

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА АКУСТИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ
ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ
(актовый зал 11 корпуса БНТУ)**

Казакова Т.А, Красовский Д.Н.
Научный руководитель - Ковальчук О.И.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Для данного исследования был выбран актовый зал 11 корпуса БНТУ. По назначению он является многофункциональным, т.к. в нем проводятся и музыкальные мероприятия, и речевые (лекции, конференции). Проектирование естественной акустики такого зала является непростой задачей.

Звуковое поле зрительного зала формируется за счет прямого звука, первично отраженной звуковой энергии и многократно отраженной звуковой энергии. Одним из главных условий создания хорошего акустического качества в залах является диффузность звукового поля. Диффузность звукового поля характеризуется тем, что во всех точках поля усредненные во времени уровень звукового давления и поток, проходящей по любому направлению звуковой энергии, постоянны. Для создания хорошей акустики важно обеспечить в зале достаточно высокую степень диффузности.

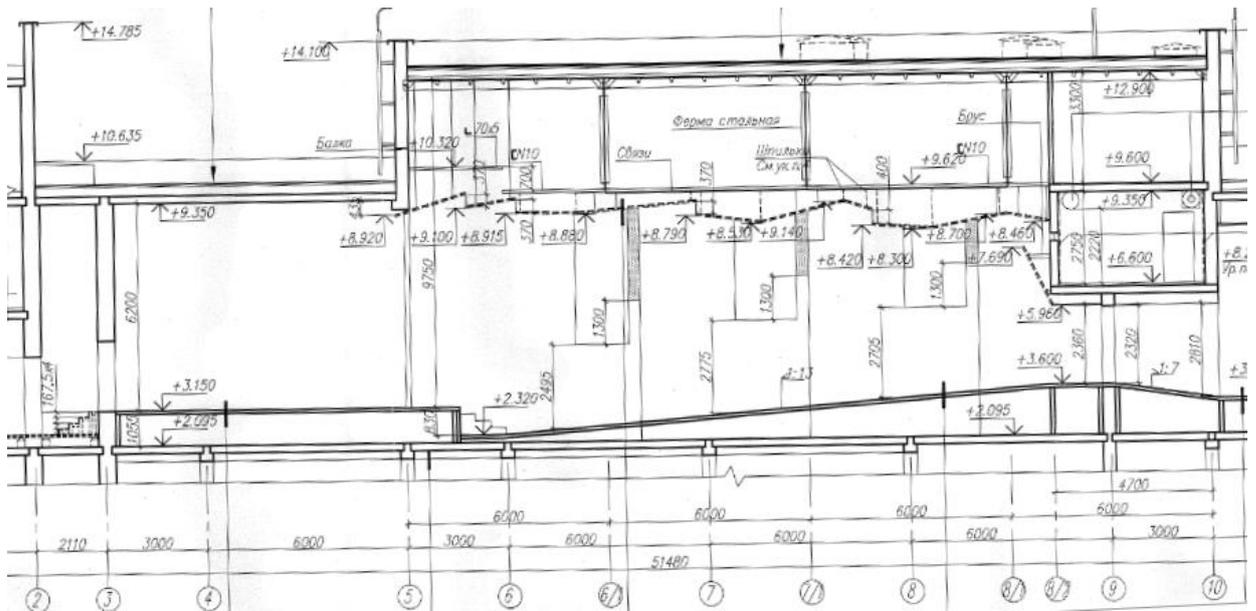
Акустические качества зала, в том числе и диффузность звукового поля, определяются его архитектурными параметрами:

- формой,
- размерами,
- очертанием и
- отделкой поверхностей.

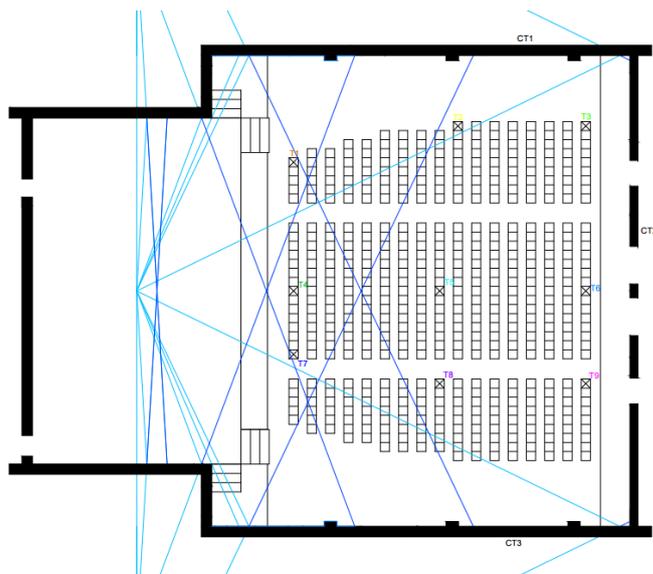
Форма плана исследуемого зала близка к квадрату, причем его глубина меньше ширины. Залы такой формы называют широкими.

Потолок в зале подвесной и имеет членение. Однако эти плоскости не отражают звук направленно, т.к. их размеры меньше, чем это требуется для направленного отражения звука (не менее 1,5 от длины волны для расчетных частот).

