

**Методическое пособие**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТУДИЙ ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ**

**1. Предисловие**

Главная цель курсового проектирования - научить студента использовать теоретические положения, усвоенные им в ходе изучения курса, для решения задач, выдвигаемых инженерной практикой. Курсовое проектирование - важный этап в подготовке к сознательному, творческому выполнению дипломного проекта.

**2. Выбор варианта**

Тип студии		
Студии звукового и телевизионного вещания	Большая музыкальная	
	Средняя музыкальная	
	Малая музыкальная	
	Речевая (дикторская)	
	Камерная	
	Телевизионная студия постановочных передач	
	Комната прослушивания	
Студия литературно-драматического блока	Основная	
	Гулкая	
	Заглушенная	

**3. Оформление работы**

В пояснительной записке должен быть титульный лист, перечень разделов работы (содержание), исходные данные для проектирования, разделы работы, заключение (выводы), список использованной литературы. На титульном листе указываются название вуза и кафедры (можно сокращенно), тема работы, фамилия и инициалы исполнителя, номера группы и студенческого билета, год. Текст пишется на одной стороне листа писчей бумаги формата А4.

Пояснения к расчетам должны быть написаны технически и стилистически грамотно, с соблюдением действующих правил орфографии и пунктуации. Знаками препинания

следует снабжать не только текст, но и математические выкладки и описания литературных источников в списке использованной литературы. Знаки препинания не ставят лишь в конце заголовков и подписей к рисункам. Список литературы оформляется согласно принятым правилам, например, соответственно порядку, принятому в настоящем пособии. Буква "г", в указании года издания не ставится. Заголовки содержания (оглавления) должны точно повторять заголовки частей текста. Их нельзя сокращать или давать в другой формулировке и в иной последовательности, чем в тексте. Содержание помещают после титульного листа.

Схемы и графики вычерчивают с соблюдением действующих ГОСТов. На осях графиков должны быть указаны откладываемые величины и их единицы измерения (через запятую).

Выбору решений, параметров и расчётам величин, характеризующих акустику студии (помещения), должны предшествовать краткие обоснования. Нельзя писать "выбираем", "принимаем", "берем", не объясняя, почему выбирается тот или иной метод расчета, та или иная формула, объем и линейные размеры студии, тот или иной тип аппаратуры. Рассчитанные величины не должны содержать излишнее количество значащих цифр, не соответствующее точности исходных величин и требованиям практики.

Недопустимо искусственно увеличивать объем работы путем прямого переписывания текста из учебных пособий и руководств.

В конце работы ставят дату завершения работы и подпись.

Законченная работа должна соответствовать требованиям действующих стандартов. При оформлении работы можно воспользоваться соответствующими методическими указаниями для оформления дипломных проектов, имеющимися на сайте БГУИР (см. раздел УМО).

Методика акустических расчётов приводится в [4, 5, 7]. Справочные данные звукопоглощающих материалов содержатся в [1,4,5,7]. Особенности акустики телевизионных студий рассмотрены в [4, 5, 6].

#### **4. Список литературы**

1. Айзенберг Н.Б., Муравьёва С.Г., Рудник В.М., Тумаркина Е.С. Звукопоглощающие материалы и конструкции. Справочник. - М.: Связь, 1970.
2. Радиовещание и электроакустика: Учебник для вузов / А. В. Выходец, М. В. Гитлиц, Ю. А. Ковалгин и др. ; Под ред. М. В. Гитлица. - М.: Радио и связь, 1989. - 432 с.
3. ЭУМК. Радиовещание и электроакустика. В. И. Шалатонин. – Минск: БГУИР, 2009.

4. Акустика: Справочник / А.П. Ефимов, А. В. Никонов и др. ; Под ред. М.А. Сапожкова. - 2-е изд. -М.: Радио и связь, 1989. - 336 с.
5. Молодая Н.Т, Акустическое проектирование радиовещательных и телевизионных студий. - М.: Связь, 1964.
6. Никонов А.В. Звукотехническое оборудование радиодомов и телецентров. 1988.- 152 с.
7. Сапожков М.А. Электроакустика. Учебник для вузов. -М.: Связь, 1978.
8. Радиовещание и электроакустика: Учебник для вузов / С. Н. Алябьев, А. В. Выходец, Р. Гермер и др.; ред. Ю. А. Ковалгина. - М.: и связь, 2002.-798с.
9. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов/И. А. Алдошина, Э. И. Вологдин, А. П. Ефимов и др.; Под ред. Ю. А. Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007. – 872 с.

## **5. Объём проектирования**

1. Обоснованно выбрать объём и линейные размеры студии, оптимальное время реверберации на частоте 500 Гц и частотную характеристику времени реверберации.
2. Составить (в масштабе) примерную планировку аппаратно-студийного блока, показать расположение электроакустического оборудования (микрофонов, контрольных громкоговорителей), пульта звукорежиссера, магнитофонов.
3. Подобрать звукопоглощающие материалы (конструкции), рассчитать общий фонд звукопоглощения и время реверберации на различных частотах.
4. Изобразить структурную схему тракта от микрофона до магнитофона или выхода на центральную аппаратную. Показать примерную диаграмму уровней при входном напряжении 1 мВ.
5. Исходя из назначения студии, выбрать типы электроакустического оборудования (микрофоны, громкоговорители), дать их краткую техническую характеристику.
6. Рассмотреть мероприятия по охране труда исполнителей и персонала, указать гигиенические нормы, которые должна обеспечить система кондиционирования воздуха (температура, относительная влажность) и система освещения (общего и местного) в студии и студийной аппаратной.

## **6. Содержание отчета**

Законченная курсовая работа должна содержать:

1. Перечень исходных данных для проектирования.

2. Краткое описание назначения проектируемой студии (комнаты прослушивания), обоснование ее размеров и времени реверберации, формы частотной характеристики времени реверберации.

3. Данные выбранных звукопоглощающих материалов, расчеты общего фонда звукопоглощения и времени реверберации, анализ результатов.

4. Описание выбранного электроакустического оборудования, его характеристики.

5. Краткие сведения о выбранной в связи с назначением студии технологии вещания или записи.

6. Мероприятия по охране труда и технике безопасности в аппаратно-студийном блоке.

7. Заключение по итогам проектирования.

8. Список использованной литературы.

В графическую часть проекта входят:

1. План аппаратно-студийного блока с указанием расположения оборудования (в масштабе).

2. Эскиз развертки студии с указанием расположения звукопоглощающих материалов (в масштабе).

3. Структурная схема оборудования с примерной диаграммой уровней.

4. Частотные характеристики оптимального и расчетного времени реверберации или оптимального и расчётного общего фонда звукопоглощения.

## **7. Общие методические указания**

Рекомендуется следующая последовательность проектирования.

1. Определяют нужный объем, конфигурацию и линейные размеры студии.

2. Определяют расположение студии в радиодоме или телевизионном центре, положение аппаратной и вспомогательных помещений, расположение дверей и окон между студией и аппаратной, исходя из удобства работы творческого и технического персонала, улучшения звукоизоляции и требований охраны труда и пожарной безопасности.

3. Учитывая назначение студии, выбирают оптимальное время реверберации на частоте 500 Гц  $T_{\text{опт } 500}$  и вид частотной характеристики оптимального времени реверберации.

4. Пользуясь таблицами коэффициентов поглощения различных материалов и конструкций, определяют основное поглощение  $A_{\text{опт}}$  и подбирают добавочное поглощение  $A_{\text{доб}}$  для обеспечения заданных в п. 3 параметров.

