

УДК 681.586.629.78

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-86-93

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.И. Запруднов¹, Н.Г. Серегин², Н.Н. Гречаная³

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

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

³Акционерное общество «Научно-производственное объединение измерительной техники», 141074, г. Королёв, ул. Пионерская, д. 2

zaprudnov@mgul.ac.ru

Рассмотрены вопросы мониторинга технического состояния промышленных и гражданских объектов с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, приводящих к повреждению или разрушению объектов. Приведены различные схемы устройств, входящих в состав телеметрических систем. Подробно рассмотрены виды и схемы первичных преобразователей на базе волоконно-оптических датчиков (ВОД). Приведена схема установки, реализующей спектральный метод низкокогерентной интерферометрии, которая состоит из источника излучения, волоконно-оптической линии с разветвителем и спектрометра, содержащего отражательную дифракционную решетку, объектив и ПЗС-матрицу. Исследования ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо подтвердили точность и надежность работы датчика. База d интерферометра значительно меньше длины крепежного элемента (примерно в 1000 раз), влияние изменения температуры окружающего воздуха на изменение базы d ничтожно (десятые доли нанометра на 100 °С). Применение метода волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии обеспечивает высокую точность и надежность контроля деформаций крепежных элементов строительных конструкций в процессе их эксплуатации, что позволяет рекомендовать использование ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо в качестве первичных преобразователей (датчиков) в составе измерительных систем мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений. Разработана технология изготовления и проведены испытания чувствительных элементов ВОД температуры, выполненных на основе интерферометра Фабри — Перо. По результатам испытаний сделан вывод о надежности данных ВОД и их применения в автоматизированных измерительных системах.

Ключевые слова: уникальные здания и сооружения, мониторинг технического состояния, крепежный элемент, деформация, измерительные системы, волоконно-оптический датчик, ВОД, чувствительный элемент, интерферометр Фабри — Перо

Ссылка для цитирования: 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

Мониторинг технического состояния важных и опасных промышленных и гражданских объектов с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, приводящих к повреждению или разрушению объектов — это непрерывный круглосуточный процесс инструментального автоматизированного наблюдения и регистрации отдельных параметров объекта. Мониторинг осуществляется с помощью оптических, лазерных и геофизических методов и инструментов. В настоящей работе рассматривается такой вид мониторинга, при котором отслеживаются деформации и сдвиги объекта и отдельных его элементов, что позволяет предотвратить наступление негативного события.

Мониторинг технического состояния строительных конструкций обеспечивает их безопасное функционирование, а результаты мониторинга являются основой эксплуатационных работ на промышленных и гражданских объектах. При мониторинге осуществляют контроль

над процессами, протекающими в конструкциях объектов и в грунте. Его проводят для своевременного обнаружения на ранней стадии тенденций негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций, которое может повлечь переход объекта в ограниченно работоспособное или аварийное состояние, а также с целью получения данных, необходимых для разработки мероприятий по устранению возникших негативных процессов.

В эксплуатируемых промышленных и гражданских объектах доступ к большей части несущих конструкций существенно ограничен, а работы по традиционному обследованию их технического состояния трудоемки и дороги. Для таких объектов применяют специальные методы и технические средства раннего выявления и локализации мест изменения напряженно-деформированного состояния конструкций с последующим обследованием технического состояния выявленных опасных участков.

Цель работы

Цель работы — рассмотреть вопросы мониторинга технического состояния промышленных и гражданских объектов, проводящегося для предупреждения чрезвычайных ситуаций, следствием которых может быть повреждение или разрушение объекта.

Материалы и методы

Для проведения контроля и ранней диагностики технического состояния промышленных и гражданских объектов устанавливают автоматизированные стационарные системы (станции) мониторинга технического состояния, которые должны в автоматизированном режиме выявлять изменения напряженно-деформированного состояния конструкций с локализацией их опасных участков, определять уровень крена здания или сооружения, а в случае необходимости фиксировать значение и других параметров (например, деформации, давления). Настройку станции мониторинга осуществляют с помощью заранее разработанной математической модели для проведения комплексных инженерных расчетов по оценке возникновения и развития дефектов в строительных конструкциях.

