микрофона и схему его включения. Каковы его преимущества и недостатки по сравнению с конденсаторным?

20. Почему частоты механического резонанса подвижной системы микрофона стремятся вывести за пределы рабочего диапазона частот: у катушечного и ленточного микрофона сделать возможно ниже, а у конденсаторного поднять выше верхней границы рабочего диапазона частот?

21. Простейший способ получения острой диаграммы направленности - использование линейной группы микрофонов. Рассчитайте характеристики направленности и постройте по ним диаграммы направленности линейной группы микрофонов при следующих данных: количество микрофонов в группе 2 и 4, расстояние между соседними микрофонами 0,02 м, частоты 100 и 1000 Гц.

22. Предложите и изобразите структурную схему системы радиомикрофона (передающую и приемные части). Выберите и обоснуйте мощность, диапазон частот и вид модуляции передатчика.

23. Объясните принципы действия и изобразите эскизы конструкции акустической части микрофонов с круговой, косинусоидальной и кардиоидной характеристиками направленности. Какие промежуточные виды характеристик направленности получатся у комбинированного микрофона при неравенстве осевой чувствительности его составляющих - приемника давления и градиента давления?

24. Каковы физические причины небольшого к.п.д. конусных (диффузорных) громкоговорителей? Существуют ли способы его увеличения?

25. Почему при действии мощных громкоговорителей выделяется значительное количество тепла? Предложите и обоснуйте способы улучшения оттока тепла от звуковой катушки громкоговорителя.

26. Сравните по технико-экономическим показателям - коэффициенту полезного действия, неравномерности частотной характеристики чувствительности, нелинейным искажениям, диаграммам направленности, размерам два типа излучателя направленного действия - рупорный громкоговоритель и звуковую колонку.

27. Рассчитайте характеристики направленности и по результатам расчета постройте диаграммы направленности звуковой колонки с числом головок 7, расстоянием между акустическими осями головок 0,15 м. Расчетные частоты 300 и 3000 Гц.

28. Чем объяснить большую неравномерность частотной характеристики чувствительности узкогорлых рупорных громкоговорителей?

29. Для чего низкочастотный конусный (диффузорный) громкоговоритель нужно помещать в футляр (ящик) больших размеров или использовать фазоинвертор?

30. Каким путем обеспечивают хорошее воспроизведение звуков низких частот в высококачественных автомобильных громкоговорящих устройствах? Опишите конструкции автомобильных громкоговорящих устройств.

31. Какой должна быть диаграмма направленности в горизонтальной плоскости домашней (бытовой) акустической системы? Приведите доводы в обоснование своего мнения.

32. Следует ли при проектировании многополосных акустических систем учитывать фазо-частотные характеристики разделительных фильтров? Если нет, то почему, если да, то каким способом?

33. Перечислите и объясните причины возникновения нелинейных искажений в громкоговорителях. Каковы способы их уменьшения?

34. В диапазоне частот от 25 до 5000 Гц рассчитайте и постройте графическую зависимость амплитуды смещения подвижной системы громкоговорителя при постоянном значении амплитуды колебательной скорости 50 м/с. К каким последствиям и почему приводит возрастание амплитуды смещения подвижной системы с уменьшением частоты?

35. Почему диаграмма направленности конусного (диффузорного) громкоговорителя обостряется с увеличением частоты? К каким последствиям это приводит?

36. Чем объяснить " бубнящий" тембр некоторых акустических систем, особенно в небольших помещениях, принимаемый некомпетентными людьми за хорошее воспроизведение звуков нижних частот?

37. Чем объяснить появление множества пиков и провалов на частотной характеристике чувствительности конусного (диффузорного) громкоговорителя на средних частотах? Предложите способ их сглаживания.

38. Что вы понимаете под термином "согласование четырехполюсников"? Можно ли в этом смысле согласовать громкоговоритель с выходом усилителя, если модуль электрического сопротивления громкоговорителя в диапазоне звуковых частот изменяется в несколько раз, а выходное сопротивление усилителя практически неизменно? Каким должно быть отношение этих сопротивлений и почему? Приведите примеры численных значений этих сопротивлений.

39. В чем заключается принципиальное противоречие в требованиях, предъявляемых к громкоговорителю для хорошего воспроизведения звуков нижних или верхних частот? Каковы, по вашему мнению, способы преодоления этого противоречия?

40. Почему к.п.д. рупорных громкоговорителей примерно на порядок выше к.п.д. конусных (диффузорных)? Перечислите и объясните способы увеличения к.п.д. и условия, при которых это возможно.

41. Какую систему звукоусиления вы выберете для звукоусиления в зале: а) при прослушивании речи, б) при воспроизведении музыки?

42. Как расположить громкоговорители при озвучивании протяженного и неширокого пространства, например, улицы? Как избежать эха при приходе в какую-либо точку обслуживаемой территории звуков от нескольких громкоговорителей?

43. Как избежать разрыва зрительного и слухового образов при звукоусилении в зале?

44. Каким образом в современных залах добиваются небольшой не равномерности уровня звукового давления на слушательских местах? Что делается, чтобы получить оптимальное значение времен запаздывания звуков, отраженных от потолка и стен залов?

45. Перечислите и объясните способы уменьшения опасности акустической обратной связи при звукоусилении? Какую роль может при этом сыграть параметрический эквалайзер?

46. Зачем в эстрадных установках звукоусиления акустические системы располагают "этажеркой", ставя несколько акустических систем одну на другую?

47. Нужно ли увеличивать количество звукоусилительных трактов в стереофонических системах более двух? Приведите эскизы расположения акустических систем стереофонических установок.

48. Каковы способы организации системы звукоусиления в зале, линейные размеры которого существенно больше тех, при которых возникает эхо? Как следует расположить громкоговорители в этих случаях?

49. Нарисуйте структурную схему установки для синхронного перевода речей с нескольких языков на один, с нескольких языков на несколько других языков.

50. Каковы преимущества и недостатки диотической системы стереофонического вещания с "искусственной головой" и слушанием про граммы на головные телефоны? Приведите пример структурной схемы такой системы.

51. Определите электрические уровни на выходе микрофона с чувствительностью 0,1 мВ/Па, если уровни звукового давления у микрофона равны 60 и 90 дБ.

52. Перечислите, опишите и сравните известные вам способы понижения заметности помех. Сравните их по эффективности и сложности.

53. В чем различие понятий: корректирование АЧХ, частотные предискажения, регулирование тембра? Приведите примеры использования этих способов воздействия на электрический сигнал ЗВ.

54. Опишите способы реставрации старых фонограмм с целью расширения спектра, уменьшения уровня помех ("фона", пульсаций выпрямленного напряжения, щелчков, "шипения"). Можете ли вы предложить идею уменьшения нелинейных искажений?

55. Как следует деформировать АЧХ для получения эффекта нахождения кажущегося источника звука перед слушателем, позади него и над ним? Изобразите вид необходимых АЧХ.

56. Какие художественные и технические задачи решаются при преобразовании электрических сигналов в аппаратных звукового вещания и звукозаписи? Объясните приемы решения этих задач.

57. Как инерционные ограничители (лимитеры) и сжиматели (компрессоры) влияют на параметры сигнала звукового вещания, смысловую и эмоциональную части содержащейся информации? Каково их положительное и отрицательное влияние на качество сигнала?

58. Почему при формировании сигнала звукового вещания (даже монофонического) используют несколько микрофонов, а не два или один?

59. До какого значения целесообразно уменьшать нелинейные искажения аппаратуры звукового вещания (ЗВ), в том числе и усилителей, а также громкоговорителей, учитывая нелинейные искажения, свойственные самому слуху?

60. Чем руководствуются при выборе частоты дискретизации и числа разрядов в устройстве ЗВ? Приведите примеры этих параметров для телефонного канала и каналов ЗВ высшего и 1-го классов качества.

61. Почему дельта-модуляцию, несмотря на сравнительную простоту реализации, используют преимущественно в устройствах вещательных аппаратных, а не в каналах передачи сигналов ЗВ?

62. Каковы пути уменьшения количества разрядов и снижения скорости передачи цифрового сигнала ЗВ?

63. Перечислите причины возникновения сбоев и ошибок в цифровых каналах ЗВ, опишите способы их обнаружения и исправления.

64. Какими техническими средствами изменяют частоту дискретизации с 48 до 32 кГц?

65. Объясните способы уменьшения психофизической избыточности цифрового сигнала ЗВ.

66. Каковы преимущества и недостатки цифрового (дискретного) способа представления сигнала ЗВ по сравнению с аналоговым?

67. Для цифровой системы передачи (ЦСП) сигнала ЗВ с динамическим диапазоном 60 дБ и верхней частотой спектра 10 и 20 кГц выберите количество разрядов аналого-цифрового преобразования (АЦП), частоты дискретизации, определите скорости цифрового потока, оцените ширину занимаемой полосы частот. Принять отношение мощности сигнала к мощности шумов квантования, выраженное в децибелах, $S/\Pi = 6n - 16,7$ дБ.

68. Объясните физические причины своеобразной АЧХ аналоговых устройств магнитной записи звука, не имеющей горизонтального участка. В каких блоках магнитофона и как корректируют эту АЧХ?

69. Чем конструктивно различаются магнитные головки стирания записи и воспроизведения? Зачем необходим дополнительный зазор в головке записи?

70. Почему для более совершенного *стирания* фонограммы помимо локального (местного) стирания с помощью стирающей головки используют интегральное размагничивание с помощью переменного поля электромагнита, воздействующего на весь рулон?

71. Объясните причины волновых, щелевых, контактных, слойных потерь.

72. Объясните природу структурного и контактного шума магнитной записи.

73. Объясните, в каких случаях и почему используют магнитную запись без подмагничивания, с высокочастотным подмагничиванием, с подмагничиванием постоянным полем.

74. Почему возникают одиночные ошибки и пакеты ошибок при цифровой магнитной записи? Какими способами устраняют их отрицательные последствия?

75. Перечислите сооружения и устройства, входящие в тракты первичного и вторичного распределения сигналов ЗВ. Укажите числовые значения основных параметров качества (неравномерность АЧХ в пределах заданной полосы частот, коэффициент гармоник, допустимые уровни различных помех), а для стереофонических трактов еще и дополнительные параметры – допустимое расхождение коэффициентов передачи и допустимые временные (фазовые) сдвиги между левым и правым трактами.

76. Сопоставьте параметры качества, обеспечиваемые радиовещанием в диапазонах с амплитудной модуляцией и системами проводного вещания больших городов. В каких системах ЗВ обеспечивается лучшая помехозащищенность?

77. Чем различаются системы стереофонического радиовещания в диапазоне метровых волн с частотной модуляцией?

78. Почему при переходе к стереофоническому радиовещанию в диапазоне метровых волн радиус действия радиопередатчика уменьшается?

79. Можно ли организовать цифровое радиовещание в диапазоне гектометровых волн?

80. Каким способом осуществляют передачу стереофонического сигнала в телевизионном вещании? Укажите несущие частоты звука и используемые виды модуляции.

81. Каковы принципы организации многопрограммного цифрового радиовещания?

82. Каковы причины существования, наряду с радиовещанием, проводного вещания в нашей стране и за рубежом? Какие диапазоны частот используют для организации многопрограммного проводного вещания?

83. К каким последствиям приводят расхождения коэффициентов передачи и фазовые сдвиги между левым и правым трактами стереофонического вещания? Укажите нормы на допустимые различия коэффициентов передачи и фазовые сдвиги.

84. Изобразите структурную схему оконечного усилительного устройства проводного вещания. Как осуществляется защита усилителя от недопустимого превышения входного уровня и от последствий короткого замыкания на линиях проводного вещания?

85. Объясните, почему отрицательная обратная связь (ОС) по напряжению снижает выходное сопротивление, амплитудно-частотные и нелинейные искажения усилителя?

86. В чем различие назначения соединительных линий и линий проводного вещания? Какие физические цепи используют для организации первых и вторых?

87. Каков физический смысл первичных и вторичных параметров проводных линий? Как эти параметры изменяются с увеличением частоты?

88. Опишите методы расчета проводных линий со многими нагрузками и с одной нагрузкой в конце линии. В каких практических случаях используют тот или иной метод?

89. Предложите способы организации многопрограммного проводного вещания на транспортных средствах: на пассажирском корабле, в поезде, на самолете.

90. В чем отличие понятий: классы качества и группы сложности? Чем различаются параметры высшего класса качества и высшей группы сложности? Что такое аппаратура Hi-Fi, High End? Существуют ли научные обоснования параметров этих видов аппаратуры?

91. В чем различие понятий: динамический диапазон сигнала, пропускаемого трактом (аппаратурой), и отношение сигнал/помеха? На сколько децибелов (примерно) должны различаться их значения для трактов высшего класса качества?

92. Правильно ли определение, что АЧХ - это зависимость напряжения на выходе устройства от частоты? Если нет, как следует уточнить это определение?

93. Изобразите структурную схему одного из устройств, предназначенных для измерения нелинейных искажений. Объясните назначение блоков.

94. Чем объяснить, что нелинейность устройств ЗВ чаще всего оценивают коэффициентом гармоник, хотя в большинстве случаев более заметны искажения вида комбинационных частот? Предложите способ измерения комбинационных искажений, изобразите структурную схему таких измерений.

95. Что называется переходной характеристикой какого-либо устройства? В чем преимущества этого понятия по сравнению с АЧХ и фазочастотной характеристикой? Почему ее нормируют отдельно для областей нижних и верхних частот (НЧ и ВЧ)? В чем трудность практического использования этого понятия?

96. Предложите способы контроля основных параметров качества трактов ЗВ (коэффициента передачи, коэффициентов амплитудно-частотных ис-

кажений коэффициента гармоник, уровня помех), приведите примеры измерительных схем.

97. Что такое пик-фактор? Каковы его значения для речи и музыки? Как изменяется пик-фактор при сжатии динамического диапазона сигнала? Как это сказывается на относительной средней мощности сигнала?

98. Почему громкость звучания радиопередачи заметно меняется при переходе от речи к музыке и наоборот? Что вы порекомендуете для уменьшения этого недостатка?

99. Почему измеренный динамический диапазон сигнала зависит от времени интеграции измерителя уровня? При каких значениях времени интеграции он окажется больше?

100. Чем различаются понятия - " время заряда" и " постоянная времени заряда", " время разряда" и " постоянная времени разряда" конденсатора? Какова численная связь между ними? Каковы численные значения этих параметров и современных измерителях уровня?

101. Какую максимальную длину l и высоту h должен иметь зал (без применения звукопоглощающей облицовки), чтобы в нем не возникло эхо, если известно, что слушатели различают два последовательных сигнала только через $1/10$ с (короткие сигналы – через $1/15$ с). Какими методами можно устранить эхо в помещении?

102. Для устранения эхо можно: уменьшить размеры проектируемого зала, применить акустические поглотители, поставить рассеиватели звуковой энергии?

103. Найти зону максимальной слышимости акустического сигнала в помещении, имеющем сферический потолок с радиусом $r = 5$ м. Звуковой источник имеет характеристику направленности 20° , направлен вертикально вверх и находится на расстоянии 2 м от стены и на высоте 1 м от пола. Максимальная высота помещения 12 м. Какие основные особенности и недостатки такого помещения?

104. Объясните, какое помещение лучше обеспечивает равномерность распределения звуковой энергии в зоне размещения слушателей и почему?



105. В одном из концов зала размером $22 \times 14 \times 10$ м находится сферический источник звуковой волны, имеющий среднюю акустическую мощность $P_a = 200$ мкВт. Определить интенсивность звуковой волны на расстоянии 20 м от источника при отсутствии (I_1) и при наличии (I_2) реверберации. Определить уровни интенсивности L в децибелах относительно пороговой интенсивности $I_0 = 10^{-10}$ Вт/м². Средний коэффициент поглощения отражающих поверхностей зала $a_{cp} = 0.2$.

106. Определить оптимальное время реверберации T_{opt} и оптимальное число слушателей N_{opt} в концертном зале, имеющем объем $V = 4000$ м³.

107. Определить оптимальное время реверберации T_{opt} и необходимый объем концертного зала на 1000 слушателей.

108. Определить необходимую величину среднего значения коэффициента звукового поглощения a_{cp} в помещении кинозала, рассчитанного на 1000 зрителей. Длина зала $l = 28$ м, высота $h = 8$ м.

109. Пользуясь графиком зависимости оптимального времени реверберации T_{opt} от объема помещений, определить время реверберации и оптимальное число зрителей для кинозала, имеющего объем $V = 5000$ м³.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ¹

Целью лабораторного практикума является изучение физических процессов, происходящих в помещениях и в специфических устройствах звукового вещания, а также практическое ознакомление с некоторыми видами устройств ЗВ, исследование их характеристик и параметров, овладение навыками акустических и электрических измерений.

В перечень лабораторных работ входят: исследование частотных характеристик чувствительности и диаграмм направленности микрофонов и громкоговорителей, входного сопротивления громкоговорителей в различном акустическом оформлении; линейная антенна из n элементов (микрофонов), режим приема; определение параметров пьезокерамических стержней и дисков; малая заглушенная камера; акустические характеристики студии, подготовка передачи к эфиру.

Каждая работа выполняется бригадой из трех человек. По завершении работы студенты обязаны показать преподавателю полученные числовые результаты с целью проверки их достоверности. Оформляется один отчет на бригаду. В содержание отчета входят: название работы, фамилии студентов, выполнивших работу, цель работы, структурная схема лабораторной установки, таблицы измеренных и рассчитанных величин, графики, выводы.

Необходимо объяснить причины обнаруженных расхождений. Их может быть несколько: неточное моделирование физических процессов в поставленной лабораторной работе, погрешности измерений, вызванные электромагнитными и акустическими «наводками» от стендов соседних работ, например, воздействие громкоговорителя соседней работы на микрофон выполняемой вами работы, неправильное считывание показаний шкал измерительных приборов,

¹ Описание лабораторных работ в «Радиовещание и электроакустика»: Метод. указания для студентов специальности 201100 (Радиосвязь, радиовещание и телевидение). Владивосток, 2002 г. Метод. указания можно взять в библиотеке ДВГТУ или на кафедре «Радио, телевидение, связь».

ошибки в математических операциях обработки полученных при измерениях числовых величин.

КУРСОВАЯ РАБОТА

В качестве темы курсовой работы студент вправе выбрать любую расчетную или технологическую задачу, интересующую студента и соответствующую тематике кафедры.

По просьбе студентов в удобное для них время (вне графика обязательных занятий) проводятся консультации по выполнению и оформлению курсовых проектов и работ.

Технические решения, принятые и полученные при проектировании, могут представить интерес для предприятий и организаций, где вы работаете, поднять авторитет и укрепить ваше служебное положение. Темы и учебные руководства по курсовому проектированию описаны в данном методическом пособии.

Темой курсовой работы может стать «Расчет и конструирование высококачественной акустической системы (АС)». Должны быть рассмотрены пассивный или активный варианты АС, определены акустическая и электрическая мощности, выбраны громкоговорящие головки, установлены частоты разделения полос, рассчитаны элементы разделительных фильтров, определены параметры фазоинвертора.

Можно выбрать и такие традиционные для кафедры темы, как «Акустический расчет помещений», «Проект системы звукоусиления», «Расчет соединительной линии», «Проект сети проводного вещания».