5. Выбирают электроакустическое, эвукотехническое оборудование и строят примерную диаграмму уровней электрического тракта.

6. Рассматривают мероприятия по звукоизоляции (только качественно), по охране труда исполнителей и технического персонала, по освещению и вентиляции.

7. Подводят итоги проектирования и сравнивают полученные результаты с известными из литературы решениями.

### **8. Указания по выбору объема и линейных размеров студии**

По назначению студии подразделяют на музыкальные (большие, средние, малые концертные, камерные), студии литературно-драматического блока (основную, гулкую, заглушенную), речевые (дикторские), телевизионные (постановочных передач). Музыкальные имеют большой объем – от сотен до тысяч кубических метров, студии литературно-драматического блока – от сотни до нескольких сот кубических метров, речевые – десятки кубических метров. Применяют также дикторские кабины объемом примерно 30 м. Объем телевизионных студий постановочных передач достигает 10...15 тысяч кубических метров. Классификация и рекомендованные параметры студий приведены в разд. 17 настоящего пособия. Наиболее полно эти вопросы изложены в [4, 5, 9].

Проектант уточняет объем и линейные размеры студии, исходя из выбранного количества исполнителей, а в телевизионных студиях и с учетом количества сценических площадок и площади пола, занимаемого декорациями.

Требуемый объем студии находится в прямой зависимости от характера и численности ансамбля, для которого предназначена проектируемая студия. Скученное расположение исполнителей ставит их в непривычные условия ввиду увеличенного поглощения звука близко находящимися другими исполнителями. С другой стороны, исполнитель, ощущая повышенную громкость звучания инструментов соседних оркестрантов и плохо слыша собственное исполнение, "форсирует" звук. Ощущение неудобства исполнения ухудшает творческое самочувствие оркестранта, т.е. в конечном счете, снижает качество исполнения. Завышенный объем студии невыгоден с экономической позиции.

Связь между количеством исполнителей  $n$  и объемом студии задается нормами проектирования или различными эмпирическими формулами. Наиболее распространенная из них:

$$V = 21 \cdot n + 55, \text{ м}^3 \quad (1)$$

При определении необходимого объема студии иногда пользуются понятием приведенных оркестровых единиц. Опыт показывает, что не только различающиеся по чис-

ленности, но и отличающиеся по составу ансамбли нуждаются для сохранения художественности звучания в студиях различного объёма. Например, из трёх ансамблей, содержащих одинаковое количество исполнителей, в наибольшем объёме нуждается духовой оркестр, в среднем – симфонический оркестр или хор, в наименьшем – оркестр струнных инструментов (смычковых или щипковых). За оркестровую единицу принимают объём, необходимый при той акустической мощности, которую создаёт флейта. Остальные инструменты характеризуются числами, показывающими, скольким флейтам они эквивалентны в отношении требуемого объёма.

Так, скрипка, альт, большая балалайка соответствуют двум единицам; кларнет, гобой, фагот – трем; валторна, виолончель, средний хоровой голос – четырем; труба – пяти; контрабас – шести; тромбон, литавр, арфа – семи; ударные, туба – восьми; рояль, малый орган – двенадцати.

Если  $G_1, G_2, \dots, G_n$  – число оркестровых единиц каждого инструмента, а  $n_1, n_2, \dots, n_k$  – количество данных инструментов в ансамбле, то общее число оркестровых единиц ансамбля равно сумме произведений

$$\sum_{i=1}^k G_i \cdot n_i = G_1 \cdot n_1 + G_2 \cdot n_2 + \dots + G_k \cdot n_k$$

Пусть общее количество исполнителей в ансамбле  $n$ . Число приведенных оркестровых единиц, приходящееся в среднем на одного исполнителя,

$$G' = \frac{\sum G_i \cdot n_i}{n} \quad (2)$$

приблизительно постоянно для каждого вида ансамбля: для оркестра народных инструментов оно равно двум, для симфонического оркестра и хора – четырем, для духового оркестра – пяти. Тогда объем студии и количество исполнителей связаны через число приведенных оркестровых единиц

$$V = 10 \cdot n \cdot G' \quad (3)$$

В нормах ГКТР принято максимально допустимое количество исполнителей в концертных студиях определять как частное от деления объёма студии в кубических метрах на коэффициент, колеблющийся от 20 до 40 в зависимости от характера исполняемых произведений. Приняв  $G' = 5$ , получим, что на одного исполнителя в среднем должен приходиться объём  $50 \text{ м}^3$ .

Определив объем студии, решают вопрос о её форме и линейных размерах.

Долгое время считалось необходимым противоположные стены, пол и потолок студии делать непараллельными. В помещениях с параллельными преградами, обладающими небольшим коэффициентом поглощения, возникают стоячие волны, что вызывает акустический дефект в виде так называемого порхающего эха [4]. Рекомендовалось делать скос противоположных преград  $4...6^\circ$ . Однако опыт показал, что даже скос, превышающий  $6^\circ$ , не даёт существенного выигрыша в борьбе с порхающим эхом, но значительно затрудняет планировку примыкающих к студии помещений и строительство. К настоящему времени найдены более дешевые и достаточно эффективные способы борьбы с порхающим эхом. Для уменьшения опасности возникновения порхающего эха и приближения акустического поля к диффузному против участков преград, обладающих малым поглощением, размещают участки со значительным поглощением. Конструктивными и декоративными приёмами гладкие поверхности превращают в акустически неровные, дающие ненаправленное отражение вместо зеркального. К таким приёмам относится устройство пилястров и полуколонн. С этой же целью звукопоглощающие конструкции размещают не параллельно стене, а придают им пилообразный или волнистый профиль (рис.1), на потолке устраивают глубокие кессоны. Важно, чтобы глубина (высота) рельефа была соизмерима с длиной волны, составляла, например, не менее  $\lambda/6$ . Так как длина звуковых волн лежит в пределах от нескольких метров до нескольких сантиметров, рассеивающие конструкции и их детали должны иметь разнообразные размеры, чтобы рассеянное отражение не оказалось частотно избирательным.

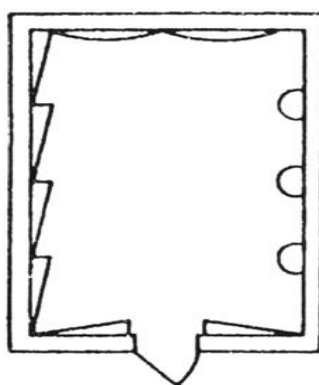


Рис.1

Итак, придаём студии форму прямоугольного параллелепипеда. Соотношение линейных размеров студии  $l$ ,  $b$  и  $h$  рекомендуется брать близкими к золотому сечению:

$$\frac{l}{b} = \frac{b}{h} = \sqrt{2}, \text{ причем } l = b + h$$

Тогда линейные размеры связаны с объёмом соотношениями

$$l = 16 \cdot \sqrt[3]{V}, b = \sqrt[3]{V}, h = 0.6 \cdot \sqrt[3]{V} \quad (4)$$

Эти соотношения желательно выдерживать с отклонениями не более 10% для студий звукового вещания и 15% для телевизионных студий. Высоту студии следует соотносить с высотой окружающих студию помещений. В речевых студиях выполнение соотношений (4) приводит к недопустимо низкой высоте студии. Поэтому высоту студии следует брать не менее 3 м. В больших студиях звукового вещания допустимо уменьшать высоту на 10...20% по сравнению с рассчитанной по (4).

