



АКУСТИКА ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ: ВЫБОР В ПОЛЬЗУ ЗЕЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зеленое строительство, православный храм, архитектурная акустика, реверберация, звукопоглощение

С. В. Корниенко, доктор техн. наук, заведующий кафедрой «Архитектура зданий и сооружений», Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)

Зеленое строительство – актуальная сфера деятельности, динамично развивающаяся во всем мире [1–7]. Среди современных направлений зеленого строительства, таких как биомиметика, повышение устойчивости зданий к негативным климатическим воздействиям, применение экологически безопасных строительных материалов, изделий и конструкций, пассивное использование возобновляемых источников энергии, цифровизация и ряд других, следует выделить проблему повышения акустического качества помещений. В статье показана необходимость использования зеленых технологий при решении акустических задач православных храмов.

Звук, подобно энергии, воде, земле, является ценным ресурсом, который необходимо сохранять. Применение зеленых технологий позволяет отойти от систем звукоусиления и максимально использовать естественный звук в помещениях. Этот вопрос особенно важен для помещений православных храмов, имеющих естественную акустическую среду. Покажем необходимость использования зеленых технологий при решении акустических задач православных храмов.

Объемно-планировочные, конструктивные и инженерно-технические решения православных храмов имеют свои особенности. Большая высота храма может вызвать обра-

зование эха от источника звука вследствие чрезмерной задержки первых звуковых отражений. Купольные конструкции несут опасность фокусировки звука, что снижает диффузность звукового поля в зале. Большой удельный объем помещения (8–12 м³/чел.) может создать чрезмерный реверберирующий шум, затрудняющий разборчивость речи. В разное время количество прихожан неодинаково, что непосредственно влияет на время реверберации в помещении. Размещение храмов вблизи шумных магистралей требует внедрения комплекса мер по защите от внешнего шума. Акустический режим храма в целом неравноэффективен, поэтому требуется защита от

шума тихих помещений. Расположение систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха должно быть увязано с интерьерными решениями, не нарушая церковные каноны.

Мощность человеческого голоса невелика, поэтому главная задача зеленой акустики храмов – это максимальное сохранение натурального звука в помещениях. Применение методов архитектурной акустики позволяет создать благоприятное звуковое поле в помещениях.

Решение задач зеленой акустики полностью находится в руках архитектора.

Почему важно сохранять естественный звук в помещениях?

Большой интерес к вопросу сохранения естественного звука в помещениях обусловлен несколькими обстоятельствами (рис. 1).

Акустический комфорт. Звук распространяется в воздухе со скоростью около 340 м/с, а в воде со скоростью 1 463 м/с. Человеческое тело примерно на 70 % состоит из воды. Структура воды копирует энергоинформационное поле, в котором она находится. Положительная или отрицательная энергетика звуков речи или музыкального произведения воздействует на весь организм целиком, вплоть до структуры клеток [4]. Поэтому в архитектурной среде, в которой человек проводит большую часть времени, необходимо создать благоприятное звуковое поле. В помещениях с натуральными звуковыми источниками могут быть обеспечены комфортные условия для людей.

Снижение затрат. Электрические звукоусилительные системы имеют высокую стоимость, что ограничивает их широкое практическое применение. К сожалению, применение импортозамещающих технологий не всегда позволяет создать качественное звукоусиление в помещениях. Проектирование помещений только с естественными источниками звука полностью исключает затраты на системы звукоусиления, что снижает стоимость здания в целом.

Экологическая безопасность. Зачастую применение звукоусилительных систем требует высокого звукопоглощения помещений. Современные высокоэффективные звукопоглощающие материалы и конструкции далеко не всегда имеют безупречные экологические характеристики. Кроме

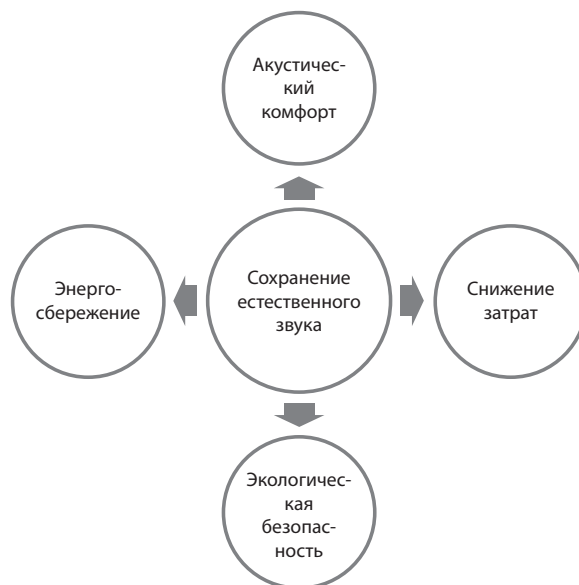


Рис. 1. Ключевые аспекты сохранения естественного звука в помещениях

того, они предполагают дополнительные финансовые затраты. В помещениях с натуральными звуковыми источниками фонд звукопоглощения минимален, что снижает экологические риски при строительстве и эксплуатации зданий.

