

М. Ю. Ланэ

ООО АРИС-ПРО, лаборатория архитектурной акустики
117519 Москва, Кировоградская ул., 22, e-mail: mlannie@mail.ru

Акустика реконструированного зрительного зала Воронежского академического театра драмы им. А. В. Кольцова

Получена 09.09.2013, опубликована 27.09.2013

Представлены результаты акустических измерений в зале театра после завершения его полной реконструкции, которая проводилась в течение длительного времени. Они включают данные по времени реверберации, разборчивости речи, уровню проникающих звуковых помех и другим критериям акустического качества. Из рассмотрения результатов измерений следует, что акустические характеристики помещения соответствуют значениям, рекомендованным для залов драматических театров. Опыт эксплуатации зала также свидетельствует о хороших условиях слышимости. Акустическое проектирование зала осуществлялось методом компьютерного моделирования. Сопоставление расчетных значений акустических критериев с результатами измерений, проведенных в зале после завершения реконструкции, показало удовлетворительное совпадение.

Ключевые слова: архитектурная акустика, драматический театр, разборчивость речи, акустические измерения

ВВЕДЕНИЕ

Драматический театр в Воронеже входит в число старейших публичных губернских театров России. Первое стационарное здание театра было построено в Воронеже 1821 г. (рис. 1). Позднее в 1886 г. оно было перестроено по проекту архитектора М. Н. Чичагова с фасадами, выполненными в псевдорусском стиле (рис. 2). В 1937 здание было практически заново отстроено (рис. 3) по проекту архитектора Н. В. Александрова. Во время Великой отечественной войны в театр попала авиабомба, разрушив сцену и зрительный зал. В 1944 г. еще до окончания войны здание было восстановлено. К 90-м годам прошлого века здание настолько сильно обветшало, что не могло использоваться для проведения спектаклей. Труппа переехала в другое помещение, а в театре началась реконструкция, затянувшаяся на долгие десятилетия, и завершенная только в 2012 г. (рис. 4).

Зрительный зал был решен в стиле классического ярусного театра с подковообразной формой плана. Это достаточно типично для многих российских губернских театров постройки XVIII-XIX вв., как музыкальных, так и драматических [1]. Для размещения зрителей предусматривался партер с боковыми ложами бенуара и

три яруса. К началу реконструкции интерьеры зала были полностью утрачены, и фактически остались только несущие стены, верхнее перекрытие и перекрытия ярусов, нуждающиеся в усилении. В подобной ситуации речь могла идти о создании нового зала, ограниченного контуром существующих стен. Специалисты института «Спецпроектреставрация» (арх. А. Э. Дружин), выполнявшие проект реконструкции, весьма ответственно подошли к поставленной задаче. В итоге было решено сохранить историческое объемно-планировочное решение, предусмотрев размещение зрителей только на двух нижних ярусах, а верхний 3-й ярус использовать для технологических целей, в основном, для размещения светового оборудования.



Рис. 1. Здание театра постройки 1821 г.



Рис. 2. Вид театра перестроенного в 1886 г.



Рис. 3. Вид здания после перестройки 1937 г.



Рис. 4. Современный вид театра (фото 2012 г.)

1. ОПИСАНИЕ ЗАЛА

План и разрез зала показаны на рис. 5 и 6. Максимальная длина зала от порталного проема до задней стены ярусов по продольной оси равна 17.8 м. Длина по той же оси от порталного проема до запроектированной новой стенки, отделяющей партер от аппаратных — 15.2 м. Максимальная ширина зала составляет 15.6 м. Потолок зала является плоским на отм. 11.220. Сценический проем имеет размеры 9.4×7.5 м. Предусмотрена небольшая оркестровая яма с подъемно-опускным полом. При основном использовании зала в качестве драматического театра подъем пола ямы до уровня планшета сцены позволяет организовать достаточно крупную авансцену. Для

обеспечения хороших условий и возможности установки комфортных кресел вместимость зала в ходе реконструкции существенно уменьшилась и составила $N=310$ мест. Они были распределены следующим образом: Партер на 10 рядов — 162 места; ложи бенуара — 20; 1-й ярус с 4 рядами кресел — 68; ложи 1-го яруса — 20; 2-й ярус с двумя рядами кресел — 20 и ложи 2-го яруса — 20. Объем зала (без учета объема колосниковой сцены) составляет $V=2330 \text{ м}^3$. Таким образом, воздушный объем, приходящийся на 1 зрителя, составляет $V/N=7.5 \text{ м}^3$.