Станция мониторинга технического состояния строительных конструкций должна: осуществлять комплексную обработку результатов измерений; анализировать различные (динамические, деформационные, геодезические и др.) измеренные параметры строительных конструкций и сравнивать их с предельно допустимыми значениями; выдавать информацию, необходимую для выявления на ранней стадии негативных изменений напряженно-деформированного состояния конструкций, которые могут привести объект в ограниченно работоспособное или аварийное состояние.

При выявлении мест изменения напряженно-деформированного состояния конструкций проводят дополнительное обследование этих частей и по результатам обследования делают выводы о техническом состоянии конструкций, причинах изменения их напряженно-деформированного состояния и о необходимости принятия мер по восстановлению или усилению конструкций.

По результатам мониторинга выдают заключение, форма которого должна быть разработана при проектировании станции мониторинга технического состояния строительных конструкций.

Кроме того, проводят мониторинг системы инженерно-технического обеспечения объектов на предмет безопасности ее функционирования. Полученные данные являются основой работ по

обеспечению безопасной эксплуатации объектов. При мониторинге осуществляется контроль за исправностью системы инженерно-технического обеспечения и результатами ее работы с целью своевременного обнаружения на ранней стадии негативных факторов, угрожающих безопасности объектов. Для проведения контроля и ранней диагностики технического состояния конкретного объекта устанавливают систему мониторинга инженерно-технического обеспечения.

Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений [1, 2] регламентируется ГОСТ 32019-2012 [3]. В стандарте указаны правила проектирования и установки стационарных станций для проведения мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений, а также порядок представления результатов проведения мониторинга.

В строительной отрасли широкое распространение получили станции мониторинга технического состояния строительных конструкций на базе волоконно-оптических датчиков (ВОД) [4]. Фасад здания, как и любой другой компонент строительных конструкций, нуждается в мониторинге технического состояния [5]. Мониторинг технического состояния фасадов зданий включает контроль динамики напряженного состояния, измерение пространственного и временного распределения механических напряжений, деформации, смещения, температуры, влажности, а также вентилируемости конструкции. Для его осуществления целесообразно применять станции мониторинга, базирующиеся на ВОД.

Главным преимуществом любых ВОД является возможность дистанционного контроля на расстоянии нескольких километров. При этом световод может исполнять роль кабеля для передачи оптического излучения к чувствительному элементу, расположенному в зоне измерений, и одновременно быть чувствительным элементом датчика. Изготовленный из кварцевого стекла, световод не боится влияния погодных условий и агрессивных компонентов городской атмосферы. Отсутствие электрического питания и каких-либо электрических цепей в световоде исключает возникновение пожароопасной ситуации в процессе эксплуатации ВОД. Волоконно-оптические датчики — это класс уникальных элементов, обладающих широким спектром измеряемых параметров, конструктивной мобильностью и адаптивностью к различным условиям установки, малыми габаритами, возможностью осуществлять измерения при воздействии мощных электромагнитных полей без потери заданной точности.

На рынке отечественной и зарубежной измерительной техники есть большой выбор ВОД. Это позволяет найти адекватное соотношение

между ценой прибора и его качеством, включая количество параметров, измеряемых с заданной точностью. Имеется достаточный опыт производства и применения ВОД в России [4]. Основными компонентами изготавливаемых ВОД являются либо точечные ВБР-датчики, либо распределенные датчики на базе комбинационного рассеяния света в оптических волокнах (эффект Рамана).

Чувствительными элементами точечных ВБР-датчиков являются волоконные брэгговские решетки (ВБР). Такие решетки записаны в оптическом волокне при помощи ультрафиолетового лазера и представляют собой участок световода с периодическим изменением показателя преломления вдоль оси. ВБР каждого датчика отражает свет определенной волны с шириной спектра 0,2 нм. При механическом и температурном воздействии изменяются период и показатель преломления решетки, вследствие чего наблюдается смещение длины волны отраженного света. Измеряя величину этого смещения, можно определить относительную деформацию и изменение температуры. Для того чтобы разделять эти величины, необходимо применять одновременно две решетки, одна из которых не подвергается механическим воздействиям. По ней фиксируют сдвиги длины волны вследствие температурных изменений. Это позволяет учесть влияние температуры на вторую решетку, а также тепловое расширение материала, к которому прикреплен датчик и, таким образом, измерять деформацию. В одной оптоволоконной линии может быть объединено множество решеток, каждая из которых дает отклик на своей длине волны. При этом расстояние между решетками может быть от 10 мм до нескольких километров.

