

М. Ю. Ланэ, В. Н. Сухов

*Московский научно-исследовательский и проектный институт объектов культуры, отдыха, спорта и здравоохранения «ГУП МНИИП Моспроект-4»
123056 Москва, 2-я Брестская ул., 28а. E-mail: mlannie@mail.ru*

Акустика зрительного зала московского академического музыкального театра имени К. С. Станиславского и В. И. Немировича-Данченко

Получена 01.04.2008, опубликована 25.04.2008

Представлены результаты акустического проектирования реконструируемого зрительного зала оперного театра на 1100 мест. На основании акустических измерений и субъективной оценки, выполненных в исходном состоянии помещения, сформулированы задачи реконструкции зала. Акустическое проектирование проводилось методом компьютерного моделирования и путем исследований на масштабной модели, изготовленной в масштабе 1:25. Указана, принятая в ходе реконструкции, отделка внутренних поверхностей зала, а также те изменения его формы, которые оказались допустимыми по архитектурным требованиям. Приводятся результаты акустических измерений, проведенных в зале после завершения реконструкции.

Ключевые слова: архитектурная акустика, оперный театр, акустические измерения.

ВВЕДЕНИЕ

Московский академический музыкальный театр им. К. С. Станиславского и М. И. Немировича-Данченко под разными названиями размещался в комплексе зданий на улице Большая Дмитровка с 1919 г. В 1938 г. по проекту архитектора А. Федорова был практически заново построен зрительный зал. Помещение имело вогнутую форму плана с размещением зрителей в партере, следующим за ним небольшим амфитеатре, ложах бенуара и на крупном балконе с крутым подъемом рядов зрительских мест. Общая вместимость зала составляла 1380 мест. Потолок зала был плоским с небольшим перепадом отметок в области просцениума. В отделке стен и потолка преимущественно использовалась штукатурка. В 1969 г. производилась замена технологического оборудования сцены. Тогда же над задней частью оркестровой ямы был устроен козырек, что сказалось на качестве звучания не лучшим образом. В целом же постройка 1938 г. сохранилась неизменной до конца 90-х годов прошлого века, когда началась реконструкция театра. В ходе реконструкции, завершенной в 2006 г., вокруг исторической части здания был построен ряд новых корпусов. В результате театр получил вторую сцену со свободной компоновкой плана, большое число

разнообразных репетиционных залов, вокальные классы, небольшую студию звукозаписи и целый ряд звуковых и видео аппаратных. Настоящая публикация посвящена реконструкции основного зрительного зала.

1. АКУСТИКА ЗАЛА ДО РЕКОНСТРУКЦИИ

На первом этапе работы до начала реконструкции в пустом зале были выполнены акустические измерения. С использованием измерительной системы MLSSA были определены импульсные отклики помещения, на основании которых находились значения времени реверберации (RT) (см. строку 1 таблицы 1) и других критериев акустического качества.

Таблица 1. Значения времени реверберации зала в секундах

| № | | Частоты октавных полос, Гц | | | | | |
|----|--|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| 1. | Измерено в пустом зале, 1997 г. | 1,90 | 1,70 | 1,60 | 1,50 | 1,35 | 1,25 |
| 2. | Измерено в пустом зале, 2006 г. | 2,1 | 1,75 | 1,75 | 1,75 | 1,65 | 1,45 |
| 3. | Расчетное значение для зала с публикой по проекту реконструкции (компьютерная модель) | 1,70 | 1,60 | 1,55 | 1,35 | 1,30 | 1,20 |
| 4. | Расчетная коррекция данных измерений 2006 г. в пустом зале (строка 2) на заполнение зала публикой. | 1,90 | 1,60 | 1,55 | 1,50 | 1,45 | 1,25 |
| 5. | Измерено в зале с публикой в 2006 г. | 1,75 | 1,65 | 1,55 | 1,50 | 1,45 | 1,30 |

Помимо этого методом анкетного опроса были собраны данные о субъективной оценке качества звучания в зале. Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

– В целом акустика зала в его исходном состоянии является приемлемой. Вместе с тем в помещении имеются зоны относительно лучших и худших по слышимости мест. Лучшая по акустике зона включает балкон, за ней следует амфитеатр, последние ряды партера и, наконец, передние ряды. К относительно худшим местам относится середина партера.

– Время реверберации зала несколько занижено.

