

УДК 534.84

Акустика концертного зала имени М.И. Глинки Смоленской областной филармонии

Мамонтова Анна Дмитриевна^{1(*)}

ad_mamontova@mail.ru

Канев Николай Георгиевич^{1, 2, 3}

nikolay.kanev@mail.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

² НИИСФ РААСН, Москва, Россия

³ НИУ МГСУ, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования акустических характеристик концертного зала имени М.И. Глинки Смоленской областной филармонии. Цель работы заключалась в инструментальном определении частотных зависимостей времени реверберации T_{30} и параметра музыкальной ясности C_{80} . Измерения выполнены методом регистрации импульсных характеристик помещения в соответствии с ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 с использованием ненаправленного источника звука и измерительных микрофонов в 11 контрольных точках. Установлено, что фактическое время реверберации зала находится в диапазоне, близком к рекомендуемому для помещений музыкального назначения, а параметр C_{80} демонстрирует выраженную частотную зависимость и заметную пространственную вариабельность. Показано, что усредненные значения C_{80} возрастают с увеличением частоты, однако локальные условия восприятия музыкального материала в различных зонах зала различаются вследствие неодинакового соотношения ранней и поздней звуковой энергии.

Ключевые слова: акустика залов, время реверберации, музыкальная ясность

The acoustics of the M.I. Glinka concert hall of the smolensk regional philharmonic

Mamontova Anna Dmitrievna^{1(*)}

ad_mamontova@mail.ru

Kanev Nikolay Georgievich^{1, 2, 3}

nikolay.kanev@mail.ru

¹ BMSTU, Moscow, Russia

² NIISF RAASN, Moscow, Russia

³ MGSU, Moscow, Russia

Abstract. This paper presents the results of an experimental study of the acoustic characteristics of the M.I. Glinka Concert Hall of the Smolensk Regional Philharmonic. The aim of the work was to instrumentally determine the frequency dependences of the reverberation time T_{30} and the musical clarity parameter C_{80} . The measurements were performed by recording room impulse responses in accordance with GOST R ISO 3382-1-2013, using an omnidirectional sound source and measurement microphones at 11 reference points. It has been established that the actual reverberation time of the hall lies within a range close to that recommended for music performance venues, while the C_{80} parameter exhibits a pro-

nounced frequency dependence and considerable spatial variability. It is shown that the averaged C_{80} values increase with frequency; however, the local conditions of musical perception in different zones of the hall differ due to the uneven ratio of early to late sound energy.

Keywords: room acoustics, reverberation time, musical clarity

Введение. Акустические характеристики концертных залов оказывают решающее влияние на качество восприятия музыкальных произведений и комфорт слушателей. Формирование звукового поля в помещении определяется его геометрией, объемом, а также акустическими свойствами ограждающих поверхностей. Ключевыми параметрами, используемыми для оценки акустики залов, являются время реверберации и показатели ясности звучания, в частности параметр C_{80} , отражающий соотношение ранних и поздних отражений звука. Эти характеристики позволяют судить о пригодности зала для различных жанров музыкального исполнения — от камерной до симфонической музыки.

Объектом исследования в данной работе является концертный зал имени М.И. Глинки Смоленской филармонии (рис. 1). Зал представляет собой помещение прямоугольной формы. Исследования акустических параметров залов, близких по геометрическим размерам и назначению, уже проводились ранее: в работе [1] были изучены новые и реконструированные камерные залы в Москве, Туле, Уфе и Пензе, а в работе [2] — Малый зал Дворца культуры МГТУ им. Н.Э. Баумана. В настоящей статье аналогичный подход впервые применен к концертному залу имени М.И. Глинки Смоленской филармонии.

Исследование акустики данного зала представляет практический интерес в контексте оценки его соответствия требованиям музыкальных выступлений и выявления возможных направлений акустической оптимизации.

Целью работы является экспериментальное определение акустических параметров зала имени, включая частотные зависимости времени реверберации и значения показателя музыкальной ясности C_{80} , а также анализ их пространственного распределения. Для достижения поставленной цели были проведены измерения импульсных характеристик с использованием всенаправленного источника звука и системы микрофонов в ряде точек зрительного зала.

Полученные результаты позволяют дать количественную оценку акустических свойств исследуемого помещения и сделать выводы о его пригодности для проведения музыкальных мероприятий различного типа.