Распределенная система термометрии — это система, предназначенная для непрерывного измерения температуры протяженных сложных объектов. Чувствительным элементом системы является малогабаритный волоконно-оптический кабель длиной до 8 км, не требующий электрического питания. Система отличается широким диапазоном измерения температуры ($-55 \dots +300$ °С), высокой точностью и высоким пространственным разрешением (до 0,5 м).

Основные элементы распределенного датчика температуры на основе комбинационного рассеяния — это импульсный лазер и подключенное к источнику оптическое волокно, которое является чувствительным элементом [6]. Суть рамановского рассеяния состоит в обмене энергией между падающим фотоном и молекулой вещества. Если молекула переходит из основного колебательного состояния в возбужденное, рассеянный фотон смещается по частоте в красную область спектра и, таким образом, генерируется стоксова ком-

понента спектра. Возможен также и обратный процесс, когда структурная молекула теряет энергию и перерассеянный фотон с более высокой энергией генерирует антистоксову линию в синей области спектра относительно линии накачки. Очевидно, что заселенность возбужденного уровня напрямую зависит от температуры вещества, а следовательно, и интенсивность антистоксовой компоненты будет проявлять температурную зависимость. Таким образом, регистрируя временную динамику интенсивности антистоксовой компоненты при зондировании импульсным излучением, с помощью такого сенсора можно проводить измерения температуры вдоль всего волокна.

Рассмотренные технологии мониторинга технического состояния объектов применяются в области строительства, энергетики, нефтегазовой промышленности, авиастроения, производства композиционных материалов [7–15].

Помимо точечных ВБР-датчиков и распределенных датчиков на основе комбинационного рассеяния света в оптических волокнах (эффекта Рамана), в автоматизированных измерительных системах мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений широко применяют ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо. ВОД температуры, который можно рассматривать, как ВОД линейных перемещений на основе интерферометра Фабри — Перо, показан на рис. 1 [16, 17].

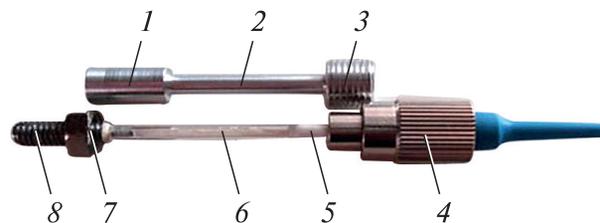


Рис. 1. Волоконно-оптический датчик температуры на основе интерферометра Фабри — Перо

Fig. 1. Fiber optic temperature sensor based on Fabry — Perot interferometer

Датчик состоит из корпуса 2, изготовленного из алюминиевого сплава АМГ6 (или другого материала) и имеющего с одной стороны наружную резьбу 3 для соединения с коннектором (волоконно-оптическим разъемом) 4, а с другой стороны — внутреннюю резьбу 1 для выполнения винтом 8 с контргайкой 7 настроечных перемещений зеркального торца оптического капилляра 6 относительно торца оптического волокна 5, закрепленного в волоконно-оптическом разьеме. Базой интерферометра Фабри — Перо является расстояние d между зеркальным торцом оптического капилляра и торцом оптического волокна, обращенными навстречу друг другу.

В конструкции ВОД температуры для соединения оптических волокон применен коннектор типа FC. Он отвечает всем требованиям. Схема установки, реализующей спектральный метод низкокогерентной интерферометрии [17], включает источник излучения, волоконно-оптическую линию с разветвителем и спектрометр, содержащий отражательную дифракционную решетку, объектив и ПЗС-матрицу (ПЗС — прибор с зарядовой связью) (рис. 2).

