

Ч. ЧЭНЬ,

С. Н. САВИН, *д-р техн. наук, проф*

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Россия)

ОЦЕНКА РАБОТЫ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ В ЗДАНИЯХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Аннотация. В статье рассматривается применение метода свободных колебаний для диагностики фактической работы деформационных швов в зданиях сложной конфигурации. Представлены результаты натурных динамических испытаний двух школьных зданий, выполненных по сборному железобетонному каркасу. Показано, что метод свободных колебаний позволяет выявить фактическое разделение здания на отдельные блоки, оценить степень их взаимного влияния и диагностировать наличие «естественных» деформационных швов, образовавшихся в процессе эксплуатации. Предложены критерии оценки эффективности работы деформационных швов на основе анализа собственных частот колебаний смежных блоков.

Ключевые слова: сейсмостойкость, метод свободных колебаний, деформационный шов, динамические характеристики, собственная частота колебаний, блочная структура здания, неразрушающий контроль.

Введение. Здания сложной формы в плане, включающие разноэтажные блоки, пристройки и вставки, требуют особого внимания к вопросам обеспечения совместной работы отдельных частей. Согласно нормативным требованиям, такие здания должны разделяться деформационными швами на отсеки простой формы. Однако практика эксплуатации показывает, что проектные решения не всегда учитывают все факторы, влияющие на работу деформационных швов, а в процессе эксплуатации возможно образование «естественных» деформационных швов в местах концентрации напряжений. Проблема диагностики фактической работы деформационных швов и оценки взаимодействия отдельных блоков здания остается актуальной [1-3].

В последние годы для оценки динамических характеристик зданий все шире применяются методы неразрушающего контроля, основанные на анализе собственных колебаний конструкций. Метод свободных колебаний позволяет определить фактические динамические параметры зданий и выявить особенности их конструктивной схемы [4]. Цель настоящей работы – обоснование возможности использования метода свободных колебаний для диагностики фактической работы деформационных швов в зданиях сложной формы и разработка критериев оценки их эффективности на основе анализа собственных частот колебаний смежных блоков.

Метод свободных колебаний. Метод свободных колебаний относится к динамическим методам неразрушающего контроля и основан на регистрации

и анализе собственных колебаний конструкций, возбуждаемых внешним импульсным воздействием. В соответствии с ГОСТ 18353-79 данный метод классифицируется как вибрационный метод контроля.

Динамические характеристики конструкций, получаемые при анализе их свободных колебаний, включают периоды и формы колебаний, а также логарифмические декременты затухания [4]. Для зданий сложных конструктивных схем с неравномерно распределенными жесткостными характеристиками возможно существование различных форм колебаний для разных частей здания. Основные формы свободных колебаний зданий схематично представлены на рис. 1.

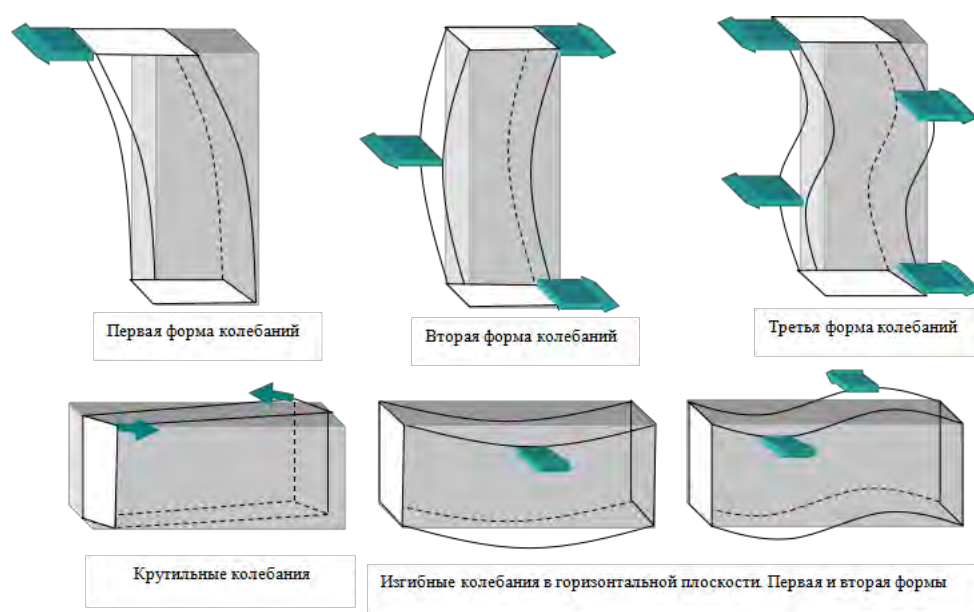


Рис. 1. Основные формы колебаний зданий и сооружений

Методика определения динамических характеристик включает следующие операции: возбуждение и регистрацию колебаний; вычисление спектров Фурье; анализ спектров с целью выделения резонансных пиков; получение импульсных реализаций по каждой форме колебаний; идентификацию и графическое представление форм колебаний.

