

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.И. Запруднов<sup>1</sup>, Н.Г. Серегин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

zaprudnov@mgul.ac.ru

Рассмотрены методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций. Дана классификация методов, проведен их сравнительный анализ. Подробно классифицированы средства мониторинга. Проанализированы их достоинства и недостатки. Показано, что основными средствами мониторинга технического состояния строительных конструкций являются тензометрические и волоконно-оптические преобразователи. Представлено подробное описание тензометрических преобразователей. Обоснована перспективность применения для решения задач мониторинга строительных конструкций волоконно-оптических преобразователей. Проведен анализ работ по применению волоконно-оптических преобразователей для измерения деформаций строительных конструкций. Рассмотрен метод волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии, проанализированы его достоинства и представлены преимущества для измерения деформаций строительных конструкций. Приведены схема и образец крепежного элемента для измерения деформаций строительных конструкций, а также результаты испытаний этого образца. Сделаны выводы и сформулированы направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** деформации строительных конструкций, геодезические методы мониторинга строительных конструкций, динамические методы мониторинга строительных конструкций, тензометрические преобразователи, акустические пьезопреобразователи, молекулярно-электронные преобразователи, волоконно-оптические преобразователи

**Ссылка для цитирования:** Запруднов В.И., Серегин Н.Г. Методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 108–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-108-115

**М**ониторинг технического состояния строительных конструкций — специально организованное, систематическое наблюдение за состоянием строительных конструкций, явлений и процессов, происходящих в них, в целях их оценки, контроля или прогноза [1].

В соответствии с нормативно-технической литературой целью мониторинга технического состояния строительных конструкций является обеспечение надежности системы «основание — сооружение», недопущение негативных изменений окружающей среды, разработка технических решений для предупреждения и устранения отклонений, превышающих предусмотренные в проекте, а также осуществление контроля выполнения принятых решений.

Здания высотой более 75 м относятся к категории высотных и составляют особенность силуэтов современных крупных городов. Обеспечение безопасности при строительстве и эксплуатации высоток требует постоянного мониторинга их технического состояния. Поскольку высотные здания являются сложными инженерными сооружениями, возникает необходимость контроля их технического состояния и бесперебойного функционирования отдельных узлов таких зданий и конструкций в целом, инженерных сетей и коммуникаций, поведения прифундаментных

грунтовых массивов и т. д. Все эти элементы взаимосвязаны и составляют единую систему мониторинга технического состояния здания, комплексно объединяющую набор отдельных технических решений. Важными вопросами создания систем мониторинга технического состояния строительных конструкций являются вопросы выбора методов и средств мониторинга.

Требования проведения инструментального мониторинга технического состояния строительных конструкций содержатся в Московских городских строительных нормах МГСН 4.19–2005 [2], которыми руководствуются не только при возведении высотных зданий и многофункциональных комплексов в Москве, но и в других городах России, а также в ГОСТ Р 53778–2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [3]. Нормативы Европы [4] предусматривают наблюдение за состоянием строительных конструкций и грунтов фундаментов, но не содержат конкретные указания по методам проведения инструментального мониторинга. Вследствие развития информационно-измерительных систем и средств цифровой обработки сигналов [5–8] в настоящее время имеются большие возможности для мониторинга технического состояния строительных конструкций, широкий выбор методов и средств мониторинга.

Важно для каждого конкретного строительного объекта в пределах заданных технико-экономических показателей подобрать оптимальный вариант методов и средств мониторинга.

## Цель работы

Поставлена задача рассмотреть методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций, дать подробную классификацию методов и средств мониторинга, провести их сравнительный анализ, проанализировав достоинства и недостатки.

## Материалы и методы

Существуют четыре основных вида методов мониторинга технического состояния строительных конструкций:

- 1) геодезические методы;
- 2) обследования технического состояния конструкций;
- 3) определение величин нагрузок, напряжений и деформаций в конструкциях с помощью технических средств измерений;
- 4) динамические методы.

Геодезические методы проводят как с помощью традиционных нивелиров, так и применяя современные цифровые первичные преобразователи (датчики) спутниковые GPS-технологии и лазерное сканирование строительных конструкций. Геодезические методы позволяют определять перемещение строительных конструкций в пространстве, измерять их осадки и крены. Получаемые данные соответствуют состоянию конструкций на момент измерений, т. е. реализуются разовые замеры, но нет постоянной информации о динамике поведения строительной конструкции.

Обследования технического состояния строительных конструкций чаще проводят путем оценки состояния грунтового массива в основании здания или сооружения. Они зависят от уровня решаемых задач по трудоемкости, стоимости, разрешающей способности, информативности и могут осуществляться от измерений в отдельных скважинах до межскважинного состояния, вплоть до получения трехмерного томографического изображения.

