

УДК 699.844.3

*Панченко Елена Игоревна, студентка магистратуры
второго года обучения по направлению «Строительство»,
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический универси-
тет им. В.Г. Шухова,
Россия, г. Белгород*

*Тарасенко Виктория Николаевна, канд. техн. наук
доцент кафедры «Архитектурные конструкции»,
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический универси-
тет им. В.Г. Шухова,
Россия, г. Белгород*

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКОГО БЛАГОУСТРОЙСТВА УЧЕБНОЙ АУДИТОРИИ*

Аннотация: Планируя учебный процесс следует ориентироваться не только на функциональное назначение аудитории, но и учитывать акустический комфорт в аудитории многоцелевого назначения. Он складывается из ряда факторов, основными из которых следует считать геометрию помещения, наличие конструктивных приемов членения пространства, вид отделки элементов интерьера, особенности размещения звуковоспроизводящего оборудования.

Ключевые слова: комфортность пребывания, акустический комфорт, эквивалентные площади звукопоглощения материалов, акустика.

*Panchenko Elena Igorevna,
graduate student,*

*Tarasenko Viktoriya Nikolaevna,
Ph.D., Assistant Professor.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

ANALYSIS OF ACOUSTIC IMPROVEMENT CLASSROOMS *

Abstract: *Planning the learning process should focus not only on the functionality of the audience, but also to consider the acoustic comfort in the classroom, multi-purpose. It consists of a number of factors, the main of which should be considered the geometry of space, the presence of constructive methods of partitioning space, the type of finish on the interior, especially the placement of audio reproduction equipment.*

Key words: *the comfort, acoustic comfort, the equivalent area of sound absorption materials acoustics.*

Хорошая акустика и разборчивость речи являются достаточно важными аспектами, которые следует учитывать при проектировании аудиторного фонда высших учебных заведений. Нормы проектирования содержат образовательных учреждений не содержат четких рекомендаций по проектированию защиты от шума в аудиториях. Конкретные параметры и рекомендации приводятся только в СанПиН 2.4.3.1186-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации учебно-производственного процесса в образовательных учреждениях начального профессионального образования», но на школы и высшие учебные заведения они не распространяют. К тому же, этот документ перекладывает принятие решений на проектные организации, которых он обязывает представлять «акустические расчеты по снижению шума в учебных помещениях, включая время реверберации (затухания звука)». Звукопоглощающие материалы предписывается применять при отделке коридоров, что, безусловно, необходимо, но совершенно недостаточно.

При проектировании и улучшении акустических характеристик аудиторий необходимо иметь в виду, что источником звука здесь является человеческий голос, мощность которого принципиально ограничена и, кроме того, звуковая энергия в этом случае распространяется в виде волны, близкой к сферической, т.е. по всем направлениям примерно одинаково. Это значит,

что с увеличением расстояния от оратора количество звуковой энергии резко падает (пропорционально квадрату расстояния).

Очевидно, что в малой аудитории, во-первых, количество прямой звуковой энергии достаточно велико на любом зрительском месте, во-вторых, отраженная энергия (энергия первых отражений) подходит вслед за прямой через отрезки времени гарантированно меньшие 0,03 с. Кроме того, в таких аудиториях при наполнении их людьми время реверберации ввиду малого объема всегда невелико.

При неудачной форме аудитории (например, высоких потолках) улучшение акустических характеристик помещений может быть достигнуто устройством специальных отражателей звука, располагаемых над доской или на участках боковых стен. Такие отражатели равномерно распределяют звуковую энергию по помещению. Отражатели рекомендуется выполнять из материалов с низким коэффициентом звукопоглощения.

Определив форму отражателя и высоту его расположения, проверяют разность ходов прямого и отраженного звука для различных точек аудитории и особенно для мест, расположенных на расстоянии до 10 м от источника. При большем расстоянии запаздывание уменьшается. При определении размеров отражателя необходимо помнить, что он хорошо отражает звук с длиной волны меньше минимального размера отражателя примерно в 1,5 раза.

Определение основных конструктивных параметров учебной аудитории произведено для помещения учебной лаборатории строительной физики. Габаритные размеры помещения следующие: ширина (b) — 6,2 м, длина (l) — 8,4 м и высота до низа подвесной потолочной системы (h) — 3,0 м. Общий объем помещения составляет 156,24 м³.

Нормируемое значение объема воздуха на одно посадочное место в учебной аудитории составляет не менее 4,5 м³. Число посадочных мест в аудитории - 32. Таким образом, минимально возможный объем учебной аудитории при указанном числе посадочных мест должен быть в пределах

144 м³. Отклонение от реального объема помещения составляет 8 % и находится в пределах допустимого [1, 3].

