

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КАК ЗАВЕРШАЮЩЕГО ЭТАПА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПОМЕЩЕНИЙ ЗРИТЕЛЬНЫХ ЗАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ДРАМАТИЧЕСКОГО ТЕАТРА НА 500 МЕСТ

Введение

Создание оптимальных акустических условий в зрительном зале зависит не только от выбранной системы звукоусиления, но и от соблюдения архитектурно-строительных рекомендаций, полученных на основе расчетов, выполненных тремя теориями распространения звуковых волн в помещении.

Акустические свойства помещения во многом определяются следующими факторами: объемом и формой помещения; количеством и наличием публики; размерами, формой, конструкциями ограждающих поверхностей; применяемых материалов отделки поверхности помещения и распределение их на поверхностях помещения.

В той или иной степени акустические свойства связаны с объективными и субъективными критериями оценки акустики помещения, такими как: гулкость-жизненность; пространственность; различимость и ясность; разборчивость; громкость; теплота; отсутствие эха.

Кроме перечисленных факторов, согласно [1 – 3], на каждом зрительском месте необходимо сформировать оптимальную структуру реверберационного процесса, который условно разделяется на два участка;

– *ранний*, для которого еще несправедливо условие диффузности поля, и поэтому для его формирования важна последовательность прихода дискретных отражений, время их прихода, а также направление прихода. Для формирования этого участка используется геометрическая теория, позволяющая проектировать ограждающие конструкции требуемой формы;

– *завершающий*, для которого уже справедливо понятие диффузности поля, а значит, для оценки используется статистическая теория распространения звука в помещении. Для формирования этого участка важна не только форма ограждающих поверхностей, но и использование соответствующих материалов отделки помещения и их распределение по поверхностям.

Таким образом, задачу акустической экспертизы можно разделить на три этапа:

- *проверки* существующих архитектурно-строительных решений внутренних поверхностей помещения с целью выявления фокусирующих звуковые лучи поверхностей (снижающих диффузность поля), а также получение частотной зависимости времени реверберации и сравнения с оптимальным временем реверберации [4 – 10];

- *выработки рекомендаций* с целью повышения диффузности звукового поля и обеспечения оптимальной структуры реверберационного процесса (этап создания технического задания на разработку конструкций ограждающих поверхностей) [4 – 10];

- *акустического моделирования* помещения с рекомендуемыми отделочными материалами и рекомендуемыми в техническом задании ограждающими поверхностями.

Цель работы

1. Разработка рекомендаций по использованию отделочных материалов для всех поверхностей зрительного зала для обеспечения оптимально частотной зависимости времени реверберации;

2. Проверка предложенных на I, II этапах акустической экспертизы проектных решений по геометрии стеновых и потолочных панелей [9, 10];

3. Моделирование акустических параметров помещения драматического театра в программном пакете Ease 4.4 с учетом рекомендуемых материалов и архитектурно-строительных решений профилей потока и стен в зрительном зале;

4. Оценка предложенной системы озвучивания;
5. Анализ объективных параметров звукового поля в помещении;
6. Анализ структур реверберационных процессов на контрольных зрительских местах.

Основная часть

Для исследования акустических свойств помещения была создана модель помещения драматического тетра в Ease 4.4 (рис.1 – 2), которая учитывает все особенности геометрии стеновых панелей, потолочных, а также в ней учтено наличие зрительских мест со свойственным звукопоглощением и одежда сцены [6 – 10].