В зависимости от выбора средств мониторинга технического состояния строительных конструкций допускается мониторинг дифференциальных послойных или суммарных осадок грунтов в основаниях конструкций, уровней грунтовых вод, давления в породах и т. д.

Кроме исследования скважин методы обследования технического состояния строительных конструкций позволяют получать важную информацию при размещении под фундаментной

плитой сети датчиков давления на грунт, а в сваях датчиков измерения — вертикальных нагрузок. Обследования технического состояния строительных конструкций проводят непрерывно, поэтому есть возможность отслеживать динамику изменения технического состояния конструкций.

Определение величин нагрузок, напряжений и деформаций в конструкциях с помощью технических средств измерений осуществляют набором инструментов с применением вибрационных датчиков напряжений, размещаемых в фундаментной плите, а также в стенах, пилонах колонн зданий. Исследования проводят непрерывно, в автоматическом режиме.

Динамические методы выполняют различными измерительными устройствами — деформографами, наклономерами, сейсмометрами, велосиметрами, акселерометрами и т. д. Схемы динамических наблюдений разнообразны и включают в себя как варианты искусственного возбуждения колебаний зданий вибраторами, так и возбуждение колебаний естественными воздействиями, например ветром. Динамические методы обеспечивают постоянную картину состояния строительной конструкции, наблюдая которую можно получить полный спектр информации об особенностях динамики зданий и сооружений.

Рассмотренные выше три вида методов мониторинга технического состояния строительных конструкций позволяют исследовать в основном непосредственно величины осадок, нагрузок, а регистрация колебаний требует достаточно сложной предварительной подготовки и создания моделей динамики строительных конструкций, поэтому это выполняют динамическими методами. Причем схемы исследований динамическими методами могут быть достаточно простыми [9]. Кроме того, динамические методы позволяют контролировать не только величину ускорений, но и судить о совместной работе здания и грунтов в его основании, а также обнаружить неизвестные ранее явления.

Мониторинг технического состояния строительных конструкций, а именно оценку изменения их несущей способности, можно проводить путем измерения действующих нагрузок на конструкции, относительных деформаций и перемещений конструктивных элементов, соответствующих изменению внутренних усилий и напряжений в их сечениях. Для этого применяют информационно-измерительные системы, оснащенные первичными преобразователями (датчиками), характеризующимися принципом действия, контролируемыми параметрами, диапазоном измерений, точностью измерений и чувствительностью.

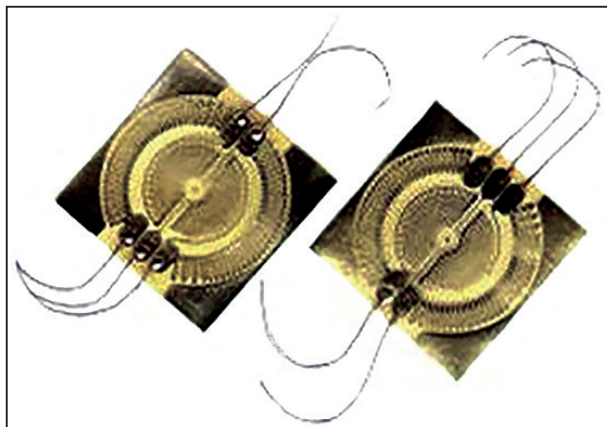


Рис. 1. Проволочные тензодатчики  
Fig. 1. Wire strain gauges

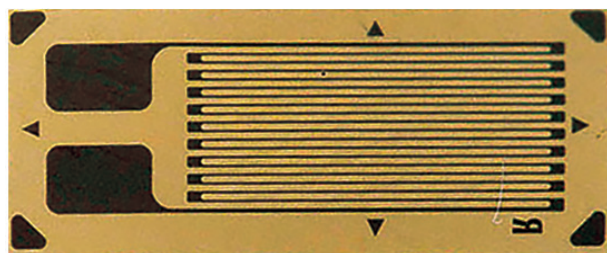


Рис. 2. Тензодатчики из фольги  
Fig. 2. Foil strain gauges

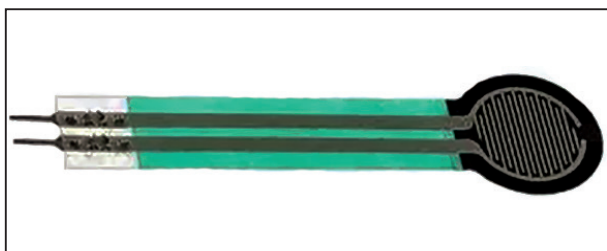


Рис. 3. Пленочные тензодатчики  
Fig. 3. Film strain gauges

В настоящее время нашли применение в информационно-измерительных системах мониторинга технического состояния строительных конструкций следующие первичные преобразователи (датчики):

- тензометрические;
- акустические пьезопреобразователи;
- молекулярно-электронные;
- волоконно-оптические.