Излучение от широкополосного оптического источника по оптическому волокну попадает на интерферометр Фабри — Перо, сформированный на торце волокна (см. рис. 1). Отраженный от интерферометра Фабри — Перо сигнал через разветвитель попадает на вход спектрометра [16]. В спектрометре по оптическому волокну проходит сигнал и направляется через объектив на дифракционную решетку, на которой он раскладывается на дифракции нескольких порядков. Затем первый и второй порядки дифракции через ПЗС-матрицу в виде информационного сигнала по кабелю поступают на компьютер.

Интенсивность отраженного сигнала будет описываться произведением функции отражения интерферометра Фабри — Перо и гауссовой функции источника. Точность измерения d и чувствительность метода измерения определяется точностью измерения длины волны и ширины спектра излучения, т. е. спектральными характеристиками прибора, в том числе характеристиками ПЗС-матрицы и отношением сигнал/шум.

Разработана технология изготовления и проведены испытания чувствительных элементов ВОД температуры, выполненных на основе интерферометра Фабри — Перо [17]. По результатам испытаний сделан вывод о надежности данных элементов и перспективности их применения в автоматизированных измерительных системах.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим пример применения метода волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии для контроля деформации крепежного элемента строительной конструкции в процессе ее эксплуатации [18, 19]. На рис. 3 приведены сборочные единицы и детали крепежного элемента строительной конструкции.

Контроль деформации крепежного элемента при изменении нагрузки на него осуществляется следующим образом. Излучение от широкополосного оптического источника по оптическому волокну через волоконный разветвитель подается на чувствительный элемент ВОД, смонтированного в крепежном элементе. После воздействия света на чувствительный элемент ВОД, представляющий собой интерферометр Фабри — Перо,

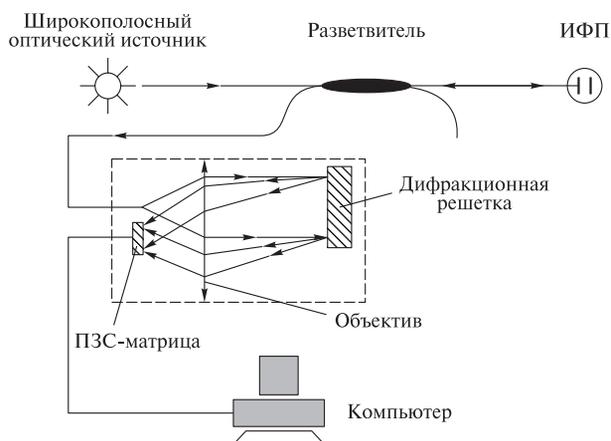


Рис. 2. Схема установки для измерения базы интерферометра Фабри — Перо (ИФП — интерферометр Фабри — Перо; ПЗС — прибор с зарядовой связью)

Fig. 2. Installation scheme for measuring the base of the Fabry-Perot interferometer (FPI — Fabry — Perot interferometer; CCD — charge-coupled device)

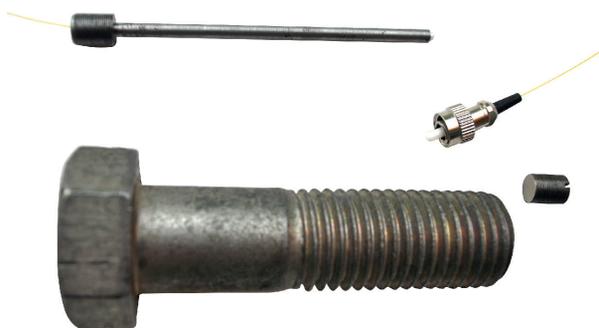


Рис. 3. Сборочные единицы и детали крепежного элемента строительной конструкции

Fig. 3. Assembly units and fastener details of the building structure

отраженный световой сигнал подается в спектрометр, который регистрирует спектр этого сигнала. Затем в блоке обработки проводится анализ и путем преобразования Фурье из этого спектра вычисляется база интерферометра Фабри — Перо, т. е. расстояние d между торцами вкладыша и оптического волокна. Спектр сигнала и база d интерферометра зависят от напряженного состояния крепежного элемента, а именно от величины его продольной деформации от напряжений сжатия или растяжения. На рис. 4 приведены значения спектра отражения интерферометра Фабри — Перо при отсутствии нагрузки на крепежный элемент, а на рис. 5 — при растяжении крепежного элемента.