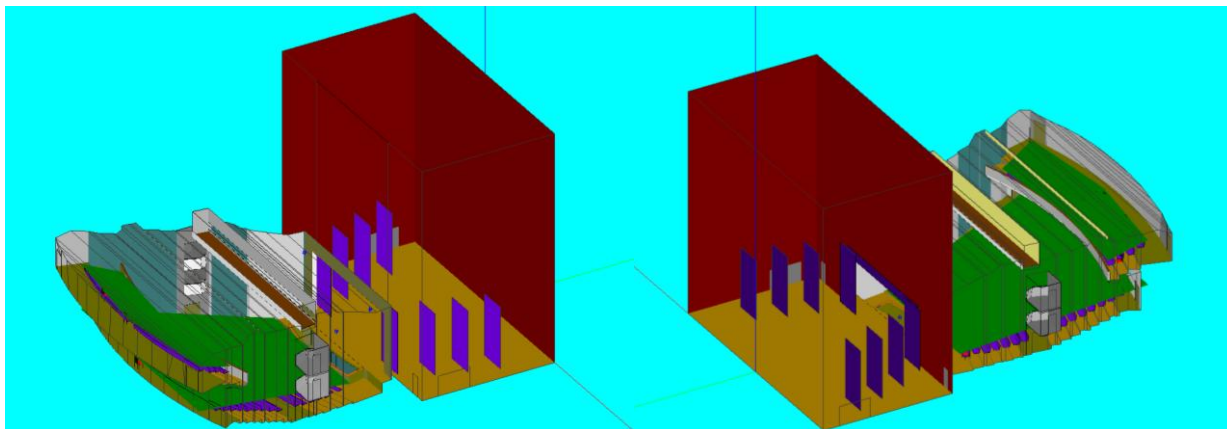


Рис. 1. Вид модели помещения в Ease 4.4

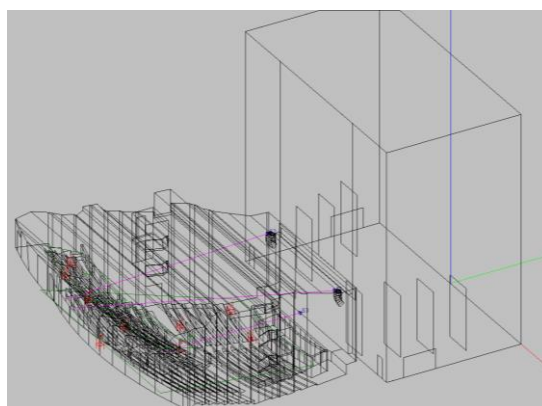


Рис. 2. Модель помещения в Ease 4.4

Проектные предложения по отделке помещения

1. Материалы отделки стен помещения сценической коробки (рис. 3) представлены в табл. 1

Таблица 1

Позиция	Название поверхности	Отделочный материал
1	Задняя стена сценической коробки	Звукопоглощающие панели Heradesign Superfine 25 мм, на основе 250 мм с заполнением минеральной ватой
2	Боковые стены сценической коробки	Звукопоглощающие панели Heradesign Superfine 25 мм, на основе 250 мм с заполнением минеральной ватой
3	Портальная стена сценической коробки	CLAY BRICK, кирпичная кладка
4	Часть портальной стены, примыкающая к зрительному залу (со стороны зала)	PLAST/LTHS, штукатурка гладкая по кирпичу или МДФ панели Décor Acoustic.

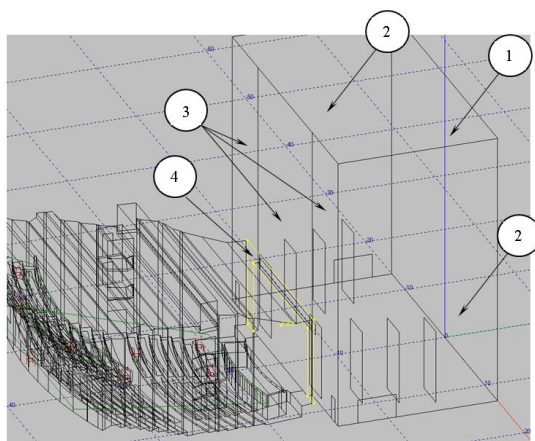


Рис. 3. Вид модели сценической коробки

2. Материалы отделки стен помещения зрительского зала (рис. 4, табл.2).

Таблица 2

Позиция	Отделочный материал
1	Листы гипсокартона 12,5 мм в два слоя (ГКЛ) или MDF панели Décor Acoustic
2	Перфорированные гипсокартонные звукопоглощающие плиты KNAUF_Perfpanel_B5-12/25Q

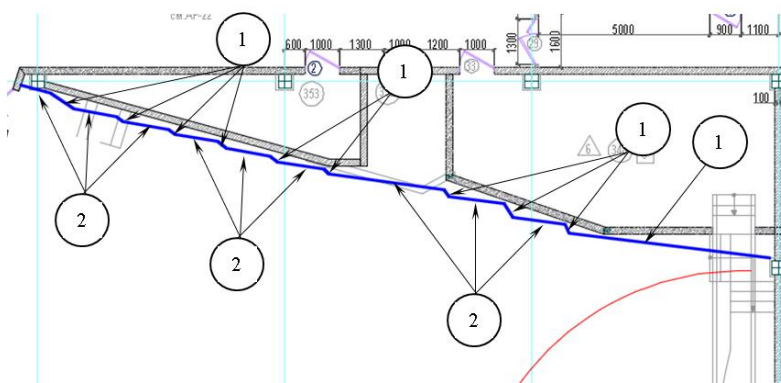


Рис. 4. Профиль стеновых панелей с обозначением отделочных материалов

3. Материалы отделки профиля потолка зрительного зала (рис. 5, табл.3).