Тензометрические датчики преобразуют деформации строительных конструкций в электрический сигнал. Это происходит за счет изменения электрического сопротивления датчика в процессе возникновения деформации измеряемого устройства [10]. Тензометрические датчики могут иметь различные исполнения: проволочные тензодатчики, тензодатчики из фольги, пленочные тензодатчики.

Проволочные тензодатчики (рис. 1) наклеивают на поверхности конструкций, поскольку они обеспечивают высокую точность измерения нагрузки от сотых долей грамма до тонны. Их называют одноточечными, так как в отличие от тензодатчиков из фольги и пленочных измерение происходит не по площади, а в одной точке. Проволочными тензодатчиками можно контролировать сжатие и растяжение. Сжатие или растяжение конструкции вызывает соответствующее сжатие или растяжение проволоки, что обуславливает изменение ее электрического сопротивления. В пределах упругих деформаций относительное изменение сопротивления проволоки связано с ее относительным удлинением следующим образом:

$$\Delta R / R = K_t \Delta l / l,$$

где  $l, R$  — соответственно начальная длина и сопротивление проволоки;

$\Delta l, \Delta R$  — соответственно приращения длины и сопротивления проволоки;

$K_t$  — коэффициент тензочувствительности.

Значение коэффициента тензочувствительности зависит от свойств материала, из которого изготовлены тензодатчики, а также от способа их крепления к конструкции. Коэффициент тензочувствительности проволочных тензодатчиков варьирует в диапазоне от 1 до 3,5. Наиболее употребляемым материалом для изготовления проволочных тензодатчиков является константановая проволока диаметром 20...30 мкм.

Усовершенствованным вариантом проволочных тензодатчиков являются тензодатчики из фольги и пленочные. Их чувствительные элементы — решетка из полосок фольги и тончайшая металлическая пленка.

Тензодатчики из фольги (рис. 2) также наклеивают на поверхности и изготавливают из фольговой ленты толщиной 12 мкм. Как было указано выше, измерения в них происходят по площади. Эти датчики можно применять при низких температурах.

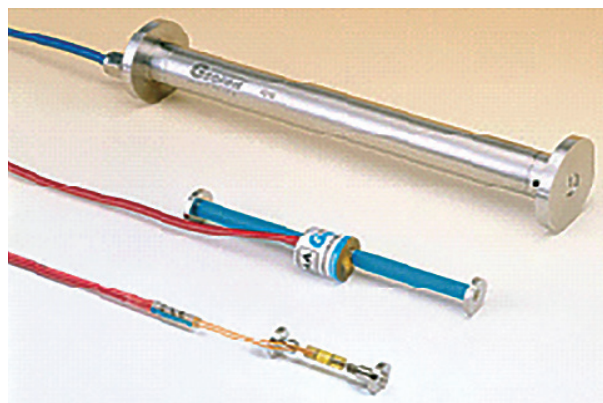
Пленочные тензодатчики (рис. 3) изготавливают из тензочувствительных пленок, имеющих специальное напыление, повышающее чувствительность датчиков. Пленки изготовлены из германия, висмута, титана. Пленочные тензодатчики, так же, как и тензодатчики из фольги, проводят измерения по площади и удобны для измерения динамических нагрузок.

Пленочные тензодатчики измеряют напряжения и деформации в конструкции высотного комплекса «Континенталь» в Москве [1], (рис. 4, а), струнные тензодатчики — в конструкции 828-метровой башни Бурдж-Халифа в Дубае (ОАЭ) [11, 12], (рис. 4, б).





а



б

**Рис. 4.** Тензодатчики в конструкциях: а — высотный комплекс «Континенталь» в Москве; б — башня Бурдж-Халифа в Дубае (ОАЭ)

**Fig. 4.** Strain gauges in the structures: а — Continental high-rise complex in Moscow; б — Burj Khalifa Tower in Dubai (UAE)

Струнные тензодатчики применяют для контроля напряженно-деформированного состояния стальных и железобетонных конструкций. Закладные струнные тензодатчики укладывают непосредственно перед заливкой в бетон для измерений деформаций в наиболее нагруженных, по результатам расчетов, конструктивных элементах зданий и сооружений.

Акустические пьезопреобразователи являются чувствительными элементами со спектральным анализом сигналов от волн напряжений в конструкциях, находящихся под напряжением, основаны на измерениях ряда акустических параметров строительных материалов. Установка этих преобразователей возможна как внутри конструкции при строительстве, так и на поверхностях конструкций в период эксплуатации.