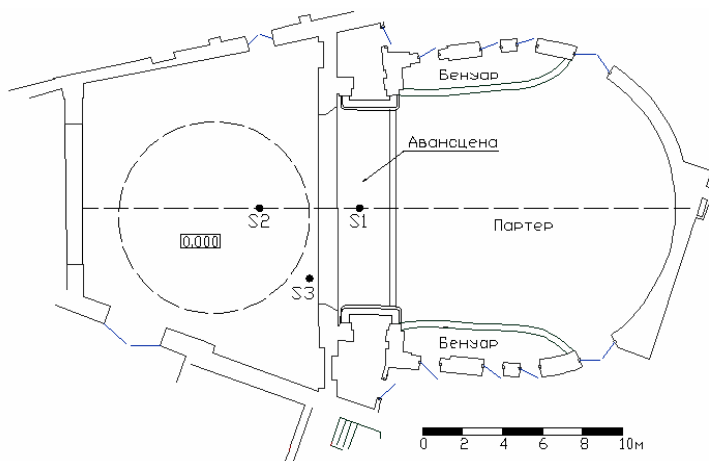


Рис. 5.
План зала в уровне партера

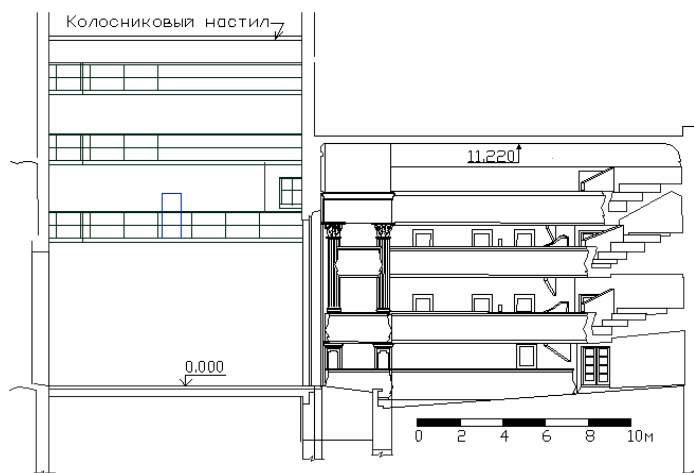


Рис. 6.
Продольный разрез зала

2. АКУСТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАЛА

Расчеты по акустике зала проводились методом компьютерного акустического моделирования. Использовался вычислительный модуль AURA, включенный в пакет программы акустического симулятора EASE v.4.3. Модель зала, вид которой в изометрии показан на рис. 7, составлялась в виде набора плоских секций, каждой из которых приписывались значения коэффициента звукопоглощения, а в ряде случаев и коэффициента рассеивания звука. В окончательном варианте компьютерной модели было использовано 738 таких секций.

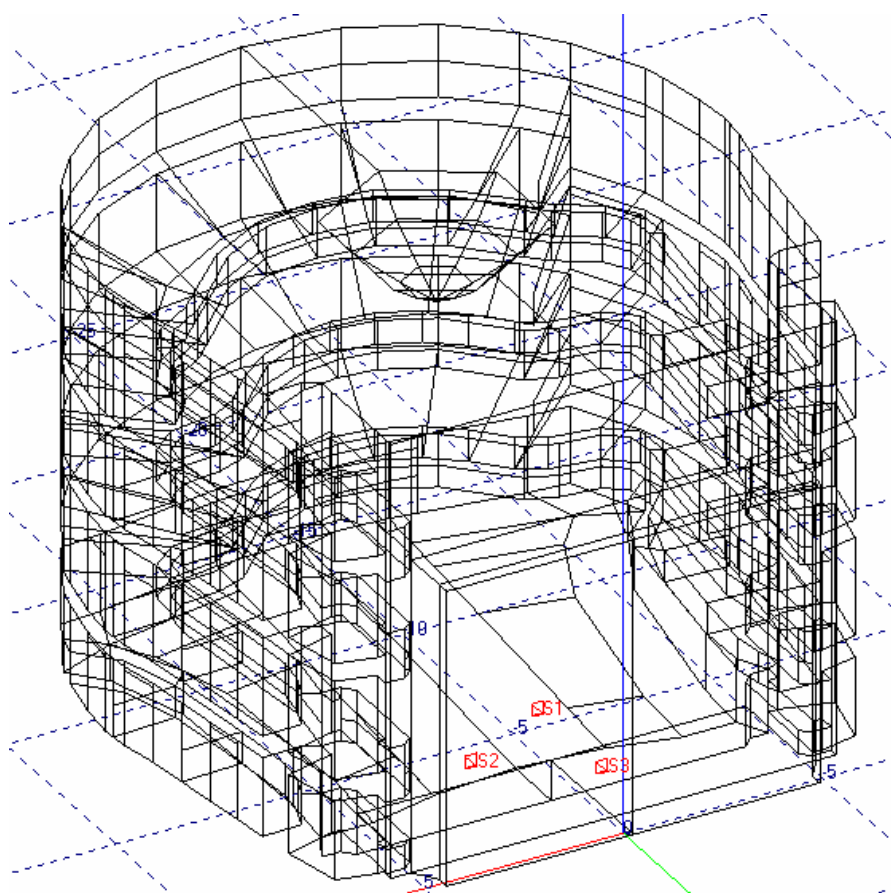


Рис. 7. Изометрия зала. Компьютерная модель

В ходе проведенного анализа было признано возможным уменьшить длину партера для размещения за его задней стеной звуковой и световой аппаратуры, а также отказаться от использования над авансценой звукоотражающего козырька. Это позволило сохранить исходную форму примыкания потолка к просцениуму. Наличие требуемых ранних звуковых отражений в значительной степени достигалось отражениями от боковых поверхностей не слишком широкого зала. Зал был спроектирован на время среднечастотной реверберации заполненного публикой помещения $RT_{\text{ОСС}} \sim 1.10$ с. Это соответствовало отечественным нормам [2] и укладывалось в рамки международной практики акустического проектирования небольших залов драматических театров [3].

Отделка внутренних поверхностей зала была решена преимущественно «в дереве» и в штукатурке (рис. 8–10). Пол — паркет; стены — облицовка панелями с покрытием из натурального шпона; потолок — штукатурка.

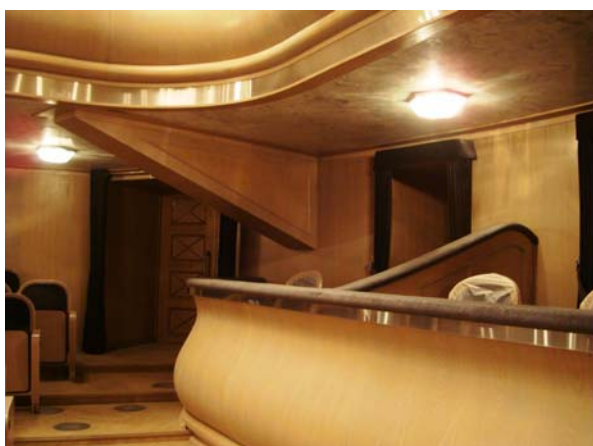
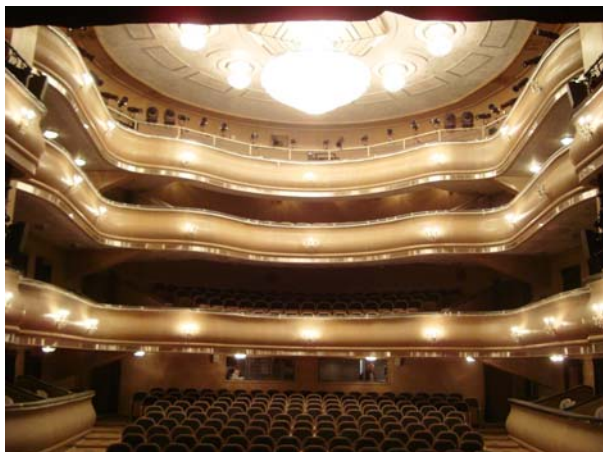


