

**Акустика концертного зала «Зарядье» в Москве**А.Я. Лившиц<sup>1,a</sup>, А.М. Пономарев<sup>2</sup>, Н.Г. Канев<sup>1,b</sup><sup>1</sup> ООО «Акустические материалы». 115054, Москва, ул. Новокузнецкая, д.33, стр. 2.<sup>2</sup> ТПО «Резерв». 123001, Москва, Малый Могильцевский пер., д.2.E-mail: [al@acoustic.ru](mailto:al@acoustic.ru), [nk@acoustic.ru](mailto:nk@acoustic.ru)

В 2018 году в Москве был открыт новый концертный комплекс «Зарядье», построенный на территории одноименного парка. В состав комплекса входит два концертных зала: Большой на 1578 мест и Малый на 400 мест. Основное назначение залов – проведение концертов классической и современной музыки, при этом современная механизация залов позволит проведение самых различных по формату мероприятий. В настоящей работе приводится описание акустики Большого зала: характеристики объемно-планировочного решения и результаты акустического обследования зала, проведенного в феврале 2019 года в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Основным акустический параметр зала – время реверберации – имеет значение 2.8 с на частотах 500-1000 Гц в зале без зрителей. На частотах 125-250 Гц время реверберации также близко к 2.8 с, поэтому значение параметра BR (bass ratio) составляет примерно 1. Приведены измеренные импульсные отклики, по которым определено запаздывание первого отражения относительно прямого звука, часто обозначаемое ITDG, которое составило 31 мс. Также представлены результаты измерений индекса музыкальной ясности  $S_{80}$ , индекса передачи речи STI, акустической поддержки сцены ST, спада громкости звука при удалении от источника. Выполнен прогноз времени реверберации для заполненного зала, которое составляет около 2 с на частотах 500-1000 Гц. Проведено сопоставление акустических параметров Большого зала с классическими концертными залами, имеющими высокую акустическую репутацию, а также с современными концертными залами.

*Ключевые слова:* Зарядье, концертный зал, время реверберации.

УДК: 534.84

PACS: 43.55. Gx

**Введение**

В 2012 году было принято решение создать вместо устаревшей и громоздкой гостиницы «Россия» в центре Москвы, вблизи Кремля, парковую зону с развитой инфраструктурой и современным концертным залом. В июле 2015 года был завершён демонтаж конструкций гостиницы и началось строительство нового культурного комплекса. Здание концертного зала расположено в восточной части парка «Зарядье» и является одним из главных его элементов. Первый концерт в зале состоялся 8 сентября 2018 года.

Архитектурное решение зала разработано ТПО «Резерв» на основании акустической концепции, предложенной компанией Nagata Acoustics. В настоящей работе приводится описание акустического решения зала и результаты акустического обследования, проведенного спустя полгода после открытия зала.

## **1 Описание зала**

Здание концертного зала является важным элементом парка, вписанным в структуру его искусственного рельефа. Зал углублён в землю довольно сильно: пол сцены находится на 4 метра ниже нулевой отметки, под ним – ещё 4,8 м технического пространства. Весь партер вместе со сценой может механически трансформироваться в плоский сценический пол. Пол оркестровой ямы также может опускаться ниже плоскости сцены. Сама сцена может быть плоской или выстроиться амфитеатром, за сценой – трансформируемый амфитеатр, который при необходимости складывается и освобождает дополнительное сценическое пространство. Зал имеет многофункциональное назначение – в нем могут проводиться концерты и представления различных жанров. Однако главное его назначение – это симфонический зал с естественной акустикой.

### **1.1 Вместимость**

Вместимость зала составляет 1578 зрителей и сопоставима с другими филармоническими залами Москвы: Большим залом Московской консерватории, залом им. П.И Чайковского, Светлановским залом Московского международного дома музыки.

### **1.2 Объемно-планировочное решение**

Архитектурное решение зала является характерным для современных филармонических залов [1] – выбрано круговое построение зрительских мест вокруг сценического пространства (рис. 1). Основные зрительские места расположены в партере и на первом уровне балкона, на втором уровне балкона – всего несколько десятков мест.

