

УДК: 534

OECD: 01.03. AA

Исследование акустических свойств помещений промышленных предприятий

Кондратьев С.А.^{1*}, Тюрина Н.В.², Фиев К.П.³¹Старший преподаватель кафедры «Экология и производственная безопасность»,²Д.т.н., профессор кафедры «Экология и производственная безопасность»,³К.т.н., доцент кафедры «Экология и производственная безопасность»^{1,2,3}Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

В статье приведены результаты исследований акустических свойств помещений цехов и производственных участков на предприятиях полиграфической и печатной промышленности. В качестве акустических характеристик анализировались измеряемые значения времени реверберации и вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения и значения граничного радиуса (или радиуса реверберации) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Выполнено измерение в 22 помещениях на трёх фабриках в городах Санкт-Петербурге, Москве и Перми. Показано, что все без исключения изученные помещения обладают высокой степенью реверберации, а средний коэффициент звукопоглощения в помещениях во всём частотном диапазоне находятся в пределах 0,15 – 0,2 что затрудняет применение шумозащиты (например, акустических экранов).

Ключевые слова: промышленное предприятие, помещение, время реверберации, средний коэффициент звукопоглощения, граничный радиус, классификация

Study of acoustical properties of the industrial enterprises rooms

Kondratev S.A.^{1}, Tyurina N.V.², Fiev K.P.³*¹ *Senior lecturer of the Department of Ecology and Industrial Safety,*² *D.Sc., Professor, Professor of the Department of Ecology and Industrial Safety,*³ *Ph.D., Associate Professor of the Department of Ecology and Industrial Safety*^{1,2,3} *Baltic State Technical University 'VOENMEH', St. Petersburg, Russia*

Abstract

The article presents the results of studies of acoustic properties of premises of workshops and production sites at enterprises of the printing and printing industry. As acoustic characteristics, the measured values of reverberation time and the calculated values of the average sound absorption coefficient and the values of the boundary radius (or reverberation radius) in octave bands with geometric mean frequencies of 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 and 8000 Hz were analyzed.

Keywords: *Industrial enterprises, premises, reverberation time, average sound absorption coefficient, boundary radius, classification of premises*

*E-mail: kondratev_sa@voenmeh.ru (Кондратьев С.А.)

Введение

Вопрос изучения акустических свойств возник в связи с использованием в помещениях на производственных предприятиях акустических экранов в качестве эффективного и дешёвого средства защиты от шума на рабочих местах и в рабочих зонах. Некоторые опыты показали, что при высокой степени реверберации и средних значениях коэффициента звукопоглощения в пределах 0,1 – 0,2 эффективность установленных акустических экранов (АЭ) не превышает нескольких децибел, что в несколько раз ниже, чем по данным расчётов, выполненных согласно действующей нормативно-технической документации ГОСТ 31287-2005 [1]. Для решения вопроса об эффективном применении АЭ на производственных помещениях, в первую очередь, был проанализирован и изучен вопрос акустических свойств помещений на производственных предприятиях.

1 Измерение, расчёт и анализ акустических свойств производственных помещений

1.1 Общие сведения

Любое помещение обладает набором собственных частот колебаний. При выключении источника звука некоторое время происходят затухающие колебания звука на собственных частотах. На этом эффекте основано определение времени реверберации. Время реверберации - это измеряемый показатель акустического качества помещения. Чем больше время реверберации, тем более гулкое помещения. Снижение времени реверберации в помещении, а значит улучшение его акустических качеств с точки зрения шумозащиты, достигается размещением в помещении звукопоглощающих конструкций или предметов.

Для полной оценки акустических свойств помещения одного времени реверберации недостаточно. Так, например, значение граничного радиуса – величины, показывающей на каком расстоянии от источника шума вклад прямого и отраженного звука приблизительно одинаков, возможно определить зная или время реверберации (T , с), или эквивалентную площадь звукопоглощения (A , м^2), или акустическую постоянную помещения (B , м^2). Время реверберации является исходной величиной для определения не только акустической постоянной помещения и эквивалентной площади звукопоглощения, но и очень важный и практически реализуемый характеристикой акустических качеств помещений среднего коэффициента звукопоглощения помещения ($\bar{\alpha}$), который, как и все вышеперечисленные параметры, имеет частотно-зависимый характер.

