ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА КОНСТРУКЦИЙ (АСМК)

Г.В. Сопегин, Д.Н. Сурсанов

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ),
614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, д. 29*

Аннотация. В процессе строительства и эксплуатации здания и сооружения порой должны выдерживать колоссальные нагрузки и напряжения, зависящие от воздействия внешних факторов и эксплуатационных нагрузок. Такими, оказывающими влияние на деформации зданий и сооружений, внешними факторами могут быть изменения внешних климатических условий, например, суточная смена температуры воздуха, снеговые нагрузки и сейсмические воздействия. Постоянные воздействия внешних факторов и эксплуатационных нагрузок приводят к постепенному износу зданий и сооружений, а при превышении нормативных нагрузок — к преждевременному износу, необратимым деформациям и разрушению элементов конструкций. Для контроля и прогнозирования состояния конструктивных элементов зданий и сооружений с целью заблаговременного предупреждения об изменениях геометрических параметров в сторону развития неблагоприятной ситуации необходимо проводить периодические обследования конструкций. Потребность в отслеживании состояния возводимых зданий и сооружений, а также сборе и анализе информации во время всего срока эксплуатации привела к разработке и внедрению автоматизированных систем мониторинга состояния конструкций (АСМК). В данной статье рассмотрены общие вопросы организации АСМК, приведены примеры применения данных систем в строительстве.

Ключевые слова: аварийные ситуации, автоматизированные системы мониторинга, безопасность функционирования строительных объектов, даталоггеры, датчики струнного типа, напряженно-деформированное состояние, проводные и беспроводные методы мониторинга, прогибомеры, тензометры, техническое состояние конструкций

DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.230-242

USE OF AUTOMATED SYSTEMS FOR MONITORING OF STRUCTURES (ASMS)

G.V. Sopegin, D.N. Sursanov

*Perm National Research Polytechnic University (PNRPU),
29 Komsomol'skiy prospekt, Perm, 614990, Russian Federation*

Abstract. Buildings and installations in the course of construction and operation have to withstand sometimes tremendous loads and stresses depending on the impact of external factors and operating loads. Such external factors influencing the strains of buildings and installations may be the changes of external climatic conditions such as diurnal variation of air temperature, snow loads and seismic forces. Permanent impacts of external factors and operating loads result in gradual deterioration of buildings and installations, and at excess of rated loads they lead to premature wear, irreversible strains and destruction of structural elements. It is necessary to perform periodic inspections of structures in order to monitor and predict the state of structural elements of buildings and installations, for the purpose of the early warning of changes of geometrical parameters towards the unfavorable situation development. The need to track a state of erected buildings and installations, as well as to collect and analyze information during the whole period of operation resulted in development and implementation of automated systems for monitoring of the state of structures (ASMS). This article considers the general issues on organization of ASMS, with the examples of application of these systems in construction. Automated systems for monitoring of structures should be considered as the important constituent of the general system of the construction industry projects safety. Use of automated monitoring systems makes it possible to promptly obtain and analyze the current data about a state of erected or operated building; these systems may be effectively used for testing of foundations and structural elements of buildings and installations.

Key words: emergency situations, automated monitoring systems, construction project operation safety, dataloggers, vibrating wire gauges, stress-strain state, wire and wireless monitoring techniques, deflectometers, strain gauges, technical condition of structures

Эксплуатационные нагрузки и воздействие внешних факторов (суточная смена температуры воздуха, снеговые нагрузки и сейсмические воздействия) ведут к износу зданий и сооружений. Кроме того, в ходе строительства порой совершаются ошибки, влекущие за собой возникновение непредвиденных ситуаций. В связи с этим вопросы контроля технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений выходят на одно из первых мест в системе комплексной безопасности функционирования строительных объектов. Для того чтобы своевременно обнаружить эти ошибки, принять необходимые меры и избежать серьезного ущерба, необходимо проводить регулярный мониторинг конструкций [1, 2].

Проводные и беспроводные методы системы мониторинга конструкций имеют ряд недостатков, которые препятствуют их широкому применению. Одним из таких недостатков является высокая стоимость самого оборудования, а также большие затраты на его установку и содержание. Кроме того, данные методы являются достаточно трудоемкими и в части обеспечения безопасности объектов инфраструктуры — неоперативными. Следует также отметить, что применяемые методы дискретны. По этой причине всегда существует вероятность возникновения аварийных ситуаций в тот момент, когда данные о деформациях и их анализ относительно допустимых величин отсутствуют. Например, появление критических для данного объекта деформаций происходит до выполнения очередного цикла наблюдений по установленному графику.