Собственные резонансные частоты помещения в форме прямоугольного параллелепипеда связаны с его линейными размерами  $l, b, h$  соотношением

$$f_0 = \frac{C_0}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{l}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{h}\right)^2}, \quad (5)$$

в котором  $C_0$  – скорость звука в воздухе;  $m, n, p$  – любые целые числа. Если выполнено условие золотого сечения, собственные частоты расположены достаточно равномерно по диапазону частот. Тогда любая частотная составляющая исходного спектра будет возбуждать собственные колебания воздушного объёма с частотами, очень мало отличающимися от частот исходного спектра. В помещениях достаточного объёма ( $\sqrt[3]{V} > l_{\max}$ ) спектр от звука будет практически повторять спектр исходного сигнала (разумеется, по частотному составу, а не по амплитудам, которые будут существенно отличаться ввиду различия поглощения звука на разных частотах). Если же размеры студии сравнительно малы, то спектр собственных частот студии будет отличаться от спектра исходного сигнала, что вызовет недопустимое искажение тембра. Поэтому студии небольшого объёма нужно эффективно заглушать, чтобы приблизить режим студии к апериодическому. Это возможно реализовать в речевых студиях путем применения звукопоглощающих материалов с большим коэффициентом поглощения. В небольших студиях со значительным временем реверберации, например, в гулкой студии литературно-драматического блока, единственным способом борьбы с собственными колебаниями воздушного объёма является придание студии неправильной формы.



## 9. Указания к составлению плана аппаратно-студийного блока

Студия совместно со студийной аппаратной (СА) и вспомогательными помещениями образует аппаратно-студийный блок (АСБ). Планировку АСБ подчиняют требованиям удобства технологии, хорошей защиты от внешних акустических помех и техники безопасности. Творческий и технический персонал, находящийся в аппаратной, должен иметь возможность наблюдать за действиями исполнителей, находящихся в студии, и легко общаться с ними. Для этого аппаратную со студией связывают двухсторонней громкоговорящей связью, оптическими сигналами ("Приготовиться", "Микрофон включён" и другими). Между студией и аппаратной устраивают звукоизолированное окно. Иногда наблюдение за студией ведётся с помощью местной телевизионной сетями.

Уровень акустических помех в студии не должен превышать 30 дБ над порогом слышимости. Необходимая защита студии от проникновения помех извне обеспечивается, как правило, двойными стенами, двойным потолком, звукопоглощающими фильтрами в системе вентиляции и кондиционирования воздуха. Выходы из студии снабжают тамбуром с двойными дверями. Для улучшения звукоизоляции стены и потолок тамбуров отделывают эффективными звукопоглощающими материалами. Площадь пола тамбуров – примерно 2 м<sup>2</sup>. Мероприятия по звукоизоляции студий сложны и дороги. Для уменьшения этих затрат прибегают к рациональной планировке АСБ; студию по возможности окружают помещениями с небольшим уровнем акустических помех.

Для ускорения смены коллективов исполнителей и по соображениям техники безопасности большие студии снабжают не менее чем двумя выходами, причем двери должны открываться в направлении движения из студии. В камерных и речевых студиях допустимо устраивать только один выход.

Планировка АСБ большой концертной студии показана на рис.2. Студийная (звукоорежиссерская) аппаратная **2** связана со студией **1** звукоизолированным окном **3**.

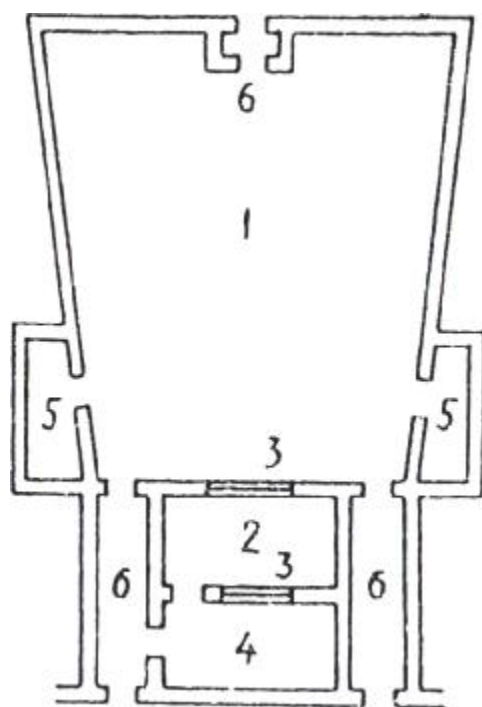


Рис. 2

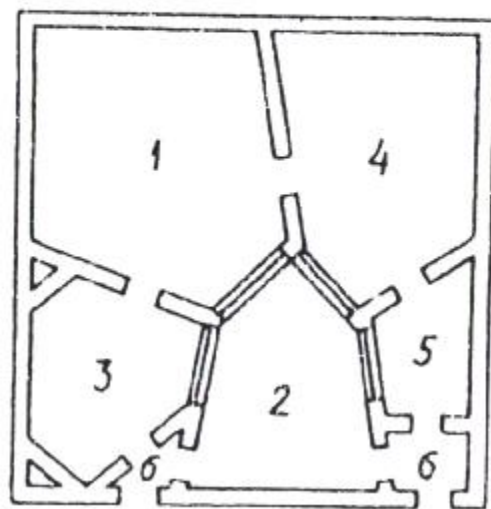


Рис. 3

Площадь студийной аппаратной составляет 12...20 м<sup>2</sup>. Окно имеет ширину 1...2 м и высоту около 1 м. Техническая аппаратная (аппаратная звукозаписи) 4 отделена от звукорежиссёрской перегородкой с окном 3. При студии имеются помещения 5 для хранения музыкальных инструментов, нотных пюпитров и другого инвентаря. Студия имеет три выхода (один из них - запасной) с тамбурами 6.

Пример планировки литературно-драматического блока дан на рис. 3. Аппаратная 2 окружена студиями: основной 1, гулкой 3, заглушённой 4, речевой (дикторской) 5. Тамбуры обозначены цифрой 6.

Планировка АСБ телевизионного вещания изображена на рис.4, а, б. На первом этаже к студии примыкают декорационная 2 с воротами 4 и помещения 5 для хранения музыкальных инструментов, реквизита и телевизионных камер. Двери тамбуров 6 выходят в тихие коридоры 7, окружающие студию.

