

УДК 534.843.26

УСИК В. В., кандидат технических наук, доцент,
БЕЛИКОВ И. Г.

(Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт")

Особенности применения методологии оценки акустических свойств помещения на примере пресс-центра

Авторами в статье описано использование методологии оценки акустических свойств помещения на примере помещения со специальными акустическими условиями. Проведено обоснование изменения последовательности этапов акустической экспертизы, описан алгоритм акустической экспертизы для помещения пресс-центра с целью получения оптимальных акустических условий. Полученные результаты моделирования выявили проблемные участки реверберационного процесса на слушательских местах, что позволило выявить ограждающие поверхности, создающие нежелательные многократные переотражения, и предложить меры по устранению обнаруженного недостатка.

Ключевые слова: акустические свойства помещения, акустическая экспертиза, время реверберации, структура реверберационного процесса.

Постановка задачи

Методология оценки акустических свойств помещений подразумевает проведение трех этапов акустической экспертизы [3, 4, 5, 6]: этап проверки архитектурно-строительных решений; этап выработки рекомендаций по отделке помещений и разработке профилей ограждающих поверхностей; этап акустического моделирования помещения.

Однако, в зависимости от начальных условий для проведения акустической экспертизы роль и место перечисленных этапов могут быть изменены. Основанием для таких изменений может выступить назначение помещения, для которого важным будет вопрос создания специальных акустических условий [1], обусловленных звуковым материалом, либо невозможностью изменения геометрии профилей ограждающих поверхностей ввиду малых размеров помещения.

Одним из примеров такого специального помещения может выступить помещение пресс-центра. Следует отметить, что при моделировании акустических свойств помещения основными особенностями являлись:

– наличие встроенного шкафа со стеклянной передней стенкой (выставочные витрины), находящегося вдоль одной из боковых параллельных стен;

– назначение помещения, определяющее создание особых акустических условий для удовлетворения требований ясности и разборчивости речевого материала;

– наличие проекционного экрана, что подразумевало использование мультимедийного контента и систему звукоусиления, а значит, возникла необходимость создания условий, не ухудшающих передачу и музыкального материала.

Основная часть

С учетом описанных особенностей помещения перечень решаемых задач для создания оптимальных акустических условий в помещении пресс-центра включает в большей степени методы второго и третьего этапов акустической экспертизы [3,4,5,6]:

– проведение построения модели помещения, учитывающей все существующие архитектурно-строительные особенности, с заданием материалов отделки всех отражающих поверхностей;

– проведение подбора материалов отделки поверхностей в помещении с целью получения требуемой формы частотной зависимости времени реверберации в соответствии с назначением зала и типом звукового материала, используемого в помещении;

– получение и анализ объективных параметров, характеризующих звуковое поле в помещении, а также его влияние на ясность и разборчивость речевого и музыкальных материалов;

– получение структур реверберационных процессов на слушательских местах, анализ которых позволяет сделать вывод о субъективных параметрах акустики помещения на каждом слушательском месте.

Моделирование акустических свойств помещения пресс-центра проводилось с использованием пакета программ акустического моделирования EASE 4.3 (рис. 1).

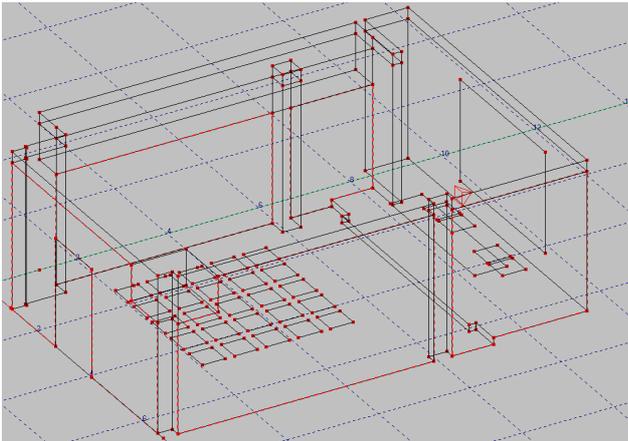


Рис. 1. Вид моделі приміщення пресс-центра в EASE 4.3

Проектні пропозиції по оформленні приміщення. В результаті моделювання було отримано декілька варіантів підбору матеріалів оформлення поверхонь в приміщення.

1. Матеріали оформлення стін приміщення представлені на рис. 2 і в табл. 1.

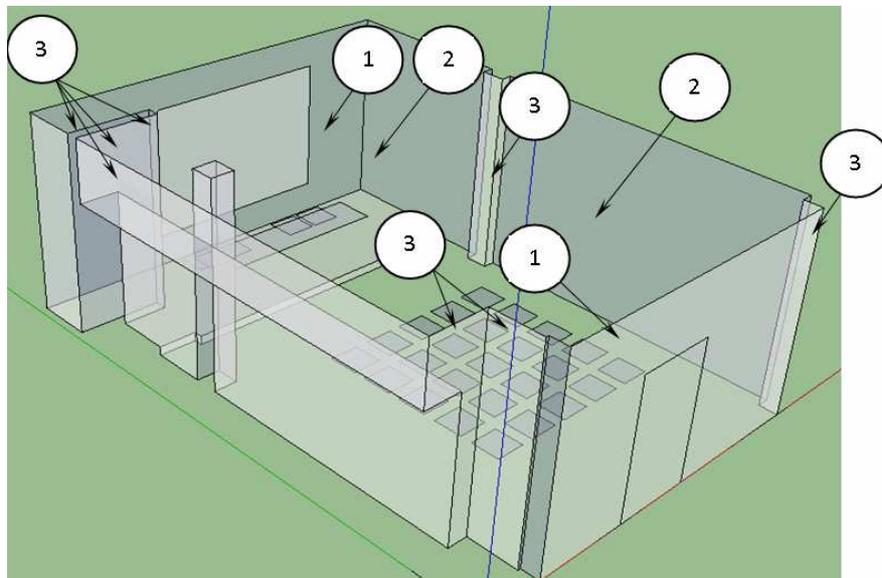


Рис. 2. Матеріали оформлення стін приміщення пресс-центра

Таблиця 1

Матеріали оформлення поверхонь стін в приміщенні

Поз.	Назва поверхності	Отделочний матеріал
1	Передня, задня стінки приміщення	<i>Варіант №1</i> Tetrakustik на каркасі глибиною 275 мм з заповненням мінеральною ватою Acousticwool <i>Варіант №2</i> Tetrakustik на каркасі глибиною 275 мм з заповненням мінеральною ватою Acousticwool <i>Варіант №3</i> KNAUF Perfrpanel B4-12/25Q з повітряним зазором 200 мм і мінеральною ватою Acousticwool
2	Бокова стіна приміщення	<i>Варіант №1</i> Ecophon Akusto™ Wall C Taxona 40 мм з повітряним зазором 50 мм <i>Варіант №2</i> Tetrakustik на каркасі глибиною 275 мм з заповненням мінеральною ватою Acousticwool <i>Варіант №3</i> KNAUF Perfrpanel B4-12/25Q з повітряним зазором 200 мм і мінеральною ватою Acousticwool
3	Колони і простенки приміщення	Листви гіпсокартону (ГКЛ) 12,5 мм в два шари

2. Матеріали отделки потолка помещения (рис. 3) представлены в табл. 2.