Методы исследования. Акустические измерения в зале Смоленской филармонии проводились с использованием стандартной методики определения импульсной характеристики помещения, регламентированной ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 [3].

В качестве источника звука применялся всенаправленный источник додекаэдрического типа, обеспечивающий равномерное излучение звуковой энер-

гии во всех направлениях. Для регистрации звукового поля использовались измерительные микрофоны, подключенные к системе записи и последующей обработки сигналов.

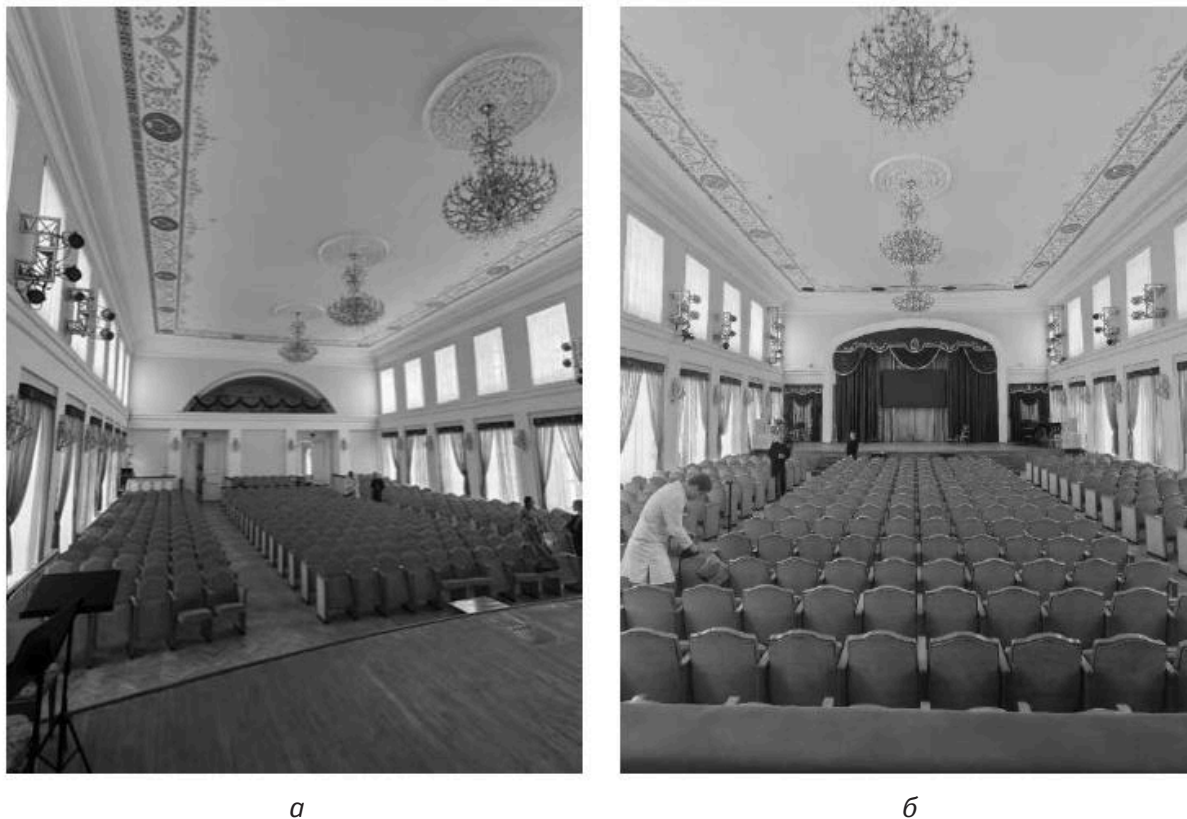


Рис. 1. Общий вид обследуемого зала имени М.И. Глинки Смоленской областной филармонии:
а — вид со сцены; *б* — вид на сцену

Перед проведением акустических измерений были определены основные геометрические характеристики зала с помощью лазерного дальномера. Размеры помещения составили: длина ~22,5 м; ширина ~14 м; высота ~8,4 м. На основе этих данных был оценен объем помещения ($V \approx 2590 \text{ м}^3$), необходимый для последующего анализа акустических параметров. Соотношение длины, ширины и высоты указывает на наличие выраженной продольной направленности звукового поля и потенциально значимого вклада отражений от боковых стен и потолочного перекрытия. Помещение относится к залам сравнительно небольшого объема для концертно-филармонического назначения.

