

УДК 534.84

Акустические характеристики Большого зала Смоленского академического драматического театра имени А.С. Грибоедова

Мамонтова Анна Дмитриевна^{1(*)}

ad_mamontova@mail.ru

Канев Николай Георгиевич^{1,2,3}

nikolay.kanev@mail.ru

Комкин Александр Иванович¹

akomkin@mail.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

² НИИСФ РААСН, Москва, Россия

³ НИУ МГСУ, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования основных объективных акустических параметров большого зала Смоленского академического драматического театра им. А.С. Грибоедова. Цель работы заключалась в определении времени реверберации T_{30} , индекса передачи речи STI и в оценке соответствия акустических характеристик зала нормативным требованиям, предъявляемым к театральным-концертным помещениям. Измерения выполнены в соответствии с ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 с использованием ненаправленного источника звука и измерительного микрофона; обследование проводилось в 20 контрольных точках при двух положениях источника на сцене. Параметр T_{30} определен по кривым затухания, рассчитанным по импульсным характеристикам помещения, а оценку STI выполняли по методу функции передачи модуляции. Установлено, что фактическое время реверберации в зале находится в пределах допускаемого нормативного отклонения $\pm 10\%$. Средние значения индекса передачи речи STI составили 0,61 и 0,59 для двух положений источника, что соответствует категориям «хорошо» и «удовлетворительно». Полученные результаты свидетельствуют о благоприятном акустическом состоянии зала и могут быть использованы при реновации или реконструкции зала, а также для разработки мероприятий по их совершенствованию.

Ключевые слова: акустика зрительных залов, время реверберации, индекс передачи речи, речевая разборчивость, импульсная характеристика

Acoustic characteristics of the Main Hall of the Smolensk academic drama theater named after A.S. Griboyedov

Mamontova Anna Dmitrievna^{1(*)}

ad_mamontova@mail.ru

Kanev Nikolay Georgievich^{1,2,3}

nikolay.kanev@mail.ru

Komkin Alexander Ivanovich¹

akomkin@mail.ru

¹ BMSTU, Moscow, Russia

² NIISF RAASN, Moscow, Russia

³ MGSU, Moscow, Russia

Abstract. This paper presents the results of an experimental study of the main objective acoustic parameters of the Main Hall of the Smolensk Academic Drama Theater named

after A.S. Griboyedov. The aim of the work was to determine the reverberation time T_{30} and the speech transmission index STI , as well as to assess the compliance of the hall's acoustic characteristics with the regulatory requirements for theater and concert venues. The measurements were carried out in accordance with GOST R ISO 3382-1-2013 using an omnidirectional sound source and a measurement microphone; the survey was conducted at 20 reference points with two source positions on the stage. The T_{30} parameter was determined from the decay curves calculated from the room impulse responses, while the STI was evaluated using the modulation transfer function method. It has been established that the actual reverberation time in the hall falls within the permissible regulatory deviation of $\pm 10\%$. The mean STI values amounted to 0.61 and 0.59 for the two source positions, which corresponds to the "good" and "satisfactory" categories, respectively. The obtained results indicate a favorable acoustic condition of the hall and can be used for its renovation or reconstruction, as well as for the development of measures aimed at its further improvement.

Keywords: auditorium acoustics, reverberation time, speech transmission index, speech intelligibility, impulse response, early reflections

Введение. Акустическое качество зрительных залов является одним из определяющих факторов комфортности восприятия речевой и музыкальной информации, поскольку именно параметры звукового поля формируют субъективную оценку ясности звучания, пространственности и естественности тембра. В условиях активной реконструкции и нового строительства театрально-концертных зданий особую актуальность приобретает объективная инструментальная оценка акустических параметров существующих объектов, основанная на стандартизованных методах измерений и сопоставлении результатов с нормативными критериями [1-3]. Для театральных залов, ориентированных прежде всего на речевые постановки, критически важны время реверберации, характер ранних отражений и речевая разборчивость, поскольку именно эти параметры определяют отношение прямой, ранней и поздней звуковой энергии в зоне слушателей. В Смоленске крупнейшее культурное учреждение — Смоленский академический драматический театр имени А.С. Грибоедова (современное здание построено в 1939 г.) — до настоящего времени не подвергалось комплексному акустическому обследованию современными методами. В 2024 году в зале проводились ремонтные работы, включавшие замену кресел и ковровых покрытий, что потенциально могло изменить эквивалентную площадь звукопоглощения и, как следствие, структуру реверберационного процесса.