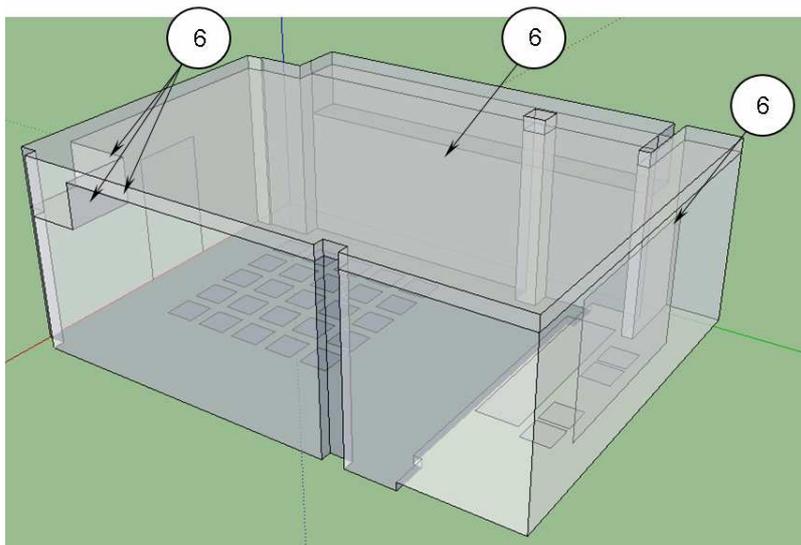


Рис. 3. Матеріали отделки потолка помещения пресс-центра

Таблица 2

Материалы отделки поверхности потолка в помещении

	Отделочный материал
Вариант № 1	HERADESIGN plus на основе 250 мм и заполнением пространства минеральной ватой Acousticwool
Вариант №2	KNAUF Perpanel B5-SLOTLINE на основе 250 мм и заполнением пространства минеральной ватой Acousticwool
Вариант №3	THERMATEX Alpha One на основе 250 мм и заполнением пространства минеральной ватой Acousticwool

3. Материалы отделки пола помещения. Пол в помещении пресс-центра выполнен по проекту архитекторов. В качестве покрытия использовался линолеум коммерческий.

Результаты моделирования акустики помещения зрительного зала. Для предложенных трех вариантов отделки помещения были получены частотные зависимости времени реверберации (рис.4) [7, 8].

Анализ полученных частотных зависимостей времени реверберации для трех вариантов отделки позволил сделать вывод, что все три варианта полученных графиков показывают достаточно равномерную реверберацию в области средних частот, на которую приходится основная часть спектральных составляющих речевого материала. Наличие небольшого подъема времени реверберации в области низких частот благотворно скажется при прослушивании музыкального материала, сопровождающего мультимедийный контент [2,9,10,11].

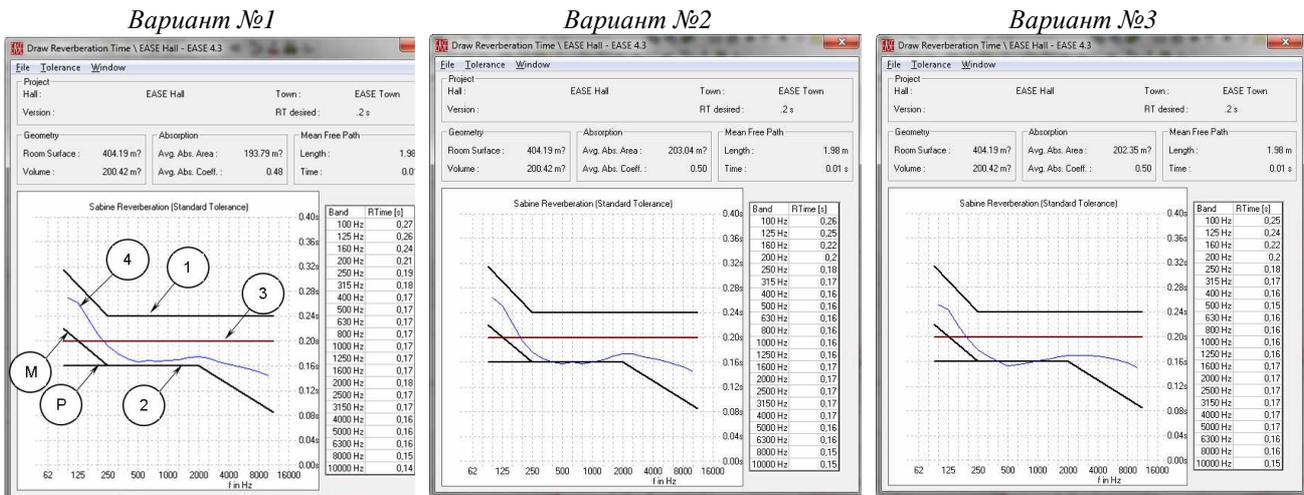
Различимость и ясность. Для оценки разборчивости использовались такие показатели, как [9,10]:

— %ALcons (percentage Articulation Loss of Consonants) - процент артикуляционных потерь согласных;

— STI (speech transmission index) - индекс передачи речи.

Для оценки разборчивости вычисляется процент потери согласных, которые в основном и определяют смысловое содержание речи. Чем больше этот процент, тем хуже разборчивость речи в помещении. Максимально допустимое значение – 10 % (при условии, что помещение относительно свободно от маскирующего шума). Для помещений, используемых для целей обучения, и для систем оповещения он должен составлять не больше 5 %. Значения Alcons объединены рейтинговой шкалой для оценки словесной речевой ясности (табл. 3).

Большое время реверберации вызывает усиление потерь артикуляции. С соответствующей продолжительностью эта реверберация действует как шум на следующие сигналы, и таким образом уменьшает ясность.



- Допустимые пределы рекомендуемых значений времени реверберации для зала.
 Воздушный объем зала: 200,42 м³.
- 1 – граница максимальных значений;
 - 2 – граница минимальных значений; P – для речи; M – для музыки;
 - 3 – оптимальная величина RT60 (идеальная теоретическая);
 - 4 – расчетная величина RT60 в диапазоне частот 100÷10 000 Гц

Рис.4. График частотной зависимости времени реверберации для помещения пресс-центра (RT 60)

Таблица 3

Шкала оценки речевой ясности

Значение Alcons	Оценка речевой ясности
≤ 3 %	идеальная
= 3 %	очень хорошая
= 8 %	хорошая
≥ 11 % to 20 %	плохая
>20 %	бесполезная (предельное значение 15 %)

На рис. 5 представлены результаты расчета процента артикуляционных потерь для проектируемого помещения пресс-центра для каждого из трех вариантов.