Акустические измерения проводились в условиях отсутствия зрителей в зале, что позволило исключить влияние дополнительного звукопоглощения от людей и получить эталонные импульсные характеристики помещения, соответствующие требованиям стандарта ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 [3]. Источник звука располагался в центральной зоне сцены (рис. 2). Измерения проводились в 11 точках, равномерно распределенных по площади одной половины зрительного зала. Такое расположение позволило оценить пространственное рас-

пределение акустических характеристик при ограниченном числе измерений. Микрофоны устанавливались на высоте 1,2 м, соответствующей уровню уха слушателя в сидячем положении. Для каждой точки регистрировалась импульсная характеристика помещения.

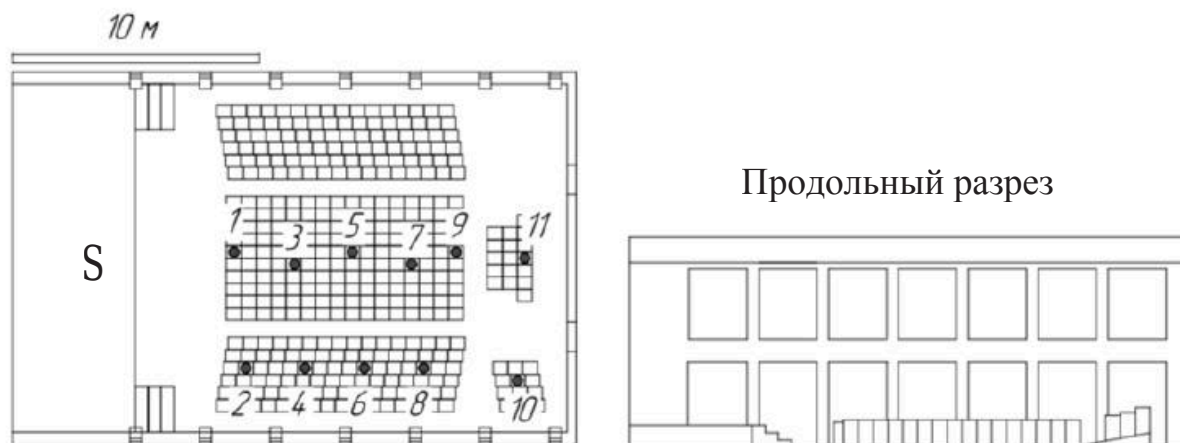


Рис. 2 Схема зала им. М.И. Глинки Смоленской областной филармонии, расположение контрольных точек (1–11) и положения источника звука (S)

Импульсная характеристика зала определялась с использованием тестового линейно-частотно модулированного сигнала с последующей сверткой записанного отклика. На основе полученных импульсных характеристик вычислялись основные акустические параметры.

Основными параметрами оценки качества акустики выбраны время реверберации и музыкальная ясность. Время реверберации (T) определялось по стандартной методике на основе кривой затухания с использованием интервалов T_{30} . Расчеты выполнялись в третьоктавных полосах частот. Показатель музыкальной ясности C_{80} рассчитывался как отношение энергии ранних отражений к энергии поздних отражений.

Результаты. На рис. 3 приведены частотные характеристики времени реверберации в зале театра.

На рис. 4 представлена частотная зависимость параметра музыкальной ясности C_{80} в исследуемом зале филармонии. Для каждой октавной полосы показаны среднее по измерительным точкам значение, а также максимальное и минимальное значения. Параметр C_{80} характеризует отношение ранней звуковой энергии, поступившей в течение первых 80 мс после прихода прямого звука, к поздней энергии и является одним из основных объективных критериев музыкальной ясности помещений для исполнения музыки. Из графика видно, что среднее значение C_{80} возрастает с увеличением частоты. В низкочастотной области средние значения находятся на минимальном уровне, далее в диапазоне средних частот наблюдается их рост, который продолжается и в области высоких частот. Одновременно с этим для всех исследованных полос сохраняется значительный разброс между максимальными

и минимальными значениями. Наиболее выраженный диапазон изменения наблюдается в области 125...250 Гц, однако и в диапазоне средних частот разница между крайними значениями остается существенной.