Энергосбережение. На первый взгляд звук и энергосбережение слабо связаны друг с другом. Однако при более внимательном рассмотрении можно заметить, что использование искусственных систем звукоусиления неизбежно приводит к росту затрат электрической энергии. Применение пассивных стратегий, основанных на сохранении естественного звука, повышает энергоэффективность зданий.

Перечисленные аспекты в значительной степени способствуют созданию зеленой акустической среды в зданиях.

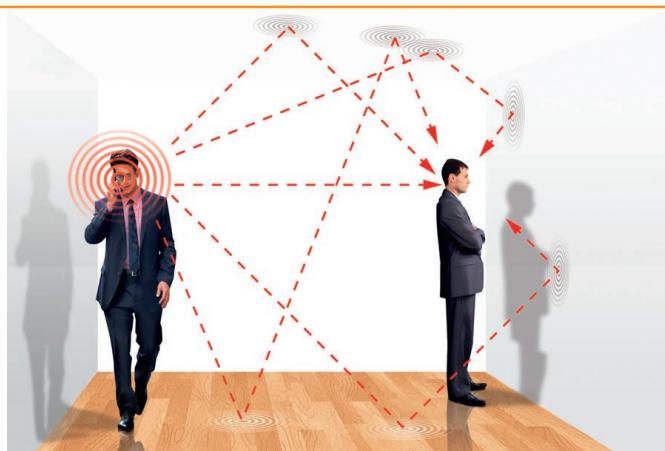
Реверберация – основной критерий акустического качества помещений

Реверберация – процесс постепенного затухания звука в помещении после выключения источника звука. Время, в течение которого уровень звукового давления падает

#терминология

Реверберация (англ. reverberation) – это процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях. Данное явление возникает в точке приема в результате интерференции звука от источника и его многократных отражений от помех различного характера. К реверберации примыкает явление акустического флаттера, или порхающего эха.

Первым исследователем и основателем архитектурной акустики был американский физик Уоллес Клемент Сэбин (Wallace Clement Sabine, 1868–1919).



на 60 дБ, называют временем стандартной реверберации (временем реверберации). Время реверберации должно соответствовать рекомендуемому времени реверберации, полученному на основе субъективной оценки качества звучания в зале.

Еще в конце XIX века блестящий физик Уолес Клемент Сэбин показал, что реверберация является основным критерием акустического качества залов. В 1895 году Сэбина, молодого профессора Гарвардского университета, попросили улучшить акустику лекционного зала Музея Фогга (США). Зал представлял собой просторное полукруглое помещение со сводчатым потолком [6]. Несмотря на то, что зал был предназначен для чтения лекций, речь в помещении звучала крайне невнятно. Отраженный от стен, сводчатого потолка и других твердых поверхностей звук приходил к студентам с большим запаздыванием.

Именно отраженный звук определяет архитектурную акустику, то есть то, как люди воспринимают звук в помещении. Архитекторы воздействуют на акустику, меняя форму, размеры и планировку помещений. В просторных помещениях с твердыми поверхностями отражения слышны долгое время. Мягкие поверхности хорошо поглощают звук, уменьшая отражение и ускоряя затухание звука.

Профессор Сэбин экспериментировал с мягкими звукопоглощающими материалами в лекционном зале. Он измерял время затухания звука. Время до полного затухания звука Сэбин назвал временем реверберации, и в результате его работы появилось одно из главных уравнений архитектурной акустики. Оно устанавливает связь между временем реверберации, объемом помещения и количеством звукопоглощающих материалов.

Впоследствии американский физик-акустик Карл Фердинанд Эйринг (Carl Ferdinand Eyring) усовершенствовал формулу Сэбина, введя корректирующие коэффициенты, учитывающие высокое звукопоглощение. Формула Эйринга включена в СП 415.1325800.2018 «Здания обще-

ственные. Правила акустического проектирования», СП 391.1325800.2017 «Храмы православные. Правила проектирования» и широко используется при проектировании общественных зданий различного назначения.

