

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курсовая работа "Расчет и проектирование систем озвучения и звукоусиления в закрытых помещениях", выполняемая студентами, обучающимися по специальности "Акустика", способствует более глубокому усвоению и закреплению теоретических материалов по разделам "Акустика помещений и студий звукового вещания" и "Системы озвучения и звукоусиления".

В ходе курсовой работы студенты проводят теоретические исследования акустических характеристик конкретных помещений, вырабатывают мероприятия по их оптимизации, осуществляют выбор системы озвучения или звукоусиления, расчет прямой и диффузной составляющих акустического поля в разных точках помещения.

1. ЗАДАНИЕ

Заданы объем основной из типов студий звукового вещания, телевизионного вещания (табл. 1) или какое-либо помещение университета по выбору преподавателя.

Таблица 1

Основные типы помещений

| Наименование помещения | Назначение помещения | Оптимальное число исполнителей | Высота, м | Площадь пола, м ² |
|--------------------------|---|--------------------------------|-----------|------------------------------|
| Студии: | | | | |
| Большая музыкальная | Большие симфонические оркестры, хоровое пение | 250 | 13 | 1000 |
| То же, но без слушателей | То же | 150 | 12 | 150 |
| Средняя музыкальная | Симфоническая музыка | 65 | 10 | 450 |
| То же | Запись эстрадной и джазовой музыки | 35 | 8,5 | 350 |
| Малая музыкальная | Запись небольших оркестров и хоров | 30 | 8 | 250 |
| Камерная | Камерная музыка, солисты-вокалисты | 10 | 6 | 150 |

| Наименование помещения | Назначение помещения | Оптимальное число исполнителей | Высота, м | Площадь пола, м ² |
|-----------------------------------|--|--------------------------------|-----------|------------------------------|
| Большая литературно-драматическая | Радиоспектакли | 30 | 6,5 | 200 |
| Средняя литературно-драматическая | Художественное чтение, небольшие радиоспектакли | 15 | 5 | 100 |
| Речевая | Информационные передачи | 3 | 3,5 | 30 |
| Аппаратная | Запись фонограмм | 2 | 3 | 40 |
| Большая телевидения | Музыкальные, литературные передачи, массовые съемки | 250 | 10 | 600 |
| То же | Музыкальные, литературные передачи, съемки не массовые | 120 | 8,5 | 300 |
| » | Передачи общественно-политические, научно-популярные и др. | 30 | 6 | 150 |
| Дикторская программная | Передача политических или спортивных новостей | 2 | 4,5 | 70 |
| Комната прослушивания | Проведение экспертиз | – | 3,5 | 30 |
| Зал для конференций | Доклады, информационные сообщения | 300 | 8 | 400 |
| Кинозал | Просмотр кинофильмов. Звуковое сопровождение. | 300 | 12 | 600 |
| Концертный зал | Прослушивание солистов и воспроизведение музыки | 500 | 6,5 | 450 |

Требуется:

1. Определить размер помещений и подсчитать фонд поглощения на средних частотах октавного ряда.
2. Рассчитать время реверберации рассматриваемого помещения.

3. Определить оптимальное время реверберации и подобрать дополнительное поглощающее покрытие.

4. Выбрать требуемый уровень звукового поля, допустимую неравномерность поля уровня прямого звука, величину акустического отношения.

5. Рассчитать требуемую акустическую мощность громкоговорителя.

6. Выбрать систему озвучения и тип громкоговорителей.

7. Рассчитать звуковое поле с учетом размещения громкоговорителей.

8. Определить эквивалентное время реверберации на частоте 1 кГц, акустическое отношение и радиус гулкости.

9. Рассчитать предельный индекс тракта и выбрать тип микрофона.

При выполнении курсовой работы могут иметь место два случая. В первом случае система озвучения разрабатывается для готового помещения, во втором – для помещения, акустическая обработка которого подлежит расчету. Во втором случае исключается п. 2 требований из задания на курсовую работу, а по размерам и назначению помещения определяют оптимальное время реверберации и с помощью соответствующей акустической обработки обеспечивают его с точностью $\pm 10\%$.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

2.1. Определение стандартного, оптимального времени реверберации и расчет звукопоглощения

Стандартное время реверберации T_p помещения – это время, в течение которого плотность звуковой энергии при выключении источника уменьшается в 10^6 раз. Оно определяется выражением

$$T_p = \frac{0,164V}{-S \ln(1 - k_n) + 4\mu V}, \quad (1)$$

где V – объем помещения, S – площадь ограничивающих его поверхностей, k_n – коэффициент звукопоглощения (средний), μ – коэффициент поглощения звука в воздухе. В знаменателе этой формулы пер-

вое слагаемое учитывает потери звуковой энергии при отражениях, второе – при поглощении звука в воздухе. Коэффициенты k_n и μ частотно-зависимы.

Для небольших помещений и помещений большого объема, но на частотах $f \leq 1000$ Гц, вторым слагаемым в выражении (1) пренебрегают

$$T_p \approx \frac{0,164V}{-S \ln(1 - k_n)} = \frac{0,164V}{Sk'_n}, \quad (2)$$

или, воспользовавшись равенством

$$\ln(1 - k_n) = 2,3 \lg(1 - k_n),$$

используют формулу Эйринга

$$T_p \approx \frac{0,07V}{-S \lg(1 - k_n)}. \quad (3)$$

В больших помещениях на частотах 1–4 кГц оба слагаемых одинаковы, а на более высоких частотах основную роль играет звукопоглощение в воздухе, и стандартное время реверберации быстро уменьшается. Коэффициент затухания звука в воздухе на разных частотах приведен в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициент затухания звука в воздухе

| η, % | μ(1/М)·1 ⁻³ на частоте, Гц | | | |
|------|---------------------------------------|------|------|------|
| | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 |
| 10 | 6 | 12 | 22 | 30 |
| 20 | 1 | 5 | 18,5 | 31 |
| 30 | 2 | 34 | 12 | 18 |
| 40 | 0,5 | 3,5 | 8,5 | 14,5 |
| 50 | 0,45 | 3 | 7 | 13,5 |
| 60 | 0,4 | 2,5 | 6 | 12,5 |
| 70 | 0,35 | 2,3 | 5,5 | 11,5 |
| 80 | 0,3 | 2 | 5 | 11 |
| 90 | 0,25 | 1,8 | 4,5 | 10 |

Величину $k'_n = -\ln(1 - k_n)$ называют реверберационным коэффициентом поглощения и определяют по среднему коэффициенту и обратно по табл. 3, в которой приведены разности $\Delta k = k'_n - k_n$ для различных значений k'_n и k_n .