Таблица 3

Позиция	Отделочный материал
1	Листы гипсокартона 12,5 мм в два слоя (ГКЛ)
2	Перфорированные гипсокартонные звукопоглощающие плиты KNAUF_Perfpanel_B5-12/25Q

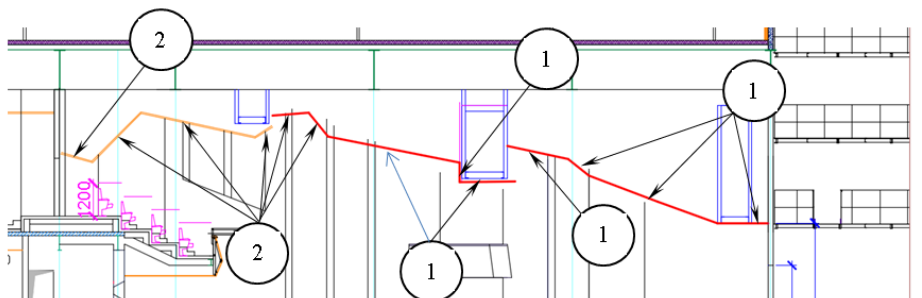


Рис. 5. Профиль потолочных звукоотражающих конструкций

4. Материалы отдела помещения выносного софита представлены на рис. 6 и в табл. 4.

Позиция	Название поверхности	Отделочный материал
1	Задняя стена и потолок помещения выносного софита	Перфорированные гипсокартонные звукопоглощающие плиты KNAUF_Perfpanel_B5-12/25Q
2	Передняя стена помещения выносного софита	Листы гипсокартона 12,5 мм в два слоя (ГКЛ)
3	Пол помещения выносного софита	Конструктивный пол, покрытый линолеумом
4	Боковые стены помещения выносного софита	Листы гипсокартона 12,5 мм в два слоя (ГКЛ)

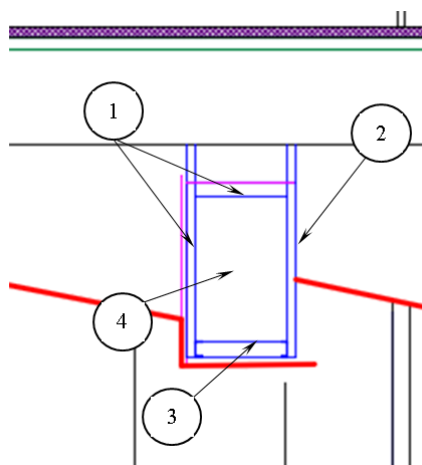


Рис. 6. Помещение выносного софита с обозначением отделочных материалов

5. Материалы отделки пола. Для обработки планшета сцены используется палубный брус 50 x 80 (высота) мм. Для настила пола зрительного зала – партера и балкона – используется паркет. Использование коврового покрытия нецелесообразно, так как это может привести к дополнительному нежелательному звукопоглощению на средних и высоких частотах.

6. Зрительские места. Свободные зрительские места должны обеспечивать определенное звукопоглощение для того, чтобы снизить зависимость времени реверберации от присутствия зрителей (особенно это важно во время проведения репетиций). Тогда, верхняя сторона поверхности сиденья и внутренняя сторона спинки сиденья должны быть обиты обивочным материалом (толщиной минимум 10 см) из пористого поролона с покрытием из ткани. Наружные поверхности сидений (которые не соприкасаются с сидящим человеком, т.е. задняя поверхность спинки сиденья и нижняя поверхность самого сиденья) должны сохранять отражающие способности во избежание чрезмерного дополнительного звукопоглощения, когда место занято. Когда место занято, звукопоглощающую функцию, в основном, должен выполнять сам сидящий человек, а не сиденье.

Коэффициент звукопоглощения (допуск $\pm 0,1$) незанятого зрительского места должен быть следующим (табл. 5).

Таблица 5

Частота, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
Коэффициенты звукопоглощения	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8

Правильная обивка из ткани (которая часто применяется в зрительных залах) также может обеспечить необходимое звукопоглощение в пустом зале.

7. Отделка ограждения балкона зрительного зала. Рекомендуется применить акустические MDF панели Décor Acoustic со стороны зрительного зала. Со стороны зрителей внутреннюю поверхность ограждения балкона оштукатурить и окрасить в желаемый цвет по проекту архитекторов.

8. Материалы отделки оркестровой ямы. Обработка поверхностей оркестровой ямы представлена на рис. 7 и в табл. 6.

