УДК 699.844:725.31

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ШУМОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ БАШЕННОГО ТИПА

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.

Завьялова Виктория Алексеевна,

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза,

студент.

Аннотация

Анализируется проблема повышения шумоизоляции ограждающих конструкций высотных объектов башенного типа (жилых и офисных башенных зданий, градирен, технологических колонн). Проведён анализ источников шума и путей его распространения в башенных сооружениях. Предложены перспективные методы шумоизоляции: многослойные звукоизолирующие панели, применение демпфирующих материалов, виброразвязка инженерного оборудования, активное шумоподавление. Выполнен сравнительный анализ эффективности методов, представлены расчётные зависимости и пример оценки звукоизоляции конструкции. Показано, что комплексный подход позволяет повысить индекс изоляции воздушного шума на 8–14 дБ.

Ключевые слова: шумоизоляция, звукоизоляция, башенные сооружения, воздушный шум, структурный шум, индекс изоляции воздушного шума, звукопоглощающие материалы, композитные панели, демпфирование, виброизоляция.

DEVELOPMENT OF ADVANCED SOUND INSULATION METHODS FOR BUILDING ENVELOPES OF TOWER-TYPE STRUCTURES

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.

Zavyalova Viktoriya Alekseyevna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

student.

Abstract

This paper analyzes the challenge of improving sound insulation in the enclosure structures of high-rise tower-type facilities (such as residential and office towers, cooling towers, and industrial columns). It examines noise sources and the pathways through which noise propagates within tower structures. Promising sound insulation methods are proposed, including multi-layered sound-insulating panels, the use of damping materials, vibration isolation for mechanical equipment, and active noise control. A comparative analysis of the effectiveness of these methods is provided, along with calculation formulas and an example of how to evaluate the sound insulation of a structure. It is demonstrated that an integrated approach can increase the airborne sound insulation index by 8–14 dB.

Keywords: noise insulation, sound insulation, tower structures, airborne noise, structure-borne noise, airborne sound insulation index, sound-absorbing materials, composite panels, damping, vibration isolation.

Современные объекты башенного типа — высотные жилые и офисные здания, телевизионные и радиомачты, градирни, технологические колонны промышленных установок — характеризуются значительной высотой при относительно малой площади основания. Это определяет специфику акустического режима: интенсивные источники шума (инженерное оборудование, вертикальный транспорт, внешние транспортные потоки) воздействуют на несущие и ограждающие конструкции, а вертикальные коммуникации и каркас здания становятся эффективными путями передачи структурного (корпусного) шума [1,2].

Актуальность проблемы обусловлена ужесточением нормативных требований к акустическому комфорту и ростом плотности застройки. Цель работы — систематизировать перспективные методы шумоизоляции ограждающих конструкций башенных объектов [3,4] и оценить их эффективность на основе расчётных моделей.

На объектах башенного типа выделяют два основных вида шума:

- **воздушный шум** — звук, распространяющийся в воздушной среде (транспорт, разговор, работа систем вентиляции);
- **структурный (корпусный) шум** — звук, передающийся по строительным конструкциям от вибрирующего оборудования (лифтовые лебёдки, насосы, компрессоры, трансформаторы на технических этажах).

Для башенных зданий характерны следующие проблемы:

- концентрация мощных источников вибрации на ограниченных технических этажах с передачей шума по несущему каркасу на десятки этажей вниз и вверх.
- вертикальные шахты (лифтовые, вентиляционные, мусоропроводы) формируют акустические «волноводы», усиливающие передачу шума.

- тонкостенные ограждающие конструкции и лёгкие фасадные системы с недостаточным индексом изоляции воздушного шума.
- резонансные явления лёгких перегородок на низких частотах, трудно поддающиеся изоляции традиционными средствами.

Количественно качество изоляции оценивают индексом изоляции воздушного шума R_w (дБ) и приведённым уровнем ударного шума L_{nw} (дБ) [5,6].

Повышение шумоизоляции ограждающих конструкций целесообразно рассматривать как последовательность взаимодополняющих приёмов, объединённых общим принципом — разрывом и ослаблением путей передачи звуковой энергии как по воздуху, так и по конструкциям. Прежде всего следует отметить классический путь повышения поверхностной плотности ограждения: согласно закону массы, в области высоких частот изоляция растёт примерно на 6 дБ при удвоении массы конструкции. Дальнейшим развитием этого подхода служат многослойные конструкции «масса–упругость–масса» (сэндвич-панели), в которых между двумя жёсткими слоями размещается пористый или волокнистый упругий слой.