В акустический расчет студии, учебной аудитории, жилой комнаты, концертного или театрального зала, производственного помещения желательно включить анализ акустических свойств помещений с позиций волновой, геометрической или статистической теории. При акустическом расчете телевизи-

онной студии полезно учесть влияние декораций, телевизионной и осветительной аппаратуры.

Расчет звукоусиления в театральном, концертном, спортивном залах, залах магазина или операционном зале банка рекомендуется вести с применением программ расчетов, содержащихся в [9].

Интерес могут представить темы, в которых рассматривается «Передача по линиям и сетям проводного вещания дополнительной информации общего или специального назначения». В пределах одного здания (офиса банка или фирмы, других учреждений) можно организовать служебную связь без привлечения мобильных телефонов, радиопереговорных устройств или телефонных линий. Это сократит расходы организаций ввиду уменьшения числа абонируемых телефонных линий или радиоканалов и снизит опасность перехвата конфиденциальной информации конкурирующими организациями или отдельными лицами.

Интересными могут стать «Проекты использования сети проводного вещания сторонними организациями» (например, аварийными службами водо-, газо- и электроснабжения) для передачи служебной информации. Дополнительные частотные каналы найдут применение для организации охранной или пожарной сигнализации.

В качестве темы проекта предлагается «Разработка или модернизация оконечного (мощного) усилителя или передатчика проводного вещания». Упор должен быть сделан на применение современных технических решений, повышающих надежность и экономичность устройств. В частности, желательно рассмотреть ключевые методы усиления.

Актуальными и потому высоко оцениваемыми при защите являются проекты, связанные с «обработкой сигналов звукового вещания с целью повышения эффективности радиовещания» путем увеличения относительной средней мощности радиопередатчика и расширения зоны уверенного приема. Такие решения дают заметный экономический эффект.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Произвести необходимую планировку (реконструкцию) заданного помещения (студии) с целью использования его в качестве определенного типа помещения, указанного в вариантах заданий. Произвести акустический расчет помещения (студии); выбрать, обосновать, рассчитать систему озвучивания и звукоусиления; при необходимости рассчитать звукоизоляцию.

Обращаем особое внимание студентов заочного факультета, связанных по роду своей служебной деятельности с устройствами звукового и телевизионного вещания, записи различных сигналов, звукоусилением в театральных, концертных, спортивных, производственных, транспортных предприятиях, занимающихся монтажом, эксплуатацией, ремонтом, рекламой, сбытом электроакустической и звукоусилительной аппаратуры, медицинской, промышленной, строительной акустикой и электроакустикой, защитой и скрытной передачей информации. Они могут выполнять курсовые проекты по названной тематике.

ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Проанализировать задание и представить чертеж помещения с указанием всех предметов, слушателей (исполнителей). Указать размеры.
2. Представить основные теоретические сведения, необходимые для выполнения курсовой работы.
3. Произвести акустический расчет помещения. Для этого необходимо:
 - 3.1. Определить размеры помещения (объем V , общую площадь ограничивающих поверхностей S_S ;
 - 3.2. Выбрать оптимальное время реверберации T_{opt} и его частотную характеристику (рис.2-5, формулы 34-37) в зависимости от типа помещения и его предназначения[4].
 - 3.3. Рассчитать требуемые параметры помещения [2, 3, 4, 9]:

- реверберационный коэффициент помещения a'

$$a'_{mp} = \frac{0,161 \cdot V}{T_{onm} S_{\Sigma}}; \quad (1)$$

- средний коэффициент поглощения a_{cp}

$$a_{срmp} = 1 - e^{-a'}; \quad (2)$$

- общее требуемое поглощение A_{mp}

$$A_{mp} = a_{cp} S_{\Sigma}, \text{ [сэбин (Сб)]}. \quad (3)$$

3.4. Определить основные параметры по имеющимся характеристикам помещения:

- основной фонд поглощения

$$A_{\Sigma} = \sum a_n S_n + \sum a_k S + a_{доб} S; \quad (4)$$

- требуемый дополнительный фонд поглощения

$$A_{\partial} = A_{mp} - A_{\Sigma}. \quad (5)$$

3.5. Произвести расчет дополнительного фонда поглощения, введя новые материалы и конструкции. Точного совпадения требуемого (рассчитанного в результате задания времени реверберации) и полученного (в результате введения новых поглотителей) фондов поглощения быть не может.

3.6. Произвести расчет полученного фонда поглощения

$$A_{пол} = A_{\Sigma} + A_{\partial}. \quad (6)$$

3.7. Определить средний и реверберационный коэффициенты поглощения

$$a_{cp} = \frac{A_{\Sigma}}{S}, \quad (7)$$

$$a' = -\ln(1 - a_{cp}). \quad (8)$$

3.8. Определить расчетное время реверберации

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{a'S} \quad (9)$$

и сравнить с требуемым. Звукопоглощающие материалы и конструкции необходимо подбирать так, чтобы полученный (расчетный) фонд звукопоглощения был близок к требуемому. Подбор производится до тех пор, пока расчетное время реверберации будет отличаться от заданного не более чем на $\pm 10\%$.

Все расчеты для заданного помещения провести на всех октавных частотах. Результаты свести в таблицу 1.

Результаты акустического расчета

Таблица 1

Частота, Гц		125		250		500		1000		2000		4000	
Элемент поверхности и характеристики помещения	Площадь, м ²	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A
		...											
Оптимальное время реверберации, T_{opt} , с													
Требуемый реверберационный коэффициент поглощения, a'_{tr}													

Результаты акустического расчета

Продолжение табл. 1

Требуемый средний коэффициент поглощения, $a_{сртр}$														
Общее требуемое поглощение, $A_{тр}$, Сб														
Основной фонд поглощения, A_s , Сб														
Требуемый дополнительный фонд поглощения, A_d , Сб														
Полученного фонда поглощения, $A_{пол}$, Сб														
Средний коэффициент поглощения, $a_{ср}$														
Реверберационный коэффициент поглощения, a'														
Расчетное время реверберации, T , с														
Процентное соотношение														

3.10. На графиках представить: частотные характеристики основных, дополнительных, которые определяют расчетные фонды звукопоглощения и сравнить с требуемым фондом; требуемые и расчетные частотные характеристики времени реверберации (рис. 1). Также представить план-развертку помещения с размещенными звукопоглощающими материалами с учетом требований дизайна.

4. Сделать вывод по проделанным расчетам.

5. Выбрать и рассчитать систему озвучения.

5.1. Выбрать систему озвучения, исходя из размеров помещения и его назначения.

5.2. Описать расположение громкоговорителей (звуковых колонок) в помещении.

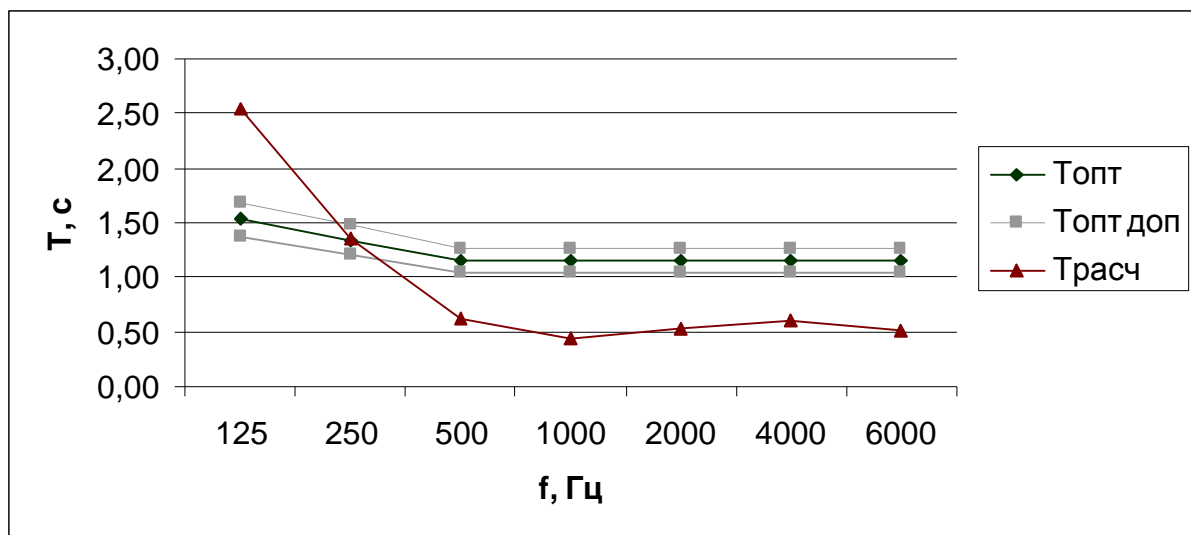


Рис. 1. Частотная зависимость времени реверберации

5.3. Рассчитать высоту установки громкоговорителей над уровнем голов слушателей (уровень голов слушателей над полом составляет $h_c=1,2$ м) по формуле [2, 4]

$$h_2 = h_n - h_c, \quad (10)$$

где h_n – высота центра громкоговорителя над уровнем пола.

Для распределенной системы выбрать шаг цепочки, исходя из неравенства:

$$d < 1,6 \cdot h_y, \quad (11)$$

где h_y – высота подвеса цепочки громкоговорителей.

5.4. Подобрать тип громкоговорителей. Для этого необходимо рассчитать следующие параметры:

- требуемое звуковое давление по формуле

$$p_{mp} = 10^{\frac{L_{mp} - 94}{20}}, \quad (12)$$

где L_{mp} – уровень прямого звука для удаленной точки (см. с. 63);

- расстояние от громкоговорителей до удаленной точки по формуле

$$r_{\text{макс}} = \sqrt{l^2 + h_{\text{г}}^2}, \quad (13)$$

где l – длина помещения;

- номинальное звуковое давление для громкоговорителя, которое должно быть не менее

$$p_1 = \frac{r_{\text{макс}} P_{mp}}{\sqrt{n}}, \quad (14)$$

где n – количество громкоговорителей;

- выбрать тип громкоговорителей (звуковых колонок).

5.5. Рассчитать уровни звукового поля в наиболее характерных точках для одного громкоговорителя (звуковой колонки), если сосредоточенная система озвучения, и для одной цепочки, если распределенная система озвучения. Для этого необходимо вычислить следующие параметры:

- угол наклона оси громкоговорителя к горизонту по формуле

$$a = \arctg\left(\frac{h_{\text{г}}}{l}\right); \quad (15)$$

- эксцентриситеты громкоговорителя для вертикальной и горизонтальной плоскости по формуле

$$e_{\text{в,г}} = \sqrt{1 - \left(0,14 / d_{\text{в,г}} + 0,08\right)^2}, \quad (16)$$

где $d_{\text{в,г}}$ – высота и ширина громкоговорителя;

- подобрать несколько характерных точек на озвучиваемой поверхности (точки показать на плане) и по методу координат рассчитать квадраты звуковых давлений p^2 и уровень звукового давления L_p .

В распределенной системе озвучения все точки можно брать на поперечной оси помещения, так как уже на расстоянии $r > 0,6d$ от центра громкоговорителей фронт волны получается практически цилиндрическим. За счет этого распределение по оси y одинаково во всех точках озвучиваемой поверхности, а все громкоговорители подвешены на одинаковой высоте z .

Для удобства расчетов координатами озвучиваемой поверхности задаются в прямоугольной системе x, y и z (x – по длине помещения, y – по ширине и z – по высоте). От координат x, y, z переходят к координатам в системе u, v и w по следующим формулам [2, 3, 4, 9]:

$$\begin{aligned} u &= x \cdot \cos a + (h_2 - z) \cdot \sin a, \\ v &= y, \\ w &= x \cdot \sin a + (h_2 - z) \cdot \cos a. \end{aligned} \quad (17)$$

Далее находят квадраты звуковых давлений в этих точках по следующей формуле:

для сосредоточенной системы озвучения

$$p^2 = \frac{p_1^2}{u^2 + \frac{v^2}{1-e_2^2} + \frac{w^2}{1-e_6^2}}, [\text{Па}^2]; \quad (18)$$

для распределенной системы озвучения

$$p^2 = \frac{2p_1^2}{d} \sqrt{\frac{1-e_2}{u^2 + \frac{w^2}{1-e_6}}}, [\text{Па}^2]. \quad (19)$$

Затем вычисляют уровень звукового давления во всех точках по формуле [2, 3, 4, 9]:

$$L = 20 \cdot \lg p + 94, \text{ [дБ]}. \quad (20)$$

5.6. Найти суммарное значение квадратов звуковых давлений p_s^2 для всех громкоговорителей (звуковых колонок) или для двух цепочек во всех точках. При расчете суммарного значения квадратов звуковых давлений следует обратить внимание на то, что значения звуковых давлений в точках, лежащих на оси помещения удваиваются, а в боковых точках суммируются с учетом симметрии расположения громкоговорителей (звуковых колонок).

5.7. Найти суммарное значение уровней звуковых давлений в каждой точке от всех громкоговорителей (звуковых колонок) или двух цепочек по выше предложенной формуле, подставляя вместо p значение p_s .

Результаты расчетов п. 5.3-7. занести в таблицу 2. Уровни звуковых давлений показать на плане.

Уровни звуковых давлений

Таблица 2

Точки	x	y	z	u	v	w	$p^2, \text{Па}^2$	L, дБ	$P_\Sigma^2, \text{Па}^2$	$L_\Sigma, \text{дБ}$
1										
...										
k										

5.8. Рассчитать неравномерность озвучения по формуле [2, 3, 4, 9]

$$\Delta L = L_{\text{макс}} - L_{\text{мин}}. \quad (21)$$

Значения неравномерности озвучения для различных типов помещения см. на с. 64.

5.9. Сделать вывод по проделанным расчетам выбранной системы озвучения.

6. Рассчитать звукоизоляцию помещения [2, 9]

$$Q_{из} = L_1 - L_2, \quad (22)$$

где L_1 – уровень шума внешней стороны,

L_2 – уровень шума внутри помещения.

7. Сделать общий вывод по проделанной работе.

8. Представить список используемой литературы.

Студентам-заочникам необходимо обратить внимание на выбор варианта задания.

Студенты, у которых две последние цифры зачетной книжки от 0 до 30, выбирают номер варианта, совпадающий с этим числом. Те студенты, у которых две последние цифры зачетной книжки от 31 до 99, суммируют эти цифры и по получившемуся числу берут номер варианта. Например, если последние две цифры 11, то вариант задания – 11, если 77, то $7+7=14$ и номер варианта 14.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Таблица 3

№	Тип помещения	Длина x Ширина x Высота, м	Кол-во слушаг./стульев	Кол-во исполните- лей	Двери, шт/м	Окна, шт/м	Материал	Прочее
1	Лекционный зал	12x 6x 4	40/ 41	1	1/ 1x 2	4/ 2x2	Стены – оштукатурены, 1,8 м от пола окрашены, пол – деревянный паркет на балках, потолок – известковая штукатурка; двери деревянные окрашенные; стулья – деревянные лакированные	Столы – деревянные (21/1,2x0,7 шт/м), доска – деревянная (2,5x1 м)
2	Драматический театр	40x 35x 17	1680 / 1680	18	2/ 3,5x 2,5	-	Стены, потолок – штукатурка гипсовая сухая толщиной 10 мм с воздушной прослойкой 50-150 мм, пол – релин; кресла кожаные на поролоне; двери – монолитная лакированная древесина	Подиум – 6x1 м; подъем – 30x4 м
3	Кинотеатр	34x 21x 13	700/ 700	-	2/ 2x 3	4/ 1x 1	Стены, потолок – известковая штукатурка, пол – деревянный паркет по асфальту; кресла мягкие, обшитые тканью; двери – сосновая древесина, окна задрапированы тканью	Подъем – 25x4 м; экран – 11,5x20 м; балкон – 21x3x1,3 м
4	Конференц-зал	25x 14x 7	120/ 121	1	3/ 2,6x 2,6	5/ 2x 3	Стены, потолок – штукатурка по металлической сетке с воздушной полостью позади, пол – линолеум; кресла мягкие, обшитые тканью; двери – монолитная лакированная древесина	Подиум – 2,5x1 м; подъем – 20x1,5 м; стол – деревянные (39/3,2x1 шт/м), экран – 4,5x8 м

Варианты заданий к курсовой работе

Продолжение табл. 3

5	Студия звукозаписи	6х 4,5х 3,5	1/ 2	1	1/ 1,5х 2,2	1/ 2х 1	Стены и потолок – известковая штукатурка, пол – линолеум; стулья – полумягкие, обшитые тканью; двери – деревянные окрашенные	Стол – монолитная лакированная древесина (2/1,2х0,7 шт/м)
6	Зал для органной музыки	37х 23х 14	700/ 731	31	4/ 3,5х 2,5	2/ 2х5 и 1/ 10х5	Стены, потолок – штукатурка гипсовая сухая толщиной 10 мм с воздушной прослойкой 50-150 мм, пол – релин; 700 кресел - кожаные на поролоне, 31 стульев - полумягкие; дверь - сосновая древесина. Орган расположен на балконе	Подиум – 7х1,5 м; балкон – 17х3х1 м. 1 – органист и 30 – музыкантов
7	Зал заседаний	25х 15х 7	30/ 31	1	2/ 2,4х 2,7	4/ 4х 3	Стены – штукатурка алебастровая, гладкая по деревянной обрешетке, пол- паркет по асфальту, потолок – штукатурка по металлической сетке с воздушной полостью позади; 20 стульев – мягкие, обшитые тканью, 1 кресло – кожаное на поролоне; дверь - монолитная лакированная древесина	Стол – монолитная лакированная древесина (1/2х1 шт/м и 1/15х2 шт/м)
8	Актный зал (массовые мероприятия)	22х 14,5 х 8,5	100/ 100	5	3/ 1,6х 2,5	6/ 4,5х 6	Стены и потолок – известковая штукатурка по обрешетке, пол – паркет на шпонках; стулья и двери – монолитная лакированная древесина	Подиум – 5х0,5 м
9	Ночной клуб	18х 11х 7	100/ 52	-	2/ 1,5х 2,2	-	Стены, потолок – известковая штукатурка, пол – паркет на балках; 20 стульев – сосновая древесина, 32 кресла – кожаные на поролоне	Подиум – 6х3х1 м; 2 дверных проема (без дверей) – 1,5х2,2 м; стол – монолитная лакированная древесина (1 диаметром 1,2 м и 8/1,2х0,7 шт/м)

Продолжение табл. 3

10	Телестудия	15х 10х 6	-/2	1	2/ 1,5х 2,2	4/ 2х 2,5	Стены – древесно-волоконистая плитка, пол – паркет на шпонках, потолок – гипсовая штукатурка; кресла – кожаные на поролоне; дверь – монолитная лакированная древесина	Стол – монолитная лакированная древесина (1/2х0,8 шт/м)
11	Лекционный зал	26х 15х 7	90/ 96	1	1/ 1,8х 2,2	6/ 2х 3	Стены – оштукатурены и окрашены, потолок – побелка известковая, пол – деревянный; 1 стул и 22 скамейки (4,4х0,5 м) - деревянные лакированные; двери – деревянные окрашенные	Подиум – 1,5х0,4 м; подъем – 12х1 м; парты – монолитная лакированная древесина (22/4,4х1,4 шт/м), доска – деревянная (4,5х1,7 м)
12	Радиостудия	5х 3,5х 3,5	-/2	2	1/ 1,5х 2,2	1/ 1х 1,5	Стены – древесноволокнистая плитка, пол – паркет на шпонках, потолок – гипсовая штукатурка; стулья мягкие, обшитые тканью; дверь двойная – деревянная окрашенная	Стол – монолитная лакированная древесина (2/1,2х0,7 шт/м); окно двойное – 0,1 м между стеклами
13	Театр оперы и балета	50х 28х 15	1840 / 1840	8	4/ 3,5х 2,5	-	Стены – бетонные, гладкие, окрашенные масляной краской, пол – линолеум, потолок – штукатурка по металлической сетке с воздушной полостью позади; кресла кожаные на поролоне; двери, сцена – сосновая древесина	Подиум – 7х1 м; подъем – 40х8 м
14	Кинотеатр	18х 11х 7,5	208/ 210	-	2/ 2х 2,5	2/ 2х 1	Стены – кирпичные неоштукатуренные, пол – релин, потолок – сосновая панель толщиной 19 мм; кресла мягкие, обшитые тканью; двери – монолитная лакированная древесина	Подъем – 13х4 м; экран – 5х9 м