Максимальная длина зала составляет 52,3 м, от центра сцены до тыловой стены – 31.2 м. Средняя ширина зала – 31.5 м, ширина партерной части увеличивается с удалением от сцены от 19,3 м до 30,4 м. Средняя высота зала – 15,2 м. Объем зала составляет около 26 тыс. м<sup>3</sup>.

### **1.3 Внутренняя отделка**

Основные материалы, использованные в отделке, являются звукоотражающими – облицовки стен и потолка выполнены из гипсовых панелей, плит МДФ. Поверхностная плотность подвесного потолка и облицовок стен составляет 120 и 60 кг/м<sup>2</sup>. Также некоторые поверхности стен зала, заштрихованные на продольном разрезе на рис.1, покрыты звукорассеивающими панелями из твердых пород древесины.

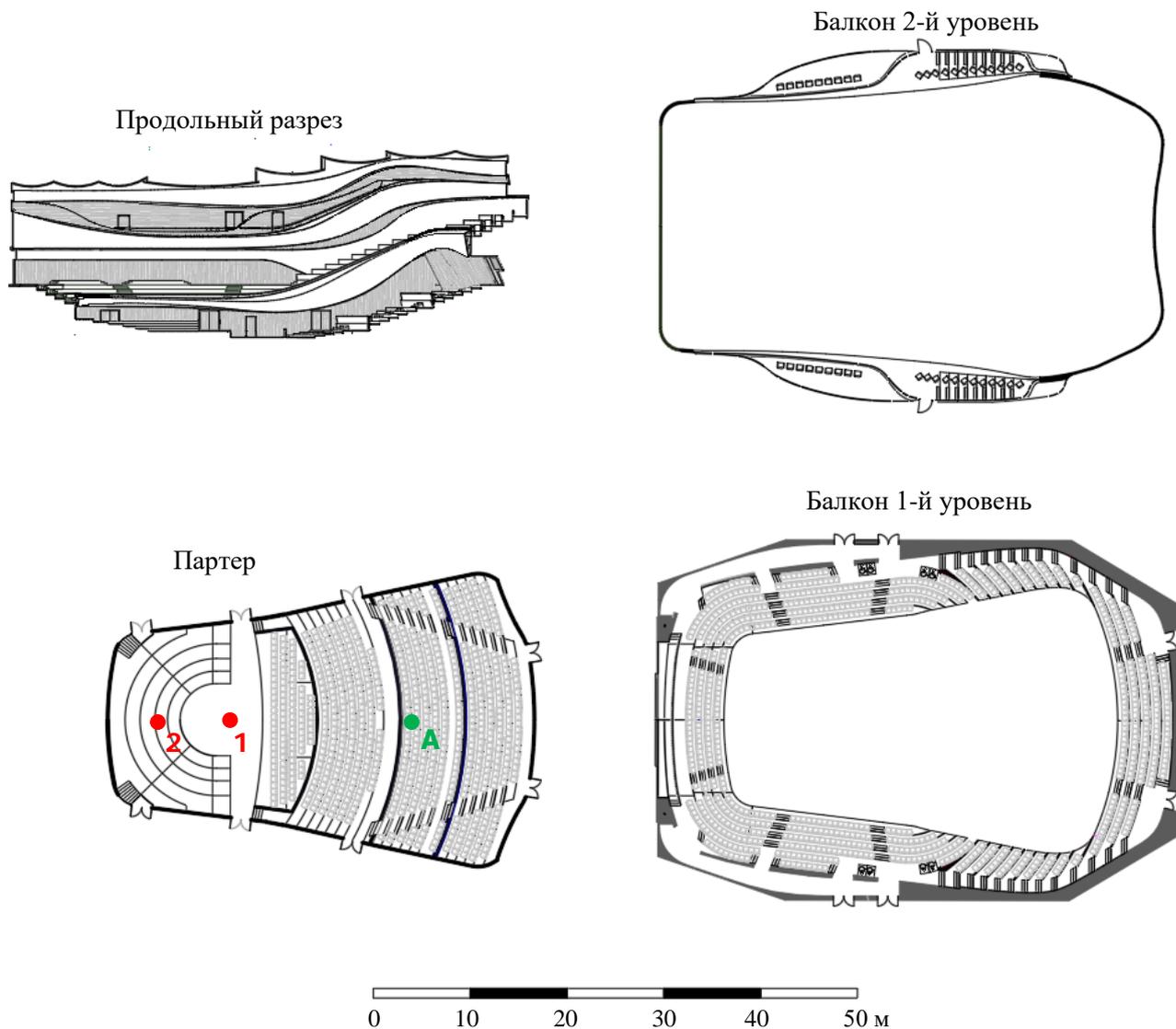


Рис. 1. Планы и продольный разрез зала.

1,2 – точки расположения источника звука на сцене; в точке А измерен параметр ITDG

## 2 Акустические характеристики

Акустическое обследование зала без зрителей и музыкантов проведено в соответствии с действующим стандартом [2]. Ненаправленный источник звука располагался на сцене в двух точках, обозначенных на рис. 1 красным цветом. Конфигурация сцены – плоская, конфигурация партера – согласно продольному разрезу на рис.1. Измерения импульсных откликов ненаправленным микрофоном выполнены в 25 точках, равномерно распределенных по всем зрительским местам.