Рис. 8. Вид зала со сцены

Рис. 9. Вид припортальной части зала

Рис. 10. Вид задней части партера и лож бенуара

Обшивка из гипсокартона применялась только на нижних поверхностях перекрытий ярусов. Для исключения нежелательного низкочастотного звукопоглощения эта обшивка выполнялась из трех слоев гипсокартона, укрепленных по специально разработанному частому каркасу. Особое внимание было уделено барьерам бенуара и ярусов, занимающих значительную часть площади задней и боковых поверхностей помещения.

Для обеспечения эффективного рассеивания звука этим барьерам была принята выпуклая форма. Конструктивно барьеры выполнялись из многослойной фанеры, укрепленной по массивному и частому каркасу. Эта конструкция была выполнена весьма качественно и имела очень высокую жесткость. Кресла для партера и ярусов, а также стулья для всех лож были выбраны по требуемой звукопоглощающей способности.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

После завершения строительных работ и перед сдачей зала в эксплуатацию в нем по стандартизированной методике [4] были выполнены контрольные акустические измерения. Акустические характеристики измерялись в 11 точках пустого зала. Из них шесть были выбраны в партере и бенуаре, три на 1-м ярусе и две на 2-м ярусе. Для размещения ненаправленного источника звука (додекаэдра) были выбраны три положения на сцене зала (S1-S3), которые отмечены на рис. 5. Таким образом, было выбрано всего $11 \times 3 = 33$ комбинаций положений источника звука на сцене и измерительного микрофона в зале.

Для каждой из этих комбинаций были зафиксированы импульсные отклики зала по следующей процедуре. Тестовый сигнал в виде последовательности максимальной длины (MLS) генерировался программой EASERA, установленной на ноутбуке и поступал на профессиональную звуковую карту, а затем на усилитель мощности, после чего излучался установленным на сцене зала додекаэдром. Длина MLS последовательности была выбрана равной 1,6 с, что заведомо превышало время реверберации рассматриваемого зала. Отклик зала на тестовый сигнал воспринимался измерительным микрофоном, усиливался и после аналого-цифрового преобразователя звуковой карты поступал на ноутбук и записывался на его жесткий диск. Критерии акустического качества зала определялись в дальнейшем из зафиксированных импульсных откликов зала с помощью указанной программы. Электроакустические преобразователи и измерительный тракт в целом были предварительно откалиброваны.

В строке 1 табл. 1 показаны значения времени реверберации пустого зала. В следующей строке 2 результаты измерений откорректированы на наличие в зале публики по методике [5]. В строке 3 показаны значения времени реверберации зала с публикой, полученные в ходе акустического проектирования путем расчетов на компьютерной модели зала. Как видно, время реверберации зала достаточно близко к предусмотренным разработанным акустическим проектом величинам.

Таблица 1. Средние по залу значения времени реверберации округленные до 0.05 с

№		Частоты октавный полос, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	RT_{UNOCC} , с (измерено в пустом зале)	1,25	1,25	1,30	1,20	1,10	1,00
2	RT_{OCC} , с (коррекция результатов измерений в пустом зале на присутствие зрителей)	1,20	1,10	1,15	1,05	0,95	0,85
3	RT_{OCC} , с (расчетные значения для зала с публикой по акустическому проекту)	1,30	1,20	1,15	1,05	1,05	1,00

В строках 1 и 2 табл. 2 показаны измеренные значения локального критерия акустического качества — времени раннего затухания (EDT). Приводятся средние значения EDT отдельно в партере и на ярусах. Отличие между результатами измерений

в этих зонах зала незначительны и не превышают 0,1 с. В целом значения EDT оказываются несколько меньше времени реверберации, что достаточно характерно для залов с хорошей акустикой. Здесь также было установлено хорошее совпадение с результатами расчетов на компьютерной модели, которые показали средние по залу значения EDT в пределах 0,95–1,10 (в диапазоне октавных полос 250 – 2000 Гц).