Вариант №1		Вариант №2		Вариант №3	
Articulation L _i	Value	Articulation L _i	Value	Articulation L _i	Value
400 Hz	1.14	400 Hz	1.12	400 Hz	1.06
500 Hz	1.14	500 Hz	1.12	500 Hz	1.06
630 Hz	1.14	630 Hz	1.12	630 Hz	1.06
800 Hz	1.14	800 Hz	1.12	800 Hz	1.06
1000 Hz	1.14	1000 Hz	1.12	1000 Hz	1.06
1250 Hz	1.14	1250 Hz	1.12	1250 Hz	1.06
1600 Hz	1.14	1600 Hz	1.12	1600 Hz	1.06
2000 Hz	1.14	2000 Hz	1.12	2000 Hz	1.06
2500 Hz	1.14	2500 Hz	1.12	2500 Hz	1.06

Рис. 5. Результаты расчета процента артикуляционных потерь Al_{cons}

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

Определение значений STI основано на измерении подавления модуляции сигнала между местоположением источника звука и приемным измерительным положением со средними октавными частотами от 125 до 8000 Гц [9,10,11].

Однако не только реверберация и шум уменьшают ясность речи, но также все внешние сигналы или их изменения, которые происходят на пути от источника до слушателя. Для подтверждения этого влияния используется модуляционная передаточная функция (MTF). Для вычисления используются частоты модуляции от 0,63 до 12,5 Гц в треть-октавных полосах. Кроме того, модуляционная передаточная

функция подвергается надбавке частоты (WMTF - нагруженная модуляционная передаточная функция) для достижения полной корреляции с речевой ясностью. При этом модуляционная передаточная функция разделяется на семь диапазонов частот, каждый из которых модулирован частотой модуляции.

Для того, чтобы была возможность сравнить результаты оценок разборчивости, полученных различными методами, была разработана общая шкала разборчивости CIS (стандарт IEC-60849), позволяющая пересчитывать значения разборчивости, полученной разными методами (как субъективными, так и объективными), одна в другую [10,11].

Пределы изменения STI для обеспечения хорошей разборчивости, особенно важной для речевых залов, составляют 0,6...1,0 (рис. 6).



Рис. 6. Шкала оценки индекса передачи речи

На рис. 7 приведены результаты расчета STI для всей площади слушательских мест, которые позволяют сделать следующий вывод: полученные значения

коэффициента лежат в пределах от 0,92 до 0,95, что соответствует критерию *Отлично*.

Вариант №1		Вариант №2		Вариант №3	
STI	Value	STI	Value	STI	Value
100 Hz	0.924	100 Hz	0.937	100 Hz	0.937
125 Hz	0.924	125 Hz	0.937	125 Hz	0.937
160 Hz	0.924	160 Hz	0.937	160 Hz	0.937
200 Hz	0.924	200 Hz	0.937	200 Hz	0.937
250 Hz	0.924	250 Hz	0.937	250 Hz	0.937
315 Hz	0.924	315 Hz	0.937	315 Hz	0.937
400 Hz	0.924	400 Hz	0.937	400 Hz	0.937
500 Hz	0.924	500 Hz	0.937	500 Hz	0.937
630 Hz	0.924	630 Hz	0.937	630 Hz	0.937
800 Hz	0.924	800 Hz	0.937	800 Hz	0.937
1000 Hz	0.924	1000 Hz	0.937	1000 Hz	0.937
1250 Hz	0.924	1250 Hz	0.937	1250 Hz	0.937
1600 Hz	0.924	1600 Hz	0.937	1600 Hz	0.937
2000 Hz	0.924	2000 Hz	0.937	2000 Hz	0.937
2500 Hz	0.924	2500 Hz	0.937	2500 Hz	0.937
3150 Hz	0.924	3150 Hz	0.937	3150 Hz	0.937
4000 Hz	0.924	4000 Hz	0.937	4000 Hz	0.937
5000 Hz	0.924	5000 Hz	0.937	5000 Hz	0.937
6300 Hz	0.924	6300 Hz	0.937	6300 Hz	0.937
8000 Hz	0.924	8000 Hz	0.937	8000 Hz	0.937
10000 Hz	0.924	10000 Hz	0.937	10000 Hz	0.937

Рис. 7. Результаты расчета индекса передачи речи (STI)

Ясность. Оценка речевой ясности на всей площади зоны прослушивания характеризуется показателем речевой ясности C_{50} . Для определения показателя C_{50} не существует каких-либо нормативных

правил акустики помещения. Отношение между речевой ясностью и определением показателя C_{50} дает оценку, согласно которой C_{50} должен быть ≥ -2 дБ. Это помогает избежать уменьшения ясности слога ниже

80 %. Ясність фрази (текстова ясність) завдяки контексту являється вище, ніж ясність слога, і складає 95 %. Значення $C_{50} = -2$ дБ вважається нижньої допустимої границей для хорошої речової або текстової ясності [11,12].

На рис. 8 представлені результати розрахунку показателя речової ясності для всіх трьох варіантів отделки.

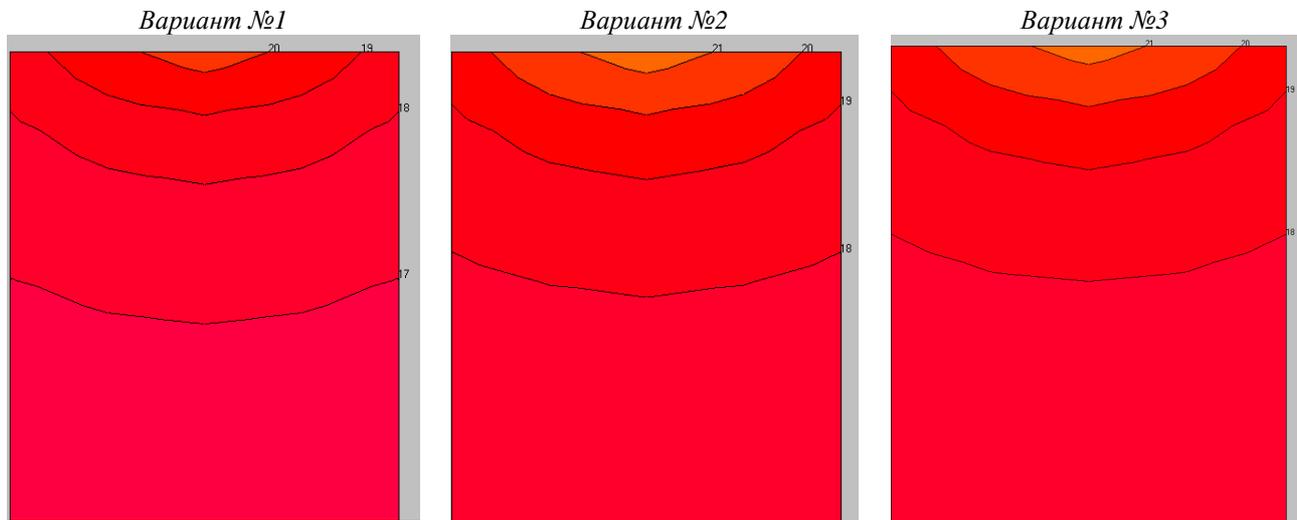


Рис. 8. Результати розрахунку показателя речової ясності C_{50}

Аналіз результатів дозволяє зробити наступний висновок: на всій площі слухательських місць показатель речової ясності перевищує значення -2 дБ, що сприяє достатньо високій ясності слога і розборливості речового сигналу. Даний показатель дуже важливий для залів пресс-центрів, де основним звуковим матеріалом являється речовий сигнал.