### 2.1 Время реверберации

На рис. 2 приведены результаты измерений времени реверберации, усредненные по 50 измерениям. На средних частотах время реверберации составляет 2,7 с; частотная характеристика достаточно ровная с типичным спадом на высоких частотах, связанным с поглощением звука в воздухе.

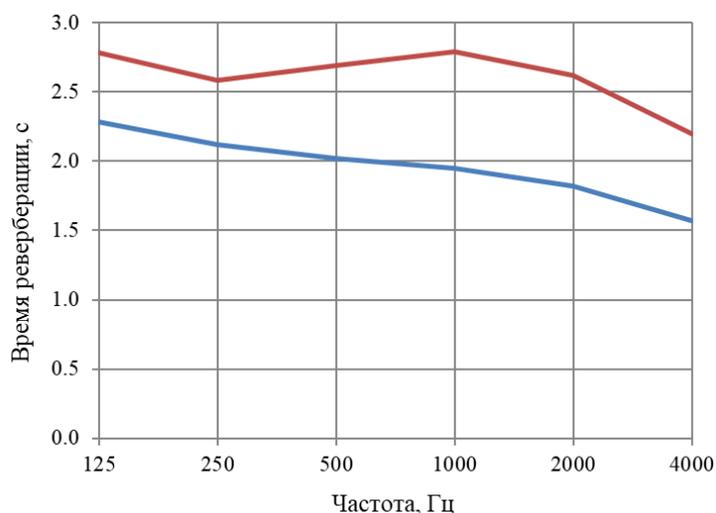


Рис. 2. Время реверберации: измерения в пустом зале (красный) и прогноз для заполненного зала (синий)

Присутствие зрителей в зале значительно влияет на его акустику. Оценка времени реверберации заполненного зала выполнена в соответствии с методикой [3], соответствующие значения приведены на рис. 2. Время реверберации на средних частотах около 2 с, на низких частотах наблюдается небольшой подъем, что рекомендуется для залов симфонической музыки [4]. По времени реверберации зал соответствует классическим залам, построенным или реконструированным за последние годы в России [5].

## 2.2 Время запаздывания первого отражения

Время запаздывания первого отражения, обозначаемое ITDG (Initial Time Delay Gap), является одним из основных акустических параметров концертных залов [4]. Также требования для этого параметра установлены отечественными нормативными документами [7]: рекомендуемое значение для музыки составляет 30-35 мс.

