

КОНЦЕРТНЫЙ ЗАЛ СМОЛЬНОГО СОБОРА: АРХИТЕКТУРА И АКУСТИКА

Дацюк Т.А.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, 2-ая красноармейская, д.4) e-mail: tdatsuk@mail.ru

Рассмотрена задача улучшения акустических показателей концертного зала Смольного собора в Санкт-Петербурге — памятника архитектуры федерального значения. Непременным условием решения является сохранение исторического облика интерьеров, созданных по проекту зодчего В.П.Стасова. Мероприятия по совершенствованию акустических характеристик звукового поля должны предусматривать как сохранение пространственного решения, так и использованных материалов покрытия. Приведены результаты экспериментальных измерений времени реверберации, уровней звукового давления, критерия ясности. По результатам измерений показано, что на низких частотах 125 и 250 Гц время реверберации превышает рекомендуемые значения для залов с органом в три раза. Имеет место неблагоприятный акустический эффект, который отчетливо проявляется на низких частотах. На модели собора в формате 3D построены лучевые эскизы, которые использовались для выбора мест расположения отражающих экранов. Предложен ряд мероприятий по улучшению акустических свойств зала, не затрагивающие исторического наследия.

Выполнен анализ влияния деталей интерьера зала Смольного Собора на акустические характеристики звукового поля. Приведены результаты экспериментальных измерений времени реверберации, уровней звукового давления, критерия ясности. По результатам измерений показано, что на низких частотах 125 и 250 Гц время реверберации превышает рекомендуемые значения для залов с органом в три раза. Имеет место неблагоприятный акустический эффект, который отчетливо проявляется на низких частотах. На модели собора в формате 3D построены лучевые эскизы, которые использовались для выбора мест расположения отражающих экранов. Предложен ряд мероприятий по улучшению акустических свойств зала.

Ключевые слова: звуковое поле, детали интерьера, время реверберации, звукопоглощение, уровень звукового давления.

INFLUENCE OF DETAILS OF INTERIOR SMOLNY CATHEDRAL ON HALL ACOUSTICS

Datciuk T. A.

FGBOU VPO "Saint-Petersburg State University of architecture and civil engineering", St. Petersburg, Russia (St. Petersburg, str. 2-ya Krasnoarmeyskaya, 4), e-mail: tdatsuk@mail.ru

The article considers the task of improving the acoustic performance of the concert hall of Smolny Cathedral in St. Petersburg - the architectural monument of federal significance. An indispensable condition for the solution is preservation of the historical appearance of the interior created by architect Vasily Stasov. Both spatial solution and the materials of coverage should be preserved during the improvement of the acoustic characteristics of the hall. The author gives the results of experimental measurements of reverberation time, sound pressure levels, criteria of clarity. The results of measurements show that at low frequencies, 125 and 250 Hz, reverberation time three times exceeds the recommended values for the halls with an organ. There is a poor acoustic effect at low frequencies. The author proposes measures to improve the acoustic properties of the hall, preserving historic heritage.

The analysis of influence of details of an interior of the Smolny Cathedral hall on acoustic characteristics of a sound field is executed. Results of experimental measurements of time of reverberation, sound pressure level, criterion of clearness are given. By results of measurements it is shown, that time of reverberation on low frequencies 125 and 250 Гц exceeds recommended values for halls with organ in three times. The adverse acoustic effect as echo is clearly shown on low frequencies takes place. On model of a cathedral in a format 3D beam sketches which were used for a choice of the locations of reflecting screens are constructed. Some useful recommendation for improvement of acoustic properties of a hall is offered.

Key words: a sound field, details of an interior, time of reverberation, a sound absorption, sound pressure level.

Введение

Смольный собор Санкт-Петербурга – исторический архитектурный ансамбль проекта Растрелли. В настоящее время зал Смольного Собора используется для проведения музыкальных концертов. Сцена располагается под куполом, одной стороной примыкая к алтарной части. Зал в плане имеет форму, близкую к прямоугольной. Длина зала – 37 м. Ширина зала – 51 м. Средняя высота зала – 20 м. Диаметр купола – 19 м. Площадь зала – 1900 м², а объем – 36000 м³. Объем купола – 3400 м³. Внутреннее пространство разделено колоннами.