Молекулярно-электронные преобразователи — это стационарные датчики пространственно-временного анализа. Они позволяют с высокой точностью фиксировать смещения строительных конструкций, колебания, нормальную и тангенциальную деформации, коррозионные изменения и др.

Волоконно-оптические датчики предназначены для контроля деформаций (перемещений) в элементах строительных конструкций. В основу их действия положена зависимость коэффициента отражения света в чувствительном элементе датчика, жестко связанного с контролируемым строительным конструктивным элементом, от величины деформации этого элемента. Волоконно-оптические датчики, объединенные в единую информационно-измерительную систему, позволяют контролировать не только деформации, но и изменения нагрузок, температуры, влажности, вибраций строительных конструкций и т. д.

Волоконно-оптические датчики в текущем столетии находят широкое применение в различ-

ных областях хозяйственной деятельности, благодаря проведенным в последние годы успешным научным исследованиям [5–8, 13–22].

## Результаты и обсуждение

Известен опыт практического применения волоконно-оптических датчиков на основе волоконных брэгговских решеток и распределенные датчики на основе эффекта Рамана [18].

Брэгговские решетки записывают в оптическом волокне ультрафиолетовым лазером. Они представляют собой участки световода с периодическим изменением показателя преломления вдоль оси. При механическом и температурном воздействии изменяются период и показатель преломления брэгговской решетки, вследствие чего происходит смещение длины волны отраженного света. Измеряя значение этого смещения, можно определить относительную деформацию строительной конструкции и изменение температуры ее элементов. Для разделения одновременного воздействия деформации и температуры применяют две брэгговские решетки, одна из которых изолирована от механических воздействий. По ней фиксируют сдвиги длины волны из-за температурных воздействий. Это позволяет учесть влияние температуры на вторую брэгговскую решетку, а также тепловое расширение строительной конструкции, к которой прикреплен датчик, и измерить деформацию исследуемой конструкции.

Распределенный датчик температуры на основе эффекта Рамана состоит из импульсного лазера и подключенного к источнику оптического волокна, являющегося чувствительным элементом. Смысл рамановского рассеяния состоит в обмене энергией между падающим фотоном и молекулой вещества. Прямым процессом рамановского рассеяния является переход молекулы из основного

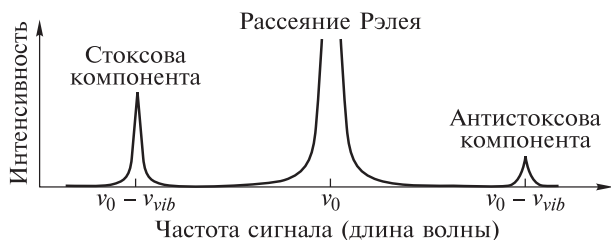


Рис. 5. Спектр рассеянного импульса  
 Fig. 5. The spectrum of the scattered momentum

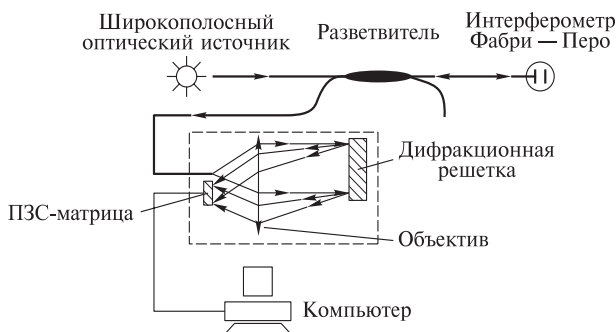


Рис. 6. Схема экспериментальной установки для измерения базы интерферометра Фабри — Перо  
 Fig. 6. Scheme of an experimental setup for measuring the base of a Fabry — Perot interferometer

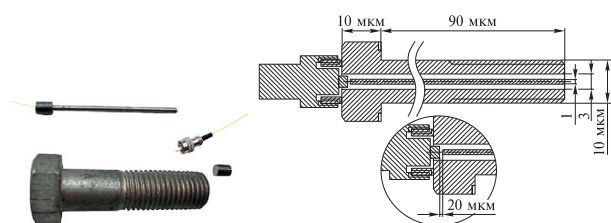


Рис. 7. Крепежный элемент строительной конструкции и его схема  
 Fig. 7. The fastener of the building structure and its scheme

колебательного состояния в возбужденное, вследствие чего рассеянный фотон смещается по частоте в красную область спектра и генерируется стоксова компонента. Однако возможен и обратный процесс, при котором структурная молекула теряет энергию, и перерассеянный фотон с более высокой энергией генерирует антистоксову линию в синей области спектра относительно линии накачки (рис. 5).