Таблица 6

Позиция	Название поверхности	Отделочный материал
1	Передняя стенка	Звукопоглощающий материал SUPER-G
2	Задняя стенка, боковые и внешние поверхности оркестровой ямы	Деревянные панели MDF Décor Acoustic
3	Пол	Паркет

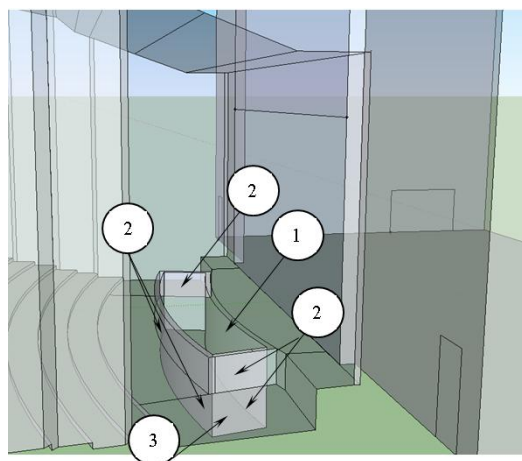
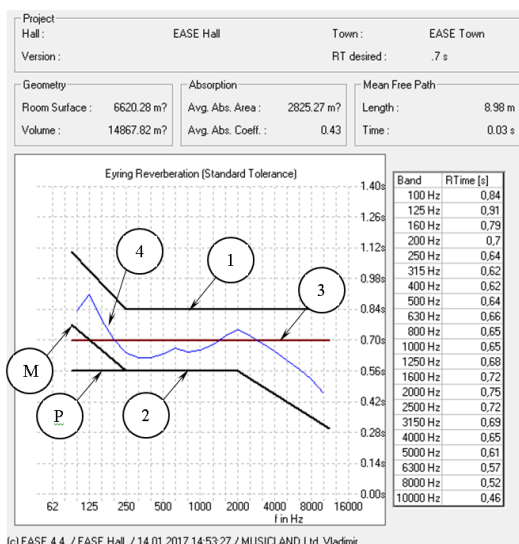


Рис. 7. Оркестровая яма с обозначением отделочных материалов

9. Двери. Двери филленчатые массивные – материал дерево, МДФ. Толщина полотна 35 – 40 мм. Во входных-выходных тамбурах для потока публики необходимо установить распашные двери в створе с внутренними стенами зала.

Результаты моделирования акустики помещения зрительного зала. График частотной зависимости времени реверберации для помещения драматического театра, полученный в EASE 4.4, представлен на рис.8.



- 1 – граница максимальных значений;
- 2 – граница минимальных значений; Р – для речи; М – для музыки;
- 3 – оптимальная величина RT60 (идеальная теоретическая);
- 4 – расчетная величина RT60 в диапазоне частот

Рис. 8.График частотной зависимости времени реверберации для помещения драматического театра (RT 60)

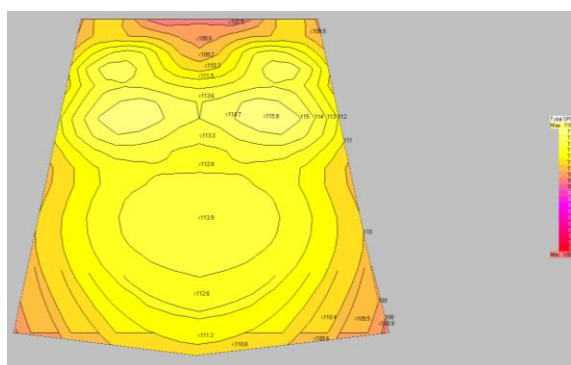


Рис. 9. Суммарный уровень звукового давления на зрительских местах

Оценка предложенной системы озвучивания. На рис. 9 представлен суммарный уровень звукового давления (Total SPL) на зрительских местах, развиваемый акустическими системами.

Анализ полученных результатов показывает, что предложенная система звукоусиления зала обеспечивает на всей площади зрительских мест звуковое давление в диапазоне от 107 до 115 дБ. Наименьшие значения развиваемого звукового давления находятся в области прохода между первым рядом и оркестровой ямой и в углах помещения около задней стенки, где также находятся проходы.

Анализ уровня прямого звука (Direct SPL) на зрительских местах также показывает достаточный уровень развиваемого звукового давления на всей площади прослушивания (рис. 10).

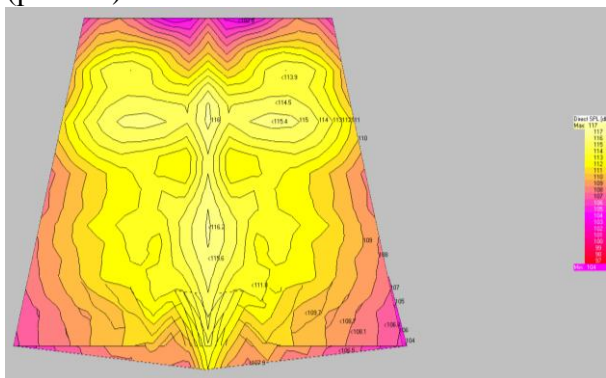


Рис. 10. Уровень прямого звука (Direct SPL) на зрительских местах

Различимость и ясность. Для оценки разборчивости используются такие показатели, как: %ALcons (percentage Articulation Loss of Consonants) – процент артикуляционных потерь согласных; STI (speech transmission index) – индекс передачи речи; AI_{cons} – это альтернативный показатель объективной оценки речевой ясности в помещении или для систем звукоусиления.

На рис. 11 представлен результат расчета процента артикуляционных потерь для проектируемого помещения зрительного зала драматического театра.

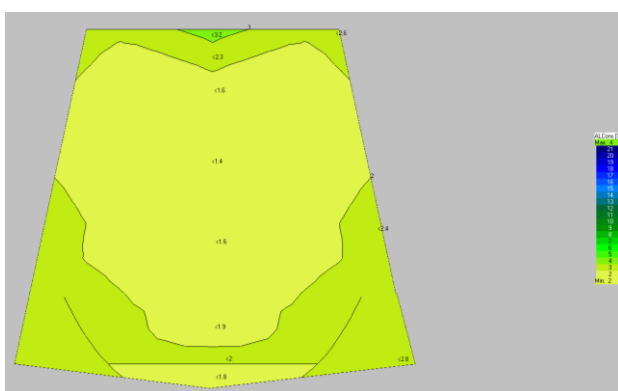


Рис. 11. Результаты расчета процента артикуляционных потерь AI_{cons}

Анализ результатов позволяет сделать вывод о практически *идеальной* полученной речевой ясности на всех зрительских местах – $AI_{cons} < 3\%$.

На рис. 12 приведены результаты расчета STI для всей площади зрительских мест: полученные значения коэффициента лежат в пределах от 0,74 до 0,93, что соответствует критерию от *хорошо* до *отлично*.

Ясность. Оценка качества акустики помещений представлена объективными качественными критериями: показателем прямого звука C_7 ; показателем речевой ясности C_{50} ; показателем музыкальной ясности C_{80} .

На рис. 13 представлены результаты расчета уровня прямого звука на всей площади зоны прослушивания.

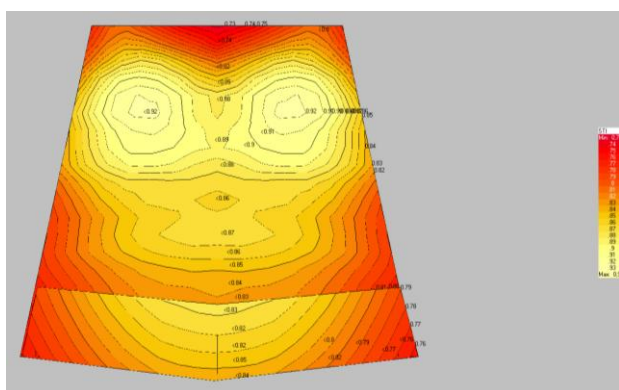


Рис. 12. Результаты расчета индекс передачи речи (STI)

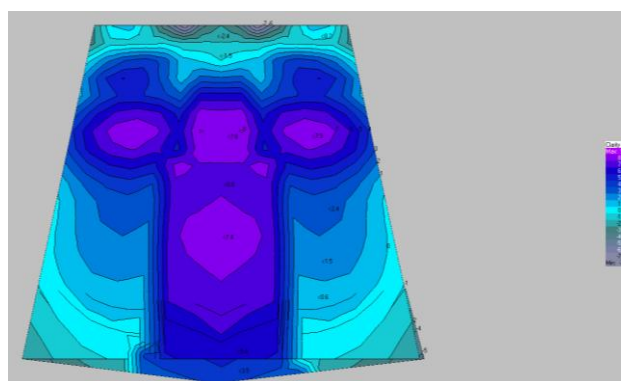


Рис. 13. Результаты расчета показателей прямого звука C_7

Анализ результатов позволяет сделать следующий вывод: уровень прямого сигнала, приходящий на всю площадь зрительских мест имеет достаточный уровень ($C_7 > -2$ дБ), что позволит слушателям ощущать себя в «непосредственной» близости к источнику. Значение показателя прямого сигнала $C_7 < -2$ дБ наблюдается только в местах зрительского зала, в ко-

торых находятся проходы перед оркестровой ямой и в боковых проходах, расположенных ближе к задней стенке зала, что не способствует ухудшению общего впечатления об акустике зала.