Таблица - 1 Сравнительная характеристика методов шумоизоляции

Метод	**Диапазон частот, Гц**	**Прирост R_w, дБ**	**Стоимость, усл. ед.**	**Применимость для башенных объектов**
Однослойная массивная преграда (закон массы)	125–4000	+6 (при удвоении массы)	1,0	Высокая (несущие стены, перекрытия)
Сэндвич-панель «масса–упругость–масса»	100–4000	+10–14	1,6	Высокая (перегородки, фасад)
Пористый заполнитель в полости	250–4000	+4–8	1,2	Высокая (каркасные перегородки)
Вязкоупругое демпфирование	50–800	+3–7 (структурны	1,5	Средняя (металлоконструкци

		й шум)		и, каркас)
Виброизоляция оборудования	20–315	−10…−15 (по вибрации)	1,8	Высокая (технические этажи)
Активное шумоподавление	50–315	+10–15	3,0	Средняя (вентканалы, кондиционирование)
Акустическое развязывание (швы, плавающие полы)	100–3150	+4–9	1,4	Высокая (межэтажные перекрытия)

Рассчитаем индекс изоляции воздушного шума однородной стены по эмпирической зависимости для области закона массы:

$$R = 20 \cdot \lg(m \cdot f) - 47{,}5, \text{ дБ},$$

где m — поверхностная плотность, кг/м²; f — частота, Гц.

Исходные данные: стена из железобетона плотностью ρ = 2500 кг/м³, толщина h = 0,16 м. Поверхностная плотность:

$$m = \rho \cdot h = 2500 \cdot 0{,}16 = 400 \text{ кг/м}^2.$$

Изоляция на среднегеометрической частоте f = 500 Гц:

$$R = 20 \cdot \lg(400 \cdot 500) - 47{,}5 = 20 \cdot \lg(200\,000) - 47{,}5.$$

$$\lg(200\,000) = \lg(2 \cdot 10^5) = \lg 2 + 5 = 0{,}3010 + 5 = 5{,}3010.$$

$$R = 20 \cdot 5{,}3010 - 47{,}5 = 106{,}02 - 47{,}5 = 58{,}5 \text{ дБ}.$$

Проверим эффект от добавления пористого заполнителя и второго жёсткого слоя (сэндвич). Эмпирический прирост для конструкции «масса–упругость–масса» в области средних частот составляет порядка ΔR ≈ 8–12 дБ. Примем ΔR = 10 дБ:

$$R_w(\text{сэндвич}) \approx 58{,}5 + 10 = 68{,}5 \text{ дБ}.$$

Таким образом, переход от однослойной стены к сэндвич-панели той же суммарной массы даёт прирост около 10 дБ, что подтверждается рисунке 1.