При сравнении спектров отражения интерферометра Фабри — Перо, представленных на рис. 4 и 5, очевидны их существенные различия. Обработка этих сигналов путем преобразования Фурье дает возможность вычислять величину d с высокой

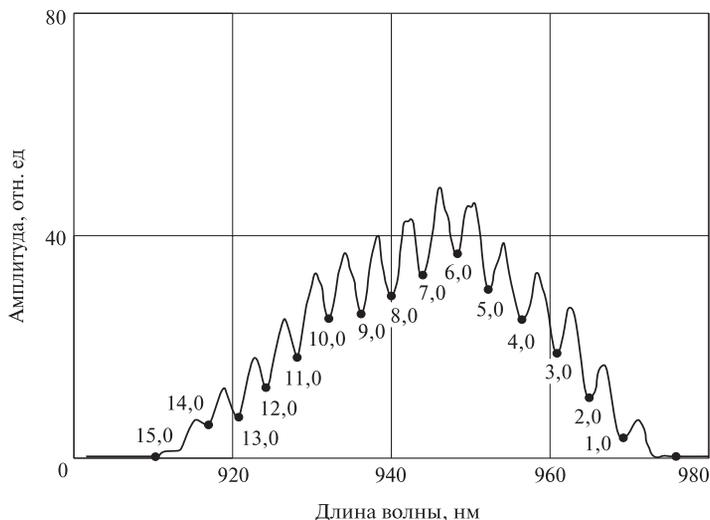


Рис. 4. Спектр отражения интерферометра Фабри — Перо при отсутствии нагрузки на крепежный элемент [19, 20]

Fig. 4. The reflection spectrum of the Fabry — Perot interferometer with no load on the mounting element [19, 20]

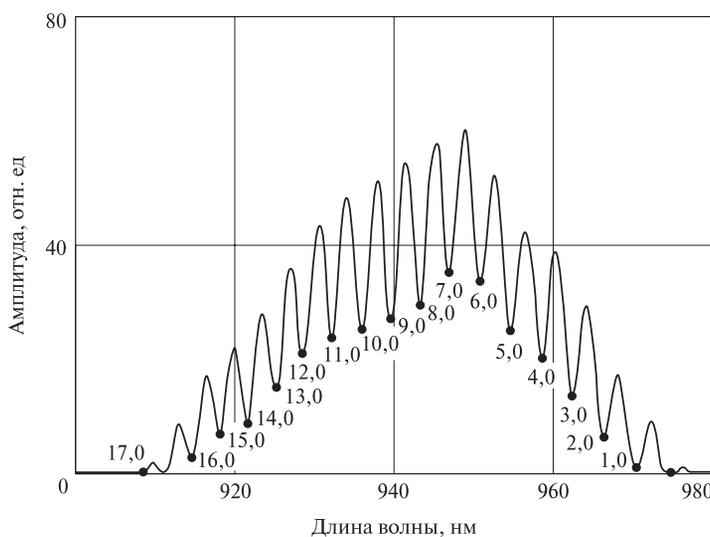


Рис. 5. Спектр отражения интерферометра Фабри — Перо при растяжении крепежного элемента [19, 20]

Fig. 5. The reflection spectrum of the Fabry — Perot interferometer when a fastener is stretched [19, 20]

степенью точности и тем самым контролировать удлинение крепежного элемента при его упругой деформации в пределах 0...300 мкм с точностью до ±30 нм, что позволяет определять пороги допустимых нагрузок в процессе эксплуатации строительных конструкций.

Выводы

Проведенные исследования ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо подтвердили точность и надежность работы датчика, так как база интерферометра *d* значительно меньше длины крепежного элемента (приблизительно

в 1000 раз), влияние изменения температуры окружающего воздуха на изменение базы *d* ничтожно (десятые доли нанометра на 100 °С).