Безусловно, заселенность возбужденного уровня непосредственно зависит от температуры вещества, следовательно, интенсивность антистоксовой компоненты проявит температурную зависимость, т. е., регистрируя временную динамику интенсивности антистоксовой компоненты при зондировании импульсным излучением, с помощью такого датчика можно измерять температуру вдоль всего волокна.

Одним из наиболее перспективных и практических решений измерения деформаций (пере-

мещений) строительных конструкций являются методы низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии, в которых применяют низкокогерентные источники света [13]. Главным их достоинством является высокая точность измерений, которая не зависит от флуктуации оптической мощности в линии, а также значительная дистанционность измерений и возможность создания миниатюрных чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков.

Разработана схема экспериментальной установки, реализующей спектральный метод низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии [13], (рис. 6), в которой в качестве чувствительного элемента волоконно-оптического датчика применен интерферометр Фабри — Перо.

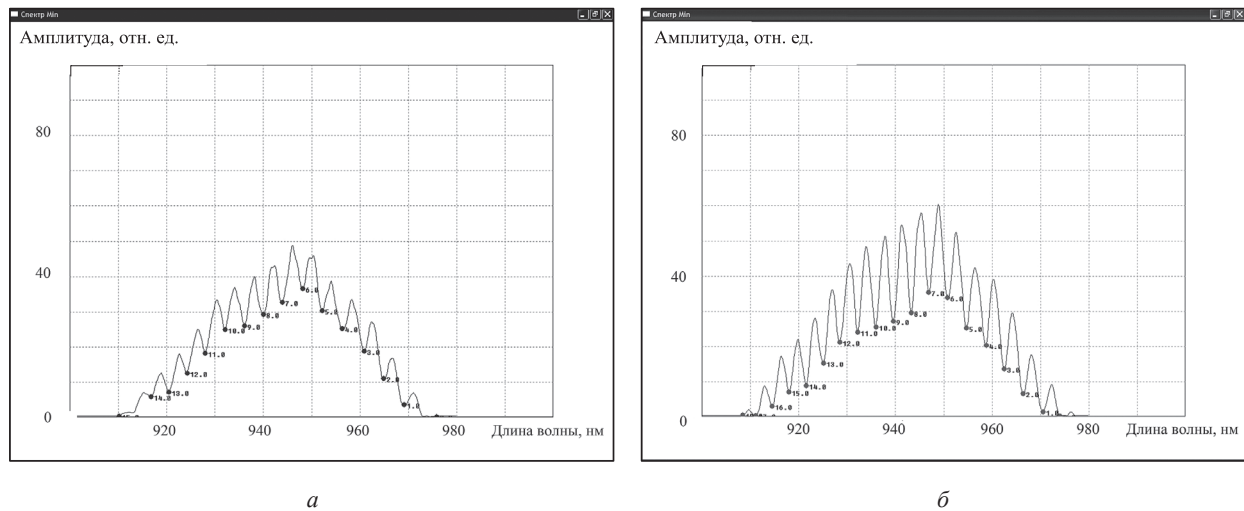
Экспериментальная установка состоит из источника излучения, волоконно-оптической линии с разветвителем и спектрометра. Спектрометр включает в себя отражательную дифракционную решетку, объектив и ПЗС-матрицу (прибор с зарядовой связью).

В качестве примера применения метода низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии для измерений деформаций (перемещений) строительных конструкций рассмотрен крепежный элемент (рис. 7) [22].

На рис. 8 представлен спектр отраженного сигнала от интерферометра Фабри — Перо, являющегося чувствительным элементом волоконно-оптического датчика, который установлен в крепежный элемент строительной конструкции, при отсутствии (рис. 8, а) и при наличии (рис. 8, б) осевой нагрузки на крепежный элемент, вызывающей его осевую деформацию [22]. Точность измерения деформации составляет 0,3 мкм, что является достаточным для решения поставленной задачи.

### Выводы

1. Рассмотренные методы измерения деформаций (перемещений) строительных конструкций позволяют найти наиболее перспективный и практичный из них, а именно метод низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии.
2. Представленная экспериментальная установка для измерения базы интерферометра Фабри — Перо позволяет проводить измерения с погрешностью не более  $\pm 50$  нм в диапазоне измерений от 50 до 400 мкм.
3. В дальнейшем целесообразно доработать масштаб применения метода низкокогерентной волоконно-оптической интерферометрии и чувствительного элемента волоконно-оптического датчика, что позволит повысить точность измерения деформаций (перемещений) строительных конструкций до  $\pm 20$  нм.