Таблица 3

Поправки Δk для перехода от k'_n к k_n и обратно

| $k'_n = k_n + \Delta k$ | | | | $k'_n = k_n + \Delta k$ | | | |
|-------------------------|------------|-------|------------|-------------------------|------------|--------|------------|
| k_n | Δk | k_n | Δk | k'_n | Δk | k'_n | Δk |
| 0,03 | 0,001 | 0,22 | 0,029 | 0,04 | 0,001 | 0,28 | 0,036 |
| 0,04 | 0,001 | 0,23 | 0,031 | 0,05 | 0,001 | 0,29 | 0,038 |
| 0,05 | 0,001 | 0,24 | 0,034 | 0,06 | 0,002 | 0,30 | 0,041 |
| 0,06 | 0,002 | 0,25 | 0,038 | 0,07 | 0,002 | 0,31 | 0,043 |
| 0,07 | 0,003 | 0,26 | 0,041 | 0,08 | 0,003 | 0,32 | 0,046 |
| 0,08 | 0,003 | 0,27 | 0,045 | 0,09 | 0,004 | 0,33 | 0,049 |
| 0,09 | 0,004 | 0,28 | 0,049 | 0,10 | 0,005 | 0,34 | 0,052 |
| 0,10 | 0,005 | 0,29 | 0,053 | 0,11 | 0,006 | 0,35 | 0,055 |
| 0,11 | 0,007 | 0,30 | 0,057 | 0,12 | 0,007 | 0,36 | 0,058 |
| 0,12 | 0,008 | 0,31 | 0,061 | 0,13 | 0,008 | 0,37 | 0,061 |
| 0,13 | 0,009 | 0,32 | 0,066 | 0,14 | 0,009 | 0,38 | 0,064 |
| 0,14 | 0,011 | 0,33 | 0,071 | 0,15 | 0,011 | 0,39 | 0,067 |
| 0,15 | 0,013 | 0,34 | 0,076 | 0,16 | 0,012 | 0,40 | 0,070 |
| 0,16 | 0,014 | 0,35 | 0,081 | 0,17 | 0,014 | 0,41 | 0,074 |
| 0,17 | 0,016 | 0,36 | 0,086 | 0,18 | 0,015 | 0,42 | 0,077 |
| 0,18 | 0,019 | 0,37 | 0,092 | 0,19 | 0,017 | 0,43 | 0,081 |
| 0,19 | 0,021 | 0,38 | 0,098 | 0,20 | 0,019 | 0,44 | 0,084 |
| 0,20 | 0,023 | 0,39 | 0,104 | 0,21 | 0,021 | 0,45 | 0,088 |
| 0,21 | 0,026 | 0,40 | 0,111 | 0,22 | 0,023 | 0,46 | 0,091 |
| | | | | 0,23 | 0,025 | 0,47 | 0,095 |
| | | | | 0,24 | 0,027 | 0,48 | 0,099 |
| | | | | 0,25 | 0,029 | 0,49 | 0,103 |
| | | | | 0,26 | 0,031 | 0,50 | 0,107 |
| | | | | 0,27 | 0,033 | 0,51 | 0,112 |

При значениях коэффициента $k_n \leq 0,2$ справедливо соотношение $k'_n = k_n$ и можно применять формулу Сэбина

$$T_p \approx \frac{0,164V}{Sk_n}. \quad (4)$$

Если пользоваться величиной стандартного времени реверберации, то кривые затухания звука в помещении имеют следующий вид:

для плотности энергии $\varepsilon = \varepsilon_m \exp \left\{ -13,8 \frac{t}{T} \right\};$

для звукового давления $p = p_m \exp \left\{ -6,9 \frac{t}{T} \right\};$

для уровня звукового давления $N = N_m - 60 \frac{t}{T}.$

Оптимальное время реверберации T_{opt} – это такое акустическое время реверберации, при котором звучание данной музыкальной передачи в замкнутом помещении будет наилучшим или при котором разборчивость речи будет наибольшей.

Оптимальное значение T_{opt} для различных студий и помещений определялось многими исследованиями как теоретически, так и экспериментально. Эти значения, с достаточной для практики точностью, могут быть определены по рис. 1 или по следующим приближенным формулам (точность не более 10 %):

– для речевых передач

$$T_{\text{opt}} = 0,3 \log V - 0,05;$$

– для малых музыкальных форм и оперных театров

$$T_{\text{opt}} = 0,4 \log V - 0,15;$$

– для симфонической музыки

$$T_{\text{opt}} = 0,5 \log V - 0,3,$$

где T_{opt} – в секундах, а V – в кубических метрах. Эти значения определяют T_{opt} на средней частоте (500 Гц), принятое за единицу на рис. 2. На нем приведены пределы, в которых должно укладываться относительное время реверберации для музыкальных и речевых передач.

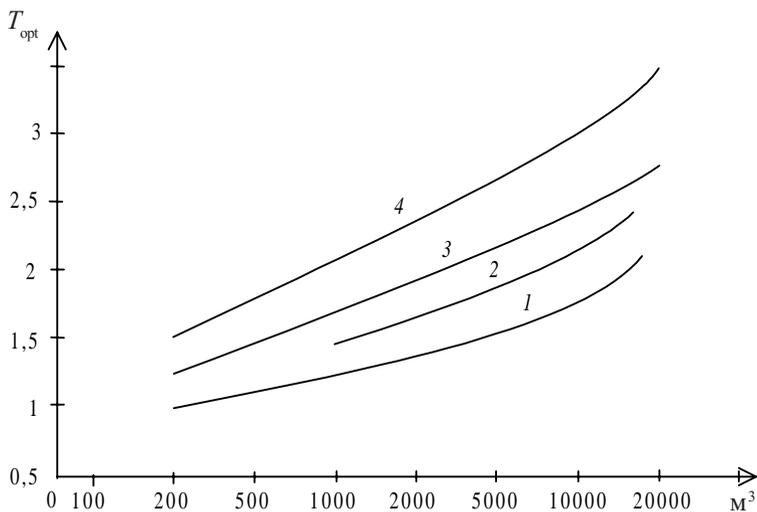


Рис. 1. Зависимость величины оптимальной реверберации от объема помещения: 1 – для речевых передач; 2 – для малых музыкальных форм и оперных театров; 3 – для концертных залов классической музыки; 4 – для оперной музыки

Аппаратные и комнаты прослушивания по своим параметрам близки к речевым студиям.

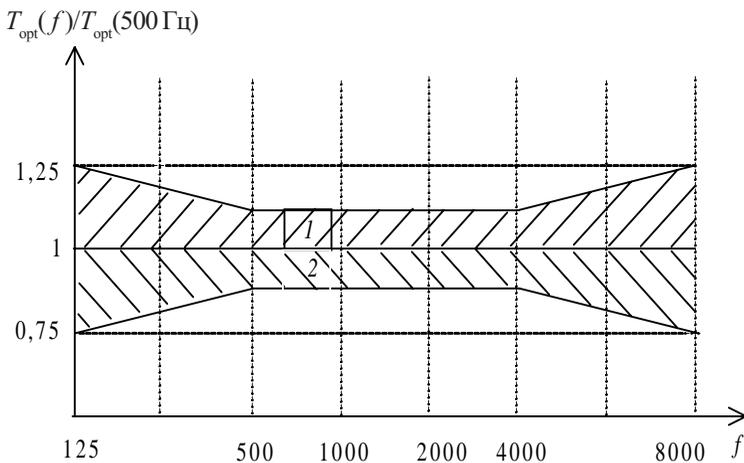


Рис. 2. Частотная зависимость времени оптимальной реверберации: 1 – для музыкальных программ; 2 – для речевых передач

Оптимальное значение времени реверберации для них выбирают из соотношения

$$T_{\text{opt}} = T_p \sqrt[3]{\frac{V}{V_0}},$$

где $V_0 = 100 \text{ м}^3$; $T_p = 0,28 \pm 0,05 \text{ с}$, V – объем помещения. Частотная характеристика T_p – горизонтальная прямая с отклонением $\pm 0,05 \text{ с}$, на частотах ниже 160 Гц поле допуска увеличивается до $\pm 0,1 \text{ с}$. Приведенные формулы и соображения не являются единственно возможными, более подробно можно найти в литературе [1–5].

Далее определяют общий фонд поглощения, который должен быть создан в помещении:

$$A = k_{\text{cp}} S, \quad (8)$$

где k_{cp} – средний коэффициент поглощения. По выбранному T_{opt} и формулам (1)–(4) можно определить k_{cp} , либо воспользоваться табл. 4.

Таблица 4

Среднее значение коэффициента поглощения

| Назначение помещения | Средний коэффициент поглощения k_{cp} |
|--|--|
| Концертный зал для исполнения симфонической музыки | 0,19 |
| Оперный театр | 0,2 |
| Драматический театр, кинозал | 0,22 |
| Эстрадный театр | 0,25 |
| Студия для озвучения при создании эффекта открытого пространства | 0,45 |

Общий фонд звукопоглощения для конкретного помещения на определенной частоте находят по формуле

$$A_0 = \sum k_n^i S_n + \sum A_i N_i + k_{\text{добр}} S, \quad (9)$$

где k_n^i – коэффициент поглощения различных материалов, которыми обработана поверхность помещения $S = \sum S_n + \sum A_k N_k$ – дополнительный фонд звукопоглощения, образуемый людьми, предметами обстановки и т. д. Этот фонд рассчитывается, если известно эквивалентное поглощение i -го объекта (стулья, лампы) и N_i – число объектов данного типа. Значения k_n^i и A_i даны в табл. 5, а также в [3–5]. Расчет A_0 и A необходимо провести на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000 Гц.