Указанные недостатки могут быть устранены применением *автоматизированных систем мониторинга конструкций* (АСМК). Отличительными преимуществами АСМК перед прочими проводными и беспроводными методами мониторинга являются:

- повышенная надежность передачи данных (использование дублирующей памяти);
- высокая скорость разворачивания системы на объекте;
- простота монтажа и обслуживания системы;
- высокая степень устойчивости к промышленным и бытовым воздействиям;
- простота интеграции с внешними системами мониторинга;
- длительное время автономной работы (5–10 лет);
- возможность АСМК реагировать при выявлении критических величин или опасных тенденций протекания деформационных процессов на объекте.

Внедрение такой системы позволяет своевременно определить реальное состояние строительных конструкций, что обеспечит безопасность и надежность зданий и сооружений. Собранные АСМК данные помогут инженерам разработать меры, направленные на устранение причин технической проблемы.

Автоматизированная система также способствует существенной экономии при контроле технического состояния здания и позволяет видеть большую часть информации о состоянии сооружения в реальном времени, что помогает вовремя принять меры для устранения возможных неисправностей.

Кроме того, автоматизированная система мониторинга представляет собой интеллектуальную систему, т.е. способную самостоятельно принимать решения. Применение таких систем поддержки принятия решений является одним из наиболее перспективных направлений в повышении эффективности управления техническим состоянием строительных конструкций [3, 4].

По этим причинам использование АСМК является актуальным направлением в строительной индустрии.

Общая цель мониторинга конструкций — проведение системного долговременного контроля постоянных и временных нагрузок, перемещений и деформаций, а также усилий, возникающих в конструкциях.

При этом система мониторинга в общем случае [5] должна обеспечивать возможность:

- контролировать напряжения и усилия в опасных сечениях с целью установления соответствия фактического напряженно-деформированного состояния конструкций расчетным данным проекта;
- заранее определять критические и предаварийные состояния;
- контролировать осадку зданий и сооружений;
- контролировать ширину раскрытия трещин, деформационных швов, мест сопряжения конструкций, перемещений шарнирных узлов и т.п.;
- контролировать углы наклона вертикальных конструкций, прогибов горизонтальных конструкций, кренов здания в целом;
- определять вибрации зданий.

Система автоматизированного мониторинга предполагает установку различных типов датчиков на элементах конструкций зданий и сооружений с целью определения влияния физического (влажность, температура) и силового (статическая и динамическая нагрузки) воздействия на их прочность и деформируемость.

На рис. 1 представлено схематическое изображение системы непрерывного мониторинга зданий и сооружений.

Используемые датчики объединяются в сеть, образуя узлы, которые имеют источник питания. К датчикам подключаются устройства сбора сигналов для передачи их в цифровом виде на компьютер с использованием беспроводного интерфейса. Система опрашивает каждый датчик и передает данные на удаленный сервер, где при помощи специализированного программного обеспечения обрабатываются входящие данные и строятся диаграммы изменений контролируемых параметров. Данные измерений с датчиков могут передаваться к пользователю различными путями, например, через интернет.

К АСМК предъявляются следующие требования [6, 7]:

- беспроводные узлы должны формировать самонастраивающуюся сеть, для их защиты обязательно используется специальное программное обеспечение;
- сенсорные данные необходимо передавать через шлюз-координатор на центральный сервер;
- данные должны записываться в базу данных;
- система должна формировать отчеты и производить интеграцию с соответствующими инженерными пакетами;
- доступ к серверу должен обеспечиваться посредством веб-интерфейса, который позволяет получать данные из любой точки доступа в интернет.

Для наглядности, рассмотрим устройство АСМК на примере системы «СИТИС: Спрут» (рис. 2).

Рис. 1. Схематическое изображение системы непрерывного мониторинга зданий и сооружений

Fig. 1. Diagrammatic view of the system of continuous monitoring of buildings and installations

Рис. 2. Схема работы системы «СИТИС: Спрут»

Fig. 2. The «SITIS: Sprut» system Flowchart

У системы есть два режима работы: периодический и непрерывный. Периодический режим работы — это комплекс измерений, выполняемый через определенный промежуток времени. Результатом выполнения при таком режиме работы являются файлы данных, имеющих определенную дискретность во времени. При периодическом режиме работы показания с датчиков с заданным периодом записываются на карту *micro-SD* и становятся доступны пользователю при подключении карты памяти к компьютеру.

Непрерывный режим работы представляет собой процесс сбора и обработки данных, который осуществляется постоянно действующей автоматизированной системой мониторинга. При непрерывном режиме работы информация с датчиков передается в реальном времени по беспроводной или проводной сети.