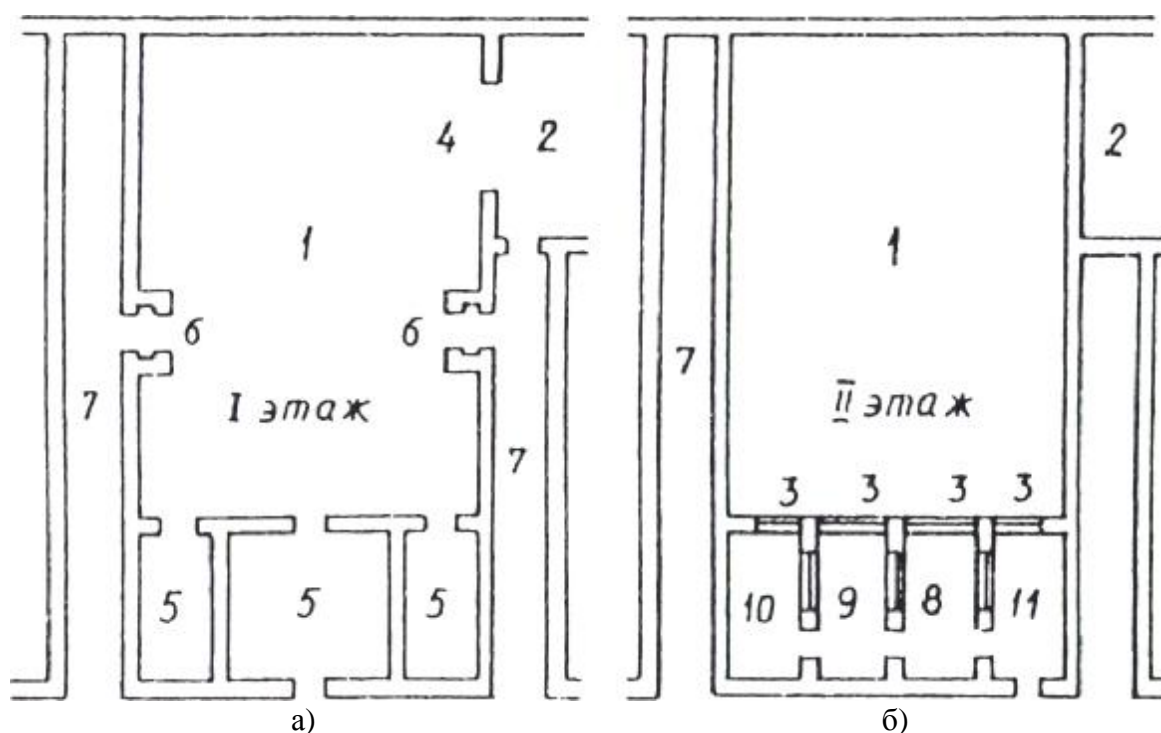


Рис. 4

Ввиду более сложной технологии телевизионного вещания операции формирования телевизионных программ разделяют между несколькими аппаратными, размещаемыми обычно на уровне второго этажа. В число аппаратных входят режиссёрская аппаратная **8**, звукорежиссёрская аппаратная **9**, технические аппаратные звука и изображения **10** и **11**. Для лучшего обзора студии звукоизолированные окна **3** имеют существенно большие размеры, чем в АСБ звукового вещания.

## 10. Выбор оптимального времени реверберации

Акустическое качество студии или зала в значительной степени определяется процессом уменьшения уровня звуковой энергии после прекращения действия источника звука – реверберацией (от фр. слова *reverberation*, что в переводе на русский язык означает "отражение"). Для каждого вида звучания (информационная речь, художественное чтение, музыка разных стилей и разного характера исполнения) существует определенное, наиболее выгодное время реверберации, называемое оптимальным. Этот важный параметр численно задают в области средних частот (обычно на 500 Гц). На других частотах его указывают в виде частотной характеристики относительной величины  $T/T_{500}$  или в процентах от  $T_{500}$ .

К настоящему времени установлено, что для студий и залов объёмом свыше 2000 м<sup>3</sup> оптимальное время реверберации не зависит от объёма, однако в сильной степени зави-

сит от стиля произведений и характера их исполнения. Для симфонической музыки романтического стиля, например, музыки Шумана,  $T_{\text{опт}} = 2,1$  с, для классической и современной симфонической музыки  $T_{\text{опт}} = 1,5$  с. Поскольку студии не предназначены для исполнения музыки какого-либо одного стиля, приходится идти на компромисс, каким является  $T = 1,7$  с. Для камерной, эстрадной, танцевальной музыки и хоровых выступлений в сопровождении рояля или небольшого ансамбля оптимум времени реверберации имеет меньшую величину.

Что касается существовавшего ранее представления о зависимости  $T_{\text{опт}}$  от объёма студии, то оно сохраняет силу только для студий объемом менее  $2000...3000 \text{ м}^3$ . Экспериментально полученные зависимости оптимального времени реверберации для частоты 500 Гц от объёма показаны на рис.5: график **1** для речи, **2** - для малых музыкальных форм (камерная музыка, хоровое исполнение) и оперных спектаклей, **3** - для больших музыкальных форм (симфонической музыки), **4** - для органной музыки.

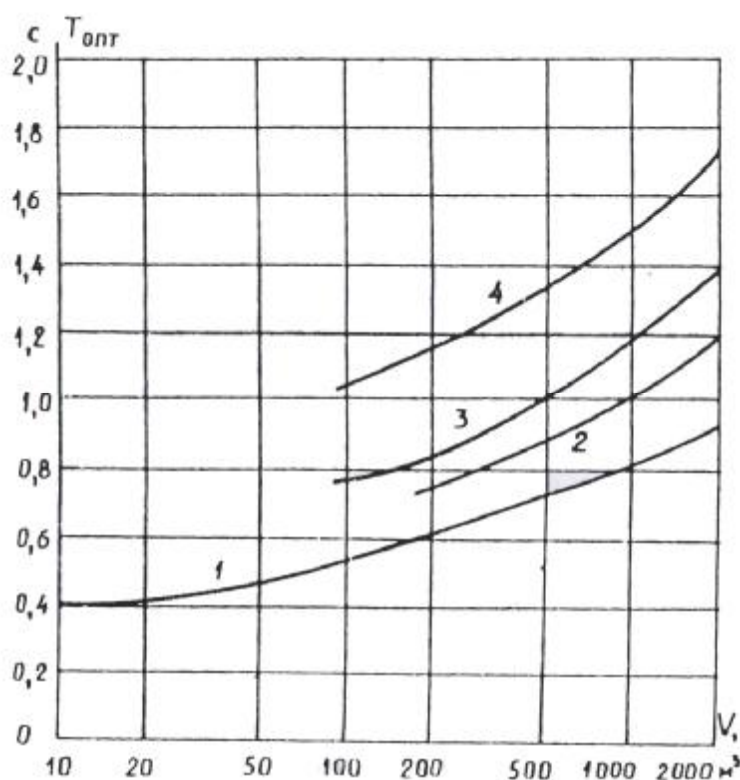


Рис. 5

Эти зависимости аппроксимируются следующими приближёнными выражениями:  
для речи

$$T_{\text{опт}} = 0,3 \cdot \lg V - 0,05, \quad (6)$$

для малых музыкальных форм и оперной музыки

$$T_{opt} = 0.4 \cdot \lg V - 0.15, \quad (7)$$

для симфонической музыки

$$T_{opt} = 0.5 \cdot \lg V - 0.30, \quad (8)$$

где  $V$  – объём помещения,  $\text{м}^3$ .

Ещё более общая аппроксимация

$$T_{opt} = 0.423 \cdot \sqrt[6]{V} \quad (9)$$

показывает, что оптимальное время реверберации медленно (в степени  $1/6$ ) нарастает с увеличением объема студии.

В оценке частотного оптимума времени реверберации единства до сих пор не существует. Большинство исследователей, начиная с В. Кнудсена, У. Макнейра, С.Я. Лифшица и И.Г. Дрейзена, считает, что частотная характеристика  $T_{opt}$  должна иметь подъемы к крайним частотам диапазона звуковых частот: до 50...60% на частоте 100 Гц по отношению к  $T_{opt}$  на частоте 500 Гц и на 30...40% на частотах 4...6 кГц (график 1 на рис. 6). Наиболее логичным объяснением этому является необходимость компенсации уменьшения чувствительности слуха к крайним частотам. Увеличение времени реверберации к крайним частотам приведет к тому, что все частотные составляющие исходного звука будут достигать порога слышимости примерно в одно и то же время.