Таким образом, метод волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии обеспечивает высокую точность и надежность контроля деформаций крепежных элементов строительных конструкций в процессе их эксплуатации, что позволяет рекомендовать применение ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо в качестве первичных преобразователей (датчиков) в составе измерительных систем мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений.

Список литературы

- [1] Запруднов В.И., Стриженко В.В. Основы строительного дела. М.: МГУЛ, 2008. 471 с.
- [2] Гиясов Б.И., Серегин Н.Г. Конструкции уникальных зданий и сооружений из древесины. М.: АСВ, 2014. 88 с.
- [3] ГОСТ 32019–2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования стационарных систем (станций) мониторинга. М.: Стандартинформ, 2014, 130 с.
- [4] 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.
- [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] 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.
- [7] Bing Yu, Dae Woong Kim, Jiang Deng, Hai Xiao, Anbo Wang. Fiber Fabry-Perot sensors for detection of partial discharges in power transformers // Appl. Optics, 2003, v. 42, no. 16, pp. 60–67.
- [8] Rao Y.J., Jackson D. Recent progress in fiber optic low-coherence interferometry // Meas. Sci. Technol., 1996, v. 7, no. 16 pp. 981–989.
- [9] Nieva Patricia M. New trends on MEMS sensor technology for harsh environmental applications // Sensors Transducers Journal, 2007, Oct., spec. iss., pp.10–30. (Русский перевод: Ниева Патриция М. «Новые тенденции в технологии MEMS-датчиков для применения в жестких условиях», в журнале «Датчики и системы», 2008, № 5, с. 38–46).
- [10] Oh Ki D., Ranade J., Arya V., Wang A., Claus R.O. Miniaturized fiber optic magnetic field sensors // SPIE, 1998, v. 3538, pp. 136–142.
- [11] Taplin S., Podoleanu A.Gh., Webb D.J., Jackson D.A. Displacement Sensor Using Channeled Spectrum Dispersed on a Linear CCD Array // Electron. Lett., 1993, v. 29, pp. 893.
- [12] Podoleanu A.Gh., Taplin S., Webb D.J., Jackson D.A. Channeled Spectrum Liquid Refractometer // Rev. Sci. Instr., 1993, v. 64, no. 10, pp. 3028, 3029.
- [13] Кузнецов А.Г., Бабин С.А., Шелемба И.С. Распределенный волоконный датчик температуры со спектральной фильтрацией направленными волоконными ответвителями // Квантовая электроника, 2009. Т. 39, № 11. С. 1078–1081.
- [14] Hay A.D. Bolt stud or fastener having an embedded fiber optic Bragg grating sensor for sensing tensioning strain. Patent US 5,945,665. Date of patent: Aug 31, 1999.
- [15] Потапов Т.В., Демин А.Н., Жамалетдинов Н.М. Погрешности измерения электрического тока волоконно-оптическим датчиком на основе эффекта Фарадея в $Bi_{12}GeO_{20}$ // Датчики и системы, 2016. № 6. С. 53–56.
- [16] 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.
- [17] Шашурин В.Д., Потапов В.Т., Серегин Н.Г., Сорокин С.В., Ветрова Н.А., Федоркова Н.В. Технология изготовления и результаты испытаний чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков температуры // Машиностроитель, 2016. № 5. С. 34–41.
- [18] Шашурин В.Д., Потапов В.Т., Серегин Н.Г., Сорокин С.В., Ветрова Н.А., Колесников Л.А. Применение метода волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии для контроля деформаций крепежных элементов строительных конструкций в процессе эксплуатации // Машиностроитель, 2016. № 8. С. 13–19.
- [19] Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Измерительные системы диагностики и мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений // Строительство: наука и образование, 2017. Т. 7. Вып. 3 (24). С. 19–35.
- [20] 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.

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

Гречаная Наталья Николаевна — инженер Акционерного общества «Научно-производственное объединение измерительной техники», seregin54@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.08.2018.

Принята к публикации 01.10.2018.

INFORMATION-MEASURING SYSTEMS OF TECHNICAL CONDITION OF CONSTRUCTION STRUCTURES MONITORING

V.I. Zaprudnov¹, N.G. Seregin², N.N. Grechanaya³

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Moscow State Building University (NIU MGSU), 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

³Scientific and Production Association of Measuring Technology, 2, Pionerskaya st., 141074, Korolyov, Moscow reg., Russia

zaprudnov@mgul.ac.ru

The article deals with the monitoring of technical condition at industrial and civil facilities in order to prevent emergencies leading to damage or destruction of objects. Various schemes of the devices that make up the telemetric systems are presented. The types and schemes of primary converters based on fiber-optic sensors (FOS) are considered in detail. A scheme of an installation realizing the spectral method of low-coherence interferometry is given. It consists of a radiation source, a fiber optic line with a splitter and a spectrometer containing a reflective diffraction grating, an objective and a PZS-matrix. The conducted researches of the FOS based on the Fabry — Perot interferometer confirmed its accuracy and reliability, since the base of the interferometer d is much smaller than the length of the fastener element, about 1000 times, the influence of the change in the ambient air temperature on the change in the base d is negligible and namely the fraction of nanometers at 100 °C. Thus, the application of the method of fiber-optic low-coherence interferometry makes it possible to provide high accuracy and reliable control of deformations of fasteners of building structures during their operation, which makes it possible to recommend the application of FOS based on the Fabry — Perot interferometer as primary converters (sensors) the composition of measuring systems for monitoring the technical condition of unique buildings and structures. The manufacturing technology is developed and tests of sensitive elements FOS temperature are carried out based on the Fabry — Perot interferometer which showed their reliability and future use in automated measuring systems.

Keywords: unique buildings and structures, monitoring of technical condition, fastening element, deformation, measuring systems, fiber-optical sensor (FOS), sensor, Fabry — Perot interferometer

Suggested citation: Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Grechanaya N.N. *Informatsionno-izmeritel'nye sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksiy* [Information-measuring systems of technical condition of construction structures monitoring]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 86–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-86-93

References

- [1] Zaprudnov V.I., Strizhenko V.V. *Osnovy stroitel'nogo dela* [The basics of civil engineering]. Moscow: MGUL, 2008, 471 p.
- [2] Giyasov B.I., Seregin N.G. *Konstruksii unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy iz drevesiny* [Constructions of unique buildings and structures from the wood]. Moscow: ASV, 2014, 88 p.
- [3] *GOST 32019–2012. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. Pravila proektirovaniya stacionarnykh sistem (stantsiy) monitoringa* [Standard GOST 32019–2012. Monitoring of the technical status of unique buildings and structures. Rules for the design of stationary monitoring systems (stations)]. Moscow: Standartinform, 2014, 130 p.
- [4] Shishkin V.V., Granev I.V., Shelemba I.S. *Otechestvennyy opyt proizvodstva i primeneniya volokonno-opticheskikh datchikov* [Domestic experience of production and application of fiber-optic sensors]. *Prikladnaya fotonika* [Applied photonics], 2016, v. 3, no. 1, pp. 61–75.
- [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 system for monitoring façade structures based on fiber-optic sensors]. *Tekhnologii stroitel'stva* [Construction technology]. 2004, no. 5 (33), pp. 12–13.
- [6] Potapov V.T., Zhamaletdinov M.N., Zhamaletdinov N.M., Mamedov A.M., Potapov T.V. *Volokonno-opticheskoe ustroystvo dlya izmereniya absolyutnykh rasstoyaniy i peremeshcheniy s nanometricheskim razresheniem* [Fiber-optical device for measuring absolute distances and displacements with nanometric resolution]. *Pribory i tekhnika eksperimenta* [Devices and experimental technique], 2013, no. 5, pp. 103–107.
- [7] Bing Yu, Dae Woong Kim, Jiang Deng, Hai Xiao and Anbo Wang. Fiber Fabry-Perot senses for detection of partial discharges in power transformers, *Appl. optics*, 2003, v. 42, no. 16, pp. 60–67.
- [8] Rao Y.J., Jackson D. Recent progress in fiber optic low-coherence interferometry, *Meas. Sci. Technol.*, 1996, v. 7, pp. 981–989.
- [9] Hieva Patricia M. New trends on MEMS sensor technology for harsh environmental applications, *Sensors Transducers Journal*, Special issue, Oct. 2007, pp.10–30.
- [10] Oh Ki D., Ranade J., Arya V., Wang A., Claus R.O. Miniaturized fiber optic magnetic field sensors, *SPIE*, 1998, v. 3538, pp. 136–142.
- [11] Taplin S., Podoleanu A.Gh., Webb D.J., Jackson D.A. Displacement Sensor Using Channeled Spectrum Dispersed on a Linear CCD Array, *Electron. Lett.*, 1993, v. 29, pp. 893.
- [12] Podoleanu A.Gh., Taplin S., Webb D.J., Jackson D.A. Channeled Spectrum Liquid Refractometer, *Rev. Sci. Instr.*, 1993, v. 64, no. 10, pp. 3028-9.
- [13] Kuznetsov A.G., Babin S.A., Shelemba I.S. *Raspredeleennyy volokonnyy datchik temperatury so spektral'noy fil'tratsiey napravlennymi volokonnyimi otvetvityami* [Distributed fiber temperature sensor with spectral filtration by directional fiber couplers]. *Kvantovaya elektronika* [Quantum electronics], 2009, no. 11, v. 39, pp. 1078–1081.