**Рис. 8.** Спектр отраженного сигнала от интерферометра Фабри — Перо: *a* — при отсутствии нагрузки на крепежное устройство; *б* — при растяжении крепежного устройства

**Fig. 8.** The spectrum of the reflected signal from the Fabry — Perot interferometer: *a* — in the absence of load on the mounting device; *б* — when stretching the mounting device

4. Проведенные исследования волоконно-оптического датчика, предназначенного для измерения деформаций конструктивных строительных элементов, подтвердили его точность и надежность. Точность измерения деформаций составляет 0,3 мкм.

### Список литературы

- [1] Леденев В.В., Ярцев В.П. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений. Тамбов: ТГТУ, 2017. 252 с.
- [2] Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий комплексов в городе Москве МГСН 4.19–2005. Москва, 2005. 129 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200042296>
- [3] ГОСТ Р 53778–2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200078357> (дата обращения 18.12.2018).
- [4] Айме К.А. Мониторинг зданий и котлованов. Ч. 2 // Строительные материалы, оборудование, технологии века, 2005. № 11. С. 37–39.
- [5] Рубцов И.В., Неугодинов А.П., Егоров Ф.А., Поспелов В.И. Организация системы мониторинга фасадных конструкций на базе волоконно-оптических датчиков // Технологии строительства, 2004. № 5 (33). С. 12–13.
- [6] Гармаш В.Б., Егоров Ф.А., Коломиец Л.Н., Неугодинов А.П., Поспелов В.И. Возможности, задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении // Спецвыпуск «Фотон-экспересс-наука», 2005. № 6. С. 128–140.
- [7] Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Измерительные системы диагностики мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений // Строительство: наука и образование, 2017. Т. 7. Вып. 3 (24). С. 19–35.
- [8] Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Гречаная Н.Н. Информационно-измерительные системы мониторинга технического состояния строительных конструкций // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 86–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-86-93.
- [9] Чернов Ю.Т. Вибрации строительных конструкций. М.: Издательство АСВ, 2006. 288 с.
- [10] Парахуда Р.Н., Шевцов В.И. Автоматизация измерений и контроля. СПб.: СЗТУ, 2002. 75 с.
- [11] Abdelrazaq A. Design and Construction planning of the BurjKhalifa // Proc of ASCE Structures Congress 2010 UAE, Dubai, Orlando, FL, May 12–14. DOI: 10.1061/41130(369)270
- [12] Brownjohn J.M., Pan T.C., Deng X.Y. Correlating dynamic characteristics from field measurements and numerical analysis of a high rise building // Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2000, no. 29 (4), pp. 523–543.
- [13] Солдатов В.Ю., Бурков В.Д. Волоконно-оптические информационно-измерительные системы // Экологическая экспертиза, 2018. № 1. С. 111–120.
- [14] Солдатов В.Ю., Бурков В.Д. Информационно-измерительные системы волоконно-оптического типа // Экологические системы и приборы, 2017. № 6. С. 24–31.
- [15] Бростилова Т.Ю., Бростилов С.А., Мурашкина Т.И. Волоконно-оптический датчик деформации // Надежность и качество сложных систем, 2013. № 1. С. 93–98.
- [16] Потапов В.Т., Жамалетдинов М.Н., Жамалетдинов Н.М., Мамедов А.М., Потапов Т.В. Волоконно-оптическое устройство для измерения абсолютных расстояний и перемещений с нанометрическим разрешением // Приборы и техника эксперимента, 2013. № 5. С. 103–107.
- [17] Серегин Н.Г., Беляков В.А., Сорокин С.В., Яковлев А.В. Применение волоконно-оптического датчика для контроля, поверки и тарировки датчиков температуры // Инженерный вестник, 2014. № 6. С. 526–533.
- [18] Шишкин В.В., Гранев И.В., Шелемба И.С. Отечественный опыт производства и применения волоконно-оптических датчиков // Прикладная фотоника, 2016. Т. 3. № 1. С. 61–75.
- [19] Шашурин В.Д., Потапов В.Т., Серегин Н.Г., Сорокин С.В., Ветрова Н.А. Технология изготовления и результаты испытаний чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков // Машиностроитель, 2016. № 5. С. 34–41.
- [20] Шашурин В.Д., Потапов В.Т., Серегин Н.Г., Сорокин С.В., Ветрова Н.А., Колесников Л.А., Назаров В.В. Применение метода волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии для контроля деформаций крепежных элементов строительных конструкций в процессе их эксплуатации // Машиностроитель, 2016. № 8. С. 13–19.



