

УДК 534.842

***ИЗМЕРЕНИЕ ЗВУКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОМЕЩЕНИЙ
СЛОЖНОЙ ФОРМЫ***

Метёлкин В.В.,

магистрант

Московский технический университет связи и информатики

Москва, Россия

Кузнецов А.В.,

магистрант

Московский технический университет связи и информатики

Москва, Россия

Чернышева Т.В.,

к.т.н., доцент

Московский технический университет связи и информатики

Москва, Россия,

Аннотация

Вопрос повышения качества звучания всегда является приоритетной задачей в помещениях с воспроизведением музыкальных и речевых жанров. Существует ряд требований, которые необходимо соблюдать. Целью данной публикации является обобщение результатов вычислений и измерений из других публикаций и выработка рекомендаций по повышению качества акустических характеристик в помещениях сложной формы. Это поможет более полно оценить, более полно подойти к проблеме оценки акустического качества помещений различной вместимости,

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

которые могут быть использованы для разного рода концертов и конференций.

Ключевые слова: измерение, качество звучания, звуковые характеристики, помещения сложной формы, анализ

***MEASUREMENT OF SOUND CHARACTERISTICS OF ROOMS
WITH COMPLEX SHAPE***

Metyolkin V.V.

Undergraduate

Moscow Technical University of Communications and Informatics,

Moscow, Russia

Kuznetsov A.V.

Undergraduate

Moscow Technical University of Communications and Informatics,

Moscow, Russia

Chernisheva T.V.

Candidate of technical sciences, associate professor

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Moscow, Russia

Annotation

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

The issue of improving sound quality is always a priority in rooms where music and speech genres are reproduced. There are a number of requirements that must be met. The purpose of this publication is to summarize the results of calculations and measurements from other publications and to develop recommendations for improving the quality of acoustic characteristics in rooms of complex shape. This will help to more fully evaluate and more fully approach the problem of assessing the acoustic quality of rooms of various capacities, which can be used for various kinds of concerts and conferences.

Keywords: measurement, sound quality, sound characteristics, rooms with complex shapes, analysis

Введение: Следует отметить, что современная тенденция в проектировании и реконструкции залов для музыкальных выступлений, стремится использовать универсальность, возможность использования помещения как для прослушивания концертов и музыкальных произведений, так и для возможных научных, исторических семинаров, политических дискуссий и т.д. Это позволяет максимально эксплуатировать помещение, не давая ему простаивать, и экономить средства на его содержание муниципалитету (если речь идет о государственном имуществе). Кроме того, музыкальные произведения, в зависимости от того, классическая музыка или современная воспроизводится на сцене, имеют разные спектральные частотные характеристики, так, например, концерт классической музыки, смещает ансамбль спектра звука в более высокочастотную область звучания, характерного для классических инструментов (виолончель, скрипка, контрабас),

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

струны которых, выдают достаточно богатую частотную палитру, в то же время современные синтезаторы, электрогитары (актуальные для молодежи 21 века инструменты) смещают звуковой спектр в область более низких частот. Как следствие, становится ясно, что для того или иного концерта, где будут использоваться совершенно разные музыкальные инструменты, следует соответствующим образом подготавливать зал с точки зрения отделочных материалов, обрамления, внесения конструктивных элементов, чтобы улучшить звучание на соответствующих частотах и, как следствие, качество проводимого культурного мероприятия. Понятно, что необходимо в таких случаях вводить дополнительные, легкие, трансформируемые конструкции, которые можно было бы легко взаимозаменять под соответствующие требования, не внося существенных изменений в зрительское пространство, а уж тем более, абсолютно не внося никаких изменений в капитальное строение помещения, для этого очень полезно изучить европейский опыт реконструкции старых промышленных помещений под современные концертные залы, как это было сделано, например, в Италии, где помещение сахарного завода 19 века было приспособлено и реконструировано под концертный зал Паганини [7]. Так же, наиболее простым способом быстро трансформировать концертный зал под прослушивание современной музыки, где, как мы писали выше, спектр звучания смещен в сторону более низких частот, является использование по периметру помещения т.н. тяжелых занавесей, где коэффициент звукопоглощения α_k на низких частотах (128 Гц) равен 0.1, а на более высоких (1024-4096 Гц) равен 0.8, как видим, повесить занавеси для акустической трансформации помещения не

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

представляет особого труда, но при этом это качественно может менять акустику звучания концерта.