Ключевой особенностью АСМК «СИТИС: Спрут» является наличие у каждого изделия встроенной электронной метки, позволяющей однозначно определить его в любой момент времени.

Наиболее распространенными измерительными устройствами, использующимися в системе автоматизированного мониторинга, являются *даталоггеры* и *датчики*. Среди датчиков широкое применение получили *датчики струнного типа*, в основе работы которых лежит принцип зависимости частоты колебания струны от степени ее натяжения. Встроенный во все датчики измеритель температуры позволяет учитывать эффект теплового расширения датчиков при обработке данных [8]. К датчикам струнного типа относятся струнный трещиномер, струнный тензومتر, струнный пьезометр и датчик давления. Каждый из них имеет свои особенности и определенную область применения (табл. 1).

Одной из ключевых особенностей работы сети АСМК является пакет данных «СИТИС: Скат» — любые данные системы мониторинга при формировании, передаче, хранении и обработке содержат набор обязательных атрибутов: уникальный идентификатор источника и приемника данных, дату и время формирования пакета, контрольную сумму. Такая структура пакета позволяет на любом этапе работы с данными знать, какому датчику принадлежат эти данные, когда они были получены, какое устройство произвело опрос этого датчика и является ли информация в пакете достоверной.

При запуске программы «СИТИС: Скат», представленной на рис. 3, приложение автоматически обнаруживает файлы показаний и предлагает импортировать в проект мониторинга.

После этого можно построить и распечатать графики всех физических величин, которые были измерены датчиками.

Программный комплекс «СИТИС: Скат» способен решить следующие задачи:

- изменение параметров и режимов работы элементов сети АСМК;
- сбор показаний датчиков и даталоггеров;
- хранение и визуализация полученных данных;
- создание проектов и отчетов;
- формирование оповещений об ошибках и критических событиях в АСМК.

АСМК широко используются по всему миру. Например, в штате Калифорния (США) в 1977 г. была установлена система мониторинга мостов для оценки их поведения при сейсмических воздействиях с использованием более 900 постоянно действующих датчиков. В Европе применяют оптоволоконные датчики деформаций для управления нагрузками на конструкции и определении прогибов железобетонных мостов [10]. В Азии многие большие мосты были также подвергнуты мониторингу с помощью датчиков в течение их строительства. Еще одним примером использования АСМК является Гонконг, где проводилось строительство тоннелей в 2006 г. с использованием программы *Leica GeoMoS* [11]. Также можно привести в пример строительство подземной линии в Цюрихе (Швейцария), где была применена новая версия программы мониторинга от *Trimble, 4DC* [12].

Канадским центром инженерной геодезии была разработана система *ALERT*, которая использовалась при мониторинге плотин на озере *Diamond Valley* в Канаде. Мониторинг производился один раз в сутки с точностью до 5 мм [13].

Ярким примером использования автоматизированных систем являются работы на карьере *BC* в Канаде, где специалистами было уделено большое количество внимания вопросу рефракции, так как работы на карьере производились при различных температурах [14].

В России автоматизированные системы мониторинга также получили широкое распространение. К примеру, системы наблюдения за развитием деформаций и напряжений были установлены на ряде ответственных сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. В Москве в 2010 г. был представлен проект мониторинга моста с использованием автоматизированной технологии *GNSS*, строительство подземных тоннелей в г. Сочи сопровождалось программой автоматизированного мониторинга *Leica GeoMoS* [11], как и устройство подземного трехуровне-

Вестник МГСУ Том 12. Выпуск 2 (101)

Табл. 1. Характеристика даталоггеров и датчиков
Table 1. Performance of dataloggers and gauges