Значение среднего коэффициента звукопоглощения из формулы Сэбина [2]:

$$\bar{\alpha}_{\text{пом}} = \frac{0,16V_{\text{пом}}}{S_{\text{пом}}T_{\text{пом}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{пом}}$ – объем помещения, м^3 ; $S_{\text{пом}}$ – площадь отражающих (поглощающих) поверхностей помещения, м^2 ; $T_{\text{пом}}$ – измеренные значения времени реверберации, с.

$$B_{\text{пом}} = \frac{A_{\text{пом}}}{(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}})}, \quad (2)$$

где $A_{\text{пом}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения помещения, м^2 .

Граничный радиус вычисляется по следующей формуле:

$$r_{\text{гр}} = \sqrt{\frac{A_{\text{пом}}}{16\pi}} = 0,057\sqrt{\frac{V_{\text{пом}}}{T_{\text{пом}}}}, \quad (3)$$

Объективными показателями акустических качеств помещений, определяемыми в данном исследовании, являются $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$, $r_{\text{гр}}$.

Исходя из полученной выше информации о спектральных характеристиках шума на рабочих местах и в рабочих зонах предприятий, измерения времени реверберации и расчет других параметров осуществлялся с частоты 125 Гц.

1.2 Измерение и расчет акустических свойств производственных помещений

В первой серии измерений было обследовано 5 производственных помещений, геометрические параметры которых приведены в таблице 1. Объем помещений. Указанный в таблице, рассчитан без учета смежных помещений, прилегающих к рассматриваемым.

Таблица 1 – Характеристики помещений

№ п/п	Помещение, рабочее место	Объем помещения, м ³	Общая площадь внутренних поверхностей, м ²
1	Цех 1 плавно-прокатный участок (рабочее место наладчика ХПО)	1841	1151
2	Цех 2 (рабочее место оператора автоматических и полуавтоматических линий станков и установок)	143	194
3	Цех 3 (рабочее место вальцовщика холодного металла)	154	136
4	Цех 4 (рабочее место резчика металла на ножницах и прессах)	297	278
5	Цех 5 (рабочее место оператора станков с числовым программным управлением)	101	152

Данные усредненных значения времени реверберации, измеренных в производственных помещениях, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Измеренные усредненные значения времени реверберации в производственных помещениях

№ п/п	Измеренные усредненные значения времени реверберации, с в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	1,77	1,71	1,65	1,54	1,45	1,26	1,08
2	0,91	0,82	0,75	0,71	0,69	0,61	0,57
3	1,66	1,47	1,21	1,11	1,04	0,87	0,71
4	1,34	1,12	1,07	1,02	0,99	0,92	0,81
5	1,22	1,13	1,11	1,09	1,01	0,95	0,88

Вычисленные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$ в производственных помещениях приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения и граничного радиуса

№ п/п		Рассчитанные значения и $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$, $r_{\text{гр}}$ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,11
	$r_{\text{гр}}$	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,45	1,6
2	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,19	0,2
	$r_{\text{гр}}$	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
3	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,08	0,1	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17
	$r_{\text{гр}}$	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
4	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,13	0,15	0,15	0,16	0,16	0,18	0,2
	$r_{\text{гр}}$	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1
5	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,08	0,09	0,09	0,1	0,1	0,11	0,12
	$r_{\text{гр}}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6

Данные в таблице 2 являются промежуточными, исходными для анализа. Практически все обследованные помещения имеют очень низкие звукопоглощающие свойства. Характерным для всех помещений являются увеличение среднего коэффициента звукопоглощения с увеличением частоты. Например, в первом помещении от 0,07 до 0,11, в третьем от 0,08 до 0,17. Главный вывод, связанный с разработкой шумозащиты в цехах, состоит в том, что выявлены чрезвычайно низкие значения среднего коэффициента звукопоглощения в помещениях (на высоких частотах значение $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ составляют от 0,07 до 0,2). В связи с этим получены и невысокие значения граничного радиуса (за исключением первого помещения (1,2-1,6 м)) от 0,5 до 1 м. Исследованные помещения имеют низкие акустические качества, что затрудняет разработку отдельных средств шумозащиты, а также является одной из причин повышенного шума на рабочих местах и в рабочих зонах.

1.3 Измерение и расчет акустических свойств производственных помещений

В второй серии измерений было обследовано 7 производственных помещений, геометрические параметры которых приведены в таблице 4.

Данные усредненных значений времени реверберации, полученные на основании результатов измерений в производственных помещениях, приведены в таблице 5.

Вычисленные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$ в производственных помещениях приведены в таблице 6.

В третьей серии измерений было обследовано 10 производственных помещений, геометрические параметры которых приведены в таблице 7.

