

АКУСТИКА БОЛЬШОГО ЗАЛА МОСКОВСКОЙ КОНСЕРВАТОРИИ ИМ. П.И. ЧАЙКОВСКОГО ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ 2010–2011 гг.

© 2013 г. Н. Г. Канев*, А. Я. Лившиц*, Н. Möller**

*ООО “Акустические материалы”, 115054, Москва, ул. Новокузнецкая, д. 33, стр. 2

**Akukon Ltd., Niimotie 19, Helsinki, 00380 Finland

E-mail: nikolay.kanev@acoustic.ru

Поступила в редакцию 23.06.2012 г

Большой зал Московской консерватории им. П.И. Чайковского построен в начале XX века и за более чем 100 лет эксплуатации заслужил высокую акустическую репутацию как среди музыкантов, так и среди слушателей. К началу XXI века состояние зала стало близким к аварийному, что вызвало необходимость проведения значительной реконструкции. С точки зрения архитектурной акустики основная задача заключалась в сохранении хороших акустических характеристик зала. В статье приводятся результаты измерения акустических параметров зала после реконструкции, проведенной в 2010–2011 годах, и сравниваются с параметрами, измеренными до реконструкции. Дана сравнительная акустическая характеристика Большого зала и ведущих концертных залов мира.

Ключевые слова: архитектурная акустика, акустические измерения, Большой зал Московской консерватории.

DOI: 10.7868/S0320791913030064

ОПИСАНИЕ ЗАЛА

Большой зал Московской консерватории находится в здании, построенном по проекту архитектора В.П. Загорского, торжественное открытие зала состоялось 7 апреля 1901 г. [1]. С первых дней существования в Большом зале начали выступать прославленные музыканты как из России, так и из-за рубежа. Большой зал стремительно завоевал репутацию одной из лучших музыкальных площадок нашей страны, в том числе и благодаря своей замечательной акустике, что уже более века отмечается исполнителями и слушателями. В настоящее время в Большом зале выступают лучшие солисты и коллективы мира, а также проходят международные фестивали и конкурсы, среди которых — всемирно известный конкурс имени П.И. Чайковского.

Приведем описание характеристик Большого зала, определяющих его акустические свойства. Зал имеет классическую прямоугольную форму, характерную для концертных залов, построенных во второй половине XIX века и первой половине XX века [2]. Подобная форма зала в англоязычной литературе часто называется “shoebox” — “коробка из-под обуви”. Планы зала на уровне партера, первого и второго ярусов амфитеатра представлены на рис. 1, продольный и поперечный разрезы зала представлены на рис. 2. В зале есть балконы вдоль продольных стен на уровне первого яруса

амфитеатра. Интересно, что угол наклона первого яруса амфитеатра больше, чем у второго яруса (см. разрез 1–1 на рис. 2), что является необычным с архитектурной точки зрения. На сцене установлен орган, практически полностью перекрывающий фронтальную стену сценического пространства.

Количество зрительских мест составляет 1737. В партере установлены кресла с мягкими сиденьями и спинками, на балконе — деревянные скамьи с жесткими спинками. Общая длина зала (от органа до задней стены амфитеатра) составляет 53 м, глубина сцены — 6 м. Ширина зала — 21.5 м, высота в партерной части — 17.8 м. Объем зала составляет 15700 м³. Удельный объем на одного слушателя равен 9 м³.

Потолок зала плоский, выполнен из деревянных досок хвойных пород, закрепленных на деревянном каркасе с откосом примерно 50 см от конструкции чердачного перекрытия. На доски потолка наклеена льняная ткань, поверхность которой отшпаклевана и окрашена. Примыкание потолка и стен образует свод в четверть круга, радиус кривизны которого составляет около 3 м. При этом своды на задней и боковых стенах выполнены из ткани, натянутой по деревянному каркасу с откосом около 5 см. Свод на фронтальной стене выполнен из оштукатуренных деревянных

