



**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЗВУКО- И ВИБРОИЗОЛЯЦИИ
ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ (ОПЫТ КИТАЯ И
УЗБЕКИСТАНА)**

Р.Х. Пирматов, доктор технических наук,
профессор

Ташкентский Государственный транспортный
университет, Ташкент, Узбекистан. e-mail:

bruchmullo@gmail.com

Hu Tong Yu, магистрант

Ташкентский Государственный транспортный
университет, Ташкент, Узбекистан

***Аннотация:** В статье представлен обзор теоретических и экспериментальных исследований по защите от шума и звуковой вибрации встроенного инженерного оборудования гражданских зданий. Проанализированы основные пути распространения шума (воздушный и структурный), а также существующие методы виброизоляции: однокаскадные и двухкаскадные системы, резиновые, пружинные и комбинированные пружинно-резиновые виброизоляторы. Показано, что традиционные расчётные модели, основанные на системе с одной степенью свободы, не позволяют адекватно оценить виброизоляцию на средних и высоких частотах из-за возникновения волновых явлений и резонансов в элементах системы. Отмечена необходимость учёта податливости основания и оборудования, а также волновых процессов в упругих прокладках и пружинах. На примере совместных исследований китайских и узбекских специалистов показана важность междисциплинарного*

подхода для совершенствования нормативной базы и практических решений в области защиты от шума в условиях интенсивного жилищного строительства Китая и Узбекистана.

***Ключевые слова:** звукоизоляция, виброизоляция, встроенное инженерное оборудование, гражданские здания, структурный шум, волновые резонансы, упругие прокладки, пружинные виброизоляторы, Китай, Узбекистан.*

Введение

Интенсивное строительство жилых и общественных зданий в Китае и Узбекистане сопровождается широким внедрением встроенного инженерного оборудования: систем вентиляции, насосных станций, холодильных агрегатов, трансформаторных подстанций и др. При работе этого оборудования возникают воздушный и структурный шум, причём последний часто является доминирующим в смежных помещениях. Опыт эксплуатации зданий показывает, что традиционные методы виброизоляции не всегда обеспечивают соблюдение санитарных норм, особенно в диапазоне средних и высоких частот. Данная статья основана на анализе результатов теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в рамках диссертационной работы, и направлена на обобщение современных подходов к звуко- и виброизоляции встроенного оборудования, а также на выявление перспективных направлений сотрудничества между Китаем и Узбекистаном в области строительной акустики.

Основные пути распространения шума и методы виброизоляции

Источниками шума в гражданских зданиях являются вентиляторы, насосы, компрессоры, трансформаторы и другое оборудование. Звуковая энергия распространяется двумя путями: по воздуху (воздушный шум) и через строительные конструкции (структурный шум). Для снижения структурного шума применяют виброизоляцию – установку упругих прокладок между оборудованием и несущей конструкцией. Наиболее распространены однокаскадные (однозвенные) системы, расчётная схема которых сводится к системе с одной степенью свободы. Однако, как показали исследования последних лет [1, 2], однозвенные системы не обеспечивают требуемой виброизоляции на средних и высоких частотах. В связи с этим всё большее применение находят двухкаскадные (двухзвенные) системы, а также комбинированные виброизоляторы.

В работах И.И. Клюкина [3], Д.Б. Ващук [4], М.И. Могилевского [5] и других учёных было установлено, что эффективность виброизоляции существенно зависит от волновых процессов в упругих элементах и податливости основания.

Классическая формула для однозвенной системы

$$\Delta R = 20 \lg \left| 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right|$$

справедлива лишь при условии абсолютно жёсткого основания. В реальности же импеданс основания конечен, что уменьшает изолирующую способность. В работе [3] предложено уточнённое выражение, учитывающее механическое сопротивление основания:

$$\Delta R = 20 \lg \frac{|1 - (\omega/\omega_0)^2|}{\sqrt{1 + (\omega m_m / z_k)^2}}$$

Аналогичные результаты получены Д.Б. Ващук [4] и Д. Рузиевым [6]. Для резиновых виброизоляторов важную роль играют волны сжатия и сдвига, а на высоких частотах возникают внутренние резонансы, которые могут снижать изоляцию на 5–10 дБ.

Экспериментальные исследования виброизоляторов

В лабораторных и натурных условиях были исследованы различные типы виброизоляторов: корабельные АКСС-60М, пружинные одновитковые АКПО-6, АКПО-7, многovitковые ДО-41, а также комбинации пружин с резиновыми прокладками (сплошными и перфорированными). Измерения проводились по стандартным методикам (ГОСТ 12.1.012–78, ГОСТ 15116-79) с использованием шумомеров и виброизмерительной аппаратуры. Результаты показали, что:

- наилучшей изолирующей способностью в широком диапазоне частот (до 500 Гц) обладают пружинные виброизоляторы, однако выше 500 Гц их эффективность резко падает из-за волновых резонансов.