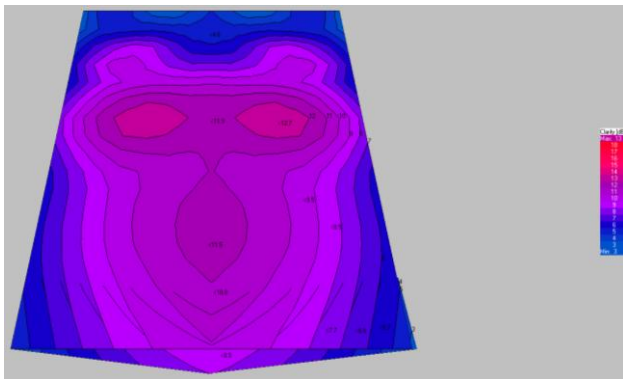


Рис. 14. Результаты расчета показателем речевой ясности C_{50}

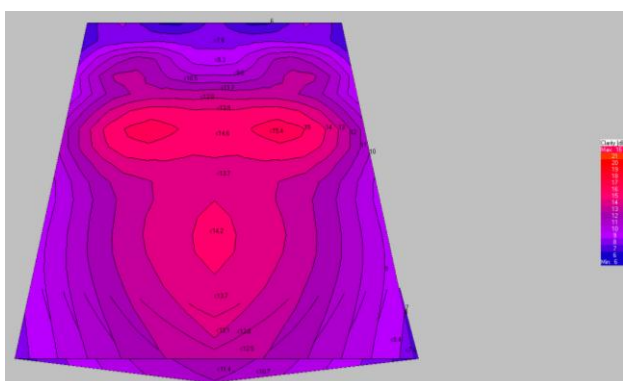


Рис. 15. Результаты расчета показателем музыкальной ясности C_{80}

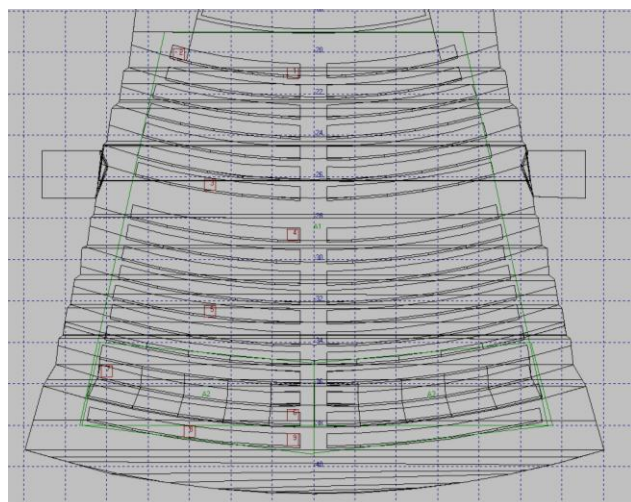


Рис. 16. Местоположение контрольных точек

На рис. 14 представлены результаты расчета показателя речевой ясности.

Анализ результатов позволяет сделать следующий вывод: на всей площади зрительских мест показатель речевой ясности превышает значение -2 дБ, что способствует достаточно высокой ясности слога и разборчивости речевого сигнала. Данный показатель очень важен для залов драматических театров, где основным звуковым материалом является речевой сигнал (речь актера).

На рис. 15 представлены результаты расчета показателя музыкальной ясности.

Анализ показателя музыкальной ясности на всей площади зрительских мест говорит о преобладании энергии ранних отражений по сравнению с энергией поздних отражений. Этот факт является приемлемым вариантом распределения энергии ранних и поздних реверберирующих звуков, так как для обеспечения достаточно высоких показателей качества передачи речевого сигнала наличие большей энергии реверберирующих звуков приведет к снижению разборчивости речевого материала.

Анализ структур реверберационных процессов в контрольных точках

Для оценки структуры реверберационного процесса на зрительских местах и оценки времени реверберации на каждом зрительском месте были выбраны характерные расчетные контрольные точки. На рис. 16 представлены местоположения 9 контрольных точек, расположенных в зрительском зале.

На рис. 17 – 20 представлены структуры реверберационных процессов на каждом месте прослушивания (контрольной точке).