- [14] Hay Arthur D. Bolt stud or fastener having an embedded fiber optic bragg grating sensor for sensing tensioning strain. Patent US 5,945,665. Date of Patent: Aug. 31, 1999.
- [15] Potapov T.V., Dyomin A.N., Zhamaletdinov N.M. *Pogreshnosti izmereniya elektricheskogo toka volokonno-opticheskim datchikom na osnove effekta Faradeya v $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$* [Measurement errors in fiber-optic electric current sensor based on the Faraday effect in $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ crystal]. *Datchiki i Sistemy* [Sensors and Systems], 2016, no. 6. pp. 53–56.
- [16] 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, checking and calibrating temperature sensors]. *Inzhenernyy vestnik* [Engineer-Herald], 2014, no. 6. pp. 526–533.
- [17] Shashurin V.D., Potapov V.T., Seregin N.G., Sorokin S.V., Vetrova N.A., Fedorkova N.V. *Tekhnologiya izgotovleniya i rezul'taty ispytaniy chuvstvitel'nykh elementov volokonno-opticheskikh datchikov temperatury* [Manufacturing technology and the results of testing of sensitive elements in the fiber-optic temperature sensors]. *Mashinostroitel'* [Machine engineer], 2016, no. 5, pp. 34–41.
- [18] Shashurin V.D., Potapov V.T., Seregin N.G., Sorokin S.V., Vetrova N.A., Kolesnikov L.A. *Primenenie metoda volokonno-opticheskoy nizkokogerentnoy interferometrii dlya kontrolya deformatsiy krepzhenykh elementov stroitel'nykh konstruksiy v protsesse ekspluatatsii* [Application of the method of fiber-optic low-coherence interferometry for the control of deformations of fasteners of building structures in the process of exploitation] *Mashinostroitel'* [Machine engineer], 2016, no. 8, pp. 13–19.
- [19] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Izmeritel'nye sistemy diagnostiki i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy* [Measuring systems for diagnosing and monitoring the technical condition of unique buildings and structures]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Building: science and education], 2017, v. 7, iss. 3 (24), pp. 19–35.
- [20] Isaev V.G., Seregin N.G., Grechanaya N.N. *Izmerenie deformatsiy konstruktivnykh elementov tekhnicheskikh sistem letatel'nykh apparatov volokonno-opticheskimi ustroystvami* [Measuring deformations of structural elements of aircraft technical systems by fiber-optic devices]. *Informatsionno-tekhnologicheskiiy vestnik* [Information and technological bulletin], 2018, no. 2 (16), pp. 14–24.

Authors' information

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

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

Grechanaya Natal'ya Nikolaevna — engineer at the Scientific and Production Association of Measuring Technology, seregin54@yandex.ru

Received 13.08.2018.

Accepted for publication 01.10.2018.