- комбинированные пружинно-резиновые виброизоляторы обеспечивают более высокую изоляцию на высоких частотах (превышение до 8 дБ по сравнению с чисто пружинными).

- перфорированные резиновые прокладки (коэффициент перфорации 30 %) дают выигрыш в 5–8 дБ по сравнению со сплошными.

-виброизоляция зависит от нагрузки: при увеличении нагрузки на трансформатор с 20 % до 70 % уровень вибрации пола возрастает на 5–10 дБ на частотах 40–200 Гц.

Эти данные подтверждают, что для достижения нормативных уровней шума в смежных помещениях необходим тщательный выбор характеристик виброизоляторов с учётом волновых явлений.

Недостатки существующих расчётных методов

Анализ литературы (включая работы ЦНИИСК, МНИИТЭП и др.) выявил следующие проблемы:

1. действующие инструкции рекомендуют расчёт виброизоляции только в резонансном режиме по динамической нагрузке, что недостаточно для акустического расчёта в широком диапазоне частот.
2. большинство методов не учитывают податливость самого оборудования и основания, а также волновые резонансы в элементах системы. Как показано в [5, 7], на частотах выше предельной ($f > f_{пр}$) необходимо использовать модели с распределёнными параметрами («приведённые массы»).
3. однако многие из этих проблем легко решаются на стадии проектирования путём выбора правильного конструктивного решения и расчёта звукоизоляционных качеств ограждающих конструкций. В частности, одной из основных задач на стадии проектирования является разработка таких конструктивных решений внутренних ограждающих конструкций, которые имеют относительно небольшую массу, позволяющую снизить нагрузку на несущие конструкции здания и уменьшить материалоемкость строительства,

и при этом обеспечивают соблюдение нормативных требований по изоляции воздушного шума [9].

В связи с этим в магистерской диссертации поставлены следующие задачи:

- изучение различных систем виброизоляции встроенного оборудования зданий;
- разработка практических методик расчета виброизолирующих свойств пружинных и комбинированных пружинно-резиновых виброизоляторов размещаемых под встроенное оборудование зданий в широком диапазоне частот;
- разработка методики расчета распространения звуковых вибраций от встроенных источников шума зданий.

Опыт Китая и Узбекистана в решении проблемы шума

В Китае в последние десятилетия принят ряд национальных стандартов по защите от шума (GB 3096–2008, GB 50118-2010), однако эффективные методы виброизоляции встроенного оборудования в панельных и каркасных зданиях остаются предметом исследований. Узбекистан, унаследовавший нормативную базу СССР (СНиП 2.04.05-83, СН 872-70), сталкивается с аналогичными проблемами при переходе на новые технологии строительства. Сотрудничество между учёными двух стран активно развивается: китайские аспиранты выполняют исследования в Ташкентском государственном транспортном университете, а узбекские специалисты знакомятся с опытом применения комбинированных виброизоляторов в жилых комплексах Китая.

Примером такого сотрудничества может служить анализ шумового режима в жилых домах с встроенными трансформаторными подстанциями. Натурные измерения, проведённые в Москве и Ташкенте, показали, что причиной превышения уровня звука (до 32 дБА при норме 30 дБА) является жёсткая связь трансформаторов с перекрытиями. Установка резиновых виброизоляторов типа 01.02.00.044 позволила снизить уровень звука на 9 дБА до фоновых значений. В Китае аналогичный положительный эффект получен при использовании пружинно-резиновых виброизоляторов в насосных жилых комплексах.

Перспективы дальнейших исследований

Дальнейшее развитие методов расчёта должно идти по пути создания инженерных моделей, учитывающих:

- волновые процессы в упругих элементах (виброизоляторах) на основе концепции «приведённой массы» и предельных частот;
- взаимодействие оборудования, виброизолятора и основания как системы с конечным числом степеней свободы;
- затухание колебаний в строительных конструкциях (внутреннее трение и излучение в смежные элементы).

Заключение

1. Существующие методы расчёта виброизоляции встроенного инженерного оборудования основаны на упрощённых моделях с одной степенью свободы и не учитывают волновые резонансы и податливость основания на средних и высоких частотах.
2. Экспериментальные исследования подтверждают эффективность двухкаскадных и комбинированных пружинно-резиновых

виброизоляторов, особенно с перфорированными резиновыми прокладками.