Аналіз структур ревербераційних процесів в контрольних точках. Для оцінки структури ревербераційного процесу на слухательських місцях і оцінки часу реверберації на кожному слухательському місці були вибрані характерні розрахункові контрольні точки. На рис. 9 представлені місцеположення п'яти контрольних точок, розташованих в приміщенні пресс-центру.

На рис. 10-14 представлені структури ревербераційних процесів на кожному місці прослуховування (контрольній точці) для трьох варіантів.

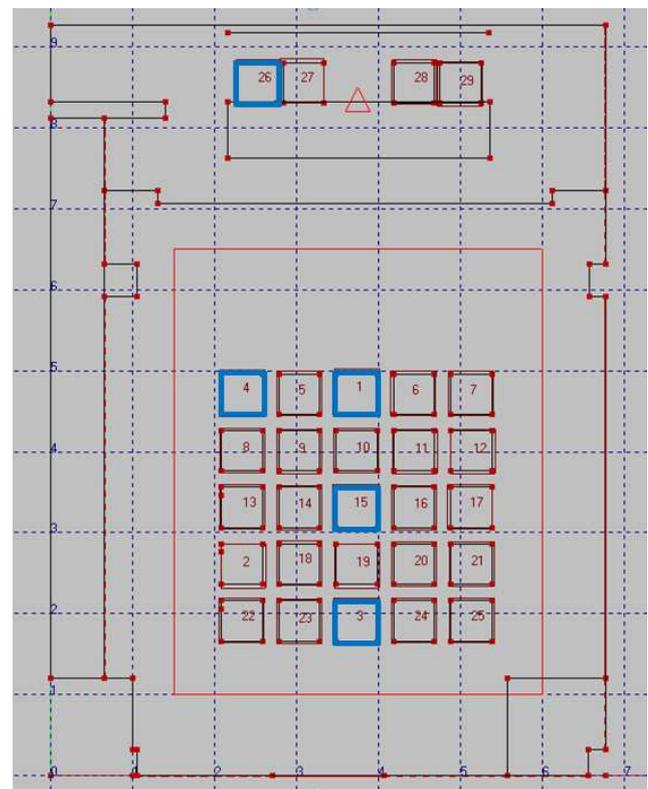


Рис. 9. Місцеположення контрольних точок

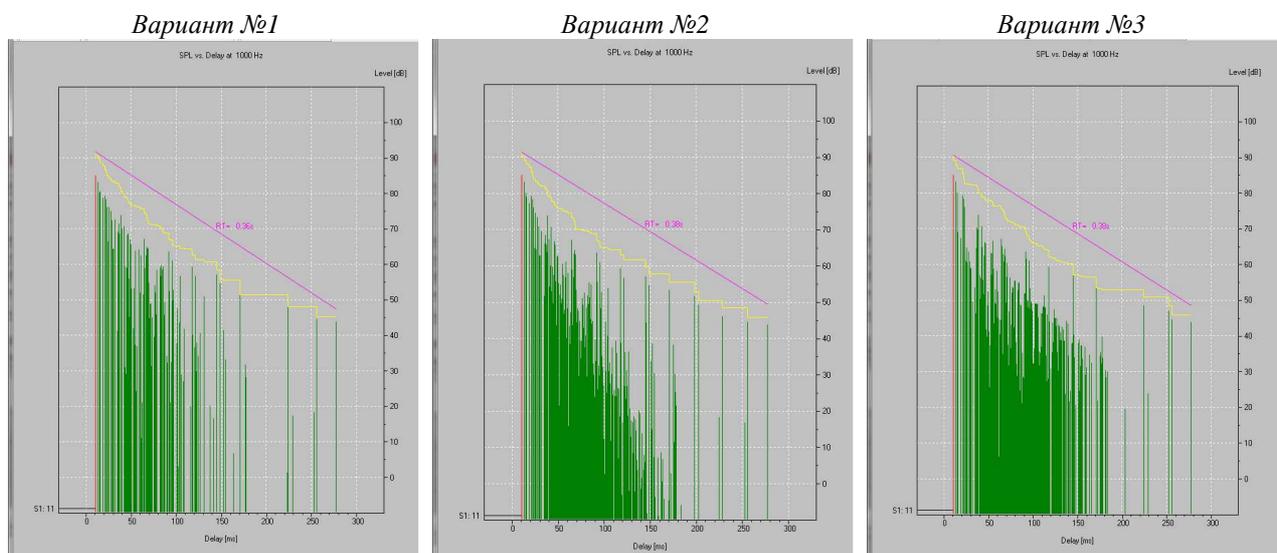


Рис. 10. Структура реверберационного процесса в контрольной точке № 1 для трех вариантов отделки помещения