Таблица 5

Коэффициент звукопоглощения основных поглотителей

| Поглотитель | k_n 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 |
| Слушатели на деревянных стульях | 0,17 | 0,36 | 0,47 | 0,52 | 0,50 | 0,46 | 0,44 |
| Кресло деревянное: | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,03 |
| обитое кожей | 0,10 | 0,12 | 0,17 | 0,17 | 0,12 | 0,10 | 0,10 |
| обитое кожей и поролоном | 0,05 | 0,09 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,16 | 0,15 |
| обитое бархатом | 0,14 | 0,22 | 0,31 | 0,40 | 0,52 | 0,60 | 0,62 |
| Стул мягкий: | 0,05 | 0,09 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,16 | 0,15 |
| полумягкий | 0,05 | 0,08 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,150 | 0,05 |
| жесткий | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Публика на 1 м ² | 0,28 | 0,40 | 0,45 | 0,49 | 0,47 | 0,45 | 0,44 |
| Паркет: | | | | | | | |
| по асфальту | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 0,06 | 0,060 | 0,07 | 0,07 |
| на шпонках | 0,20 | 0,15 | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,07 |
| Пол на деревянных балках | 0,15 | 0,11 | 0,10 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,06 |
| Резина 5 мм на полу | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,06 |
| 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 | 0,03 | 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 |
| Стена, оштукатуренная известкой с металлической сеткой | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,04 | 0,06 | 0,06 |

| Поглотитель | k_n в зависимости от частоты, Гц | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 |
| То же, с деревянной обрешеткой | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,04 | 0,06 | 0,06 |
| Деревянные плиты | 0,12 | 0,11 | 0,10 | 0,03 | 0,08 | 0,11 | 0,12 |
| 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 железненная | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Штукатурка АЦП | 0,27 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,33 | 0,40 | 0,13 |
| Мрамор, гранит и др. | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| Кирпичная кладка без расшивки | 0,15 | 0,19 | 0,29 | 0,28 | 0,38 | 0,46 | 0,46 |
| То же, с расшивкой швов | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,06 |
| Метлахская плитка | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| Проем стены | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,20 |
| Вентиляционные решетки | 0,30 | 0,42 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,51 | 0,52 |
| Окно (стекло ординарное) | 0,35 | 0,25 | 0,18 | 0,12 | 0,07 | 0,04 | 0,03 |
| Двери: | | | | | | | |
| лакированные | 0,30 | 0,02 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| сосновые | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,11 |

Экспериментальные оценки акустических параметров помещений показали, что кроме основного и дополнительного фондов звукопоглощения необходимо учитывать еще и добавочный фонд $A_{доб} = k_{доб} S$, где $k_{доб}$ может быть взят из табл. 6.

Таблица 6

Коэффициент добавочного звукопоглощения

| Наименование студии | Значение $k_{доб}$ на частоте, Гц | | |
|---------------------|-----------------------------------|-------|----------|
| | 125 | 250 | 500–2000 |
| Большая музыкальная | 0,09 | 0,075 | 0,04 |
| Средняя музыкальная | 0,085 | 0,07 | 0,036 |
| Малая музыкальная | 0,08 | 0,065 | – |
| Камерная | 0,075 | 0,06 | 0,03 |

Среднее значение коэффициента звукопоглощения $k_{\text{ср}}$ для конкретного помещения {см. формулу (9)}

$$k_{0\text{ср}} = A_0 / S \quad (10)$$

соответствует условному материалу, который обеспечил поглощение звуковой энергии, свойственное данному помещению, поверхность которого обработана разнородными материалами.

Определив A_0 , оценивают время реверберации. Если полученное значение T_p отличается от T_{opt} не более чем на $\pm 10\%$, то обработка считается удовлетворительной. В противном случае нужна дополнительная акустическая обработка помещения.

Дополнительный фонд поглощения

$$A_{\text{доб}} = A - A_0.$$

Коэффициенты звукопоглощения различных поглотителей представлены в табл. П1–П3 приложения.

2.2. Акустическое отношение, эквивалентная реверберация, радиус гулкости

Звуковое поле в помещении состоит из двух составляющих: поле прямого звука и поле отраженного от ограничивающих помещение поверхностей звука. Последнюю составляющую поля называют диффузной.

Одним из характерных параметров помещения является акустическое отношение – отношение плотности энергии диффузной составляющей ϵ_d к плотности энергии прямого звука $\epsilon_{\text{п}}$, или отношение квадратов звуковых давлений p_d^2 и $p_{\text{п}}^2$:

$$R = \frac{\epsilon_d}{\epsilon_{\text{п}}} = \frac{p_d^2}{p_{\text{п}}^2}. \quad (11)$$

Если источник звука дает сферические волны, то на расстоянии r от него

$$\epsilon_{\text{п}} = \frac{P_a}{4\pi r^2 c_{\text{зв}}}, \quad (12)$$

$$\epsilon_d = \frac{4P_a(1 - k_{\text{ср}})}{c_{\text{зв}} k_{\text{ср}} S}, \quad (13)$$

где P_a – акустическая мощность источника, Вт. Для источника звука с направленным излучением величина акустического отношения может быть рассчитана по формуле

$$R = \frac{16\pi r^2}{S\Omega R^2(Q)} \frac{1 - k_{cp}}{k_{cp}}, \quad (14)$$

где Ω – коэффициент осевой концентрации; $R(Q)$ – коэффициент направленности под углом Q к оси источника звука (то есть направление на рассматриваемую точку).

Составляющую прямого звука для нескольких источников, с расстоянием между ними более λ_{max} , определяют следующим образом: плотность энергии и квадраты звукового давления, создаваемые каждым из них, суммируют арифметически, т. е.

$$\epsilon_{\Pi} = \sum_k \epsilon_{\Pi k},$$

$$p_{\Pi}^2 = \sum_k p_{\Pi k}^2. \quad (15)$$

Если источники звука находятся близко друг от друга (не более $0,5 \lambda_{min}$), то вводят упрощающее предположение об их синфазности, параллельности звуковых осей и однотипности. В этом случае

$$p_{\Pi} = \sum_k p_{\Pi k}. \quad (16)$$

Часто для одиночного источника звука, составляющую поля прямого звука по звуковому давлению записывают как

$$p_{\Pi} = \frac{p_1}{r} R(Q), \quad (17)$$

где p_1 – звуковое давление на расстоянии 1 м от источника звука на его оси, Па. При этом

$$p_1 = p_{ст} \sqrt{\frac{P_{ном}}{0,1}}, \quad (18)$$

где $p_{ст}$ – стандартное звуковое давление (на расстоянии 1 м при подведении мощности 0,1 Вт), приводимое в справочниках, $P_{ном}$ – номинальная мощность громкоговорителя.

Акустическое отношение

$$\Delta N_R = 10 \lg R = N_d - N_{\Pi}, \text{ дБ}, \quad (19)$$

где

$$N_d = 20 \lg p_d + 94, \quad (20)$$

$$N_{\Pi} = 20 \lg p_{\Pi} + 94, \quad (21)$$

соответственно уровни поля диффузного и прямого звуков.

Акустическое отношение определяют для характерных точек помещения, в котором находятся слушатели (наиболее удаленных от источника звука, наиболее близких к ним, для точек с минимальным уровнем прямого звука и максимальным уровнем диффузного поля).

Оптимальное значение акустического отношения для передачи речи находится в пределах 0,5–4 (чаще $R < 1$), а для музыкальных программ 2–8 (для органной музыки до 12).