Варианты заданий к курсовой работе

Продолжение табл. 3

15	Телестудия	8х 5,5х 5	-/1	1	1/ 1,5х 2,2	1/ 4х 2	Стены и потолок – известковая штукатурка, пол – линолеум; кресло мягкое, обшитое тканью; двери – монолитная лакированная древесина	Стол - монолитная лакированная древесина (1/1,6х0,7 шт/м)
16	Зал для органной музыки	30х 14/ 17х 8	550/ 575	25	4/ 2,6х 3,6	2/ 1,5х 4 и 1/ 6х3	Стены – бетонные, гладкие, неокрашенные, пол – линолеум, потолок – гипсовая штукатурка; 550 кресел и 25 стульев – мягкие, обшитые бархатом; двери – сосновая древесина. Орган расположен на балконе	Подиум – 6х1,5 м; подъем – 21х1,5 м; балкон – 3х1 м (по ширине зала)
17	Кинотеатр	28х 18х 11	500/ 500	-	4/ 1,7х 2,4	1/ 0,5х 0,5	Стены и потолок – древесноволокнистая плитка, пол - деревянный паркет по асфальту; кресла – мягкие, обшитые тканью; двери – монолитная лакированная древесина	Подъем – 19х4 м; экран – 17х9 м
18	Зал заседаний	13х 8х 5	14/ 15	1	1/ 1,5х 2,2	4/ 2х2, 5	Стены и потолок – известковая штукатурка, пол – деревянный паркет по асфальту; 10 стульев – мягкие, обшитые тканью, 1 кресло – кожаное на поролоне; двери – монолитная лакированная древесина	Стол - монолитная лакированная древесина (1/2х1 шт/м и 1/8х1,8 шт/м)
19	Концертный зал	47х 22х 21	1400 / 1418	18	2/ 1,6х 2,3	-	Стены – кирпичные, оштукатуренные, пол – линолеум, потолок – деревянный; кресла – мягкие, обшитые тканью; двери – сосновая древесина	Подиум – 15х1 м; подъем – 1,5х29 м; балкон – 4х1,5 м (по ширине зала)
20	Музыкальная студия	6х 3х 3,5	7/ 7	2	1/ 1,5х 2,2	1/ 2х 3	Стены и потолок - штукатурка гипсовая сухая толщиной 10 мм с воздушной прослойкой 50-150 мм, пол – линолеум; кресла – кожаные на поролоне; двери – монолитная лакированная древесина	Стол – монолитная лакированная древесина (2/1,2х0,7 шт/м)

Продолжение табл. 3

21	Концертный зал	23х 12/ 17х 8	500/ 500	13	2/ 2,7х 2,3	-	Стены – кирпичные неоштукатуренные, пол – релин, потолок – плиты твердые древесноволокнистые толщиной 4 мм с воздушной прослойкой 50-150 мм; кресла мягкие, обшитые тканью; двери – монолитная лакированная древесина	Подиум – 5х1 м; подъем – 16х1 м
22	Драматический театр	45х 26/ 31х 20	1750 / 1750	15	3/ 4х 3	-	Стены – бетонные, гладкие, неокрашенные, пол – релин, потолок – сосновая панель толщиной 19 мм; кресла мягкие, обшитые бархатом; двери – сосновая древесина	Подиум – 6,5х1 м; подъем – 35х1,5 м; балкон – 3х1,3 м (по ширине зала)
23	Радиостудия	9х 5,5х 3,5	-/1	1	1/ 1,2х 2,2	2/ 2,1х 1,8	Стены и потолок – гипсовая штукатурка, пол – деревянный паркет на балках; стул – полумягкий, обшитый тканью; двери – деревянные окрашенные	Стол - монолитная лакированная древесина (1/1,6х1 шт/м), доска – деревянная (1/1х0,5 шт/м)
24	Театр оперы и балета	55х 35/ 40х 25	1950 / 1950	10	4/ 4х 3	-	Стены – бетонные, гладкие, неокрашенные, пол – релин, потолок -штукатурка гипсовая сухая толщиной 10 мм с воздушной прослойкой 50-150 мм; кресла мягкие, обшитые бархатом; двери – сосновая древесина	Подиум – 8х1 м; подъем – 45х1,5 м; балкон – 4х1,5м (по ширине зала)
25	Аудитория	20х 12х 6	256/ 256	1	2/ 2х 1,5	-	Пол паркетный; парты деревянные; потолок и большая часть стен (300 м ²) покрыты гипсовой штукатуркой	В аудитории 16 рядов по 16 мест в каждом и 2 продольных прохода шириной по 1,2 м. Между первым рядом и передней стеной 4м

Варианты заданий к курсовой работе

Продолжение табл. 3

26	Зал «Круглого стола»	20х 20х 8	120/ 120	1	-	-	Потолок и часть стен (500 м ²) – АЦП; фальшивые окна, облицованные стеклом (60 м ²); двери и деревянные панели на кондиционерах имеют общую площадь 80 м ² ; одна часть пола (320 м ²) - покрыта ковром по бетону, другая его часть (80 м ²) - занята столом, покрытым толстой скатертью (по коэффициенту поглощения ее можно считать ковром). В зале во время работы члены делегации тихо переговариваются	Зал рассчитан на 12 делегаций; 36 членов делегации сидят в первом ряду (у края стола), другие 36 – во втором ряду. Вдоль каждой из стен расположено по 9 кресел для вспомогательного персонала делегаций. В центре зала расположен стол стенографисток (12 человек)
27	Зал ожидания аэровокзала	50х 20х 7,5		-	-	-	Одна продольная стена почти наполовину состоит из окон и стеклянных дверей (200м ²). На обоих этажах пол паркетный с асфальтовым основанием. Вся остальная ограничивающая поверхность зала покрыта гипсовой штукатуркой.	На уровне второго этажа вокруг зала балкон. Как на первом, так и на втором этажах есть деревянные двери общей площадью 100 м ²
28	Концертный зал	30х 16х 7,8	480/ 480	-	2/ 1,6х 2,3	-	Стены – древесно-волоконная плитка, пол – паркет на шпонках, потолок – гипсовая штукатурка; кресла – кожаные на поролоне; дверь – монолитная лакированная древесина	Подиум – 16х1 м; подъем – 10х1 м

Окончание табл. 3

29	Аппаратный зал	30х 8х 6	58/ 58	-	-	-	<p>Зал имеет сводчатый потолок (его средняя высота равна 5,5 м), что требует проверки на эхо. Почти во всю длину помещения (28 м) посередине расположен стол, шириной в 2 м, за ним сидят 38 операторов и один диспетчер. Помещение имеет ниши глубиной 1 м и шириной 3 м в обеих боковых стенах. Потолок в нишах сводчатый, и средняя высота ниши равна 3 м. Ниши расположены симметрично по 5 в каждой стене с расстоянием 3 м. В нишах установлены столы длиной 3 м и шириной (в глубину ниш) 1 м. За этими столами сидят 20 операторов. С учетом одного рассыльного в зале находится 60 чел. Вдоль свободных боковых стен стоят деревянные шкафы высотой 2 м, глубиной 0,5 м и шириной 3 м. Всего таких шкафов 8. Пол гранитный, стены гладкие бетонные, потолок облицован простой гипсовой штукатуркой</p>	<p>В зале 59 телеграфных аппаратов, и у каждого оператора есть телефонный аппарат, по которому он может разговаривать во время работы телеграфного аппарата. общий уровень шумов до обработки помещения составлял 83 дБ</p>
----	----------------	----------------	-----------	---	---	---	---	---

АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОМЕЩЕНИЙ С ВЫБОРОМ И РАСЧЕТОМ СИСТЕМЫ ОЗВУЧЕНИЯ

Общие понятия

Процессы преломления звуковой волны в помещении подчиняются законам геометрической акустики. При этом энергия, оставшаяся в помещении после отражения звуковой волны, характеризуется *коэффициентом отражения* b , энергия, теряемая в помещении после отражения, - *коэффициентом звукопоглощения* a , энергия звуковой волны, прошедшая сквозь поверхность, - *коэффициентом звукопроводности* g :

$$a = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}}; \quad b = \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}}; \quad g = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пад}}}, \quad (22)$$

где $E_{\text{пад}}$ - энергия звука, падающего на поверхность; $E_{\text{отр}}$ - энергия звука, отраженного от поверхности; $E_{\text{пр}}$ - энергия звуковой волны, прошедшей сквозь поверхность в соседнее помещение; $E_{\text{погл}}$ - энергия звуковой волны, теряемая в помещении при отражении. Очевидно, что если нет дифракции, $a+b=1$, так как $E_{\text{погл}}+E_{\text{отр}}=E_{\text{пад}}$. Значения коэффициентов a , b и g зависят от материала и конструктивных особенностей поверхности, от частоты и угла падения звуковой волны.

Значения коэффициентов звукопоглощения a , приводимые в справочниках, получены в диффузном звуковом поле, которое характеризуется равновероятным распространением звуковых волн в каждом направлении, равенством значений звуковой энергии, распространяющейся в каждом направлении, одинаковым значением суммарной звуковой энергии в каждой точке объема помещения.

Поверхности пустого помещения, обработанные разными материалами с коэффициентами звукопоглощения a , при площади каждого из них, соответственно равной S_1, S_2, \dots, S_n , образуют *общий фонд звукопоглощения*

$$A = a_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots + a_n S_n = \sum a_n S_n, \quad (23)$$

где $S_1 + S_2 + \dots + S_n = S$ - суммарная площадь всех поверхностей помещения

Общее поглощение измеряется в сэбинах (Сб) или в квадратных метрах (1 Сб равен поглощению 1 м^2 открытого окна без учета дифракции).

Так как в помещении, как правило, находятся люди и различные предметы, поглощающую поверхность которых трудно учесть, то для удобства расчетов введены эквивалентные коэффициенты поглощения для людей и предметов на их единицу. В этом случае произведение эквивалентного коэффициента поглощения a_k на число предметов N_k называется *дополнительным фондом поглощения*, который будет также исчисляться в сэбинах или метрах квадратных. А общее поглощение будет суммой поглощений поверхностей и предметов:

$$A = \sum_n a_n S_n + \sum_k a_k N_k. \quad (24)$$

Экспериментальные оценки акустических параметров студий и залов многоцелевого назначения показали, что, кроме основного и дополнительного фондов звукопоглощения, необходимо учитывать и так называемый *добавочный фонд звукопоглощения*:

$$A_{\text{доб}} = a_{\text{доб}} S, \quad (25)$$

где $a_{\text{доб}}$ - коэффициент добавочного звукопоглощения, учитывающий проникновение звуковых волн в различные щели и отверстия помещения, колебания

разнообразных гибких элементов, поглощение звука осветительной арматурой и т. п. Значения $a_{доб}$ зависят от частоты. Заметим, что если не учитывается добавочный фонд звукопоглощения при проектировании студий, то они часто оказываются переглушенными в низкочастотной области спектра. Для средних, малых музыкальных и камерных студий $a_{доб}$ на частотах 125 и 250 Гц равен 0,075 и 0,06 соответственно, а на частотах от 500 до 2000 Гц – 0,03. Большие музыкальные студии отличаются более высоким $a_{доб}$: 125 Гц – 0,09, 250 Гц – 0,075 и 500...2000 Гц – 0,04.

Тогда общее звукопоглощение в помещении будет следующим:

$$A = \sum_n a_n S_n + \sum_k a_k S_k + a_{доб} S. \quad (26)$$

Акустические характеристики помещений

Акустический расчет помещения рекомендуется производить в рамках статистической теории (существует еще волновая и геометрическая теории).

В статистической теории пользуются следующими понятиями и величинами: средний коэффициент поглощения, акустическое отношение, радиус гулкосты, время реверберации, реверберационный коэффициент поглощения, оптимальная и эквивалентная реверберация.

Среднее значение коэффициента звукопоглощения для заполненного помещения соответствует условному материалу, которым можно было бы обработать поверхности помещения, обеспечив поглощение звуковой энергии, свойственное данному конкретному помещению, поверхности которого обработаны разнородными материалами. То есть среднее значение коэффициента поглощения представляет собой величину, учитывающую различие поглощающих свойств материалов, которыми обработаны поверхности помещения.

Если помещение состоит из k участков площадью S_k с различными коэффициентами поглощения a_k , то средний коэффициент звукопоглощения будет равен:

$$a_{cp} = \frac{a_1 S_1}{S} + \frac{a_2 S_2}{S} + \dots + \frac{a_k S_k}{S} = \sum_k \frac{a_{cp} S_k}{S} = \frac{A}{S}, \quad (27)$$

где S – суммарная площадь всех поверхностей помещения;

A – общий фонд звукопоглощения.

Звуковое поле в помещении можно представить как сумму составляющих поля «прямого» звука, создаваемого звуковыми волнами, не испытавшими ни одного отражения, и поля, создаваемого отраженными звуковыми волнами (называемой диффузной составляющей). Отношение плотности энергии прямого звука к плотности энергии диффузного звука называют *акустическим отношением* :

$$R = \frac{e_{диф}}{e_{пр}} = \frac{P_{диф}^2}{P_{пр}^2}. \quad (28)$$

Величина R зависит от частоты, так как коэффициент a частотно-зависим.

Изменение акустического отношения воспринимается при слуховой оценке как изменение времени реверберации. Для музыкальных программ акустическое отношение доходит до 6...8, в отдельных случаях до 10...12 (органная музыка). При малом акустическом отношении ($R < 2$) музыкальное звучание кажется неестественно сухим. Для речевых программ допускается акустическое отношение немного меньше единицы. Расстояние до источника звука, при котором $R=1$, называется *радиусом гулкост* помещения, так как при больших расстояниях диффузная составляющая становится больше составляющей прямого звука и в звучании появляется гулкост.

Основной характеристикой помещения является *время реверберации*, то есть время затухания звука. Чтобы время реверберации характеризовало только акустические свойства помещения, ввели понятие *время стандартной реверберации* – это время, в течение которого плотность звуковой энергии и интенсивность звука уменьшаются в 10^6 раз, то есть на 60 дБ (звуковое давление уменьшается в 10^3 раз).

Время стандартной реверберации вычисляется по формуле Эйринга

$$T = \frac{0,161V}{a'S}, \quad (29)$$

где a' – *реверберационный коэффициент поглощения* :

$$a' = -\ln(1 - a_{cp}). \quad (30)$$

Если средний коэффициент поглощения невелик, то $a' \approx a_{cp}$. Следовательно, для случая малых коэффициентов поглощения время стандартной реверберации вычисляется по формуле Сэбина:

$$T = \frac{0,161V}{a_{cp}S} = \frac{0,161V}{A}. \quad (31)$$

В помещениях большого объема на частотах более 1000 Гц приходится считаться с дополнительным поглощением, которое учитывает поглощение звука в воздухе (оно обусловлено вязкостью среды), равное $[4 \cdot m \cdot V]$. Таким образом, время стандартной реверберации будет определяться полной формулой Эйринга:

$$T = \frac{0,161V}{a'S + 4 \cdot mV}. \quad (32)$$

Ощущаемое на слух время реверберации называют *эквивалентной реверберацией*. Это время связано с временем стандартной реверберации и акустическим отношением следующим выражением:

$$\frac{1}{T_{\text{экв}}} = \frac{1}{T} + \frac{1}{6 \cdot t_3} \lg\left(\frac{1+R}{R}\right) \quad (33)$$

где $T_{\text{экв}}$ – время эквивалентной реверберации;

t_3 – время, в течение которого слух достаточно хорошо интегрирует процессы ($t_3 \cong 0,2$).

Эквивалентная реверберация уменьшается при приближении к источнику звука, так как уменьшается акустическое отношение, и это хорошо ощущается слушателями. А в удаленных точках зала, где акустическое отношение наиболее велико, всегда ощущается большая гулкость, чем в других точках помещения.

Если в помещении, в котором исполняется музыкальная программа или произносится речь, время реверберации очень велико, то художественность исполнения музыки сильно страдает из-за большой гулкости, а речь становится неразборчивой из-за «наплывов» одного звука на другой. С другой стороны, если время реверберации очень мало, то музыка и речь звучат резко, отрывисто. Только при вполне определенном времени стандартной реверберации звучание получается наилучшим. Соответствующее время реверберации называют *оптимальной реверберацией*. Оказывается, что для разных видов программ оптимальное время реверберации различно. Экспериментально установлено, что оптимальная реверберация зависит от объема помещения (рис. 2).

Графические зависимости, полученные экспериментально с достаточной точностью могут быть заменены следующими приближенными выражениями:

для передачи речи

$$T_{opt} = 0,3 \cdot \lg V - 0,05; \quad (34)$$

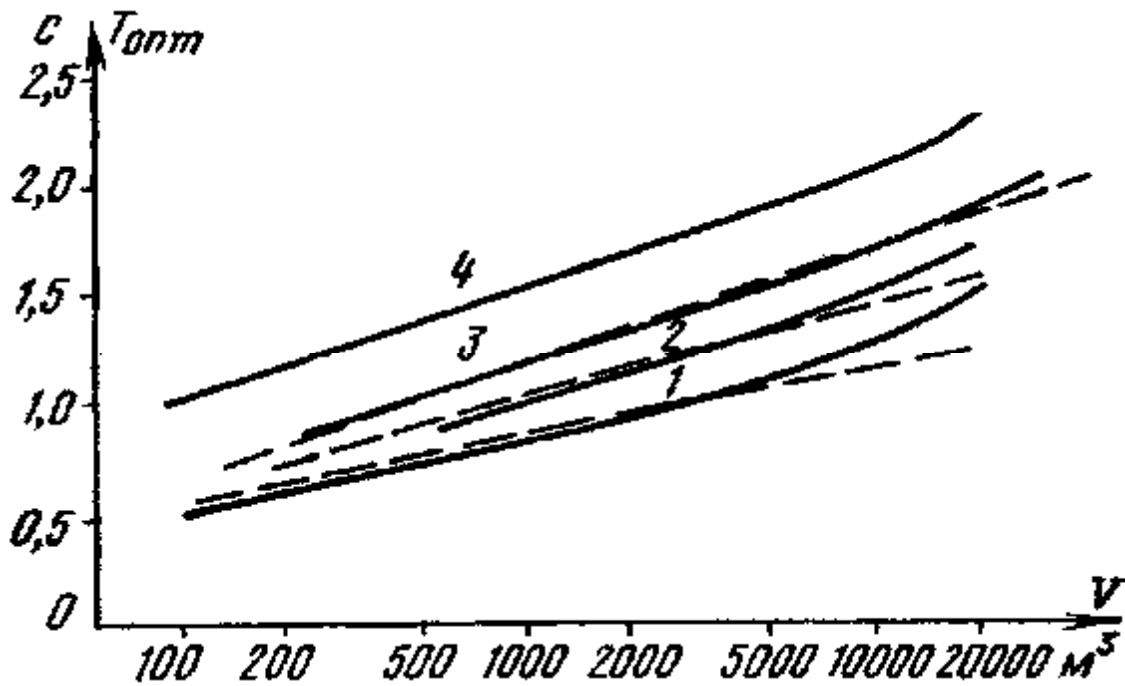


Рис. 2. Зависимость оптимальной реверберации для частоты 500 Гц от объема помещения:

1 – для речевых передач; 2 – для малых музыкальных форм и оперных театров;

3 – для концертных залов (симфоническая музыка); 4 – для органной музыки;

пунктиром дана приближенная аналитическая зависимость

для малых музыкальных форм и оперных театров

$$T_{opt} = 0,4 \cdot \lg V - 0,15; \quad (35)$$

для симфонической музыки

$$T_{opt} = 0,5 \cdot \lg V - 0,3, \quad (36)$$

где V – объем помещения.

T_{opt} регламентируется для частотного диапазона 125 Гц...4 кГц. На рис.3 приведена относительная зависимость оптимальной реверберации от частоты для речевых и музыкальных передач в форме допусков, в которые следует укладываться при реализации времени реверберации в помещении (допускается отклонение не более 10%).

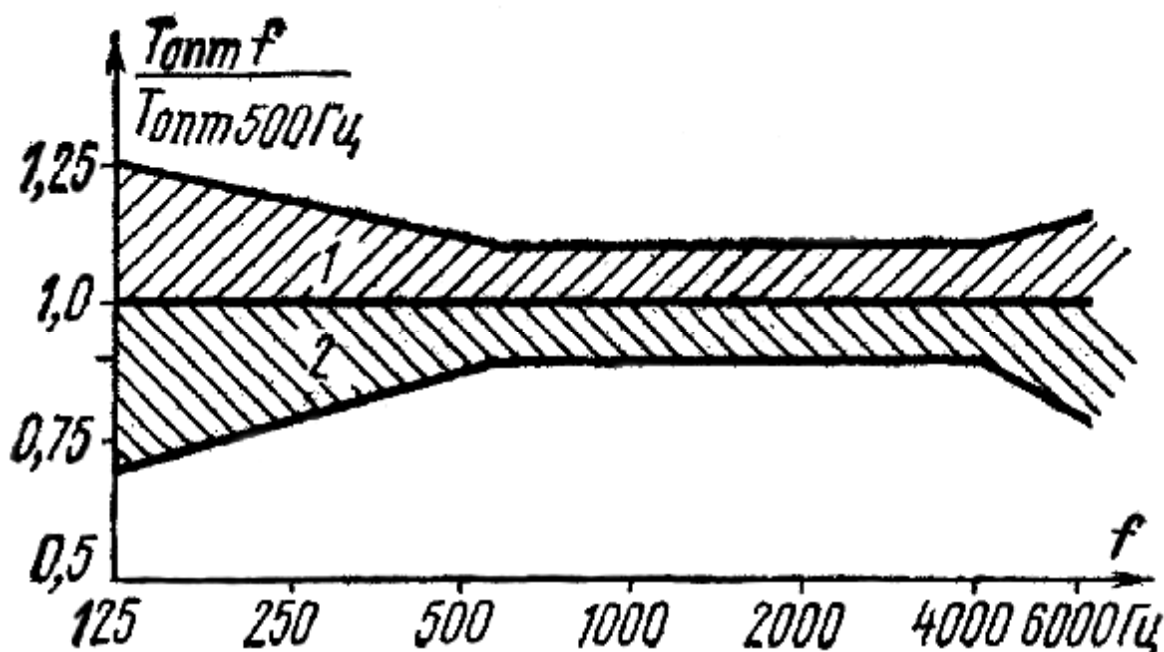


Рис. 3. Частотная зависимость времени оптимальной реверберации:

1 – для музыкальных программ; 2 – для речевых передач

Типы студий. Акустические характеристики студий

Студии являются связанными помещениями, поэтому их акустические характеристики определяются в зависимости от акустических характеристик помещений, в которых будут прослушивать передачи. Такие помещения очень разнообразны, разнообразны и их акустические свойства. Зависимость T_{opt} от объема студии приведена на рис.4. Приближенное значение оптимального времени реверберации для студий, предназначенных для концертных программ, можно найти из формулы

$$T_{opt} = 0,5 \cdot \lg V - 0,15. \quad (37)$$

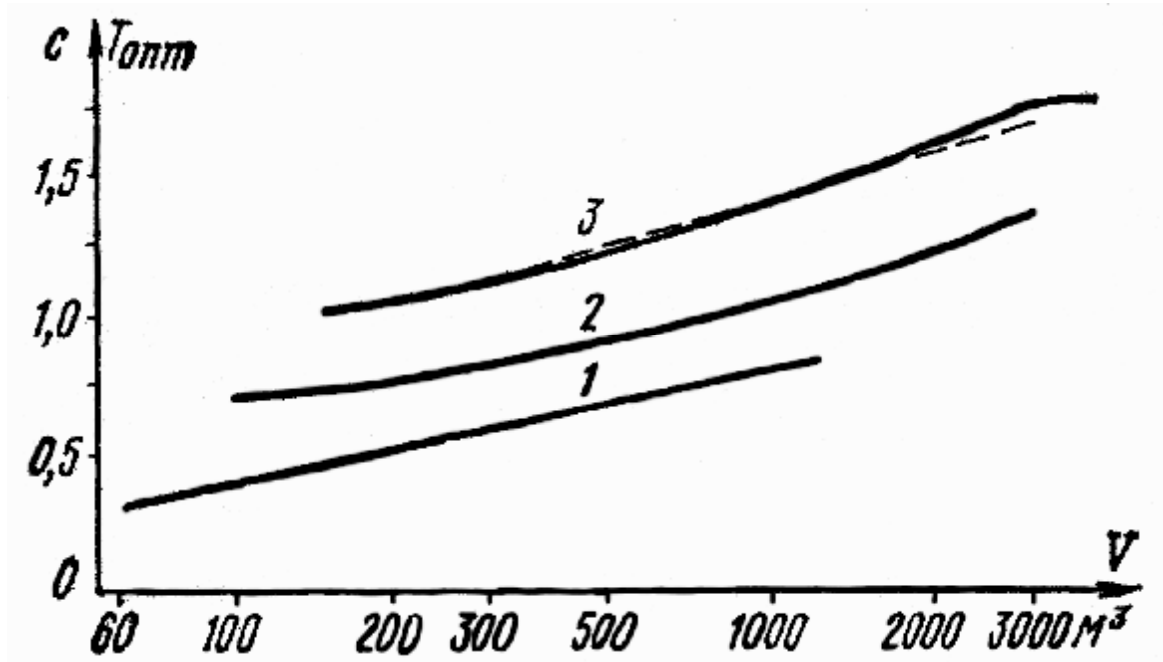


Рис. 4. Зависимость оптимальной реверберации от объема студий:

1 – для речевых передач; 2 – для музыкальных форм; 3 – для концертных программ;
пунктиром дана приближенная аналитическая зависимость

Рекомендуется небольшой подъем в сторону низких частот: $T_{opt} [125 \text{ Гц}] / T_{opt} [500 \text{ Гц}] = 1,5 \dots 1,6$ (рис. 5, см. верхнюю границу зоны 1). Допускается и равномерная характеристика в этом диапазоне частот. Не допускается только снижение, так как это ухудшает качество звучания. На высоких частотах желательно иметь небольшой (до 40%) подъем характеристики. Для больших студий на частотах выше 2000 Гц трудно выполнить эту рекомендацию из-за уменьшения времени реверберации вследствие затухания звука в воздухе. Поэтому рекомендуется поддерживать время реверберации равномерным или с небольшим спадом к высоким частотам.

Одно из важных требований к студиям - наличие в них поля, по возможности близкого к диффузному, это сложно так как время реверберации в студиях невелико, а средний коэффициент поглощения велик. При таком условии энергия в помещении распределяется неравномерно. Это приводит к частотным искажениям.

Применением различного рода звукорассеивающих конструкций, равномерного распределения поглощающего материала и т.п. удастся достигнуть хорошего приближения к диффузности.

Для речевых студий оптимальное время реверберации определяется следующим условием: студия как связанное помещение практически не должна увеличивать время реверберации во вторичном помещении.

Оптимальное время реверберации для речевых студий примерно равно 0,4...0,5 с. При передаче речи из студий с большим объемом и для создания эффекта звучания речи в большом помещении это время увеличивают до 0,7...0,8 с.

Оптимальная частотная характеристика для речевых студий равномерна во всем диапазоне частот (рис. 5, см. зону 2): допускается небольшой спад в сторону высоких (не более 30%) и низких частот. Подъем частотной характеристики на низких частотах ни в коем случае не допускается, так как при этом снижается разборчивость речи.

В литературно-драматическом блоке основная студия имеет большие размеры. Так как в основном в этих студиях необходимо обеспечить высокую разборчивость речи, то время реверберации следует брать небольшим. Из опыта установлено, что это время должно быть 0,5...0,6 с.

В основной студии литературно-драматического блока время реверберации так же, как и в речевых студиях не должно зависеть от частоты (допускается небольшое снижение в обе стороны от частоты 500 Гц). Заглушенная студия, входящая в литдрамблок, должна иметь возможно меньшее время реверберации (0,2...0,25 с) для создания эффекта передачи из открытого пространства и

условий отсутствия реверберации. Гулкая студия должна имитировать сцены в гулком помещении (вокзал, церковь и т. п.), и поэтому время реверберации в ней должно быть не менее 3...3,5 с в средней полосе частот с увеличением в сторону низких частот и с уменьшением в сторону высоких.

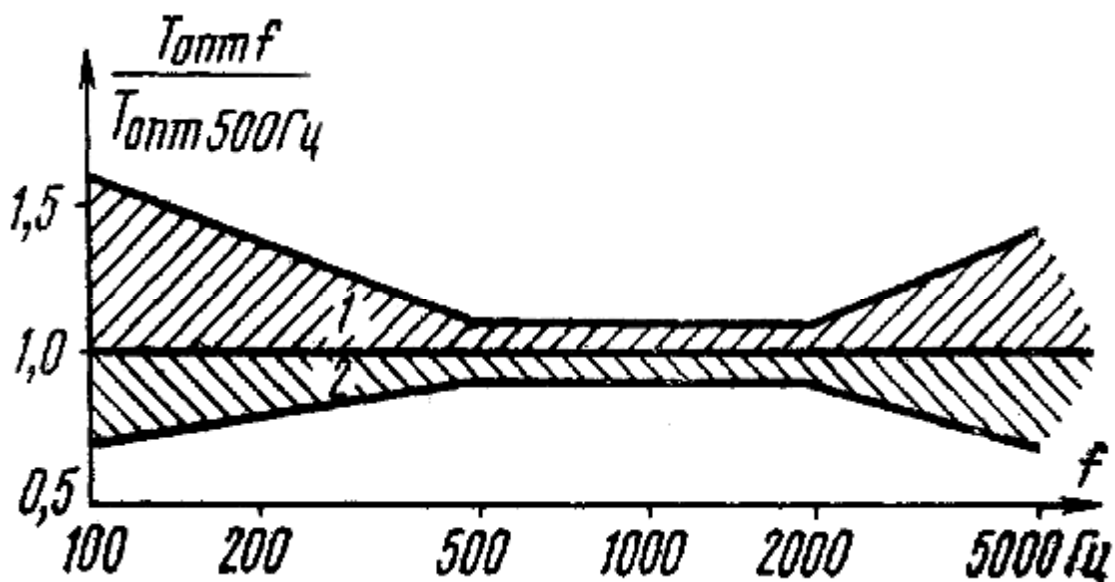


Рис. 5. Частотная зависимость оптимальной реверберации:

1 – для музыкальных программ; 2 – для речевых передач

Акустические характеристики телевизионных постановочных студий определяются из условий их соответствия передаваемой обстановке, время реверберации берется небольшим (0,7...0,8 с), а затем вводится искусственная реверберация до получения оптимума для заданного исполнения.

Оптимальное время реверберации для радио- и телетеатров берут с небольшим уменьшением по сравнению с обычными театрами и концертными залами (не более 10%): для компенсации его увеличения из-за связанности с жилым помещением и вследствие близости микрофона к исполнителям.

Акустические характеристики комнат и залов для прослушивания должны удовлетворять требованиям, соответствующим тем условиям, в которых нахо-

дятся абоненты радиосети (небольшое помещение с временем реверберации около 0,6...0,7 с).

Звукопоглощающие материалы и конструкции

Обработка поверхностей помещений звукопоглощающими материалами и конструкциями необходима для получения оптимальных акустических характеристик, среди которых особую роль играет время стандартной реверберации. Для достижения требуемой частотной характеристики звукопоглощения обычно комбинируют конструкции, поглощающие энергию преимущественно на низких, средних и высоких частотах звукового диапазона.

Поглощающие свойства материалов определяются коэффициентом поглощения материала α . Коэффициенты поглощения зависят от угла падения звуковой волны на поглощающий материал. Различают *нормальный коэффициент поглощения* (для угла падения 90°) и *диффузный* (для всевозможных углов падения). В таблицах обычно приводят только диффузный коэффициент поглощения.

Коэффициенты поглощения зависят от частоты. Одни материалы имеют большее поглощение на низких частотах, другие – на высоких, третьи – на средних. Ряд материалов имеет немонотонную зависимость коэффициента поглощения от частоты. Все это позволяет подбирать оптимальное общее поглощение в помещении во всем диапазоне передаваемых частот.

Звукопоглощающие материалы по строению делятся на сплошные и пористые, а по применению – на стеновые, облицовочные, драпировки и специальные. К последним относятся, например, мембранные и резонаторные конструкции.

Сплошные материалы (бетон, кирпич, мрамор, дерево и т.п.), как правило, твердые, то есть имеют акустическое сопротивление значительно больше сопротивления воздуха. Поэтому их коэффициенты звукопоглощения очень

малы, не более 5%. Некоторые из этих материалов (дерево, мрамор) используются и для стен, и как облицовочные. В последнем случае их коэффициент поглощения оказывается больше, чем в первом, так как происходит дополнительное поглощение из-за поперечных колебаний, возникающих в слое облицовочного материала. С увеличением частоты коэффициенты поглощения твердых сплошных материалов растут. Из мягких сплошных материалов в качестве облицовочного используется только плотная резина. Ее акустическое сопротивление не очень велико, а коэффициент поглощения в среднем равен около 10%.

Пористые материалы (штукатурки, облицовочные плиты с перфорацией и без нее, щиты, портьеры, ковры и т.п.) используются только как облицовочные и для драпировок, то есть во всех случаях за ними располагаются (вплотную или на некотором расстоянии от них) ограждающие конструкции из сплошных материалов (стены, потолки, полы и другие перегородки).

При падении звуковых волн на перегородку из пористого материала необходимо учитывать отражение звука как от лицевой поверхности, так (для прошедших в нее волн) и тыльной с учетом поглощения звука в порах. Для материалов, хорошо проницаемых для звука, следует учитывать и возможность возвращения звуковых волн, отраженных от ограждающих конструкций, находящихся за рассматриваемой пористой перегородкой.

Разработано много специальных поглощающих материалов с акустическим сопротивлением, близким к сопротивлению воздуха (например АГШ — акустическая гипсовая штукатурка). Их коэффициенты поглощения на некоторых частотах близки к единице. Применяются слоистые конструкции из пористых материалов. Их слои подбирают так, чтобы получить как можно больший коэффициент поглощения.

Мембранные звукопоглощающие конструкции. Для тонкой перегородки из сплошных материалов поглощение определяется интенсивностью ее колебаний как целого (системы с сосредоточенными постоянными) и как мембран (системы с распределенными постоянными). Первые наблюда-

ются на низких частотах, вторые - на средних и высоких. В обоих случаях поглощение зависит от частоты. Самый низкочастотный максимум поглощения получается на резонансной частоте, определяющейся массой и гибкостью перегородки. Выше этой частоты имеются еще максимумы поглощения, частоты которых определяются поперечными размерами перегородки и скоростью распространения поперечных колебаний в ней. Поэтому поглощение растет с увеличением частоты немонотонно. Для увеличения потерь в перегородке под нее подкладывают демпфирующие материалы, например войлок. Резонирующие панели, изготовленные из натянутого холста с войлочной подкладкой, называют щитами Бекеша. Подобные панели изготавливаются также из тонкой фанеры с поролоновым демпфером. Они бывают не только в виде плоских конструкций, но и в виде колонн и полуколонн. В зависимости от толщины фанеры или натяжения холста можно изменять частоту резонансов и таким образом получать максимумы поглощения в тех диапазонах частот, в которых требуется большее поглощение. Делаются они в основном для поглощения, низких частот, хотя и на высоких частотах их коэффициент поглощения довольно высок.

Резонаторные звукопоглощающие конструкции. Широкое распространение получили конструкции, построенные по принципу резонаторов Гельмгольца. Они эффективно поглощают звуковую энергию на частотах вблизи их резонансной частоты.

Эффективность поглощения таких резонаторов определяется потерями в горле резонатора, где скорость колебаний максимальна. Там и должен быть расположен материал, вносящий затухание в колебания, например имеющий высокое внутреннее трение (вязкость). В практике для подобных резонаторов используют различные ниши, выходные отверстия которых затягивают тканью. Подобные резонансные поглотители выполняют также в виде больших щитов (во всю стену или потолок) с отверстиями, затянутыми тонкой металли-

ческой сеткой. Отверстия иногда делают разных размеров и на разных расстояниях, в результате чего получаются наборы резонаторов.

Большие неровности на стенах и большие выступы, различные предметы, находящиеся в помещении, поглощают звуковую энергию с учетом эффекта дифракции. При расчетах эти поглощения обычно включают в поглощение ближайших к ним ограждающих конструкций.

В студиях, как правило, используют три типа звукопоглотителей:

пористые акустические плиты, коэффициент звукопоглощения которых обычно имеет максимальное значение в области средних и высоких частот звукового диапазона;

пористые перфорированные экраны, у которых частотная зависимость коэффициента звукопоглощения имеет резонансный характер, причем в зависимости от размера перфорированных отверстий, расстояние между ними, толщины наполнителя и других факторов удается изменять положение максимума звукопоглощения на оси частот, что весьма удобно при акустической настройке студий;

панели, резонирующие на низких частотах, коэффициент звукопоглощения которых максимален в области частот 100...300 Гц и смещается в сторону низших частот при увеличении воздушного промежутка между панелью и поверхностью стены (потолка).

Звукопоглощающие конструкции с разными акустическими характеристиками размещают по возможности равномерно на поверхностях студии, что способствует повышению диффузности звукового поля. Для этого применяют также звукорассеивающие конструкции, частично размещая их на боковых стенах, но в основной массе на потолке.

Полы в радиовещательных студиях обычно паркетные, при необходимости частично покрываются ковром. В телевизионных студиях широко используют плавающие полы, которые удобны в эксплуатации и не создают шума при движении камер.

Звукоизоляция помещений и студий

Звукоизоляция помещений определяет уровень проникающих извне шумов. Для студий, измерительных камер, сурдокамер и т.п. требуется высокая звукоизоляция от внешних шумов и вибраций, создающих акустические шумы. Звукоизоляция требуется и для концертных залов, театров, аудиторий, комнат для прослушивания и для жилых помещений.

Пути прохождения звука через ограждающие конструкции следующие: через сквозные поры, щели и т.п. (воздушный перенос), через материал перегородки в виде продольных колебаний его частиц (материальный перенос) и через поперечные колебания перегородок, похожих на колебания мембран (мембранный перенос), которые часто можно приближенно рассматривать как колебания всей перегородки в целом. Количественное определение звукопроводности перегородок проводится с учетом всех видов переноса звуковых колебаний.

Рассмотрим наиболее характерный случай: проникновение шума в помещение (студию, театр, концертный зал, и т.д.) через разделяющую перегородку (дверь, стена, граничащие с шумной улицей, окно и т.д.). Как было определено ранее, звукоизоляция помещения – разность между уровнями внешней стороны L_1 и внутри помещения L_2 .

$$Q_{из} = Q_{пер} - 10\lg\left(\frac{S_{np}}{a_{cp}S}\right) = 10\lg\left(\frac{a_{cp}S}{a_{np}S_{np}}\right) = 10\lg\left(\frac{A}{A_{np}}\right), \quad (38)$$

где $Q_{пер} = 10\lg\frac{1}{a_{np}}$ - звукоизоляция перегородки;

a_{np} – коэффициент звукопроводности;

A – общее поглощение ограничивающих поверхностей помещения;

A_{np} – проводимость перегородки;

S_{np} – поверхность перегородки.

Из соотношения (38) следует, что звукоизоляция помещения определяется звукопроводностью ограждающих конструкций Q_{nep} и поправкой $10\lg \frac{S_{np}}{a_{cp}S}$ на увеличение уровня интенсивности прошедшего звука из-за отражений от внутренних поверхностей помещения. Следует заметить, что в гулком помещении звукоизоляция резко снижается из-за увеличения шума вследствие отражений. В заглушенных помещениях (радиовещательные студии, театры и т.д.) звукоизоляция будет определяться только звукопроводностью перегородки (см. приложение табл. 9). Если перегородка сложная, состоит из ряда участков с разной их звукопроводностью, то

$$Q_{uz} = 10\lg \frac{a_{cp}S}{\sum_k a_{npk} S_{npk}} = 10\lg \frac{A}{A_{np}} \quad (39)$$

где $A_{np} = \sum_k a_{npk} S_{npk}$.

Для стен с поверхностной плотностью $r < 200$ кг/м² - $Q_{nep} = 12,5\lg r + 14$,
 $r > 200$ кг/м² - $Q_{nep} = 14,5\lg r + 15$.

Для двойных жестких перегородок с воздушной прослойкой

$$Q_{nep} = 14,3\lg(r_1 r_2) + 20\lg d - 13 \quad (40)$$

где r_1, r_2 – поверхностные плотности перегородок;

d - толщина воздушного слоя между ними.

Для уменьшения воздушного переноса необходимо тщательно следить за устранением различного рода отверстий и щелей в перегородках. Для уменьшения материального переноса необходимо брать слоистые конструкции стен и перегородок из материалов с резко отличающимся удельным акустическим со-

противлением (бетон + поролон и др.). Для уменьшения мембранного переноса необходимо стремиться к увеличению массы перегородки. Для уменьшения шумов вибрации перегородки применяют различного рода виброизолирующие прокладки. Проникновение шумов через вентиляционные каналы устраняют заглушением, то есть покрытием стенок каналов поглощающими материалами, а также применением различного рода акустических фильтров.

Звукоизоляция студий определяет максимально допустимый уровень акустических шумов, ограничивающий передаваемый динамический диапазон сигнала снизу (рис. 6). Так как этот уровень мал (не должен превышать 30 дБ), то необходимо принимать меры в отношении тщательной изоляции студий от шума. Радиодомы и телецентры должны располагаться на тихих улицах. Студии должны располагаться в уединенных местах зданий, подальше от проезжей части наиболее тихой улицы. Должны применяться «плавающие» полы и подвесные потолки. Студии первого и цокольного этажей должны иметь отдель-

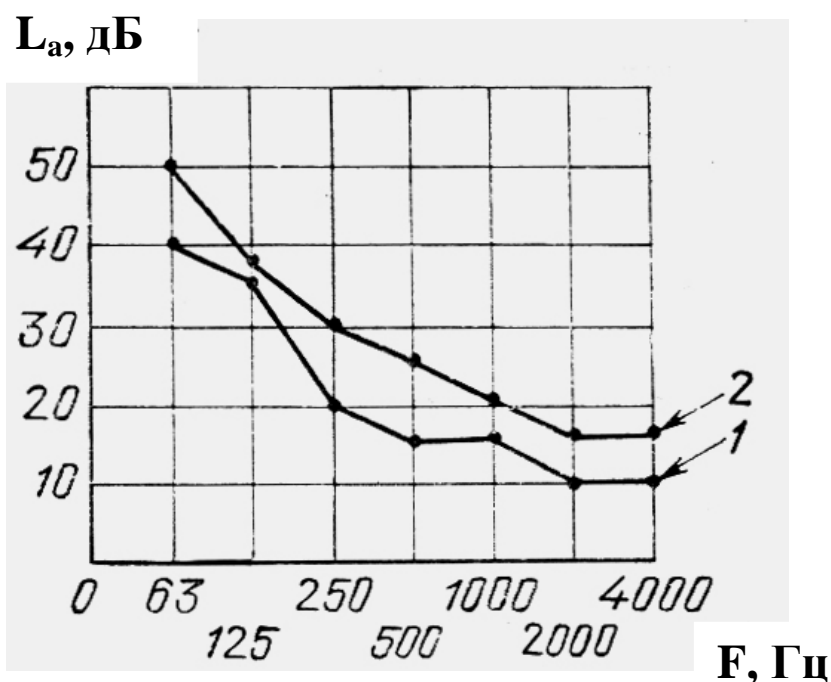


Рис. 6. Зависимость допустимого уровня звукового давления шума в радиовещательных (1) и телевизионных (2) студиях от частоты

ный фундамент, изолированный от основного звукоизолирующими прокладками и засыпкой между общим и индивидуальным фундаментами (засыпка песком, прокладки из демпфирующих изоляционных материалов: резина, строительный войлок, различные синтетические материалы). Все студии снабжаются тамбурами глубиной не менее 1 м, открывающиеся в направлении выхода из студии. Внутренние поверхности тамбуров обрабатываются звукопоглощающими материалами. Аппаратные должны быть отделены от студий просмотрным окном трехслойной конструкцией из толстых стекол толщиной 6...9 мм с не параллельным расположением во избежание резонанса объема между стеклами. Все стекла изолированы по периметру прокладками из профильной резины, обеспечивающими их плотное, без малейших щелей, прилегание к рамам.

Для защиты студий от структурных звуков, распространяющихся по конструкциям здания, часто используется схема, получившая название «коробка в коробке». Студия при этом имеет отдельный фундамент, на котором монтируются ее стены, образующие внутреннюю «коробку». На расстоянии 200...500 мм от нее сооружается внешняя «коробка», поверхности которой могут являться как внешними, так и внутренними стенами здания. Иногда внутренняя «коробка» не имеет отдельного фундамента, а подвешивается на пружинах или резиновых амортизаторов.

Озвучение и звукоусиление

Системы озвучения и звукоусиления представляют собой совокупность усилительных и электроакустических устройств, предназначенных для воспроизведения звукового сигнала и обеспечивающих хорошую слышимость на достаточно большой площади. Система звукоусиления отличается от системы озвучения наличием акустической обратной связи, обусловленной тем, что микрофон, принимающий сигнал для усиления, находится в звуковом поле громкоговорителей, излучающих усиленный сигнал.

Озвучением называют громкоговорящее воспроизведение акустических сигналов (вещания, звукозаписи, различной информации, в том числе сигналов оповещения гражданской обороны и др.) в заданных местах расположения слушателей в помещении или на открытом воздухе.

Усиление звука применяют для увеличения акустического сигнала в условиях, когда из-за недостаточной мощности источника звука (оратор, чтец, солист и т. п.), больших размеров озвучиваемой поверхности или заглушённого помещения уровень звука в месте расположения слушателя оказывается ниже требуемого.

В зависимости от назначения (высококачественное усиление речи и музыки, озвучение улиц, парков, площадей, усиление сигналов оповещения в условиях повышенных шумов и т. п.) системы озвучения и звукоусиления должны удовлетворять не только общим требованиям (полоса воспроизводимых частот, частотные и нелинейные искажения), но и некоторым специальным. В частности, система озвучения и звукоусиления на озвучиваемой площади должна обеспечить необходимый уровень звукового поля (акустический уровень), допустимую неравномерность его, слитность звучания, локализацию источников звука, понятность речи.

Максимальный и минимальный уровни поля - это максимальный и минимальный уровни звука $L_{\text{макс}}$ и $L_{\text{мин}}$, создаваемые системой озвучения в точках озвучиваемой поверхности при подведении номинальной мощности к системе озвучения. Обычно эти уровни определяют только для прямого звука, т. е. без учета отраженных волн, так как последние в основном являются помехами. *Озвучиваемой поверхностью* называется поверхность, проходящая на уровне голов слушателей. Для сидящих слушателей считают, что эта поверхность проходит на высоте 1 м от пола, а для стоящих - на 1,5 м.

Необходимый уровень звукового поля зависит от назначения систем озвучения и звукоусиления. Высококачественные системы работают при малых уровнях шума (40...45 дБ). В таких системах максимальный акусти-

ческий уровень определяется из условия естественности звучания первичных источников сигнала. Поэтому при воспроизведении музыкальных программ необходимо обеспечить на местах слушателей необходимый уровень L , равный 90...94 дБ (такой уровень развивает симфонический оркестр в (10...12) - м рядах партера), а при усилении речи — 80...86 дБ, что примерно соответствует акустическому уровню, создаваемому оратором на расстоянии 1...1,5 м.

В тех случаях, когда система озвучения должна создавать лишь музыкальный фон (например в парках и других местах массового отдыха), который не должен мешать нормальному разговору, акустический уровень ограничивается 65...75 дБ. Акустические уровни для речевых передач определяются понятностью речи, вследствие чего их не нормируют.

Понятность речи определяется только для информационных передач в точках с минимальным уровнем поля и максимальным уровнем акустических шумов.

Неравномерность озвучения - разность между максимальным к минимальным уровнями поля для прямого звука $\Delta L = L_{\text{макс}} - L_{\text{мин}}$. Эта величина в общем случае делится на две части: основную и интерференционную. Первая часть определяется распределением уровней поля прямого звука по озвучиваемой поверхности, вторая - обусловлена интерференцией звуковых волн, приходящих от разных излучателей, в результате которой уровень поля изменяется от точки к точке, то повышаясь, то понижаясь, даже в пределах небольших расстояний (до 1—2 м). Причем эти изменения резко зависят от частоты. Обычно стремятся к тому, чтобы минимальный уровень поля, создаваемый системой озвучения, был по возможности близким к уровню, создаваемому первичным источником звука, а максимальный уровень заметно не превосходил его. В результате акустический уровень на всей озвучиваемой площади имеет разное значение. При воспроизведении музыки принимается предельное

значение неравномерности озвучения ≤ 6 дБ, при воспроизведении речи - ≤ 8 дБ.

Акустические шумы - это шумы в пределах озвучиваемой поверхности, создаваемые публикой, различными агрегатами и т. п., и шумы, попадающие извне, например от транспорта.

По уровню акустические шумы в непроизводственных помещениях можно классифицировать следующим образом:

- 1) «полная тишина» 35-40 дБ,
- 2) «нормальная тишина» 45-55 дБ,
- 3) отдельные тихие разговоры 55-60 дБ,
- 4) разговоры многих слушателей 65-70 дБ,
- 5) громкие разговоры, крики 75-80 дБ.

Уровни в производственных помещениях имеют широкий диапазон – от 65 до 85 дБ и более.

Стремятся к их уменьшению, но в ряде случаев это невозможно. Большинство из них имеет огибающую спектра с максимумом на низких частотах. Влияние шумов учитывают только при расчетах понятности речи. Для музыкальных передач следует иметь в виду лишь некоторую маскировку слуха.

Слитность звучания - отсутствие заметного или мешающего эха. Для музыкальных передач эхо не должно быть заметно. Для речевых передач эхо может быть заметным, но оно не должно снижать понятность речи.

Локализация источника звука — слуховое ощущение местонахождения виртуального (кажущегося) источника звука. Человек на слух довольно точно определяет местонахождение источника звука, причем наилучшее восприятие получается при совпадении зрительного образа со слуховым. При слушании музыкальных программ это совпадение обязательно.

В зависимости от расположения громкоговорителей по отношению к озвучиваемой площади системы озвучения и звукоусиления подразделяют на *сосредоточенные*, *зональные* и *распределенные*.

Особенности озвучения помещений. В помещении, в отличие от открытых пространств, обязательно присутствуют реверберационные помехи и помехи от диффузного звука, имеющего уровень, как правило, выше уровня прямого звука. Кроме того, помещение имеет ряд специфических черт, которые следует учитывать при их озвучении. К этим особенностям относятся: наличие отражений от ограничивающих поверхностей с небольшим запаздыванием по отношению к прямому звуку, что повышает эффективность систем озвучения; ограничение высоты подвеса из-за потолка; как правило, меньшие размеры озвучиваемых площадей по сравнению с открытым пространством.

Для озвучения помещений используют сосредоточенные и распределенные системы. Зональные системы в них применяются редко, только в больших помещениях типа выставочных иногда применяют и зональную систему.

Сосредоточенными называют системы, в которых звук к слушателю приходит как бы из одной точки пространства. При этом все громкоговорители располагаются в одном месте и имеют размеры (расстояние между крайними громкоговорителями) в несколько раз меньше, чем расстояние от них до ближайших слушателей. Если расстояние между соседними громкоговорителями больше наиболее длинной звуковой волны в передаваемом диапазоне частот, то интенсивности звука, создаваемые каждым из громкоговорителей, складываются арифметически. При более близком расположении громкоговорителей друг к другу получается увеличение излучения на низких частотах из-за взаимодействия излучателей и вследствие того, что при малых разностях хода излучаемых волн суммируются звуковые давления, а не интенсивности. Если озвучивается зал театра или концертный зал, то громкоговорители могут располагаться над сценой (рис. 7), по бокам ее или в центре помещения.

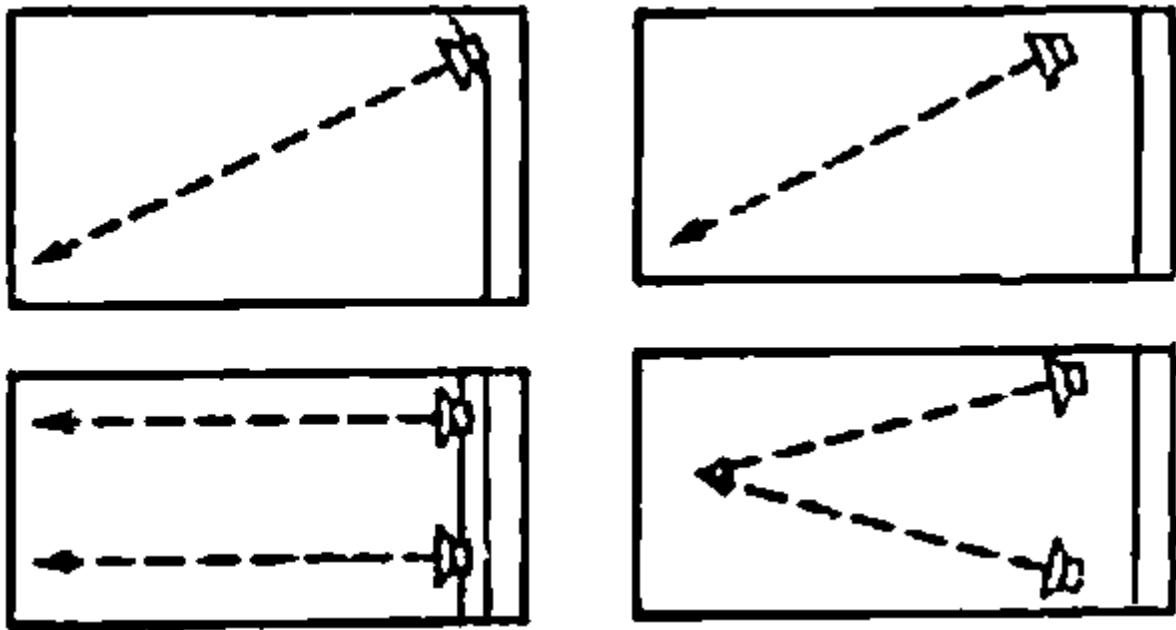


Рис. 7. Размещение громкоговорителей над сценой (слева) и на стенках (справа) при озвучивании помещения сосредоточенными системами

Сосредоточенные системы обеспечивают наилучшее соответствие зрительного и звукового образов и поэтому широко используются при стереофоническом звукоусилении. Их применяют при звукоусилении речевых и музыкальных сигналов на открытых пространствах и в закрытых помещениях. К особенностям этих систем относится трудность обеспечения малой неравномерности звукового поля на озвучиваемой площади, когда размеры последней велики.

Рупорные громкоговорители, используемые в сосредоточенных системах озвучения, могут иметь прямоугольное и круглое выходное отверстие. Пространственная характеристика направленности рупорного громкоговорителя достаточно хорошо аппроксимируется эллипсоидом вращения, вершина которого находится в рабочем месте излучателя. Диаграмма направленности громкоговорителя с прямоугольным сечением рупора в плоскостях, параллельных длинной и короткой сторонам выходного отверстия, различна: шире в плоскости, параллельной короткой стороне. Диаграмма направленности рупор-

ного громкоговорителя с круглым выходным отверстием одинакова во всех плоскостях. В полярных координатах, центр которых совмещен с вершиной эллипса, характеристика направленности громкоговорителя с круглым выходным отверстием имеет вид

$$D(q) = \frac{(1-e^2)\cos q}{1-e^2\cos q}, \quad (38)$$

где e - эксцентриситет аппроксимирующего эллипса.

Рассмотрим распределение акустических уровней на площади, озвучиваемой рупорным громкоговорителем. Расположим громкоговоритель на высоте h над озвучиваемой поверхностью и направим его рабочую ось на наиболее удаленную точку поверхности A , расположенную на расстоянии r_0 от центра выходного отверстия громкоговорителя (точка O , рис. 8).

Эллиптическая диаграмма направленности громкоговорителя в вертикальной плоскости (рис. 8) построена в полярных координатах с центром в точке O по формуле $r = r_0 \cdot D(q)$ для $e = 0,9$ и озвучиваемой площади в форме эллипса. Поверхность диаграммы направленности рупора есть поверхность равных звуковых давлений (например равных $p_{3вА}$), поэтому на протяжении всей кривой наземного эллипса акустические уровни будут одинаковыми и равными L_a . Внутри площади наземного эллипса уровни будут больше. Вне зоны озвучения, в том числе и на участках, лежащих между наземным эллипсом и проекцией точки подвеса громкоговорителя на озвучиваемую поверхность, акустический уровень будет меньше, чем в удаленной точке A , т. е. это будет необслуживаемая зона. Существует точка (в данном случае B), в которой акустический уровень L_{aB} будет максимальным и неравномерность уровней звукового поля в пределах озвучиваемой площади $\Delta L_a = L_{aB} - L_{aA}$. При увеличении высоты подвеса громкоговорителя h уменьшается и нерав-

номерность звукового поля, однако при этом уменьшается и площадь наземного эллипса.