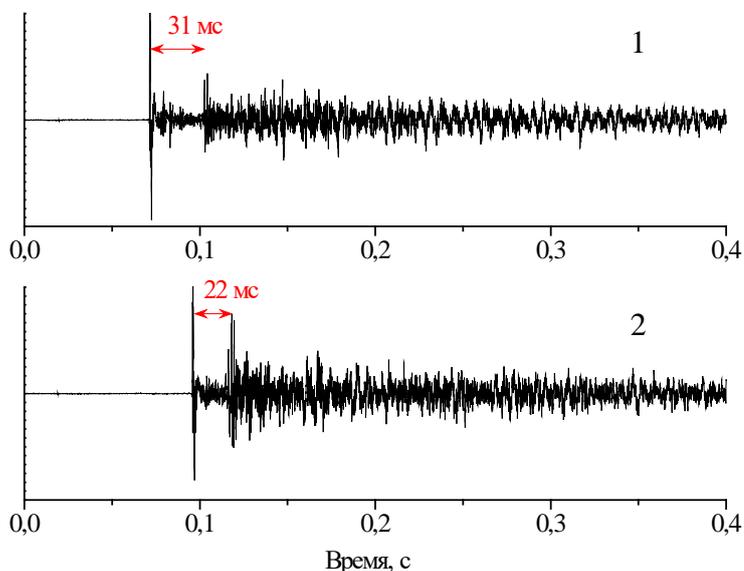


Рис. 3. Импульсные отклики, измеренные в точке А, при двух расположениях источника на сцене (1 и 2 на рис. 1)

Поскольку значение ITDG существенно зависит от точки измерения, то для оценки этого параметра обычно используется измерение в геометрическом центре партера [4]. В исследуемом зале параметр ITDG определен по импульсному отклику, измеренному в точке А, от источника, установленного на сцене в точке 1 (рис. 1).

На рис. 3 приведены импульсные отклики в точке А при двух положениях источника. Наиболее интенсивное отражение происходит от боковых стен партера, поэтому с удалением источника вглубь сцены время между прямым и отраженным звуком уменьшается.

Параметр ITDG составляет 31 мс, что соответствует рекомендациям [4,7].

### 2.3 Индекс $C_{80}$

В качестве параметра, характеризующего баланс между ранней и поздней звуковой энергией, приходящей к слушателю, для концертных залов часто используется индекс ясности  $C_{80}$  [4]. Согласно принятому определению – это отношение звуковой энергии, пришедшей за первые 80 мс, ко всей энергии, пришедшей после 80 мс, выраженное в децибелах.

Значения индекса  $C_{80}$ , усредненные по всем импульсным откликам, измеренным в партере, на балконах и по всему залу, приведены на рис. 4. На средних частотах индекс  $C_{80}$  меньше 0 дБ, что является хорошим показателем для залов с круговым планировочным решением.

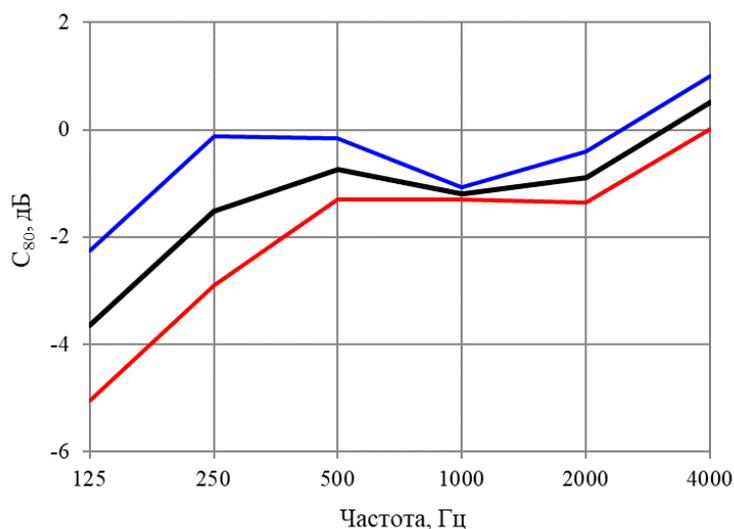


Рис. 4. Индекс  $C_{80}$ , усредненный по измерениям в партере (красный), на балконах (синий) и по всему залу (черный)