Кроме того, необходимо уделить внимание для исследования таким важным параметрам как: речевая разборчивость, индекс передачи речи STI (если помещение может использоваться для лекций или семинаров), диффузность звучания. Последний параметр важен тем, что было бы очень практично строить графические карты диффузности пространства залов, чтобы слушатели могли на этом конкретном визуальном отображении качества звучания, понимать обоснованность цен на билеты в зависимости от места расположения слушателя.

Цель и задачи исследования: проанализировать на основании изучения четырех статей по акустике (для зала Московской консерватории классической компоновки на 1737 мест, для зала сложной формы Берлинской филармонии на 2440 мест, нового большого концертного зала Зарядье в Москве на 1531 место, концертного зала Дома-музея П.И. Чайковского в Клину на 290 мест) на предмет тех основных параметров по изучению акустики помещения, которые посчитали нужным исследовать авторы статей, и внести свои дополнительные рекомендации по возможной перспективе оптимизации набора параметров исследования для описанных нами в введении приемов универсальности трансформации залов (под соответствующие задачи), и актуализировать перспективы создания графически понятных карт диффузности звучания помещения (для зрителей), как основных клиентов-потребителей данных культурных мероприятий.

Основная часть: Как большинство залов Московская консерватория имеет классическую прямоугольную форму,

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

характерную для концертных залов классической музыки 19 века. Объем и другие характеристики этого, а также других залов для сравнения указаны в таблице 1.

В результате изучения публикации[1] было обнаружено, что в качестве основных параметров изучения акустических свойств зала до, и после реконструкции, были только частотные характеристики, но не затронуты вопросы диффузности звучания по периметру зала (что важно для зрителей), и не исследована акустическая поддержка сцены ST (что важно для музыкантов, чтобы чувствовать «нерв» и ритм произведения), наиболее часто используются STearly и STlate, 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 []. Для зала Московской консерватории, очевидно, не стоит вопрос мобильной трансформации под определенное мероприятие (о чем мы писали в введении) как актуальный, поскольку этот зал прочно ассоциируется только с прослушиванием классической музыки, и относится к архитектурному наследию отечественной музыкальной культуры. Результаты проведенных измерений авторами до реконструкции (пунктирная линия) зала, и после реконструкции (сплошная), отображены на рисунках 1-4.

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

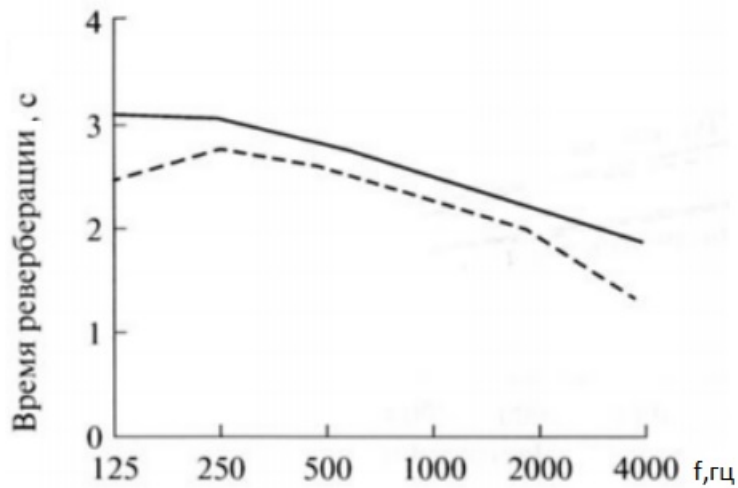


Рис.1 Частотная характеристика времени реверберации.