– Значения индекса прозрачности звучания завышены, что наиболее заметно проявляется в передней части партера, где они составляют в среднем (для диапазона октавных полос 500, 1000 и 2000 Гц) $C_{80}(3) = +6,4$ дБ.

– Наилучшая структура звуковых отражений наблюдается на балконе, где фиксируется большое число ранних звуковых отражений высокого уровня, приходящих с небольшим запаздыванием относительно прямого звука. В средней части партера число подобных полезных отражений резко уменьшается, что однозначно связано с формой стен и потолка в области просцениума.

– Конструкция оркестровой ямы крайне неудачна. Глубина ямы слишком большая и излишне велик вынос козырька авансены над ямой. Оркестранты плохо слышат друг друга и сложно поддерживать музыкальный баланс. Оркестр и особенно струнная группа плохо слышны на сцене.

Таким образом, реконструкция зала с акустической позиции была направлена на увеличение времени среднечастотной реверберации заполненного публикой помещения до значения $RT_{0,5} = 1,50 \dots 1,55$ с; на изменение формы оркестровой ямы с ее расширением, устройством подъемно-опускного пола и ликвидацией козырька под авансеной, а также на обеспечение партера дополнительными ранними звуковыми отражениями.

2. АКУСТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАЛА

На рис. 1 и 2 показаны вид зала и его продольный разрез согласно компьютерной модели применительно к одному из последних вариантов проекта реконструкции. Вместимость зала за счет ликвидации первых рядов партера, что было необходимо для расширения оркестровой ямы, и использования более комфортных кресел была уменьшена до $N=1100$ мест. При объеме зала $V=9740$ м³ это привело к значению воздушного объема на 1 зрителя $V/N=8,85$ м³, что вполне достаточно для оперного театра.