Данные усредненных значений времени реверберации, полученные на основании результатов измерений в производственных помещениях во второй серии измерений, приведены в таблице 8. Вычисленные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$ в производственных помещениях приведены в таблице 9.

Таблица 4 – Характеристики обследованных помещений

№ п/п	Помещение, рабочее место	Объем помещения, м ³	Общая площадь внутренних поверхностей, м ²
1	Цех с ротационной печатной машиной	1219,9	946,9
2	Зона упаковки, машина коллатор	767,5	618,8
3	Оборудование в печатном цеху	169,9	189,5
4	Термоструйные принтеры	518,4	437,4
5	Граверный участок	274,6	263,8
6	Цех с приклеечным оборудованием, прессами	1481,4	1027,0
7	Цех металлографской печати	936,6	620,8

Таблица 5 – Усредненные значения времени реверберации в производственных помещениях

№ п/п	Измеренные усредненные значения времени реверберации, с в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	1,36	1,26	1,20	1,18	1,0	0,95	0,89
2	1,28	1,11	1,02	0,88	0,81	0,80	0,77
3	1,17	1,06	1,00	0,98	0,95	0,84	0,73
4	1,32	1,20	1,09	1,00	0,93	0,83	0,78
5	1,86	1,63	1,36	1,25	1,17	1,11	1,11
6	2,17	2,20	2,08	2,01	1,88	1,58	1,32
7	1,44	1,39	1,28	1,19	1,16	1,06	1,03

Таблица 6 – Вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения и граничного радиуса

№ п/п		Рассчитанные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,15	0,16	0,16	0,17	0,20	0,21	0,23
	$r_{\text{гр}}$	1,7	1,8	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0
2	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,15	0,19	0,20	0,20	0,22	0,22	0,23
	$r_{\text{гр}}$	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8
3	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,12	0,16	0,16	0,16	0,17	0,19	0,20
	$r_{\text{гр}}$	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0
4	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,15	0,16	0,19	0,20	0,21	0,24	0,26
	$r_{\text{гр}}$	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8
5	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15
	$r_{\text{гр}}$	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
6	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17
	$r_{\text{гр}}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9
7	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,23
	$r_{\text{гр}}$	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,7	1,7

Таблица 7 – Характеристики помещений

№ п/п	Помещение, рабочее место	Объем помещения, м ³	Общая площадь внутренних поверхностей, м ²
1	Производственное помещение 1	1369	799,6
2	Производственное помещение 2	1169	704,4
3	Производственное помещение 3	482	402,3
4	Производственное помещение 4	1264	793,8
5	Производственное помещение 5	990	637,0
6	Производственное помещение 6	1836,7	1539,9
7	Производственное помещение 7	160	179,9
8	Производственное помещение 8	939	592,0
9	Производственное помещение 9	371	280,8
10	Производственное помещение 10	811	606,0

Таблица 8 – Измеренные усредненные значения времени реверберации в производственных помещениях

№ п/п	Измеренные усредненные значения времени реверберации, с в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	1,61	1,54	1,45	1,36	1,31	1,28	1,08
2	2,32	2,29	2,21	2,02	1,94	1,81	1,63
3	1,34	1,26	1,19	1,16	1,1	1,06	1,0
4	1,51	1,49	1,41	1,32	1,16	1,09	1,02
5	1,42	1,35	1,32	1,20	1,11	1,03	0,95
6	1,47	1,36	1,32	1,30	1,20	1,08	0,94
7	1,41	1,35	1,30	1,19	1,07	0,95	0,81
8	1,91	1,85	1,79	1,78	1,69	1,64	1,60
9	1,37	1,29	1,11	1,06	1,0	0,97	0,85
10	1,28	1,21	1,11	1,05	1,0	0,95	0,85

Таблица 9 – Вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения и граничного радиуса

№ п/п		Рассчитанные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,2
	$r_{\text{гр}}$	1,5	1,5	1,5	1,7	1,7	1,8	1,9
2	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,16
	$r_{\text{гр}}$	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,45	1,5
3	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
	$r_{\text{гр}}$	1,0	1,0	1,1	1,15	1,15	1,2	1,2
4	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,25
	$r_{\text{гр}}$	1,2	1,2	1,4	1,7	1,8	1,9	2,0
5	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,25	0,25
	$r_{\text{гр}}$	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8
6	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,18	0,20
	$r_{\text{гр}}$	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
7	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16
	$r_{\text{гр}}$	0,6	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8
8	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,11	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16
	$r_{\text{гр}}$	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5
9	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,15	0,16	0,18	0,2	0,21	0,22	0,24
	$r_{\text{гр}}$	0,5	0,9	1,0	1,05	1,1	1,2	1,2
10	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17
	$r_{\text{гр}}$	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,7	1,8

2 Анализ акустических свойств производственных помещений

Всего было обследовано 22 производственных помещения различных объемов и размеров. Полученные измерениями предельные спектры (максимальные и минимальные значения времени реверберации в производственных помещениях) показаны на рисунке 1.