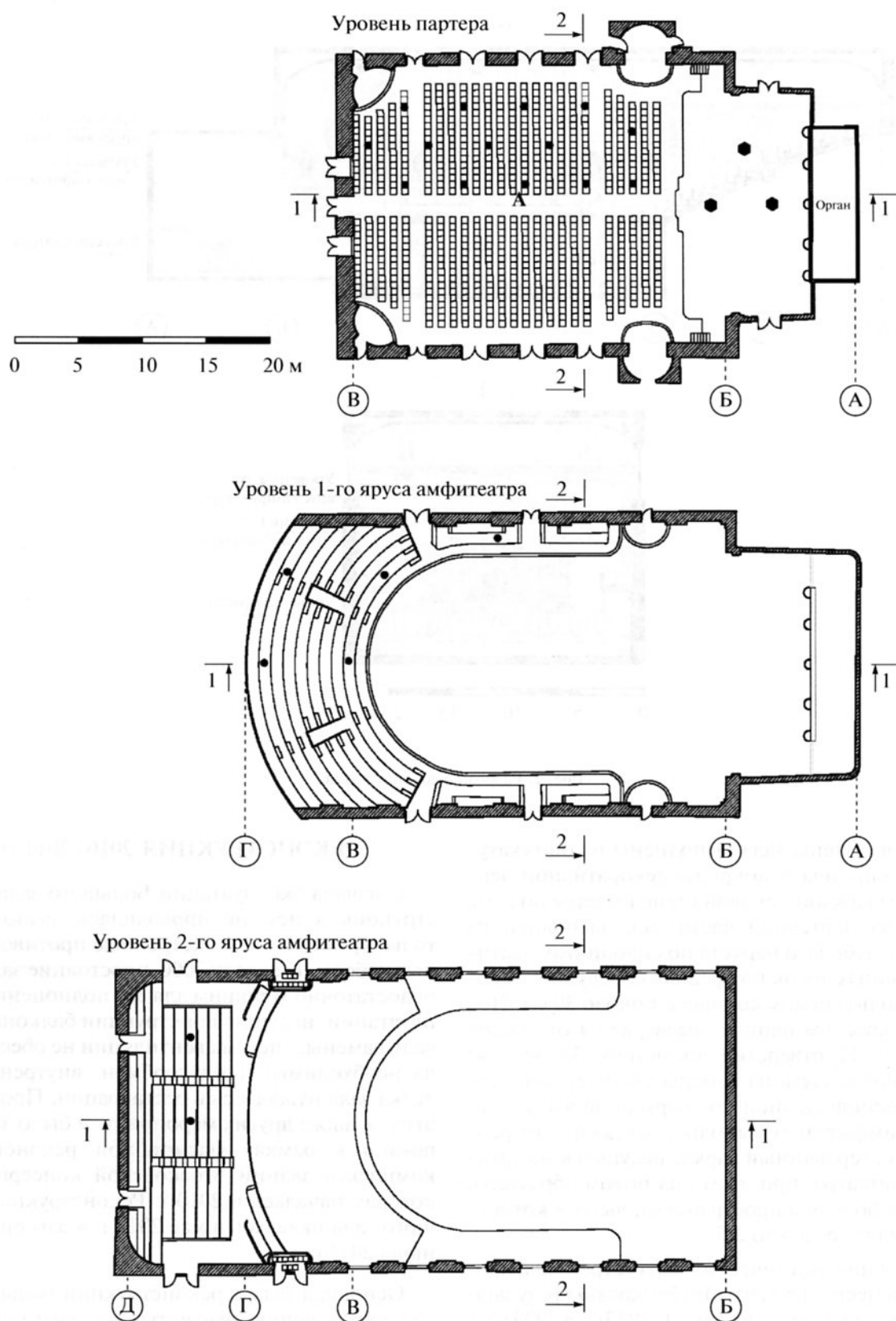


Рис. 1. Планы Большого зала. Шестиугольниками отмечены положения излучателя на сцене, точками — зрительские места, на которых измерены импульсные отклики. Импульсный отклик, измеренный в точке А, представлен на рис. 5.