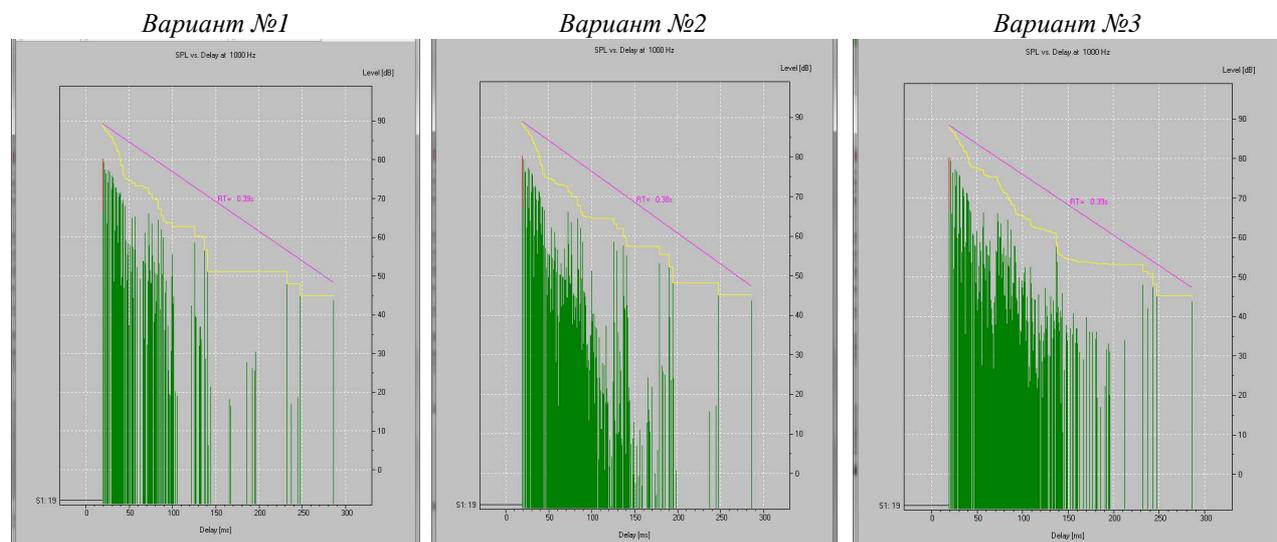


Рис. 11. Структура реверберационного процесса в контрольной точке № 3 для трех вариантов отделки помещения

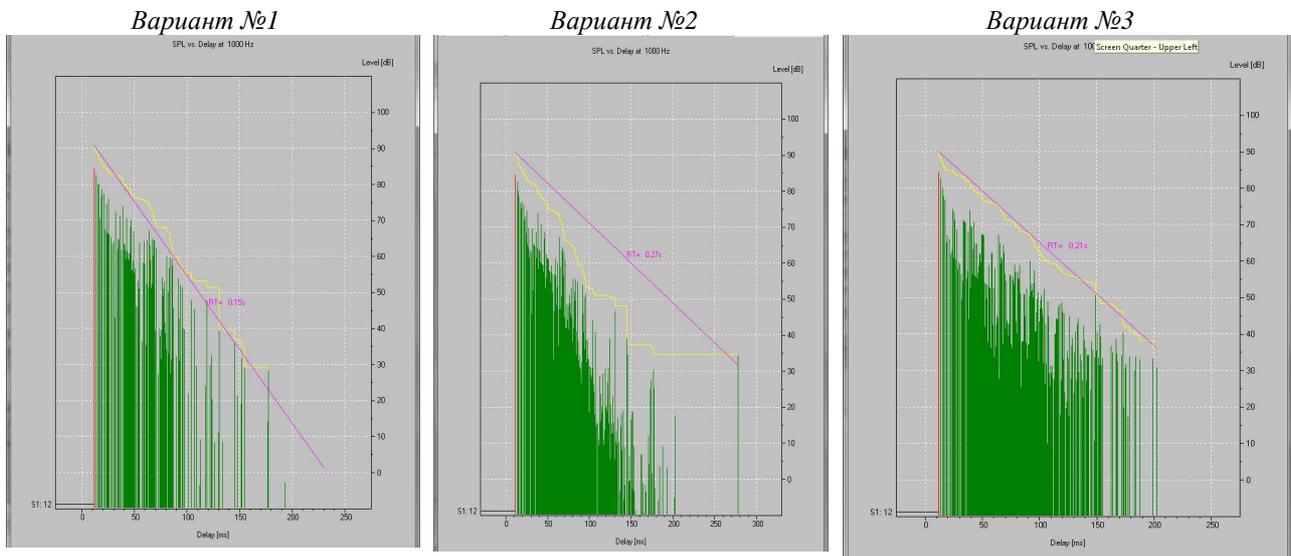


Рис. 12. Структура реверберационного процесу в контрольній точці № 4 для трьох варіантів отделки приміщення

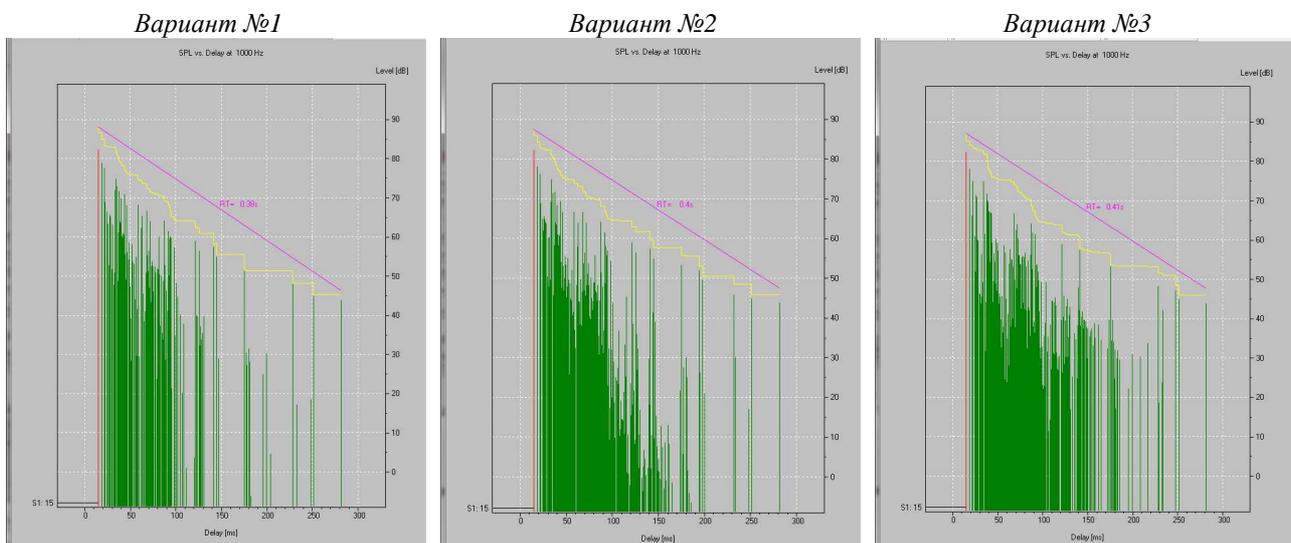


Рис. 13. Структура реверберационного процесу в контрольній точці № 15 для трьох варіантів отделки приміщення