Наименование / Name	Назначение (область применения) / Purpose (field of application)	Краткое описание устройства / Concise device description
Даталоггер / Datalogger	Предназначен для опроса датчиков, обработки, передачи и хранения показаний / Intended for scanning of gauges, processing, transmission and storage of readings	В режиме реального времени даталоггер передает показания датчиков в базу данных системы. Обмен информацией происходит по проводному (CAN) или беспроводному (ZigBee/WiFi) интерфейсу. Даталоггер способен оповещать о возникновении ошибок, а также сохранять результаты измерений в дублированной энергонезависимой памяти. Он имеет встроенный источник питания и часы глобального реального времени / Datalogger transmits readings (measurements) of gauges to the system database in real-time mode. Exchange of information is performed over a wire (CAN) or wireless (ZigBee/WiFi) interface. Datalogger can inform about error situations, as well as save measurement results in duplicated non-volatile memory. It is equipped with a built-in power supply and global real-time clock
Датчики / Gauges		
Струнный трещиномер / Vibrating wire crack measuring device	Применяется для мониторинга стыков и трещин, на размер которых могут повлиять строительные работы; мониторинга трещин в конструкциях с целью отслеживания сейсмической активности; мониторинга напряжений в тросах и стальных кабелях; мониторинга смещения конструкций из-за обвалов и оползней / Used for monitoring of butt joints and cracks the size of which may be affected by construction works; monitoring of cracks in structures for the purpose of tracking of seismic activity; monitoring of stresses in wire ropes and steel cables; monitoring of shifts of structures due to landslides	Чувствительный элемент трещиномера состоит из пружины со снятым напряжением, один конец которой присоединен к отрезку высокопрочной проволоки (струны), а другой — к соединительной тяге. При движении соединительной тяги пружина растягивается, вызывая увеличение натяжения струны, которое прямо пропорционально удлинению, поэтому смещение трещины можно точно измерить с помощью считывающего устройства / The crack measuring device sensing element consists of a distressed spring, one end of which is attached to a segment of high-tensile wire (string), the other end — to a connecting rod. At an advancement of the connecting rod the spring stretches, causing an increase in the string tension, which is directly proportional to the elongation, and therefore, the shift of crack can be precisely measured using the reading device
Струнный тензометр / Vibrating wire strain gauge	Предназначен для измерения деформаций в стальных, бетонных и железобетонных конструкциях зданий, инженерных и гидротехнических сооружений и мостов / Intended for measuring of strains in steel, concrete and reinforced concrete structures of buildings, engineering and hydraulic structures, and bridges	Струнный тензометр состоит из отрезка высокопрочной стальной проволоки (струны), натянутой внутри полой металлической трубки между двумя концевыми блоками, прикрепленными к поверхности изучаемой конструкции [9] / Vibrating wire strain gauge consists of a segment of high-tensile wire (string) that is stretched inside a hollow metal tube between two end blocks attached to the inspected structure surface [9]
Струнный пьезометр / Vibrating wire piezometer	Применяется для контроля уровня и давления воды; прогнозирования и предотвращения оползней; расчета противодавления и плавучести; мониторинга просачивания и определения грунтовых линий / Used for control of water level and water pressure; forecasting and preventing of landslides; calculating of back pressure and buoyancy; monitoring of seepage and determination of ground lines	Струна находится внутри корпуса пьезометра, один ее конец закреплен на корпусе, второй — на чувствительной диафрагме. Изменение уровня воды или порового давления вызывает деформацию диафрагмы, что, в свою очередь, приводит к изменению резонансной частоты струны / The vibrating wire is within the piezometer housing, its one end is secured to the housing, the second end — to a sensitive diaphragm. Change of water level or pore pressure causes a deformation of the diaphragm which in its turn leads to a change of a resonant frequency of the vibrating wire
Датчик давления / Pressure gauge	Применяется для измерения полного давления в основаниях дамб, мостов и насыпей. С его помощью контролируют изменения нагрузки в ходе строительства или нагружения фундамента. Основные направления применения датчиков давления: совершенствование проектирования и строительства насыпей, дамб, подземных работ; контроль и анализ изменения напряжений в фундаментах во время строительства / Used for measuring of total pressure in foundations of dams, bridges and embankments. Using the pressure gauge, load changes during construction works, or loadings of foundation are controlled. Basic spheres of application of pressure gauges: improvement of designing and construction of embankments, dams, underground works; control and analysis of changes of stresses in foundations during construction works	Струнный датчик давления состоит из двух пластин из нержавеющей стали, сваренных между собой по краям и разделенных узкой полостью, заполненной гидравлическим маслом. Грунт, сжимаемая пластины, оказывает давление на рабочую жидкость внутри. Изменение давления в жидкости передается на преобразователь давления, где изменяется частота вибрации струны / Vibrating wire pressure gauge consists of two stainless steel plates welded together at the edges and separated by a narrow cavity filled with hydraulic oil. Soil squeezes the plates and, doing this, exerts pressure on the working fluid inside. Change of pressure in the fluid is transmitted to a pressure transducer where the wire vibration frequency is changed

вого пространства здания арбитражного суда г. Санкт-Петербурга по методу Top-Down, где проводился мониторинг за состоянием конструкций ограждения котлована [15]. При строительстве олимпийских объектов Сочи-2014 все основные здания и сооружения берегового кластера в соответствии с действующими на то время нормативными документами были оборудованы автоматизированными системами мониторинга технического состояния несущих конструкций, которые учитывали расположение объектов в сейсмически опасном районе [16, 17]. Отдельная категория систем мониторинга направлена на поддержание нормальной эксплуатации объектов культурного наследия [18].