### 2.4 Громкость

Уровень звука с удалением от источника спадает. В гулких концертных залах громкость оркестра, как правило, достаточна на всех зрительских местах. Более критично влияние зала на громкость певцов. Для оценки спада громкости проведены измерения уровня звука от источника, расположенного в точке 1 (рис. 1), вдоль центральной оси зала на высоте 1.2 м в

партере. Точки измерения выбраны на зрительских местах, начиная с первого ряда и заканчивая последним рядом партера, расстояние между ними 2-3 м.

Методика измерений сходна с методикой, используемой для определения пространственного распределения громкости речи в аудиториях [8]. На источник подается широкополосный сигнал, уровень звукового давления в октавных полосах частот измеряется на расстоянии 1 м (опорная точка), затем приемник удаляется от излучателя по прямой линии, и измерения уровня звукового давления выполняются в точках вдоль большего размера помещения. Далее по результатам измерений определяется уровень громкости исполнителя для каждой точки измерения с учетом спектра голоса [9] и для голосового усиления, соответствующего в данном случае громкому пению – уровню звука 90 дБА на расстоянии 1 м от исполнителя.

На рис. 5 приведена кривая пространственного спада уровня звука исполнителя на сцене. Разность между уровнями звука на первом и последнем ряду составляет 7,5 дБА. Начиная с расстояния 10 м уровень звука меняется незначительно – в пределах 3 дБА. Существенного спада громкости исполнителя с расстоянием не наблюдается, поэтому отраженный звук в достаточной мере поддерживает прямой звук. На последних рядах партера уровень звука превышает 70 дБА, что достаточно для комфортного восприятия пения.

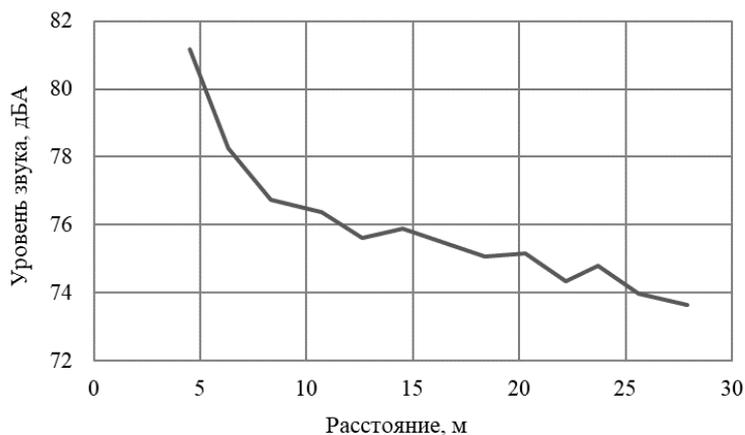


Рис. 5. Уровень звука солиста на сцене в зависимости от расстояния до слушателя вдоль центральной оси зала в партере

## 2.5 Речевая разборчивость

Акустика концертного зала в первую очередь должна обеспечивать идеальные условия для исполнения и прослушивания музыки, поэтому требования к речевой разборчивости, как правило, не предъявляются. Тем не менее, проведенные измерения позволяют оценить индекс передачи речи STI [9].

При расположении источника звука в точке 1 на рис. 1 индекс STI имеет значения от 0,36 до 0,63, среднее значение по всем точкам измерения – 0,42. Диапазон измеренных значений STI

при расположении источника в точке 2 составляет 0,40-0,64, среднее значение – 0,45. Согласно измерениям, речевую разборчивость в зале можно охарактеризовать как удовлетворительную.