Потолок при такой конфигурации рассеивает звуковую энергию. Для музыкального зала эта ситуация приемлема, если только материал этих отражателей не является акустическим (поглощающим звук). Однако во время речевых программ этих первых направленно отраженных звуковых лучей будет не хватать, чтобы обеспечить достаточную четкость восприятия. Поэтому при построении звукового поля мы приняли потолок плоским.



Звуковое поле было построено методом мнимого источника:



№ точки	Количество звуковых лучей			всего:
	прямой	от стен	от потолка	
1	1	2	0	3
2	1	2	1	4
3	1	2	1	4
4	1	0	0	1
5	1	1	1	3
6	1	1	1	3
7	1	1	0	2
8	1	2	1	4
9	1	2	1	4

Звуковое поле данного зала не достигает высокой степени диффузности, т.к. к зрителям, сидящим на разных местах, поступает различное количество первично отраженных звуковых лучей от стен и от потолка. Таким образом, в зале есть места, где количество звуковой энергии, поступающей к зрителю, недостаточно.

Кроме того, в широких залах возможно появление такого акустического дефекта, как эхо, когда первично отраженный звук приходит к зрителю со значительным временем запаздывания по сравнению с прямым звуком (более 0,05 секунды). В таком случае для зрителя они звучат как два разных звука, а не как один, как было бы с небольшим временем запаздывания. После проведения необходимых расчетов, выяснилось, что участки боковых стен, расположенные ближе к сцене, действительно формируют эхо на зрительских местах у противоположной стены. Задняя

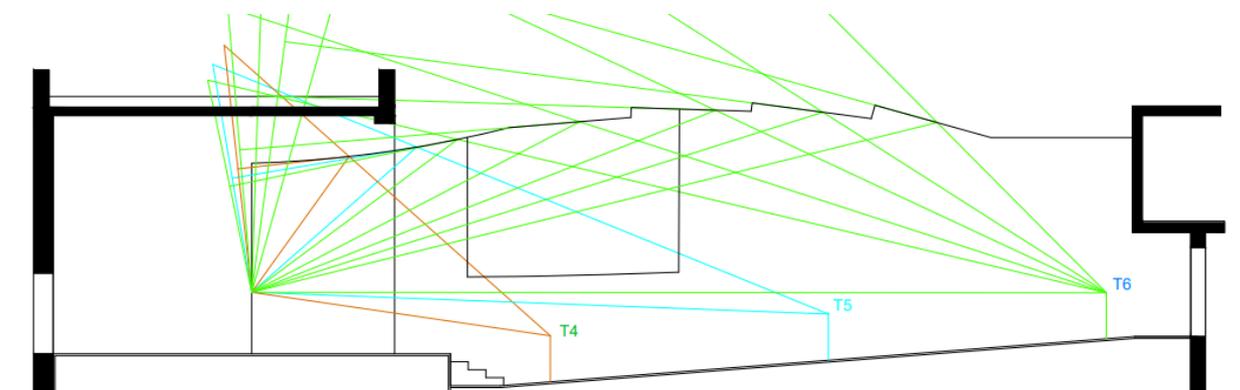
стена зала тоже может формировать эхо на первых рядах. К тому же звук, отраженный от задней стены может создавать стоячую волну, что приведет к тому, что сам оратор будет слышать эхо (повтор своего голоса спустя некоторое время).

Для того чтобы избавиться от такого дефекта необходимо всю заднюю стену и части боковых стен обработать акустическим материалом. Акустическим называется материал, поглощающий более 50% падающей на него звуковой энергии. В настоящее время на эти поверхности зала нанесена штукатурка, которая хорошо отражает звук.

С учетом предложенной обработки поверхностей акустическим материалом несложно заметить, что на некоторых зрительских местах становится еще меньше первично отраженной звуковой энергии. Таким образом, мы приходим к построению нового профиля потолка. Эти построения должны быть выполнены также методом мнимого источника. Сами отражатели должны быть выполнены из материалов, имеющих низкий коэффициент звукопоглощения, иметь геометрические размеры, способствующие направленному отражению звука и иметь угол поворота, дающий такое отражение. Отражатели на потолке позволят увеличить ясность звучания.

Поскольку на потолке не удалось разместить нужное количество отражателей (по расчету), то некоторые из них были размещены на боковых стенах в той части, которая не образует эхо. Кроме того, первый отражатель, расположенный над сценой выполнен в виде изогнутой плоскости, что позволяет ему отражать звук по всей глубине зала.

Кроме того, построением такого профиля потолка достигается еще одна цель: количество первично отраженных звуковых лучей должно увеличиваться по мере удаления от сцены. Это связано с тем, что количество звуковой энергии первично отраженного луча уменьшается при увеличении преодолеваемого расстояния. Предложенные конструкции отражателей могут быть трансформируемыми.