Необходимо отметить, что реализовать подъем частотной характеристики времени реверберации на частотах выше 6...8 кГц невозможно, особенно в студиях с объемом более  $2000 \text{ м}^3$  ввиду возрастания поглощения звука в воздухе. Поэтому в области частот 8 - 10 кГц время реверберации даже в больших студиях не превышает 1 с.

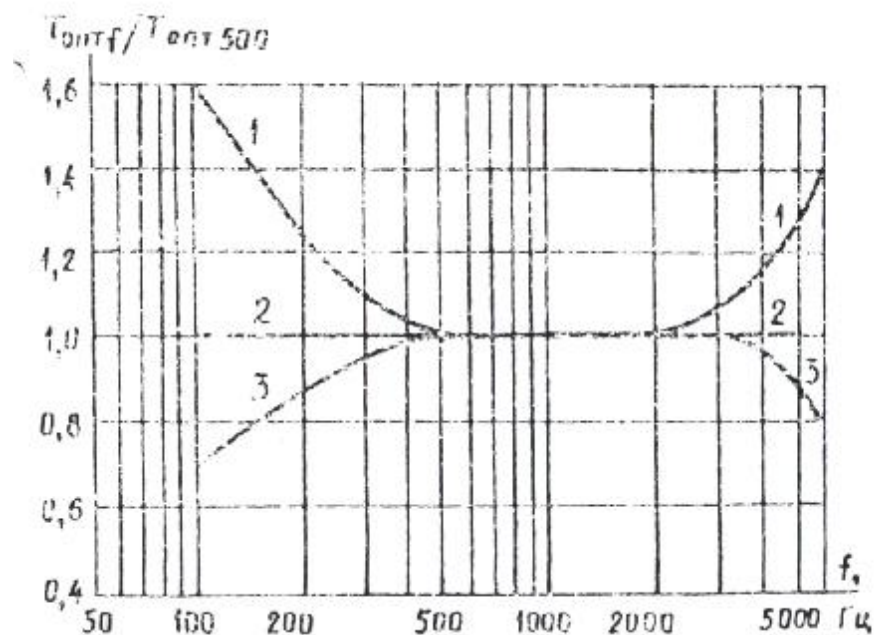


Рис. 6

Изложенную точку зрения в отношении частотной характеристики времени реверберации нельзя считать бесспорной. Г. Бекеши, который привлек к исследованиям весьма квалифицированных экспертов, пришел к выводу о наличии частотно-независимого оптимума времени реверберации. По мнению Г.Бекеши,  $T_{опт}$  в широком диапазоне частот постоянно, составляет 0,7...0,8 с и до объема 3000 м<sup>3</sup> но зависит от объема студии и вида звучания (график 2 на рис. 6).

Для речи допустимо уменьшение времени реверберации на 20...30% на частоте 100 Гц и примерно на 20% на частоте 6 кГц по сравнению с областью частот 500...4000 Гц (график 3). Необходимость уменьшения  $T_{опт}$  на нижних частотах в речевых студиях обосновывают двумя причинами:

1. Низкочастотные составляющие спектра речевого сигнала сравнительно малоинформативны, но имеют большую энергию. Средне- и высокочастотные составляющие спектра речевого сигнала имеют меньшую энергию. Длительный процесс затухания низкочастотных сигналов будет маскировать более информативные средне- и высокочастотные составляющие и потому нежелателен. Полезно уменьшить длительность этого процесса, уменьшив время реверберации на нижних частотах.

2. Собственные резонансные частоты речевых студий в области нижних частот расположены сравнительно редко и потому заметно искажают тембр речи. Чтобы уменьшить это вредное влияние, полезно уменьшить опасность возбуждения собственных колебаний на нижних частотах, увеличив затухание и, соответственно, уменьшив время реверберации.

Студенту предоставляется возможность самостоятельно и обоснованно принять ту или иную величину  $T_{\text{опт}}$  и выбрать необходимую форму частотной зависимости.

### 11. Подбор звукопоглощающих материалов и расчет времени реверберации

Операции по расчёту времени реверберации студии или комнаты прослушивания рекомендуется проводить в следующей последовательности.

1. Определить объем студии (контрольной комнаты) в соответствии с количеством исполнителей (слушателей) или выбранным количеством сценических площадок (для телевизионной студии постановочных передач).

2. Найти  $T_{\text{опт}}$  для частоты 500 Гц согласно разд. 10. Если расчет ведётся на оптимум Макнейра (увеличение  $T_{\text{опт}}$  на нижних и верхних частотах), то из графика рис. 6 (или из графиков, приводимых в других руководствах по расчету студий) определяют поправочные коэффициенты  $T_{\text{опт}}/T_{\text{опт}500}$  и рассчитывают  $T_{\text{опт}}$  для всех выбранных частот. Если расчёт ведётся на оптимум Бекеша (горизонтальная частотная характеристика), то принимают  $T_{\text{опт}}$  одинаковым (например, 0,7...0,8 с) для всех выбранных частот.

3. Зная  $V$  и  $T_{\text{опт}}$  и пользуясь формулой

$$T = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{-S \cdot \ln(1 - a_{cp})}, \quad (10)$$

находят величину

$$-\ln(1 - a_{cp}) = \frac{V}{6 \cdot T \cdot S}$$

и далее по вспомогательному графику рис. 7 средний коэффициент поглощения  $a_{cp}$ .

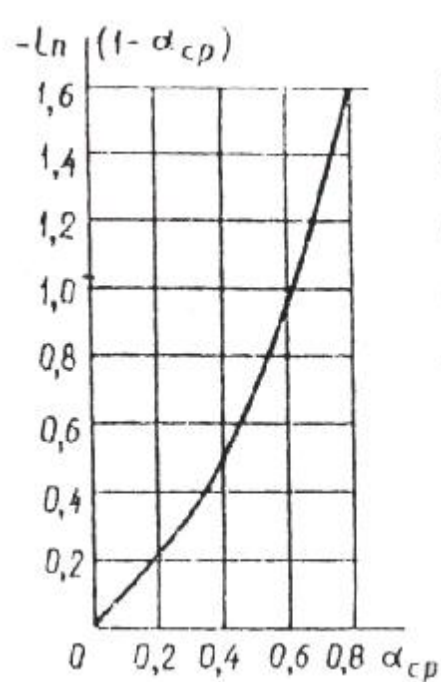


Рис. 7

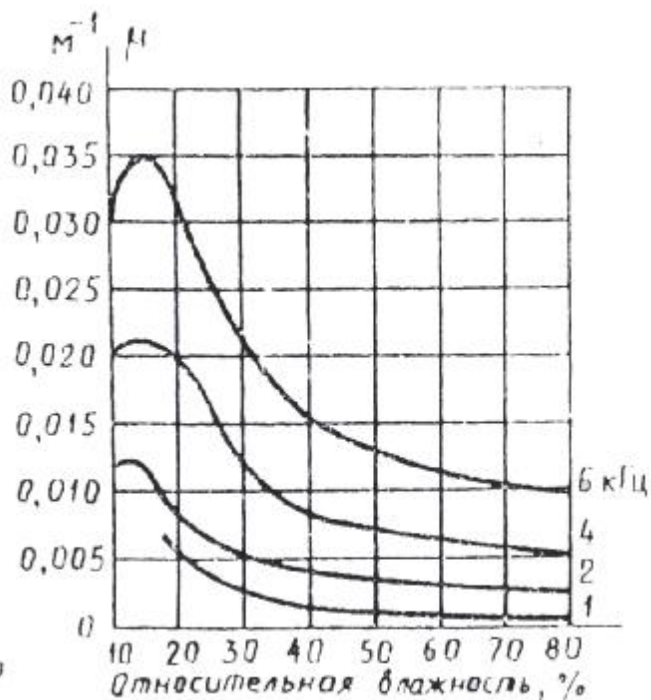


Рис. 8

4. Для всех расчетных частот определяют общий фонд поглощения

$$A = a_{cp} \cdot S \quad (11)$$

причем  $S$  - общая площадь всех внутренних ограничиваемых поверхностей студии:

$$S = 2 \cdot l \cdot b + 2 \cdot l \cdot h + 2 \cdot b \cdot h \quad (12)$$

5. После определения  $A$  подбирают типы и площади звукопоглощающих материалов и конструкции, чтобы удовлетворить величинам, полученным по п.4.