В зале расположены полумягкие кресла с металлическим каркасом, количество нумерованных мест – 750. Алтарная часть, вход в зал и окна затянуты тканью. На полу – ковролин.

Удельный объем, приходящийся на одно место при открытом куполе, составляет ~ 48 м³, при закрытом куполе – 44 м³.

Цель исследования.

При воспроизведении звуков низкой частоты в зале возникает мешающий акустический эффект – эхо. Возникновение эхо, как правило, связано с временем запаздывания и с соотношением интенсивности прямого и отраженного звука. Для разработки рекомендаций по устранению негативного эффекта выполнен анализ акустических свойств зала.

При измерении акустических характеристик зала Смольного Собора источник звука размещался на продольной оси сцены в двух положениях: непосредственно под центром купола (1) и в алтарной части (2). Измерительный микрофон последовательно размещался в 5 точках на высоте 1,2 м от уровня пола (среднестатистическая высота сидящего человека от пола до ушей). Точки были выбраны как характерные для данного зала. Измерения проводились при открытом и затянутом куполе.

Оценка акустических свойств зала проводилась в соответствии с нормативными документами и рекомендациями, приведенными в [1–5].

Для каждого из указанных положений микрофона и фиксированного положения источника звука проводился одинаковый цикл измерений, и на основании измеренного импульсного отклика вычислялись следующие критерии акустического качества зала: RT_{60} (с) и критерий ясности S_{80} (дБ).

По импульсным откликам зала $p^2(t)$ анализировалась структура звуковых отражений с учетом их уровней в дБ и запаздывания в миллисекундах относительно времени прихода прямого звука в точку измерения.

В точках расположения микрофона определялся также уровень звукового давления.

Проведенные акустические измерения показали, что время реверберации значительно изменяется в диапазоне исследуемых частот. На низких частотах время реверберации суще-

ственно превышает рекомендуемые значения для концертных залов. Время реверберации по результатам измерений для положения источника 1 (центр сцены под куполом) при открытом и закрытом куполе приведено на рис.1.

Сопоставление измеренных в зале Смольного Собора и рекомендуемых значений времени реверберации для концертных залов приведено в табл. 1. Время реверберации на низких частотах 125–250 Гц в три раза превышает рекомендуемые значения для залов с органом.

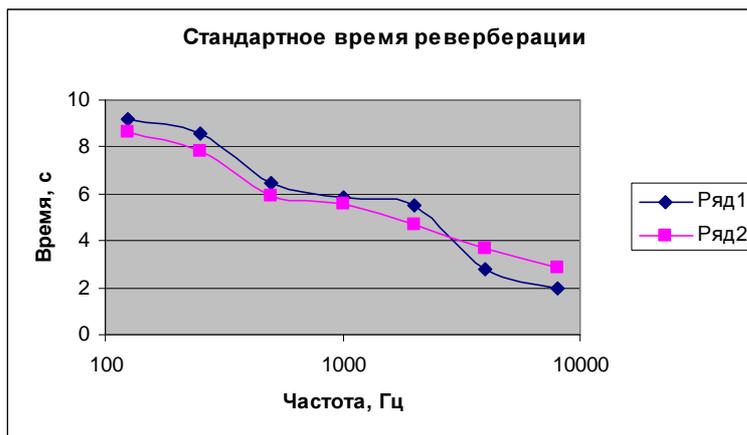


Рис. 1. Стандартное время реверберации в октавных полосах частот

(точка 1) розовый шум, источник положение 1: 1 – купол открыт; 2 – купол закрыт.

Индекс ясности, рассчитанный по результатам измерений, изменяется в широком диапазоне (-5 – +5).

Для уменьшения времени реверберации необходимо увеличить звукопоглощение зала, особенно в области низких частот. Для этого необходимо подобрать соответствующие звукопоглощающие материалы или конструктивные элементы и выбрать их оптимальное расположение, по возможности, не искажая интерьера собора.

Для улучшения акустики зала решались следующие задачи:

- анализ структуры ранних отражений;
- определение требуемого звукопоглощения зала, подбор звукопоглощающих материалов и выбор их мест расположения;
- выбор оптимального места расположения сцены;
- расположение динамиков и усилителей низких частот;
- выбор отражающих экранов.