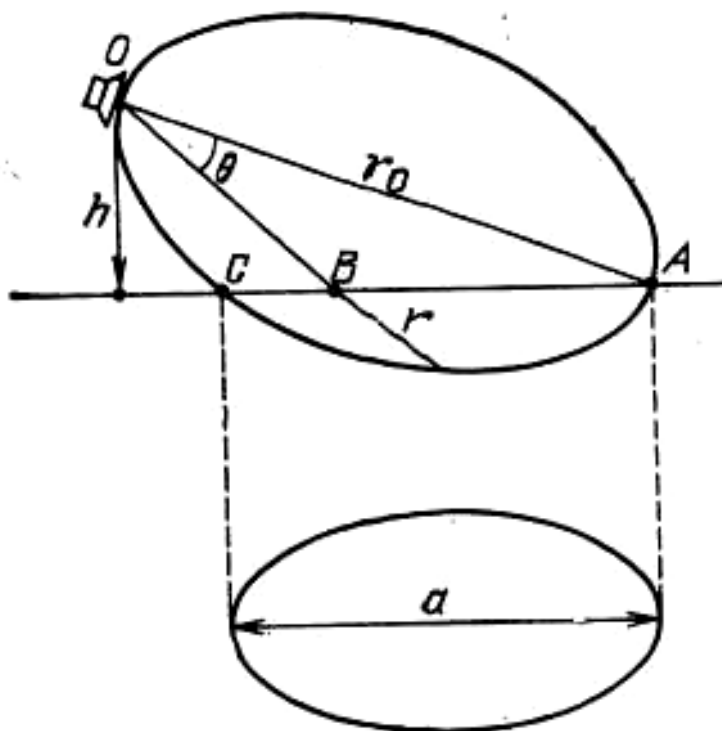


Рис. 8. Эллиптическая диаграмма направленности громкоговорителя в вертикальной плоскости

Громкоговорители с прямоугольным рупором имеют разные характеристики направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Эти характеристики также могут быть аппроксимированы эллипсами с эксцентриситетами соответственно e_v и e_z . При этом неравномерность звукового поля будет определяться характеристикой направленности в вертикальной плоскости, а размеры наземного эллипса - характеристиками направленности как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

Если поверхность озвучения сложной формы, то неравномерность озвучения определяют методом координат (рис. 9). При этом вершину эллипса помещают в центре координат, ось u совмещают с большой осью эллипсоида вращения, ось w - с продольной осью выходного отверстия рупора, а

ось u - с поперечной. Звуковое давление, создаваемое рупорным громкоговорителем в произвольной точке с координатами u, w, u :

$$p_{зв} = \frac{p_{зв1}^u}{\sqrt{u^2 + \frac{u^2}{1-e_2^2} + \frac{w^2}{1-e_6^2}}}, \quad (39)$$

где $p_{зв1}$ - звуковое давление на расстоянии 1 м от рабочего центра излучателя.

Обычно координаты точек, в которых определяется звуковое давление, проще задавать в системе x, y, z . Начало координат (точка O') этой системы размещают в горизонтальной плоскости, принятой за нулевую при отсчете высоты, ось $O'x$ совмещают с проекцией акустической оси громкоговорителя на горизонтальную плоскость.

Как правило, поле рассчитывают на высоте h_c голов слушателей. Для сидящих слушателей она принимается равной 1,2 м, а для стоящих - 1,6 м. Координаты точек $a(x, y, z)$, расположенных в плоскости ушей слушателей, в

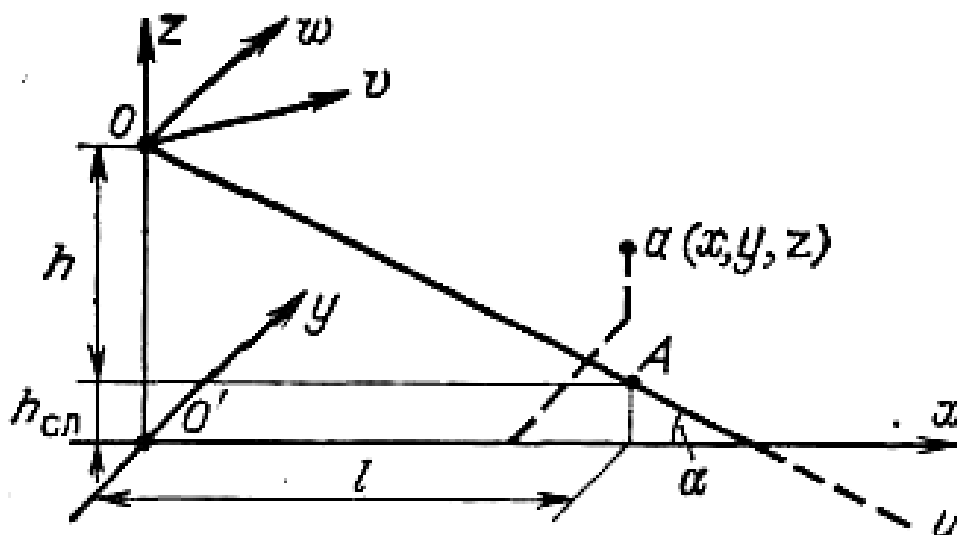


Рис. 9. Преобразование системы координат при расчете звуковых полей

координатной системе u, w, u определяются выражениями :

$$u = x \cos a + h \sin a = \frac{lx + h^2}{\sqrt{l^2 + h^2}}; \quad u = y; \quad w = x \sin a - h \cos a = \frac{h(x-l)}{\sqrt{l^2 - h^2}}, \quad (40)$$

где h – высота подвеса громкоговорителя над головами слушателей ;
 $l = h \operatorname{ctg} a$.

Из-за сравнительно низких параметров качества рупорные громкоговори-
 тели применяют в основном для передачи речи.

Звуковые колонки. Для озвучения больших площадей часто удобно
 применять излучающие устройства, обладающие в вертикальной плоскости
 значительно большей направленностью, чем в горизонтальной. Звуковые ко-
 лонки и являются такого рода излучателями. В горизонтальной плоскости на-
 правленность звуковой колонки практически не отличается от направленности
 одиночного громкоговорителя того же типа. Однако характеристика направ-
 ленности цепочки громкоговорителей в вертикальной плоскости значитель-
 но обостряется из-за интерференции излучений отдельных громкоговори-
 телей.

Пространственная характеристика направленности звуковой колонки ап-
 проксимируется половиной эллипсоида вращения. В точке с координатами u
 w, u звуковой колонкой создается звуковое давление

$$p_{зв}^2 = \frac{p_{зв1}^2 u^2}{u^2 + \frac{u^2}{1-e_2^2} + \frac{w^2}{1-e_6^2}}, \quad (41)$$

где $p_{зв1}, e_6, e_2$ имеют те же значения, что и для рупорного громкоговорителя.
 Значения e_6 и e_2 приводятся в справочниках. Как и для рупорного громкогово-
 рителя, точки на озвучиваемой поверхности задают в системе координат $x, y,$
 z , а к координатам u, w, v переходят с помощью формул, указанных выше.

Расположим звуковую колонку на высоте h над озвучиваемой (горизонтальной) поверхностью и акустическую ось направим на удаленную точку A (рис. 9). При этом наклон акустической оси составит $\alpha = \arctg\left(\frac{h}{l}\right)$, где l - расстояние между проекцией точки подвеса колонки на горизонтальную плоскость (точка O) и удаленной точкой A . Озвучиваемая площадь, как и для рупорного громкоговорителя, будет ограничена контуром в форме эллипса. Акустические уровни на контурной линии равны L_{aA} , а на озвучиваемой поверхности превышают это значение.

В зависимости от высоты подвеса и угла наклона звуковой колонки к озвучиваемой поверхности можно получить разное значение акустического уровня под звуковой колонкой (в точке O). Звуковую колонку можно расположить так, чтобы акустические уровни в точках O и A были равны (2 на рис. 10). В этом случае высота подвеса $h \approx l\sqrt{1-e_B}$, а неравномерность звукового поля $\Delta L_a = 10\lg\left(2 \cdot e_B^2\right)$. Так как для большинства звуковых колонок $e_B = 0,97... 0,98$, то $h \approx 0,25l$ и $\Delta L_a \approx 3$ дБ. Максимальный акустический уровень, равный $L_{aмак} = L_{aA} + 3$ дБ будет находиться в середине наземного эллипса (точка B)

. При уменьшении высоты подвеса уровень звука под колонкой будет больше, чем в удаленной точке A' (1 на рис. 10), а при увеличении h - меньше (3 на рис. 10). Первый вариант преимущественно применяют в системах озвучения, третий — при звукоусилении, когда под излучателем расположен источник звука.

Радиальный громкоговоритель. Это групповой излучатель с вертикально ориентированной осью симметрии поля излучения. В вертикальной плоскости радиальные громкоговорители имеют диаграмму направленности грушевидной формы (максимум излучения получается под углом $\alpha = 60...80^\circ$ к вертикали). В горизонтальной плоскости диаграмма не направлена.

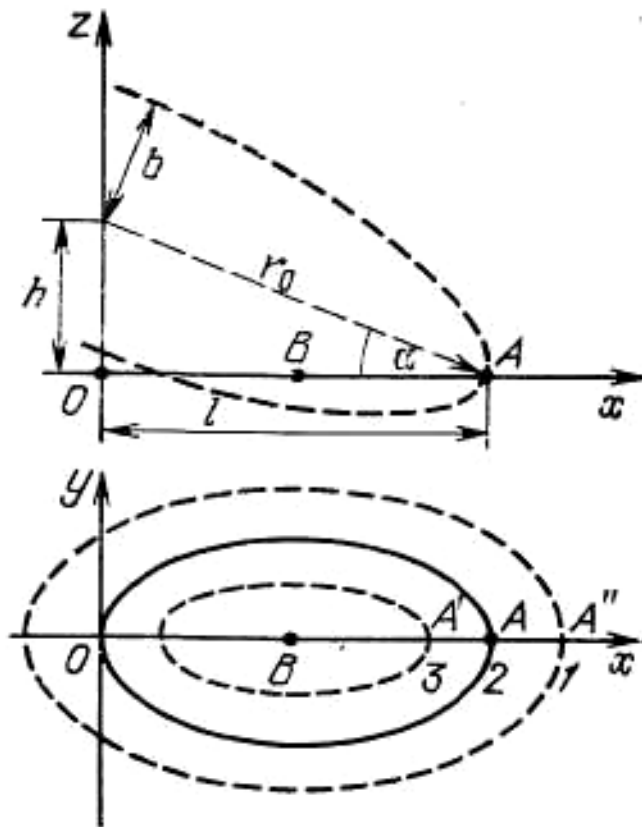


Рис. 10. Диаграмма, поясняющая расчет озвучения плоской поверхности звуковой колонкой

Установим радиальный громкоговоритель на высоте h над озвучиваемой поверхностью (рис.11). Если считать радиальный громкоговоритель ненаправленным излучателем, то давление под громкоговорителем (точка O) и в точке A озвучиваемой поверхности определяется следующими выражениями:

$$p_{зв}^2 = \frac{p_{зв1}^2}{h^2}, \quad p_{зв}^2 = \frac{p_{зв1}^2}{h^2 + l^2}, \quad (42)$$

где $p_{зв1}$ – имеет то же значение, что и для рупорного громкоговорителя.

При этом неравномерность излучения

$$\Delta L_a = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{l^2}{h^2} \right). \quad (43)$$

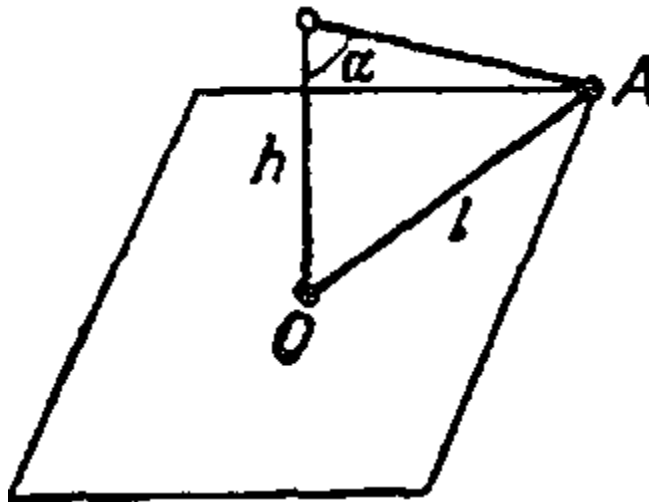


Рис. 11. Диаграмма, поясняющая расчет озвучения плоской поверхности радиальным громкоговорителем

В действительности из-за грушевидной диаграммы направленности неравномерность звукового поля, создаваемого радиальным громкоговорителем, в интервале $\alpha = 70...80^\circ$ имеет на 5... 7 дБ меньшее значение.

Для более сложных сосредоточенных систем результирующее звуковое давление, создаваемое всеми громкоговорителями в исследуемой точке:

$$P_{зв\Sigma} = \sqrt{P_{зв1}^2 + P_{зв2}^2 + \dots} \quad (44)$$

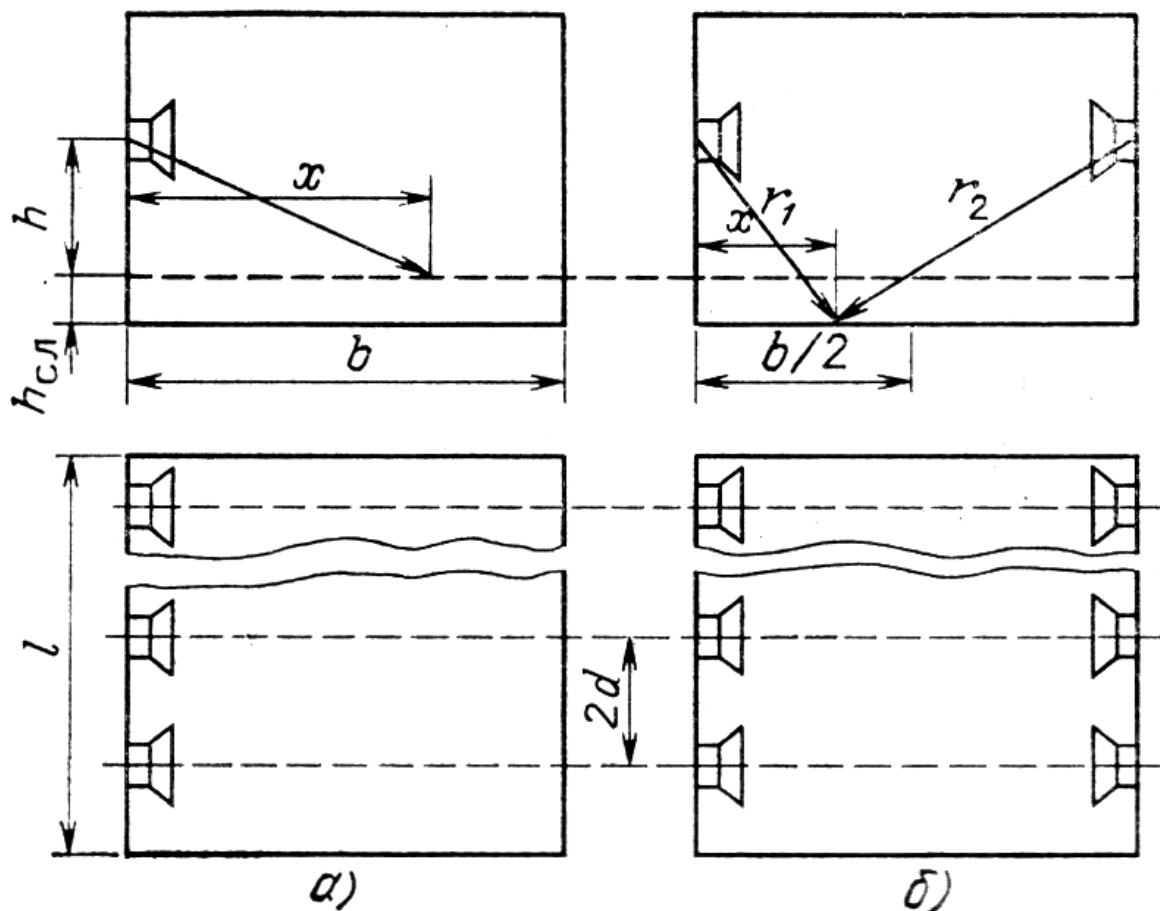
Неравномерность озвучения $\Delta L_a = 20 \lg \left(\frac{P_{зв\Sigma \text{ макс}}}{P_{зв\Sigma \text{ мин}}} \right)$, где $P_{зв\Sigma \text{ макс}}$ и $P_{зв\Sigma \text{ мин}}$ —

максимальное и минимальное давления.

Распределенными называют системы, в которых звук к слушателю приходит от всех или большей части громкоговорителей с примерно одинаковым уровнем. Ряд громкоговорителей, расположенных так, что их акустические оси взаимно параллельны и направлены в одну сторону, образуют так называемую *одномерную* или *линейную цепочку*. В закрытых помещениях одно-

мерная цепочка составляется из громкоговорителей, расположенных на одной или на двух боковых стенах помещения, или на потолке в виде одной или двух цепочек. Двумерная распределенная система образуется громкоговорителями, расположенными по всему потолку (рис. 12, в). Широкое распространение получили распределенная система кресельных громкоговорителей небольшой мощности (порядка 0,5 Вт), располагаемых в спинках кресел. Уровень звукового поля у слушателя при этом создается в основном своим и соседними громкоговорителями.

В рассмотренных распределенных системах слуховой и зрительный образы не совпадают. Исключением является одномерная цепочка, располагаемая на передней стенке зала. Распределенные системы применяют при озвучении аллей, при звукоусилении. В ряде случаев комбинируют сосредоточенную и распределенную системы звукоусиления.