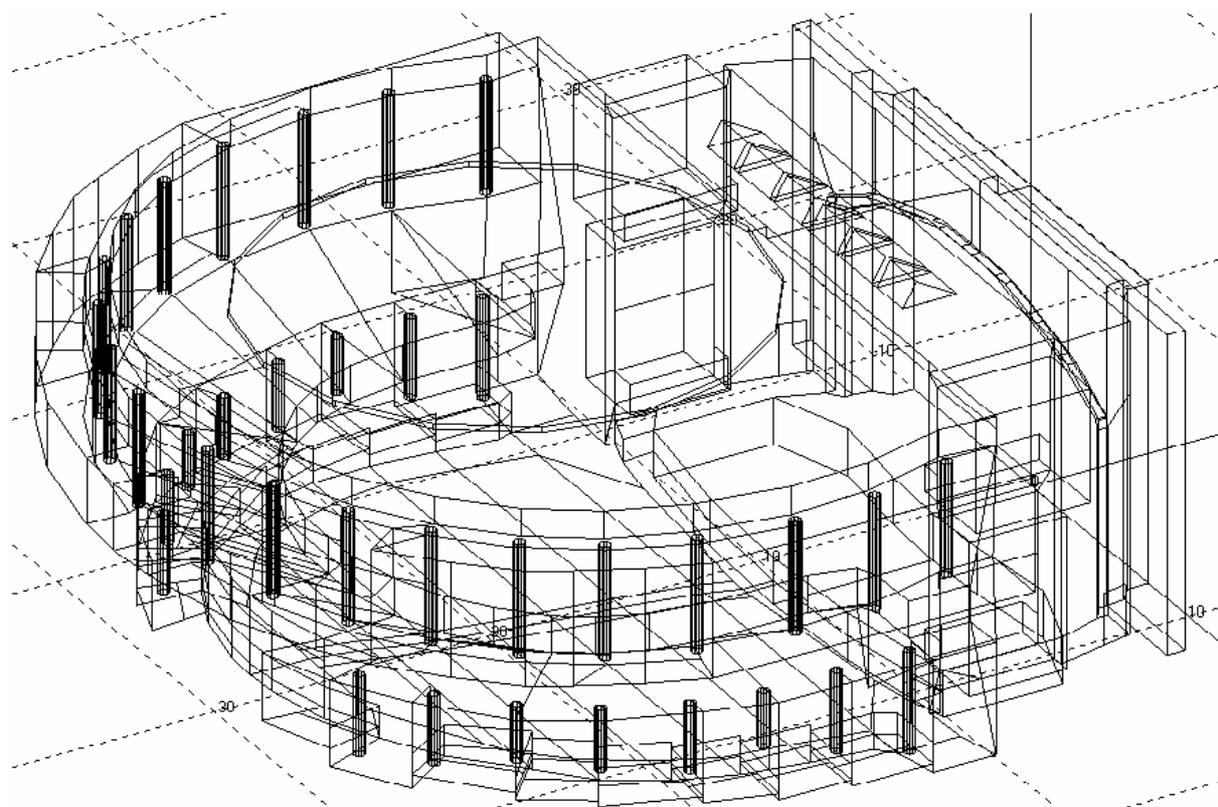


Рис. 1. Изометрия зала без сценической коробки.
Компьютерная модель, проект реконструкции

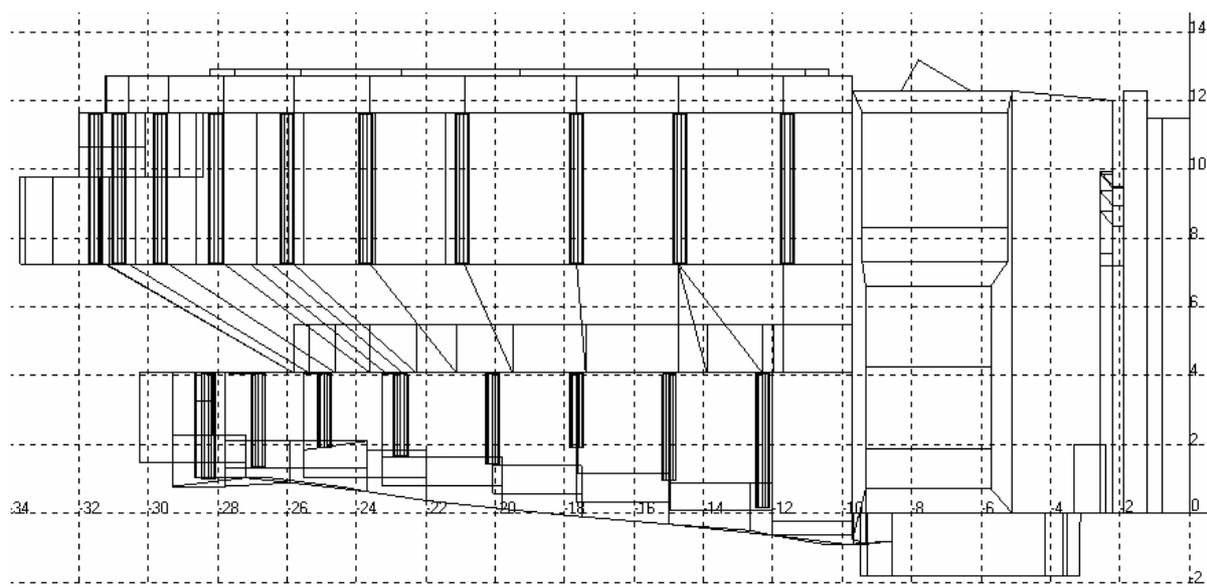


Рис. 2. Продольный разрез зала без сценической коробки.
Компьютерная модель, проект реконструкции

Остановимся на отделке внутренних поверхностей, которая подбиралась для обеспечения указанного оптимума реверберации. В зале были установлены специально подобранные кресла, у которых обивка размещалась только на верхней поверхности откидного сидения и на передней поверхности спинки.

Потолок зала изначально был сделан в виде толстой деревянной обшивки, по нижнему уровню которого было выполнено штукатурное покрытие по сетке. Воссоздание этого покрытия с применением мокрых работ оказалось невозможным по ряду строительных ограничений. В итоге основной потолок при реконструкции был выполнен в виде железобетонной оболочки, к которой крепились тщательно подогнанные шпунтованные доски толщиной 37 мм. По нижнему уровню досок к ним подклеивался окрашенный в белый цвет холст, который и создавал внешний вид потолка. На части площади потолка между железобетонной оболочкой и 37 мм досками предусматривался воздушный промежуток. Потолок подбалконной пазухи был выполнен в виде обшивки из двух слоев гипсокартона. Для исключения нежелательного низкочастотного звукопоглощения гипсокартон крепился очень жестко по специально разработанному частому каркасу.