При больших расстояниях $\epsilon_d \gg \epsilon_{\Pi}$ и в звучании появляется "гулкость". Введено понятие "радиуса гулкости" r_{Γ} – это расстояние от центра источника звука, для которого $R = 1$. Для одиночного источника звука

$$r_{\Gamma} = \sqrt{\frac{k_{\text{cp}} S \Omega R^2(Q)}{50,3(1 - k_{\text{cp}})}}. \quad (22)$$

Изменение акустического отношения воспринимается при слуховой оценке как изменение времени реверберации.

Введен параметр "эквивалентное время $T_{\text{э,р}}$ (ощущаемой на слух) реверберации", учитывающий оба основных акустических параметра помещения, т. е. $T_{\text{р}}$ и R . Для расчета значений $T_{\text{э,р}}$ пользуются формулой

$$\frac{1}{T_{\text{э,р}}} = \frac{1}{T_{\text{р}}} + 0,831 \lg \frac{R+1}{R}. \quad (23)$$

Эквивалентная реверберация существенно зависит от расстояния между источником и точкой приема. При малом r она меньше $T_{\text{р}}$ из-за большого уровня прямого звука. При $R > 3$ имеем $T_{\text{э,р}} \approx T_{\text{р}}$.

Существует еще множество дополнительных критериев акустического качества помещений, которые не используются в данной курсовой работе.

2.3. Выбор системы озвучения и типа громкоговорителя

Система озвучения представляет собой совокупность устройств, предназначенных для воспроизведения звука и обеспечивающих хорошую его слышимость в заданных местах расположения слушателей в помещении или на открытом воздухе.

Система звукоусиления – частный случай системы озвучения, когда первичный источник (оркестр, оратор и т. д.) находится в пределах звукового поля, создаваемого вторичными источниками звука (громкоговорителями). Системы звукоусиления применяют в тех случаях, когда из-за ограниченной мощности источника, наличия шума или акустических дефектов непосредственное восприятие сигнала от первичного источника затруднено.

В закрытых помещениях с нормальными акустическими характеристиками звукоусиление требуется при объемах свыше 2000 м² и при расстояниях до наиболее удаленных слушателей свыше 25 м. В сильно заглушенных помещениях или при повышенном уровне шума (табл. 7) звукоусиление используется при гораздо меньших объемах и расстояниях.

Основные показатели систем озвучения. Эти системы, как и любые электроакустические системы, должны удовлетворять общепринятым требованиям относительно полосы эффективно воспроизводимых частот, неравномерности частотной характеристики, линейных и нелинейных искажений, уровню собственных шумов. Кроме перечисленных предъявляют и ряд специфических требований, к которым относятся следующие.

Максимальный и минимальный уровни поля – максимальная N_{\max} и минимальная N_{\min} величины уровня прямого звука, создаваемые системой озвучения на озвучиваемой поверхности при подведении номинальной мощности к громкоговорителям этой системы.

Озвучиваемой поверхностью называют поверхность, проходящую на уровне голов слушателей. Для сидящих слушателей считают, что эта поверхность находится на высоте 1 м от пола, а для стоящих – на 1,5 м. В табл. 8 приведены рекомендуемые расчетные величины минимальных уровней поля для музыкальных и речевых передач в условиях уровня акустических шумов (не выше 50 дБ).

Неравномерность озвучения – разность между максимальной и минимальной величинами уровня поля в пределах озвучиваемой поверхности

$$\Delta N = N_{\max} - N_{\min}. \quad (24)$$

В табл. 7 приведены предельные значения этой неравномерности.

По расположению громкоговорителей системы озвучения делятся на сосредоточенные (централизованные), зональные (децентрализованные), общезональные, распределенные и комбинированные.

Уровни шума в производственных помещениях

| Наименование помещения | Уровень звукового давления в октавной полосе, дБ, для средней полосы частот, Гц | | | | | | | |
|------------------------------------|---|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Операционный зал | 70 | 70 | 63 | 58 | 55 | 52 | 50 | 49 |
| Коммутационный зал | 59 | 53 | 63 | 66 | 63 | 58 | 54 | 42 |
| Залы с аппаратурой уплотнения | 72 | 72 | 68 | 65 | 63 | 62 | 60 | 50 |
| Опорная усилительная станция | 66 | 69 | 66 | 66 | 64 | 57 | 55 | 45 |
| Цех обработки периодической печати | 87 | 78 | 73 | 68 | 65 | 62 | 60 | 59 |
| Стативный зал МТС | 62 | 61 | 65 | 67 | 67 | 64 | 62 | 62 |
| Аппаратный зал радиостанции | 76 | 73 | 73 | 71 | 68 | 64 | 56 | 50 |
| Радиобюро | 67 | 68 | 69 | 67 | 69 | 69 | 69 | 64 |
| Стативный зал АТС | 63 | 63 | 67 | 71 | 70 | 69 | 68 | 62 |
| Аппаратный зал телеграфа | 71 | 71 | 72 | 72 | 71 | 70 | 69 | 64 |
| Перфораторная МТС | 70 | 68 | 73 | 79 | 75 | 71 | 69 | 67 |
| Цехи сортировки писем и посылок | 94 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 70 |

Для озвучения помещений применяют в основном сосредоточенные и распределенные системы.

Для создания сосредоточенных систем используют в основном рупорные громкоговорители (для открытых пространств), звуковые колонки и диффузорные громкоговорители (только для небольших объектов).

Для большинства помещений достаточно иметь одну колонку, чтобы обеспечить равномерное озвучение зала шириной не более 12 м. Две колонки обеспечивают озвучение помещения шириной не менее 20 м. Более широкие залы озвучивают четырьмя колонками, но не более. Если помещение прямоугольной формы, то оси колонок направляют параллельно друг другу. При круглой (полукруглой) форме помещения оси направляют по радиусам секторов.

Уровни поля и неравномерность озвучения

| Назначение установки | Минимальный уровень поля, дБ | Максимальная неравномерность озвучения, дБ |
|--|------------------------------|--|
| Воспроизведение музыки и театральных эффектов | 100 | 6 |
| Воспроизведение музыкальных программ | 94–96 | 6 |
| Воспроизведение специальных программ (танцы, гимнастика и т. п.) | 94–96 | 8 |
| Усиление речи (для низких уровней шумов) | 80–86 | 8 |

Сосредоточенные системы в виде звуковых люстр (нескольких диффузорных громкоговорителей или маломощных звуковых колонок, расположенных веером) применяют для озвучения помещений, где слушатели располагаются вокруг центра.

Распределенные системы делятся на линейные и поверхностные. Линейное расположение громкоговорителей называют цепочкой, а поверхностное – решеткой. В помещениях такие системы применяют в виде настенных, потолочных цепочек или решеток. Распределенные системы применяют при отсутствии необходимости в локализации первичного источника звука. В распределенных системах используют диффузорные громкоговорители или звуковые колонки.

Пользуясь данными рекомендациями, а также исходя из назначения установки выбирают тип озвучения. В соответствии с конкретными условиями определяют примерный тип громкоговорителей и их размещения, пользуясь следующими соображениями.

Акустическая мощность, которую должны излучать громкоговорители, может быть найдена по формуле

$$P_a = \frac{P'_a}{1 - k_{cp}}, \quad (25)$$

где P'_a – часть мощности, расходуемая на создание диффузного поля с уровнем N_d .

Уровень диффузного поля равен

$$N_d = 10 \lg \frac{P'_a}{A} + 96, \quad (26)$$

откуда

$$P'_a = A \cdot 10^{\frac{N_d - 126}{10}}, \text{ Вт.} \quad (27)$$

Учитывая, что КПД диффузорных громкоговорителей составляет не более 3–5 %, а рупорных – 20–30 %, можно определить громкоговорители с необходимой подводимой электрической мощностью. Кроме того, громкоговорители централизованных систем устанавливаются таким образом, чтобы их акустические оси упирались в озвучиваемую поверхность вблизи дальней границы соответствующей зоны. При этом максимальное расстояние $r_{0\max}$ от громкоговорителя до точки упора его акустической оси

$$r_{0\max} = \sqrt{h^2 + l^2}, \quad (28)$$

где h – высота установки громкоговорителя; l – расстояние между точкой упора и точкой установки громкоговорителя.