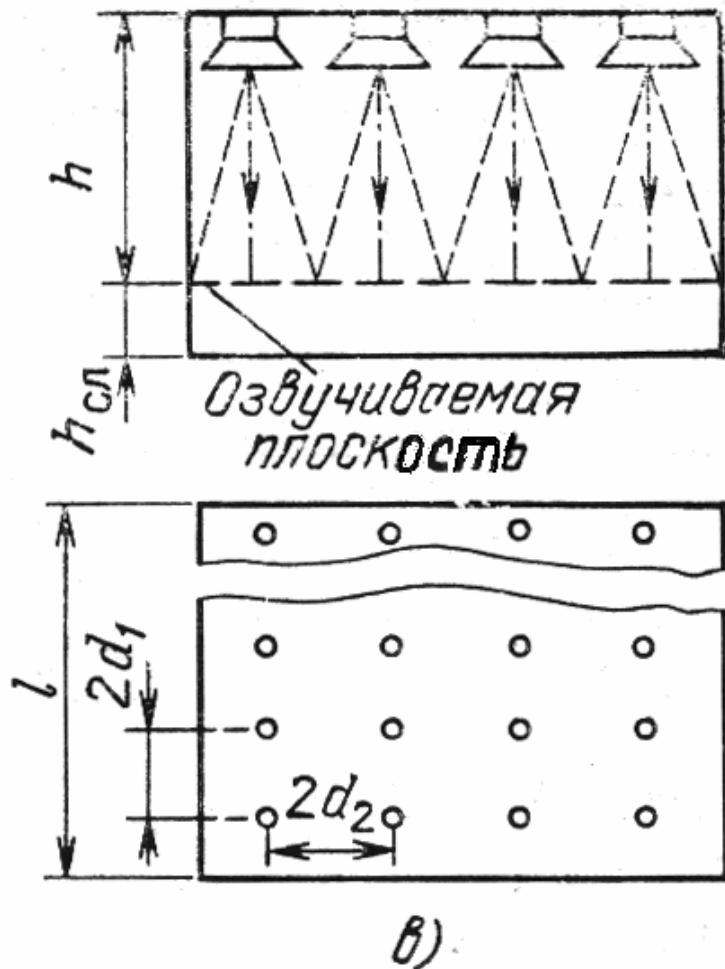


Рис. 12. Схемы одномерной (а, б) и двумерной (в) распределенных систем

В закрытых помещениях, как правило, расстояние от озвучиваемой поверхности до цепочки r (рис. 12, а) больше половины шага d , поэтому давление, создаваемое одной цепочкой ненаправленных громкоговорителей, определяется выражением

$$p_{зв} = p_{зв1} \sqrt{\frac{p}{2dr}}, \quad (45)$$

где $p_{зв1}$ – давление на расстоянии 1 м от выходного отверстия громкоговорителя (определяется техническим описанием громкоговорителя или задается преподавателем).

Для двух цепочек (рис. 12, б) – выражением :

$$P_{зв} = P_{зв1} \sqrt{\frac{P}{2d} \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}, \quad (46)$$

где r_1 и r_2 – расстояния от цепочек до исследуемой точки.

Неравномерность озвучения в поперечном направлении определяется как разность уровней под цепочкой и на средней линии помещения. Расчеты показывают, что при высоте подвеса громкоговорителя $h \geq 0,3 \cdot b$ и применении двух параллельных линейных цепочек (b - расстояние между цепочками) неравномерность звукового поля по ширине помещения будет меньше 1 дБ, а неравномерность озвучения по длине помещения при $h^3 d$ не более 1 дБ.

В случае применения одной линейной цепочки неравномерность озвучения определяется по формуле

$$\Delta L_a = 10 \lg \left(\frac{r_{\max}}{r_{\min}} \right), \quad (47)$$

r_{\max} и r_{\min} – расстояния от цепочки громкоговорителей до дальнего и ближнего краев озвучиваемой поверхности. Неравномерность озвучения не превышает 3 дБ при $h \geq 0,55 \cdot b$, а при $h \geq 1,3 \cdot b$ - $\Delta L_a < 1$ дБ. Таким образом, если ширина помещения, равна или меньше высоты, целесообразно применять одну линейную цепочку громкоговорителей. При этом можно обеспечить $\Delta L_a = 1 \dots 3$ дБ. Если же ширина помещения в два раза больше его высоты, то для получения такого же значения ΔL_a необходимо применять две параллельные цепочки. При хорошо отражающих стенах (коэффициент поглощения менее 0,4) характеристики звукового поля одиночной цепочки определяются так же, как и в случае двух параллельных цепочек, но в рас-

четные формулы необходимо подставлять удвоенное значение ширины помещения.

В помещениях больших размеров настенные линейные цепочки ненаправленных громкоговорителей не позволяют обеспечить требуемой неравномерности звукового поля. В этом случае применяют звуковые колонки. Обычно, если ширина помещения не превышает 10...12 м, используют одну настенную цепочку из звуковых колонок малой и средней мощности. Звуковые колонки располагают на боковых стенах так, чтобы их акустические оси в случае применения одной цепочки были направлены в противоположную стену помещения (рис. 12, а), а в случае применения двух - по продольной оси помещения (рис. 12, б). В закрытом помещении высота h цепочки, как правило, больше половины ее шага d , поэтому неравномерность звукового поля определяется лишь неравномерностью по ширине помещения.

Если применяется одна цепочка звуковых колонок, то давления под цепочкой и в точке $x=b$ будут одинаковы при $h \approx b\sqrt{1-e_g^2}$. В этом случае неравномерность озвучения $\Delta L_a = 51g(2e_g^2)$. Для обеспечения минимальной неравномерности звукового поля оптимальной является высота $h = b\sqrt{1-e_g^2}$. Две цепочки звуковых колонок применяют при ширине помещения 12...30 м. При высоте установки колонок неравномерность звукового поля не будет превышать 1 дБ.

Решетку ненаправленных громкоговорителей располагают на потолке (рис. 12, в). При такой системе расположения громкоговорителей, когда h^3d (практически это условие всегда выполняется), излучаемая звуковая волна близка к плоской. В этом случае неравномерность озвучения не превышает 1 дБ, а звуковое давление на озвучиваемой площади не зависит от расстояния:

$$p_{зв} = p_{зв1} \sqrt{\frac{2pn}{S}}, \quad (48)$$

где n - число громкоговорителей ; S - площадь решетки громкоговорителей.

Зональными называют такие *системы* , в которых озвучиваемая площадь разбивается на ряд зон, в каждой зоне звуковое поле создается отдельными громкоговорителями (или группой близко расположенных громкоговорителей). Эти системы обычно применяют для озвучения больших площадей открытых пространств : парков, производственных территорий, улиц (рис. 13). Однако зональные системы можно использовать в комбинации с сосредоточенной системой, когда последняя не позволяет обеспечить требуемый уровень и заданную неравномерность звукового поля на всей площади , занятой слушателями , например в залах сложной формы места слушателей, расположенные на балконе, оказываются иногда экранированными от звукового поля громкоговорителей сосредоточенной системы (рис. 14).

В зональных системах звуковое поле создается звуковыми колонками, радиальными или рупорными громкоговорителями. Громкоговорители располагают так, чтобы их зоны озвучения частично перекрывались и покрывали всю озвучиваемую поверхность .

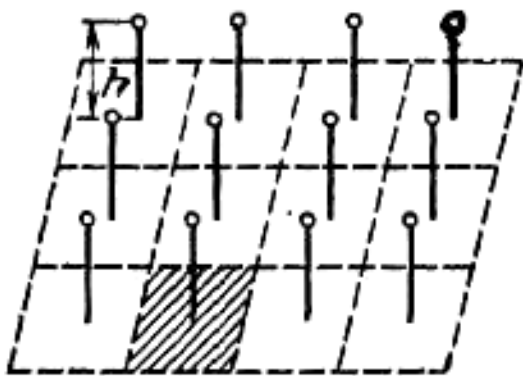


Рис.13. Диаграмма, поясняющая расчет озвучения площади зональной системы

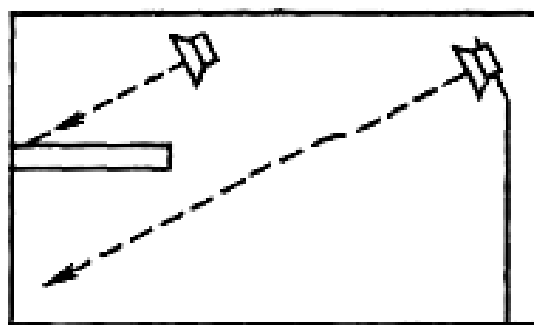


Рис.14. Схема расположения зональной системы и дополнительных громкоговорителей, размещенных над балконом

Наиболее удобным для зонального озвучения больших площадей являются радиальные громкоговорители, которые устанавливаются в центрах зон (рис. 13). При расчете неравномерности звукового поля учитывают, что уровень поля на границе соседних участков за счет суммирования излучения от двух громкоговорителей повышается на 3 дБ ($p_{зв\Sigma} = \sqrt{p_{зв1}^2 + p_{зв2}^2 + \dots}$) по сравнению с акустическим уровнем, создаваемым одним громкоговорителем. В то же время в углах суммируется излучение четырех громкоговорителей и акустический уровень за счет этого повышается на 6 дБ. Вдоль границы зоны акустический уровень почти не меняется. Внутри каждой зоны уровень можно определить по выражениям

$$p_{зв}^2 = \frac{p_{зв1}^2}{h^2}, \quad p_{зв}^2 = \frac{p_{зв1}^2}{h^2 + l^2}, \quad (49)$$

с учетом реальной характеристики направленности. Зная распределение звуковых давлений в зоне и на ее границе, можно оценить неравномерность озвучения.

В зональных системах возможно появление эха, создаваемого отдельными громкоговорителями. Эхо может исказить звуковоспроизведение, поэтому для отдельных, наиболее характерных областей зон рассчитывают время запаздывания между сигналами ближнего и дальнего громкоговорителей и разность их уровней. Обычно такую проверку проводят при использовании звуковых колонок и рупорных громкоговорителей.

Система звукоусиления, кроме повышения уровней первичных источников сигнала, может обеспечить передачу информации об их расположении в пространстве. Такие системы звукоусиления относят к *стереофоническим*. Обычно стереофонические системы звукоусиления бывают многоканальными. Каждый из каналов на входной стороне имеет группу микрофонов,

расположенных у первичных источников сигнала, а выход каждого канала закрепляется за определенной группой громкоговорителей, обычно устанавливаемых над сценой.

В залах многоцелевого назначения, в которых звукоусиление организуется для разных по типу сигналов (речевых, симфонической, эстрадной, камерной музыки), невозможно обеспечить требуемую частотную характеристику времени реверберации архитектурными приемами. Требования к акустическим свойствам помещения определяются характером акустического сигнала. Оптимальное время реверберации в больших залах для речевого сигнала 0,5 ...0,7 с, для музыкальных (в зависимости от жанра) — 1,3 ...2,1 с. Поэтому в таких залах оптимальные акустические условия для различных сигналов создаются специальной системой звукоусиления, которая с помощью устройств искусственной реверберации позволяет оперативно изменять время реверберации. Такие системы звукоусиления называются *амбиофоническими*. В залах многоцелевого назначения амбиофонические и стереофонические системы звукоусиления работают совместно.

В закрытых помещениях с нормальными акустическими условиями (отсутствие акустических дефектов помещения, невысокий уровень шума) звукоусиление, как правило, требуется при объемах свыше 2000 м³ и при расстояниях до слушателей свыше 25 м. В переглушенных помещениях и при высоком уровне шумов звукоусиление может понадобиться и при меньших объемах и расстояниях.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные рекомендации к форме залов:

- расстояние между источником звука и слушателями в последнем ряду должно быть минимальным;
- угол, под которым со сцены видны крайние места в первом ряду, должен быть возможно меньше;
- поверхности стен вблизи сцены должны способствовать отражению звука в зал;
- форма стен не должна вызывать фокусирования звука;
- должна быть исключена возможность образования многократного эха, особенно между параллельными стенами.

Коэффициенты звукопоглощения

Коэффициент звукопоглощения основных поглотителей

Таблица 4

Поглотитель	α в зависимости от частоты, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Слушатели	0,33	0,41	0,44	0,46	0,46	0,46	0,47
Взрослый человек в аудитории	0,14	0,22	0,34	0,45	0,43	0,4	-
Слушатели на деревянных стульях	0,17	0,36	0,47	0,52	0,5	0,46	0,44
Зрители на мягком кресле	0,25	0,3	0,4	0,45	0,45	0,4	-
То же, на жестком кресле	0,2	0,25	0,3	0,35	0,35	0,35	-
Музыканты с инструментами	0,4	0,85	1,15	1,4	1,3	1,2	-
Инструменты (симфонический оркестр)	0,23	0,26	0,26	0,29	0,33	0,36	-
Кресло деревянное	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03
с обивкой сидения и спинки искусственной кожей	0,08	0,1	0,12	0,1	0,1	0,08	-
полумягкое, обитое тканью	0,08	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2	-
обитое кожей	0,1	0,12	0,17	0,17	0,12	0,1	0,1

Поглотитель	α в зависимости от частоты, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
обитое бархатом	0,14	0,22	0,31	0,4	0,52	0,6	0,62
обитое кожей и поролоном	0,05	0,09	0,12	0,13	0,15	0,16	0,15
мягкое, обитое тканью с пористым наполнителем сидения и спинки	0,15	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3	-
Стул мягкий	0,05	0,09	0,12	0,13	0,15	0,16	0,15
Стул полумягкий	0,05	0,08	0,18	0,15	0,17	0,15	0,05
Стул жесткий	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Стул венский	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Публика на 1 м ²	0,28	0,4	0,45	0,49	0,47	0,45	0,44
Два слушателя на 1 м ²	0,25	0,44	0,78	0,97	1,0	1,0	1,0
Три слушателя на 1 м ²	0,2	0,33	0,67	0,84	0,92	0,97	0,97
Пол деревянный	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Паркет по асфальту	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07
Паркет по деревянному основанию	0,1	0,1	0,1	0,08	0,06	0,06	-
на шпонках	0,2	0,15	0,12	0,1	0,08	0,07	0,07
Пол на деревянных балках	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07	0,06
Резина 5,5 мм на полу	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,1	0,08
Релин	0,04	0,05	0,07	0,07	0,08	0,08	0,06
Линолеум на твердой основе	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
Стена, оштукатуренная и окрашенная краской клеевой	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
То же, масляной	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Деревянные плиты	0,12	0,11	0,1	0,03	0,08	0,11	0,12
Стена кирпичная неоштукатуренная	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	-
Стена, оштукатуренная известкой с металлической сеткой	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06
То же, с деревянной обрешеткой	0,03	0,05	0,06	0,09	0,04	0,06	0,06
Стена песочно-известковая	0,04	0,05	0,06	0,09	0,04	0,06	0,06
Обычная гипсовая штукатурка	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03	0,07
Бетонная поверхность железнянная	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Окончание табл. 4

Поглотитель	α в зависимости от частоты, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
обитое бархатом	0,14	0,22	0,31	0,4	0,52	0,6	0,62
Метлахская плитка	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Пол бетонный	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Бетон	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	-
Мрамор, гранит, и другие шлифы	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Бетон окрашенный	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	-
Драпировка вплотную к стене (бумажная ткань 500 г/м ²)	0,04	0,07	0,13	0,22	0,32	0,35	0,35
Кирпичная кладка без расшивки	0,15	0,19	0,29	0,28	0,38	0,46	0,45
То же, с расшивкой швов	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
Проем сцены	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Отверстие оркестровой ямы	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	-
Вентиляционные решетки	0,3	0,42	0,5	0,5	0,5	0,51	0,52
Окно (стекло ординарное)	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,03
Застекленные оконные переплеты	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,03
Окно с фрамугой 125x85 при толщине стекла 3 мм	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	-
Стекло жесткое массивное	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	-
Сосновая панель	0,1	0,11	0,1	0,09	0,08	0,11	0,11
Древесина монолитная лакированная	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
Двери лакированные	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
сосновые	0,1	0,11	0,1	0,08	0,08	0,11	0,11
ясеневые	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	-
студийные	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	-
металлическая	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Вода в бассейне для плавания	0,008	0,008	0,013	0,015	0,02	0,025	-

Коэффициент звукопоглощения пористых поглотителей
Таблица 5

(b – зазор между отражателем и поглотителем)

Материал	b, мм	α в зависимости от частоты, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	6000
Минераловатные ПШ-80	-	0,08	0,3	0,64	0,89	0,95	0,81	0,73
То же	50	0,21	0,4	0,72	0,98	0,97	0,79	0,75
«Стилит»	-	0,43	0,98	0,89	0,99	0,95	0,87	0,75
Древесно-волокнистые	50	0,22	0,3	0,34	0,32	0,41	0,42	0,42
То же	-	0,22	0,3	0,34	0,32	0,41	0,42	0,42
То же, 25 мм	-	0,18	0,11	0,19	0,39	0,95	0,56	-
Акустический «Фибролит» 5 мм	-	0,06	0,16	0,25	0,38	0,59	0,63	0,59
«Фибролит» 30 мм	-	0,06	0,16	0,25	0,38	0,59	0,63	0,59
То же	150	0,13	0,42	0,53	0,35	0,53	0,63	0,56
Акустические ПА/Д	-	0,05	0,59	0,52	0,53	0,25	0,11	0,08
То же	100	0,34	0,62	0,52	0,52	0,26	0,15	0,14
Акустические ПА/О	-	0,01	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,28
То же	100	0,2	0,52	0,98	0,85	0,8	0,45	0,28
Акустические ПА/С	100	0,18	0,64	0,99	0,93	0,9	0,83	0,76
Объемные звукопоглотители из плит ПА/С								
Щит 800x500x240мм	-	0,39	0,58	0,89	1,2	1,28	1,26	1,33
Шестигранная призма с боковыми гранями 540x160 мм	-	0,31	0,68	0,85	1,01	1,08	0,95	0,96
Плиты «Травертон»	-	0,02	0,14	0,65	0,9	0,87	0,86	0,88
То же	100	0,28	0,81	0,86	0,87	0,89	0,86	0,88
Плиты «Акмигран»	100	0,29	0,7	0,68	0,68	0,75	0,74	0,7
Плиты «Брекчия»	50	0,33	0,44	0,69	0,88	0,92	0,69	0,66
Маты из стеклохолста:								
«Атимс»	50	0,08	0,26	0,64	0,89	0,75	0,78	0,8
АТМ 1 – 50 П	-	0,36	0,76	0,98	0,89	0,88	0,58	0,47
Маты из минеральной ваты	-	0,17	0,59	0,99	0,98	0,96	0,87	0,84
Тарная ткань в сборку	50	0,1	0,28	0,46	0,6	0,58	0,6	0,68

Окончание табл. 5

Материал	b, мм	α в зависимости от частоты, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	6000
Маты из дутьевого стекловолокна толщ. 25 мм, располож. за жесткими перфорированными древесноволокнистыми плитами	-	0,3	0,42	0,72	0,87	0,76	0,79	-
Репс	800	0,14	0,4	0,8	0,97	0,99	0,99	0,99
Занавес тяжелый	90	0,06	0,1	0,38	0,63	0,7	0,73	-
Занавес бархатный	200	0,08	0,29	0,44	0,5	0,4	0,35	-
Занавес парусиновый	150	0,1	0,12	0,25	0,33	0,15	0,35	-
«Маркиза»	-	0,04	0,23	0,4	0,57	0,53	0,62	0,6
Свободно висящая ткань в виде драпри $\rho=0,35\text{кг/м}^2$	-	0,04	0,04	0,11	0,17	0,3	0,35	-
То же, $\rho=0,65\text{кг/м}^2$ (портьеры плюшевые складками)	-	0,14	0,35	0,55	0,72	0,7	0,65	-
То же, $\rho=0,6\text{кг/м}^2$ (бархат)	-	0,1	0,3	0,5	0,5	0,72	0,65	-
Ковры:								
обычного типа	-	0,12	0,14	0,23	0,32	0,39	0,42	-
с ворсом 1 см	-	0,09	0,08	0,21	0,27	0,27	0,37	0,37
артикул 1346	-	0,02	0,05	0,26	0,47	0,54	0,7	0,71
артикул 15103	-	-	0,04	0,21	0,45	0,55	0,62	0,64
латексный	-	-	0,04	0,15	0,31	0,63	0,72	0,63
безворсовый	-	0,02	0,05	0,07	0,11	0,29	0,48	0,5
шерстяной обычного типа	-	0,08	0,08	0,2	0,26	0,27	0,37	-
шерстяной на войлочной подкладке	-	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,3	-
Войлок строительный								
12,5 мм	-	0,05	0,08	0,17	0,48	0,52	0,51	-
25 мм	-	0,15	0,22	0,54	0,63	0,57	0,52	-
50 мм	-	0,34	0,5	0,69	0,67	0,58	0,52	-
75 мм	-	0,5	0,66	0,77	0,68	0,58	0,52	-
Асбестовый войлок 10 мм	-	0,06	0,14	0,32	0,25	0,19	-	-
Асбосиликат	-	0,4	0,6	0,8	0,83	0,82	0,76	-
Стеклопластик		0,01	0,01	0,012	0,014	0,015	0,016	-