Стены зала в основном выполнялись оштукатуренными. В уровне балкона отделка стен выполнялась многослойным гипсокартоном, который также жестко крепился по частому каркасу.

Пол зала по всей его площади выполнялся из дерева. В партере паркет толщиной в 22 мм укладывался на толстую 20 мм фанеру, укрепляемую по дощатому настилу толщиной в 45 мм. Последний крепился по лагам толщиной в 60 мм, опирающимся на железобетонное основание толщиной в 80 мм. Под этим основанием размещалась камера статического давления глубиной около 400 мм, предназначенная для подачи

воздуха под кресла партера через отверстия диаметром в 120 мм. В каждое из этих отверстий вставлялся металлический колпачок, снабженным регулятором и имеющим мелкие отверстия для доступа воздуха в зал. В боковых участках партера камеры статического давления не было. Здесь пол той же конструкции опирался на кирпичные столбики, выложенные по поверхности перекрытия. На балконе конструкция пола была сходной с тем отличием, что камера статического давления имела переменную глубину.

В ходе работы было решено значительно расширить оркестровую яму путем выноса ее вперед в сторону зала. Яма была запроектирована полностью открытой без козырька. Ее ширина составила 5,85 м, а общая площадь 112 м². Отметка пола могла изменяться в широких пределах вплоть до уровня планшета сцены. Отделка стен ямы была решена в виде облицовки из жестко закрепленных деревянных панелей.

Основные сложности возникли с улучшением структуры звуковых отражений в передней части партера. В ходе проектирования предлагались различные варианты решения потолка на участке от порталного проема до основного горизонтального потолка в виде одного или двух звукоотражающих козырьков выпуклой формы. Кроме того, предлагалось выполнить боковые стены просцениума от порталного проема до начала боковых лож также в виде выпуклых секций. Проведенные на вариантах компьютерной модели расчеты показали, что реализация этих мероприятий позволила бы решить все проблемы с обеспечением партера ранними отражениями высокого уровня. Однако все эти предложения были отвергнуты по архитектурным требованиям. В итоге форма просцениума в ходе реконструкции практически не изменилась. Единственно, что удалось, это согласовать небольшой наклон примыкающего к portalу переднего участка потолка, а также скос стен от порталного проема до боковых лож. С позиций акустики эти мероприятия были полезны, однако они не могли полностью решить проблему улучшения структуры импульсного отклика в партере зала.

Архитекторами было предложено изменить отметки пола боковых лож бенуара. Это привело к тому, что высота барьеров этих лож от уровня пола партера заметно уменьшилась. По акустическим требованиям такое решение было нежелательным, так как ранее существовавшие высокие барьеры лож способствовали поступлению в партер некоторого количества ранних боковых отражений. Тем не менее, по архитектурным требованиям и условиям видимости данное предложение было принято и реализовано в ходе реконструкции.

Архитекторы также настаивали на выполнении задней стены балкона в виде вогнутой поверхности, проходящей в абрисе установленных на балконе колонн. Акустические расчеты показали, что подобная вогнутая поверхность, проходящая сразу за последним рядом кресел, недопустима по причине возникновения концентрации звука. В результате было решено оставить промежутки между колонн свободными, а саму заднюю стену балкона расчленить системой небольших ниш, что и было выполнено.

Помимо компьютерного моделирования в ходе акустического проектирования были проведены исследования на масштабной модели зала. Модель была изготовлена в масштабе 1:25 из толстого пластика. Наличие публики моделировалось слоем войлока. Источником звука служил имеющий широкополосный спектр искровой разряд. В качестве приемника звука использовался $\frac{1}{4}$ дюймовый измерительный конденсаторный микрофон, который для уменьшения направленных свойств был снабжен конусной насадкой. Были получены импульсные отклики при размещении микрофона в 26 точках, выбранных в различных зонах зрительских мест (партер, ложи бенуара, балкон). Малогабаритный искровой разрядник последовательно размещался в 3 точках на сцене и в 2 точках в яме. Анализ зафиксированных импульсных откликов полностью подтвердил результаты, полученные в ходе расчетов на компьютерной модели. Во всех зонах зала наблюдалась вполне благоприятная структура звуковых отражений. Исключение составляла передняя часть партера, где число ранних отражений высокого уровня было явно недостаточным.

3. АКУСТИЧЕСКА ЗАЛА ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

После завершения реконструкции в пустом зале были проведены акустические измерения. На рис. 3 и 4 показаны две фотографии, дающие представление о виде зала после окончания реконструкции.



Рис. 3. Вид на сцену из конца партера после завершения реконструкции



Рис. 4. Вид зала с края первого ряда партера после завершения реконструкции

В качестве источника звука при измерениях применялись выстрелы из стартового пистолета, которые последовательно производились из трех точек на сцене зала. Первая из них (S1) была выбрана по оси сцены на расстоянии 3 м от рампы, вторая (S2) была смещена относительно первой в глубину сцены на 5 м, а третья (S3) находилась в боковой части сцены в 3 м от оси и на удалении от рампы в 5 м. Импульсные отклики зала записывались на цифровой магнитофон с применением ненаправленного измерительного микрофона, который размещался в 10 точках, выбранных в различных зонах помещения. Последующая обработка полученных записей производилась с помощью программы EASERA. Кроме того, в заполненном зрителями зале во время концерта были записаны на магнитофон резко обрывающиеся аккорды оркестра. Эти записи использовались для получения данных о времени реверберации зала при наличии публики.

Данные о значениях RT в пустом и заполненном публикой зале приведены соответственно в строках 2 и 5 табл. 1. Как видно, время реверберации зала после реконструкции возросло и соответствует заложенному в ходе проектирования оптимальному значению в 1,50...1,55 с.

До начала реконструкции средние по залу значения $C_{80}(3)$ при размещении источника звука у авансцены составляли +5,9 дБ, а при смещении источника в глубину сцены +4,6 дБ. Подобные величины $C_{80}(3)$ являются завышенными и превосходят рекомендованные значения. Проведенные после реконструкции измерения показали,

что средние по залу значения C_{80} (3) для положений источника звука в точках S1, S2 и S3 соответственно равны: 2,8...3,4 дБ; 2,7...3,3 дБ и 2,7...3,3 дБ. Таким образом, было достигнуто достаточно заметное снижение C_{80} (3), который становится близок к требуемым для оперных театров значениям.

Значения индекса четкости звучания C_{50} (3) для положений источника звука в точках S1, S2 и S3 равны соответственно $-0,2...+0,6$ дБ; $+0,3...+0,6$ дБ и $+0,3...+1,3$ дБ. Данный индекс является речевым критерием и его значения более 0 дБ свидетельствуют о том, что в зале обеспечивается достаточная разборчивость речи, что важно для восприятия вокальных партий.

Анализ измеренных структур звуковых отражений зала показал, что в передней и средней частях партера наблюдается явный дефицит ранних полезных отражений высокого уровня, причем при смещении источника звука в глубину сцены эта ситуация проявляется наиболее явно (характерный пример приведен на рис. 5). В задней части партера количество полезных отражений высокого уровня увеличивается, и структура импульсного отклика становится более благоприятной. Наилучшее положение наблюдается на балконе, где фиксируется гораздо более плотная структура импульсного отклика с достаточным числом ранних интенсивных звуковых отражений (рис. 6).