## 2.6 Акустическая поддержка сцены

Хорошие акустические условия должны быть обеспечены не только для слушателей, но и для музыкантов и исполнителей на сцене. Существует несколько параметров для характеристики акустической поддержки сцены [10,11]. Наиболее часто используются  $ST_{early}$  и  $ST_{late}$ , являющиеся отношением звуковой энергии, пришедшей за интервал 20-100 мс, и энергии, пришедшей после 100 мс, соответственно, к энергии, пришедшей в первые 10 мс, на расстоянии 1 м. Параметры  $ST_{early}$  и  $ST_{late}$  измерены для двух положений ненаправленного источника (1 и 2 на рис. 1), их значения в октавных полосах частот приведены на рис. 6.

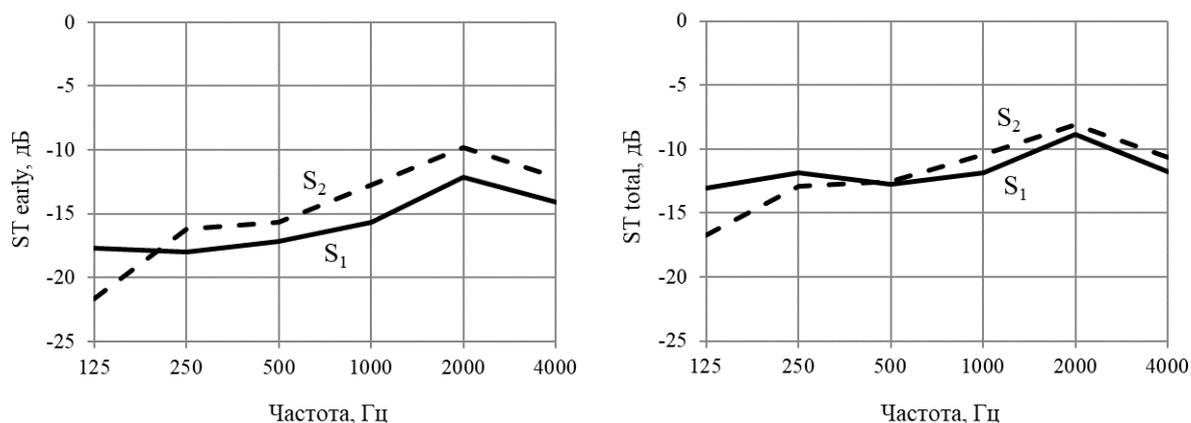


Рис. 6. Акустическая поддержка сцены для расположений источника  $S_1$  и  $S_2$  (1 и 2 на рис.1)

## 3 Сравнение с другими концертными залами

Проведем сравнение объективных акустических характеристик концертного зала «Зарядье» с другими концертными залами. В первую очередь рассмотрим три концертных зала с лучшей акустикой по рейтингу Беранека [12]: Золотой зал Мьюзикферайн в Вене, Бостонский симфонический зал и Концертгебоув в Амстердаме, к которым добавим Большой зал Московской консерватории им. П.И. Чайковского [13]. Все четыре зала имеют похожую форму, близкую к прямоугольному параллелепипеду, часто называемую «shoebox». Акустические параметры этих залов приведены в работах [4,6].

Также рассмотрим залы круговой планировки: первый подобный зал – зал Берлинской филармонии [6], и два сравнительно новых зала – Парижской филармонии [14] и Эльбской филармонии в Гамбурге [15]. Необходимо отметить, что акустика прямоугольных залов и залов круговой планировки значительно отличается. Некоторые аспекты, связанные с этим отличием, обсуждены в работе [16].

В таблице 1 приведены основные параметры концертных залов, выбранные для сравнения с рассматриваемым залом. Звездочкой обозначены величины, измеренные или оцененные для залов с публикой.