Если точка упора совпадает с границей зоны и уровень прямого звука в ней минимален, то

$$p_1 = r_0 \cdot 10^{\frac{N_{\min} - 94}{20}}. \quad (29)$$

Исходя из полученного значения p_1 с учетом выражения (18) и конкретных условий работы системы в данном помещении выбирают тип громкоговорителя, пользуясь табл. П.4 приложения.

Далее необходимо проверить, обладает ли выбранный громкоговоритель требуемым коэффициентом осевой концентрации $\Omega_{\text{тр}}$, при котором будет излучаться акустическая мощность P_a .

Требуемое значение $\Omega_{\text{тр}}$ для звуковой колонки определяется из выражения

$$\Omega_{\text{тр}} = \frac{15,7 \cdot 10^{-3}}{P_a} P_1^2, \quad (30)$$

а для рупорного громкоговорителя

$$\Omega_{\text{тр}} = \frac{31,4 \cdot 10^{-3}}{P_a} p_1^2. \quad (31)$$

Коэффициенты концентрации для некоторых громкоговорителей представлены в табл. 9.

Таблица 9

**Коэффициенты концентрации для установок
системы озвучения**

| Тип установки | Значение Ω в зависимости от частоты, Гц | | | | | |
|-----------------------------------|---|------|------|------|------|------|
| | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 |
| Звуковые колонки: | | | | | | |
| 2КЗ | 2,5 | 4,0 | 5,0 | 5,6 | 6,5 | 6,8 |
| 8КЗ | 4,3 | 6,6 | 9,0 | 10,0 | 10,6 | 11,0 |
| 10КЗ 1 и 2 | 6,9 | 10,5 | 14,3 | 15,8 | 16,8 | 16,9 |
| 25КЗ 1 и 2 | 9,9 | 11,2 | 16,7 | 16,8 | 16,8 | 16,9 |
| 50КЗ 1 и 2 | 9,9 | 12,2 | 16,8 | 17,0 | 17,0 | 17,0 |
| 100КЗ 1 и 2 | 10,1 | 12,7 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 |
| 25КЗ 5 и 6 | 9,6 | 11,8 | 15,7 | 16,5 | 16,7 | 17,0 |
| 25КЗ 4 и 50КЗ 6 | 11,3 | 14,0 | 17,6 | 17,6 | 17,6 | 17,6 |
| 50КЗ 3 | 15,6 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 |
| Рупорные громкоговорители: | | | | | | |
| 25-ГРД, 50-ГРД | 15 | 17,5 | 19,5 | 22 | 25 | – |
| 100-ГРД, 10-ГРД | 8 | 9 | 10 | 11,5 | 13 | – |
| P-100 | 18 | 21 | 25 | 31 | 37,5 | – |

**2.4. Расчет звукового поля с учетом размещения
громкоговорителей**

В системе озвучения, в которой слушатели занимают фиксированное положение, рекомендуется выполнять следующие правила:

- звук должен приходиться к слушателям по возможности спереди;
- прямой звук от громкоговорителя не должен экранироваться какими-либо предметами или другими слушателями;

– прямой звук должен проходить параллельно звукопоглощающим поверхностям;

– при расположении громкоговорителей на боковых стенках желательно их оси развернуть под углом 30–60° к продольной оси помещения, в сторону задней стенки;

– относ от стены должен быть минимальным. При размещении громкоговорителей со значительным отansom (0,3–1 м), а также при установке в углу помещения необходимо обработать прилегающие участки стен (площадью не менее 2,5 м) звукопоглощающим материалом, эффективно поглощающим звук на средних частотах;

– не размещать громкоговорители на стенах с резонирующим покрытием без применения специальных мер, предотвращающих передачу вибраций вдоль этих покрытий.

При размещении громкоговорителей по бокам сцены или эстрады их акустические оси желательно ориентировать в горизонтальной плоскости так, чтобы они пересекались в задней части зала. В этом случае слуховой образ окажется в центре эстрады.

Рассмотрим несколько примеров озвучения помещений различными громкоговорителями.

Наземное поле рупорного громкоговорителя. Наиболее удобным для озвучиваемого помещения любой формы является расчет поля по точкам. При этом предполагается, что характеристика направленности рупорного громкоговорителя аппроксимируется эллипсом вращения с вершиной, совпадающей с точкой установки громкоговорителя (рис. 3). Точки на озвучиваемой поверхности выбираются таким образом, чтобы захватить области, где ожидаются максимальные и минимальные значения уровня прямого звука, а также области перекрытия отдельных зон при озвучении несколькими громкоговорителями.

Во всех точках рассчитывают звуковое давление p_n , создаваемое каждым громкоговорителем в отдельности, а результирующее давление определяют по формулам (15) или (16).

Давление, создаваемое каждым из рупорных громкоговорителей системы, определяется выражениями (17), (29) или

$$p_{\Pi} = \frac{p_1 U}{U^2 + \frac{V^2}{1 - e_r^2} + \frac{W^2}{1 - e_B^2}}, \quad (32)$$

где U, V, W – координаты исследуемой точки в полярной системе координат, связанной с громкоговорителем.

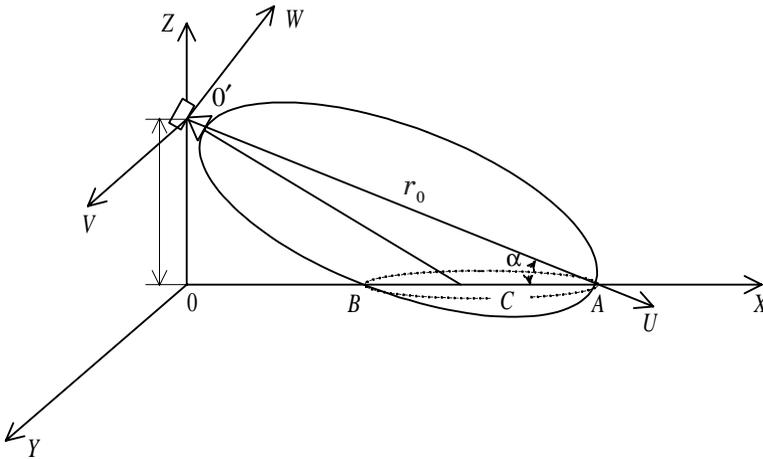


Рис. 3. Озвучение плоской поверхности рупорным громкоговорителем

Связь между полярными и прямоугольными координатами точек, расположенных на озвучиваемой поверхности, определяется выражениями

$$\begin{aligned} U &= x \cos \alpha + h \sin \alpha; \\ V &= y; \\ W &= x \sin \alpha - h \cos \alpha, \end{aligned} \tag{33}$$

где h – высота подвеса громкоговорителя над озвучиваемой поверхностью, $\alpha = \arcsin \frac{h}{r_0}$.

В формуле (32) e_r и e_b – эксцентриситеты эллипса, аппроксимирующего характеристику направленности громкоговорителя соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Значения e_r и e_b некоторых излучателей приведены в табл. 10.