Время реверберации – это время, в течение которого энергия звука в помещении уменьшится в 10^6 раз (что соответствует снижению уровня звукового давления на 60 дБ). Другими словами, это время, в течение

которого звук слышен в зале после прекращения работы источника, благодаря многократным отражениям. Это один из важнейших критериев акустического качества закрытого помещения. Установлена зависимость времени реверберации от размеров зала и отделочных материалов, применяемых в нем.

Расчет производим для трех частот: 250Гц, 500Гц, 1000Гц.

№	Поверхность	F (м ²)	Материал	L	A	L	A	L	A
1	Потолок	443.18	Master Rigid Dp Gamma	0,25	110.8	0,15	66.48	0,35	115.11
2	Потолок	85.85	Master Rigid Dp	0,95	78.98	0,95	78.98	1.0	85.85
3	Пол до сцены	448.0	Паркет	0.04	17.92	0.07	31.36	0.06	26.88
4	Пол сцены	184.98	Паркет	0.04	7.4	0.07	12.95	0.06	11.1
5	Стена_1	45.7	Master Rigid Dp	0.80	36.56	0.85	38.85	0.90	41.13
6	Стена_1	36.8	Master Rigid Dp	0.80	29.44	0.85	31.28	0.90	33.12
7	Боковой отражатель	21.0	Master Rigid Dp Gamma	0,25	5.25	0,15	3.15	0,35	7.35
8	Стена_2	107.83	Master Rigid Dp	0.80	86.26	0.85	91.66	0.90	97.05
9	Двери	13.4	Sonaspay FC	0.58	7.77	0.91	12.19	0.89	11.926
10	Стена_3	45.7	Master Rigid Dp	0.80	36.56	0.85	38.85	0.90	41.13
11	Стена_3	36.8	Master Rigid Dp	0.80	29.44	0.85	31.28	0.90	33.12
12	Боковой отражатель	21.0	Master Rigid Dp Gamma	0,25	5.25	0,15	3.15	0,35	7.35
13	Стена_5	18.4	Master Rigid Dp	0.80	14.72	0.85	15.64	0.90	16.56
14	Стена_6	18.4	Master Rigid Dp	0.80	14.72	0.85	15.64	0.90	16.56
13	Боковой наклонный отражатель	22.2	Master Rigid Dp Gamma	0,25	5.55	0,15	3.33	0,35	7.77
14	Боковой наклонный отражатель	22.2	Master Rigid Dp Gamma	0,25	5.55	0,15	3.33	0,35	7.77
	Люди 80%	420 чел.	Полумягие	0,1	42	0,15	63	0,35	63
	Пустые кресла 20%	105 чел.	Полумягие	0,1	10.5	0,15	15.75	0,35	15.75

Для расчета времени реверберации необходимо рассчитать объем зала, площадь внутренних поверхностей и общую эквивалентную площадь звукопоглощения с учетом новых произведенных построений.

Для определения эквивалентной площади звукопоглощения (A) требуется подобрать отделочные материалы и узнать их коэффициенты звукопоглощения.

При расчете времени реверберации принимаем заполнение зала – 80% от общего числа мест, так как при заполнении слушателями мест сверх 80% эквивалентная площадь звукопоглощения уже не возрастает. Для того, чтобы время реверберации меньше зависело от заполнения мест следует установить мягкие или полумягие кресла.

Время реверберации принято рассчитывать по формулам Сэбина или Эйринга в зависимости от средневзвешенного коэффициента звукопоглощения зала. Поскольку они имеют значения больше 0,2 на каждой расчетной частоте, время реверберации рассчитываем по формуле Эйринга.

$A_{зала}$		546.15	556.87	638.52
$\Sigma F' (m^2)$	1571.44			
$V' (m^3)$	3120.2			
$T_{опт.}'$		1.85	1.54	1.38
$L_{ср.}$		0.35	0.35	0.4
$T_{ст.}$		1.7	1.7	1.5

Различают стандартное $T_{ст}$ (существующее в данном зале) и оптимальное $T_{опт}$ (наилучшее) время реверберации. Если разница между стандартным и оптимальным временем реверберации не превышает 10%, то акустика такого зала считается приемлемой. Если же стандартное время реверберации значительно превышает оптимальное, то зал является гулким. При обратной ситуации, когда оптимальное время реверберации значительно превышает стандартное, зал является глухим, в нем недостаточно отраженной звуковой энергии.

В результате расчетов мы убедились, что предложенная отделка зала позволяет достичь небольшой разницы между стандартным и оптимальным временем реверберации. Таким образом, акустика такого зала может считаться приемлемой.

Одним из способов откорректировать время реверберации залов может быть использование переменного звукопоглощения, а также трансформация звукоотражающих поверхностей и объема зала. Таким приемом пользуются и в универсальных залах, когда для воспроизведения музыкальных и речевых программ требуется различное время реверберации, а также при необходимости в одном зале использовать естественную и искусственную акустику.

Литература:

1. «Архитектурно-строительная акустика», С.Д. Ковригин, С.И. Крышов, Москва 1986
2. «Архитектурная физика». Коллектив авторов под редакцией Н.В. Оболенского; Москва, 2016
3. «Акустика помещений общественных зданий», Л.И.Макриненко; Москва, 1986