Автоматизированная система мониторинга использовалась в ходе проведения натурных испытаний различных конструкций [19, 20].

В результате были достигнуты все поставленные цели, однако наряду с достоинствами системы были обнаружены и некоторые недостатки, представленные ниже.

В 2014 г. проводились испытания нагружением фрагмента сборно-монолитного каркасного здания с использованием АСМК. В результате испытаний были определены фактические значения разрушающих нагрузок при испытании изделий по прочности, фактические значения прогибов и ширины раскрытия трещин. Фрагмент сборно-монолитного каркасного здания включал:

- четыре фундамента стаканного типа под колонны;
- четыре колонны сечением 400×400 мм;
- три плиты перекрытий и плиту лоджии, которые опираются на монолитные ригели за счет

Рис. 3. Программный комплекс «СИТИС: Скат»

Fig. 3. The "SITIS: Sprut" Software system

бетонных шпонок, образующихся при бетонировании ригелей. Между собой плиты соединяются бетонными шпонками;

- четыре монолитных ригеля, расположенные в плоскости перекрытия, проходящие через проемы в колоннах и создающие замкнутую горизонтальную железобетонную раму, жестко связанную с колоннами.

Для измерения прогибов применялись прогибомеры с ценой деления 0,01 мм, а для измерения относительных деформаций на поверхности элементов использовались накладные струнные тензометры в составе АСМК «СИТИС:

Спрут». Ширину раскрытия трещин измеряли с помощью микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм.

Датчики (прогибомеры и тензометры) устанавливались на изделия в местах наибольших деформаций. Схема расположения прогибомеров и тензометров показана на рис. 4. На рис. 5, 6 приведены фотографии с установленными на изделия датчиками в процессе проведения испытаний.

Относительные деформации фиксировались тензометрами и были представлены в виде графиков в программе «СИТИС: Спрут» (рис. 7).

Рис. 4. Схема расположения прогибомеров и тензометров: T1, T3, T5, T7, T9, T11, T13, T15, T17, T19, T21, T23 — тензометры, установленные на верхней поверхности перекрытия; T2, T4, T6, T8, T10, T12, T14, T16, T18, T20, T22, T24, T25 — тензометры, установленные на нижней поверхности перекрытия; П1–П10 — прогибомеры

Fig. 4. Layout chart for deflectionimeters and strain gauges: T1, T3, T5, T7, T9, T11, T13, T15, T17, T19, T21, T23 — strain gauges mounted on upper surface of a spanning slab (floor); T2, T4, T6, T8, T10, T12, T14, T16, T18, T20, T22, T24, T25 — strain gauges mounted on lower surface of a spanning slab (ceiling); П1–П10 — deflectionimeters

Рис. 5. Даталоггер «Игла» и накладной струнный тензометр
Fig. 5. Datalogger “Igla” and capping vibrating wire strain gauge

Рис. 6. Прогибомер
Fig. 6. Deflectometer

a

6

Рис. 7. Программный комплекс «СИТИС: Спрут»: *а* — график зависимости деформации от времени; *б* — график зависимости температуры от времени

Fig. 7. The “SITIS: Sprut” Software system: a — time-strain relationship diagram; b — time-temperature relationship diagram

По результатам проведенных испытаний можно также построить графики зависимостей прикладываемой нагрузки от относительных деформаций и прогибов (рис. 8).

На основании проведенных испытаний АСМК «СИТИС: Спрут» можно выделить следующие достоинства системы:

- АСМК позволяет выполнять измерения деформаций и постоянное сравнение с допустимыми (проектными) величинами в реальном времени с минимальным периодом опроса датчиков, который составляет 30 с;
- система осуществляет мониторинг объектов 24 ч в сутки, с заданной дискретностью, что

упрощает наблюдение за работой конструкций при длительных нагрузках;

- автоматизированная система мониторинга обеспечивает высокую точность и однородность измерений, исключает ошибки исполнителя измерений;
- АСМК позволяет осуществлять управление удаленно;
- конструктивное решение даталоггеров «Игла» исключает случайное включение или выключение всей системы наблюдения.

