Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-17>

УДК 504.61; 624.058; 628.517

Е.Э. Смирнова

СМИРНОВА ЕЛЕНА ЭДУАРДОВНА – к.т.н., доцент,
 AuthorID: 438628, SPIN: 6365-0860, e-mail: esmirnovae@yandex.ru
 Кафедра техносферной безопасности
 Санкт-Петербургский государственный
 архитектурно-строительный университет
 2-я Красноармейская ул., 4, Санкт-Петербург, Россия, 190005

Экологический мониторинг при восстановлении исторических зданий и сооружений: неразрушающие методы контроля

Аннотация: Автором проведена оценка остаточного ресурса Морского Никольского собора в Кронштадте. Для обследования исторического памятника применялся неразрушающий метод (метод свободных колебаний). Хорошо известный в последнее время среди специалистов, данный подход, связанный с оценкой износа здания по изменению периодов собственных колебаний, стал эффективным средством для характеристики свойств объекта и выявления его дефектов. Сравнение замеров вибрации в рамках работ по экологическому мониторингу в 2009 и 2018 гг., в которых участвовал автор предлагаемой статьи, показало, что фактические динамические характеристики системы несущих конструкций при диагностике импульсными воздействиями малой интенсивности свидетельствуют об изменении жесткости обследуемого сооружения. Также проводились исследования по воздействию на собор его колоколов. Установлено, что вибровоздействие звонков тяжелого 16-тонного колокола не оказывает негативного воздействия на несущие конструкции здания. Зафиксированный уровень вибраций в диапазоне частот, представляющих опасность для несущих конструкций колокольни при работе колоколов в штатном режиме, конструкциям не угрожает. Научные основы и достоверность результатов динамических испытаний с целью обнаружения возможных повреждений и долговременного прогнозного ресурса эксплуатации здания базируются на учете параметров фактической несущей способности отдельных узлов. Автор по-новому рассматривает метод свободных колебаний, определяя его как экологический средообразующий фактор, формирующий безопасную среду обитания человека.

Ключевые слова: экологическая безопасность, экологический мониторинг, техносферная безопасность, метод неразрушающего контроля, колебания, динамические параметры, исторический памятник.

Введение

Необходимость измерений динамических параметров зданий и сооружений закреплена ГОСТ 31937–2011 [3]. В процессе мониторинга технического состояния объектов и при заполнении разделов паспорта здания требуется указывать периоды основного тона колебаний «вдоль малой, большой и вертикальной осей» и соответствующие им значения («логарифмического декремента основного тона собственных колебаний»). Обязательная оценка динамических характеристик при мониторинге технического состояния строительных конструкций отвечает Федеральному закону N 384-ФЗ от 30 декабря 2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Речь идет о контроле объектов, которые: 1) находятся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии; 2) оказываются в

зоне влияния нового строительства, реконструкции или природно-техногенных воздействий; 3) являются уникальными. Очевидно, что во всех этих типах зданий и сооружений человеческий фактор, или антропогенная составляющая, выступает нерасчленимым элементом технического состояния, обуславливая непосредственно или косвенно его прочность и достижение (или нет) предельных физико-механических характеристик объекта. Другими словами, спрогнозированный ресурс прочности зданий в природных и техногенных чрезвычайных условиях сегодня становится основой эксплуатации зданий и сооружений, включая восстановление исторических памятников.

В качестве примера того, что метод свободных колебаний позволяет осуществлять мониторинг износа здания и избежать потенциально негативных воздействий в ходе строительства и после сдачи зданий в эксплуатацию, автором статьи приводилась оценка остаточного ресурса Морского Никольского собора в Кронштадте. В рамках работ по экологическому мониторингу в 2009 и 2018 гг., в которых принимал участие и автор данной статьи, сравнивались замеры вибрации. С помощью инструментального обследования, включающего использование динамических данных здания и физико-механических характеристик конструкционных материалов, производилось детальное изучение объекта. В рамках разработки ресурсосберегающих строительных технологий и обоснования принципов экологической безопасности строительства была предпринята проверка дефектов здания, а в некоторых случаях – его предельного состояния (при сейсмическом воздействии, аварии или других ЧС). Мы уже отмечали, что анализ методов диагностики показал, что наиболее надежными критериями технического состояния объекта являются его динамические параметры – частота колебаний, форма колебаний и декремент колебаний как свойства любой упругой системы [14]. Очевидно, что в реальности раскачать здание до заметных амплитуд потребовало бы огромных затрат и было бы небезопасно. Вот почему в настоящее время для расчета колебаний здания используются микроколебания, которые с появлением высокочувствительных датчиков и соответствующих программ обработки надлежащим образом точно измеряются.