Поскольку речь идет о драматическом театре, то особый интерес представляет оценка разборчивости речи. В строках 3 и 4 табл. 2 показаны величины речевого критерия — индекса четкости звучания (C_{50}). Из этих данных следует, что на средних частотах обеспечивается условие $C_{50} > 0$ дБ, свидетельствующее о достаточной понятности речи.

Таблица 2. Значения EDT и C_{50} отдельно по партеру и ярусам в пустом зале

№		Частоты октавный полос, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	EDT, с (измерено в партере и бенуаре)	1,10	1,10	1,05	1,00	0,90	0,80
2	EDT, с (измерено на 1-м и 2-м ярусах)	0,95	1,15	1,15	1,10	0,95	0,80
3	C_{50} , дБ (измерено в партере и бенуаре)	–2,20	0,20	0,70	1,50	1,20	2,20
4	C_{50} , дБ (измерено на 1-м и 2-м ярусах)	–0,20	0,30	0,10	0,80	1,80	2,90

Более точная оценка разборчивости речи может быть получена на основании индекса передачи речи (STI). Измерения показали, что в партере и бенуаре $STI=0.62$, на 1-м ярусе $STI=0.64$ и на 2-м ярусе $STI=0.62$. Как известно условие $STI > 0.60$ свидетельствует о хорошей разборчивости речи. Это подтверждается и субъективной оценкой. Речь исполнителя на сцене хорошо понятна во всех зонах зрительских мест. Расчет значений STI на компьютерной модели дал сходные результаты. При размещении источника звука в глубине сцены в среднем по залу $STI=0.63$, а при его смещении на авансцену увеличиваются до $STI=0.65$.

Структуры звуковых отражений в помещении носят благоприятный характер с достаточным количеством ранних полезных звуковых отражений, обеспечивающих «акустическую поддержку» зала. Никаких нежелательных поздних отражений высокого уровня, которые могли бы привести к образованию слышимого эхо, не было выявлено. Субъективно эхо в зале также не прослушивается. Характерные примеры структур звуковых отражений в форме кривых энергия-время (Energy Time Curves - ETC) показаны на рис. 11–13. Во всех случаях для удобства сравнения время прихода прямого звука показано одинаковым и условно равным 100 мс. Представлен первый участок импульсного отклика зала длительностью в 200 мс.

Критерий запаздывание первого звукового отражения высокого уровня (ITDG) в зале театра составляет не более 15–20 мс. Данный критерий, в основном, используется применительно к музыкальным залам. Для драмтеатров значение $ITDG < 20$ мс, без сомнения можно признать очень хорошим результатом. В определяющей степени низкие величины ITDG связаны со сравнительно небольшими размерами зала.

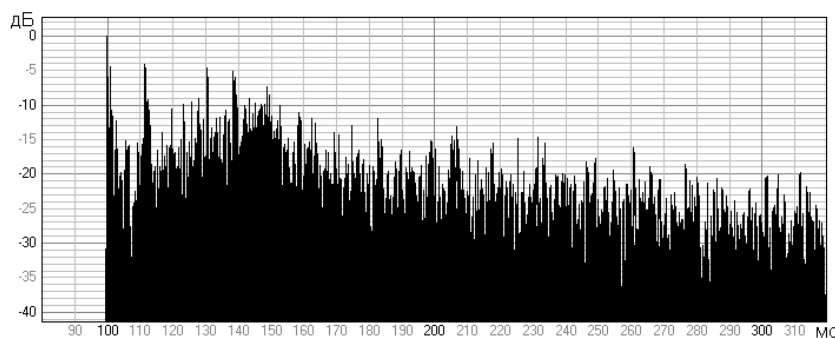


Рис. 11.

ЕТС. Микрофон в
центре партера,
источник звука в
глубине сцены (S2)

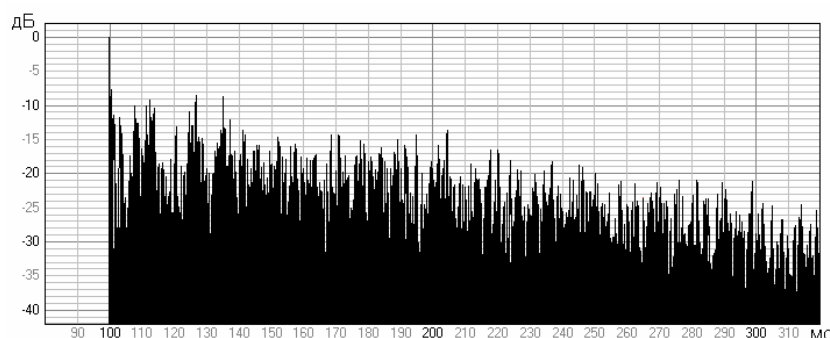


Рис. 12.

ЕТС. Микрофон в
боковой ложе 1-го
яруса, источник звука на
авансцене (S1)

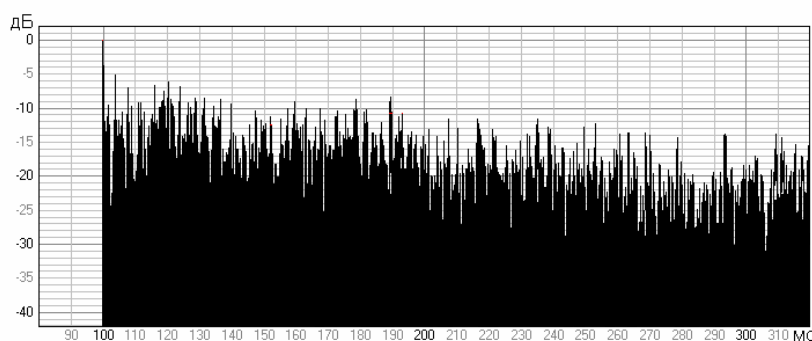


Рис.13.

ЕТС. Микрофон в
центре 2-го яруса,
источник звука в
боковой части сцены
(S3)

Для зала была разработана система вентиляции с подачей воздуха из камеры статического давления под полом партера. Подобные системы обычно характеризуются низким уровнем шума, что было обеспечено и в рассматриваемом зале. В табл. 3 показаны результаты измерений уровней проникающих звуковых помех при работе системы вентиляции зала. Эти уровни не превышают нормативных значений, регламентированных в [2].

Таблица 3. Уровни звукового давления шума в дБ и уровни звука в дБА

Частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	дБА
Измерено в зале, дБ	48	36	30	25	22	19	19	18	31
Нормативные значения, дБ	55	44	35	29	25	22	20	18	30

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Измеренные в зале театра после завершения его реконструкции значения объективных критериев акустического качества соответствуют тем величинам, которые были предусмотрены в задании на проектирование и были вычислены методом компьютерного моделирования. При этом единственный нормируемый критерий акустического качества — время реверберации соответствует требованиям действующих отечественных норм [2]. Остальные критерии акустического качества, рекомендованные к использованию стандартом [4], имеют значения характерные для драматических театров с хорошей акустикой.

2. Значения речевых критериев акустического качества свидетельствуют о хорошей понятности речи в зале. Это подтверждается и субъективной оценкой. В пустом зале речь человека, как на авансцене, так и на основной сцене, хорошо понятна во всех зонах кресел партера и на ярусах.

3. Результаты акустических измерений, а также положительный опыт работы театра свидетельствуют о том, что реконструкция зала Воронежского драматического театра применительно к задачам архитектурной акустики может быть признана успешной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lannie M. Y., Makrinenko L. I. Acoustics of Russian Classical Opera Houses // Journal of the Audio Engineering Society, 1999, v. 47, № 3, pp. 119-129.
2. СП 51.13330.2011. Актуализированная версия СНиП 2303-03. Защита от шума.
3. Acoustical design of theatres for drama performance: 1985-2010. D. T. Bradley, E. E. Ryherd, M. C. Vigeant, Eds. 2010.
4. ISO 3382-1:2009. Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces.
5. T. Hidaka, N. Nishihara, L. Beranek. Relation of acoustical parameters with and without audiences in concert halls and a simple method for simulating the occupied state // J. Acoust. Soc. Am., 2001, v. 109, pp. 1028-1042.