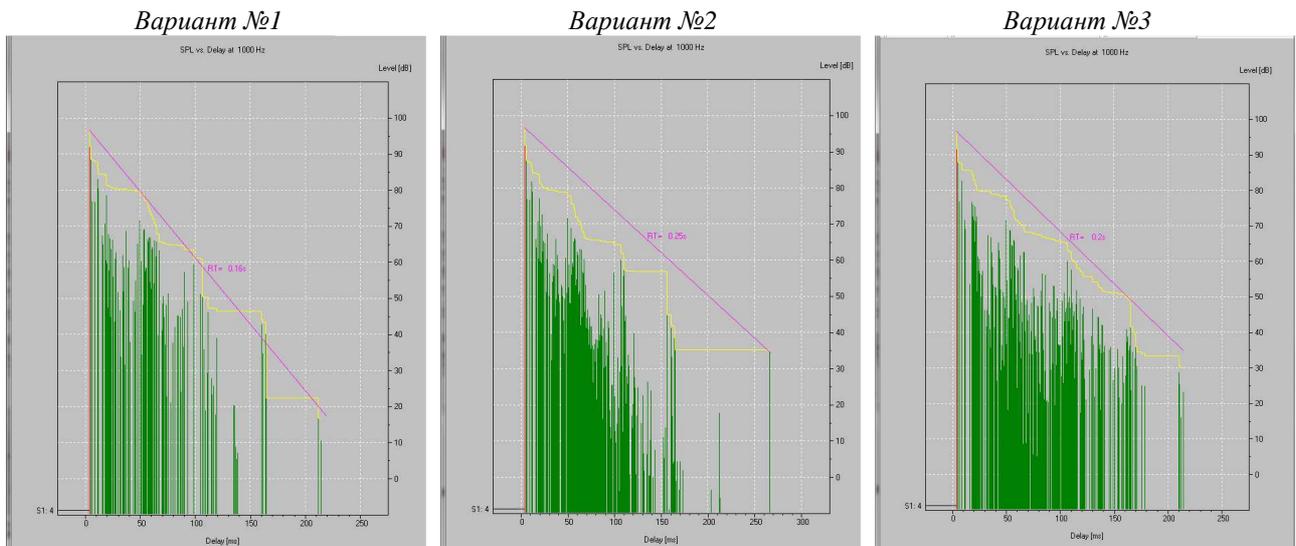


Рис. 14. Структура реверберационного процесса в контрольной точке № 26 для трех вариантов отделки помещения

Анализ реверберационных процессов во всех контрольных точках для всех вариантов отделки привел к следующим выводам:

- первые отражения на все слушательские места поступают не ранее 10–15 мс, что не приводит к дополнительному тембральному окрашиванию речевого материала;
- спад звуковой энергии происходит равномерно на всей протяженности реверберационного процесса, и нет переизбытка энергии в разные временные участки;
- при общей равномерной тенденции спада реверберационной энергии в реверберационном процессе четко прослеживаются отражения,

приходящие через равные промежутки времени, при этом их уровень имеет слабую тенденцию к уменьшению амплитуды (пример на рис. 15). Наличие таких отражений приводит к значительному увеличению времени реверберации на слушательском месте по сравнению с расчетной частотной зависимостью времени реверберации, что ухудшает общие акустические свойства помещения (возникает «порхающее эхо», излишняя реверберация на средних частотах, имеющая большую амплитуду и длительный спад).

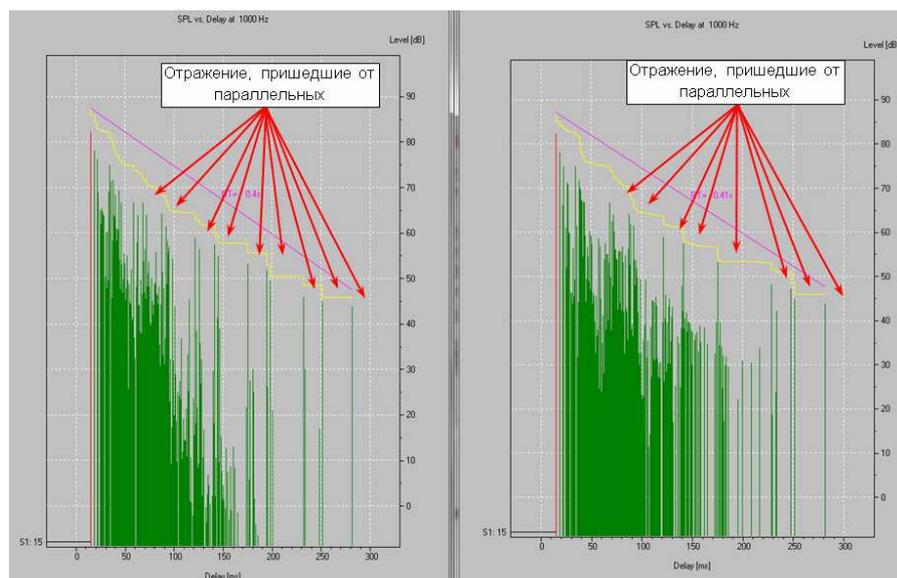


Рис. 15. Пример паразитных отражений, приходящих от параллельных поверхностей

Причинами возникновения «порхающего эха» является многократное переотражение между двумя поверхностями, одна из которых (или обе) обладает слабыми звукопоглощающими свойствами.

В результате моделирования было установлено, что такими "проблемными" поверхностями являются боковая стена и стеклянная поверхность шкафа (витрины) (рис. 16), а также параллельное расположение проекционного экрана и входной двери (рис. 17).

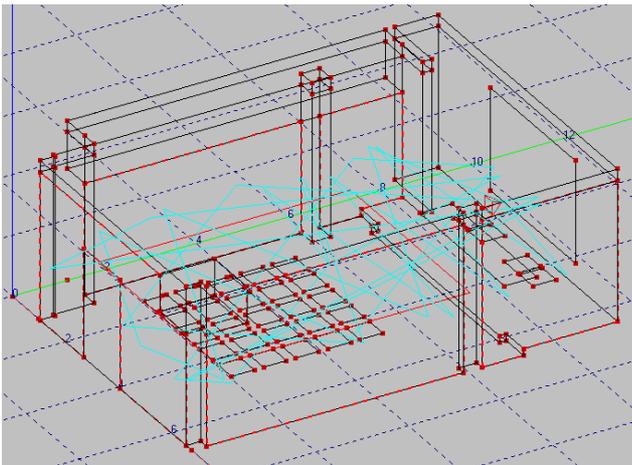


Рис. 16. Параллельные поверхности, создающие паразитные отражения (боковая стена-шкаф)

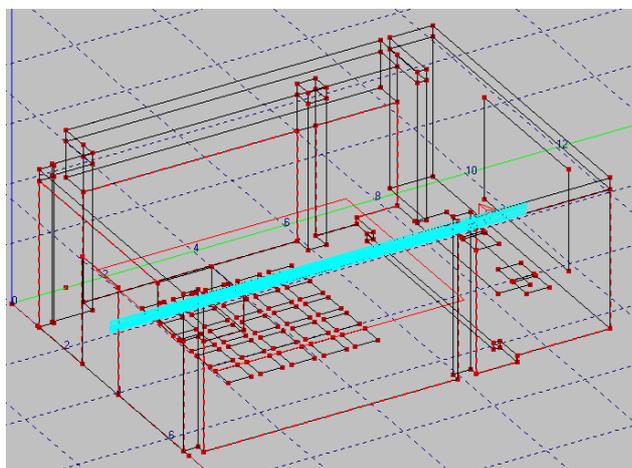


Рис. 17. Параллельные поверхности, создающие паразитные отражения (проекционный экран - дверь)

Разработка рекомендаций по устранению нежелательных отражений. На этапе моделирования реверберационных процессов в контрольных точках слушательских мест были выявлены "проблемные" парные параллельные поверхности, создающие многократное переотражение звуковой энергии практически без поглощения:

– первая пара – боковая стена и передняя стенка шкафа (витрины);

– вторая пара – проекционный экран и дверь.