Коэффициент звукопоглощения мембранных поглотителей

Таблица 6

(d – толщина заполнителя)

Материал	d, мм	b, мм	α в зависимости от частоты, Гц						
			125	250	500	1000	2000	4000	6000
Фанера на стилите	100	-	0,47	0,39	0,18	0,14	0,13	0,12	0,1
Древесно-стружечный	-	-	0,01	0,09	0,09	0,08	0,09	0,14	0,14
То же	100	-	0,3	0,24	0,08	0,07	0,1	0,13	0,14
То же с пластиком	100	-	0,34	0,28	0,22	0,11	0,11	0,12	0,14
Бумажно-слоистый	150	-	0,52	0,38	0,22	0,14	0,02	-	-
Дюралюминиевый	50	50	0,4	0,34	0,16	0,08	0,02	-	-
Плиты «Ацеид»	-	-	0,03	0,03	0,09	0,08	0,08	0,03	0,03
То же	100	-	0,38	0,28	0,21	0,12	0,05	0,05	0,04
Сухая штукатурка	-	-	0,02	0,05	0,06	0,08	0,05	0,05	-
То же	-	50	0,03	0,25	0,15	0,08	0,05	0,05	-
Инсулит	20	-	0,15	0,18	0,29	0,32	0,29	0,3	-
Арболит	20	-	0,15	0,25	0,39	0,42	0,43	0,42	-
Пенопласт	-	-	0,02	0,09	0,19	0,16	0,14	0,12	0,12
То же	100	-	0,51	0,38	0,28	0,16	0,16	0,16	0,16
Панели из «волни-та»	-	50	-	0,1	0,22	0,21	0,08	-	-
То же	50	-	0,16	0,72	0,93	0,2	0,14	0,02	-
Плиты из пористой керамики	30	-	0,15	0,2	0,26	0,5	0,66	0,57	-
Деревянная панель	50-100	50	0,25	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04	-
Деревянная обшивка (сосна)	19	-	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,11	-
Сухая гипсовая штукатурка	-	50	0,23	0,31	0,13	0,09	0,06	0,13	0,04
То же	100	-	0,65	0,34	0,23	0,17	0,17	0,11	0,1
Щиты Бекешы	150	-	0,76	0,67	0,5	0,24	0,13	0,15	0,07
То же	150	100	0,7	0,86	0,5	0,26	0,12	0,1	0,09
Полицилиндры	-	-	0,41	0,3	0,35	0,16	0,1	0,14	0,18
То же	50	-	0,51	0,44	0,39	0,19	0,13	0,22	0,28

**Коэффициент звукопоглощения резонаторных поглотителей с
покрывным листом из перфорированных материалов**

Таблица 7

Материал	d, мм	b, мм	α в зависимости от частоты, Гц						
			125	250	500	1000	2000	4000	6000
Фанера 5 мм	-	50	0,06	0,42	0,2	0,07	0,07	0,06	0,06
То же	100	100	0,8	0,52	0,27	0,14	0,12	0,1	0,1
Фанера 20 мм	-	50	0,06	0,08	0,17	0,16	0,1	0,08	0,08
То же	100	100	0,78	0,98	0,95	0,5	0,32	0,27	0,28
Фанера 3 мм на 5-сантиметровых брусках	-	-	0,2	0,28	0,26	0,09	0,12	0,11	-
Фанера 8 мм на 5-сантиметровых брусках	-	-	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11	-
Слоистый пластик, подклеенный марлей	-	50	0,06	0,32	0,35	0,12	0,07	-	-
Дюралюминий 5мм	50	50	0,26	0,89	0,99	0,47	0,15	0,04	-
Асбоцементные плиты	-	-	0,71	0,95	0,86	0,53	0,18	0,04	-
№ 1	50	50	0,21	0,5	0,99	0,64	0,39	0,25	0,2
№ 2	50	50	0,24	0,72	0,96	0,77	0,57	0,34	0,2
№ 3	50	50	0,56	0,62	0,52	0,35	0,18	0,08	0,05
№ 4	50	50	0,62	0,59	0,51	0,42	0,27	0,2	0,06
№ 5	50	50	0,45	0,79	0,67	0,44	0,25	0,07	0,03
№ 6	50	50	0,34	0,81	0,7	0,54	0,35	0,26	0,06
№ 7	50	50	0,4	0,97	0,75	0,52	0,31	0,16	0,06
№ 8	50	50	0,38	0,87	0,77	0,7	0,51	0,31	0,17
№ 9	50	50	0,28	0,79	0,98	0,7	0,47	0,23	0,2
№ 10	50	-	0,31	0,69	0,91	0,75	0,6	0,35	0,3
Акустические плиты АГШ (гипсовые штампованные)	50	-	0,23	0,47	0,98	0,73	0,44	0,41	0,41
То же, подклеенные бязью АГШБ	50	-	0,28	0,69	0,94	0,76	0,51	0,43	0,42

Поглотитель (монтаж)	α в зависимости от частоты, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Harmony. Стекловатные звукопоглощающие панели, облицованные стекловолокном белого, серого либо голубого цвета, а с тыльной стороны – бесцветным стекловолокном повышенной прочности. Размеры 60x60 или 60x120 см при толщине 20 мм.							
Панели смонтированы в контакте с основой	0,03	0,15	0,45	0,78	0,98	0,9	-
Монтаж на Т-образных профилях, потолок опущен на 200 мм	0,33	0,7	0,98	0,84	0,95	0,95	-
Classic. Панели толщиной 20 и 50 мм. Наряду с одноцветными панелями (белая и серая) имеются панели с тисненой поверхностью, с окрашенными кромками.							
20 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,32	0,72	0,96	0,81	0,96	0,99	0,9
50 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,43	0,78	0,89	0,91	0,96	0,96	0,95
20 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,05	0,13	0,44	0,79	0,99	0,98	0,85
50 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,2	0,65	0,98	0,95	0,96	0,96	0,96
Classic – AL. То же, но между стекловолокном и основной панелью проложена алюминиевая фольга.							
20 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,1	0,8	0,35	0,6	0,49	0,36	0,25
50 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,4	0,64	1,0	0,8	0,6	0,22	0,2
20 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,3	0,34	0,37	0,78	0,71	0,37	0,21
50 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,61	0,8	0,87	0,81	0,66	0,27	0,2
Плиты перфорированные гипсовые звукопоглощающие (ППГЗ). На тыльную сторону наклеено нетканое полотно толщиной 0,5 мм.							
Величина промежутка от плиты до жесткой поверхности 50 мм	0,25	0,4	0,75	0,55	0,36	0,28	0,2
То же 400 мм	0,8	0,75	0,35	0,22	0,11	0,1	-

Окончание табл. 8

Поглотитель (монтаж)	α в зависимости от частоты, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Промежуток от плиты до жесткой поверхности 50 мм с заполнением промежутка звукопоглощающей ватой «Шуманет-БМ»	0,35	0,84	0,95	0,84	0,45	0,3	0,22
То же 400 мм	0,76	0,95	0,94	0,7	0,36	0,14	0,14
Тесно. 8 видов панелей:							
1) панель TARA, облицованная бумажно-алюминиевой пленкой;							
20 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,19	0,65	0,52	0,4	0,62	0,45	0,49
50 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,4	0,66	1,0	0,86	0,65	0,29	0,22
20 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,43	0,31	0,42	0,44	0,62	0,42	0,44
50 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,6	0,8	0,9	0,85	0,72	0,3	0,28
2) четыре вида панелей разных цветов TA-N, TAL-N, TAL-M и TAL-VA, облицованных стекловолокном;							
20 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,07	0,38	0,8	0,98	1,0	0,95	0,88
50 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,25	0,7	1,0	0,86	0,92	0,9	0,82
20 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,28	0,7	0,86	0,89	0,95	0,92	0,88
50 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,25	0,65	0,98	0,89	0,92	0,9	0,85
3) три вида панелей RTP, облицованных перфорированной жстью.							
20 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,04	0,33	0,8	0,9	0,99	1,0	0,96
50 мм панели смонтированы в контакте с основой	0,1	0,6	1,0	0,9	0,96	1,0	0,99
20 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,4	0,76	0,9	0,88	1,0	0,96	0,92
50 мм панели смонтированы без контакта с основой, потолок опущен на 200 мм	0,46	0,78	0,85	0,9	1,0	0,95	0,91

Звукоизоляция различных материалов и конструкций

Среднее значение звукоизоляции различных материалов

Таблица 9

Материал или конструкция	Толщина, см	Поверхностная плотность, кг/м ²	Q, дБ
Войлок	10	-	19
Волосяной войлок: в один слой	2,5	3,66	6
в два слоя по 1,5 см	3	5,65	9
в три слоя	4,5	8,51	1,3
в четыре слоя	6	10,3	17
Доска сплошная сосновая	3	19,5	12
дубовая	4,5	33,5	27
Фанера трехслойная	0,32	2,54	19
То же	0,7	3,56	21
Железо листовое	0,2	15,6	33
Стекло зеркальное	0,63	17,5	30
двойное с промежутком 3,8 см	0,63	-	40
то же, 19 см	0,63	-	45
то же, 40 см	0,63	-	48
Шлакогипсовые стенные плиты: 2х5 см	13	120	40
2х6 см	17	150	42
Пемзобетонные стенные плиты: 2х6 см	15	135	40
2х8,5 см	20	185	43
Стены из пемзобетона	14	150	42
То же	23	250	50
Шлаковый блок со штукатуркой	20	-	56
Стена из шлакобетона	14	150	42
То же из железобетона	10	240	49
То же из пустотелых пемзобетонных блоков	19	190	43
То же	29	270	50
Стена из кирпичной кладки в 0,5 кирпича без штукатурки (из красного кирпича)	12	204	48
То же, в 1 кирпич	25	425	53
То же, в 1,5 кирпича	38	646	56
То же, в 2 кирпича	52	884	58
То же, в 2,5 кирпича	64	1088	59
Плотная кирпичная кладка в 0,5 кирпича со штукатуркой	14	-	47

Окончание табл. 9

Материал или конструкция	Толщина, см	Поверхностная плотность, кг/м ²	Q, дБ
То же, в 2 кирпича	52	-	59
Деревянная стена с воздушным промежутком 5 см	-	-	12
Перегородка одинарная из досок толщиной 2 см, оштукатуренная с обеих сторон, с оклейкой обоями	6	70	37
Перегородка одинарная из досок толщиной 2,5 см, оштукатуренная с обеих сторон по войлоку	7	76	39
Перегородка двойная из брусков 10 см, обшитых досками толщиной 2,5 см и оштукатуренная с двух сторон	18	95	45
Перегородка двойная из фанерных листов толщиной 3 мм с промежутком 2,5 см, заполненным шлаковатой	3	8	26
То же, с промежутком 5 см	5,5	12	29
То же, с промежутком 6,5 см	7	14	34
Гипсовые пустотелые камни толщиной 1 см с двумя стенками толщиной по 1,5 см и промежутком 8 см, с засыпкой шлаком	11	117	41
Окно двойное, плотно пригнанное и плотно закрытое	-	-	25
Окно одинарное, плохо закрытое	-	-	8,5
Стекло	0,6	-	31
Дверь обычного типа с филенкой из 2,5 см досок (с двумя панелями) с обвязкой толщиной 4,5 см	-	-	18
То же, с обвязкой толщиной 2,5 см и филенкой из 3 мм фанеры	-	-	10
То же, оклеенная фанерой размером 90x200 см	-	-	22
Тяжелая дубовая дверь размером 90x210 см, плотно пригнанная	-	-	25
Металлическая дверь (герметичная)	-	-	30
Дверь двойная	-	-	27
Двери с тамбуром	-	-	30

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиовещание и электроакустика: Учебник-пособие / Под ред. *Ю.А. Ковалгина*. – М.: Радио и связь, 2002.
2. Радиовещание и электроакустика: Учебник / Под ред. *М.В. Гитлица*. – М.: Радио и связь, 1989.
3. *Алябьев С.И.* Радиовещание и электроакустика: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: 2000.
4. *Сапожков М.А.* Электроакустика. – М.: Связь, 1978.
5. *Лепендин Л.Ф.* Акустика. – М.: Высш. шк., 1978.
6. *Римский-Корсаков А.В.* Электроакустика. – М.: Связь, 1973.
7. ГОСТ 11515-91. Каналы и тракты звукового вещания. Классы. Основные параметры качества. Методы измерений. – М.: Стандартгиз, 1990.
8. *Ефимов А.П.* Три взгляда на акустику помещений. – М.: МТУСИ, 1997.
9. Акустика: Справочник / Под ред. *М.А. Сапожкова*. – М.: Радио и связь, 1989.
10. Звуковое вещание: Справочник / Под ред. *Ю.А. Ковалгина*. – М.: Радио и связь, 1993.
11. *Мишенков С.Л., Копылов А.М., Ефимов А.П.* Системы звукового вещания и оповещения: Учебное пособие. – М.: МТУСИ, 1995.
12. *Багларов И.А., Ефимов А.П., Никонов А.В.* Стерефоническое вещание. – М.: Радио и связь, 1993.
13. *Ефимов А.П.* Цифровые методы в радиовещании. – М.: МИС, 1989.
14. *Гитлиц М.В.* Магнитная запись сигналов. – М.: Радио и связь, 1998.
15. *Ефимов А.П.* Электроакустика в вопросах и задачах. – М.: МТУСИ, 1994.
16. *Ефимов А.П.* Звуковое вещание в вопросах и задачах. – М.: МТУСИ, 1996.
17. *Урбанский Б.* Электроакустика в вопросах и и ответах. – М.: Радио и связь, 1981.

18. *Попов О.Б.* 32 вопроса по радиовещанию. – М.: МТУСИ, 1999.
19. *Алдошина И.А.* Электродинамические громкоговорители. – М.: Радио и связь, 1989.
20. *Алдошина И.А.* Электроакустические измерения и оценка качества звучания. – СПб.: СПГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 1998.
21. *Атаев Д.И., Болотников В.К.* Функциональные узлы усилителей Hi-Fi. – М.: МЭИ, 1994.
22. Расчет на ЭВМ характеристик сети звукового вещания/*Алябьев С.И., Бобровников С.В., Зеленин А.Ю., Попов О.Б.* – М.: МЭИС, 1987.
23. *Нюренберг В.А.* Инерционный ограничитель уровня вещательных сигналов. – М.: МЭИС, 1981.
24. *Калинцев Ю.К.* Конфиденциальность и защита информации: Учебное пособие. – М.: МТУСИ, 1997.
25. *Никонов А.В., Папернов Л.З.* Измерители уровня звуковых сигналов. – М.: Радио и связь, 1981.
26. *Воднев В.А., Чернышева Т.В.* Проектирование сети проводного вещания. – М.: МТУСИ, 1991.
27. *Ефимов А.П.* Расчет соединительной линий звукового вещания. – М.: МТУСИ, 1993.
28. *Ефимов А.П.* Расчет студии звукового вещания. – М.: МТУСИ, 1995.
29. *Ковалгин Ю.А., Однолько В.В.* Методические указания к курсовому проектированию. – Л.: ЛЭИС, 1980.
30. *Волков Ю.В., Ефимов А.П.* Расчет студии звукового вещания: Задания на курсовой проект и метод. пособие по его выполнению. – М.: МТУСИ, 1994.
31. *И. Блауэрт.* Пространственный слух. – М.: Энергия, 1979.
32. *Ян Синклер.* Введение в цифровую звукотехнику. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
33. *Ефимов А.П.* Радиовещание. – М.: Связь, 1975.

34. *Сапожков М.А.* Звукофикация помещения. – М.: Высш. шк., 1980.
35. *Ковригин С.Д.* Архитектурно-строительная акустика: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Высш. шк., 1980.
36. *Кофе В.К., Корольков В.Г., Сапожков М.А.* Справочник по акустике. – М.: Связь, 1979.
37. *Ганус К.* Архитектурная акустика. – М.: Госстройиздат, 1983.
38. *Папернов Л.З.* Проектирование и расчет звукоусиления озвучения закрытых помещений. – М.: Связь, 1970
39. *Чудновский И.Я.* Звуковоспроизведение в кинотеатре. – М.: Искусство, 1980.
40. *Эфруси М.М.* Микрофоны и их применение. – М.: Энергия, 1974.
41. *Эфруси М.М.* Громкоговорители и их применение. – М.: Энергия, 1976.
42. *Выходец А.В., Коваленко В.И., Кохно М.Т.* Звуковое и телевизионное вещание. – М.: Радио и связь, 1987.
43. *Кохно М.Т.* Звуковое вещание по проводным системам передачи. – М.: Радио и связь, 1984.
44. *Емельянов.* Звукофикация театров и концертных залов. – М.: Искусство, 1989.
45. *Ефимов А.П.* Особенности акустики телевизионных студий. – М.: ВЭИС, 1984.
46. *Закс Л.С., Клименко Г.К.* Измерения в практике звукозаписи. – М.: Искусство, 1981.
47. *Качерович А.М.* Акустическое проектирование киностудий и театров. – М.: Искусство, 1980.
48. *Козюренко Ю.И.* Звукозапись с микрофона. – М.: Энергия, 1975.
49. *Макриненко Л.И.* Акустика помещений общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1986.
50. *Нисбет А.С.* Звуковая студия. Техника и методы использования. – М.: Связь, 1979.

СОДЕРЖАНИЕ

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА.....	3
СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ	4
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ	10
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	23
КУРСОВАЯ РАБОТА	24
ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ	26
ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	26
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ.....	36
АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОМЕЩЕНИЙ С ВЫБОРОМ И РАСЧЕТОМ СИСТЕМЫ ОЗВУЧЕНИЯ	43
Общие понятия.....	43
Акустические характеристики помещений.....	45
Типы студий. Акустические характеристики студий.....	50
Звукопоглощающие материалы и конструкции	54
Звукоизоляция помещений и студий.....	58
Озвучение и звукоусиление	61
ПРИЛОЖЕНИЕ	81
Основные рекомендации к форме залов:.....	81
Коэффициенты звукопоглощения	81
Звукоизоляция различных материалов и конструкций	90
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	92

Акустика студий звукового и телевизионного вещания.
Системы озвучивания

Учебно-методическое пособие
для студентов специальностей 210405, 200105

Составители Л.Г. Стаценко, Ю.В. Паскаль

Редактор В.В. Сизова
Техн. редактор Н.М. Белохонова

Подписано в печать . Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 5,58. Уч-изд. л. 3,15.

Тираж 100. Заказ .

Издательство ДВГТУ, 690950, Пушкинская, 10

Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10