Анализ структуры ранних отражений с учетом их уровней в дБ выявил неблагоприятную ситуацию в низкочастотном диапазоне 125 – 250 Гц, что связано с архитектурными особенностями зала; наличием сводчатых поверхностей и купола.

На рис. 2 приведена запись ранних отражений для частоты 125 Гц (положения источника 1) при открытом и закрытом куполе.

В точке 1 время запаздывания прихода ранних отражений на частоте 125 Гц составляет 130–180 мс. Уровень интенсивности последовательных отражений отличается не более 5 дБ. Отмечается эффект «порхающего» эха.

Время реверберации T_{60} в секундах

Табл.1

№	Акустический критерий	Среднегеометрические частоты, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	RT_{60} Рекомендуемое время для зала симфонической музыки	2.4	2.2	2.0	2.0	1.9	
2	RT_{60} . Рекомендуемое время для залов органной и хоровой музыки	3.0	2.7	2.5	2.5	2.2	
3	Среднее значение (по 5 точкам) положения источника 1	8,93	8,05	6,23	5,57	4,93	2,87

В точке 2 время запаздывания прихода ранних отражений на частоте 125 Гц составляет 100 мс. Уровень интенсивности последовательных отражений отличается также на 5 дБ. Отмечается эффект «порхающего» эха.

«Затягивание» купола тканью увеличивает уровень интенсивности прямого звука в точке 2 на 5 дБ и выравнивает структуру ранних отражений на частотах 125 и 250 Гц.

При измерениях в зале присутствовало 500 человек. Увеличение площади звукопоглощения при наличии зрителей незначительно и практически не сказывается на формировании звукового поля.

Результаты исследования.

Анализ результатов измерений показал, что:

- время реверберации на низких частотах 125–500 Гц превышает рекомендуемые значения;
- на частотах 125 и 250 Гц заметно «порхающее» эхо;

- звукопоглощение зала недостаточно на частотах 125–2000 Гц; присутствие зрителей практически не сказывается на формировании звукового поля, т.к. дополнительное звукопоглощение не превышает 225 м²;
- «затягивание» купола тканью несколько улучшает характеристики звукового поля на низких частотах, сокращая время запаздывания между ранними отражениями, однако не исключает наличия эха.