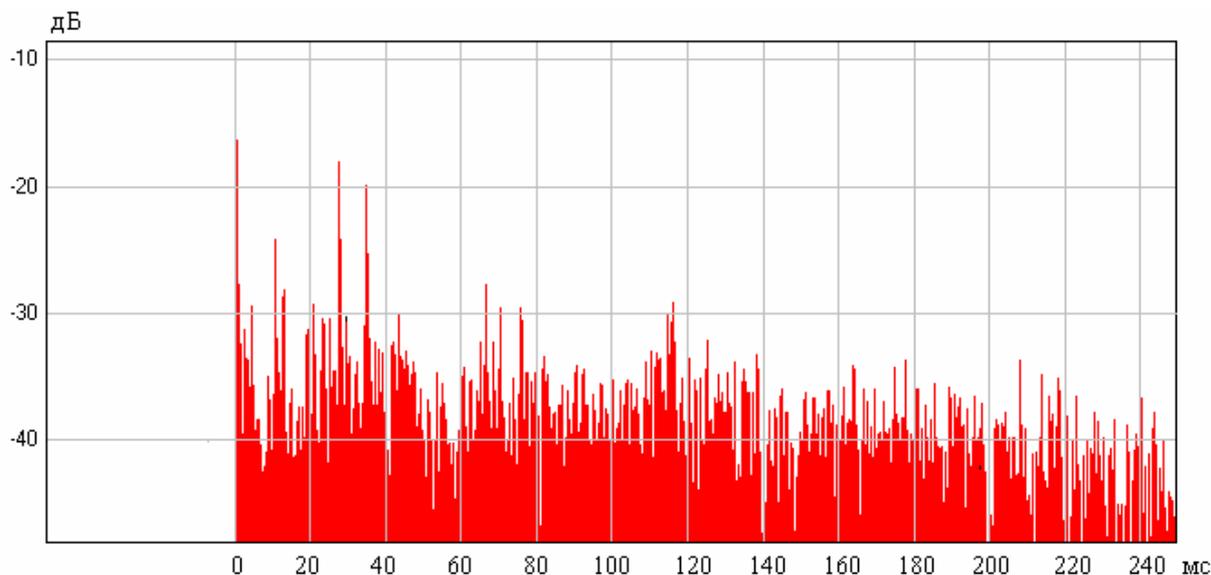


Рис. 5. Импульсный отклик зала после реконструкции. Источник звука в центре сцены (точка S2); микрофон в 6 ряду партера в боковой части зала

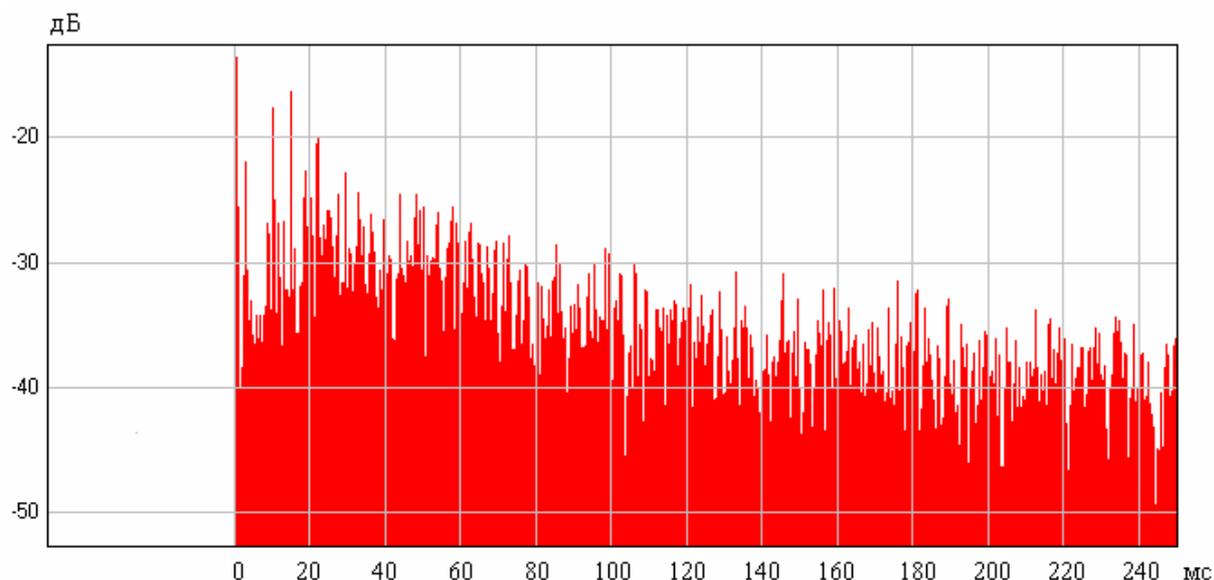


Рис. 6. Импульсный отклик зала после реконструкции. Источник звука в боковой части сцены (точка S3); микрофон в 5 ряду балкона в его центральной части

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных измерений позволяют сформулировать следующие выводы, которые подтверждаются субъективной оценкой:

- В реконструированном зале обеспечивается рекомендованный для оперных театров оптимум времени реверберации.
- Прозрачность звучания, как в партере, так на балконе зала может быть признана хорошей.
- Певческий голос хорошо понятен во всех зонах зрительских мест партера и балкона.
- Пространственное впечатление в партере оставляет желать лучшего, что обуславливается «бедной» структурой импульсного отклика помещения на его начальном участке с недостаточным числом ранних звуковых отражений высокого уровня. Причина этого однозначно связана с геометрией помещения. Отказ от предлагавшегося изменения формы просцениума не позволил в ходе реконструкции зала решить в полной мере данную проблему.