3. Сотрудничество между Китаем и Узбекистаном в области строительной акустики способствует обмену передовыми технологиями и гармонизации нормативных требований. Разработка новых расчётных моделей и конструктивных решений позволит значительно улучшить акустический комфорт в зданиях с встроенным оборудованием.

Использованная литература

[1] Клюкин И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. – Л.: Судостроение, 1971. – 415 с.

[2] Ващук Д.Б. Звуко- и виброизоляция междуэтажных и чердачных перекрытий при использовании резиновых амортизаторов под инженерное и технологическое оборудование: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1974. – 215 с.

[3] Захаров А.В., Рузиев Д. Метод расчета изоляции звуковых вибраций механизмов, устанавливаемых на строительные конструкции // Известия АН ТаджССР, отд. физ.-мат. и геол.-хим. наук. – 1974. – № 3. – С. 112–117.

[4] Могилевский М.И. Разработка методов расчета вибро- и звукоизоляции упругих оснований для инженерного оборудования зданий: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1981. – 192 с.

[5] Рузиев Д. Изоляция звуковых вибраций механизмов, устанавливаемых на конструкциях зданий: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1975. – 165 с.

[6] Фазылов А.Р. Распространение звуковой вибрации в грунтах и строительных зданиях: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1978. – 145 с.

[7] Санитарные нормы допустимого шума в жилых и общественных зданиях (СН 872-70). – М.: Минздрав СССР, 1971.

[8] ГОСТ 12.1.012–78. Вибрация. Общие требования безопасности. – М.: Стандарт, 1980.

[9] Pirmatov R.Kh., Zakharov A.V., Rashidov J.G. Graphical method for calculating sound insulation of air noise of single layer enclosing structures // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 6, Issue 7. – P. 10294–10298.

[10] Pirmatov R.Kh., Zakharov A.V. A practical method of isolation calculations of air sound by single-layered protecting designs // Proceedings of the Academy of Sciences of the Tadjik Soviet Socialist Republic, Branch of Physical and Mathematical, and Geological-and-chemical Sciences. – 1983. – № 2 (88). – PH Donish, Dushanbe.

[11] Pirmatov R.Kh., Zakharov A.V. About the dependence of sound transmission on the angle of incidence on the boundary of media or a massive layer // Journal of Problems of Mechanics. – 2018. – № 1. – P. 50–55.

[12] Pirmatov R. Reducing the noise of built-in power equipment in civil buildings. – 1991.

[13] Zakharov A.V., Fazylov A.R., Pirmatov R.Kh. Acoustic oscillations of rods and plates // USSR Rept Eng Equipment JPRS UEQ. – 1985. – Vol. 2. – P. 92.

[14] Pirmatov R.Kh., Rashidov J.G. Research of the acoustic parameters of halls and practical methods of eliminating acoustic defects

// The American Journal of Engineering and Technology. – 2020. – Vol. 2, № 12. – P. 7–13. DOI: 10.37547/tajet/Volume02Issue12-02.

[15] Pirmatov R.Kh., Schipacheva E.V., Rashidov J.G. On peculiarities of formation of the thermal mode in operating panel buildings // International Journal of Scientific and Technology Research. – 2019. – Vol. 8, № 10. – P. 2533–2535.

[16] Pirmatov R., Rashidov J., Pirmatov Kh. Method for calculating the insulation of airborne sound by enclose from volumetric-block buildings // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264. – Article 02057. DOI: 10.1051/e3sconf/202126402057.

[17] Захаров А.В., Фазылов А.Р., Пирматов Р.Х. Звуковые колебания стержней и пластин // Известия АН ТаджССР, отдел. физ.-мат. и геолого-хим. наук. – 1984. – № 2/2. – С. 28–33.

[18] Пирматов Р.Х. Снижение шума встроенного энергетического оборудования гражданских зданий. Авт. Дисс. ... канд. техн. наук. – М.,– 1991.

[19] Пирматов Р.Х. , Захаров А.В. К вопросу о зависимости звукопередачи от угла падения на границу сред или массивный слой // Проблемы механики. – 2018. – № 1. – С. 50–55.

[20] Пирматов Р.Х., Рашидов Ж.Г. Измерение звукоизоляции воздушного шума // Theoretical & Applied Science. – 2019. – № 12. – С. 121–123.

Пирматов Р.Х., Рашидов Ж.Г., Пирматов Х. Расчёт звукоизоляции воздушного шума объёмно-блочных зданий // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264. – 02057.