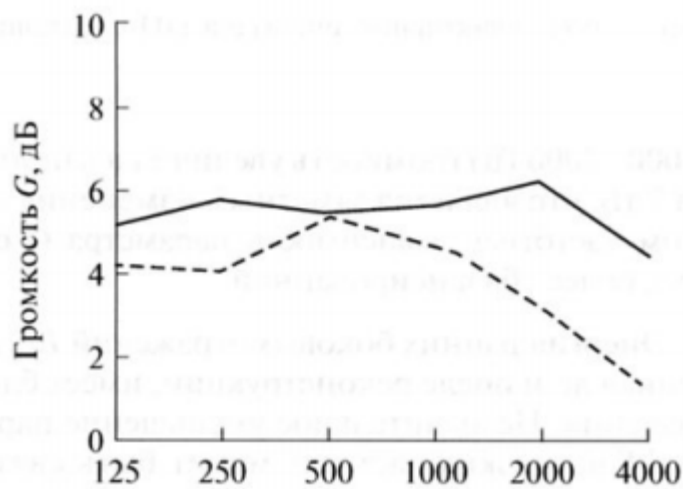


Рис.2 Частотная характеристика звукового давления.

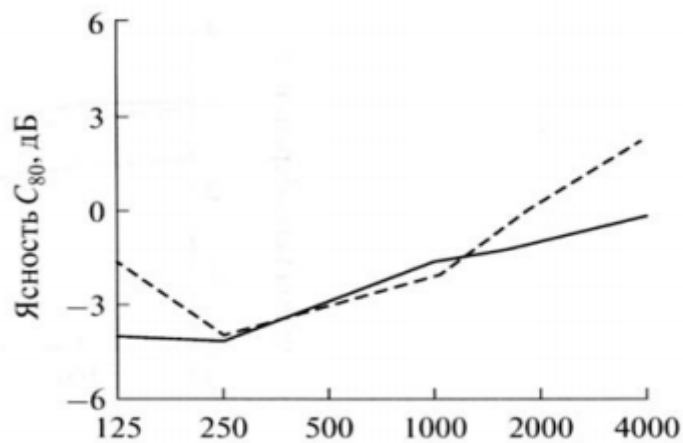


Рис.3 Частотная характеристика музыкальной ясности.

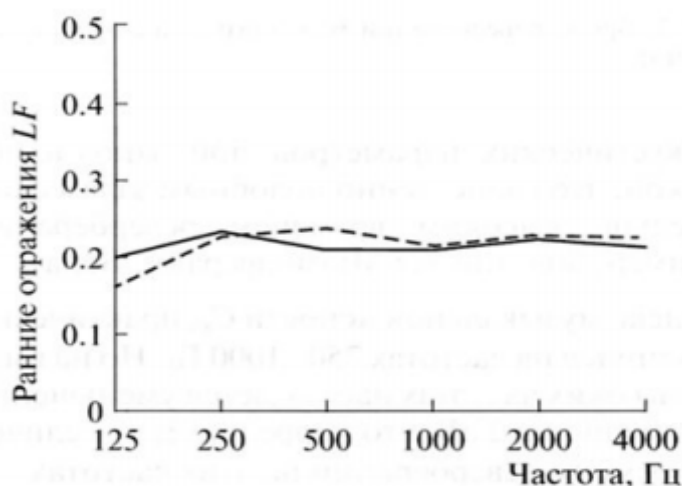


Рис. 4 Частотная характеристика ранних боковых отражений.

Так же можно отметить, что не были рассчитаны и исследованы распределения уровней звуковых полей, коэффициента разборчивости речи (C50), хотя последним можно пренебречь в данном случае, поскольку зал изначально специализируется только для качественного прослушивания классических музыкальных произведений. Остается поле для замеров дополнительных характеристик, описанных выше по тексту, актуальных для данного зала, и составление более полной картины качества звучания для выработки рекомендаций по его улучшению, как для слушателей, так и для музыкантов.

Вторым, более интересным объектом рассмотрения станет зал Берлинской филармонии. Зал имеет форму неправильного пятиугольника [рис. 5]. Объем и другие характеристики указаны в таблице 1. Из-за большой протяженности зала на задних местах могла образоваться проблема, что звук становился гулким из-за длительного времени прохождения звука до слушателя.

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»



Рис. 5 Схема распространения первых отражений первых отражений звука на плане зала Берлинской филармонии.