Ресурсосберегающая технология мониторинга подразумевает, что достаточно создать микроколебания, параметры отклика которых можно обчислить на математической модели специальной программой. Как правило, измерения параметров колебаний здания менее трудоемки, чем детальное обследование, они могут быть заранее, чем случилась ЧС, определены и использованы в целях экологической безопасности. Для снижения риска материальных и человеческих потерь в условиях дефицита данных о самом явлении (землетрясении, аварии, остаточном ресурсе здания и др.), мы полагаем, наиболее перспективен именно подход неразрушающего контроля к оценке надежности, устойчивости и эксплуатационного ресурса зданий и сооружений, опыт применения которого и стал целью данной статьи.

Замеры вибраций с одновременным определением прочности кладки несущих конструкций выполнялись в Морском Никольском соборе в Кронштадте в 2009 и 2018 гг. (рис. 1).

Рис. 1. Морской Никольский собор (источник: <https://kronshtadtsobor.ru/>).

Материалы и методы

В настоящее время наиболее часто для определения динамических параметров здания применяют метод свободных колебаний (МСК). Метод позволяет определять изменения жесткости конструкции. Он наиболее эффективен из всех интегральных методов диагностики. Если жесткость изменилась из-за локального дефекта (повреждения), то на соответствующей форме колебаний (рис. 2), построенной по результатам оценки динамических параметров, это проявляется в виде искажения.

Рис. 2. Формы колебаний, построенные по результатам оценки динамических параметров зданий и сооружений.

Поскольку здание деформируется постепенно («гладко»), дефекты становятся видны, если принимать во внимание формы осцилляций (любое изменение симметрии). Таким образом, усредненная информация о параметрах вибрации по обследуемому объекту в целом, которую получают с его помощью, позволяет обнаружить скрытые конструктивные дефекты.

Важно отметить, что МСК предполагает анализ спектра свободных колебаний испытываемого объекта, вызванных направленными ударами. Его область применения связана с поиском дефектных областей между элементами в многослойных слоистых структурах значительной толщины из металлических и неметаллических материалов. Его эффективность состоит в том, что он позволяет выбрать параметры, которые «чувствительны» к разрушениям, происходящим в структуре сооружения, но «нечувствительны» к эксплуатационным или экологическим повреждениям. Формы и виды свободных колебаний и соответствующие им частоты (периоды), декременты, эпюры колебаний в качестве динамических характеристик, объективно свойственных обследуемому сооружению, выбираются и разрабатываются таким образом, чтобы обеспечить надлежащее конструктивное решение, исключить реальные или потенциальные негативные воздействия, происходящие в структуре самих объектов. Поэтому для анализа такого рода динамических параметров следует учитывать конструктивное исполнение покрытия, качество монтажа, характеристики материала и конструкций, определять имеющиеся дефекты, влияющие на состояние и несущую способность здания.