Исследования проводятся в «пассивном» и «активном» режимах. При «пассивной» регистрации производится запись отклика конструкций на фоновое микросейсмическое воздействие. При «активном» – на специально организованный удар по конструкции грузом до 50 кг.

Для диагностики работы деформационных швов используются следующие признаки [5,6]: различие собственных частот колебаний смежных блоков (чем больше различие, тем менее жесткая связь между блоками); наличие изолированных резонансных пиков в спектрах каждого блока; независимость форм колебаний смежных блоков.

На основе накопленного опыта предложены следующие критерии оценки эффективности деформационных швов (табл. 1).

Табл. 1. Критерии оценки эффективности деформационных швов

Состояние шва	Различие частот смежных блоков, %	Признаки в спектрах
Эффективный	$> 5\%$	Изолированные пики
Частично работающий	5-15%	Частичное разделение
Неэффективный	$< 5\%$	Общие пики

Результаты инструментального обследования. Объекты исследования. Инструментальное обследование проводилось на двух зданиях средних школ в Московской области: школа № 3 в г. Можайск (1978 г. постройки) и школа № 25 в г. Балашиха (1986 г. постройки). Оба здания выполнены по сборному железобетонному каркасу с навесными панелями. Характерной особенностью обоих объектов является сложная форма в плане и наличие разноэтажных блоков [5,6]. План здания школы № 3 представлен на рис. 2.

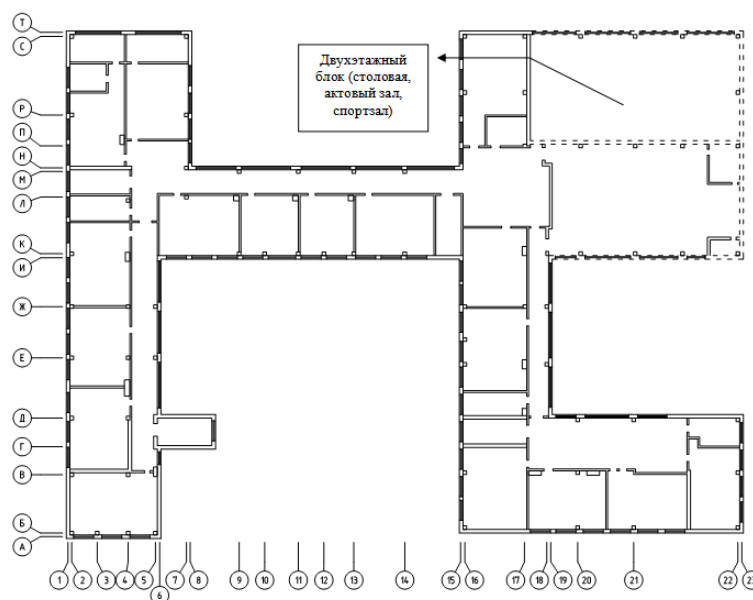


Рис. 2. План здания школы № 3 в г. Можайск

Школа № 3, г. Можайск. В ходе динамических испытаний получены следующие значения частот собственных колебаний: 3,54 Гц — первый тон блока в осях «А-К/15-23»; 4,35 Гц — первый тон блока в осях «А-Т/1-8»; 3,63 Гц — крутильные колебания блока в осях «А-Т/15-23»; 9,73 Гц — встречные колебания блока в осях «А-Т/1-8». Анализ спектров и эпюр перемещений показал, что здание фактически разделено на четыре самостоятельных блока. Главной причиной изменения расчетной схемы явилось отсутствие в проекте деформационных швов в местах сопряжения разножестких конструкций. В процессе эксплуатации такие швы образовались самопроизвольно и послужили причиной возникновения трещин в перекрытиях.

Школа № 25, г. Балашиха. Динамические испытания показали наличие блочной структуры, которая определяется как проектными деформационными швами, так и их фактическим состоянием. Получены следующие частоты: 4,4 Гц – блок в осях «Н-Д/6-12»; 4,83 Гц – блок в осях «А-Г(Е)/1-10»; 4,86 Гц – блок в осях «К-Ц/13-21»; 5,61 Гц и 5,7 Гц – «новый» блок в осях «Н-Ц/1-12».