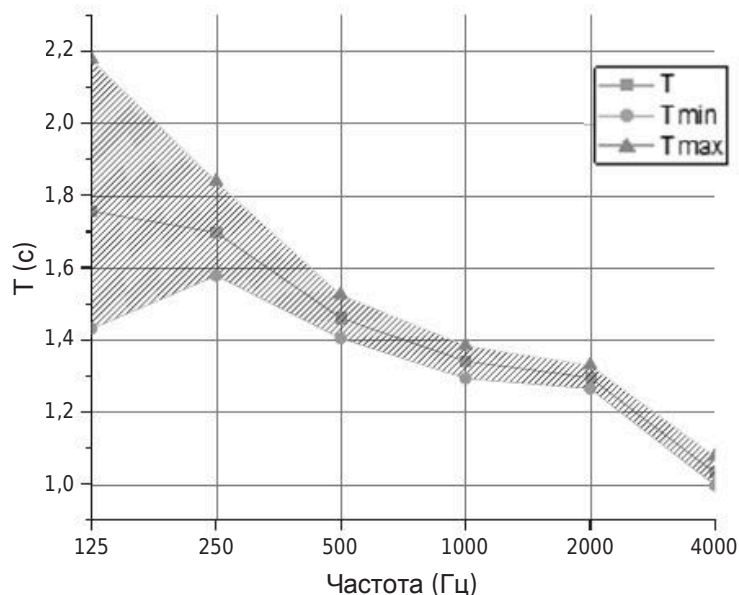


Рис. 3 Частотная зависимость времени реверберации зала имени М.И. Глинки Смоленской областной филармонии

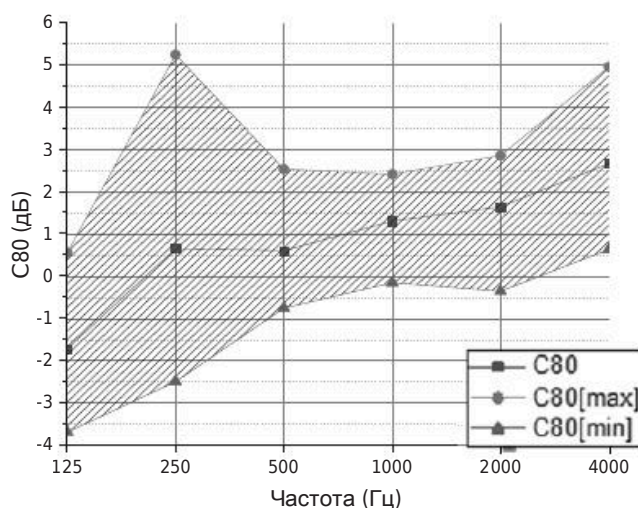


Рис. 4 Частотная зависимость C_{80} зала имени М.И. Глинки Смоленской областной филармонии

Таким образом можно сделать вывод, что в исследуемом зале параметр музыкальной ясности характеризуется не только выраженной частотной зависимостью, но и заметной вариабельностью по измерительным точкам. Усредненное значение C_{80} не отражает полностью неоднородность акустических условий, поскольку при близком среднем уровне отдельные точки могут существенно отличаться по соотношению ранней и поздней энергии.

Для анализа причин указанного разброса на рис. 5 представлено распределение значений C_{80} по залу на частоте 750 Гц, соответствующей среднечастотной области 500...1000 Гц. Анализ показывает, что даже в пределах одной частоты акустические условия в различных зонах зала различаются достаточно заметно. В ряде точек значения C_{80} являются положительными, что соответствует преобладанию ранней энергии над поздней, тогда как в отдельных позициях значения оказываются близкими к нулю или отрицательными, что указывает на более выраженный вклад позднеревверберационной составляющей. Следовательно, выявленный на рис. 4 разброс между максимальными и минимальными значениями имеет не только частотную, но и отчетливо выраженную пространственную природу. Пространственная неоднородность C_{80} указывает на различие локальной временной структуры звукового поля, обусловленное взаимным расположением источника, приемника и основных отражающих поверхностей [4–7].