С развитием современных методов обработки и оценки данных, новых сенсорных технологий, количество исследований в этой области быстро растет. В связи с этим нас также интересует ресурсосберегающий аспект предлагаемого подхода, его суть: наиболее приемлемым оказывается способ возбуждения свободных колебаний обследуемой конструкции с помощью импульсного воздействия с использованием компактного вибрационно-импульсного источника сейсмических колебаний (типа «Геотон-06» весом 350 кг, «МИССУ-У-3» весом 57 кг и др.). Точнее, воздействие на объект производится сейсмическими волнами. По-

следние возбуждаются поверхностными источниками сейсмических колебаний, которые устанавливаются на определенной дистанции от испытываемого объекта. Далее из зарегистрированных вынужденных колебаний выделяются частоты колебаний испытываемого объекта и затем на основе их анализа дается оценка динамических характеристик испытываемого объекта и заключение о его остаточном ресурсе [1]. Однако такого рода источники вибровоздействий имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение. С помощью их невозможно вызвать флуктуации здания в диапазоне низких частот (ниже 10 Гц). Кроме того, они не могут резко изменить интенсивность и частоту кинематического воздействия на объект. По мнению А.М. Курзанова, вообще воздействие на здания с помощью мощного источника вибраций – из рода допущений, лишенных оснований [7]. Поэтому главная задача – возбудить «качание» здания с собственной частотой – как правило, не выполнима с помощью вибромашин. Вот почему далее речь будет идти об использовании оптимального, с нашей точки зрения, источника колебаний, вызванных с помощью тампера. Удар этим предметом или «падающим грузом» весом до 50 кг наносится в узел жесткости в верхней части собора, а продолжительность нагрузки ограничена величиной 0,5 периода «качания» здания по первой форме. В этом случае амплитуды регистрируемых откликов оказываются достаточными для определения формы собственного колебания собора.

В процессе регистрации колебаний применялся мобильный исследовательско-измерительный комплекс, представленный в таблице.

Состав исследовательского измерительного комплекса

№ п/п	Оборудование	Технические характеристики
1	Акселерометр	Чувствительность 300 мВ/мс^{-2} , частотный диапазон от 0,1 до 400 Гц (в случае высокочастотных измерений влияние резонансной частоты акселерометра иногда приводит к некачественным измерениям; чтобы уменьшить влияние резонанса и исключить частотный диапазон резонанса из области измерения, применяют фильтры нижних частот; у современных виброметров большой набор встроенных фильтров НЧ)
2	Акселерометр	Чувствительность 10 мВ/мс^{-2} , резонансная частота 15 кГц
3	Усилитель	Частотный диапазон от 1 Гц до 20 кГц; режимы измерения: ускорение, скорость, перемещение; усиление от 1 до 10000 со ступенчатым изменением с шагом 10 дБ; питание от сети 220 В или аккумулятора
4	Аналого-цифровой преобразователь, АЦП	Разрядность не менее 12 бит, диапазоны измеряемых сигналов $\pm 5.12 \text{ В}$, 2.56 В , 1.024 В ; максимальная частота преобразования 300 кГц/канал; каналов не менее 8
5	Персональный компьютер	Программное обеспечение ввода и обработки измерительной информации в полевых условиях; параллельный порт
6	Средство возбуждения колебаний	1. Возбудитель колебаний, производящий отдельные импульсы, последовательно следующие друг за другом через 0,03–0,1 с (главный недостаток, ограничивающий применение существующих вибрационных источников: большой вес всего механизма, в ряде случаев составляющий несколько десятков и даже сотен тонн; однако совершенствование вибромашин идет быстрыми темпами [10]) 2. «Падающий груз» (мешок с песком) весом до 50 кг, амортизирующая прокладка; тампер до 12 кг с амортизирующей прокладкой; молоток до 2 кг с амортизирующей прокладкой и резьбовым отверстием для закрепления акселерометра

Методика определения уровня вибраций

В методику [2, 4, 15] определения уровня вибраций включены:

- регистрация колебаний;
- вычисление их спектров Фурье;
- анализ указанных спектров для выделения резонансных пиков, корреспондирующих с уровнем вибраций и колебаний в широком диапазоне частот.