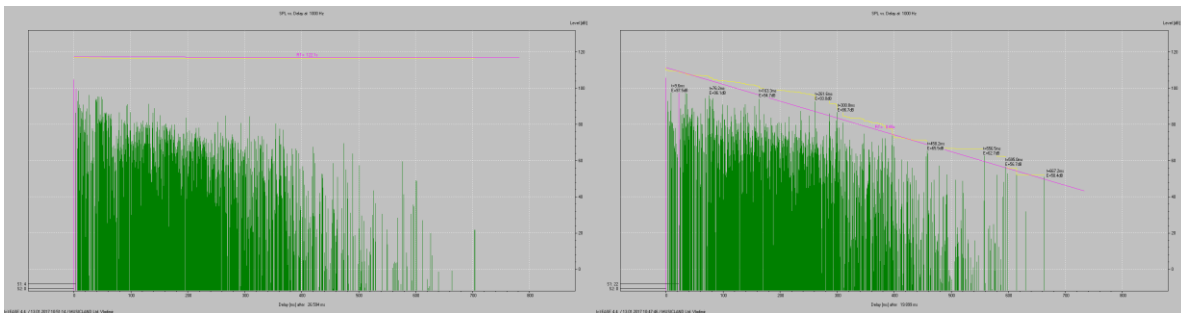


Рис. 17. Структуры реверберационного процесса в 1, 2 контрольных точках

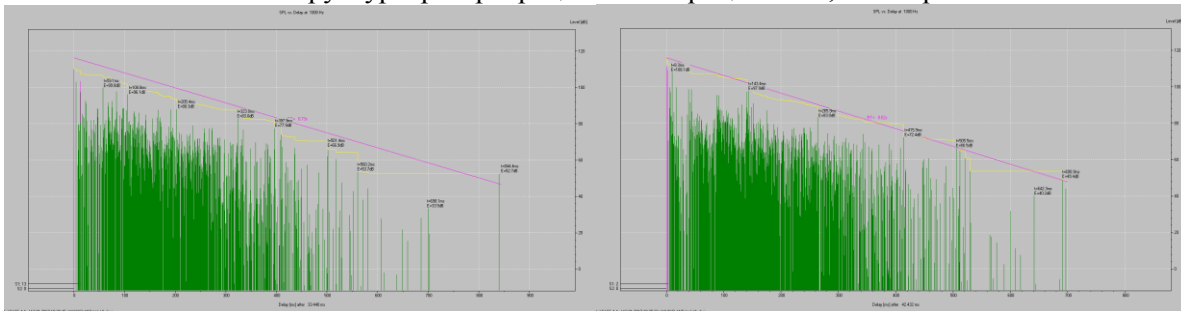


Рис. 18. Структуры реверберационного процесса в 3, 4 контрольных точках

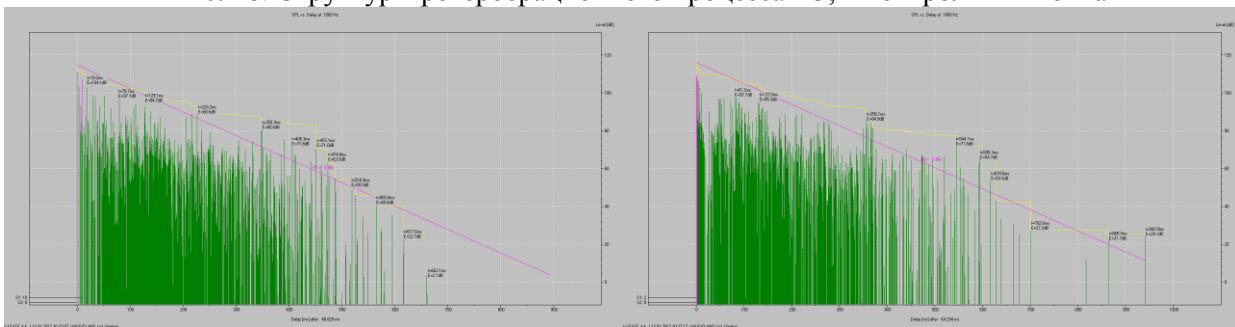


Рис. 19. Структуры реверберационного процесса в 5, 6 контрольных точках

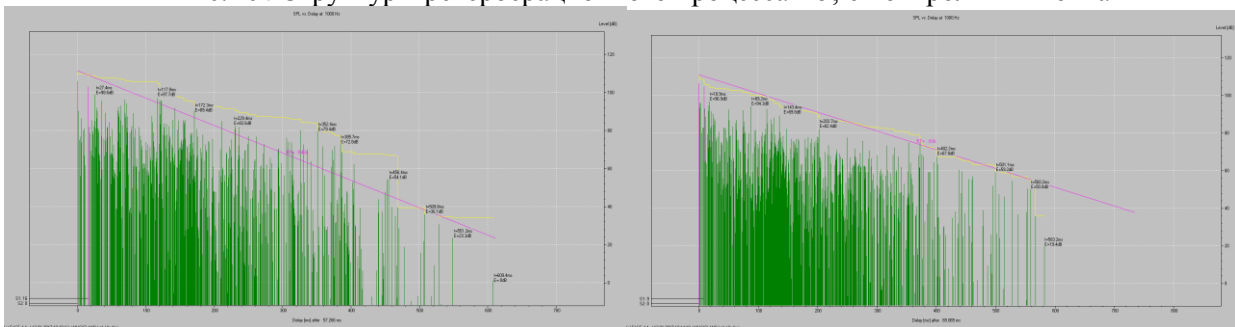


Рис. 19. Структуры реверберационного процесса в 7, 8 контрольных точках

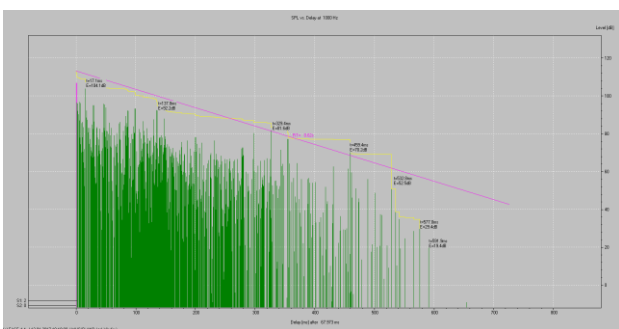


Рис. 20. Структура реверберационного процесса в 9 контрольной точке

Анализ структур реверберационных процессов на контрольных зрительских местах:

- на всех зрительских местах наблюдается достаточно высокая плотность отражений, что происходит при хорошей диффузности поля;
- уровни отраженных сигналов имеют плавную тенденцию к снижению амплитуды пришедших отражений, что обеспечивает равномерный, а не скачкообразный спад плотности звуковой энергии;
- время реверберации в контрольных точках попадает в предельные отклонения от

оптимального времени реверберации для зала, что позволит обеспечить практически одинаковое ощущение времени реверберации на каждом зрительском месте;

- на всех контрольных точках отсутствуют отражения, которые могли бы создавать ощущения эха.

Анализ направлений прихода ранних отражений позволяет сделать вывод об обеспечении ранних боковых отражений, что способствует формированию ощущения пространственности звучания, а также ранних отражений, пришедших с других направлений, что обеспечивает ощущение объёмности.

Выводы

Описанные результаты моделирования акустических свойств зрительного зала позволили проверить решения, принятые на первых двух этапах акустической экспертизы [9].

Моделирование помещения в программном пакете Ease 4.4 позволило авторам проанализировать систему озвучивания, объективные критерии акустического качества помещения, проанализировать структуры реверберационных процессов в контрольных точках, что имеет важное значение для зала драматического театра, где основным музыкальным материалом является речевой сигнал.