Таким образом, анализ структур реверберационного процесса обозначил недостатки геометрии помещения, которые приводят к снижению диффузности звукового поля, и которые, при обычной последовательности проведения акустической экспертизы, были бы выявлены на первом этапе и устранены на втором этапе. В помещении прес-центра первый этап стал последним и завершающим этапом в акустической экспертизе помещения. Было предложено изменить геометрию шкафа, сделав его переднюю стенку в виде ломаной поверхности, а для решения проблемы со второй парой поверхностей предлагалось сместить дверь от первоначального положения (посередине стены) на положение в 1 метре от угла стены, примыкающей к шкафу (рис. 18).

На рис. 19 представлены структуры реверберационных процессов после изменения геометрии шкафа и смещения двери.

Анализ полученных структур реверберационного процесса показывает резкое уменьшение количества паразитных отражений в структуре реверберации и постепенное снижение амплитуд приходящих отражений, что дает возможность сделать вывод о правильности выбора решения проблемы.

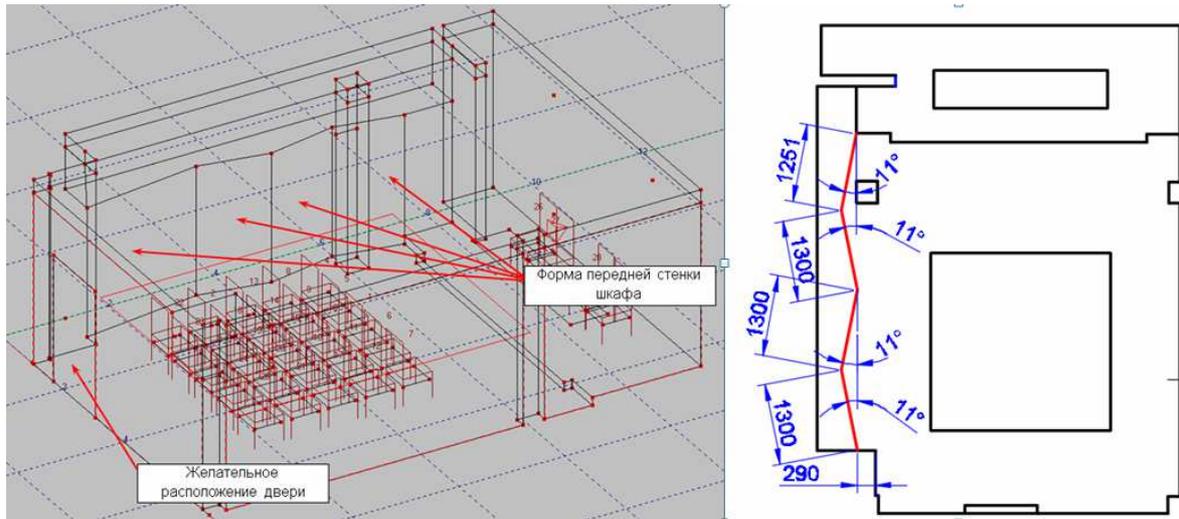


Рис. 18. Рекомендуемая геометрия передней стенки шкафа и новое положение двери

На рис. 19 представлены структуры реверберационных процессов после изменения геометрии шкафа и смещения двери.

Анализ полученных структур реверберационного процесса показывает резкое уменьшение количества паразитных отражений в структуре реверберации и постепенное снижение амплитуд приходящих отражений, что дает возможность сделать вывод о правильности выбора решения проблемы.

Выводы

Авторами в статье было описано использование всех трех этапов акустической экспертизы на примере помещения пресс-центра. В результате моделирования акустических свойств пресс-центра была изменена последовательность проведения этапов экспертизы. Однако это не исключило из экспертизы ни одного из этапов. Авторами ведется апробация предложенной методологии оценки акустических свойств для помещений с другими особенностями (например, для студийных помещений).

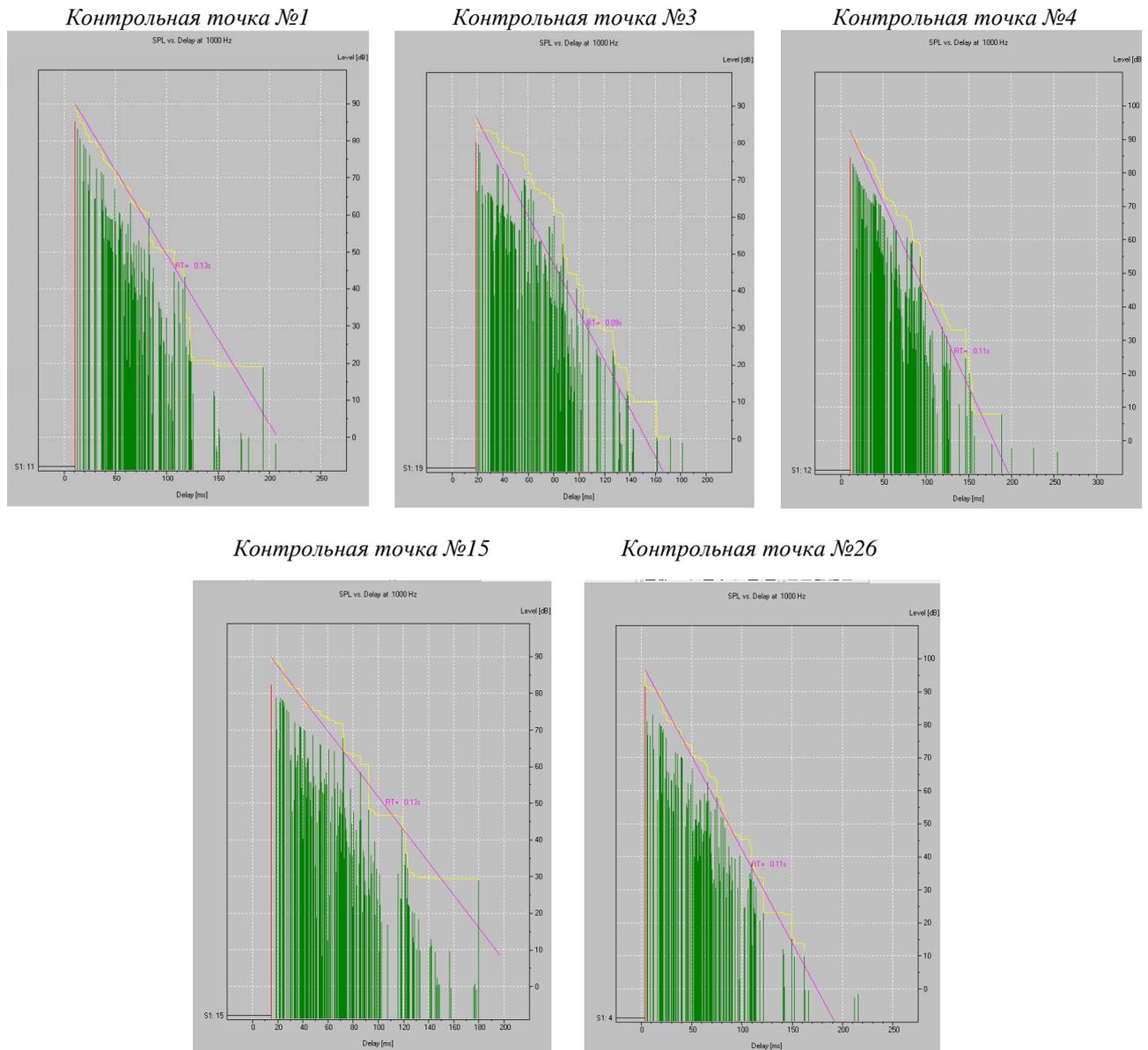


Рис. 19. Структура реверберационного процесу в контрольних точках

Список литературы

1. Domenico Russo, Alessandro Ruggiero. "Choice of the optimal acoustic design of a school classroom and experimental verification" *Applied Acoustics*. - Volume 146, March 2019, p. 280-287.
2. Barteld N. J. Postma, Sebastien Jouan, and Brian F. G. Katz "Pre-Sabine room acoustic design guidelines based on human voice directivity". *The Journal of the Acoustical Society of America* 143, p.2428-2437 (2018).
3. Усик, В. В. Использование первых двух этапов акустической экспертизы помещений зрительных залов на примере драматического театра на 500 мест [Текст] / В. В. Усик, И. Г. Мягкий //
4. Порошин, С. М. Методика проведения акустической экспертизы и архитектурно-строительных решений для зрительных залов на примере драматического театра на 500 мест [Текст] / С. М. Порошин, В. В. Усик // 36. науч. праць VI Міжнар. радіоелектр. форуму "Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку" (МРФ – 2017). – Харків, 2017. – С. 125-130.
5. Усик, В. В. Особенности проведения акустического моделирования, как завершающего

- етапа акустической экспертизы помещений зрительных залов на примере драматического театра на 500 мест [Текст] / В. В. Усик, И. Г. Мякий // Радиотехника. – Харків, 2017. – № 191. – С. 200-208.
6. Порошин, С. М. Методология оценки акустических свойств помещений зрительских залов [Текст] / С. М. Порошин, В. В. Усик // WORLD SCIENCE. – 2018. January. – № 1(29), Vol. 1. – P. 8-15.
 7. Папернов, Л. З. Расчет и проектирование систем озвучения и звукоусиления в закрытых помещениях [Текст] / Н. Т. Молодая, Ч. М. Метер. – М.: Связь, 1979. – 144 с.
 8. Рейхардт, В. Акустика общественных зданий [Текст]: пер. с нем. / В. Рейхардт. – М.: Стройиздат, 1984. – 198 с.
 9. Щиржецкий, Х. А. Акустика зальных помещений [Текст] / Х. А. Щиржецкий, Л. А. Борисов // Сцена. – 2002. – №2 (21). – С. 15-18.
 10. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости [Текст] / НИИСФ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1981. – 47 с.
 11. Анерт, В. Техника звукоусиления. Теория и практика [Текст]: пер с англ. / В. Анерт, Ф. Стефен. – М.: Изд. ООО «ПКФ Леруша», 2003. – 416 с.

Усик В. В., Беликов И. С. Особливості застосування методології оцінки акустичних властивостей приміщення на прикладі прес-центру.

Анотація. У статті авторами проведений опис використання методології оцінки акустичних властивостей приміщення на прикладі приміщення зі спеціальними акустичними умовами. Надано обґрунтування зміни послідовності етапів акустичної експертизи, описаний алгоритм акустичної експертизи для приміщення прес-центру з метою отримання оптимальних акустичних умов. Отримані результати моделювання виявили проблемні ділянки ревербераційного процесу на слухацьких місцях, що дозволило виявити огорожувальні поверхні, які створюють небажані багаторазові віддзеркалення, та запропонувати заходи для усунення виявленого недоліку.

Ключові слова: акустичні властивості приміщення, акустична експертиза, час реверберації, структура ревербераційного процесу.

Usik V. V., Bielikov I. S. Features of the application of the methodology for assessing the acoustic properties of a room using the example of a press center.

Abstract. The authors described the use of the methodology for assessing the acoustic properties of a room using an example of a room with special acoustic conditions. Substantiation of the sequence of acoustic examination stages

was carried out, an acoustic examination algorithm was described for placing the press center in order to obtain optimal acoustic conditions. The authors proposed three options for acoustic finishing of the room, differing in the cost of the materials used. The modeling of the acoustic field in the room was carried out for all three finishes. The article presents the simulation results with the analysis of the obtained objective characteristics of the sound field, taking into account the particular purpose of the room. All three surface treatments in the press center allow us to obtain a uniform trend of the frequency dependence of the reverberation time, which has a positive effect on the perception of speech material, to provide almost perfect speech clarity and intelligibility in all listening spaces. When analyzing the structures of the reverberation process, characteristic areas were identified at each listening position, for which the presence of reflections with a high amplitude and the same period was characteristic. The cause of such reflections are parallel surfaces that do not have a high absorption coefficient. The presence of such multiple reflections due to parallel surfaces leads to a significant deterioration in the acoustic quality of the room. The authors have proposed ways to solve the problem by changing the profile of the front wall of the cabinet, located on one of the parallel surfaces, and displacing the doorway from its original position. The article presents the results and analysis of the structures of the reverberation process at the control points after changing the profile of the front wall of the cabinet and changing the position of the door.

Key words: acoustic properties of the room, acoustic expertise, reverberation time, structure of the reverberation process.

Надійшла 31.01.2019 р.

Usik Viktoriya Valeriyivna, k.t.n, доцент, професор кафедри мультимедійних інформаційних технологій і систем, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна. E-mail: usik.viktory@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3515-4849>.

Беликов Игорь Сергійович, старший викладач кафедри мультимедійних інформаційних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків, Україна. E-mail: igorajon@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1339-8401>.

Usik Victoriya, Dr. of Philosophy, docent, professor department of Multimedia information technologies and systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine. E-mail: usik.viktory@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3515-4849>.

Bielikov Ihor, senior teacher, Multimedia information technologies and systems, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. E-mail: igorajon@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1339-8401>.