Причина образования трещин в осях «Н/5-7» связана с ошибкой проектировщиков, не предусмотревших деформационный шов вдоль оси «Н». Этот шов образовался «по факту» из-за различной высотности смежных блоков, температурных деформаций и внешних динамических нагрузок. В то время как в здании школы № 3 деформационные швы отсутствовали в проекте и образовались самопроизвольно, в школе № 25 проектные швы имеются, однако их работа оказалась неэффективной в направлении, перпендикулярном осям парных элементов, что привело к формированию дополнительного «естественного» шва.

Сравнительный анализ результатов испытаний двух зданий представлен в таблице 2.

Табл. 2. Сравнительный анализ динамических характеристик зданий

Параметр	Школа № 3, Можайск	Школа № 25, Балашиха
Год постройки	1978	1986
Конструктивная схема	Сборный ЖБ каркас с панелями	Сборный ЖБ каркас
Количество выявленных блоков	4	4
Диапазон частот по 1-й форме, Гц	3,54 – 4,35	4,4 – 5,7
Наличие проектных швов	Отсутствуют	Имеются
Наличие «естественных» швов	Имеются	Имеются

Анализ и обсуждение результатов. Проведенные исследования показали, что метод свободных колебаний является эффективным инструментом для диагностики фактической работы деформационных швов. В обоих случаях удалось выявить блочную структуру и оценить степень взаимодействия между отдельными блоками. В здании *школы № 3* деформационные швы изначально отсутствовали в проекте, что привело к образованию «естественных» швов. Частоты смежных блоков различаются на 15–20%, что свидетельствует об их фактической независимости. Однако отсутствие проектных швов стало причиной образования трещин в перекрытиях. В здании *школы № 25* проектные швы имеются, но их работа оказалась неэффективной в направлении, перпендикулярном осям парных элементов. Дополнительный «естественный» шов образовался вдоль оси «Н». Частоты блоков в этом направлении практически совпадают, что указывает на сохранение жесткой связи. Установлена корреляция между разностью частот собственных колебаний смежных блоков и эффективностью деформационного шва: при разности > 15% шов работает эффективно; при 5–15% – частично; при < 5% – не работает. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей,

подтверждающих чувствительность динамических методов к изменению жесткостных характеристик конструкций.

Заключение. Проведённые исследования подтверждают, что метод свободных колебаний является эффективным инструментом для диагностики фактической работы деформационных швов в зданиях сложной формы, позволяя выявить разделение здания на блоки, оценить степень их взаимного влияния и диагностировать наличие как проектных, так и «естественных» деформационных швов. В обоих обследованных зданиях выявлена блочная структура, не полностью соответствующая проектным решениям. Установлена корреляция между разностью собственных частот колебаний смежных блоков и эффективностью деформационного шва, на основе которой предложены критерии оценки: при разности частот более 15 % шов работает эффективно, при разности менее 5 % шов не работает. Полученные результаты могут быть использованы при обследовании и мониторинге технического состояния зданий сложной формы, а также при разработке рекомендаций по усилению конструкций.

Список литературы

1. Савин С. Н., Демишин С. В., Ситников И. В. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по ГОСТ Р 53778–2010 // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7. С. 33–39.
2. Суцев С. Л., Ларионов В. А., Галиуллин Р. Р., Нигметов Г. М., Савин С. Н., Самарин В. В. О практическом применении метода динамических испытаний для оценки категории технического состояния и сейсмостойкости зданий и сооружений при слабых и сильных импульсных воздействиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. № 3. С. 52.
3. Савин С.Н. Техническая диагностика прочностных характеристик зданий и сооружений на основе анализа форм их собственных колебаний. – МО РФ, 2006. – 141с.
4. Савин С.Н., Данилов И.Л. Сейсмобезопасность зданий и территорий. МЧС России, СПб, 2014 г., 216 с.
5. Чэнь Ч. Об использовании метода свободных колебаний для диагностики деформационных швов на сложных в плане сооружениях // В сб.Инженерное дело на Дальнем Востоке России. Материалы конференции, Владивосток, 2024 . – С.405-411.
6. Чэнь, Ч. Об использовании метода свободных колебаний для диагностики деформационных швов на сложном в плане здании по адресу: Г. Можайск, Московская область // В сб.Перспективы современного строительства. Материалы конференции, Санкт-Петербург, 2024. – С. 432-440.

Контакты:

chenki2c@gmail.com (Чэнь Чуан);

savinsn@gmail.com (Савин Сергей Николаевич).