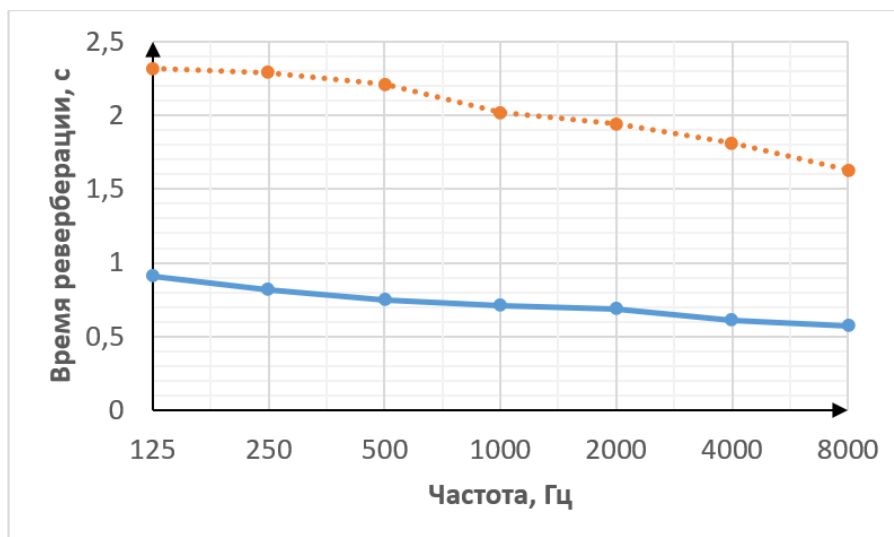


Рисунок 1 – Значения времени реверберации, полученные экспериментальным путем в производственных помещениях фабрик

Отметим, что экспериментально полученные данные имеют частотно зависимый характер, величина времени реверберации снижается с увеличением частоты (зафиксирован спад на величину от 0,3 с до 0,7 с). Полученные значения времени реверберации лежат в диапазоне от 0,8-0,5 с до 2,3-1,6 с, то есть все помещения обладают определённой степенью гулкости. Дальнейший анализ акустических свойств производственных помещений выполнен с учетом времени реверберация и среднего коэффициента звукопоглощения помещений.

Значения, полученные расчётом, являются универсальным показателем акустических свойств производственного помещения. Исходя из значений поправки на характер звукового поля в помещении [2], в зависимости от значений этой поправки, связанной со средним коэффициентом звукопоглощения, производственные помещения по акустическим качествам предлагается разделить на три группы, описанные в таблице 10.

Таблица 10 – Классификация производственных помещений

Характер звукового поля	Класс помещения	Характеристика помещения	Коэффициент звукопоглощения ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}$)	Акустическое качество помещения
Диффузное	I	Гулкое (не заглушенное)	0,1 – 0,2	Очень низкое (помещение не имеет акустической обработки)
Квази-диффузное	II	Малой заглушенности	0,3 – 0,4	Среднее
Квази-диффузное	III	Шумозаглушенное	$\geq 0,5$	Высокое (в помещении реализовано достаточно эффективное звукопоглощение)

На рисунке 2 представлено несколько вычисленных спектров значений средних коэффициентов звукопоглощения, в том числе, полученные минимальный и максимальный спектры. Можно убедиться, что у подавляющего большинства спектров, во всем частотном диапазоне значение среднего коэффициента звукопоглощения находится в

пределах 0,1-0,2, то есть, в соответствии с классификацией, представленной в таблице 10, все без исключения исследованные помещения имеют с точки зрения шумозащиты очень низкие акустические качества.

Граничный радиус является вспомогательной акустической характеристикой производственного помещения, связанной с оценкой эффективности акустических экранов, установленных в помещении. Вычисленные значения граничного радиуса, на примере четырех помещений различных предприятий показаны на рисунке 3.