При таком расположении громкоговорителя (см. рис. 3) максимальный уровень звукового поля N_{\max} будет в точке с координатой

$$x_m = h \operatorname{tg} \alpha \left[\frac{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}{\sqrt{1 + (1 - e_B^2) \operatorname{ctg}^2 \alpha}} - 1 \right]. \quad (34)$$

Таблица 10

**Эксцентриситеты характеристик направленности установок
системы озвучения**

| Тип установки | e_{Γ} | $e_{\text{всп}}^*$ |
|----------------------------|--------------|--------------------|
| Звуковые колонки: | | |
| 2 КЗ | 0,5 | 0,95 |
| 8 КЗ | 0,71 | 0,973 |
| 10 КЗ 1 и 2 | 0,9 | 0,97 |
| 25 КЗ 1 и 2 | 0,9 | 0,976 |
| 50 КЗ 1 и 2 | 0,9 | 0,979 |
| 100 КЗ 1 и 2 | 0,91 | 0,981 |
| 25 КЗ 3 и 50 КЗ 3 | 0,93 | 0,983 |
| 25 КЗ 4 и 50 КЗ 6 | 0,93 | 0,981 |
| 25 КЗ 5 и 6 | 0,92 | 0,977 |
| 25 КЗ 2Т | 0,91 | 0,972 |
| Рупорные громкоговорители: | | |
| 25 ГРД-1, 50 ГРД-9 | 0,77 | 0,945 |
| 100 ГРД-1, 10 ГРД-5 | 0,77 | 0,77 |
| P-100 | 0,94 | 0,94 |

* Среднее значение по частотному диапазону.

При расчетах надо убедиться, что звуковые давления во всех особых точках озвучиваемого помещения находятся в пределе, описываемым выражением (24). В случае невыполнения этого условия необходимо либо изменить положение громкоговорителя (изменить h и α), либо его заменить, либо использовать дополнительные громкоговорители. Все эти мероприятия приводят к изменению значений площади обслуживаемой зоны и акустических уровней в ее пределах.

где p_{Π} – давление, развиваемое одной колонкой; m – число отдельных звуковых колонок;

– характеристика направленности составной колонки в горизонтальной плоскости неизменна;

– характеристика направленности в вертикальной плоскости становится острее, а эксцентриситет характеристики направленности составной колонки

$$e'_B = \frac{1}{m} \sqrt{m^2 - 1 + e_B^2}. \quad (37)$$

При расчете звуковых полей необходимо учитывать отражения от задней стенки и частично от боковых стен помещения. Если задняя стена имеет коэффициент отражения 0,5, то суммарная интенсивность звука у задней стены будет в 1,5 раза больше интенсивности прямого звука. Поэтому высоту подвеса можно уменьшить и расширить зону озвучения.

Наземное поле линейной распределенной системы ненаправленных громкоговорителей. В распределенных системах используют диффузорные громкоговорители или звуковые колонки.

Для бесконечной, прямолинейной цепочки из m громкоговорителей с шагом цепочки d и высотой подвеса h (рис. 5) звуковое давление на расстоянии r определяется формулой

$$p_{\Pi} = p_1 \sqrt{\frac{2}{rd}}. \quad (38)$$

Это равенство справедливо на расстоянии r в пределах между md и $0,6d$, для $r \ll d$ и $r \gg md$ расчеты ведут по формулам $p_{\Pi} = p_1/r$ и $p_{\Pi m} = mp_1/r$.

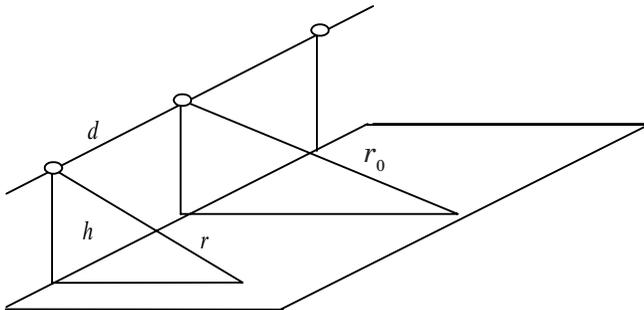


Рис. 5. Звуковое поле цепочки ненаправленных громкоговорителей

Неравномерность озвучения в пределах озвучиваемой плоскости определяют из соотношения

$$\Delta N = 5 \lg \frac{r_0}{h}. \quad (39)$$

Одну настенную цепочку диффузорных громкоговорителей применяют, если ширина помещения не превосходит 4–6 м. При ширине помещения от 6 до 12 м применяют две цепочки из таких же громкоговорителей. В помещениях шириной 10–15 м применяют одну, а шириной 12–20 м – две настенные цепочки из звуковых колонок.

Более подробно с многочисленными примерами вопросы расчета звуковых полей в помещении рассмотрены в литературе [3–5].

2.5. Расчет предельного индекса тракта и выбор типа микрофона

Назначение системы звукоусиления заключается в том, чтобы усилить действие первичного источника звука (лектора, солиста, музыкального ансамбля и т. д.) в тех случаях, когда из размеров озвучиваемой поверхности или из-за недостаточной мощности этого источника звука уровень поля в местах слушателей получается ниже требуемого значения. Как правило, звукоусиление необходимо, если объем помещения более 2000 м³ или от источника звука до удаленного слушателя более 25 м.

Система звукоусиления включает в себя систему озвучения, но при этом первичный источник звука и микрофон находятся в пределах озвучиваемого пространства, и появляется акустическая обратная связь по цепи: громкоговоритель – помещение – микрофон – усилитель – громкоговоритель (рис. 6). Из-за обратной связи возможно появление самовозбуждения всей системы звукоусиления. В помещении обратная связь получается двух типов: по прямому звуку и по диффузному. Для того чтобы система звукоусиления работала устойчиво, необходимо выполнение следующего равенства

$$\Theta_{\text{т.пр}} = N_{\text{min}} - N_{\text{г.м}} = -12, \text{ дБ}, \quad (40)$$

где $\Theta_{\text{т.пр}}$ – предельный индекс усиления (индекс тракта); N_{min} – уровень звукового поля, создаваемого громкоговорителем у слушателей; $N_{\text{г.м}}$ – уровень, создаваемый громкоговорителем в точке расположения микрофона.

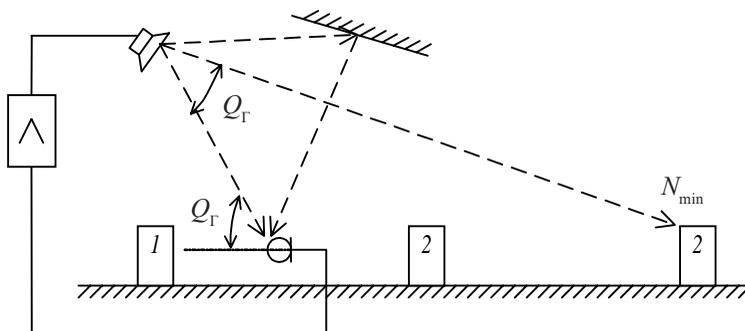


Рис. 6. Иллюстрация системы звукоусиления: 1 – источник прямого звука; 2 – слушатели

Для одиночного громкоговорителя уровень, создаваемый им в точке микрофона, равен

$$N_{\Gamma, \text{М}} = N_1 - 20 \lg r_{\Gamma, \text{М}} + 20 \lg R_{\Gamma}(\Theta_{\Gamma}), \quad (41)$$

где N_1 – уровень, развиваемый громкоговорителем по оси на расстоянии 1 м; $R_{\Gamma}(\Theta_{\Gamma})$ – коэффициент направленности громкоговорителя, определяемый из его диаграммы направленности; $r_{\Gamma, \text{М}}$ – расстояние от громкоговорителя до микрофона.

При расчетах можно воспользоваться формулами:

– для рупорного громкоговорителя (в пределах $\Theta_{\Gamma} = \pm 70^\circ$)

$$R_{\Gamma} = \frac{(1 - e^2) \cos \Theta_{\Gamma}}{1 - e^2 \cos \Theta_{\Gamma}}, \quad (42)$$

– для звуковых колонок (в пределах $\Theta_{\Gamma} = \pm 90^\circ$)

$$R_{\Gamma} = \sqrt{\frac{1 - e^2}{1 - e^2 \cos \Theta_{\Gamma}}}, \quad (43)$$

где e – эксцентриситет в соответствующей плоскости.

Выражение (40) справедливо для ненаправленных микрофонов. Если микрофоны направленные, то

$$\Theta_{\Gamma, \text{пр}} = q(\Theta_{\text{М}}) + N_{\text{min}} - N_{\Gamma, \text{М}} - 12, \quad (44)$$

где $q(\Theta_{\text{М}}) = -20 \lg R_{\text{М}}(\Theta_{\text{М}})$ – направленность микрофона под углом $\Theta_{\text{М}}$.

В слабо заглушенных помещениях, особенно при использовании направленных излучателей, в точке размещения микрофона преобладает диффузный звук ($R > 1$), при этом предельный индекс тракта для звуковых колонок определяется как

$$\Theta_{\text{т.пр}} = q_{\text{диф}} - 10 \lg R_{\text{max}} - 12, \text{ дБ},$$

где $q_{\text{диф}}$ – индекс направленности микрофона для диффузного звука; R_{max} – максимальное значение акустического отношения. Индекс $q_{\text{диф}}$ зависит как от характеристики направленности, так и от способа его размещения. Для ненаправленного микрофона $q_{\text{диф}} = 0$ дБ, если он стоит далеко от поглощающих поверхностей. Если этот же микрофон размещен на сцене так, что позади источника звука расположена идеальная поглощающая поверхность (спецпоглотители), то $q_{\text{диф}} = 3$ дБ. Значения $q_{\text{диф}}$ приведены в табл. 11.

Таблица 11

Индекс направленности микрофона по диффузному звуку

| Тип характеристики направленности микрофона | $q_{\text{диф}}$, дБ | |
|---|-----------------------------|----------------------------|
| | без поглощающей поверхности | с поглощающей поверхностью |
| Ненаправленная | 0 | 3 |
| Кардиоидная | 4,8 | 13 |
| Восьмерочная | 4,8 | 7,8 |
| Суперкардиоидная | – | 17,4 |

На практике в системах звукоусиления часто применяют кардиоидные микрофоны и только при большом уровне шума, удаленном первичном источнике звука (более 4 м), повышенной гулкости помещения целесообразно использовать остронаправленные микрофоны.

Полученное значение предельного индекса усиления должно быть не менее требуемого $\Theta_{\text{т.р}}$. Значения $\Theta_{\text{т.р}}$ приведены в табл. 12. Если значение предельного индекса тракта получилось меньше требуемого, необходимо использовать другой микрофон или ввести соответствующую акустическую обработку поверхности за микрофоном. Параметры микрофонов приведены в табл. П5 приложения.

Требуемый индекс тракта звукоусиления

| Назначение системы звукоусиления | Расстояние от источника звука до микрофона r_M , м | Оптимальное расстояние от источника звука до слушателя r_M , м | Требуемый индекс тракта $\Theta_{тр} = 20 \lg \frac{r_M}{r_c}$, дБ |
|---|--|--|---|
| Для усиления речи | 0,3–0,5 | 1–1,5 | –10 ... –14 |
| Для усиления оркестров, хоров, ансамблей | 3 | 12 | –12 |
| Для подусиления солистов при удаленном микрофоне | 1–2 | 3–6 | –10 |
| Для подусиления солистов при близко размещенном микрофоне | 0,5–1 | 3–6 | –16 |

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Что понимают под стандартным и оптимальным временем реверберации?
2. По каким формулам рассчитывают время реверберации и когда их используют?
3. Какие коэффициенты поглощения Вы знаете?
4. Как определяют общий фонд поглощения?
5. Что такое дополнительный фонд поглощения и добавочное звукопоглощение?
6. Что понимают под акустическим отношением и радиусом гулкости?
7. Как рассчитывают акустическое отношение и радиус гулкости помещения?
8. Из каких составляющих состоит звуковое поле в помещении, как их рассчитывают?
9. Поясните, что такое эквивалентное время реверберации?

10. Что такое стандартное звуковое давление?
11. Что такое системы озвучения и звукоусиления? Какие типы систем Вы знаете?
12. Назовите основные показатели систем озвучения.
13. Как выбирают необходимый тип громкоговорителей?
14. Исходя из каких соображений выбирают места для установки громкоговорителей в помещениях?
15. В чем особенности озвучения открытых пространств?
16. Как рассчитывают звуковые поля с учетом размещения громкоговорителей?
17. Каким образом аппроксимируют характеристики направленности звуковой колонки, рупора?
18. Как высота подвеса громкоговорителя влияет на озвучение помещения?
19. Что такое эксцентриситеты диаграммы направленности громкоговорителя?
20. Что понимают под предельным индексом тракта, как его рассчитывают?
21. По каким критериям выбирают тип микрофона?
22. Что такое обратная связь в системе звукоусиления, каких типов она бывает?

В процессе защиты курсовой работы студент должен продемонстрировать теоретические и практические знания, полученные им в ходе ее выполнения. Он должен обосновать методику расчета акустических параметров конкретного помещения и характеристики системы озвучения для него, а также обоснованно доказать реальность полученных результатов.

Библиографический список

1. Радиовещание и электроакустика: Учеб. пособие для вузов / С. М. Алябьев, А. В. Выходец, Г. Гермер и др.; Под ред. Ю. А. Ковалгина. М.: Радио и связь, 1999. 792 с.
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. Акустика: Справочник / А. П. Ефимов, А. В. Никонов, М. А. Сапожков, В. И. Шоров; Под ред. М. А. Сапожкова. М.: Радио и связь, 1989. 336 с.

4. Звуковое вещание: Справочник / *А. В. Выходец, П. М. Жмурин, И. Ф. Зорин и др.*; Под ред. *Ю. А. Ковалгина*. М.: Радио и связь, 1993. 464 с.

5. *Иофе В. К., Корольков В. Г., Сапожков М. А.* Справочник по акустике / Под ред. *М. А. Сапожкова*. М.: Связь, 1979. 312 с.

Таблица III

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

| Материал | d | b | k_n в зависимости от частоты, Гц | | | | | | |
|---|-----|-----|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 |
| Фанера 5 мм | – | 50 | 0,06 | 0,42 | 0,20 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,06 |
| » | 100 | 100 | 0,80 | 0,52 | 0,27 | 0,14 | 0,12 | 0,10 | 0,10 |
| Фанера 20 мм | – | 50 | 0,06 | 0,08 | 0,17 | 0,16 | 0,10 | 0,08 | 0,08 |
| » | 100 | 100 | 0,78 | 0,98 | 0,95 | 0,50 | 0,32 | 0,27 | 0,28 |
| Слоистый пластик, подклеенный марлей | – | 50 | 0,06 | 0,32 | 0,35 | 0,12 | 0,07 | – | – |
| Дюралюминий 5 мм | 50 | 50 | 0,26 | 0,89 | 0,99 | 0,47 | 0,15 | 0,04 | – |
| Асбоцементные плиты | 100 | 100 | 0,71 | 0,95 | 0,86 | 0,53 | 0,18 | 0,04 | – |
| Асбоцементные плиты: | | | | | | | | | |
| № 1 | 50 | 50 | 0,21 | 0,50 | 0,99 | 0,64 | 0,39 | 0,25 | 0,20 |
| № 2 | 50 | 50 | 0,24 | 0,72 | 0,96 | 0,77 | 0,57 | 0,35 | 0,20 |
| № 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 | 0,20 | 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 | 0,70 | 0,54 | 0,35 | 0,26 | 0,06 |
| № 7 | 50 | 50 | 0,40 | 0,97 | 0,75 | 0,52 | 0,31 | 0,16 | 0,06 |
| № 8 | 50 | 50 | 0,38 | 0,87 | 0,77 | 0,70 | 0,51 | 0,31 | 0,17 |
| № 9 | 50 | 50 | 0,28 | 0,79 | 0,98 | 0,70 | 0,47 | 0,23 | 0,20 |
| № 10 | 50 | – | 0,31 | 0,69 | 0,91 | 0,75 | 0,60 | 0,35 | 0,30 |
| Акустические плиты АГШ (гипс., шгампов., подклеенные бязью) | 50 | – | 0,23 | 0,47 | 0,98 | 0,73 | 0,44 | 0,41 | 0,41 |
| АГШБ | 50 | – | 0,28 | 0,69 | 0,94 | 0,76 | 0,51 | 0,43 | 0,42 |

d – толщина заполнителя; b – зазор отражатель–поглотитель.