Проведение измерений проходило по следующей схеме:

- установка датчиков на здании, прокладка измерительных кабельных линий, настройка измерительной аппаратуры;
- количество датчиков, места их установки, а также место приложения импульсной нагрузки выбирают с таким расчетом, чтобы возможно более полно выявить фактическую форму колебаний;
- для возбуждения колебаний здания не рекомендуется точку приложения нагрузки выбирать на элементе здания, где установлен датчик (во избежание возбуждения чрезмерно большой амплитуды высокочастотных колебаний этого элемента);
- датчики устанавливаются на капитальных стенах в узлах жесткости, как правило, в местах пересечения продольных и поперечных стен и перекрытий;
- крепление датчиков производится непосредственно на каменную кладку либо на поверхность железобетонной конструкции, очищенной от пыли, окраски или других покрытий;
- для закрепления датчиков используется пластилин или специальная мастика;
- после установки датчиков и подключения к ним измерительных кабельных линий на датчики необходимо надеть колпаки из тепло- и звукоизоляционного материала, которые снижают влияние акустических помех и тепловых флуктуаций;
- места установки датчиков наносятся на схему испытаний.

Схема расстановки датчиков в соборе представлена на рис. 3.

Рис. 3. Схема расстановки датчиков в соборе.

Результаты и обсуждение

Полученные кросс-спектры были проанализированы и использовались для анализа частот и форм колебаний. Были определены спектры отклика и величины ускорений и скоростей в диапазоне частот до 50 Гц. Обработка полученных посредством сложения колебаний, чтобы выделить резонансные пики, соответствующие заданной форме осцилляций, выполнялась для каждой точки измерения (рис. 4).

Прочность кладки и бетона определялась методом поверхностных волн и соответствовала для кладки 2,4–5 МПа; измерительный створ для определения прочности кладки и бетона – около 1,5 м с шагом 30 см по поверхности конструкции.

Вибровоздействие звонов тяжелого 16-тонного колокола не может оказывать негативного влияния на несущие конструкции здания. Эффект резонансного раскачивания колокольни при многократных ударах не наблюдается, так как частоты качания языков и частота собственных изгибных колебаний колокольни существенно различаются. Сравнительный анализ собственных частот колебаний здания в марте 2009 г. и в июне 2018 г. показывает следующее.

Собственная частота колебаний здания по первому тону:

- в продольном направлении: практически не изменилась и составила 3,0 Гц (2009 г. – 3,01 Гц), что ниже погрешности измерений;
- в поперечном направлении: снизилась на 12% (2009 г. – 3,08 Гц, 2018 г. – 2,7 Гц), что соответствует снижению жесткости на 17%;
- частота крутильных колебаний снизилась на 7%;
- частоты «осесимметричных» колебаний снизились на 6% в обоих направлениях, что косвенно свидетельствует об отсутствии изменений показателей заземления фундаментов.

Зафиксированный уровень вибраций в диапазоне частот, представляющих опасность для несущих конструкций колокольни при работе колоколов в штатном режиме, конструкциям не угрожает. Результаты измерений спектра колебаний, анализа спектральных характеристик и форма колебаний обозначены соответственно на рисунках 4, 5 и 6.

Рис. 4. Спектр колебаний собора.

По вертикали справа отмечены номера датчиков, по горизонтальной оси показано время в миллисекундах, по вертикальной оси слева представлена амплитуда ускорений на каждом датчике, м/с^2 .

Рис. 5. Амплитудный спектр.

Первый тон. Вертикальный створ, поперечное направление. Измерения:
а – 1 тон, 08 Гц, 2009 г., б – 1 тон, 2,7 Гц, 2018 г.

Рис. 6. Формы колебаний

(черными ломаными линиями обозначены дефектные места стен собора в процессе динамических испытаний).

Опыт обследований [11–13] показывает: чтобы вывести объект из состояния равновесия, нагрузку прикладывают в зонах, где амплитуда возбужденных вибраций гораздо больше, чем амплитуда других, близких по частоте, форм. Свободные колебания здания – это результат многократных отражений изгибных волн. Очевидно, чтобы получить необходимую амплитуду высших форм свободных осцилляций, образованных короткими волнами, точечной импульсной нагрузки явно недостаточно, потому что чем короче волны, тем быстрее они затухают. Уровень колебаний в бегущих волнах создает помехи, поскольку он больше амплитуды свободных флуктуаций. В таком случае целесообразно приложить нагрузку сразу в нескольких точках (точках максимумов каждой полуволны эпюры для данной формы). Затем необходимо сложить зарегистрированные вибрации: поскольку речь идет о строительных конструкциях, при малых амплитудах колебаний от единиц или десятков микрон для зданий до долей миллиметра для их отдельных элементов, они представляют собой линейные динамические системы. Таким образом, особенности проведенных нами динамических испытаний состоят в следующем:

- приложение точечной импульсной нагрузки одновременно в различных точках здания, затем сложение (с учетом направления действия нагрузки) флуктуаций, зарегистрированных в различных точках конструкции;
- использование изгибных по высоте и изгибных по фронту здания осцилляций; для них определяются следующие динамические характеристики: 1) периоды по первому, второму и третьему тону; 2) логарифмические декременты; 3) распределение амплитуд по высоте и фронту здания (эпюра колебаний); 4) для получения упругих характеристик взаимодей-

ствия фундамента здания с грунтом определяют поворот здания вместе с фундаментом при его колебаниях;

- анализ состояния зданий и их отдельных элементов посредством математической модели – наиболее эффективное средство обработки результатов динамических испытаний (надо отметить, что спектр отклика здания на микросейсмические импульсы будет максимальным на частотах, соответствующих его собственным осцилляциям по основным формам).

Для построения модели собора нами использовалось программное обеспечение (Scad, Abacus, ANSYS, Lira), применяемое при проектировании (рис. 7). В модель закладывались проектные решения, геометрические и жесткостные характеристики элементов строительных конструкций, с помощью «экспандируемых» процедур (модального и гармонического анализа) определялись частоты различных форм свободных колебаний. Расчетные значения частоты сравнивались с полученными экспериментально, в случае их существенного отличия корректировались параметры модели и закладываемые в нее жесткостные или геометрические характеристики до совпадения расчетных и экспериментальных данных. Созданная таким образом модель может служить для расчета фактической несущей способности строительных конструкций.

Рис. 7. Конечно-элементная модель Кронштадтского собора, выполненная в программном комплексе ANSYS.

Но остаются неразрешенные вопросы. Один из принципов МСК предполагает изменение жесткости конструктивных элементов согласно изменению периода собственных колебаний здания [2]. Зафиксировать высшие формы колебания сложно ввиду их маленькой амплитуды. В случае обоснования правомочности разделения реальных колебаний здания на гармоники известно, что системы с затуханием полностью не разделяются: не удастся избежать произведения коэффициентов демпфирования различных форм. Иначе говоря, нет изолированных собственных форм колебаний, при колебаниях же по любой форме перемещения различных точек не синфазны. Этим обстоятельством можно пренебречь при достаточно малом затухании и допустить для демпфированной системы классические собственные формы колебаний, при которых все массы одновременно максимально отклоняются [14]. Таким образом, если декремент колебаний здания мал, то затуханием можно пренебречь. Однако некоторые специалисты полагают, что частотные параметры зданий при импульсном воздействии малой интенсивности, характеризуют динамическую систему, включающую не только несущие конструкции здания, но и комплекс дополнительных элементов. Из-за этого фактические динамические свойства системы несущих конструкций при обследовании с помощью метода импульсных воздействий малой интенсивности не могут быть получены. Предлагаемая же методика оценки технического состояния (сейсмостойкости) посредством сравнения динамических характеристик зданий с эталонным (нормативным) значением периода собственных колебаний не является достоверной [5, с. 49]. Тем не менее противник упомянутого