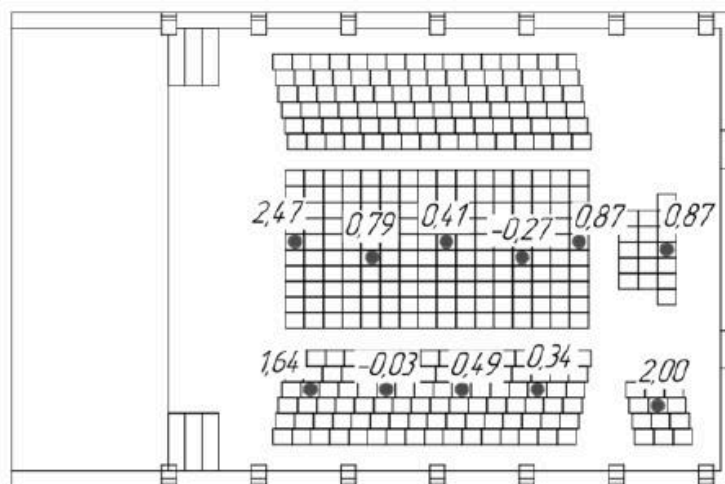


Рис. 5 Значения C_{80} в дБ (на средних частотах 500–1000 Гц) в зале имени М.И. Глинки Смоленской областной филармонии

Обсуждение. На рис. 6 сравнение рекомендуемого времени реверберации в СП 51.13330.2011 [8] с фактическим в зале. Время реверберации в зале попадает между двумя нормируемыми линиями А — залы для симфонической музыки, залы оперных театров и Б — залы для камерной музыки, залы музыкально-драматических театров. Такое положение экспериментальной точки указывает на промежуточный акустический характер исследуемого зала и в целом свидетельствует о близости его реверберационных свойств к рекомендуемому диапазону для музыкальных помещений данного объема обеих категорий.

Полученные результаты C_{80} свидетельствуют о том, что музыкальная ясность в исследуемом зале формируется неравномерно как по частоте, так и по пространству. Рост среднего значения C_{80} с увеличением частоты является физически ожидаемым для такого типа залов: в низкочастотной области

поздняя энергия, связанная с реверберационным полем и модальными эффектами, как правило, выражена сильнее, тогда как в средне- и высокочастотном диапазоне относительный вклад ранних отражений возрастает. Это означает, что на низких частотах звучание может восприниматься как более слитное и менее расчлененное, а на более высоких частотах — как более ясное и артикулированное.

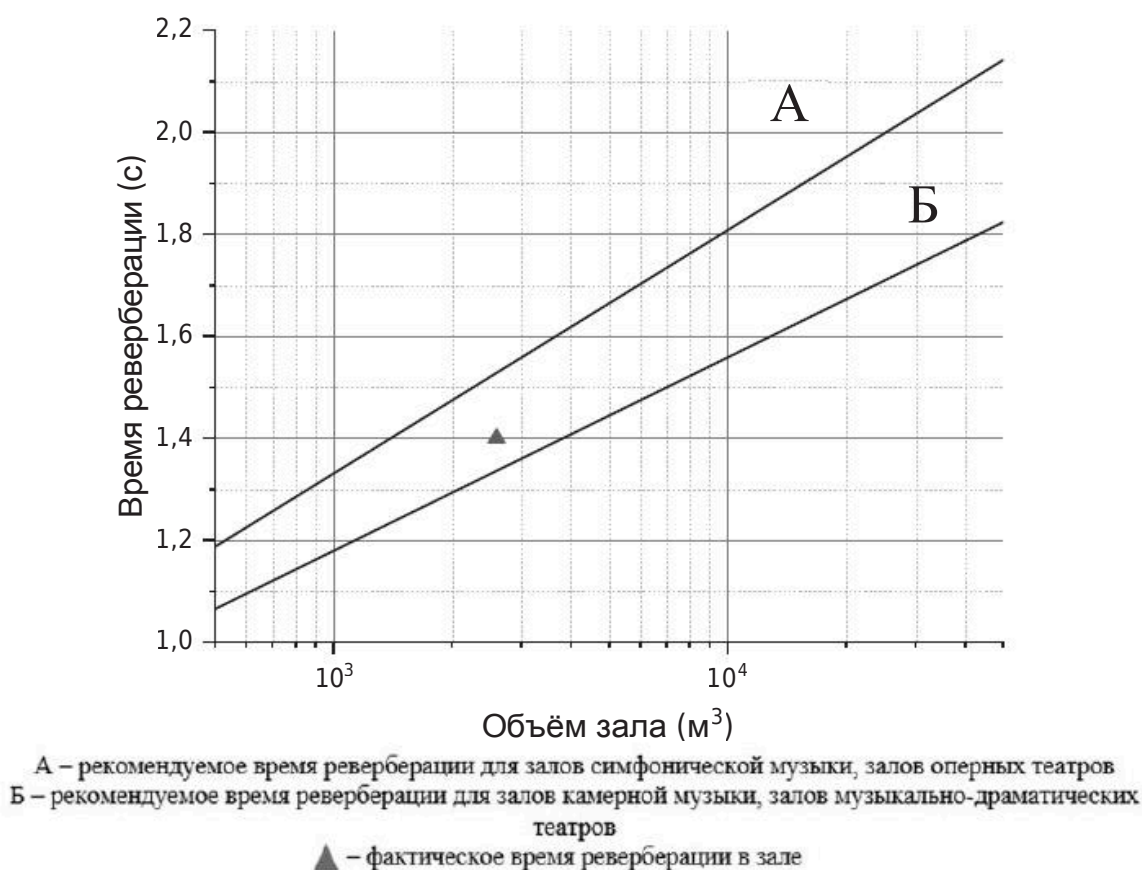


Рис. 6 Сравнение рекомендуемого времени реверберации с фактическим (на средних частотах 500...1000 Гц) в зале им. М.И. Глинки Смоленской областной филармонии

Однако ключевым результатом является не только сам рост среднего C_{80} , но и значительная разница между максимальными и минимальными значениями в каждой полосе. Такая картина указывает на то, что усредненные частотные характеристики скрывают локальные особенности акустического поля. Пространственное распределение на 750 Гц подтверждает этот вывод: при среднем положительном уровне параметра в зале имеются точки как с хорошо выраженной музыкальной ясностью, так и с пограничными или отрицательными значениями. Следовательно, слушатели, расположенные в разных частях зала, потенциально будут воспринимать различную степень четкости и расчлененности музыкального материала. С практической точки зрения положительные значения C_{80} в большинстве исследованных точек указывают на то, что зал в целом обеспечивает приемлемую музыкальную ясность.

Таким образом, полученные результаты позволяют заключить, что исследуемый зал филармонии в среднем обладает удовлетворительной музыкальной ясностью, возрастающей с частотой, однако распределение C_{80} по местам слушателей остается заметно неоднородным.

Заключение. Выполнено экспериментальное исследование акустических характеристик концертного зала им. М.И. Глинки Смоленской областной филармонии на основе анализа импульсных характеристик помещения. Определены частотные зависимости времени реверберации T_{30} и показателя музыкальной ясности C_{80} , а также исследована пространственная неоднородность параметра C_{80} по местам слушателей. Установлено, что фактическое время реверберации зала находится вблизи рекомендуемого диапазона для музыкальных помещений рассматриваемого объема. Показано, что усредненные значения C_{80} возрастают с частотой, однако по измерительным точкам сохраняется существенный разброс, обусловленный различием локального соотношения ранней и поздней звуковой энергии. Следовательно, при в целом удовлетворительном акустическом состоянии зала восприятие музыкального материала в разных зонах может заметно различаться.

Список источников

- [1] Fadeev A., Kanev N., Livshits A., Nechaev A., Peretokin A., Rodenkov V., Shirgina N. Acoustics of new and renovated chamber music halls in Russia. Proceedings of Meetings on Acoustics, 2017, vol. 28, art. no. 015010.
- [2] Ионов Ф.С., Канев Н.Г. Акустика малого зала дворца культуры МГТУ им. Н.Э. Баумана. *Акустика среды обитания. II Всерос. конф. молодых ученых и специалистов: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, с. 112–118.
- [3] ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. *Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы.* Москва, Стандартинформ, 2014, 18 с.
- [4] Hidaka T., Nishihara N. Objective evaluation of chamber-music halls in Europe and Japan. The Journal of the Acoustical Society of America, 2004, vol. 116, pp. 357–372.
- [5] Beranek L. Concert Halls and Opera Houses. New York, Springer Verlag, 2004.
- [6] Barron M. Auditorium Acoustics and Architectural Design. London, Taylor & Francis, 1993.
- [7] Канев Н.Г. Акустика концертных залов: практический опыт и научный подход. *Акустика среды обитания. IV Всерос. конф. молодых ученых и специалистов: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019, с. 5–24.
- [8] СП 51.13330.2011. *Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.* Москва, 2011.