
АКУСТИКА ПОМЕЩЕНИЙ.
МУЗЫКАЛЬНАЯ АКУСТИКА

УДК 534.84

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ АКУСТИКИ БОЛЬШОГО ЗАЛА МОСКОВСКОЙ КОНСЕРВАТОРИИ В ТЕЧЕНИЕ ДВУХ ЛЕТ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

© 2014 г. Н. Г. Канев, А. Я. Лившиц

ООО "Акустические материалы"

115054 Москва, ул. Новокузнецкая 33, стр. 2

E-mail: nikolay.kanev@acoustic.ru

Поступила в редакцию 13.08.2013 г.

Приводятся результаты измерений времени реверберации Большого зала Московской консерватории, проведенных с интервалом полгода в течение двух лет после завершения реконструкции. Показано, что изменения времени реверберации на низких и средних частотах являются малозаметными для субъективного восприятия, а на высоких частотах наблюдаются существенные колебания, связанные с сезонными изменениями климатических условий в зале.

Ключевые слова: время реверберации, акустический мониторинг, Большой зал Московской консерватории.

DOI: 10.7868/S0320791914020099

Известно, что акустические характеристики концертных залов могут изменяться со временем. Ряд измерений, проведенных в одних и тех же залах, но в разное время, показывают отличие акустических параметров [1]. Такие отличия могут быть связаны с разной методикой измерений, изменениями в отделке зала, например, в результате ремонта или реконструкции, а также с изменением свойств поверхностей ограждающих конструкций в результате старения отделочных материалов. Последняя причина представляет особый интерес, поскольку связана с естественной эволюцией акустики зала. При этом наиболее важными являются изменения в новых или реконструированных залах на начальном этапе эксплуатации, поскольку в зале устанавливается температурно-влажностный режим, проходит первая фаза старения некоторых отделочных материалов, адаптируются к новым условиям деревянные конструкции, выходит излишняя влага из материалов, изготовленных с использованием минеральных вяжущих компонентов (цемент, известь, гипс).

Проблема эволюции акустики залов не освещена в современной литературе, поэтому нет ясного понимания количественных изменений акустических параметров, а также характерных времен этих изменений. В настоящей работе приводятся результаты двухлетнего наблюдения за акустикой Большого зала Московской консерватории после завершения его глобальной реконструкции в 2011 г. В рамках реконструкции не изменилось объемно-планировочное решение зала, а также внесены минимальные изменения в комплекс внутренней отделки. Отделочные материалы заменены на новые, при этом они выбирались таким образом, чтобы их акустические свойства были максимально близки к оригинальным. Детальное описание

мероприятий, выполненных во время реконструкции, а также анализ изменения акустических характеристик зала, приведены в [2]. Состояние Большого зала после реконструкции было близко к состоянию вновь построенного зала, поэтому полученные результаты можно рассматривать как эволюцию акустики нового зала.

После завершения реконструкции и перед официальным открытием в Большом зале были проведены акустические измерения. Они выполнены 06 июня 2011 г. в зале без публики по стандартизированной методике, регламентированной стандартом ISO-3382 [3]. Ненаправленный излучатель звука располагался на сцене в трех точках, на зрительских местах были выбраны точки, равномерно распределенные в партере и на балконе (всего 21), в которых измерялись импульсные отклики. Точки расположения излучателя и микрофона приведены в работе [2]. Всего выполнено 63 измерения.

Для контроля изменения акустических характеристик Большого зала было принято решение проводить аналогичные измерения с полугодовым интервалом. Такие измерения были выполнены 27 декабря 2011 г., 22 июня и 10 декабря 2012 г., 03 июля 2013 г. Важно, что все измерения выполнялись при использовании одного и того же оборудования и методики измерений [4], одним и тем же персоналом, также соблюдалось расположение точек излучения и приема в соответствии с первыми измерениями.

В табл. 1 приведены результаты пяти измерений времени реверберации в октавных полосах частот в диапазоне 125–4000 Гц. На рис. 1а представлены частотные характеристики времени реверберации. Для анализа результатов на рис. 1б приведены изменения времени реверберации от-

носителю первого измерения в зависимости от времени, прошедшего после открытия зала, для каждой частоты. На частотах 125–1000 Гц наблюдается заметное отличие первого измерения от последующих четырех, которые показали близкие значения. Это позволяет сделать вывод, что в этом частотном диапазоне некоторые изменения в акустике зала имели место в течение полугодия после открытия зала, затем состояние зала стабилизировалось. При этом с ростом частоты величина изменения времени реверберации уменьшается, на частоте 1000 Гц изменения минимальны. На высоких частотах (2000 и 4000 Гц) наблюдаются значительные колебания времени реверберации: в летнее время (0, 1 и 2 года после открытия) время реверберации имеет большие значения по сравнению с измерениями в зимнее время (0.5 и 1.5 года после открытия). Это может быть связано с сезонными колебаниями температурно-влажностного режима в зале.

Интересно оценить, насколько значимы зафиксированные изменения времени реверберации для субъективного восприятия слушателей. Обычно в качестве порога чувствительности к изменениям применяют параметр jnd (just noticeable difference), согласно [3] значение jnd для времени реверберации составляет 5%. На частотах 125–2000 Гц изменения времени реверберации близки к jnd и не превышают 1.5 jnd в течение всего времени наблюдения. На частоте 4000 Гц изменения составляют 3 jnd и являются существенными. Отметим, что изменения других акустических параметров либо близки к изменениям времени реверберации, либо не превышают порог чувствительности jnd . Изменение параметров EDT и C_{80} в течение первых полутора лет после открытия зала опубликованы в работе [5].

Проанализируем полученные результаты с точки зрения изменения физических свойств зала. Для

Таблица 1.

Время после открытия зала, г	Частота, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
0	3.06	3.03	2.78	2.47	2.15	1.85
0.5	2.89	2.91	2.71	2.45	2.07	1.68
1.0	2.86	2.86	2.65	2.42	2.10	1.80
1.5	2.87	2.89	2.68	2.43	1.99	1.55
2.0	2.91	2.87	2.66	2.41	2.13	1.87

этого воспользуемся классической формулой для расчета времени реверберации [1, 6]:

$$T = 0.163 \frac{V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}) + 4mV}, \quad (1)$$

где V — объем зала, m^3 , S — площадь внутренних поверхностей зала, m^2 , $\bar{\alpha}$ — средний коэффициент звукопоглощения ограждающих конструкций зала, m — коэффициент поглощения звука в воздухе, m^{-1} . Для Большого зала $V = 15000 m^3$, $S = 4400 m^2$. На частотах ниже 2000 Гц полагают $m = 0$. Кроме этого, при $T \approx 3$ с средний коэффициент звукопоглощения $\bar{\alpha} \approx 0.19 \ll 1$, поэтому (1) принимает вид $T = 0.163V/S\bar{\alpha}$. Отсюда получаем, что если время реверберации зала изменяется на величину ΔT , $\Delta T \ll T$, то изменение коэффициента звукопоглощения составляет

$$\Delta \alpha = -0.163 \frac{V}{S_1 T^2} \Delta T, \quad (2)$$

где S_1 — площадь ограждающих конструкций зала, коэффициент звукопоглощения которых изменился.

В табл. 2 приведены максимальные отклонения времени реверберации ΔT в Большом зале от начального значения за все время наблюдения. Если предположить, что коэффициент поглощения всех поверхностей зала изменился одинаково, то в (2)

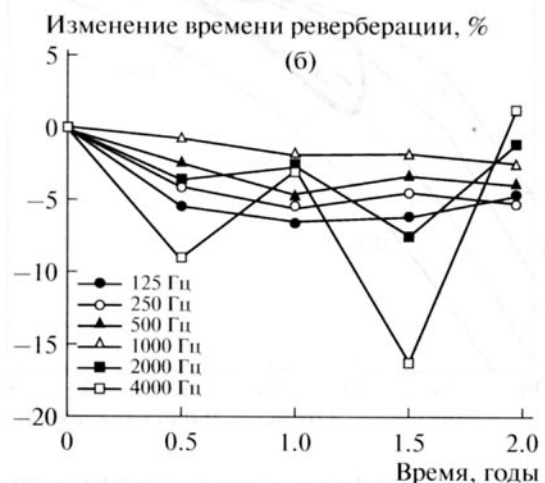
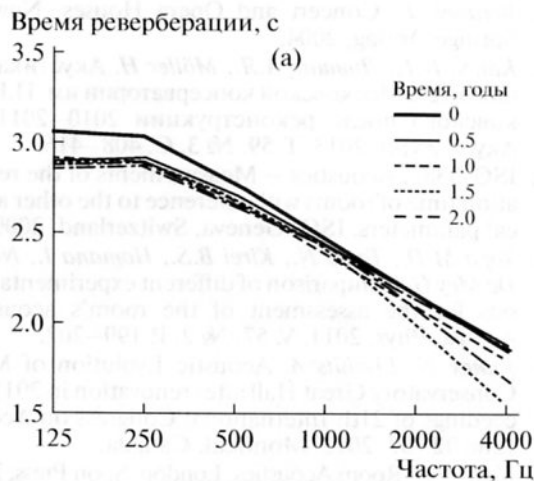


Рис. 1. Время реверберации Большого зала.

Таблица 2.

Частота, Гц	125	250	500	1000
ΔT , с	0.20	0.17	0.13	0.06
$\Delta \bar{\alpha}$	0.013	0.011	0.010	0.006
$\Delta \alpha_1$	0.031	0.027	0.024	0.014

подставляем значение $S_1 = S$ и в результате расчета находим изменение среднего коэффициента звукопоглощения $\Delta \bar{\alpha}$. Вместе с тем, в Большом зале основное поглощение на низких частотах и частично на средних частотах определяется деревянными конструкциями, т.е. потолком и полом партера. Если изменения акустических свойств имели место только для этих поверхностей, то в (2) необходимо подставить значение $S_1 = 1800 \text{ м}^2$. В результате получаем изменение коэффициента звукопоглощения пола и потолка $\Delta \alpha_1$. В табл. 2 приведены значения $\Delta \bar{\alpha}$ и $\Delta \alpha_1$, из которых следует, что возможные изменения коэффициентов звукопоглощения ограждающих конструкций Большого зала достаточно малы и не превосходят точность, с которой задаются их значения для отделочных материалов при стандартных расчетах времени реверберации.

Изменения времени реверберации на высоких частотах, вероятнее всего, связаны с сезонными колебаниями температуры и влажности в зале, наиболее существенные изменения имеют место на частоте 4000 Гц. Оценим зависимость времени реверберации от коэффициента поглощения m , предполагая, что изменения поглощающих свойств поверхностей зала значительно меньше. Пусть после завершения реконструкции время реверберации зала имело значение T_0 , при этом коэффициент поглощения был

равен m_0 . Если при изменении температуры и влажности в зале коэффициент поглощения изменяется на величину Δm , т.е. $m = m_0 + \Delta m$, тогда из (1) находим время реверберации

$$T = T_0 \frac{1}{1 + 4\Delta m \frac{T_0}{0.163}}. \quad (3)$$

На рис. 2 приведены результаты расчета согласно (3) для времени реверберации Большого зала на частоте 4000 Гц в зависимости от температуры и относительной влажности в зале. Коэффициенты m и Δm для различных значений температуры и относительной влажности приняты согласно [7]. Сплошной линией выделен диапазон характерных значений температуры и влажности в течение года, климатические параметры могут только кратковременно выходить за указанный диапазон. Пунктиром отмечены характерные значения параметров для летнего и зимнего времени. Приведенная оценка изменений времени реверберации хорошо согласуется с результатами измерений.

Итак, в результате мониторинга акустики Большого зала Московской консерватории, проведенного в течение двух лет после реконструкции, можно сделать следующие выводы:

1. Время реверберации на низких частотах уменьшилось на 5%, что близко к порогу чувствительности. При этом основные изменения произошли в течение первого полугодия после открытия зала.
2. Изменение времени реверберации на средних частотах оказалось минимальным и не превысило порога чувствительности в течение всего времени наблюдений.
3. Изменения времени реверберации на высоких частотах являются существенными, т.е. превышают порог чувствительности в несколько раз, и определяются, главным образом, сезонными колебаниями температуры и влажности в зале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beranek L. Concert and Opera Houses. New York: Springer Verlag, 2004.
2. Канев Н.Г., Лившиц А.Я., Möller H. Акустика Большого зала Московской консерватории им. П.И. Чайковского после реконструкции 2010–2011 гг. // Акуст. журн. 2013. Т. 59. № 3. С. 408–416.
3. ISO-3382. Acoustics – Measurements of the reverberation time of rooms with reference to the other acoustical parameters. ISO, Geneva, Switzerland, 2009.
4. 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.
5. Kanev N. Livshits A. Acoustic Evolution of Moscow Conservatory Great Hall after renovation in 2011 / Proceedings of 21th International Congress on Acoustics, June 02–07, 2013. Montreal, Canada.
6. Kuttruff H. Room Acoustics. London: Spon Press, 2000.
7. ISO-9613. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors. ISO, Geneva, Switzerland, 1993.

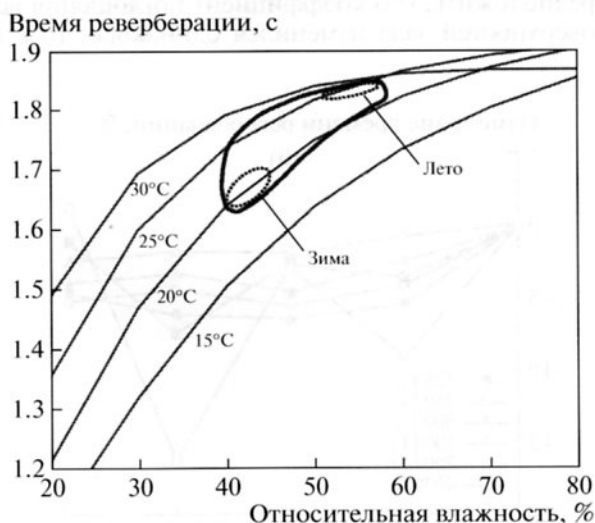


Рис. 2. Время реверберации Большого зала на частоте 4000 Гц в зависимости от температуры и относительной влажности.