метода в своей статье оговаривается: все же определенную информацию о «существенных» отклонениях от нормативов можно получить на основе анализа высших (от 10 до 100) форм колебаний несущих конструкций [5, с. 48]. На все эти сомнения мы можем ответить, что интерпретация результатов динамических испытаний доказывает только одно: диагностика с помощью метода неразрушающего контроля позволяет достаточно точно зарегистрировать снижение жесткостных параметров зданий от проектных параметров [2, с. 54]. В нашем примере обследование собора показало, что собственная частота колебаний здания по первому тону в поперечном направлении снизилась на 12% (2009 г. – 3,08 Гц, 2018 г. – 2,7 Гц) и соответственно снизилась (на 17%) жесткость. В ряде тестовых расчетов с использованием программного моделирования данный метод зарекомендовал себя как надежный инструмент оценки возможного влияния дефектов и отсутствия конструктивных элементов здания на динамические параметры объекта, в частности на формы его собственных флуктуаций [2, с. 55–59; 16]. Между прочим, критикуемая О.В. Кабанцевым методика инженерной безопасности МЧС говорит не о сомнительных процедурах оценки износа здания, а о комплексном анализе полученных диагностических параметров [8]. Так, расчет периода собственных колебаний железобетонной балки не только не исключает знание и эксцентриситета, и момента инерции, и площади армирования, зависящих от характера армирования, но как раз его предполагает [6, с. 208; 9]. Таким образом, использование метода свободных колебаний подтверждает достоверность результатов динамических испытаний с целью обнаружения возможных повреждений.

Заключение

Сравнение замеров вибрации в 2009 и 2018 гг. в рамках работ по экологическому мониторингу показало, что фактические динамические характеристики системы несущих конструкций при диагностике импульсными воздействиями малой интенсивности свидетельствуют об изменении жесткости собора. Зафиксированный уровень вибраций в диапазоне частот, представляющих опасность для несущих конструкций колокольни при работе колоколов в штатном режиме, конструкциям не угрожает. Результаты динамических испытаний показали, что метод свободных колебаний эффективен для мониторинга параметров прочности здания и дает достоверную информацию об их изменении. Диагностика с помощью данного метода рекомендуется как «Методикой оценки инженерной безопасности зданий и сооружений» (МЧС, 2003), так и требованиями ГОСТа (N 31937–2011 от 01.01.2014). Следует также отметить, что человеческий фактор, или антропогенная составляющая, выступает органичным элементом технического состояния объектов, обуславливая непосредственно их прочность. Другими словами, спрогнозированный ресурс прочности зданий в природных и техногенных чрезвычайных условиях сегодня становится основой эксплуатации зданий и сооружений, включая восстановление исторических памятников. Ресурсосберегающая технология экологического мониторинга подразумевает, что здание в ходе обследования не нужно разрушать, а достаточно создать микроколебания, результаты отклика которых можно обсчитать на математической модели по специальной программе. Как правило, измерения параметров колебаний здания менее трудоемки, чем детальное обследование, и могут быть заранее определены и использованы для прогноза. В этом плане рассматриваемый нами метод также служит строительной деятельности как экологическому средообразующему фактору. Неразрушающий контроль способствует формированию безопасной среды обитания человека и максимальному снижению материального ущерба в случае аварийной ситуации. Все вышеизложенное говорит о том, что создание системы экологического мониторинга в зонах возведения и функционирования строительных комплексов и исторических сооружений, включая чрезвычайные ситуации, возникающие в результате природных катастроф, техногенных аварий и разрушений, необходимо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаец А.И., Добрица Ю.В., Кравченко А.Ф., Петрунин К.Л., Потаенко Е.Н., Савин С.Н., Чиликов С.М. Устройство для динамических исследований сейсмостойкости зданий и сооружений: пат. на полезную модель RUS 77429. Заявитель и патентообладатель Науч.-исслед. конструкторский центр испыт. машин (ООО «НИКЦИМ Точмашприбор»). № 2007101027/22; опубл. 20.10.2008. Бюлл. 2008, № 20. 10 с.
2. Галиуллин Р.Р., Ларионов В.И., Нигметов Г.М., Савин С.Н., Самарин В.В., Суцев С.П. О практическом применении метода динамических испытаний для оценки категории технического состояния и сейсмостойкости зданий и сооружений при слабых и сильных импульсных воздействиях интенсивности // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. № 3. С. 52–59.
3. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2014. 55 с.
4. Заренков В.А., Захаров И.Д., Савин С.Н., Шнитковский А.Ф. Современные методы технической диагностики строительных конструкций, зданий и сооружений. СПб.: РДК-принт, 2000. 128 с.
5. Кабанцев О.В. О достоверности оценки сейсмостойкости зданий на основе результатов диагностики методом импульсного воздействия малой интенсивности // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 2. С. 46–50.
6. Коробко В.И., Коробко А.В. Контроль качества строительных конструкций: виброакустические технологии. М.: Ассоциация строительных вузов, 2003. 288 с.
7. Курзанов А.М. Разработка методики идентификации нелинейных моделей сейсмостойких сооружений с помощью натурных вибрационных испытаний // Развитие методов расчета на сейсмостойкость / под ред. Н.Н. Складнева. М.: ЦНИИСК, 1987. С. 59–68.
8. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. М.: МЧС России, 2003. 26 с.
9. Плюснин М.Г., Морозов В.И., Попов В.М., Савин С.Н., Смирнова Е.Э. Оценка влияния эксцентриситета продольной силы на обеспеченность несущей способности сжатых железобетонных элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 29–34. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.29-34
10. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Жунусов Т.Ж., Ицков И.Е., Никипорец Г.Л. Методика анализа результатов вибрационных испытаний зданий и крупномасштабных моделей // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 4. С. 59–63.
11. Савин С.Н. Использование упругих колебаний различных длин волн для оценки динамических параметров зданий и сооружений и прочности каменной кладки // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. № 4. С. 43–54.
12. Савин С.Н., Данилов И.Л. Сейсмобезопасность зданий и территорий. СПб.: Лань, 2015. 240 с.
13. 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.
14. Савин С.Н., Смирнова Е.Э. Прогноз ресурса зданий в условиях природных и техногенных чрезвычайных ситуаций // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2(31). С. 33–42.
15. Savin S., Smirnova E. Evaluation of mechanical safety of building structures using elastic vibrations varying in wavelength. World Applied Sciences J. 2013;23(11):1448–1454. DOI: 10.5829/idosi.-wasj.2013.23.11.13161.
16. Savin S., Tsakalidis V. The use of elastic oscillations of different wavelengths to evaluate the dynamic parameters of buildings and structures and assess the strength of materials of the building construction. COMPDYN 2015. Proc. of the 5th Intern. conf. on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering, 25–27 May 2015, Crete Island, Greece. Papadrakakis M., Papadopoulos V., Plevris V. (eds.). Hersonissos, Crete, National Technical University of Athens, 2015, p. 706–720.