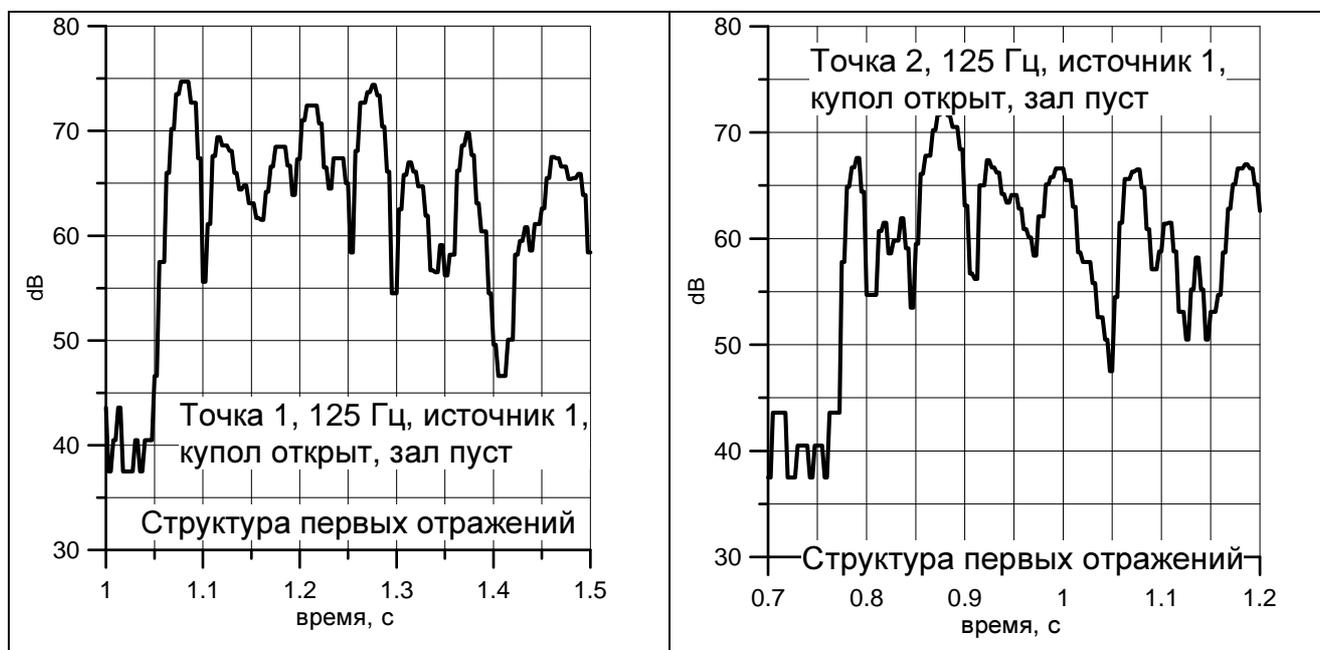


Рис. 2. Запись ранних отражений частотой 125 для трех характерных точек при положении источника 1 (под куполом). Купол открыт.

Звукопоглощение зала, рассчитанное по результатам измерений, приведено в табл. 2

Звукопоглощение зала

Табл.2

Частоты, Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Измеренное время реверберации, с	8,79	7,70	6,15	5,57	4,61	2,89	1,58
Средний коэффициент звукопоглощения зала	0,10	0,12	0,14	0,15	0,18	0,26	0,43
Площадь	618	743	808	925	997	1113	

звукопоглощения, пустой зал, м ²							
Эквивалентная площадь звукопоглощения, зрители, м ²	125	150	200	225	225	200	200
Общая площадь звукопоглощения, м ²	941	893	1008	1150	1222	1313	-

Для уменьшения времени реверберации особенно на низких частотах необходимо увеличить звукопоглощение зала. Кроме того, разработать мероприятия, исключая образование «порхающего» эха.

Для изучения особенностей звукового поля собора были построены три модели в программе «AutoCad 3D». Эти модели использовались для построения лучевых эскизов и оценки диапазона запаздывания отраженного звука при решении поставленных задач.

Построение лучевых эскизов выполнялось для различных сечений помещения и двух расположений источника. Анализ лучевых эскизов показал, что зрительские места расположены в зонах, лишенных боковых отражений. Большая высота помещения и сводчатый потолок не формируют «полезные» отражения. Имеет место превышение рекомендуемого диапазона времени запаздывания. Время запаздывания лучей, отраженных от конструкций потолка и купола, находится в диапазоне 0.08–0.3 с.

Наличие колонн и архитектурные особенности интерьера способствуют рассеиванию звуковой энергии, что обеспечивает хорошую диффузность звукового поля. В куполе имеет место концентрация звука.

Выводы

Для создания благоприятной акустической ситуации при существующем расположении сцены необходимо:

- увеличить звукопоглощение помещения на низких частотах до 3–4 секунд (измеренные значения 8–9 с);
- расположить звукопоглощающие материалы на поверхности купола;
- установить рассеивающий «пояс»;

– установить экраны, направляющие отражения на зрительские места и предотвращающие поступление звуковой энергии в купол.

Для снижения времени реверберации на низких частотах предложено использование резонансных панелей или «голосников», т.е. резонаторов Гельмгольца, выполненных по современной строительной технологии.

Разработаны решения по форме и размещению отражающих экранов в зависимости от места расположения сцены. Установка отражающих экранов позволит направить ранние отражения на зрительские места.

Предложено также расположение верхнего экрана, закрывающего часть купола.

Для увеличения звукопоглощения на средних частотах необходимо увеличить количество тканевых элементов.

Для предотвращения концентрации звука в куполе предложена установка полусферических элементов по возможности большего размера (3м) на «поясе» купола.

Список литературы

1. Бабаян С., Иванов С., Янин И. Измерение акустических характеристик музыкальных залов. Ж. «Звукорежиссер» №6, 2003, с. 1.
2. Макриенко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. М.: Стройиздат, 1986, С.172.
3. ГОСТ 24146-89 Зрительные залы. Метод измерения времени реверберации. М. 1990 г.
4. СП 31-103-99 Здания, сооружения и комплексы православных. Госстрой России, 2000 г.
5. ISO 3382-97 Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. 2009.

Рецензенты:

Лавров Леонид Павлович, доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой архитектурного проектирования СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург.

Курбатов Юрий Иванович, доктор архитектуры, профессор, профессор кафедры архитектурного проектирования СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург.