

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. Выполнены измерения 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 существенно снижает эффективность применения шумозащиты (например, акустических экранов). На основании полученных данных об акустических свойствах и, в частности, о средних коэффициентах звукопоглощения реальных производственных помещений, разработана классификация помещений.

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.³¹ 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. Acoustical characteristics of industrial rooms, including measured values of reverberation time and calculated values of the average sound absorption coefficient and the values of the boundary reverberation radius in octave bands with the geometric mean frequencies of 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 and 8000 Hz were analyzed. Measurements were performed in 22 rooms at three factories in St. Petersburg, Moscow and Perm. It is shown that all studied rooms have rather high degree of

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

reverberation. It is obtained that average sound absorption coefficient of the studied rooms is about 0.15 - 0.2 in the considered frequency range, what significantly reduces noise measures effect (for instance, noise barriers insertion loss). Industrial room classification is derived based on acoustical properties of rooms including average sound absorption coefficients.

Keywords: industrial enterprise, room, reverberation time, average sound absorption coefficient, boundary reverberation radius, classification of premises

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 [1], [2]. Некоторые опыты показали, что при высокой степени реверберации и низких 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 и методических подходов [3], [4]. Для решения вопроса об эффективном применении АЭ на производственных помещениях 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 для определения очень важной и практически реализуемой характеристики – среднего коэффициента звукопоглощения помещения ($\bar{\alpha}$), который, как и все вышеперечисленные параметры, имеет частотно-зависимый характер.

Значение среднего коэффициента звукопоглощения и акустической постоянной помещения определяются по следующим формулам [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 с учетом требований [5], [6], геометрические параметры которых приведены в таблице 1. Объем помещений, указанный в таблице 1, 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 значений времени реверберации, измеренных в производственных помещениях, приведены в таблице 2.

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

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

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.

Во 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.

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

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

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 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.

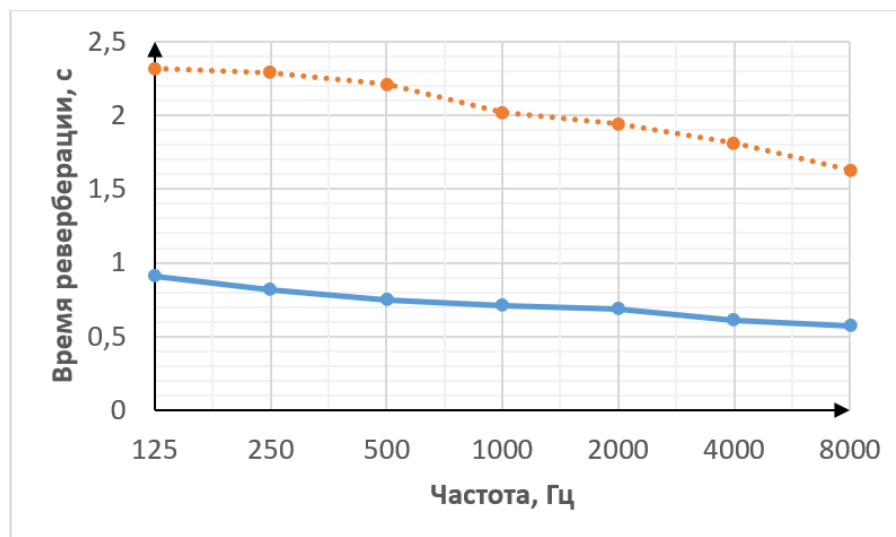


Рисунок 1 – Значения времени реверберации, полученные экспериментальным путем в производственных помещениях фабрик

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.

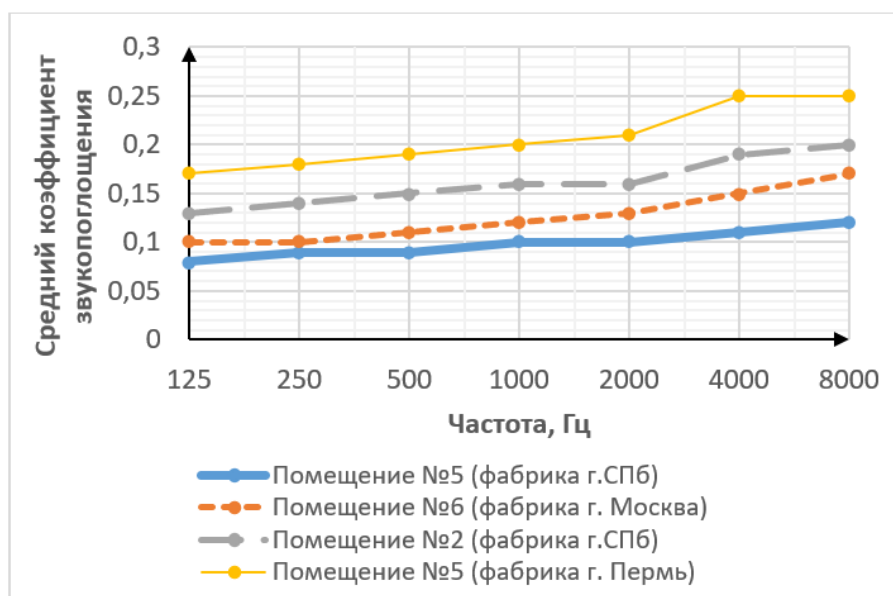


Рисунок 2 – Рассчитанные спектры среднего коэффициента звукопоглощения в отдельных производственных помещениях фабрик: 1 - помещение №5 (фабрика г. Санкт-Петербург), 2 - помещение №6 (фабрика г. Москва), 3 - помещение №2 (фабрика г. Санкт-Петербург), 4 - помещение 5 (фабрика г. Пермь)

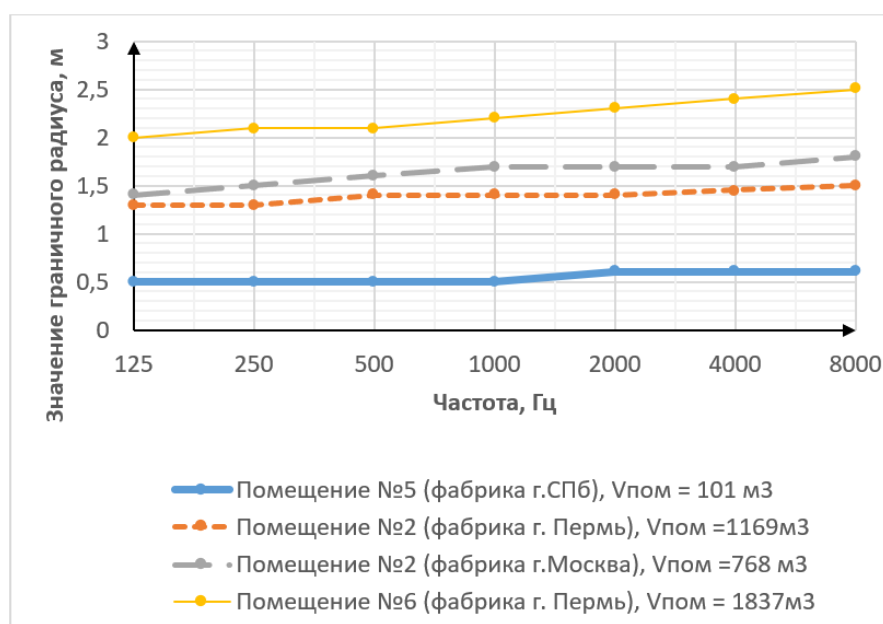


Рисунок 3 – Вычисленные значения граничного радиуса ($r_{гр}$) в отдельных производственных помещениях: 1 - помещение №5 (фабрика г.Санкт-Петербург); 2 - помещение №2 (фабрика г. Пермь); 3 - помещение №4 (фабрика г. Москва); 4 - помещение №6 (фабрика г. Пермь)

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, акустическое качество помещения – 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 находятся в диапазоне 0,1-0,2 (за исключением небольшого числа спектров, где эти значения составили 0,21-0,23 в частотах в диапазоне 2000-8000 Гц). В соответствии с предложенной классификацией все обследованные помещения имеют низкие акустические качества. Значение граничного радиуса зависит от объема помещения и находится 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. Тюрина, Н. В. Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами: специальность 01.04.06 "Акустика" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Тюрина Наталья Васильевна. – Санкт-Петербург, 2014. – 22 с.

2. Шашурин, А. Е. Новые технические и технологические решения для снижения акустического загрязнения шумозащитными экранами / А. Е. Шашурин. – Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2018. – 134 с. – ISBN 978-5-907054-27-1. – EDN KBGXFI.
3. ГОСТ 31287-2005 (ИСО 17624:2004) «Шум. Руководство по снижению шума в рабочих помещениях акустическими экранами». М.: Стандартиформ. 2006. -12 с.
4. 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).
5. 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.
6. МИ ПКФ 12-006 «Однократные прямые измерения уровней звука, звукового давления и ускорения приборами серий ОКТАВА и ЭКОФИЗИКА. Методика выполнения измерений».
7. Звукопоглощающая панель для шумозащитной конструкции. Шашурин А.Е., Заплетников И.Н., Кириченко В.А., Иванов Н.И., Бужинский К.В., Светлов В.В., Бойко Ю.С. Патент на полезную модель RU 171794 U1, 16.06.2017. Заявка № 2016141361 от 20.10.2016.
8. Мембранная звукопоглощающая панель. Заплетников И.Н., Кириченко В.А., Шашурин А.Е., Трощина А.Н. Патент на полезную модель RU 217670 U1, 12.04.2023.

References

1. Tyurina, N. V. Solving the problem of noise reduction in residential areas and workplaces in rooms with acoustic screens. Specialty 04/01/06 "Acoustics" : An abstract of the dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences / Tyurina Natalia Vasilyevna. – St. Petersburg, 2014. – 22 p.
2. Shashurin, A. E. New technical and technological solutions for reducing acoustic pollution by noise-proof screens / A. E. Shashurin. – Saint Petersburg : Baltic State Technical University "Voenmeh", 2018. - 134 p. – ISBN 978-5-907054-27-1. – EDN KBGXFI.
3. GOST 31287-2005 (ISO 17624:2004) «Noise. Guidelines for noise control in workrooms by means of acoustical screens. - M.: Standartinform, 2006. - 12 p.
4. 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).
5. 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.
6. 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".
7. Shashurin A.E., Zapletnikov I.N., Kirichenko V.A., Ivanov N.I., Buzhinsky K.V., Svetlov V.V., Boyko Yu.S. Utility model patent RU 171794 U1, 06/16/2017. Application No. 2016141361 dated 20.10.2016.
8. Membrane sound-absorbing panel. Zapletnikov I.N., Kirichenko V.A., Shashurin A.E., Troshchinina A.N. Utility model patent RU 217670 U1, 04/12/2023.