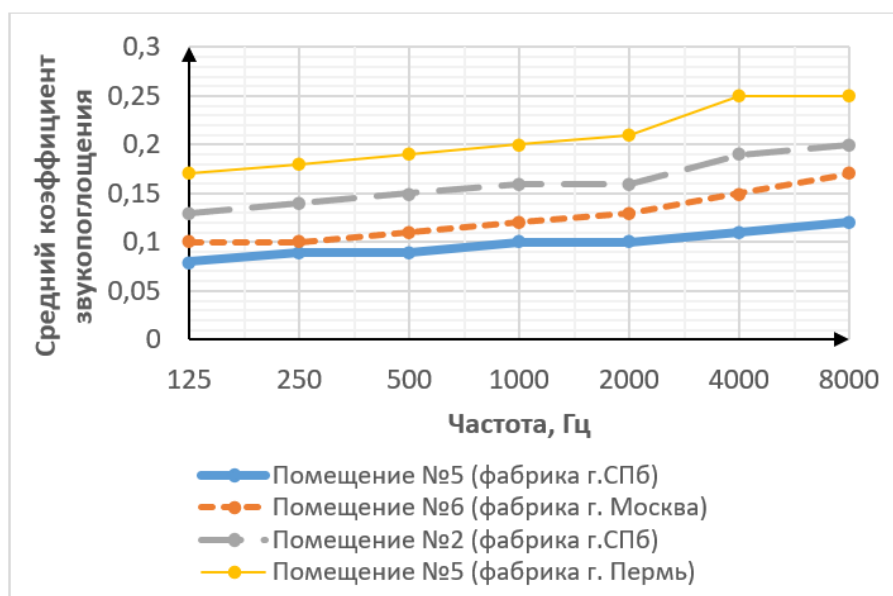


Рисунок 2 – Рассчитанные спектры среднего коэффициента звукопоглощения в отдельных производственных помещениях фабрик: 1 - помещение №5 (фабрика г. Санкт-Петербург), 2 - помещение №6 (фабрика г. Москва), 3 - помещение №2 (фабрика г. Санкт-Петербург), 4 - помещение 5 (фабрика г. Пермь)

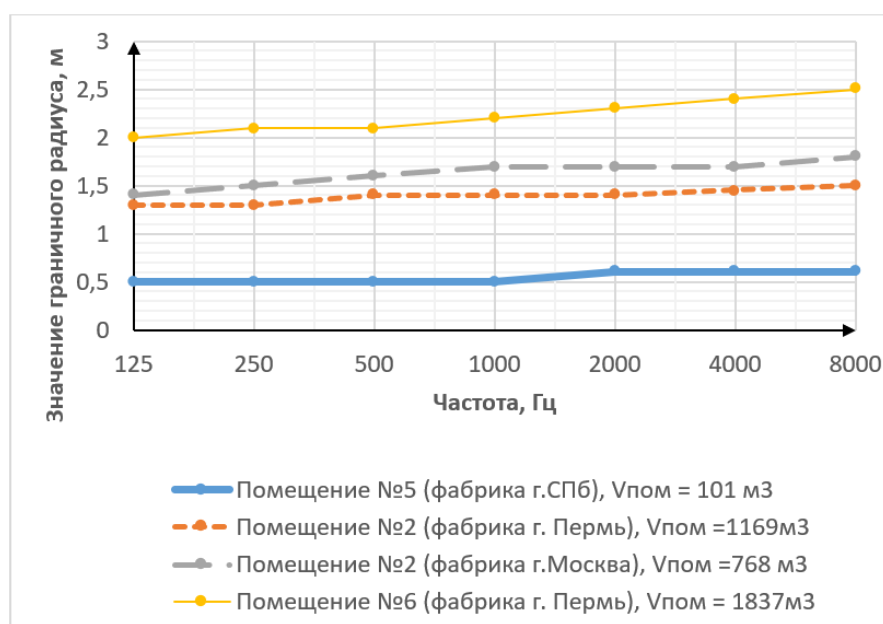


Рисунок 3 – Вычисленные значения граничного радиуса ($r_{гр}$) в отдельных производственных помещениях: 1 - помещение №5 (фабрика г.Санкт-Петербург); 2 - помещение №2 (фабрика г. Пермь); 3 - помещение №4 (фабрика г. Москва); 4 - помещение №6 (фабрика г. Пермь)

Отметим слабо выраженный частотный характер полученных спектров. Величина граничного радиуса связана не только с акустическими свойствами помещений, но и с их объемом. При увеличении объема помещения граничной радиус существенно возрастает.

Величина граничного радиуса для обследованных помещений колеблется от 0,5 - 0,7 м до 2,0 - 2,3 м. Это показывает широкие возможности использования экранов для снижения шума на рабочих местах и в рабочих зонах.

Заключение

На основании выполненных исследований сделан вывод о том, что основной характеристикой акустических качеств производственных помещений (с точки зрения разработки и применения средств шумозащиты) является средний коэффициент звукопоглощения помещения. Предложена классификация производственных помещений в зависимости от величины среднего коэффициента звукопоглощения производственного помещения, основанная на анализе значений поправки на характер звукового поля в помещении. Предложено три класса производственных помещений в зависимости от значений среднего коэффициента звукопоглощения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$:

I класс ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}=0,1-0,2$), характеристика помещения – гулкое, звуковое поле в помещении – диффузное, акустическое качество помещения – очень низкое (помещение не имеет акустической обработки);

II класс ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}=0,3-0,4$), характеристика помещения – малой заглушенности, звуковое поле – квазидиффузное, акустическая качество помещение – среднее;

III класс ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}=0,5-0,6$), характеристика помещения – заглушенное, звуковое поле – квазидиффузное, акустическое качество помещения – высокое (в помещении имеются достаточно эффективные звукопоглощающие конструкции).

Акустические свойства промышленных помещений были изучены на основании экспериментальных исследований 22 помещений (цехов и производственных участков), для каждого из которых были выполнены вычисления среднего коэффициента звукопоглощения (основной показатель) и граничного радиуса (вспомогательный показатель, связанный с оценкой эффективностью акустических экранов в помещении) в октавных полосах со среднегеометрическим частотным диапазоном 125-8000 Гц. Оба исследованных параметра имеют частотно зависимый характер с увеличением значений при увеличении частоты. Исходной характеристикой для расчётов являлись измеренные характеристики времени реверберации, которые располагались в диапазоне значений от 0,8-0,5 до 2,3-1,3 с. Вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения находится в диапазоне 0,1-0,2 (за исключением небольшого числа спектров, где эти значения составили 0,21-0,23 в частота диапазоне 2000-8000 Гц). В соответствии с предложенной классификацией все обследованные помещения имеют низкие акустические качества. Значение граничного радиуса зависит от объема помещения и находятся в диапазоне значений от 0,5-0,7 м до 2,0-2,3 м. (для помещений большого объема). Значения граничного радиуса необходимы для расчётов акустической эффективности экранов, устанавливаемых в производственных помещениях для защиты от повышенного шума.

Список использованных источников

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник для вузов - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Логос, 2015. - 431 с. - ISBN 978-5-98704-659-3.

2. Тупов В.Б. Снижение шума от объектов большой и малой энергетики // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 18–20 марта 2015 года под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Айсинг", 2015. – С. 55-64.

3. МИ ПКФ 12-006 «Однократные прямые измерения уровней звука, звукового давления и ускорения приборами серий ОКТАВА и ЭКОФИЗИКА. Методика выполнения измерений».

4. СанПиН 1.2.3685-21. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Санитарные правила и нормы: утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.21 № 2: введены в действие 01.03.21. – Текст: электронный. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/516587187>.

5. Свод правил СП 51.13330.2011 «Защита от шума» Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 // Техэксперт: [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения 29.07.2025).

References

1. Ivanov N.I. Engineering Acoustics. Theory and Practice of Noise Control: Textbook for Universities - 4th Edition, Revised. and add. - M.: Logos, 2015. - 431 p. - ISBN 978-5-98704-659-3.

2. Tupov V.B. Reducing Noise from Large and Small Power Plants // Protection from High Noise and Vibration: Proceedings of the V All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, St. Petersburg, March 18–20, 2015, edited by N.I. Ivanov. – St. Petersburg: Aising LLC, 2015. – P. 55-64.

3. MI PKF 12-006 "Single-time direct measurements of sound levels, sound pressure and acceleration by devices of the OKTAVA and ECOPHYSICS series. Measurement procedure".

4. SanPiN 1.2.3685-21. Sanitary and epidemiological rules and regulations. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of human habitat factors. Sanitary rules and regulations: approved by the Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 28.01.21 No. 2: put into effect on 01.03.21. – Text: electronic. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/516587187>.

5. Code of rules SP 51.13330.2011 "Protection against noise" Updated version of SNiP 23-03-2003 // Tekhekspert: [Electronic resource]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (accessed on 29.07.2025).