Упор в публикации[2] делается на расчеты и замеры первых отражений зала в различных условиях, что безусловно является актуальным для залов большой вместимости, поскольку необходимо предотвратить эффект эха, но остальные важнейшие акустические параметры в публикации не исследовались. В целом, для данного здания актуальны вопросы гипотетической мобильной трансформации под различные виды концертов (как классической, так и современной музыки), а также использование его в качестве помещения для лекций и политических мероприятий, поскольку вместимость достаточно большая (2440 мест), и расположение в столице одного из ведущих европейских государств этому благоприятствует. Для данных мероприятий актуальны исследования по таким параметрам акустики помещения как: речевая разборчивость, индекс передачи речи STI. Плюс, очевидно, для такого сложного с конструктивной точки зрения помещения, совершенно необходимо исследование на предмет создания карты диффузности звучания по всему периметру зала, в т.ч. для того,

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

чтобы слушатели понимали, за какое место они готовы заплатить, чтобы прослушать концерт с соответствующим качеством восприятия. Так же целесообразно было бы исследовать баланс низких частот BR, при внесении мобильного обрамления по периметру пространства тяжелыми занавесями, с коэффициентом звукопоглощения α_k на низких частотах (128 Гц) 0.1, что актуально для прослушивания концертов современной музыки с преобладанием низкочастотных синтезаторов.

Третьей рассматриваемой публикацией будет измерение основных звуковых характеристик нового большого концертного зала Зарядье в Москве. Здесь следует подчеркнуть, что большой и малый концертные залы объекта используются, прежде всего, под прослушивание классической и современной музыки. Поэтому наиболее актуальными характеристиками, исследуемыми в статье, являются: время реверберации T_{50} , время запаздывания первого отражения ITDG, индекс музыкальной ясности C_{80} , громкость G, акустическая поддержка сцены ST. Такая характеристика как речевая разборчивость STI была все же излишней для исследования в статье, поскольку данные залы позиционируются как помещения для прослушивания именно музыкальных произведений. Важно отметить, что все вышеописанные характеристики замерялись в точке геометрического центра зала. Т.е. вопрос диффузности звучания помещения не рассматривался как актуальный, так же не рассматривалась гипотетическая мобильное обрамление зала (тяжелыми занавесями по периметру, с коэффициентом звукопоглощения $\alpha_k=0.1$ на низких частотах (128 Гц), и $\alpha_k=0.8$ на высоких частотах), с целью улучшения качества звучания современных музыкальных произведений с использованием

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

низкочастотных синтезаторов, для этого также следовало бы измерить (до, и после обрамления) баланс низких частот BR. Т.о. два последних акустических параметра, указанных выше, являются актуальными для данного помещения, но в статье не рассматривались.

