

УДК 534.84:725.94

**ОПТИМИЗАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ В УСЛОВИЯХ
ИНТЕНСИВНОЙ УРБАНИСТИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

Гречишкин Александр Викторович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Городское
строительство и архитектура»*

Гарькина Валерия Александровна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

студент.

Аннотация

Анализируется проблема деструктивного вибрационного и шумового воздействия на несущие конструкции объектов культурного наследия, расположенных в зонах высокой плотности городской застройки. Предлагается методика, объединяющая натурные измерения виброускорений с численным моделированием волновых полей в грунтовом массиве. Особое внимание уделено выбору оптимальных параметров пассивных демпфирующих систем и экранирующих барьеров. Приводится сравнительный анализ традиционных и предлагаемых подходов к снижению акустической нагрузки. Даны рекомендации по нормированию уровней вибрации для памятников архитектуры различных типологических групп.

Ключевые слова: акустическое воздействие, виброзащита, объекты культурного наследия, плотная застройка, демпфирование, волновое поле, шумовое загрязнение.

OPTIMIZATION OF ACOUSTIC CONDITIONS IN THE OPERATION OF ARCHITECTURAL MONUMENTS IN CONDITIONS OF INTENSIVE URBAN DEVELOPMENT

Alexander Viktorovich Grechishkin,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Urban Construction and Architecture

Valeria Aleksandrovna Gar'kina

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, student.

Abstract

Article analyzes the problem of destructive vibration and noise impacts on the supporting structures of cultural heritage sites located in dense urban areas. A methodology is proposed that combines in-situ vibration acceleration measurements with numerical modeling of wave fields in soil. Particular attention is paid to the selection of optimal parameters for passive damping systems and shielding barriers. A comparative analysis of traditional and proposed approaches to reducing acoustic loads is provided. Recommendations for standardizing vibration levels for architectural monuments of various typological groups are provided.

Keywords: acoustic impact, vibration protection, cultural heritage sites, dense urban areas, damping, wave field, noise pollution.

В последние десятилетия проблема сохранения архитектурных памятников в условиях плотной городской застройки приобрела особую остроту. Интенсификация транспортных потоков, работа строительной техники в непосредственной близости от исторических зданий, вибрации метрополитена — всё это формирует сложное акустическое поле, способное вызывать усталостные изменения в материалах стен, перекрытий и

фундаментов. При этом нормативная база, регламентирующая предельно допустимые уровни шума и вибрации для памятников архитектуры, до сих пор носит фрагментарный характер. Существующие строительные нормы (СП 51.13330.2011, СН 2.2.4/2.1.8.562–96) рассчитаны преимущественно на комфорт человека, а не на сохранность конструкций [1,2].

Авторам статьи предпринята попытка восполнить этот пробел за счёт разработки методики, позволяющей не только оценить текущий уровень акустического воздействия, но и предложить конкретные инженерные меры по его снижению применительно к объектам культурного наследия. В качестве модельного полигона выбраны три памятника архитектуры XVIII–XIX веков, расположенные в г.Саратов. Все здания находятся в зоне влияния трамвайных линий и автомобильных магистралей с интенсивностью движения не менее 2 тыс. единиц транспорта в час [3].

Для оценки вибрационного состояния конструкций использовалась трёхкомпонентная система измерения виброускорений и виброскорости на базе акселерометров IC Sensors 3031 с частотой дискретизации 512 Гц. Измерения проводились в трёх режимах: фоновый (ночное время), пиковый (час пик) и строительный (при наличии работ в радиусе 100 м). Параллельно выполнялась регистрация эквивалентного уровня шума с помощью шумомера первого класса точности Bruel & Kjaer 2250.

Численное моделирование распространения волн в системе «грунт — фундамент — стена» проводилось методом конечных элементов в среде ANSYS Mechanical APDL. Упругие характеристики грунтов (модуль деформации $E=22$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu=0,32$) получены по данным инженерно-геологических изысканий. Граничные условия задавались с учётом поглощающих свойств нижних слоёв грунта (толщина слоя $h=8$ м). Параметры демпфирования вводились через модальный коэффициент затухания $\zeta=0,035$, что соответствует среднестатистическим значениям для кирпичной кладки XVIII–XIX веков [4,5].

На основании натуральных и расчётных данных выделены три ключевых направления снижения акустической нагрузки на объекты культурного наследия:

1. Пассивная виброизоляция основания. Устройство резинометаллических опорных элементов (виброизоляторов) между фундаментом и грунтом позволяет снизить передачу вибраций в диапазоне 8–63 Гц. Для памятников архитектуры, где вмешательство в конструкцию фундамента минимально, предложена установка эластомерных прокладок с динамическим модулем упругости $E_{дин}=5$ МПа.

2. Акустическое экранирование. Возведение шумозащитных экранов вдоль фасадов, обращённых к источникам шума, эффективно снижает уровни воздушного шума на 8–12 дБА. Однако критически важным является выбор материала экрана: для памятников архитектуры исключено использование монолитных бетонных конструкций, перекрывающих обзор фасада. Рекомендованы акустические панели из ячеистого алюминия с коэффициентом звукопоглощения $\alpha \geq 0,85$ в диапазоне 500–2000 Гц.

3. Мониторинг и нормирование. Внедрение постоянно действующей системы автоматического контроля вибраций с пороговыми значениями, дифференцированными по материалу стен (кирпич, камень, дерево). Предложено установить предельно допустимый уровень виброскорости для кирпичной кладки равным 2,5 мм/с (по третьоктавным полосам 31,5–63 Гц).

Таблица 1 - Сравнительная таблица подходов к снижению акустической нагрузки

Критерий	Традиционный подход (СП 51.13330)	Предлагаемый подход
Учёт конструктивных особенностей памятника	Не предусмотрен	Дифференцирован по типу кладки и возрасту здания
Тип виброизоляции	Жёсткие опоры (бетон, металл)	Эластомерные и резинометаллические элементы
Уровень шума	До 55 дБА (для	До 45 дБА для объектов

Критерий	Традиционный подход (СП 51.13330)	Предлагаемый подход
(расчётный)	жилых зданий)	культурного наследия
Возможность адаптации под фасадную эстетику	Отсутствует	Маскировка экранов под архитектурный облик
Стоимость внедрения (на 1 м ² фасада)	2.8–3.4 тыс. руб.	4.1–4.9 тыс. руб.
Снижение виброскорости (среднее)	22–28%	42–55%
Необходимость усиления фундамента	Часто требуется	В большинстве случаев не требуется

Рассмотрим задачу распространения вибрации от точечного источника (проходящий тяжёлый грузовик) к фасаду здания через грунтовую толщу. Мощность источника задана уровнем виброускорения $a_0=0,12$ м/с² на расстоянии $R_0=2$ м. Требуется определить уровень виброускорения на фундаменте здания, если расстояние от источника до фундамента $R=14$ м, а затухание описывается моделью вязкого трения с коэффициентом затухания $\alpha=0,015$ м⁻¹ [6,7].

Уровень виброускорения на расстоянии R определяется по формуле:

$$a(R) = a_0 \left(\frac{R_0}{R}\right)^n * e^{-\alpha(R-R_0)}$$

где n — показатель геометрического расхождения — для поверхностных волн Рэлея, характерных для грунта, принимается $n=0,5$.

Подставив числовые значения, имеем:

$$a(14) = 0,12 \left(\frac{2}{14}\right)^{0,5} * e^{-0,015(14-2)}$$

$$a(14)=0.12 \cdot 0.377964 \cdot 0.835270$$

$$a(14) \approx 0.0379 \text{ м/с}^2$$

Таким образом, уровень виброускорения на фундаменте составит порядка 0.038 м/с², что превышает фоновые значения (0.012 м/с²), но при установке эластомерных прокладок с коэффициентом передачи $k_{\text{пер}}=0.30$ после изоляции получим $a_{\text{изол}}=0,0379 \cdot 0.30 \approx 0.0114$ м/с², что допустимо для кирпичной кладки.

Проведённое исследование подтверждает необходимость пересмотра нормативных подходов к оценке акустического воздействия на объекты культурного наследия [8]. Эмпирически установлено, что традиционные меры шумозащиты, применяемые в жилом фонде, дают недостаточный эффект для памятников архитектуры, особенно в части низкочастотной составляющей вибраций. Комплексное применение эластомерной виброизоляции фундамента и акустических экранов со звукопоглощающими панелями позволяет снизить вибрационную нагрузку на 42–55% и уровень шума на 8–12 дБА. Разработанная конечно-элементная модель даёт приемлемую сходимость с натурными замерами (отклонение не более 11%). Математический пример наглядно демонстрирует, что даже при значительном удалении источника вибрации (14 м) уровень ускорений на фундаменте остаётся критичным для исторических конструкций, что делает обязательным устройство виброизолирующих элементов. Дальнейшие исследования предполагается направить на уточнение коэффициентов демпфирования для различных типов кладки и составление региональных карт акустической уязвимости памятников архитектуры.

Библиографический список:

1. Антонов А.И., Гречишкин А.В., Гусев В.П., Леденев В.И., Матвеева И.В. Снижение шума газоздушных каналов энергетических предприятий звукоизолирующими облицовками// Приволжский научный журнал. 2022. № 1 (61). С. 97-103.
2. Гречишкин А.В., Гарькина В.А. Оценка влияния перманентных акустических нагрузок на напряженно-деформированное состояние и долговечность конструкций объектов культурного наследия // Моделирование и механика конструкций. 2025. № 22. С. 145-156.

3. Гарькин И.Н. Математическая модель применения риск ориентированного подхода при ремонте сложной кровли объектов культурного наследия // Системные технологии. 2025. № 2 (55). С. 92-97

4. Каракова Т.В., Данилова А.В. Художественная перфорация как инструмент формообразования архитектуры общественного здания в контексте эмерджентности системы // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 1 (46). С. 211-219

5. Лызина А.Г. Эволюция планировки бесстолпного и крестово-купольного типов православного храма XVIII - начала XX века на территории Пензенской области // Архитектон: известия вузов. 2015. № 3 (51). С. 18.

6. Гарькин И.Н. Историко-архитектурная ценность объектов культурного наследия: методика оценки, пофакторный и историко-генетический анализ // Региональная архитектура и строительство. 2025. № 1 (62). С. 192-199

7. Попов А.О., Гарькин И.Н., Сабитов Л.С., Абдуллазянов Э.Ю. Использование технологий информационного моделирования при обследовании объектов культурного наследия // Инженерные исследования. 2024. № 1 (16). С. 23-29

8. Шеин А.И., Зайцев М.Б. Анализ спектральных характеристик высотного здания в среде "MATLAB" // Моделирование и механика конструкций. 2024. № 19. С. 9-21