В процессе испытаний, авторами были выявлены следующие особенности работы системы, которые можно отнести к недостаткам:

• при установке тензодатчика на поверхности элемента датчик устанавливается в крепления и фиксируется при помощи потайных винтов. Излишнее усилие, приложенное при закручивании потайного винта, вызывает начальное преднапряжение датчика, которое требуется ограничить «на глаз», анализируя показания системы после каждого опроса;

• места расположения даталоггеров определяются в большей степени длиной кабеля датчика, нежели удобством расположения даталоггера;

• запуск специального программного обеспечения «СИТИС: Скат» осуществляется только при наличии физического ключа защиты. С учетом глубокой взаимной интеграции аппа-

a

б

Рис. 8. Графики зависимостей прикладываемой нагрузки от относительных деформаций (а) и прогибов (б): Т7, Т9, Т11 — показания тензодатчиков, установленных на верхней поверхности перекрытия; П4, П5, П6 — показания прогибомеров
Fig. 8. Relative strains-applied load relationship diagram (a) and deflections-applied load relationship diagram (b): Т7, Т9, Т11 — readings of strain gauges mounted on upper surface of a spanning slab; П4, П5, П6 — readings of deflectometers

ратной и программной частей АСМК, сложно представить несанкционированное использование системы, поэтому подобная мера защиты кажется авторам излишней;

- несмотря на очевидные достоинства часов глобального реального времени, установленных в даталогерах, применение такого времени в программном комплексе «СИТИС: Скрат» неудобно и вызывает трудности при обработке данных.

Все эти особенности необходимо учитывать при планировании работы управляющих организаций, отвечающих за состояние зданий, в т.ч.

и при определении фактического технического состояния зданий [21, 22].

В заключение следует подчеркнуть, что АСМК нужно рассматривать как важную составную часть общей системы обеспечения безопасности объектов строительной индустрии. Также следует отметить, что применение автоматизированных систем мониторинга позволяет не только своевременно получать и анализировать актуальные данные о состоянии возводимого или эксплуатируемого сооружения, но и эффективно использовать их при проведении испытаний оснований, конструкций зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косых А.А., Сурсанов Д.Н. О необходимости применения современных методов мониторинга в строительстве // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2012. Т. 4. С. 173–176.
2. Пономарев А.Б., Оффрихтер В.Г. Необходимость системного мониторинга эксплуатируемых сооружений с целью обеспечения их конструктивной безопасности // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2006. № 5. С. 134–139.
3. Терелянский П.В. Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования. Волгоград : ВолгГТУ, 2009. 126 с.
4. Головина Е.Ю. Корпоративные информационные системы и методы их разработки. М. : МЭИ, 2008. 94 с.
5. Богданец Е.С., Черемухина О.О. Изучение процессов деформаций с использованием автоматизированной системы мониторинга // Master's Journal. 2014. № 1. С. 82–90.
6. Хиллер Б. Автоматизированный деформационный мониторинг — инновационные технологии на службу обеспечения безопасности в горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности // Маркшейдерский вестник. 2010. № 4. С. 54–58.
7. Посохов Н.Н., Азаров С.Г., Прошляков М.Ю. Проблемы развития систем мониторинга потенциально опасных объектов и пути их решения // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. № 1. С. 8–11.
8. Glisic B., Inaudi D., Casanova N. SHM process-lessons learned in 250 SHM Projects // 4th International Conference on Structural Health Monitoring on Intelligent Infrastructure (SHMII-4), 22–24 July, 2009, Zurich, Switzerland.
9. Карькин И.Н., Сташков А.Н. Исследование способов крепления тензометрических датчиков струнного типа // Мониторинг. Наука и безопасность. 2012. № 3 (7). С. 86–89.
10. Егоров Ф.А., Неугодинов А.П., Быковский В.А., Туляков Ю.А., Шерстюк С.П. Автоматизированная система мониторинга инженерных конструкций. Практика применения // Датчики и системы. 2014. № 11. С. 71–78.
11. Tse C., Luk J. Design and implementation of automatic deformation monitoring system for the construction of railway tunnel: a case study in West Island line, 2011. 7 p.
12. Системы мониторинга // TRIMBLE EFT TOTAL STATION. Режим доступа: <http://www.eft-ts.ru/news/1344>. Дата обращения: 07.08.2016.
13. Wilkins R., Bastin G., Chrzanowski A. Alert: a fully automated real time monitoring system // Proceedings 11th Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece, 2003. P. 8.
14. Chrzanowski A., Wilkins R. Accuracy evaluation of geodetic monitoring of deformations in large open pit mines // 12th FIG Symposium on Deformation Measurements, Barden, May 2006. P. 11.
15. Conegin Г.В., Сурсанов Д.Н. Перспективы применения технологии строительства методом «Тор-Даун» в условиях города Перми // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 1 (21). С. 147–158.
16. Шахрамьян А.М. Методические основы создания систем мониторинга несущих конструкций уникальных объектов // Вестник МГСУ. 2011. Т. 1. № 1. С. 256–261.
17. Шахрамьян А.М., Колотовичев Ю.А. Опыт использования автоматизированных систем мониторинга деформационного состояния несущих конструкций на Олимпийских объектах Сочи-2014 // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 92–105.
18. Косых А.А., Сурсанов Д.Н. Проблемы мониторинга объектов культурного наследия в условиях нового строительства в соответствии с действующими нормативными документами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2013. № 1 (9). С. 75–88.