Проверка общих геометрических размеров аудитории показала, что основные размеры (длина, ширина и высота) и их геометрическое отношение $l/b = 8,4/6,2 = 1,3$ находится в пределах нормы (от 1 до 2 для учебных помещений [3]).

Отражение волны необходимо для поддержания понижающего уровня прямого звука. Вследствие более длительного пути отражённые звуковые волны попадают к слушателю позднее. Поэтому соответствие этого пути, принятого по нормам, проверяют по формуле:

$$\Delta l = (l_1 + l_2) - l \leq 1,7 \text{ м,}$$

где l_1 — звук падающий, l_2 — звук, отраженный от поверхности.

Источник звука располагают на расстоянии 1,5 м от середины доски на оси симметрии в помещении. Высота от пола при этом составляет 1,2 м. Построение лучевого эскиза распространения звука в плане и на разрезе представлено на рис. 1.

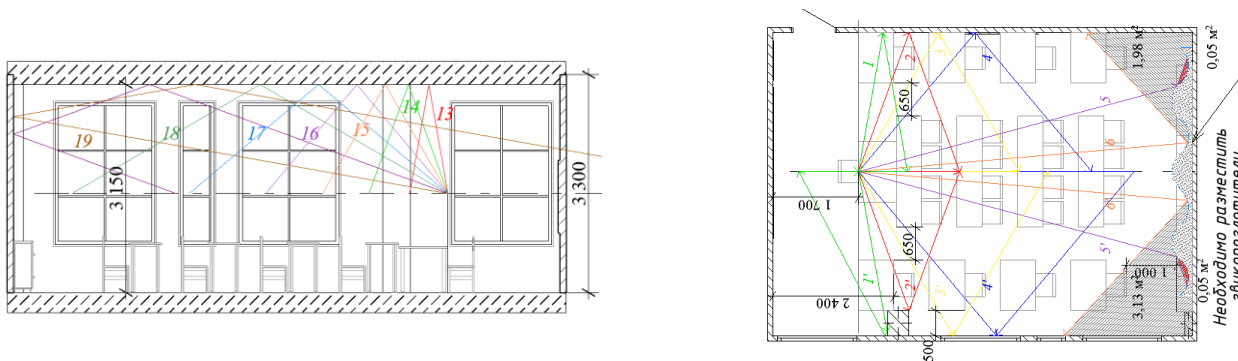


Рисунок 1. Построение эскиза звукового поля в плане и на разрезе для учебной аудитории

В торцевой части помещения на разрезе отмечена область «пархающего» эха. В связи с чем есть необходимость устройства звукопоглотителей, предназначенных для коррекции акустики помещения, устранения отраженных звуков, регулирования времени реверберации и выравнивания звукового поля в области низких частот.

При проектировании сооружений с учётом геометрической акустики в качестве главных учитывают звуковые лучи, падающие на поверхность, отражение которых соответствует закону: угол падения равен углу отражения.

На рис. 2 приведена развёртка стен помещения лаборатории с указанием площадей, различающихся по фактуре отделочных материалов.

Учитывая площади звукопоглощения и фактуру материалов, были рассчитаны примерные коэффициенты звукопоглощения на средних геометрических частотах (табл. 1, 2).

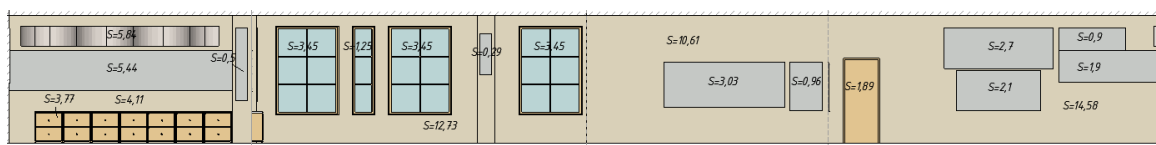


Рисунок 2. Развертка стен учебной аудитории. Площади разнофактурных поверхностей составляют: пола – 49,52 м²; боковых стен – 25,2 м²; торцевых стен – 18,6 м²; потолка – 55,68 м²; двери – 2,1 м²; оконных проемов – 9,6 м²

Таблица 1

Ведомость эквивалентных площадей звукопоглощения материалов и конструкций

Наименование поверхности интерьера	Вид и отделка поверхности	Площадь поверхности, м ²	Среднегеометрические частоты нормирования, Гц					
			125		500		2000	
			коэф. звукопоглощения α	$\alpha \times S$	коэф. звукопоглощения α	$\alpha \times S$	коэф. звукопоглощения α	$\alpha \times S$
Пол	Ламинат	49,52	0,05	2,48	0,04	1,98	0,07	3,47
Стены	Клеевая окраска	42,03	0,02	0,84	0,02	0,84	0,04	1,68
Потолок	Потолочные панели «Армстронг»	46,52	0,013	0,6	0,025	1,16	0,04	1,86
Дверь	Панель деревянная	1,89	0,5	0,95	0,08	0,15	0,04	0,08
Окна	Остекление с однокамерными стеклопакетами	10,93	0,30	3,28	0,15	1,64	0,06	0,66
Пособия		17,09	0,3	5,13	0,1	1,71	0,05	0,85
Звукопоглотитель		5,84	0,02	0,12	0,07	0,29	0,09	1,46
Доска		3,03	0,23	0,69	0,07	0,21	0,09	0,27

Столы		13,076	0,01	0,13	0,09	1,18	0,09	1,18
Суммарная площадь S, м²		192,96						
Суммарное отношение $\alpha \times S$ по среднегеометрическим частотам				5,56		8,255		9,4

Расчет времени реверберации обычно производят для среднегеометрических частот 125, 500 и 2000 Гц. Для расчета времени реверберации учебной аудитории предварительно определен воздушный объем помещения V , м³, общая площадь внутренних поверхностей $S_{\text{общ}}$, м², и общая эквивалентная площадь звукопоглощения (ЭПЗ) $A_{\text{общ}}$, м².

Таблица 2

Ведомость эквивалентных площадей звукопоглощения мебелью и элементами интерьера при заполнении аудитории на 70 %

Наименование поверхности звукопоглощения	Количество присутствующих обучающихся	Среднегеометрические частоты нормирования, Гц					
		125		500		2000	
		Эквивалентная площадь звукопоглощения A	$A \times n$	Эквивалентная площадь звукопоглощения A	$A \times n$	Эквивалентная площадь звукопоглощения A	$A \times n$
Поглощение звука одеждой слушателей, стульями и столами при заполнении аудитории на 70 % (общее число посадочных мест – 32)	22	0,2	4,4	0,3	6,6	0,35	7,7
Стул ученический с фанерной спинкой и сидением, пустой	4,5 (м ²)	0,02	0,09	0,03	0,14	0,04	0,18
Суммарное отношение $\alpha \times n$ по среднегеометрическим частотам			4,49		6,74		7,88

Определение времени реверберации на частотах от 125 до 2000 Гц производят с использованием формулы (1) в соответствии с требованиями нормативной литературы [1 – 3].

$$T = 0,163 \times \frac{V}{\varphi(\alpha) \times S_{\text{общ}}} \quad (\text{от } 125 \text{ Гц до } 2000 \text{ Гц}), \quad (1)$$

где V – реальный объем помещения; $S_{\text{общ}}$ – площадь пола аудитории.

На больших частотах (выше 2000 Гц) время реверберации принято определять по формуле (2).

$$T_{2000 \text{ Гц}} = 0,163 \times \frac{V}{4 \times m \times V + \varphi(\alpha) \times S_{\text{общ}}}, \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{A_{\text{общ}}}{S_{\text{общ}}}, \quad \text{где } A_{\text{общ}} = \Sigma \alpha \times S + \Sigma A \times n + \alpha_{\text{доб}} \times S_{\text{общ}}, \text{ при этом } \alpha_{\text{доб}} \text{ следует}$$

принять 0,06 для частоты 125 Гц и 0,04 для интервала частот от 500 до 4000 Гц включительно [3].

Тогда время реверберации на частоте 125 Гц составит:

$$A_{\text{общ.}} = 14,78 + 5,56 + 0,09 * 176,85 = 35,25; \quad (m^2).$$

$$\alpha = \frac{35,97}{176,85} = 0,21; \quad \phi = 0,24; \quad T = 0,163 \cdot \frac{155,9}{0,24 \cdot 176,85} = 0,61 (c).$$

Время реверберации на частоте 500 Гц составит:

$$A_{\text{общ.}} = 7,96 + 8,255 + 0,05 * 176,85 = 24,93 (m^2).$$

$$\alpha = \frac{24,93}{176,85} = 0,14; \quad \phi = 0,15; \quad T = 0,163 \cdot \frac{155,9}{0,5 \cdot 176,85} = 0,97 (c).$$

Время реверберации на частоте 2000 Гц составит:

$$A_{\text{общ.}} = 9,01 + 9,4 + 0,05 * 176,85 = 28,42 (m^2).$$

$$\alpha = \frac{28,42}{176,85} = 0,16; \quad \phi = 0,17; \quad T = 0,163 \cdot \frac{155,9}{0,17 * 176,85 + 0,0093 * 155,9} = 0,99 (c).$$

Таблица 3

Расчетное значение времени реверберации в учебной аудитории

Частота нормирования, Гц	$\dot{A}_{\text{ауд.}}$	α	ϕ	Время реверберации T, с
125	35,25	0,21	0,24	0,61
500	24,93	0,14	0,15	0,97
2000	28,42	0,16	0,17	0,99
Среднее значение времени реверберации в аудитории, с				0,86

Для учебной аудитории объёмом 150 м³ время реверберации должно находиться в пределах 0,9 с ± 10 % [17]. Выборка нормируемых показателей

представлена на рис. 3. Изучение основных показателей распределения звука в помещении лаборатории (см. табл. 3) показало, что расчётное время реверберации составляет 0,86 с.