Расчет реверберации в помещениях православных храмов

Отличительной особенностью храмовых помещений является их различная наполняемость. Звукопоглощение людьми зависит от плотности их расстановки. Например, звукопоглощение стоящими людьми на частоте 500 Гц составляет: при плотной расстановке прихожан (0,25 м²/чел.) – 0,26 м², при «рыхлой» расстановке прихожан (6 м²/чел.) – 0,61 м². Звукопоглощение, отнесенное к единице площади пола, соответственно равно 1,04 и 0,10, то есть меняется примерно в 10 раз. Это может привести к существенному изменению времени реверберации, а при плотной расстановке прихожан храм может оказаться чрезмерно заглушенным.

В качестве примера рассчитаем время реверберации для средней части православного храма в Волгограде. Воздушный объем средней части храма 640 м³, общая площадь внутренних поверхностей ограждений 467 м². Объемно-планировочные и конструктивные характеристики храма, а также его внутренняя отделка приняты по проекту. Стены храма кирпичные, изнутри оштукатурены. Перекрытия выполнены по балкам, оштукатурены по теплоизоляционному слою. Покрытие пола выполнено из керамической плитки. Доля стен в общей площади внутренних поверхностей ограждений составляет 46,9 %, потолка – 19,5 %, пола – 24,1 %.

Расчет выполнен по формуле Эйринга на частотах 125, 250, 500, 1 000, 2 000 и 4 000 Гц при различном количестве прихожан.

Результаты расчета реверберации храма приведены на рис. 2.

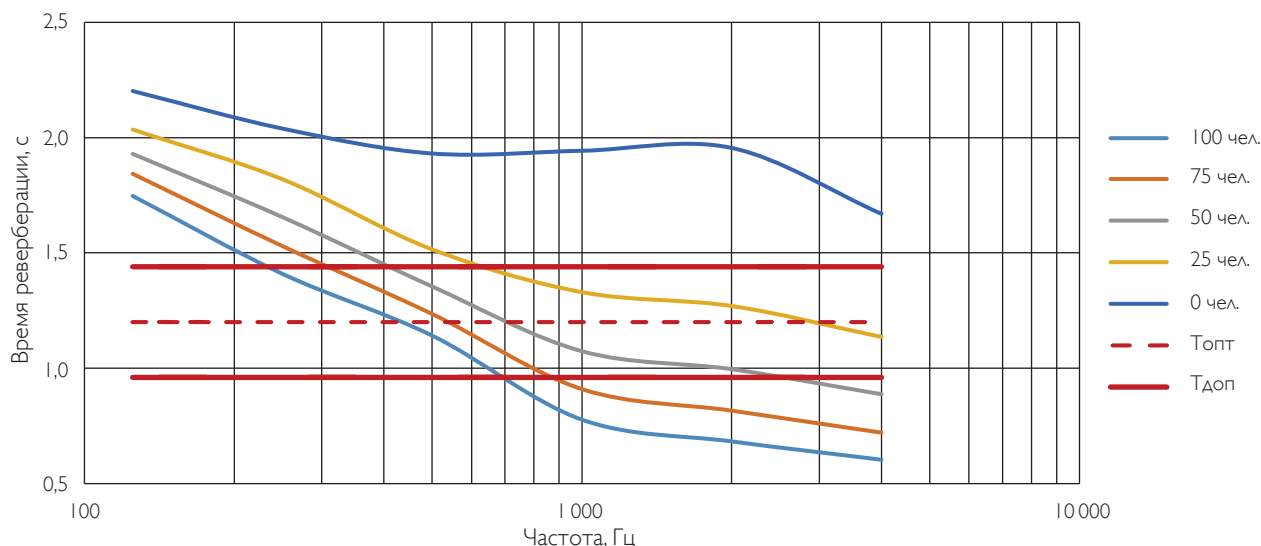


Рис. 2. Расчетное время реверберации храма при различном количестве прихожан (пунктирная красная линия – оптимальное время реверберации, сплошные красные линии – допустимое время реверберации)

Как видно из рис. 2, расчетное время реверберации на низких частотах выше, чем на высоких, что объясняется меньшим звукопоглощением на низких частотах. Максимальное время реверберации имеет пустой зал (верхняя кривая), минимальное характерно для максимально заполненного зала (нижняя кривая).

В пустом зале расчетное время реверберации выше допустимого на всех рассматриваемых частотах. Следовательно, в пустом зале высока вероятность образования чрезмерного ревербирующего шума, ухудшающего восприятие звука.