19. Сурсанов Д.Н., Сазонова С.А., Пономарев А.Б., Лысков А.В. Натурные испытания многпустотной плиты с фибролитовыми пустообразователями // Жилищное строительство. 2014. № 10. С. 27–32.

20. Сурсанов Д.Н., Сазонова С.А., Пономарев А.Б. Анализ результатов натурных испытаний шпоночного соединения на срез // Вестник Пермского национального исследовательского университета. Строительство и архитектура. 2015. № 2. С. 7–23.

21. Соколов В.А., Синяков Л.Н., Страхов Д.А. Обследование и испытание зданий и сооружений. Проверочные расчеты: Метод. Указания. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 68 с.

22. Kim Y.W., Kim S.C. Cost analysis of information technology-assisted quality inspection using activity-based costing // Construction Management & Economics. 2011. Vol. 29. No. 2. Pp. 163–172.

Поступила в редакцию в ноябре 2016 г.

Об авторах: **Сопегин Георгий Владимирович** — магистрант кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, **Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)**, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, д. 29, sp.georg@yahoo.com;

Сурсанов Дмитрий Николаевич — старший преподаватель кафедры строительного производства и геотехники, **Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)**, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, д. 29, sursanov@mail.ru.

Для цитирования: *Сопегин Г.В., Сурсанов Д.Н. Использование автоматизированных систем мониторинга конструкций (АСМК) // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 2 (101). С. 230–242. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.230-242*

REFERENCES

1. Kosykh A.A., Sursanov D.N. O neobkhodimosti primeneniya sovremennykh metodov monitoringa v stroitel'stve [About The Necessity of Application of Modern Methods of Monitoring in Construction]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse* [Modernization and Scientific Researches in Transport Complex]. 2012, vol. 4, pp. 173–176. (In Russian)

2. Ponomarev A.B., Ofrikhter V.G. Neobkhodimost' sistemnogo monitoringa ekspluatiruemykh sooruzheniy s tsel'yu obespecheniya ikh konstruktivnoy bezopasnosti [Necessity of the System Monitoring of Operated Structures with the Purpose of Ensuring of Their Structural Safety]. *Vestnik tsentral'nogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk* [Bulletin of CRD RAACS]. 2006, no. 5, pp. 134–139. (In Russian)

3. Terelyanskiy P.V. *Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy. Opyt proektirovaniya* [Systems of Support of Decision Making. Experience of Designing]. Volgograd, VolGTU Publ., 2009, 126 p. (In Russian)

4. Golovina E.Yu. *Korporativnye informatsionnye sistemy i metody ikh razrabotki* [Corporate Information Systems and Methods of Their Development]. Moscow, MEI Publ., 2008, 94 p. (In Russian)

5. Bogdanets E.S., Cheremukhina O.O. *Izucheniye protsessov deformatsiy s ispol'zovaniem avtomatizirovannoy sistemy monitoring* [Study of Processes of Deformations Using an Automated Monitoring System]. *Master's Journal*. 2014, no. 1, pp. 82–90. (In Russian)

6. Khiller B. Avtomatizirovannyi deformatsionnyy monitoring — innovatsionnye tekhnologii na sluzhbu obespecheniya bezopasnosti v gornodobyvayushchey, neftyanoy i gazovoy promyshlennosti [Automated Deformation Monitoring — Innovative Technologies for Ensuring of Safety in the Mining, Oil and Gas Industries]. *Marksheyderskiy vestnik* [Mine Surveying Bulletin]. 2010, no. 4, pp. 54–58. (In Russian)

7. Posokhov N.N., Azarov S.G., Proshlyakov M.Yu. Problemy razvitiya sistem monitoringa potentsial'no opasnykh ob'ektov i puti ikh resheniya [Issues of Development of Potentially Hazardous Facilities Monitoring Systems and Ways of Their Solutions]. *Monitoring. Nauka i bezopasnost'* [Monitoring. Science and Security]. 2011, no. 1, pp. 8–11. (In Russian)

8. Glisic B., Inaudi D., Casanova N. SHM Process-Lessons Learned in 250 SHM Projects. 4th International Conference on Structural Health Monitoring on Intelligent Infrastructure (SHMII-4), 22–24 July, 2009, Zurich, Switzerland.