Цель работы — экспериментально определить время реверберации и оценить соответствие акустических характеристик зала нормативным требованиям для помещений театрально-концертного назначения. Следует отметить, что аналогичные исследования акустики зрительных залов в России ранее проводились для ряда значимых объектов. В частности, детально изучалась акустика Большого зала Московской консерватории после реконструкции [4], театрального зала Юсуповского дворца [5], а также зрительных залов малых городов современной России [6]. Сопоставление результатов, полученных для Смоленского драматического театра, с опубликованными данными пред-

ставляет интерес как с точки зрения оценки качества конкретного объекта, так и с позиции накопления экспериментальной базы по акустике исторических театральных помещений.

Объектом настоящего исследования выступает большой зал Смоленского академического драматического театра им. А.С. Грибоедова (рис.1).

Зрительный зал драматического театра имеет традиционную подковообразную форму с кессонированным куполом. Зал включает партер, балкон и боковые ложи, расположенные уступами, что способствует формированию ранних отражений и, как правило, положительно влияет на речевую разборчивость. Одновременно сложная геометрия объема при неблагоприятном сочетании отделочных материалов способна приводить к пространственной неравномерности акустических параметров, локальному ослаблению прямого звука и увеличению вклада поздних отражений. Для улучшения диффузии звука при строительстве стены зала были обработаны крупными панелями с поверхностями различной формы, обеспечивающими рассеивание звуковых волн.



а



б

Рис. 1 Общий вид обследуемого зала Смоленского драматического театра им. А.С. Грибоедова:
а — вид с авансены, б — вид с балкона

Методы исследования. В качестве ключевого параметра для оценки качества акустики зала выбрано время реверберации T_{30} , характеризующее скорость затухания звуковой энергии в помещении. Данный параметр используется для объективной оценки качества звукового поля в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 [1]. Дополнительно в зале был определен индекс передачи речи STI — интегральный показатель речевой разборчивости, рассчитываемый по измеренной импульсной характеристике на основе метода функции передачи модуляции и учитывающий влияние реверберации и энергетической структуры отраженного поля [1, 3].

Акустические измерения проводились в пустом зрительном зале согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 [1]. Измерения проводились с использованием ненаправленного звукового источника в форме додекаэдра

и измерительного микрофона, размещенных в соответствии с положениями стандарта ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 [1]. Источник звука располагался в двух положениях: S_1 – на аръерсцене и S_2 – на авансцене; измерения проводились последовательно для обеих конфигураций источника (рис. 2). Измерительный микрофон последовательно устанавливался в 20 контрольных точках зрительного зала: точки 1-13 — в партере, точки 14-20 — на балконе. Геометрические параметры зала были определены с помощью лазерного дальномера и сверены с данными, приведенными в [7]: длина зала около 39,5 м, наибольшая ширина 30 м, наибольшая высота 17 м. Объем зала составляет $V \approx 12210 \text{ м}^3$. Сопоставление экспериментально полученных значений времени реверберации с рекомендуемыми выполнялось по СП 51.13330.2011 [2].

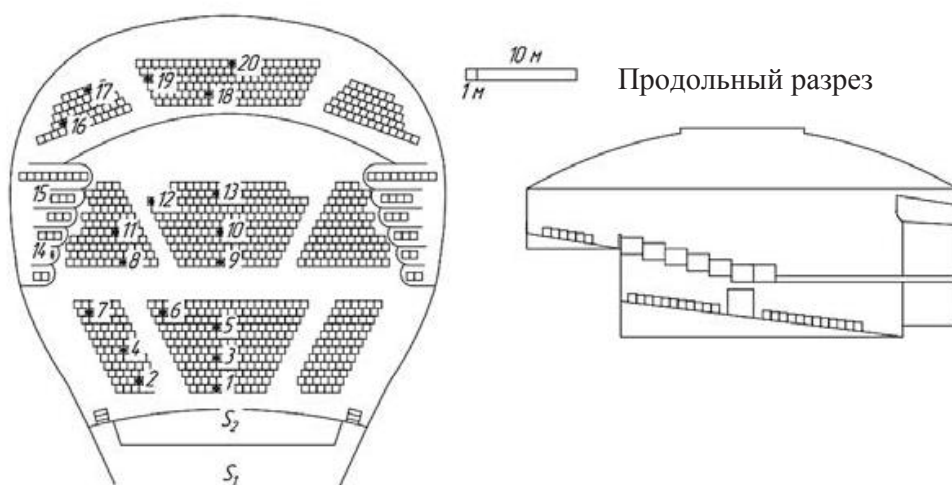


Рис. 2 Схема зала Смоленского драматического театра им. А.С. Грибоедова, расположение контрольных точек (1-20) и положения источника звука (S_1 и S_2)

Результаты. На рис. 3 приведены частотные характеристики времени реверберации в зале театра.

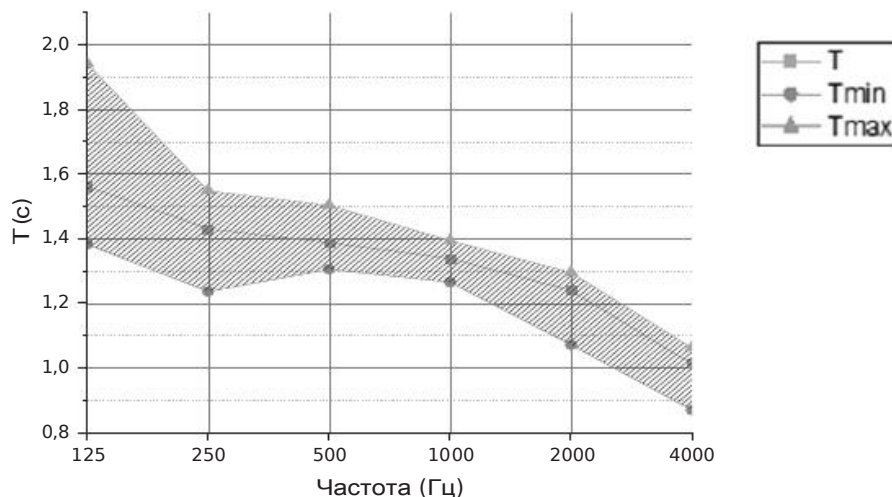


Рис. 3 Время реверберации зала Смоленского драматического театра имени А.С. Грибоедова

Индекс передачи речи (STI) является объективным нормируемым показателем речевой разборчивости, принимающим значения в диапазоне от 0 до 1. На рис. 4 представлены измеренные значения STI для исследуемого зала; точки S_1 и S_2 обозначают положения источника звука, поскольку значения индекса существенно зависят от взаимного расположения источника и приемника, а также от соотношения прямой, ранней и поздней отраженной энергии. Результаты приведены в виде STI_{S1}/STI_{S2} .

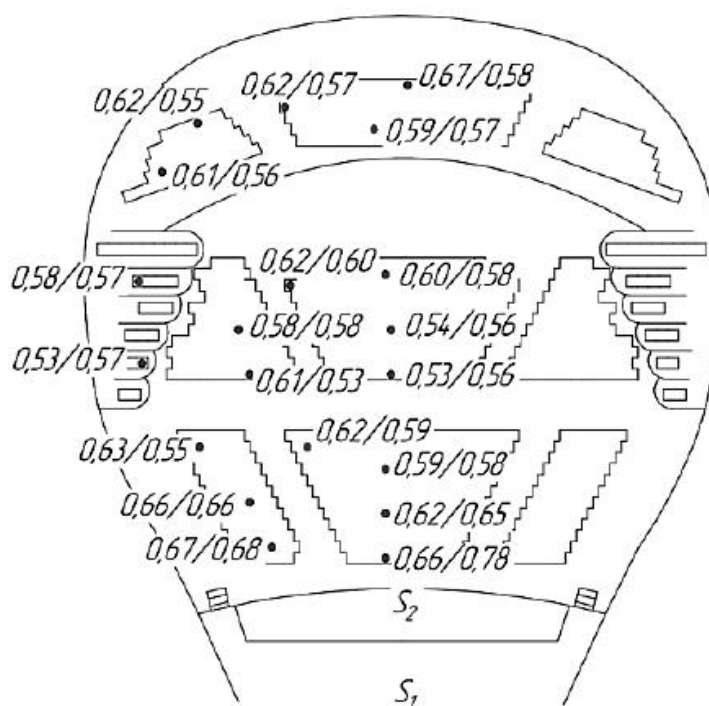


Рис. 4. Измеренные значения STI в зале Смоленского драматического театра имени А.С. Грибоедова для двух положений источника

Для интерпретации полученных значений STI были проанализированы импульсные характеристики (рис. 5). Установлено, что временная задержка между прямым звуком и первыми значимыми отражениями (ITDG) составляют приблизительно 12 и 14 мс для точки, расположенной в дальней части балкона (точка 20), и 25 и 26 мс для точки, расположенной в центре партера (точка 9), для двух положений источника соответственно. Указанные интервалы относятся к области ранних отражений, которые, как правило, оказывают положительное влияние на речевую разборчивость при условии достаточной амплитуды прямого сигнала. Для речи СП 51.13330.2011 [2] в качестве ориентиров допускает первые отражения от стен и потолка с запаздываниями 20...25 мс; тем самым задержки порядка 25...26 мс непосредственно соответствуют рекомендуемому интервалу, а отражения с временной задержкой 12...14 мс заведомо остаются в области ранней поддерживающей энергии.

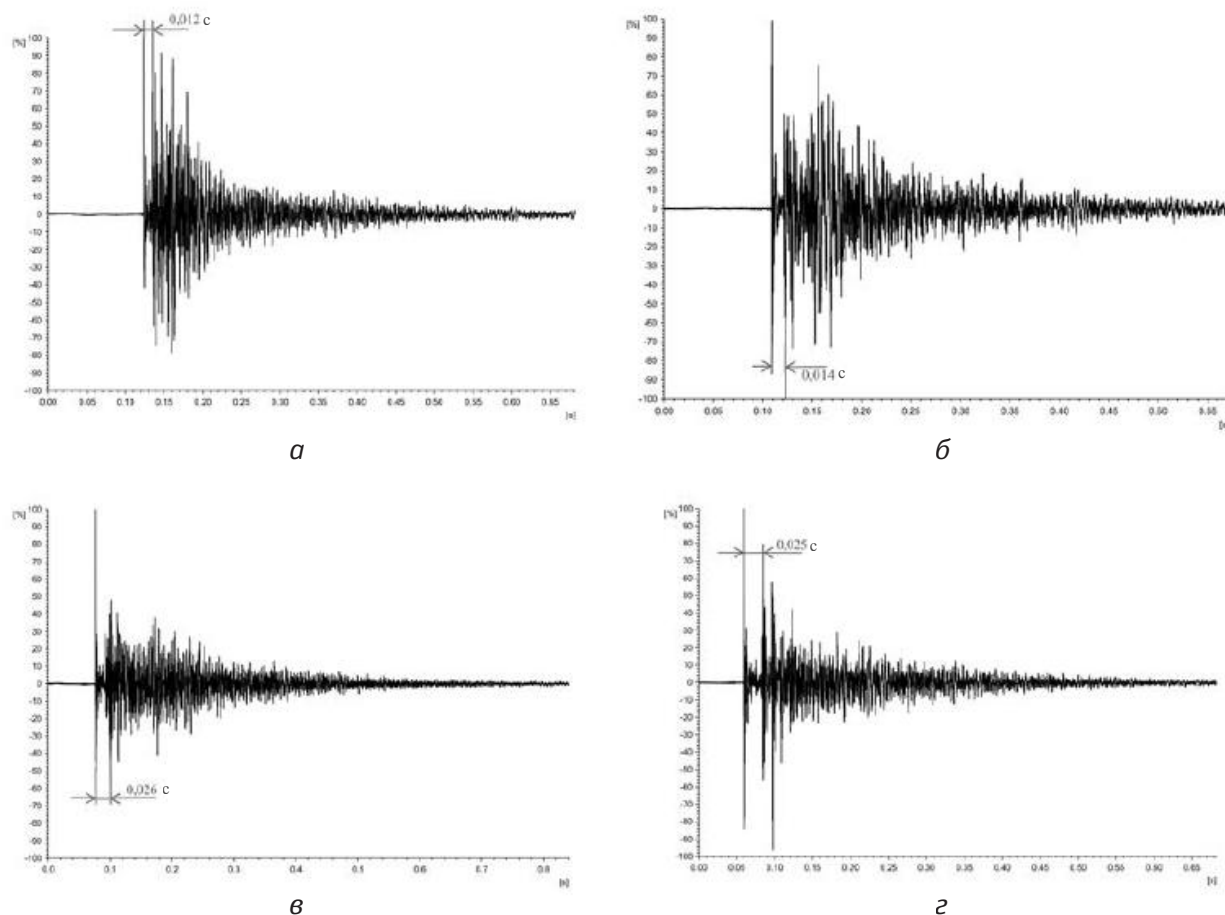


Рис. 5 Измеренная импульсная характеристика:

а — положение источника S_1 , точка 20; б — положение источника S_2 , точка 20;
в — положение источника S_1 , точка 9; г — положение источника S_2 , точка 9

Обсуждение. Рекомендуемое время реверберации на средних частотах (500...1000 Гц) для залов драматических театров в СП 51.13330.2011 [2] составляет 1,38 с ($\pm 0,14$ с), фактическое время реверберации в зале театра составило 1,37 с, что попадает в рекомендуемый диапазон отклонений (± 10 %). Следовательно, по критерию времени реверберации акустические условия зала могут быть признаны близкими к рекомендуемым для помещений рассматриваемого назначения.

В результате измерений среднее значение индекса разборчивости речи для положения источника S_1 (STI_{S1}) в зале театра составило 0,61, что согласно ГОСТ Р ИСО 9921–2013 [3] соответствует категории «хорошо», а для положения источника S_2 значение STI_{S2} составило 0,59, что соответствует категории «удовлетворительно». Различие между двумя конфигурациями источника указывает на чувствительность речевой разборчивости к сценическому положению источника, что для драматического театра имеет практическое значение при анализе условий восприятия речи в различных точках сцены.

Анализ пространственного распределения STI показывает, что наиболее благоприятные условия наблюдаются в центральной части партера, где значения индекса достигают 0,60...0,66. Это объясняется благоприятным соот-

ношением прямой и ранней отраженной звуковой энергии. В боковых зонах и ложах значения STI снижаются до 0,53...0,58, что связано с частичным экранированием прямого звука архитектурными элементами, увеличением длины путей распространения и возрастанием доли запаздывающих отражений. В задней части балкона наблюдается неоднородное распределение STI ; в ряде точек фиксируется повышение значений до 0,66...0,68. Такой результат может быть обусловлен благоприятным вкладом ранних отражений от задней стены и потолка, усиливающих полезный сигнал.

В точке 20 импульсные характеристики характеризуются четко выраженным прямым сигналом и наличием ранних отражений малой задержки (порядка 0,014-0,015 с) с достаточной амплитудой. Для точки 9 также фиксируется выраженная структура ранних отражений. Именно перераспределение энергии между ранней и поздней областями импульсной характеристики определяет локальные изменения STI : увеличение вклада поздних отражений приводит к ухудшению временной структуры сигнала и снижению речевой разборчивости.

Заключение. В работе выполнено экспериментальное исследование времени реверберации и индекса передачи речи в большом концертно-театральном зале города Смоленска. Проведенные измерения показали, что фактические значения времени реверберации в большом зале Смоленского академического драматического театра имени А.С. Грибоедова близки к рекомендуемым нормативным значениям. Средние значения индекса передачи речи составили 0,61 для положения источника S_1 и 0,59 для положения источника S_2 , что соответствует хорошей и удовлетворительной речевой разборчивости соответственно. Таким образом, зал характеризуется в целом благоприятным акустическим состоянием, однако выявленные пространственные различия в распределении STI указывают на влияние архитектурно-планировочных решений, сценического положения источника и акустических свойств отделочных материалов на условия восприятия звука. Полученные данные могут служить основой для последующего акустического мониторинга, а также для разработки рекомендаций по сохранению и повышению качества звучания в исследуемом зале.

*Авторы выражают благодарность
приборостроительному предприятию «ВИСОМ»
за помощь в организации и проведении данного исследования.*

Список источников

- [1] ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы. Москва, Стандартинформ, 2014, 18 с.
- [2] СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. Москва, Стандартинформ, 2011.
- [3] ГОСТ Р ИСО 9921-2013. Эргономика. Оценка речевой связи. Москва, Стандартинформ, 2014.

-
- [4] Канев Н.Г., Лившиц А.Я. Акустика Большого зала Московской консерватории им. П.И. Чайковского после реконструкции 2010–2011 гг. *Акустический журнал*, 2013, т. 59, № 3, с. 408–416.
 - [5] Канев Н.Г., Лившиц А.Я., Фадеев А.С. Акустика театрального зала Юсуповского Дворца. XXXV сессия Рос. акустического общества: сб. тр. Москва, Изд-во Геос, 2023, с. 191–199.
 - [6] Лившиц А.Я., Перетокин А.В. Акустика зрительных залов малых городов современной России. XXXIV сессия Рос. акустического общества: сб. тр. Москва, Изд-во Геос, 2022, с. 468–481.
 - [7] *Технологический справочник театров СССР*. В 6 т. Т. 5, ч. 1. 1971. Москва, б. и., с. 229–233.