При проведении всех этапов акустической экспертизы не были учтены результаты, полученные с помощью волновой теории распространения звука в помещении, так как первые дискретные резонансы зала (с достаточно большими геометрическими размерами) будут лежать в низкочастотной области и в плохо слышимом диапазоне, что не приведет к искажению тембра звукового материала.

Список литературы: 1. *Макриненко, Л. И.* Акустика помещений общественных зданий. – М. : Стройиздат, 1986. – 173 с. 2. *Справочник по акустике* ; под ред. М. А. Сапожкова. – М. : Связь, 1979. – 312 с. 3. *Ковригин, С. Д., Крышов, С. И.* Архитектурно-строительная акустика. – М. : Высш. шк., 1986. – 256 с. 4. *Рейхардт, В.* Акустика общественных зданий ; пер. с нем. – М. : Стройиздат, 1984. – 198 с. 5. *Щиржецкий, Х. А., Борисов, Л. А.* Акустика зальных помещений // *Сцена*. – 2002. – №2 (21). 6. *Усик, В.В., Мягкий, И.Г.* Автоматизированный акустический расчет помещений зрительных залов с использованием статистической теории // *Східноєвропейський журнал передових технологій*. – Харків, 2010. – №3/11. – С.22-26. 7. *Усик, В.В., Мягкий, И.Г.* Применение геометрической теории для построения профиля звукоотражающей поверхности // *Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Харків, 2011. – Вип.1 (27). – с. 166-169. 8. *Усик, В.В., Мягкий, И.Г.* Комплексная оценка акустических свойств зала на примере проектирования "Центра воспитательной работы со студентами ХНАГХ" // *Технология приборостроения*. – Харьков, 2010. – №1. – С. 34-38. 9. *Порошин, С.М., Усик, В.В.* Методика проведения акустической экспертизы и архитектурно-строительных решений для зрительных залов на примере драматического театра на 500 мест // *Зб. наук. праць. VI Міжнародний Радіоелектронний Форум "Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку"* (МРФ – 2017). – Харьков, 2017. – С. 125-130.

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
ООО «Musicland»*

Поступила в редколлегию 11.11.2017