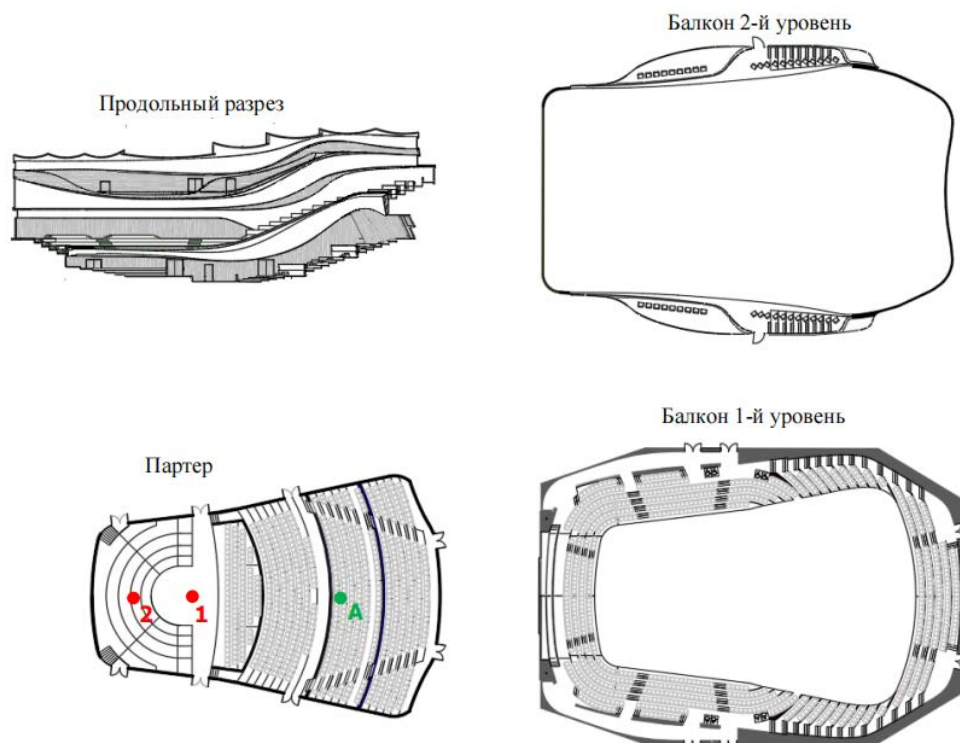


Рис. 6 Вид зала

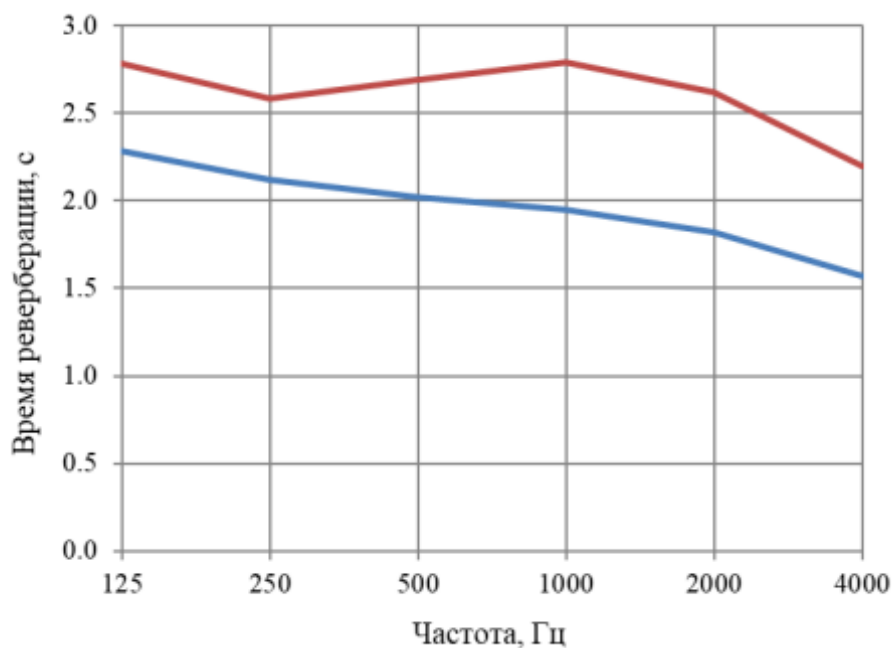


Рис. 7 Частотная характеристика времени реверберации для пустого зала (красный) и прогноз для полного зала (синий)

Был проведён замер времени запаздывания первых боковых отражений. Рекомендуемое значение для музыки 30-35 мс, для речи 20-25 мс, для многофункциональных залов 25-30 мс.

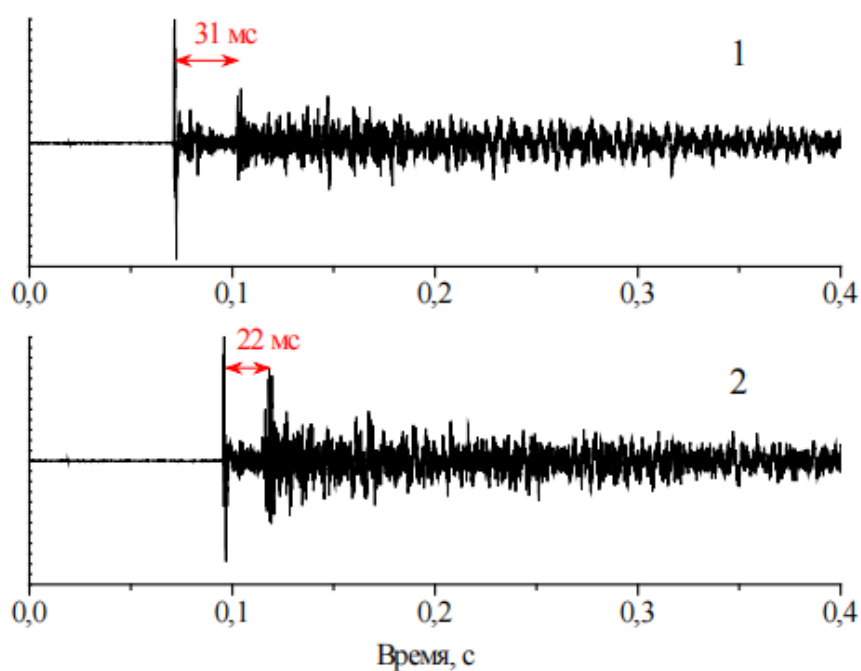
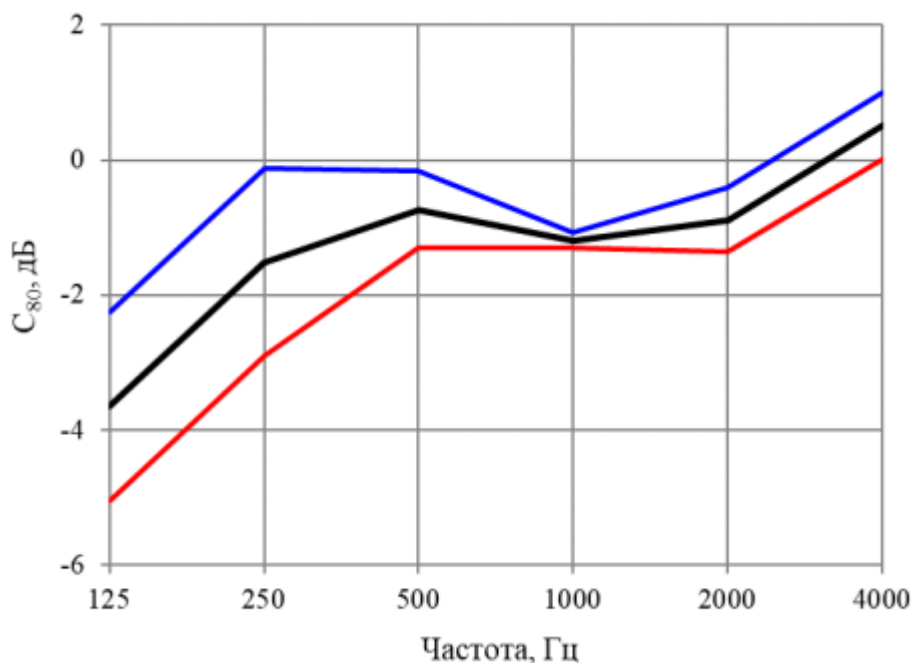


Рис. 8 *Время запаздывания первых боковых отражений.*Рис. 9 Индекс s_{80}

Индекс S_{80} (коэффициент прозрачности звучания) также замерен в данном материале и находится в диапазоне от -5 до 1 дБ. В концертном зале основные требования по качеству предъявляются к музыкальному жанру.

Проведено сравнение с другими концертными залами, а результаты занесены в таблицу 1. Аналогично другим работам в публикациях были замерены только частотные характеристики, что оставляет простор для составления более полной акустической характеристики помещения.

Четвертым источником возьмем изучение акустики в концертном зале Дома-музея П.И. Чайковского в Клину. Были измерены: время реверберации T_{50} , локальный анализ временного распределения структур звуковых отражений (до, и после реставрации зала). Основная задача реставрации данного помещения, заключалась в том, чтобы улучшить акустические

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

характеристики для прослушивания классической музыки, поскольку здание, построенное в 60-ых годах прошлого века, не соответствовало современным требованиям, предъявляемым к концертным залам, поскольку боковые стены зала были забраны деревянными ребристыми панелями, которые излишне поглощали низкочастотные звучания, создавая существенные спектральные искажения звуковой палитры. Такого рода решения применялись в 60-е 70-ые годы 20 века для конференц-залов и кинотеатров. Совершенно очевидно, что данный зал предназначен не только для прослушивания классической музыки, но и для проведения культурологических, исторических, музыкальных конференций, поэтому необходимо было бы провести исследование таких характеристик как: речевая разборчивость, индекс передачи речи STI. Они не рассматривались. В работе так же не уделено внимание таким важным акустическим характеристикам как: индекс звуковой ясности S_{80} , акустическая поддержка сцены ST. Время запаздывания первого отражения не рассматривалось, очевидно, в силу малости концертного зала (всего 290 мест после реставрации). Затрагивается вопрос об улучшении такой характеристики как диффузность звучания в зале, однако конкретных исследований по данному параметру в работе нет, речь идет лишь о том, что те конструктивные изменения, внесенные после реставрации, должны улучшить данный параметр.

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

Таблица 1 - Характеристики концертных залов

Концертный зал	Объём, М ³	RT, с	C80, дБ
Москва, зал «Зал заречье»	26 000	2-2,7	1
Прямоугольные залы			
Москва, большой зал консерватории	15 700	2-2,7	-2,4
Вена, Гроссер-Мюзикферайнсаал	15 000	2-3	-4,3
Амстердам, Консертгебоув	18 780	2-2,6	-3,6
Бостон, Симфонический зал	18 750	1,9-2,4	-2,6
Залы круговой планировки			
Берлинская филармония	21 000	1,9-2,2	-0,7
Гамбург, Эльбская филармония	24 000	2,3-2,4	0,3
Парижская филармония	36 000	2,5-3,2	-0,2

C80 в таблице 1 указан для частот 500-1000Гц.

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

Вывод: При рассмотрении вышеописанных работ, можно сделать вывод о том, что не существует какой-либо единой стандартизации по изучению основных акустических характеристик строго необходимых для залов с разной формой, объемом и вместимости. Кроме того, еще до конца не осознано понимание, что большие концертные залы (большой вместимости) имеет смысл, в ходе легкой мобильной трансформации, подготавливать к различным мероприятиям, как то: прослушивание классической или современной музыки, использование помещения как конференц-зала, внося элементы универсальности, что позволит не простаивать впустую большим помещениям, и экономить средства на их содержание, отопление и т.д. Изучение источников так же показало, что в основной массе работ проводились измерения только основных частотных характеристик, игнорируя распределения уровней звуковых полей и диффузности, как понятной для слушателя объективности распределения цен на билеты, в зависимости от выбранного им места. Измерение всех необходимых параметров поможет составить более полное описание качества звучания помещения и выработать рекомендации по его улучшению.

Библиографический список

1. Канев Н.Г., Лившиц А.Я., Н. Moller Акустика большого зала Московской консерватории им. П.И. Чайковского после реконструкции 2010–2011 гг. // Акустический журнал, Москва, 2013/-№59. – С.408-416
2. Серов А.Е., Бутенко А.О. Инновации и инвестиции. - №4, Москва, 2023

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

3. Лившиц А.Я., Пономарев А.М., Канев Н.Г. Акустика концертного зала «Зарядье» в Москве, XXXII Сессия РАО, Москва, 2019
4. Л.А. Борисов, Х.А. Щиржецкий, Е.В. Насонова Акустика концертного зала Дома-музея П.И. Чайковского в Клину, НИИСФ РААСН, Москва, 2009
5. Гитлиц М.В. Радиовещание и электроакустика: справочник для вузов / А.В. Выходец, М.В. Гитлиц, Ю.А. Ковалгин [и др.] - М. Радио и связь, 1989
6. Сапожков, М.А. Акустика: Учебник для вузов / А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.И. Шоров. - М.: Радио и связь, 1989.
7. Киселева М.А., Щуринова А.С., Серов А.Д. От сахарного завода к "Фабрике музыки" // Сборник материалов семинара молодых учёных XXII Международной научной конференции. 2019. с. 51-56.

Оригинальность 75%