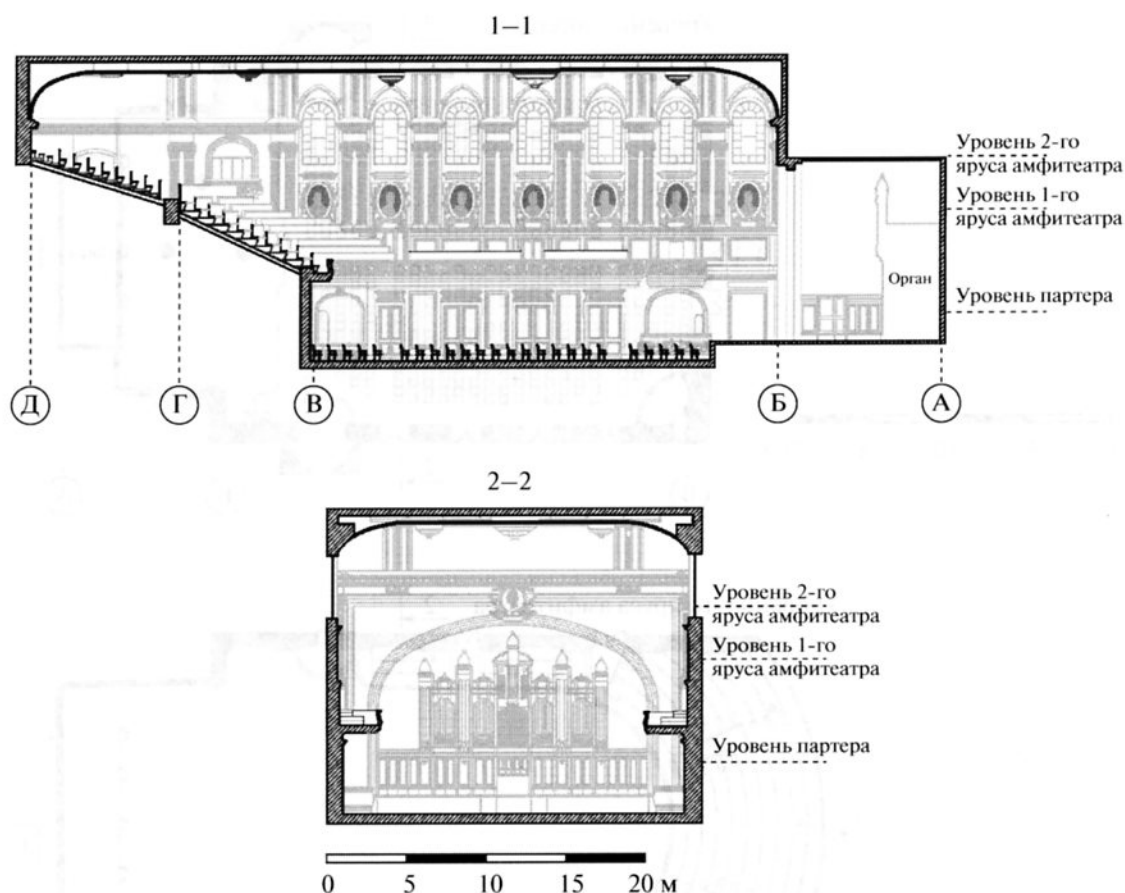


Рис. 2. Разрезы Большого зала.

ных досок. Стены зала выполнены из оштукатуренного кирпича и покрыты декоративной лепниной, на каждой боковой стене имеется по семь окон. Пол партерной части зала выполнен из штучного дубового паркета по сплошному настилу из хвойных досок по бревнам. Воздушное пространство под полом составляет около 30 см. Под каждым креслом партера высверлены отверстия (примерно 12 отверстий диаметром 30...40 мм) для подачи воздуха из камеры статического давления, расположенной под партерной частью зала. Пол амфитеатра выполнен из досок, закрепленных на деревянный каркас несущей конструкции амфитеатра, при этом под полом образуется довольно большое пространство, высота которого составляет от 0.5 до 2.5 м.

Измерения акустических параметров зала проводилось несколько раз. Опубликованы результаты измерений, проведенных в 1989 [3] и в 2009 году [4]. Интересно отметить, что время реверберации Большого зала в 2009 г. оказалось несколько меньше, чем в 1989 г., на низких и высоких частотах, хотя на средних частотах оно было одинаковым.

РЕКОНСТРУКЦИЯ 2010–2011 гг.

С начала эксплуатации Большого зала реконструкция в нем не проводилась, выполнялись только ремонтные и экстренные противоаварийные работы. К началу 2000-х состояние зала стало недостаточно хорошим для его полноценной эксплуатации: несущие конструкции балкона требовали замены, система вентиляции не обеспечивала необходимый воздухообмен, внутренняя отделка зала нуждалась в реставрации. Проведение этих, а также других мероприятий было запланировано в рамках масштабной реконструкции комплекса зданий Московской консерватории, которая началась в 2010 г. Реконструкция Большого зала началась в мае 2010 г. и завершилась в июне 2011 г.