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-17>

Smirnova E.

ELENA SMIRNOVA, Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor, AuthorID: 438628, SPIN: 6365-0860, e-mail: esmirnovae@yandex.ru
Department of Technosphere Safety,
Faculty of Engineering Ecology and Municipal Facilities
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
4 Vtoraja Krasnoarmejskaja st., St. Petersburg, Russia, 190005

Non-destructive testing methods as part of an environmental monitoring system in the restoration of historic buildings and structures

Abstract: The author assessed the residual life of the Naval Cathedral of St. Nicholas in Kronstadt. A non-destructive method (the method of free vibrations) was used to examine the historical monument. Recently well-known among specialists, this approach is associated with assessing the residual life of a building by changing the periods of natural vibrations and is an effective tool for characterizing the properties of an object and identifying its defects. A comparison of vibration measurements in the framework of environmental monitoring in 2009 and 2018, in which the author participated, showed that the actual dynamic characteristics of the system of load-bearing structures in the diagnosis by pulsed effects of low intensity indicate a change in the rigidity of the surveyed structure. Studies a question about the impact on the cathedral of its bells have also been conducted. The vibration impact of the heavy 16-ton bells does not cause a negative effect on the supporting structures of the building. A fixed level of vibration in the frequency range that is dangerous for the supporting structures of the bell tower when the bells are in normal operation does not create the threat for the structures. The scientific basis and reliability of the results of dynamic tests in order to detect possible damage and a long-term predicted resource for the operation of the building are based on the parameters of the actual bearing capacity of individual nodes. The author re-examines the method of free vibrations, defining it as an environmental environment-forming factor that forms a safe human environment.