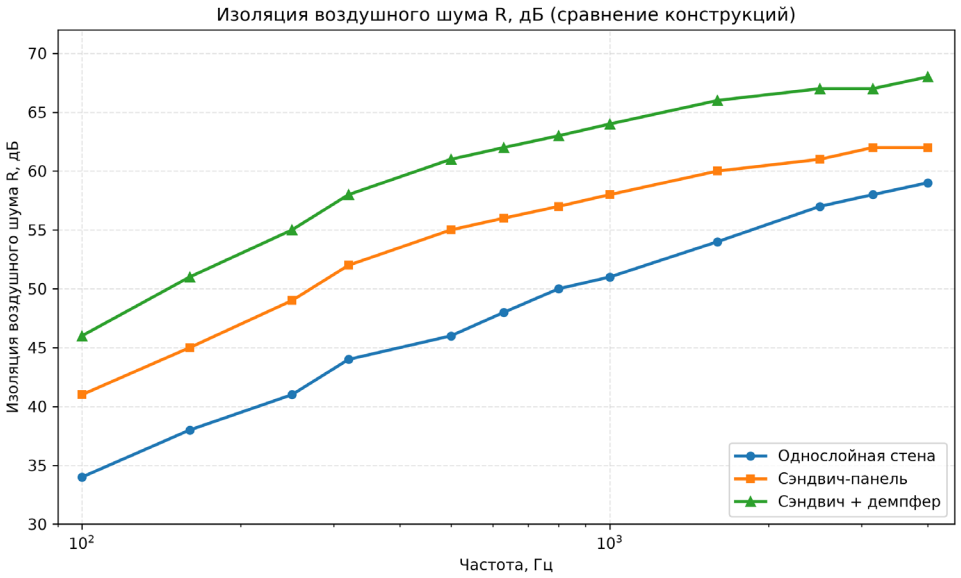


Рисунок 1 – Изоляция воздушного шума R при сравнении конструкций

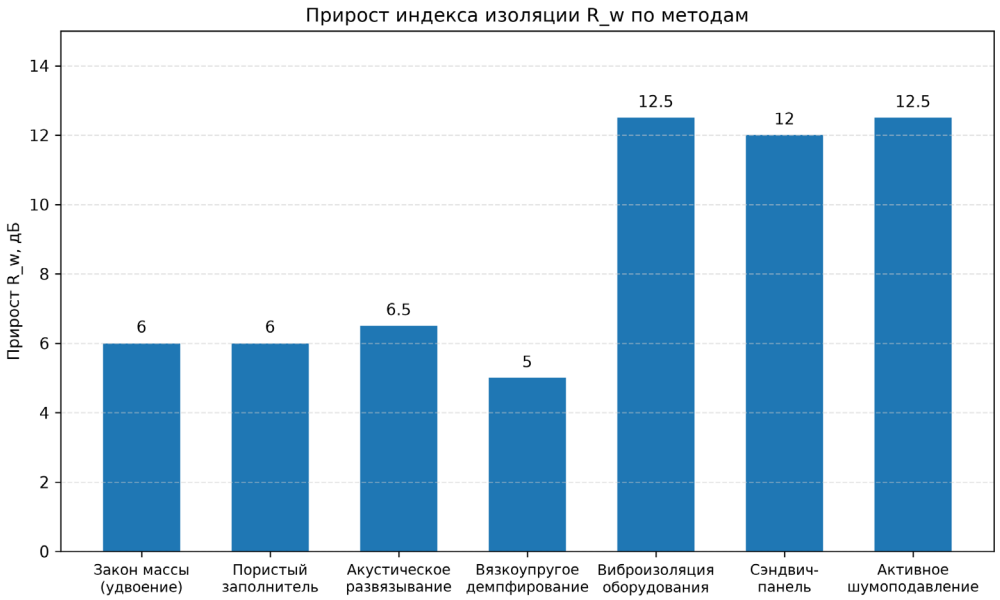


Рисунок 2 – Прирост индекса изоляции R_w различными методами

Учитывая вышеизложенное можно сделать выводы:

1. На объектах башенного типа доминирует структурный шум, передающийся по несущему каркасу и вертикальным коммуникациям, что требует не только повышения звукоизоляции ограждений, но и виброразвязки источников.

2. Наиболее эффективные пассивные методы — многослойные сэндвич-панели «масса–упругость–масса» (прирост R_w до 10–14 дБ) и

виброизоляция инженерного оборудования (снижение структурного шума на 10–15 дБ).

3. Для низкочастотного диапазона (50–315 Гц), где пассивные средства малоэффективны, перспективно активное шумоподавление с эффективностью 10–15 дБ.

4. Комплексное применение методов (масса + демпфирование + виброразвязка + акустические швы) обеспечивает суммарный прирост индекса изоляции R_w на 8–14 дБ, что позволяет выполнять действующие нормативные требования к акустическому комфорту.

5. Расчётный пример показывает, что изоляция однослойной железобетонной стены (m = 400 кг/м²) на частоте 500 Гц составляет 58,5 дБ, а её модификация в сэндвич-панель повышает показатель до ~68,5 дБ.

Библиографический список:

1. Антонов А.И., Гречишкин А.В., Гусев В.П., Леденев В.И., Матвеева И.В. Снижение шума газовоздушных каналов энергетических предприятий звукоизолирующими облицовками// Приволжский научный журнал. 2022. № 1 (61). С. 97-103.

2. Гречишкин А.В., Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В. Метод расчета характеристик звукового поля в помещениях производственных зданий // Региональная архитектура и строительство. 2026. № 2 (67). С. 115-123

3. Гарькин И.Н., Агафонкина Н.В. Техническая экспертиза: технология приёмки ремонтных работ на высотных сооружениях // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 4. С. 20

4. Абдуллазянов Э.Ю., Сабитов Л.С., Гарькин И.Н., Закирова М.А. Ресурсно-оптимизационный подход при ремонтных работах на объектах энергетического строительства башенного типа // Строительное производство. 2025. № 2. С. 105-111.

5. 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.

6. Гречишкин А.В., Гарькина В.А. Оптимизация акустического режима при эксплуатации памятников архитектуры в условиях интенсивной урбанистической застройки // Моделирование и механика конструкций. 2026. № 23. С. 104-109

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