Коэффициент звукопоглощения пористых поглотителей

| Материал | b, мм | $k_{\text{ц}}$ в зависимости от частоты | | | | | | |
|--------------------------|----------|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | 125 Гц | 250 Гц | 500 Гц | 1 кГц | 2 кГц | 4 кГц | 6 кГц |
| Минераловатные ПП-80 | — | 0,08 | 0,3 | 0,64 | 0,89 | 0,95 | 0,81 | 0,73 |
| » | 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 |
| "Фибролит" 30 мм | — | 0,06 | 0,16 | 0,25 | 0,38 | 0,59 | 0,63 | 0,59 |
| » | 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 |
| » | 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 |
| » | 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 |
| "Травертон" | — | 0,02 | 0,14 | 0,65 | 0,9 | 0,87 | 0,86 | 0,88 |
| » | 100 | 0,28 | 0,81 | 0,86 | 0,87 | 0,89 | 0,86 | 0,88 |
| "Акмигран" | 100 | 0,29 | 0,7 | 0,68 | 0,68 | 0,75 | 0,74 | 0,7 |
| "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 |
| Репс | 800 | 0,14 | 0,4 | 0,8 | 0,97 | 0,99 | 0,99 | 0,99 |
| "Маркиза" | — | 0,04 | 0,23 | 0,4 | 0,57 | 0,53 | 0,62 | 0,6 |
| Ковры: | | | | | | | | |
| 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 |

b – зазор между отражателем и поглотителем.

Коэффициент звукопоглощения мембранных поглотителей

| Материал | d | b | k_n 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 |
| » | 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 |
| » | 100 | | 0,38 | 0,28 | 0,21 | 0,12 | 0,05 | 0,05 | 0,04 |
| Сухая гипсовая штукатурка | | 50 | 0,23 | 0,31 | 0,13 | 0,09 | 0,06 | 0,13 | 0,04 |
| » | 100 | | 0,65 | 0,34 | 0,23 | 0,17 | 0,17 | 0,11 | 0,1 |
| Пенопласт | | | 0,02 | 0,09 | 0,19 | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,12 |
| » | 100 | | 0,51 | 0,38 | 0,28 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Панели из "волнита" | | 50 | – | 0,1 | 0,22 | 0,21 | 0,08 | – | – |
| » | 50 | | 0,16 | 0,72 | 0,93 | 0,2 | 0,14 | 0,02 | – |
| Щиты Бекешы | 150 | | 0,76 | 0,67 | 0,5 | 0,24 | 0,13 | 0,15 | 0,07 |
| » | 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 |
| » | 50 | | 0,51 | 0,44 | 0,39 | 0,19 | 0,13 | 0,22 | 0,28 |

d – толщина заполнителя; b – зазор между отражателем и поглотителем.

Параметры отечественных акустических устройств и систем

| Тип установки | Паспортная мощность, Вт | Номинальная мощность, Вт | Диапазон частот, Гц | Стандартное звуковое давление, Па |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Диффузорные громкоговорители: | | | | |
| 0.25ГД10 | 0,5 | 0,25 | 315–5000 | 0,2 |
| 0.5ГД30 | 1 | 0,5 | 125–10000 | 0,3 |
| 1ГД-37 | 1,5 | 1 | 100–10000 | 0,25 |
| 2ГД-40 | 3 | 2 | 100–12500 | 0,28 |
| 3ГД-40 | 5 | 3 | 80–12500 | 0,2 |
| 4ГД-35 | 8 | 4 | 63–12500 | 0,25 |
| 10ГД-36 | 15 | 10 | 63–20000 | 0,2 |
| 6ГД-6 | 20 | 6 | 63–5000 | 0,1 |
| 10ГД-34 | 25 | 10 | 63–500 | 0,1 |
| 0.5ГД-36 | 0,7 | 0,5 | 1000–16000 | 0,15 |
| 3ГД-2 | 6 | 3 | 5000–18000 | 0,25 |
| 10ГД-35 | 15 | 10 | 5000–25000 | 0,25 |
| 3ГД-32 | 6 | 3 | 80–12000 | 0,3 |
| Рупорные громкоговорители: | | | | |
| 1ГРД-5 | – | 10 | 300–3550 | 1,5 |
| 25ГРД-2 | – | 25 | 200–4000 | 0,8 |
| 50ГРД-8 | – | 50 | 200–4000 | 0,7 |
| 100ГРД-1 | – | 100 | 200–4000 | 1,5 |
| Звуковые колонки: | | | | |
| 2КЗ-5 | – | 2 | 300–7000 | 0,45 |
| 15КЗ-1 | – | 25; 12,5; 6,25 | 200–5000 | 0,6 |
| 100КЗ-7 | – | 100 | 100–10000 | 0,7 |
| 8КЗ-4 | – | 2; 4; 8 | 150–8000 | 0,85 |
| 2КЗ-7 | – | 2 | 300–7000 | 0,5 |
| 15КЗ-8 | – | 15; 7,5; 3,75 | 160–18000 | 0,6 |
| 50КЗ-5 | – | 50; 25 | 80–14000 | 0,6 |

Отечественные и зарубежные микрофоны

| Тип микрофона | Номинальный диапазон частот, Гц | Направленные | Основное назначение |
|---------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| МД52А | 50–16000 | ОН | Универсальный |
| МД63 | 60–5000 | НН | Нагрудный, петличный |
| МД63Р | 60–15000 | НН | Для радиомикрофонов |
| МД66 | 100–10000 | ОН | Речевой для звукоусиления |
| МД78 | 50–15000 | ОН | Для солистов эстрады |
| МД-74 | 50–10000 | Остронаправленный | На фоне шумов, репортаж |
| МЛ-19 | 50–16000 | ОН | Универсальный студийный |
| МК-12 | 50–15000 | ОН | Для передачи музыки, речи |
| МК-13 | 30–18000 | НН; ОН; ДН | С дистанционным выбором характеристик |
| МЭК-6 | 50–16000 | ОН | Для солистов эстрады |
| 19А31 | 20–20000 | НН; ОН; ДН | Для кинематографии |
| КМС-19-08 | 20–20000 | ДН | » |
| D-17 | 15–14000 | ОН | Студийный, речевой |
| D-20В | 30–18000 | ОН | Универсальный |
| D-30 | 30–16000 | НН; ДН | » |
| D-200 | 30–17000 | ОН | Двухполосный |
| D-501 | 50–15000 | НН | Репортажный |
| MD-14 | 100–15000 | ОН | Репортажный, речевой |
| MD-441 | 30–20000 | СК | Студийный |
| C-60 | 30–18000 | ОН | » |
| МКЕ-802 | 50–15000 | ДН; СК | Любительский |
| SM-69 | 40–15000 | ДН; СК | Студийный |

ОН – односторонне направленный; НН – ненаправленный; ДН – двусторонне направленный; СК – суперкардиоидный.

Содержание

| | |
|--|----|
| 1. Задание | 1 |
| 2. Методические указания к выполнению работы | 3 |
| 2.1. Определение стандартного, оптимального времени реверберации и расчет звукопоглощения | 3 |
| 2.2. Акустическое отношение, эквивалентная реверберация, радиус гулкости | 11 |
| 2.3. Выбор системы озвучения и типа громкоговорителя | 13 |
| 2.4. Расчет звукового поля с учетом размещения громкоговорителей | 18 |
| 2.5. Расчет предельного индекса тракта и выбор типа микрофона | 24 |
| 3. Контрольные вопросы для подготовки к защите курсовой работы | 27 |
| Библиографический список | 28 |
| Приложение | 30 |