6. По полученным в результате подбора звукопоглощающих материалов величинам  $A$  находят расчетное время реверберации и сравнивают  $T_{\text{опт}}$ . Если объем студии превышает  $2000 \text{ м}^3$ , то на частотах более 2 кГц для уточнения результата расчёт ведут, учитывая поглощение звука в воздуха, т.е. по формуле

$$T = \frac{1}{6} \cdot \frac{V}{-S \cdot \ln(1 - a_{cp}) + 4 \cdot m \cdot V} \quad (13)$$

Коэффициент  $\mu$  – показатель затухания звука в воздухе, имеющий размерность  $\text{м}^{-1}$ , определяют по графику рис. 8.



Поскольку в студии имеются материалы, обладающие различными коэффициентами поглощения  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$  и занимающие соответственно площади  $S_1, S_2, S_3, \dots$  то общее звукопоглощение помещения студии

$$A = a_1 \cdot S_1 + a_2 \cdot S_2 + a_3 \cdot S_3 + \dots$$

Часто в студии имеются поглотители звука – люди, предметы обстановки, музыкальные инструменты, в отношении которых невозможно пользоваться понятием коэффициента поглощения, поскольку трудно определить занимаемую ими площадь. Для таких поглотителей указывают, каким количеством единиц звукопоглощения  $\alpha_j$  они обладают. При вычислении общего звукопоглощения добавляют второе слагаемое в виде суммы произведений соответствующих единиц звукопоглощения  $a_1, a_2, a_3, \dots$  на количество поглотителей  $K_1, K_2, K_3, \dots$ , т.е.

$$A = \sum_{i=1}^N S_i \cdot a_i + \sum K_j \cdot a_j.$$

Средний коэффициент поглощения определяется как

$$a_{cp} = \frac{A}{S} = \frac{S_1 a_1 + S_2 a_2 + S_3 a_3 + \dots}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots} \quad (14)$$

Задача подбора площадей, занимаемых различными звукопоглощающими материалами, формулируется следующим образом. Пусть на частотах с номерами 1, 2, 3 и т.д. необходимо получить соответственно звукопоглощение  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и т.д. Пусть для этого выбраны материалы с коэффициентами поглощения  $a_{11}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{31}$  и т.д. на частоте 1,  $a_{12}$ ,  $a_{22}$ ,  $a_{32}$  и т.д. на частоте 2,  $a_{13}$ ,  $a_{23}$ ,  $a_{33}$  и т.д. на частоте 3 и т.д. Тогда образуется система уравнений

$$\begin{aligned} S_1 \cdot \mathbf{a}_{11} + S_{21} \cdot \mathbf{a}_{21} + \dots + S_N \cdot \mathbf{a}_{N1} &= A_1, \\ S_1 \cdot \mathbf{a}_{12} + S_{21} \cdot \mathbf{a}_{22} + \dots + S_N \cdot \mathbf{a}_{N2} &= A_2, \\ &\vdots \\ S_1 \cdot \mathbf{a}_{1n} + S_{21} \cdot \mathbf{a}_{2n} + \dots + S_N \cdot \mathbf{a}_{Nn} &= A_n \end{aligned}$$

для всех заданных частот с номерами 1, 2, 3 и т.д. Необходимо определить площади, занимаемые различными материалами, при условии, что  $S_1 + S_2 + \dots + S_N = S$

Задачи такого рода решаются методами комбинаторики: подбирают площади  $S_1, S_2, \dots, S_N$  таким образом, чтобы получить нужный результат. Если, например, звукопоглощение на нижних частотах оказывается больше требуемого, уменьшают площадь матери-

ала, обладающего преимущественным поглощением на нижних частотах, и соответственно на столько же увеличивают площадь материала, обладающего на этих частотах меньшим поглощением. Коэффициенты поглощения акустической штукатурки, ковров, драпировок увеличиваются с ростом частоты. Коэффициенты поглощения фанерных панелей, перфорированных конструкций, щитов Бекеша с ростом частоты убывают. Изменяя соотношение площадей различных материалов, добивается нужного звукопоглощения и времени реверберации на разных частотах. Удовлетворительным считается тот результат расчета, при котором отклонения расчетной величины времени реверберации от оптимальной, не превышают 10%. Большие отклонения уже замечаются экспертами. При большем отклонении  $T_p$  изменяют перечень материалов или соотношение их площадей и повторяют расчет до получения допустимого отклонения. Обычно двух-трех проб достаточно, чтобы получить приемлемый результат.

Диапазон частот, в котором производят расчёты, определяется справочными данными на звукопоглощающие материалы. Обычно они даются для частот от 100 до 4000...6000 Гц.

С целью упрощения расчетов практически поступают так. Все требуемое звукопоглощение условно разделяют на две составляющие: основное  $A_{осн}$  и добавочное  $A_{доб}$ . В основное включают звукопоглощение, не изменяемое в процессе подбора материалов. Основной фонд складывается из предметов обстановки, оборудования, декоративного оформления, присущих студии как производственному помещению. В основной фонд входит звукопоглощение, создаваемое расчетный количеством исполнителей, а также полом, стенами, потолком, не покрытыми звукопоглощающими материалами, дверями, звукоизолированными окнами, вентиляционными решётками. Не следует усложнять расчёт второстепенными слагаемыми, не дающими существенного вклада в общее звукопоглощение.

В телевизионных студиях постановочных передач значительное звукопоглощение создают декорации. На нижних частотах оно может достигать 70%, на средних 40%, на верхних 50% от требуемого общего звукопоглощения. Для приближённых расчётов было введено понятие усредненного коэффициента поглощения декораций, отнесенного либо к  $1 \text{ м}^2$  площади поверхности декорации - для плоскостных декораций "задников", либо к  $1 \text{ м}^2$  площади пола, занимаемой декорациями – для объёмных (рис. 9).