- [21] Исаев В.Г., Серегин Н.Г., Гречаная Н.Н. Измерение деформаций конструктивных элементов технических систем летательных аппаратов волоконно-оптическими устройствами // Информационно-технологический вестник, 2018. № 2 (16). С. 14–24.
- [22] Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Результаты исследования волоконно-оптического преобразователя системы мониторинга строительных конструкций // Вестник МГСУ, 2018. Т. 13. № 9 (120). С. 1055–1066.

## Сведения об авторах

**Запруднов Вячеслав Ильич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

**Серегин Николай Григорьевич** — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), seregin54@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.03.2019.

Принята к публикации 18.06.2019.

## METHODS AND MEANS OF MONITORING BUILDING STRUCTURES TECHNICAL CONDITION

V.I. Zaprudnov<sup>1</sup>, N.G. Seregin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>Moscow State Building University (NIU MGSU), 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

zaprudnov@mgul.ac.ru

The methods and means of monitoring the technical condition of building structures are Considered. Classification of methods is given. Their comparative analysis is carried out. A detailed classification of monitoring tools is given. Their advantages and disadvantages are analyzed. It is shown that the main means of monitoring the technical condition of building structures are tensometric and fiber-optic converters. A detailed description of strain gauges is presented. The prospects of application of fiber-optic converters for monitoring of building structures are substantiated. The analysis of works on the use of fiber-optic converters for measuring deformations of building structures is given. The method of fiber-optic low-coherence interferometry is considered. The advantages of the fiber-optic low-coherence interferometry method are analyzed. Its advantages for measurement of deformations of building structures are shown. The scheme and a sample of a fastening element for measuring deformations of building structures are presented. The test results of the fastening element sample are presented. Conclusions on the topic of the article are given and directions of further research are formulated.

**Keywords:** deformation of building structures, geodetic methods of monitoring of building structures, dynamic methods of monitoring of building structures, strain gauges, acoustic piezoelectric transducers, molecular electronic transducers, fiber optic transducers

**Suggested citation:** Zaprudnov V.I., Seregin N.G. *Metody i sredstva monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksiy* [Methods and means of monitoring building structures technical condition]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 108–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-108-115

## References

- [1] Ledenev V.V., Yartsev V.P. *Obsledovanie i monitoring stroitel'nykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy* [Examination and monitoring of building structures of buildings and structures: a training manual]. Tambov: TSTU, 2017. 252 p.
- [2] *Vremennye normy i pravila proektirovaniya mnogofunktsional'nykh vysotnykh zdaniy i zdaniy kompleksov v gorode Moskve MGSN 4.19–2005* [Temporary norms and rules for designing multifunctional high-rise buildings and complexes in Moscow MGSN 4.19–2005]. Moscow, 2005, 129 p. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200042296>
- [3] *GOST R 53778–2010. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya* [GOST R 53778–2010. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of technical condition]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200078357> (accessed 18.12.2018).
- [4] Ayme K.A. *Monitoring zdaniy i kotlovanov. Ch. 2.* [Monitoring of buildings and pits. Part 2.] *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii veka* [Building materials, equipment, technologies of the century], 2005, no. 11, pp. 37–39.
- [5] Rubtsov I.V., Neugodnikov A.P., Egorov F.A., Pospelov V.I. *Organizatsiya sistemy monitoringa fasadnykh konstruksiy na baze volokonno-opticheskikh datchikov* [Organization of a monitoring system for facade structures based on fiber-optic sensors] *Tekhnologii stroitel'stva* [Building Technologies], 2004, no. 5 (33), pp. 12–13.
- [6] Garmash V.B., Egorov F.A., Kolomiets L.N., Neugodnikov A.P., Pospelov V.I. *Vozmozhnosti, zadachi i perspektivy volokonno-opticheskikh izmeritel'nykh sistem v sovremenном priborostroenii* [Opportunities, tasks and prospects of fiber-optic measuring systems in modern instrument-making] *Spetsvyпуск «Foton-eksperess-nauka»* [Special edition «Foton-experiment-science»], 2005, no. 6, pp. 128–140.