Основная задача реконструкции Большого зала с точки зрения архитектурной акустики заключалась в сохранении его хороших акустических характеристик. Проектом реконструкции не были предусмотрены изменения объемно-планировочного решения зала, также в целом сохранялась

внутренняя отделка. Ниже приводится перечень мероприятий по реконструкции зала, которые в большей или меньшей степени могли оказать влияние на его акустику.

Потолок зала, выполненный из деревянных досок, закрепленных к деревянным балкам, сохранился в удовлетворительном состоянии. Была произведена замена всего лишь нескольких досок, но большее их количество было сохранено. В щели усыхания между досок (до 15 мм) были вбиты с костным клеем полоски древесины с последующим сострагиванием и зашлифовыванием до единой гладкой поверхности со старыми досками. Произведено дополнительное укрепление к несущим вышележащим конструкциям из древесины всего щита потолка саморезами. На укрепленную поверхность нанесены грунтовочные слои, выравнивающий шпаклевочный слой, армированный льняной сетчатой тканью. Холст был заменен на аналогичный, плотно приклеен к отшпательванным доскам и окрашен. Таким образом, конструкция потолка осталась очень близка к оригинальной по своим характеристикам, но с акустической точки зрения стала несколько жестче. На сводах между потолком и стенами была заменена ткань. Сами стены зала и лепной декор были только отреставрированы, замена отделочных материалов не производилась, за исключением финишного слоя шпаклевки и окраски.

Несущие конструкции амфитеатра были в аварийном состоянии, поэтому полностью были заменены. Новый несущий каркас для зрительских мест выполнен из клееных деревянных балок, на которых установлена "лестница" зрительских рядов. Пол зала в амфитеатре выполнен из толстой фанеры, уложенной на деревянные лаги. Напольное покрытие — дубовый штучный паркет, приклеенный к фанере.

В конструкции пола партерной части зала были сохранены балки из бревен, по которым выполнен настил из досок толщиной 50 мм с покрытием из дубового штучного паркета. Вместо мелких вентиляционных отверстий под креслами партера были просверлены отверстия диаметром 150 мм и в них вмонтированы вентиляционные диффузоры.

Кресла для партера и скамьи для балкона были изготовлены заново строго по оригинальным образцам. Материалы для мягких частей кресел (сидений и спинок) подбирались таким образом, чтобы их коэффициент звукопоглощения был максимально близок к коэффициенту звукопоглощения оригинальных сидений и спинок. Для этого была проведена серия сравнительных изме-



Рис. 3. Коэффициенты звукопоглощения новых (сплошная линия) и оригинальных (пунктир) сидений кресел партера.

рений нескольких образцов сидений различной конструкции в реверберационной камере и определен образец, наиболее близкий к оригинальному. На рис. 3 приведены коэффициенты звукопоглощения выбранного образца сидений и проведено сравнение с оригинальным сидением.

Решение сценического пространства было несколько изменено. Орган и его размещение на сцене остались прежними, но высота деревянных панелей, отделяющих стены сцены, была уменьшена до 2.8 м от уровня пола сцены (рис. 4). Выше деревянных панелей стены оштукатурены и окрашены.

Ткань и конструкция нового арлекина и занавесей лож были подобраны так, чтобы максимально соответствовать оригинальным. То же относится и к ковровым дорожкам, уложенным в проходах партера.

При проведении всех мероприятий по реконструкции и реставрации Большого зала группой надзора по архитектурно-строительной акустике тщательно контролировалась точность выполнения проекта реконструкции, а также качество исполнения работ и соответствие применяемых отделочных материалов оригинальным.

РЕЗУЛЬТАТЫ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

После завершения реконструкции Большого зала были проведены акустические измерения. Они выполнены 6 июня 2011 года в зале без публики по стандартизированной методике, регламентированной стандартом ISO-3382 [5]. Ненаправленный источник звука (додекаэдр) располагался на сцене, на зрительских местах была выбрана



Рис. 4. Сцена Большого зала до (а) и после (б) реконструкции.

21 точка, равномерно распределенная в партере и амфитеатре, в которых были измерены импульсные отклики.

На рис. 5 приведен импульсный отклик, записанный в точке А (рис. 1), находящейся в центре партера, при расположении источника звука на авансцене. Данная точка является опорной для определения времени запаздывания первого отра-

женного звука (*ITDG*), являющегося одним из основных акустических параметров помещений [6]. Первое отражение приходит от боковых стен и запаздывает на 27 мс по отношению к прямому звуку.

Для характеристики акустики зала выбраны следующие параметры, рассчитанные по измеренным импульсным откликам [5]:

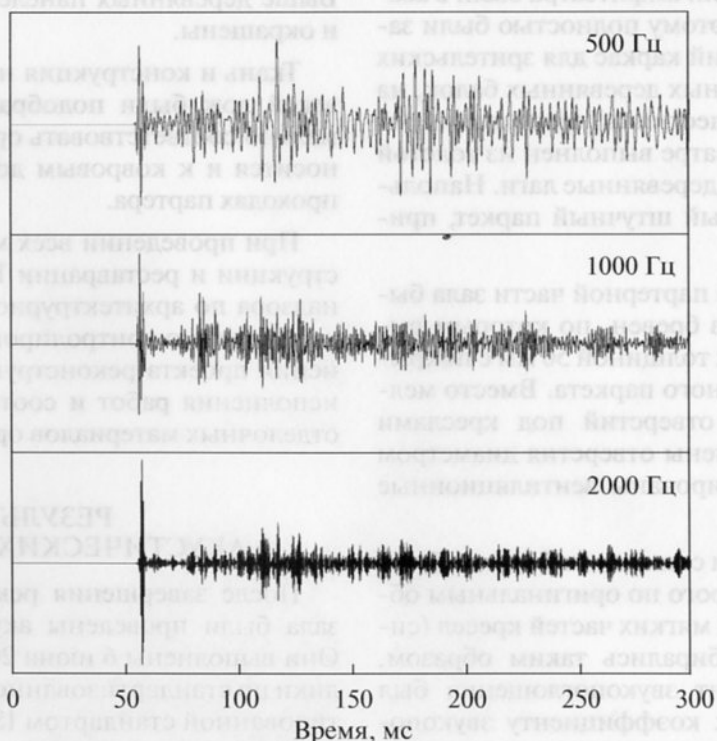


Рис. 5. Импульсный отклик, измеренный в точке А (рис. 1).

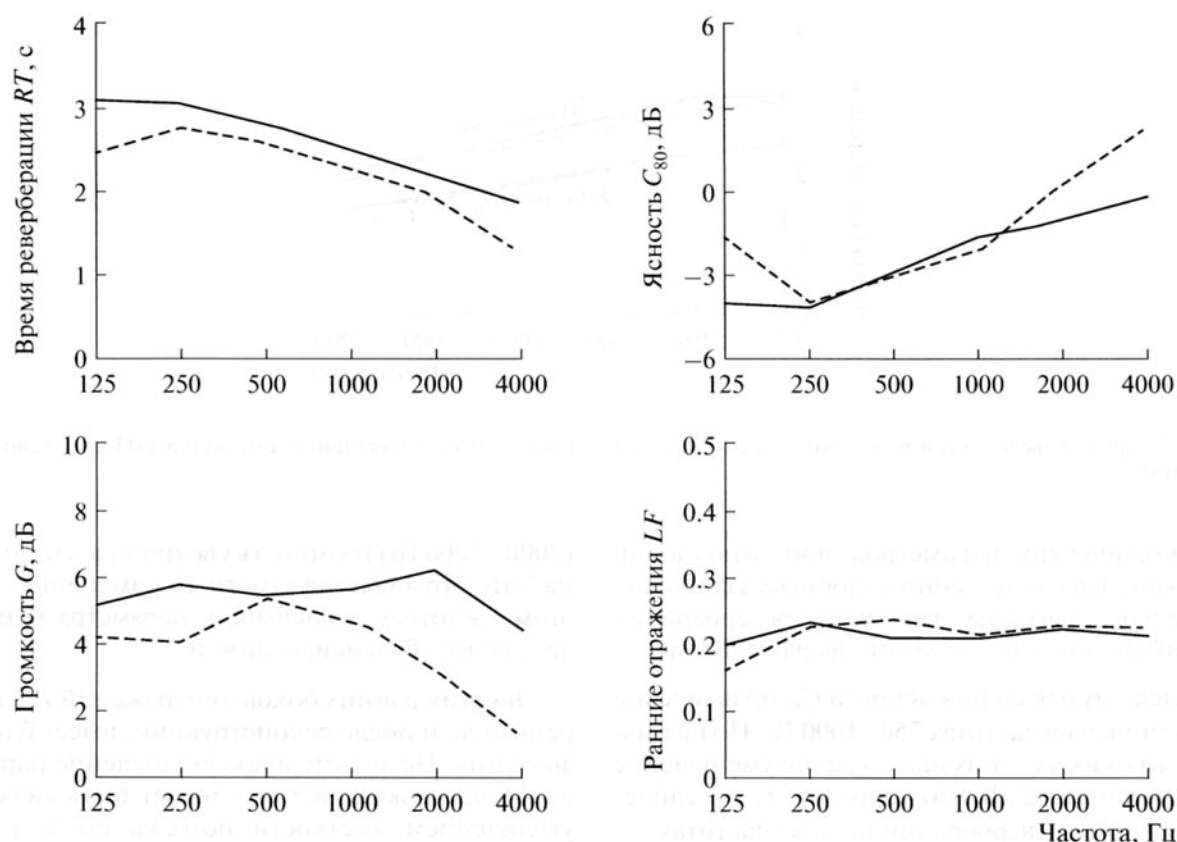


Рис. 6. Результаты измерений акустических параметров Большого зала после реконструкции (пунктир — измерения до реконструкции согласно [4]).

1. Время реверберации RT , с — время, за которое происходит спад уровня звука на 60 дБ.

2. Индекс музыкальной ясности C_{80} , дБ — отношение звуковой энергии, пришедшей за первые 80 мс, к остаточной звуковой энергии, т.е. пришедшей после 80 мс.

3. Громкость G , дБ — отношение уровня звука, измеренного в точке приема в помещении, к уровню звука на расстоянии 10 м, воспроизводимого источником в свободном пространстве [7].

4. Энергия ранних боковых отражений LF — отношение энергии сигнала, принятого за интервал времени 5–80 мс после прихода прямого сигнала дипольным микрофоном, нуль диаграммы направленности которого направлен к излучателю, к энергии сигнала, принятого за первые 80 мс ненаправленным микрофоном. Данный параметр характеризует пространственность звучания, поскольку соответствует доле энергии, приходящей к слушателю сбоку [8].

Полученные результаты сравниваются с измерениями, проведенными в Большом зале незадолго до реконструкции [4]. На рис. 6 представле-

ны частотные зависимости измеренных параметров до и после реконструкции.

Время реверберации RT после реконструкции оказалось выше во всем диапазоне частот, чем до реконструкции. На низких частотах (125 Гц) увеличение составило около 25%, на высоких частотах (4000 Гц) — 40%, в диапазоне частот 250–2000 Гц увеличение составило примерно 10%. Баланс низких частот, определяемый величиной $BR = (RT_{125} + RT_{250}) / (RT_{500} + RT_{1000})$, составил 1.16, в то время как до реконструкции его значение составило 1.07. Интересно отметить, что время реверберации после реконструкции оказалось ближе к измеренному за двадцать лет до нее [3]. Время реверберации в заполненном зале рассчитано по методике, предложенной в [9]. На рис. 7 представлены частотные зависимости времени реверберации, измеренные в пустом зале и рассчитанные по результатам этих измерений в заполненном зале. Баланс низких частот для заполненного зала составляет 1.18. Также на рис. 7 для сравнения представлены результаты измерений в зале с публикой и без нее, проведенные в 1989 г. [3]. Для Большого зала характерно существенное измене-

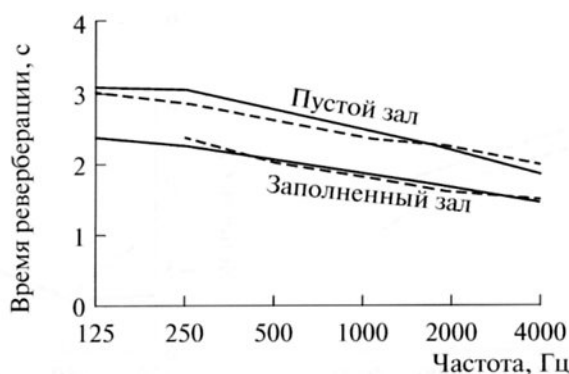


Рис. 7. Время реверберации Большого зала с публикой и без нее в 1989 г. (пунктирные линии) и в 2011 г. (сплошные линии).

ние акустических параметров при заполнении публикой, что свойственно подобным залам с относительно высоким временем реверберации (например, Золотой зал Мюзикферайн, Вена).

Индекс музыкальной ясности C_{80} практически не изменился на частотах 250–1000 Гц. Но на низких и высоких частотах наблюдается уменьшение C_{80} примерно на 2 дБ, что коррелирует с увеличением времени реверберации на этих частотах.

Отличие громкости G до и после реконструкции в диапазоне частот 125–1000 Гц не превышает 1.5 дБ. Принимая во внимание, что значения этого параметра могут варьироваться в пределах 1–1.5 дБ в зависимости от способа измерения [6, 10], можно сделать вывод о том, что существенного изменения громкости на этих частотах не произошло. Вместе с тем, на высоких частотах

(2000–4000 Гц) громкость увеличилась примерно на 3 дБ, что является заметным изменением. При этом частотная зависимость параметра G оказалась более сбалансированной.

Энергия ранних боковых отражений LF , измеренная до и после реконструкции, имеет близкие значения. Незначительное уменьшение параметра LF на низких частотах может быть связано с увеличением жесткости потолка после реконструкции и, как следствие, увеличением звуковой энергии, отраженной от потолка.

Анализ результатов проведенных измерений показывает, что объективные акустические характеристики Большого зала изменились в результате реконструкции незначительно в среднечастотном диапазоне, а на низких и высоких частотах изменения оказались более заметными.

Таблица

Концертные залы	Объем, м ³	Число мест	RT^* , с	BR^*	C_{80} , дБ	G , дБ	$ITDG$, мс	LF
Москва, Большой зал Консерватории	15700	1737	1.95	1.18	–2.4	5.5	27	0.22
Вена, Гроссер-Мюзикферайнсаал	15000	1680	2.00	1.11	–4.3	7.8	12	0.18
Амстердам, Консертгебоув	18780	2047	2.00	1.09	–3.6	6.4	21	0.18
Бостон, Симфонический зал	18750	2625	1.90	1.03	–2.6	5.4	15	0.20
Солт-Лейк-Сити, Симфонический зал	19500	2812	1.75	1.06	–2.0	2.6	30	
Берлин, Концертхаус	15000	1575	2.05	1.08	–3.1	6.9	25	

Низкочастотное увеличение времени реверберации объясняется в первую очередь увеличением жесткости некоторых конструкций: потолок, пол амфитеатра, а также уменьшением количества деревянных панелей на сцене. Реставрационная заделка щелей и отслоений на оштукатуренных поверхностях, плотное приклеивание холста на потолке, удаление пыли на ограждающих конструкциях привели к уменьшению фонда звукопоглощения на средних и высоких частотах.

Концерты, проведенные в Большом зале после реконструкции, позволили получить первые субъективные оценки его акустики. Приведем несколько высказываний выступавших музыкантов.

Д.А. Хворостовский, баритон: “Отремонтированный Большой зал консерватории — акустически превосходный зал. Звучание голоса в нем стало более живым, чувствуется ничем не ограниченный полет звука при пении”.

В.И. Федосеев, главный дирижер Большого симфонического оркестра им. П.И. Чайковского: “Зал с превосходной акустикой, но после реконструкции он стал более требовательным к исполнителям”.

Ю.А. Башмет, главный дирижер Государственного симфонического оркестра “Новая Россия”: “Прекрасный зал, удивительная акустика, она становится чуть мягче и скоро достигнет полного великолепия”.

Большинство опрошенных слушателей отметили, что Большой зал после реконструкции стал лучше в акустическом плане. По некоторым отзывам он зазвучал в полный голос, как прекрасный музыкальный инструмент.

Отмеченное улучшение звучания зала по субъективным оценкам физически может быть связано, главным образом, с увеличением времени реверберации, повышением низкочастотного баланса и выравниванием частотной характеристики громкости.

Представляет интерес сопоставить акустические параметры Большого зала с другими известными концертными залами. Для сравнения выбраны пять залов прямоугольной формы, имеющих высший рейтинг (А+ и А) по субъективным оценкам музыкантов и слушателей [11]. В таблице представлены усредненные на средних частотах (500 и 1000 Гц) значения времени реверберации RT , низкочастотного баланса BR , индекса музыкальной ясности C_{80} , громкости G , времени запаздывания первого отражения $ITDG$, энергии ранних боковых отражений LF . Значения времени реверберации и низкочастотного баланса (от-

мечены звездочками) приведены для заполненного зала. Все залы, приведенные в таблице, имеют близкие значения почти всех акустических параметров. Только низкочастотный баланс BR в Большом зале имеет большее значение, чем в других залах: среднее значение BR по пяти залам составляет 1.07. По субъективному восприятию большие значения BR соответствуют “более мягкому” звуку [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реконструкция Большого зала Московской консерватории 2010–2011 гг. не оказала существенного влияния на его акустику — акустическое качество зала осталось на прежнем высоком уровне, что подтверждается результатами измерений акустических параметров до и после реконструкции. Небольшие отличия некоторых параметров на низких и высоких частотах могут трактоваться как положительные, поскольку они позволили сбалансировать частотные характеристики этих параметров. Исполнители и слушатели также дали положительные оценки акустике Большого зала после реконструкции, никем не было отмечено ухудшения акустических характеристик.

Стоит отметить, что с течением времени возможны некоторые изменения акустических параметров зала, вызванные в первую очередь стабилизацией температурно-влажностного режима в зале, прохождением первой быстрой фазы старения отдельных строительных материалов (красок, шпаклевок, клеев, грунтовок), выходом излишней влаги из деревянных конструкций, цементно-песчаных стяжек и бетонов, окончательной фиксации и притиркой гвоздевых и саморезных соединений в деревянных конструкциях. Проблема эволюции акустики залов после окончания строительства или реконструкции недостаточно освещена в современной литературе и представляет самостоятельный интерес. В связи с этим запланирована серия измерений акустических параметров Большого зала с интервалом в полгода. Эти измерения должны также зафиксировать наличие или отсутствие различий в акустических параметрах зрительных залов в летний и зимний период, когда температурно-влажностные характеристики уличного воздуха существенно различаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронова Н.А. Московская консерватория. Источники. М.: Московская консерватория, 1995. 96 с.

2. Kwon Y., Siebein G.W. Chronological analysis of architectural and acoustical indices in music performance halls // J. Acoust. Soc. Am. 2007. V. 121. P. 2691–2699.
3. Макриненко Л.И., Ширжецкий Х.А., Сухов В.Н., Ланэ М.Ю. Акустика Большого зала Московской консерватории // Труды НИИСФ. 1988. С. 165–173.
4. Möller H., Vehviläinen S., Tishko D., Wulfrank T., Rozanov S.I. Acoustic description of the Great hall of the Moscow P.I. Tchaikovsky Conservatory // Proc. of 20th International Congress on Acoustics, August 23–27, 2010, Sydney, Australia.
5. ISO-3382. Acoustics – Measurements of the reverberation time of rooms with reference to the other acoustical parameters. ISO, Geneva, Switzerland, 2009.
6. Beranek L. Concert and Opera Houses. New York: Springer-Verlag, 2004.
7. Beranek L. The sound strength parameter G and its importance in evaluating and planning the acoustics of halls for music // J. Acoust. Soc. Am. 2011. V. 129. P. 3020–3026.
8. Barron M. Auditorium Acoustics and Architectural Design. London: E&FN Spon, 1993.
9. Hidaka T., Nishihara N., Beranek L. 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. P. 1028–1042.
10. Topa M.D., Toma N., Kirei B.S., Homana I., Neag M., De Mey G. Comparison of different experimental methods for the assessment of the room's acoustics // Acoust. Phys. 2011. V. 57. № 2. P. 199–207.
11. Беранек Л. Сравнение субъективных взглядов на качество концертных залов и объективных измерений их акустических свойств // Акуст. журн. 1995. Т. 41. № 5. С. 706–716.

Сдано в набор 10.01.2013 г.
Цифровая печать

Подписано к печати 19.03.2013 г.
Усл. печ. л. 16.0
Тираж 130 экз.

Дата выхода в свет 13 нечетн.
Усл. кр.-отт. 2.2
Зак. 1181
Цена свободная

Формат 60 × 88¹/₈
Бум. л. 8.0

Учредитель: Российская академия наук

Издатель: Российская академия наук. Издательство “Наука”, 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

Оригинал-макет подготовлен МАИК “Наука/Интерпериодика”

Отпечатано в ППП “Типография “Наука”, 121099 Москва, Шубинский пер., 6