Таблица 1

**Акустические параметры концертных залов**

Концертный зал	Объем, м <sup>3</sup>	Число мест	RT, с	RT*, с	BR*	C <sub>80</sub> , дБ	ITDG, мс
Москва, Зал «Зарядье»	26 000	1578	2,7	2,0	1,11	-1,0	31
Прямоугольные залы							
Москва, Большой зал Консерватории	15 700	1737	2,7	2,0	1,18	-2,4	27
Вена, Гроссер-Мюзикферайнсаал	15 000	1680	3,0	2,0	1,11	-4,3	12
Амстердам, Концертгебоув	18 780	2047	2,6	2,0	1,09	-3,6	21
Бостон, Симфонический зал	18 750	2625	2,4	1,9	1,03	-2,6	15
Залы круговой планировки							
Берлинская филармония	21 000	2218	2,2	1,9	1,04	-0,7	21
Гамбург, Эльбская филармония	24 000	2100	2,4	2,3	1,02	0,3	
Парижская филармония	36 000	2400	3,2	2,5	1,08	-0,2	

Время реверберации зала «Зарядье» сопоставимо с приведенными залами, за исключением залов филармоний Парижа и Гамбурга – в них время реверберации при наличии публики несколько выше. Параметр BR в зале имеет одно из самых больших значений: он выше только в Большом зале Московской консерватории. Баланс ранней и поздней звуковой энергии, характеризуемый индексом C<sub>80</sub>, имеет значение характерное для круговых залов

**Заключение**

Приведены объективные акустические характеристики нового концертного зала «Зарядье» в Москве. Основной акустический параметр зала – время реверберации – имеет значение 2,8 с на частотах 500-1000 Гц в зале без зрителей, прогноз времени реверберации для заполненного зала дает значение около 2 с. Акустические параметры зала близки к значениям, характерным для залов круговой планировки.

Для полноценной оценки качества акустики нового зала кроме объективных характеристик необходима также и субъективная оценка, которая сводится, главным образом, к суждениям

музыкантов и слушателей. Для этого необходимо провести в рамках прослушивания концертов анкетирование экспертов и любителей. Также важно учесть мнение музыкантов, обладающих богатым опытом выступлений в различных залах и имеющих возможность сравнить акустические условия в новом зале с другими залами. Кроме этого, важна репутация зала среди исполнителей и любителей музыки: если в течение нескольких лет их отзывы об акустике зала положительны, акустику зала можно считать хорошей.

### Список литературы

1. *Hidaka T., Nishihara N.* // *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*. 2015. **25**. N 3 P. 240.
2. ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Измерение акустических параметров помещений. Театрально-концертные залы.
3. *Hidaka T., Nishihara N., Beranek L.* // *J. Acoust. Soc. Am.* 2001. **109**. P.1028.
4. *Beranek L.* *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*. Springer. NY (USA), 2004.
5. *Канев Н.Г.* // Труды II Всероссийской акустической конференции. 6-9 июня 2017, Нижний Новгород. С.1200.
6. *Канев Н.Г., Лившиц А.Я., Möller H.* // *Акуст. журн.* 2013. **59**. № 3. С. 408.
7. СП 51.13330.2011. Защита от шума (с изм. №1).
8. *Жукова В.О., Канев Н.Г.* // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. 2017. № 5. 1750504.
9. ГОСТ Р ИСО 9921-2013. Эргономика. Оценка речевой связи.
10. *Marshall A.D., Gottlob D., Alrutz H.* // *J. Acoust. Soc. Am.* 1978. **65**. P.140.
11. *Barron M., Dammerud J.J.* // *Proc. Inst. Acoust.* 2006. **28**.
12. *Беранек Л.* // *Акуст. журн.* 1995. **41**. № 5. С. 706.
13. *Канев Н.Г.* // Труды Четвертой конференции «Акустика среды обитания». 24 мая 2019, Москва. С. 5.
14. *Day C., Marshall H., Scelo T., Valentine J., Exton P.* // *Proc. of ACOUSTICS 2016*, 9-11 November. Brisbane, Australia.
15. *Oguchi K., Quiquerez M., Toyota Y.* // *Pros. of Auditorium Acoustics*. 4-6 October 2018. Hamburg, Germany. P.89.
16. *Lokki T.* // *J. Acoust. Soc. Am.* 2014. **135**. P.2307.

назад к Содержанию секции