Количество прихожан в значительной степени влияет на расчетное время реверберации. Так, на эталонной частоте 500 Гц расчетное время реверберации уменьшается от 1,93 с (в пустом зале) до 1,14 с (при заполненности 100 чел.), то есть в 1,7 раза. На высоких частотах звукопоглощающий эффект от прихожан еще выше.

Ухо человека наиболее чувствительно к звукам средних и высоких частот. Из рис. 2 видно, что при количестве прихожан от 25 до 50 чел. расчетное время реверберации сбалансировано в частотном диапазоне 500–4 000 Гц. В этом случае отмечается благоприятное восприятие звука.

Вместе с тем результаты расчета показывают значительное превалирование расчетного времени реверберации в области низких частот (125, 250 Гц). Для защиты от чрезмерно высокого уровня низкочастотного ревербирующего шума рекомендуется использовать голосники, выполненные по современным строительным технологиям. Выбор голосников должен быть обоснован специальным акустическим расчетом.

Зеленая акустика храмов

Главным принципом зеленой акустики является максимальное сохранение естественного звука и защита от шума.

Акустический комфорт в храмах обеспечивается комплексом мероприятий по акустике и защите от внешних и внутренних шумов.

Храм следует размещать в позитивной акустической среде. При акустическом проектировании храмов очень важно найти правильную форму помещения. Она должна обеспечивать необходимую структуру ранних звуковых отражений. В залах с относительно большой высотой и шириной наибольшая опасность прихода первых отражений с недопустимым запаздыванием возникает вблизи источника звука. Для исправления этого явления рекомендуется применять специальные звукоотражающие конструкции на потолке и стенах этой зоны.

Наличие больших куполов и сводов создает опасность концентрации отражений, при этом звук фокусируется в одной части зала, создавая сильное эхо, другие же части зала не получают отражений. Фокусировка звука является акустическим недостатком, однако прием создания акцентирующего звука с помощью метода рассеянного фокуса имеет положительные свойства с точки зрения усиления эффекта богослужения.

При расчете частотной характеристики времени реверберации следует учитывать особенности акустических сигналов, передаваемых в храмах, а также значительную дифференциацию акустических условий в зависимости от численности и места расположения прихожан. Объемный оптимум ревер-

берации должен представлять собой диапазон допустимых отклонений от среднего значения времени реверберации, являющегося допустимым при различной степени заполнения храма.

Для снижения чрезмерного ревербирующего шума в помещении следует правильно подобрать звукопоглощающие материалы и конструкции. При этом предпочтение следует отдавать энергоэффективным, экологически безопасным и экономичным решениям.

Для увеличения звукопоглощения в диапазоне средних и высоких частот рекомендуется использовать тканевые элементы убранства храма. При значительном превалировании времени реверберации в диапазоне низких частот допускается использовать голосники, выполненные по современным технологиям.

При недостаточности времени реверберации храма следует принять меры к увеличению его общего воздушного объема и уменьшению фонда звукопоглощения.

Снижение шума и вибрации от инженерных систем достигается применением маломощного оборудования, выбором режима его работы, а также использованием звукопоглощающих конструкций в помещениях с источниками шума.

Натуральные источники создают позитивные звуковые ландшафты. Это чрезвычайно важно при реализации повышенных требований акустического комфорта, экологической безопасности, экономичности и энергосбережения в зеленых зданиях.

Литература

1. Табунщиков Ю. А. Экология среды обитания человека: реальность, которую игнорировать бесконечно опасно // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2023. № 3. С. 4–15.
2. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Зеленые здания – требования устойчивого развития // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2023. № 2. С. 56–64.
3. Кочев А. Г., Гагарин В. Г., Соколов М. М., Кочева Е. А. Возможность использования возобновляемых источников энергии при конструировании систем создания и поддержания параметров микроклимата в православных храмах // Жилищное строительство. 2022. № 11. С. 58–63.
4. Орлович Р. Б., Горшков А. С., Шангина Н. Н., Харитонов А. М. Причины и механизмы повреждения штукатурного покрытия фасадов исторических каменных зданий // Социология города. 2023. № 2. С. 59–77.
5. Корниенко С. В. Зеленое строительство – комплексное решение задач энергоэффективности, экологии и экономики // Энергосбережение. 2017. № 3. С. 22–27.
6. Korniyenko S. Advanced hygrothermal performance of building component at reconstruction of S. Radonezhskiy temple in Volgograd // MATEC Web of Conferences. 2016. P. 01003.
7. Корниенко С. В. Уточнение расчетных параметров микроклимата помещений при оценке влагозащитных свойств ограждающих конструкций // Вестник МГСУ. 2016. № 11. С. 132–145. ■