Тарасенко В.Н., канд. техн. наук, доц.,
Дегтев И.А., канд. техн. наук, проф.,
Черныш Н.Д., доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АКУСТИЧЕСКИЙ КОМФОРТ ЗАЛА МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДК СТУДЕНТОВ БГТУ ИМ. В.Г. ШУХОВА

vell.30@mail.ru

Акустика залов многоцелевого назначения складывается из ряда факторов, основными из которых следует считать геометрию зала, наличие балконов и других конструктивных приемов членения пространства зала, вид отделки элементов интерьера, особенности размещения звуковоспроизводящего оборудования, наличие и вид звукопоглотителей.

Ключевые слова: *комфортность пребывания, звукопоглощение, электроакустические системы, эквивалентные площади звукопоглощения материалов и конструкций.*

Зал для проведения культурно-массовых мероприятий — это сложный, высокотехнологичный комплекс, элементы которого связаны с функциональным назначением. Акустическое благоустройство играет не последнюю роль в обеспечении комфорта зрителей. Акустику принято считать хорошей, если зал многоцелевого назначения подходит для проведения мероприятий разного рода, при этом полезные звуки акцентированы, а посторонние устранены до уровня, не нарушающего комфорт восприятия.

Акустический комфорт зала складывается из следующих составляющих:

– обеспечение зрителей достаточной звуковой энергией;

– создание диффузного звукового поля;

– исключение эха и фокусировки звука;

– обеспечение оптимального времени реверберации;

– минимизация посторонних шумов.

Оценка зала, в котором звучание музыки и речи признано высокого качества, основана на законах распространения звуковых волн в закрытом помещении, на законах отражения и поглощения звука различными видами поверхности. Акустический комфорт подразумевает баланс между процессами поглощение и отражение звуковой энергии.

В залах многоцелевого назначения для проведения звуковых программ различного типа предусматривают размещение звуковоспроизводящего оборудования, которое обеспечивает изменение акустических свойств помещения в зависимости от вида программ. Для воспроизведения разных жанров музыки необходимы залы с разными акустическими параметрами, а в пределах одного зала следует обеспечить различную акустику на сцене и в зоне расположения слушателей. Залы, оборудованные акустическими системами (системами озвучивания), делят на две группы:

1) залы, в которых зрители воспринимают звук непосредственно со сцены и при помощи звукоусиления (лекционные, концертные залы, залы многоцелевого назначения);

2) залы, в которых зрители воспринимают звук только с помощью звуковоспроизводящей системы.

В лекционных и театральных залах системы звукоусиления предназначены для усиления речи; при исполнении концертных программ звукоусиление необходимо солистам, которых сопровождает оркестр. В обоих случаях микрофон, принимающий сигнал для его последующего усиления, находится в звуковом поле громкоговорителей, излучающих усиленный сигнал в зал, таким образом, система звукоусиления является системой с акустической обратной связью.

Обычно для усиления концертных программ и солистов в больших залах используют многоканальную стереофоническую систему, которая позволяет получать высококачественное усиление и сохранять акустическую пространственную картину. Традиционно применяют многоканальную систему звукоусиления. На входной стороне каждый из каналов имеет группу микрофонов. От микрофонов после усиления сигналы поступают к громкоговорителям и затем в зал. Сигнал, принятый ближайшим к источнику микрофоном, имеет более высокий уровень по сравнению с сигналами, принимаемыми другими микрофонами. Кроме того, первый сигнал опережает другие по времени. Данное соотношение уровней и временных сдвигов сохраняется и в сигналах, излучаемых громкоговорителями, что создает необходимый стереофонический эффект. Громкоговорители центрального канала располагают, как правило, над средней частью портала сцены, а громкоговорители боковых каналов — по краям портала и ниже громкоговорителей центральной группы.

В залах многоцелевого назначения необходимо управление временем и частотной характеристикой реверберации. Акустические системы помимо усиления звука могут выполнять функции регулирования времени реверберации (амбиофонические системы).

Выбор акустической аппаратуры, мест размещения микрофонов и громкоговорителей, коррекция частотной характеристики усиления осуществляется с учетом архитектурно-планировочного решения зала. Качество звука в первую очередь зависит от геометрических параметров помещения. Форма, размер, объем, вместимость зала, расположение архитектурных и интерьерных элементов позволяют решить значительную часть задач по созданию диффузного звукового поля и соотношения поступающей к слушателям отраженной и прямой звуковой энергии.

Прямая звуковая волна имеет существенно большее значение в залах, оборудованных акустическими системами. Для регулирования характеристик звукового поля применяют подвижные отражатели, поднимающиеся шторы-драпировки, раздвижные перегородки, вращающиеся экраны, имеющие различное звукопоглощение на внешней и тыльной сторонах, устройства, предназначенные для изменения объема помещения. Например, для изменения объема зала возможно применение оркестровой (акустической) раковины, что, несомненно, дает следующие преимущества:

– использовать зал для концертных программ, спектаклей позволяет устройство разборной раковины;

– отделение раковины от зала достигают опусканием экрана и изменением расположения отражателей на стенах и потолке;

– присоединение объема оркестровой раковины к объему зала позволяет увеличить время реверберации на средних частотах на 0,2 с;

– ограждающие поверхности раковины обеспечивают требуемую структуру ранних отражений и т.п.

Акустические свойства помещения могут значительно изменить характер звучания самой хорошей акустической системы.

Важным параметром акустики помещения считают диффузность звукового поля, которая характеризует равномерность распределения энергии отраженных волн. Требуемую диффузность звукового поля в многофункциональных залах достигают разнообразными способами. Например, стены и потолок могут быть расчленены отдельными поверхностями, расположенными в разных плоскостях и под разными углами таким образом, чтобы не искажалась частотная характеристика звуковой энергии. При этом, чем меньше площадь отражающей поверхности, тем лучше. Однако, гладкие поверхности препятствуют созданию необходимой диффузности звукового поля. Наличие в помещении параллельных поверхностей с высокой отражающей способностью приводит к образованию череды быстрых повторений звукового сигнала (порхающее эхо). Отклонение от параллельных стен на 2..3° или от одной стены на 5...6° ослабляет образование порхающего эха. Устранить это явление позволяет размещение на поверхностях звукопоглощающих или рассеивающих материалов, например, акустической пены «Sonex», материала типа тонкого коврового покрытия «Masonit'oM» или «Flutter Stix». Круглые и овальные поверхности, колонны, пилястры, ниши и дополнительные архитектурные элементы повышают диффузность, поскольку такие поверхности создают рассеянное (ненаправленное) отражение.

В случаях, когда невозможно изменить конструктивные особенности зала, устранить повторяющееся эхо позволяет размещение полуцилиндрических дефлекторов, выполненных из фанеры, гипса или из пенополиуретана.

Значимым акустическим параметром зала является время реверберации, необходимое для того, чтобы интенсивность звука после прекращения действия его источника уменьшилась до одной миллионной доли своей начальной величины. **Реверберация,** образуемая множеством звуков, накладывающихся один на другой или следующих один за другим, удлиняет прямой звук после его прекращения и препятствует его правильному восприятию. Реверберация не должна быть слишком короткой или слишком долгой: при долгой реверберации слоги в словах становятся нечеткими.

Важным условием для получения хорошей слышимости и разборчивости речи является функциональная способность материала поглощать звук. При проектировании залов уделяют большое внимание выбору материала строительных конструкций. Например, введение в качестве основного материала элементов конструкций дерева создает в залах особые акустические условия. Широкое развитие новых материалов позволяет использовать более экономичные и пожаробезопасные решения. В настоящее время для финишной отделки часто используют материал Basotect (Российское название

«ЭхоКор»), производство компании Basf, обладающий хорошей звукопоглощающей способностью, высокой огнестойкостью (Г-1) и презентабельным внешним видом.

Обследование акустического благоустройства и фактуры отделки звукопоглощающих поверхностей в зале многоцелевого назначения ДК БГТУ им. В.Г. Шухова проведено с целью оценки звукопоглощающей способности элементов интерьера зала (рис. 1) и определения возможности замены элементов потолочных систем без изменения базовых звукоотражающих характеристик на более современные облицовочные материалы.

Рис. 1. Элементы интерьера в зале многоцелевого назначения ДК БГТУ им. В.Г. Шухова

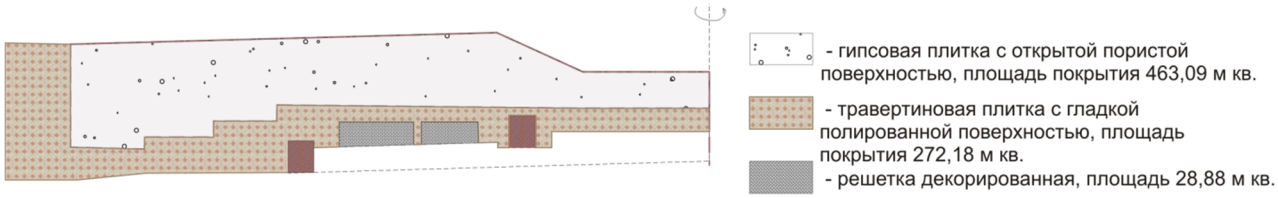

Рис. 2. Развертка стен зала многоцелевого назначения ДК БГТУ им. В.Г. Шухова

В результате натурных обмеров построена развертка стен с указанием материалов, их фактуры и занимаемой площади (рис. 2).

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

Для залов многоцелевого назначения расчет времени реверберации обычно производят для среднегеометрических частот 125, 500 и 2000 Гц.

Для расчета времени реверберации зала предварительно определен воздушный объем помещения V, м^3, общая площадь внутренних поверхностей $S_{общ.}$, м^2, и общая эквивалентная площадь звукопоглощения (ЭПЗ) $A_{общ.}$, м^2.

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	α×S	*коэф. звукопоглощения α*	α×S	*коэф. звукопоглощения α*	α×S
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Пол зала	Ковролин войлочного типа	255,18	0,11	28,07	0,37	94,42	0,27	68,89
Стены (см. развертку рис. 2)	Гипсовая плитка	463,09	0,013	6,02	0,025	11,58	0,04	18,52
	Травертиновая плитка	272,18	0,01	2,72	0,01	2,72	0,015	4,08
	Декорированная решетка	28,88	0,15	4,33	0,50	14,44	0,50	14,44
Потолок	Навесные потолочные плиты гипсовые	314,56	0,013	4,09	0,025	7,86	0,04	12,58
Пол сцены	Гладкие плиты древесно-волокнистые	255,07	0,05	12,75	0,03	7,65	0,03	7,65
Проем сцены	Портьеры, оборудование, задник	154,62	0,06	9,28	0,25	38,66	0,75	115,97
Двери	Панели деревянные	22,88	0,05	1,14	0,03	0,69	0,03	0,69
Суммарная площадь S, м^2		1766,46						
Суммарное отношение α×S по среднегеометрическим частотам				68,40		178,02		242,82

Таблица 2

Ведомость эквивалентных площадей звукопоглощения кресел при заполнении зала на 70 %

Наименование поверхности звукопоглощения	Количество зрителей	Среднегеометрические частоты нормирования, Гц					
		125		500		2000	
		Эквивалентная площадь звукопоглощения А	А×n	*Эквивалентная площадь звукопоглощения А*	А×n	*Эквивалентная площадь звукопоглощения А*	А×n
Поглощение звука одеждой слушателя и креслом при заполнении зала 70 % (общее число посадочных мест в СДК им. В.Г. Шухова – 1118)	783	0,09	70,47	0,38	297,54	0,41	321,03
Кресло полумягкое пустое	335	0,023	7,71	0,023	7,71	0,023	7,71
Суммарное отношение α×n по среднегеометрическим частотам			78,18		305,25		328,74

Общая площадь звукопоглощения $A_{общ.}$ на частоте, для которой ведется расчет, находится по формуле (1).

$$A_{общ.} = \sum \alpha \cdot S + \sum A + \alpha_{доб.} \cdot S_{общ.} \qquad (1)$$

где $\sum \alpha \cdot S$ – сумма произведений площадей отдельных поверхностей S, м^2, на их коэффициент звукопоглощения α для данной частоты; $\sum A$ – сумма ЭПЗ, м^2 слушателей и кресел; $\alpha_{доб.}$ – коэффициент добавочного звукопоглощения, учитывающий добавочное звукопоглощение, вызываемое проникновением звуковых воли в различные неплотности; $S_{общ.}$, м^2 – общая площадь поверностей.

Тогда время реверберации на частоте 125 Гц составит:

$$A_{общ.} = 68,4 + 7,71 + 0,09 \cdot 1766,46 = 235,09 \ (м^2).$$

$$\alpha = \frac{235,09}{1766,46} = 0,133; \quad \varphi = 0,25; \quad T = 0,163 \cdot \frac{8796,053}{0,25 \cdot 2766,46} = 2,073 \ (с).$$

Время реверберации на частоте 500 Гц составит:

$$A_{общ.} = 68,4 + 7,71 + 0,05 \cdot 1766,46 = 274,05 \ (м^2).$$

$$\alpha = \frac{274,05}{1766,46} = 0,155; \quad \varphi = 0,30; \quad T = 0,163 \cdot \frac{8796,053}{0,30 \cdot 2766,46} = 1,728 \ (с).$$

Время реверберации на частоте 2000 Гц составит:

$$A_{общ.} = 242,82 + 7,71 + 0,05 \cdot 1766,46 = 338,85 \ (м^2).$$

$$\alpha = \frac{338,85}{1766,46} = 0,192; \quad \varphi = 0,42; \quad T = 0,163 \cdot \frac{8796,053}{0,42 \cdot 2766,46} = 1,234 \ (с).$$

Таблица 3

Расчетное значение времени реверберации в зале многоцелевого назначения ДК БГТУ им. В.Г. Шухова

Частоты нормирования, Гц	$A_{общ.}$	Суммарная площадь S, м^2	α	φ	Время реверберации Т, с
1	*2*		*3*	*4*	*5*
125	253,09	2766,46	0,133	0,25	2,073
500	274,05		0,155	0,30	1,728
2000	338,85		0,192	0,42	1,234
Среднее время реверберации, с					1,678

Расчетное время реверберации (1,678 с) отличается от нормируемых значений [17] не более, чем на 10 %. Таким образом, для потолочной системы рекомендуется использовать материалы, имеющие коэффициент звукопоглощения, сравнимый с приведенным в табл. 1.

Для исключения многократных отражений от стен и потолка, снижения вероятности возникновения нежелательных резонансов, возможно увеличение коэффициента звукопоглощения для некоторых поверхностей с помощью акустических панелей ЭхоКор [20], которые представляют собой современный синтетиче-

ский материал — вспененный меламин. Он обладает хорошими звукоизоляционными характеристиками, особенно в диапазоне средних и низких частот от 500 до 1000 Гц (рис. 3), отвечает международным стандартам пожарной безопасности (класс КМ 1), долговременно стоек к очень высоким (до 240 ºС) температурам, не плавится, не образует горящих капель при контакте с пламенем. При этом панели можно окрашивать (или нанести на них принты) для гармоничной инсталляции в существующий интерьер помещения.

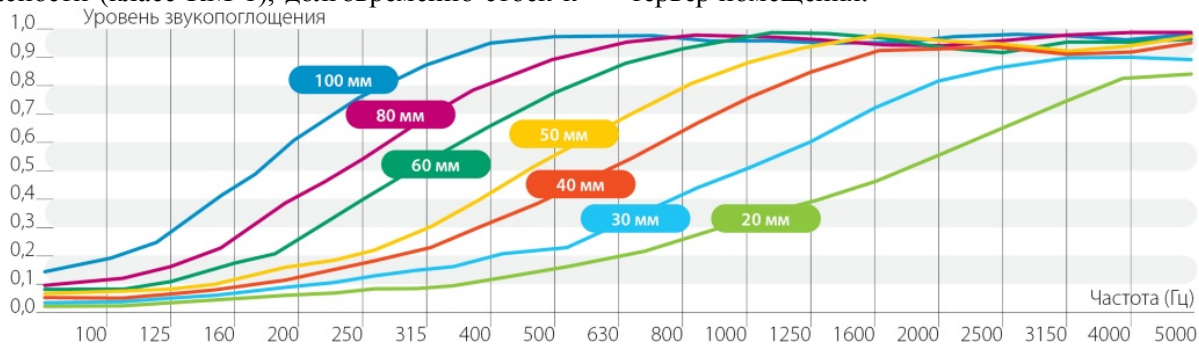

Рис. 3. Коэффициент звукопоглощения αs BASOTECT® G в зависимости от толщины материала в соответствии со стандартом ISO 10534-2 (импедансная труба) [20]

Хорошую акустическую обстановку нельзя увидеть или потрогать — ее можно только почувствовать. При этом акустику можно регулировать. Решение существующих акустических проблем в помещениях требует не только эффективного поглощения звука, но и минимального веса акустических материалов. Звукопоглощающие материалы предназначены для того, чтобы избавить слух от интерференции звука, гула низких частот, фонового шума, возникающих в результате отражений звука от стен, балок перекрытий и других поверхностей.

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. ГОСТ 31296.2-2006 (ISO 1996-2:2007). Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2. Определение уровней звукового давления. М.: ИПК Изд-во стандартов. 2008, 22 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. научн. тр. XIV Междунар. научно-практич. конф. Носибирск. 2014. С. 143–148.

9. Тарасенко В.Н. Проектирование шумозащитных сооружений // Наукоемкие 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 жур-

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

18.http://echocor.ru/articles/v_zone_akustichesskogo_komforta/

Tarasenko V.N., Degtev I.A., Chernysh N.D.

ACOUSTIC COMFORT MULTI-PURPOSE HALL DC STUDENTS OF BSTU NAMED AFTER. V. G. SHUKHOV

Acoustics of multi-purpose halls consists of a number of factors, the main of which should be the geometry of the hall, balconies and other design techniques division of space, type of finish of the interior elements, the particular placement of recording equipment, placement of absorbers.

The solution of the existing acoustic problems in rooms requires not only an effective sound absorption, but the minimum weight acoustic materials. Sound-absorbing materials are designed to relieve the ear from the interference sound, the rumble of low frequencies, background noise, caused by reflections from walls, ceiling beams and other surfaces.

***Key words**: the comfort, sound absorption, sound system, equivalent to the area of sound absorption of materials and structures.*

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

Дегтев Илья Алексеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры архитектурных конструкций.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: konstrarch@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: konstrarch@mail.ru