

DOI: 10.12737/article\_58e61337a393b5.75313059

Тарасенко В.Н., канд. техн. наук, доц.,  
Черныш Н.Д., доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## СОЗДАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО АКУСТИЧЕСКОГО РЕЖИМА В УЧЕБНОЙ АУДИТОРИИ КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР ОЦЕНКИ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЯ

vell.30@mail.ru

*Акустический комфорт аудиторного фонда не всегда отвечает функциональному использованию. При выполнении учебной нагрузки следует ориентироваться не только на функциональное назначение аудитории, но и учитывать конструктивные особенности помещений. Акустический комфорт в аудитории многоцелевого назначения 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 и конструкций, естественная акустика учебной аудитории.

Хорошая акустика – это возможность услышать «полезные», то есть несущие информацию, звуки. Из-за плохой акустики слова говорящего становятся невнятными, неразборчивыми. Не расслышав преподавателя, учащиеся отвлекаются, пропускают ключевые моменты объяснения и теряют интерес к информации. Далее студенты переключаются на посторонние дела. Преподавателю приходится повышать голос, чтобы быть услышанным. В ответ студенты шумят сильнее. Срабатывает психоакустический эффект, когда преподаватель говорит громче, но его слова не воспринимают слушатели, увлеченные собственными разговорами. Легкий шепот в аудитории перерастает в гвалт, с которым сложно справиться.

Определение основных архитектурно-строительных параметров учебной аудитории произведено для помещения учебной лаборатории строительной физики УК 530. 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 м<sup>3</sup>.

В соответствии с нормами, на одно посадочное место в учебной аудитории должен приходиться объем воздуха не менее 4,5 м<sup>3</sup>. Число посадочных мест в аудитории составляет 32. Таким образом, минимально возможный объем учебной аудитории при указанном числе посадочных мест должен быть в пределах 144 м<sup>3</sup>. 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.

В верхнем углу в торцевой части помещения на разрезе отмечена область «пархающего» эха. В связи с чем, есть необходимость использовать слуховые ловушки, предназначенные 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.

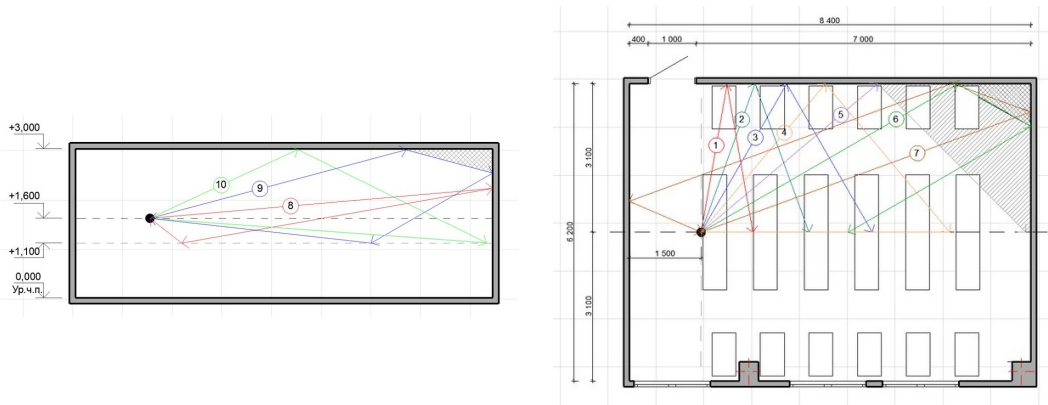


Рис. 1. Построение эскиза звукового поля в плане и на разрезе для учебной аудитории – лаборатории строительной физики

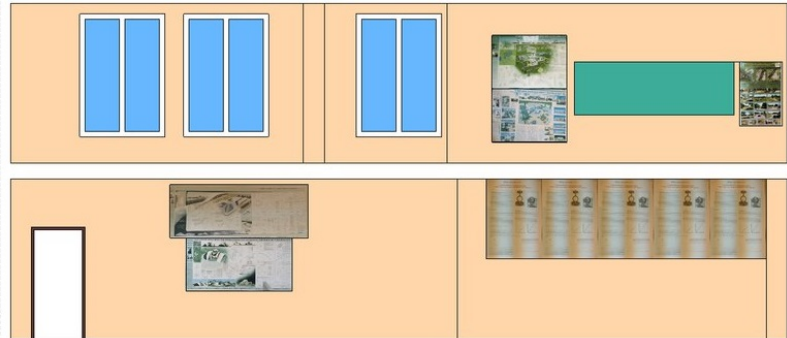


Рис. 2. Развертка стен учебной лаборатории строительной физики. При этом площади разнофактурных поверхностей составляют: пола – 52,08 м<sup>2</sup>; боковых стен – 25,2 м<sup>2</sup>; торцевых стен – 18,6 м<sup>2</sup>; потолка – 55,68 м<sup>2</sup>; двери – 2,1 м<sup>2</sup>; оконных проемов – 9,6 м<sup>2</sup>.

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

Расчет времени реверберации обычно производят для среднегеометрических частот 125,

500 и 2000 Гц. Для расчета времени реверберации учебной аудитории предварительно определен воздушный объем помещения  $V$ , м<sup>3</sup>, общая площадь внутренних поверхностей  $S_{общ.}$ , м<sup>2</sup>, и общая эквивалентная площадь звукопоглощения (ЭПЗ)  $A_{общ.}$ , м<sup>2</sup>.

Таблица 1

**Ведомость эквивалентных площадей звукопоглощения материалов и конструкций**

Наименование поверхности интерьера	Вид и отделка поверхности	Площадь поверхности, м <sup>2</sup>	Среднегеометрические частоты нормирования, Гц					
			125		500		2000	
			коэф. звукопоглощения $\alpha$	$\alpha \times S$	коэф. звукопоглощения $\alpha$	$\alpha \times S$	коэф. звукопоглощения $\alpha$	$\alpha \times S$
Пол аудитории	Линолеум	52,08	0,02	1,04	0,03	1,56	0,04	2,08
Боковые стены	Штукатурка	38,7	0,02	0,77	0,03	1,16	0,03	1,16
	Обои	38,7	0,10	3,87	0,15	5,81	0,38	14,71
Торцевые стены	Штукатурка	37,2	0,02	0,74	0,03	1,12	0,03	1,12
	Обои	37,2	0,10	3,72	0,15	5,58	0,38	14,14
Потолок	Потолочные панели «Армстронг»	55,68	0,45	25,06	0,95	52,90	0,95	52,90
Дверь	Панель деревянная	2,1	0,03	0,063	0,08	0,168	0,04	0,084
Окна	Переpleты оконные с остеклением однокамерными стеклопакетами	9,6	0,30	2,88	0,15	1,44	0,06	0,58
<b>Суммарная площадь <math>S</math>, м<sup>2</sup></b>		<b>271,26</b>		<b>38,14</b>		<b>69,74</b>		<b>86,77</b>
<b>Суммарное отношение <math>\alpha \times S</math> по среднегеометрическим частотам</b>								

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	32	0,02	0,64	0,03	0,96	0,04	1,28
<b>Суммарное отношение <math>\alpha \times n</math> по среднегеометрическим частотам</b>			5,04		7,56		8,98

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

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

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

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

при этом  $\alpha_{\text{доб}}$  следует принять 0,06 для частоты 125 Гц и 0,04 для интервала частот от 500 до 4000 Гц включительно [3].

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

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

Тогда время реверберации на частоте 125 Гц составит:

$$A_{\text{общ.}} = 38,14 + 5,04 + 0,06 \cdot 271,26 = 59,46; \quad (\text{м}^2)$$

$$\alpha = \frac{59,46}{271,26} = 0,22; \quad \varphi = 0,25; \quad T = 0,163 \cdot \frac{156,24}{0,25 \cdot 271,26} = 0,58 \text{ (с)}$$

Время реверберации на частоте 500 Гц составит:

$$A_{\text{общ.}} = 69,74 + 7,56 + 0,04 \cdot 271,26 = 88,15 \quad (\text{м}^2)$$

$$\alpha = \frac{88,15}{271,26} = 0,32; \quad \varphi = 0,39; \quad T = 0,163 \cdot \frac{156,24}{0,39 \cdot 271,26} = 0,3 \text{ (с)}$$

Время реверберации на частоте 2000 Гц составит:

$$A_{\text{общ.}} = 86,77 + 8,98 + 0,04 \cdot 271,26 = 106,6 \quad (\text{м}^2)$$

$$\alpha = \frac{106,6}{271,26} = 0,39; \quad \varphi = 0,49; \quad T = 0,163 \cdot \frac{156,24}{0,49 \cdot 271,26} = 0,2 \text{ (с)}$$

Таблица 3

**Расчетное значение времени реверберации в учебной аудитории – лаборатории строительной физики**

Частота нормирования, Гц	$A_{\text{общ.}}$	$\alpha$	$\varphi$	Время реверберации $T$ , с
125	59,46	0,22	0,25	0,58
500	88,15	0,155	0,30	0,30
2000	106,6	0,192	0,42	0,20
<b>Среднее значение времени реверберации в аудитории, с</b>				0,36

Для учебной аудитории объемом  $150 \text{ м}^3$  время реверберации должно находиться в пределах  $0,76 \text{ с} \pm 10 \%$  [17]. Выборка нормируемых показателей представлена на рис. 3. Изучение основных показателей распределения звука в

помещении лаборатории (см. табл. 3) показало, что расчетное время реверберации составляет  $0,36 \text{ с}$ , что несоизмеримо меньше требуемого показателя.

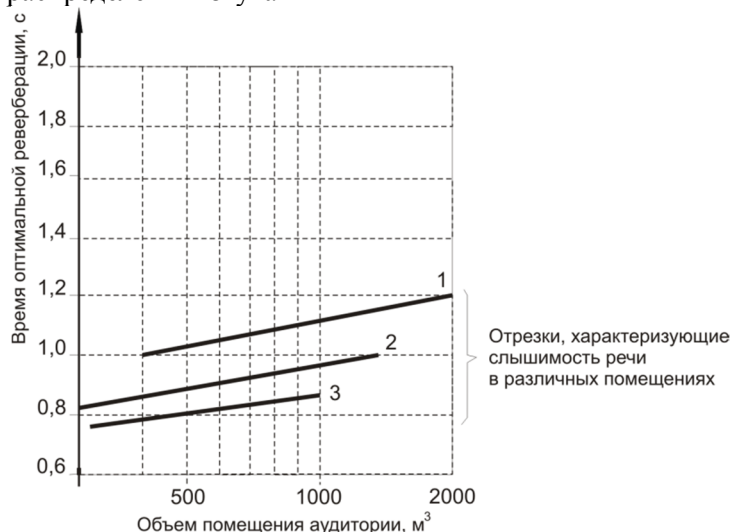


Рис. 3. Схема определения рекомендуемого времени реверберации, где: 1 – залы многоцелевого назначения, в том числе для прослушивания камерной музыки; 2 – аудитории многоцелевого назначения; 3 – лекционные залы, залы заседаний, кинозалы

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.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. МУК 4.3.2194-07. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях: методические указания. М. 2007. 19 с.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и территории жилой застройки. М. 1996. 8 с.
3. ГОСТ 12.1.036-81 (СТ СЭВ 2834-80). Система стандартов безопасности труда. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях. М.: ИПК Изд-во стандартов. 2001. 6 с.
4. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 / Минрегион России. М.: ОАО «ЦПП». 2011. 42 с.
5. 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.
6. 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.

7. 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.

8. Тарасенко В.Н., Дегтев И.А. Звукоизоляция ограждающих конструкций // Приоритетные научные направления: от теории к практике: сб. науч. тр. XIV Междунар. научно-практич. конф. Новосибирск. 2014. С. 143–148.

9. Тарасенко В.Н. Проектирование шумозащитных сооружений // Научные технологии и инновации: сб. науч. тр. Междунар. научно-практич. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). Белгород: Изд-во БГТУ. 2014. С. 115–117.

10. Васильев И.В. Обзор многоканальных систем коррекции акустики // Молодой ученый. 2016. №5.

11. 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.

12. Наугольных К.А., Рыбак С.А. Распространение звука в неустойчивом атмосферном слое // Акустический журнал. 2007. № 53. С. 477–480.

13. Арабаджи В.И., Рудик К.И. О спектрах некоторых шумов естественного происхождения // Акустический журнал. 1962. № 8. С. 466–468.

14. Ланэ М.Ю., Сухов В.Н. Акустика зрительного зала московского академического музыкального театра имени К. С. Станиславского и В. И. Немировича-Данченко. Электронный журнал «Техническая акустика» <http://ejta.org>. Вып. № 8. Том 8. 2008.

15. Боганик А.Г. Новые материалы для акустического комфорта // Технологии строительства. 2010. № 4 (73). С. 64–67.

16. Боганик А.Г. Новые решения для звукоизоляции помещений // Технологии строительства. 2007. № 7 (55). С. 80–81.

17. Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н. Микроклимат селитебной территории как многоком-

понентная среда архитектурно-строительного проектирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 57–61.

18. 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.

19. 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.

---

**Tarasenko V.N., Chernysh N.D.**

**CREATING AN OPTIMAL ACOUSTIC MODE IN THE CLASSROOM AS AN IMPORTANT FACTOR IN THE EVALUATION OF MICROCLIMATIC CONDITIONS**

*The acoustic comfort of the classrooms do not always meet functional use. When performing a training activity should focus not only on the functionality of the audience, but also take into account the constructive features of the premises. Acoustic comfort in the classroom, multi-purpose 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 of materials and structures, the natural acoustics of the classrooms.*

---

**Тарасенко Виктория Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурных конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: vell.30@mail.ru

**Черныш Надежда Дмитриевна**, доцент кафедры архитектурных конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: konstarch@mail.ru