- [7] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Izmeritel'nye sistemy diagnostiki monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy* [Measuring systems for diagnosing the monitoring of the technical condition of unique buildings and structures] Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: Science and Education], 2017, v. 7, vol. 3 (24), pp. 19–35.
- [8] Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Grechanaya N.N. *Informatsionno-izmeritel'nye sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksiy* [Information-measuring systems for monitoring the technical condition of building structures] Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 86–93. DOI: 10.18698 / 2542-1468-2018-5-86-93.
- [9] Chernov Yu.T. *Vibratsii stroitel'nykh konstruksiy* [Vibrations of building structures]. Moscow: Izdatel'stvo ASV [Publishing House DIA], 2006, 288 p.
- [10] Parakhuda R.N., Shevtsov V.I. *Avtomatizatsiya izmereniy i kontrolya* [Automation of measurement and control]. St. Petersburg: SZTU, 2002, 75 p.
- [11] Abdelrazaq A. Design and Construction planning of the BurjKhalifa. Proc of ASCE Structures Congress 2010 UAE, Dubai, Orlando, Fl, May 12–14. DOI: 10.1061/41130(369)270
- [12] Brownjohn J.M., Pan T.C., Deng X.Y. Correlating dynamic characteristics from field measurements and numerical analysis of a high rise building. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2000, no. 29 (4), pp. 523–543.
- [13] Soldatov V.Yu., Burkov V.D. *Volokonno-opticheskikie informatsionno-izmeritel'nye sistemy* [Fiber-optical information-measuring systems] Ekologicheskaya ekspertiza [Ecological Expertise], 2018, no. 1, pp. 111–120.
- [14] Soldatov V.Yu., Burkov V.D. *Informatsionno- izmeritel'nye sistemy volokonno-opticheskogo tipa* [Information-measuring systems of fiber-optic type] Ekologicheskie sistemy i pribory [Ecological Systems and Devices], 2017, no. 6, pp. 24–31.
- [15] Brostilova T.Yu., Brostilov S.A., Murashkina T.I. *Volokonno-opticheskyy datchik deformatsii* [Fiber-optic strain sensor] Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem [Reliability and quality of complex systems], 2013, no. 1, pp. 93–98.
- [16] Potapov V.T., Zhamaletdinov M.N., Zhamaletdinov N.M., Mamedov A.M., Potapov T.V. *Volokonno-opticheskoe ustroystvo dlya izmereniya absol'yutnykh rasstoyaniy i peremeshcheniy s nanometricheskim razresheniem* [Fiber-optical device for measuring absolute distances and displacements with a nanometric resolution] Pribory i tekhnika eksperimenta [Instruments and Experimental Technique], 2013, no. 5, pp. 103–107.
- [17] Seregin N.G., Belyakov V.A., Sorokin S.V., Yakovlev A.V. *Primenenie volokonno-opticheskogo datchika dlya kontrolya, poverki i tarirovki datchikov temperatury* [Application of a fiber-optic sensor for monitoring, calibration and calibration of temperature sensors] Inzhenernyy vestnik [Inzhenerny Vestnik], 2014, no. 6, pp. 526–533.
- [18] Shishkin V.V., Granev I.V., Shelemba I.S. *Otechestvennyy opyt proizvodstva i primeneniya volokonno-opticheskikh datchikov* [Domestic experience in the production and use of fiber-optic sensors] Prikladnaya fotonika [Applied Photonics], 2016, vol. 3, no. 1, pp. 61–75.
- [19] Shashurin V.D., Potapov V.T., Seregin N.G., Sorokin S.V., Vetrova N.A. *Tekhnologiya izgotovleniya i rezul'taty ispytaniy chuvstvitel'nykh elementov volokonno-opticheskikh datchikov* [Manufacturing technology and test results of sensitive elements of fiber-optic sensors] Mashinostroitel', 2016, no. 5, pp. 34–41.
- [20] Shashurin V.D., Potapov V.T., Seregin N.G., Sorokin S.V., Vetrova N.A., Kolesnikov L.A., Nazarov V.V. *Primenenie metoda volokonno-opticheskoy nizkokogerentnoy interferometrii dlya kontrolya deformatsiy krepzhenykh elementov stroitel'nykh konstruksiy v protsesse ikh ekspluatatsii* [Application of the method of fiber-optic low-coherence interferometry to control the deformations of fasteners of building structures during their operation] Mashinostroitel', 2016, no. 8, pp. 13–19.
- [21] Isaev V.G., Seregin N.G., Grechanaya N.N. *Izmerenie deformatsiy konstruktivnykh elementov tekhnicheskikh sistem letatel'nykh apparatov volokonno-opticheskimi ustroystvami* [Measurement of deformations of structural elements of technical systems of aircraft by fiber-optic devices] Informatsionno-tekhnologicheskii vestnik [Information and Technology Bulletin], 2018, no. 2 (16), pp. 14–24.
- [22] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Rezul'taty issledovaniya volokonno-opticheskogo preobrazovatelya sistemy monitoringa stroitel'nykh konstruksiy* [The results of the study of the fiber-optic converter of the monitoring system of building structures]. Vestnik MGSU, 2018, t. 13, no. 9 (120), pp. 1055–1066.

## Authors' information

**Zaprudnov Vyacheslav Il'ich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

**Seregin Nikolay Grigorievich** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the Moscow State Building University (NIU MGSU), seregin54@yandex.ru

Received 29.03.2019.

Accepted for publication 18.06.2019.