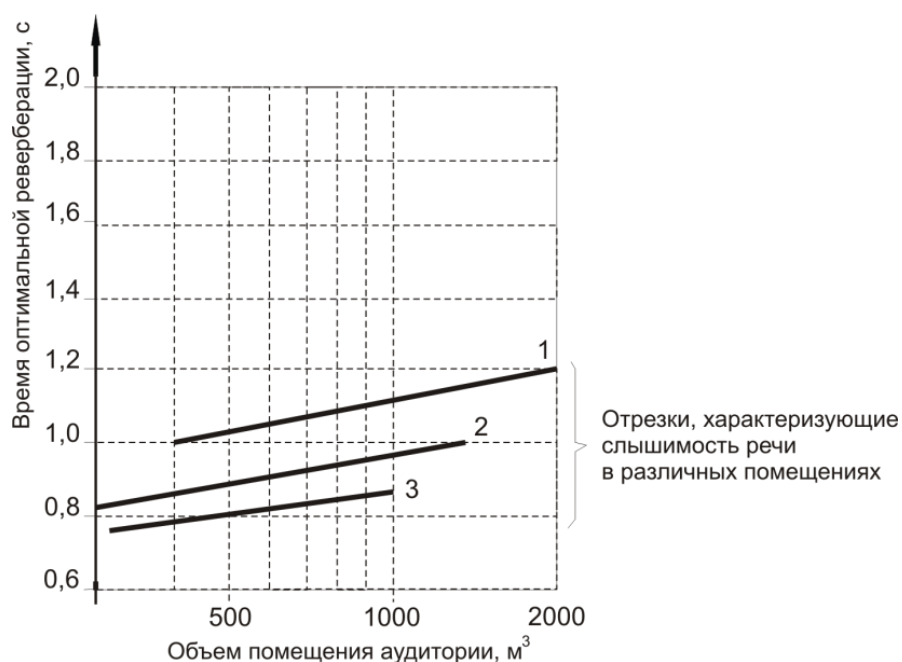


Рисунок 3. Схема определения рекомендуемого времени реверберации, где: 1 – залы многоцелевого назначения, в том числе для прослушивания камерной музыки; 2 – аудитории многоцелевого назначения; 3 – лекционные залы, залы заседаний, кинозалы

В качестве рекомендации по использованию лабораторного фонда аудиторий следует отметить, что многие из них изначально не приспособлены к прослушиванию в них лекций. Габаритные размеры, типы и виды отделки таких аудиторий ориентированы на проведение других видов учебных занятий. Это целесообразно учитывать в расписании занятий с целью повышения эффективности образования.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 / Минрегион России. М.: ОАО «ЦПП». 2011. 42 с.

2. Денисова Ю.В., Тарасенко В.Н. Звукоизоляция жилых и офисных помещений // Образование, наука, производство и управление. Т. II. Белгород: Изд-во БГТУ. 2011. С. 15—17.
3. Тарасенко В.Н., Соловьева Л.Н. Проблемы звукоизоляции в жилищном строительстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 48—52.
4. Lesovik R.V., Botsman L.N., Tarasenko V.N. Enhancement of Sound Insulation of Lightweight Concrete Based on Nanostructured Granular Aggregate // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, № 10. 2014. С. 1789—1793.
5. Тарасенко В.Н., Дегтев И.А. Звукоизоляция ограждающих конструкций // Приоритетные научные направления: от теории к практике: сб. научн. тр. XIV Междунар. научно-практич. конф. Новосибирск. 2014. С. 143—148.
6. Некипелова О.О., Некипелов М.И., Маслова Е.С., Урдаева Т.Н. Шум, как акустический стрессор, и меры борьбы с ним // Фундаментальные исследования. 2006. № 5. С. 55—57.
7. Боганик А.Г. Новые материалы для акустического комфорта // Технологии строительства. 2010. № 4 (73). С. 64—67.
8. Тарасенко В.Н., Дегтев И.А., Голиков Г.Г. Исследование шума в зале многоцелевого назначения СДК студентов при БГТУ им. В.Г. Шухова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 39 – 45.
9. Тарасенко В.Н., Дегтев И.А., Черныш Н.Д. Акустический комфорт зала многоцелевого назначения ДК студентов БГТУ им. В.Г. Шухова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 29 – 35.

© Е.И. Панченко, В.Н. Тарасенко, 2017