Keywords: environmental safety, environmental monitoring, technosphere safety, non-destructive testing method, oscillations, dynamic parameters, historical monument.

REFERENCES

1. Bugaets A.I., Dobritz Yu.V., Kravchenko A.F., Petrunin K.L., Potaenko E.N., Savin S.N., Chilikov S.M. Device for dynamic research of seismic resistance of buildings and structures. Patent for useful model RUS 77429. Applicant and patent holder: Scientific and Research, and Construct Center of Tested Machines (NIKTSIM Tochmashpribor LLC). N 2007101027/22; published 20.10.2008. Bulletin, 2008;20;10 p.
2. Galiullin R.R., Larionov V.I., Nigmatov G.M., Savin S.N., Samarin V.V. Sushchev S.P. Practical application of the method of dynamic tests for evaluation of the category of technical state and seismic stability of buildings and constructions in weak and strong pulse influences. Earthquake Engineering. Constructions Safety. 2014;3:52–59.
3. GOST 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. Moscow, Standatrinform, 2014, 55 p.

4. Zarenkov V.A., Zakharov I.D., Savin S.N., Shnitkovsky A.F. Modern methods of technical diagnostics of constructions, buildings and structures. Saint Petersburg: RDK-print, 2000, 128 p.
5. Kabantsev O.V. On building earthquake-resistance assessment dependability on the basis of diagnostics results by the low-intensity impulse input method. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2013;2:46–50.
6. Korobko V.I., Korobko A.V. Quality control of building structures: vibro-acoustic technology. Moscow: Association of building universities, 2003, 288 p.
7. Kurzanov A.M. Development of methods for identifying nonlinear models of earthquake-resistant structures using full-scale vibration tests. Development of calculation methods for earthquake resistance. Skladnev N.N. (ed.). Moscow: TSNIISK, 1987, p. 59–68.
8. Methods of assessment and certification of engineering safety of buildings and structures. Moscow.: MCHS of Russia, 2003, 26 p.
9. Plusnin M.G., Morozov V.I., Popov V.M., Savin S.N., Smirnova E.E. Evaluation of the effect of eccentricity of longitudinal force on the provision of bearing capacity of compressed concrete elements. *Industrial and Civil Engineering*. 2019;6:29–34. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.29-34
10. Polyakov S., Kilimnik L., Zhunusov T., Itskov I., Nikiporets G. Methods of analysis of results of vibration tests of buildings and largescale facilities. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2018;4:59–63.
11. Savin S.N. The use of elastic vibrations with different wavelengths to evaluate the dynamic parameters of buildings and structures and assess the strength of materials of the building construction. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2017;4:43–54.
12. Savin S.N., Danilov I.L. Seismic safety of buildings and territories. Saint Petersburg: Lan', 2015, 240 p.
13. Savin S.N., Demishin S.V., Sitnikov I.V. Monitoring of unique objects using dynamic parameters in accordance with GOST R 53778–2010. *Magazine of Civil Engineering*. 2011;7(25):33–39.
14. Savin S., Smirnova E. Predicting the service life of buildings in the conditions of natural and technogenic emergency situations. *Bulletin of the Voronezh Institute of the State Fire Service of the Emergencies Ministry of Russia (Modern Problems of Civil Protection)*. 2019;2(31):33–42.
15. Savin S., Smirnova E. Evaluation of mechanical safety of building structures using elastic vibrations varying in wavelength. *World Applied Sciences J*. 2013;23(11):1448–1454. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.11.13161.
16. Savin S., Tsakalidis V. The use of elastic oscillations of different wavelengths to evaluate the dynamic parameters of buildings and structures and assess the strength of materials of the building construction. *COMPdyn 2015. Proc. of the 5th Intern. conf. on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering*, 25–27 May 2015, Crete Island, Greece. Papadrakakis M., Papadopoulos V., Plevris V. (eds.). Hersonissos, Crete, National Technical University of Athens, 2015, p. 706–720.