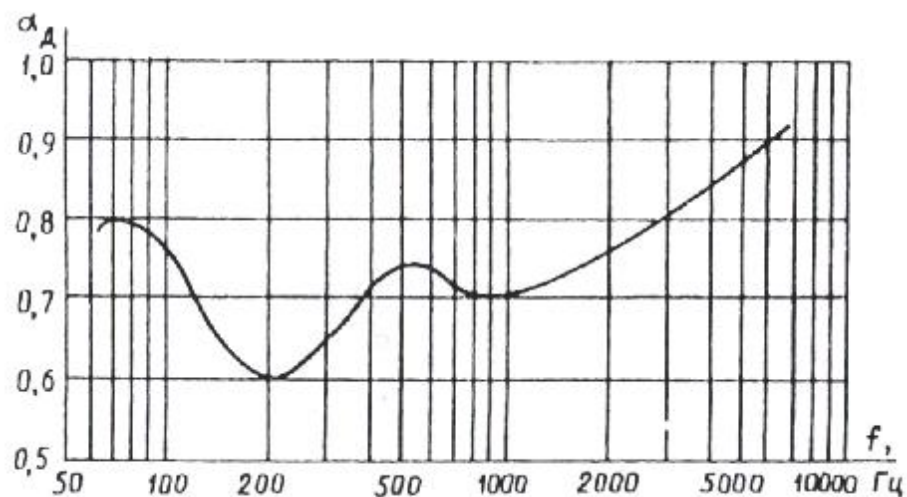


Рис. 9

Добавочное звукопоглощение вычисляют как разность требуемого и основного звукопоглощения:  $A_{\text{доб}} = A - A_{\text{осн}}$ . Оно формируется специальными звукопоглощающими материалами и конструкциями, как правило, промышленного изготовления.

Результаты расчетов необходимо представить таблицей (таблицами) и графиками зависимости составляющих звукопоглощения и времени реверберации от частоты. Образец таблицы приводится ниже.

Методика расчета студий более подробно рассмотрена в [4,5,7]. Сведения о коэффициентах поглощения звукопоглощающих материалов и конструкций содержатся в [1; 4, 5,7].

Сводная таблица расчета времени реверберации

Наименование материалов (поглотителей)	Площадь или коли- чество	Частоты, Гц								
		125		250		500		1000		и т.д.
		$\alpha(A)$	A	$\alpha(A)$	A	$\alpha(A)$	A	$\alpha(A)$	A	
Основной фонд (пере- числить со- ставляющие)										
Итого:										
Требуемое общее погло- щение A Требуемый добавочный фонд $A_{доб} = A$ - $A_{осн}$										
Расчётный до- бавочный фонд (пере- числить со- ставляющие)										
Итого:										
$A_{доб} + A_{осн}$ $\alpha_{ср}$ $-\ln(1 - \alpha_{ср})$ $-S \cdot \ln(1 - \alpha_{ср})$ Поглощение звука в возду- хе										
Расчётное время ревер- берации $T_{расч}$										

Оптимальное время ревер- берации						
Отклонение $\Delta T = T_{\text{расч}} - T_{\text{опт}}$						
Отклонение, % $\frac{\Delta T}{T_{\text{опт}}} \cdot 100\%$						

## 12. Размещение звукопоглощающих материалов

Звукопоглощающие материалы располагают по стенам и потолку студии, руководствуясь акустическими и архитектурно-декоративными, эстетическими соображениями. Поэтому на практике в проектировании студий участвуют инженеры-акустики и архитекторы или дизайнеры, имеющие подготовку в области акустики помещений.

Существуют две принципиально различные рекомендации относительно размещения звукопоглощающих материалов и конструкций. Первая: располагать материалы по ограждающим поверхностям возможно более равномерно, например, горизонтальными или вертикальными полосами или в "шахматном" порядке, не допуская однако симметричного расположения слабо поглощающих материалов на противоположных стенах студии, чтобы уменьшить опасность возникновения порхающего эха. Вторая рекомендация: разделить студию на несколько зон (чаще всего две), обладающих различными акустическими свойствами. В одной зоне, менее заглушенной, располагают ансамбль исполнителей, во второй, более заглушенной, - микрофоны. Перемещая ансамбль в зоны с различными акустическими условиями, можно в некоторой степени изменить характер звучания. Однако при втором способе требуется затрачивать больше труда и времени, чтобы тщательно определить расположение исполнителей и микрофонов, чтобы не нарушить баланса звучания различных инструментов. Чрезмерная разница в акустических свойствах различных зон студии вредна. Следует избегать такого размещения звукопоглощающих материалов, при котором  $\alpha_{\text{ср}}$  заглушенной части студии более, чем вдвое превосходит  $\alpha_{\text{ср}}$  менее заглушенной зоны (без учёта поглощения, создаваемого самими исполнителями, их инструментами, стульями, нотными пюпитрами).

Если требуется универсальность в расположении исполнителей и микрофонов, лучше размещать различные поглотители по возможности равномерно.

Низ стен рекомендуется покрывать поглотителями, отличающимися прочностью, долговечностью и хорошими декоративными свойствами. Выше располагают перфорированные конструкции и акустические плиты, стремясь создать эффективный в декоративном отношении рельеф. Потолок закрывают перфорированными и звукорассеивающими конструкциями, например, полицилиндрами. Свободные части стен и потолка оштукатуривают.

### **13. Звукоизоляция студии**

Вопросы звукоизоляции студии рассматриваются лишь качественно, без проведения расчетов. Оцениваются уровни акустических помех в сопредельных со студией помещениях, собственная звукоизоляция примененных преград (стен, потолка, пола, дверей, звукоизолированного окна) и уровень акустических помех, проникших в студию.

### **14. Освещение студии**

Искусственное освещение студии подразделяют на общее (потолочные светильники, бра) и местное (настольная лампа на пульте-столе диктора, софиты на нотных пюпитрах). В студиях не рекомендуется использовать люминесцентные источники света. Столб ионизированного газа в трубке создаёт электрическое поле помех в широком диапазоне частот, а дроссели светильников - акустические помехи, главным образом, на частотах 50 и 100 Гц. Искусственное освещение студии не должно создавать глубоких теней и ярких бликов, затрудняющих чтение текста и нот. Поэтому лучше использовать светильники рассеянного света.

Общее освещение должно создавать освещённость не менее 50 люкс (лк) на горизонтальных поверхностях. Однако для уверенного, без напряжения зрения чтения текста и нот на рабочих поверхностях (столешница пульта-стола диктора, ноты на пюпитрах) необходимо обеспечить освещенность не менее 75 - 125 лк, а еще лучше - до 200 лк. Ориентировочно для получения такой освещенности на каждый квадратный метр площади пола должна приходиться мощность ламп накаливания 15 - 20 Вт. Более подробные сведения на этот счет имеются в [6, с. 28, 73, 75] и в руководствах по охране труда и технике безопасности.

### **15. Электроакустическое и звукотехническое оборудование**

Структурные схемы трактов и типовые диаграммы уровней студийной аппаратной приведены в [2,4,6,7,8], а также в других книгах по звуковому вещанию. Данные микрофонов, мониторов, пультов звукорежиссера, профессиональных магнитофонов частично

могут быть взяты из приведенной литературы и дополнены более современной информацией из Интернета..

## **16. Мероприятия по охране труда и технике безопасности**

Названные мероприятия сводятся к созданию удобных условий труда и к защите исполнителей и персонала от поражения электрическим током, от травм, вызванных падением плохо закрепленных звукопоглощающих конструкций, частей технологического оборудования, от пожарной опасности и т.д. Обстоятельствами, ухудшающими условия труда исполнителей и работников студийных аппаратных, являются недостаточная освещенность, отклонение температуры и относительной влажности воздуха в студии от комфортных, недостаточно чистый воздух. Вопросы освещения кратко рассмотрены в разд. 14. Комфортными атмосферными условиями для исполнителей и персонала АСБ обычно считают температуру воздуха летом 22...25°С при относительной влажности соответственно 60...45%, зимой 20...23° С при относительной влажности 70...50%. Объем воздуха в студии должен сменяться 5-7 раз за один час. Эти условия обеспечиваются действием системы кондиционирования воздуха, в которую входят нагнетающий и вытяжной вентиляторы, устройства подогрева, охлаждения и увлажнения воздуха.

Фактором, ускоряющим утомление персонала, является прослушивание частей будущей программы при повышенной, по сравнению с естественной, интенсивности звука. Уровень интенсивности звука достигает 100...110 дБ, что близко к болевому порогу (120 дБ над порогом слышимости). Поэтому длительность смены ограничивается обычно 6 часами, с перерывом после трех часов работы.

## **17. Классификация и основные параметры студий звукового вещания и помещений прослушивания**

Классификация и основные параметры студий и помещений прослушивания установлены соответствующими нормативными документами.

В приводимых ниже данных введены следующие обозначения:

$l, b$  - линейные размеры студии в плане, м,

$S$  - площадь пола студии,  $m^2$ ,

$h$  - высота студии, м,

$V$  - объём студии,  $m^3$ ,

$n_{\text{опт}}$  - оптимальное количество исполнителей,

$n_{\text{max}}$  - максимальное количество исполнителей,

$T_{\text{опт}}$  - оптимальное время реверберации на частоте 1000 Гц, с,

$\Delta T$  - допустимое отклонение времени реверберации, от оптимального, с.

l, b, м	S, м <sup>2</sup>	h, м	V, м <sup>3</sup>	$n_{\text{опт}}$	$n_{\text{max}}$	$T_{\text{опт}}$ , с	$\Delta T$ , с	Форма частотной характеристики времени реверберации
<b><u>Студии звукового и телевизионного вещания</u></b>								
<b><u>1. Открытая студия звукового вещания</u></b>								
Предназначена для исполнения концертных программ в присутствии слушателей. Строится по индивидуальному проекту. Количество слушателей до 500.								
Не нормируются	1000	14.0	14000	-	250 исп., 250 слуш.	2.0- 2.3	$\pm 0.1$	Горизонтальная в области частот 250 – 4000 Гц; подъем на 25% на частотах <250 Гц; при 8 кГц допустим спад до 1.1 с
<b><u>2. Большая музыкальная студия</u></b>								
Предназначена для больших симфонических оркестров или хоров до 100...200 человек. Возможно присутствие слушателей до 250 человек.								
40.0×25.0	1000	13.0	13000	250	250 исп., 250 слуш.	2.0	$\pm 0.2$	То же
<b><u>3. Большая музыкальная студия</u></b>								
Предназначена для больших симфонических оркестров или хоров до 100...200 человек. Без присутствия слушателей.								
34.0×22.0	750	12.0	9000	120	150	2.0	$\pm 0.2$	То же
<b><u>4. Средняя музыкальная студия</u></b>								
Предназначена для средних симфонических оркестров, хор до 60 человек								
26.5×17.0 24.0×14.5	450 350	10.0 8.5	4500 3000	40 40	65 65	1.5- 1.7	$\pm 0.1$ $\pm 0.1$	Горизонтальная в диапазоне частот от 125 до 6000 Гц
<b><u>5. Студия для эстрадной и джазовой музыки</u></b>								
26.5×17.0	450	10.0	4500	35	60	0.9-	$\pm 0.1$	То же



24.0×14.5	350	8.5	3000	35	60	1.1	± 0.1	
<u>6. Малая музыкальная студия</u> Предназначена для записи небольших оркестров и хоров, а так же для озвучивания кинофильмов.								
20.0×15.5	300	8.3	2500	30	35	0.9-	± 0.1	То же
20.0×12.5	250	8.0	2000	30	35	1.1		
<u>7. Камерная студия</u> Предназначена для записи камерной музыки, солистов и небольших ансамблей без приме- нения искусственной реверберации (предусмотреть устройства для получения шумовых эффектов)								
18.0×11.0	200	6.0	1200	20	30	0.8-	± 0.1	Горизонтальная со спадом на частотах ниже 250 Гц на 0.6 с
15.0×10.0	150	6.0	900	10	15	1.0	± 0.2	
15.0×10.0	150	5.4	800	10	15	1.0	± 0.2	
<u>Студии литературно-драматического блока</u> <u>8. Большая (основная) студия</u> Необходимо оборудовать устройствами шумовых эффектов								
18.0×11.0	200	6.0	1200	20	30	0.8-	± 0.1	Горизонтальная со спадом на частотах ниже 250 Гц на 0.6 с
15.0×11.0	150	5.4	800	20	30	1.0	± 0.1	
<u>9. Средняя (основная) студия</u> Необходимо оборудовать устройствами шумовых эффектов								
12.5×8.0	100	5.0	500	10	15	0.5- 0.7	± 0.1	Горизонтальная со спадом на частотах ниже 250 Гц на 0.5 с
<u>10. Заглушённая студия</u>								
8.0×6.25	50	4.0	200	6	10	<0.15	± 0.1	
<u>11. Гулкая студия (комната «эха»)</u>								
-	50	4.0	200	-	-	3.0	± 0.1	Горизонтальная
<u>12. Речевая студия</u>								
6.0×5.0	30	3.5	105	2	4	0.4	± 0.1	Горизонтальная со спадом на частоте 125 Гц на 25%
5.8×4.5	26	3.0	85	2	4	0.4	± 0.1	
<u>13. Дикторская кабина радиокomentатора или переводчика</u>								
-	12	3.0	36	1	2	0.25-	± 0.1	Горизонтальная

-	10	2.8	28	1	2	0.3	± 0.1	
<b>14. Комната прослушивания</b>								
6.5×5.2	34	3.5	120	-	-	0.3	± 0.05	Горизонтальная
<b>15. Аппаратные</b>								
а) вещательных музыкальных и литературно-драматических студий								
6.5×5.2	34-40	3.5	120-140	-	-	0.25-0.4	± 0.1 при 160 Гц	Горизонтальная
б) вещательных речевых студий								
-	24-36	3.2	90-100	-	-	0.25-0.4	То же	То же
в) записи								
-	24-36	3.2	90-100	-	-	0.25-0.4	± 0.05	То же
г) технического контроля								
-	24-36	3.2	90-100	-	-	0.25-0.4	± 0.05	То же
д) монтажа								
-	24-36	3.2	90-100	-	-	0.25-0.4	± 0.05	То же
<b>16. Репетиционные помещения</b>								
-	200	3.5	700	-	-	0.7	± 0.1	То же
-	100	3.5	350	-	-	0.5	± 0.1	
-	35	3.2	110	-	-	0.5	± 0.1	

При определении размеров аппаратных руководствуются требованием размещения оборудования для формирования и контроля стереофонических программ. Допустимые соотношения размеров режиссерских аппаратных и комнат прослушивания таковы:

$$l : b = (1,25...1,45) : 1,0,$$

$$b : h = (1,10... 1,90) : 1,0,$$

$$l : h = (1,95...2,05) : 1,0.$$

Рекомендуемые соотношения линейных размеров речевых студий: 1,9 : 1,6 : 1,0. Допустимые отклонения размеров всех других студий от рекомендованных не должны превышать 5...10%. Размеры телевизионных студий постановочных передач определяются, главным образом, принятым количеством сценических площадок и их размерами. Как правило, площадь пола этих студий составляет от 300 до 1000 м<sup>2</sup>. Пункты I - 5 и 8 - 11 относятся к внеклассным радиодомам.