9. Kar'kin I.N., Stashkov A.N. Issledovanie sposobov krepleniya tenzometricheskikh datchikov strunnogo tipa [Study of Manners of Fastening of Strain Gauges of Vibrating Wire Type]. *Monitoring. Nauka i bezopasnost'* [Monitoring. Science and Security]. 2012, no. 3 (7), pp. 86–89. (In Russian)

10. Egorov F.A., Neugodnikov A.P., Bykovskiy V.A., Tulyakov Yu.A., Sherstyuk S.P. Avtomatizirovannaya sistema monitoringa inzhenernykh konstruktсий. Praktika primeneniya [Automated System of Monitoring of Engineering Structures. Practice of Application]. *Datchiki i sistemy* [Sensors and Systems]. 2014, no. 11, pp. 71–78. (In Russian)

11. Tse C., Luk J. Design and Implementation of Automatic Deformation Monitoring System for the Construction of Railway Tunnel: a Case Study in West Island Line. 2011, 7 p.

12. Sistemy monitoringa [Systems of Monitoring]. TRIMBLE EFT TOTAL STATION. Available at : <http://www.eft-ts.ru/news/1344>. Date of Access : 07.08.2016. (In Russian)

13. Wilkins R., Bastin G., Chrzanowski A. Alert: a Fully Automated Real Time Monitoring System. Proceedings 11th Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece, 2003, P. 8.

14. Chrzanowski A., Wilkins R. Accuracy evaluation of Geodetic Monitoring of Deformations in Large Open Pit Mines. 12th FIG Symposium on Deformation Measurements, Barden, May 2006, p. 11.

15. Sopegin G.V., Sursanov D.N. Perspektivy primeneniya tekhnologii stroitel'stva metodom «Top-Down» v usloviyakh goroda Permi [Prospects of Application of Technology of Construction Using the «Top-Down» Method in Conditions of the City of Perm]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* [PNRPU Bulletin. Applied Ecology. Urban Planning]. 2016, no. 1 (21), pp. 147–158. (In Russian)

16. Shakhraman'yan A.M. Metodicheskie osnovy sozdaniya sistem monitoringa nesushchikh konstruktivnykh ob'ektov [Methodological Basics of Creation of The Unique Projects Bearing Structures Monitoring Systems]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, vol. 1, no. 1, pp. 256–261. (In Russian)

17. Shakhraman'yan A.M., Kolotovichev Yu.A. Opyt ispol'zovaniya avtomatizirovannykh sistem monitoringa deformatsionnogo sostoyaniya nesushchikh konstruktivnykh ob'ektov Sochi-2014 [Experience of Use of Automated Systems of Monitoring of the Strain State of Load-Bearing Structures at the Olympic Projects of Sochi-2014]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 12, pp. 92–105. (In Russian)

18. Kosykh A.A., Sursanov D.N. Problemy monitoringa ob'ektov kul'turnogo naslediya v usloviyakh novogo

stroitel'stva v sootvetstvi s deystvuyushchimi normativnymi dokumentami [Issues of Monitoring of Cultural Heritage Projects in Conditions of a New Construction in Accordance with the Applicable Regulations]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* [PNRPU Bulletin. Applied Ecology. Urban Planning]. 2013, no. 1 (9), pp. 75–88. (In Russian)

19. Sursanov D.N., Sazonova S.A., Ponomarev A.B., Lyskov A.V. Naturnye ispytaniya mnogopustotnoy plity s fibrolitovymi pustotoobrazovatelyami [Field Tests of a Hollow-Core Slab with Fibrolite Void Formers]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014, no. 10, pp. 27–32. (In Russian)

20. Sursanov D.N., Sazonova S.A., Ponomarev A.B. Analiz rezul'tatov naturnykh ispytaniy shponochnogo soedineniya na srez [Analysis of Results of Field Shearing Tests of a Keyed Joint]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [PNRPU Bulletin. Construction and Architecture]. 2015, no. 2, pp. 7–23. (In Russian)

21. Sokolov V.A., Sinyakov L.N., Strakhov D.A. Ob sledovanie i ispytanie zdaniy i sooruzheniy. Proverochnye raschety: Metod. Ukazaniya [Inspection and Testing of Buildings and Structures. Checking Calculations: Method. Guidelines]. Saint Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta Publ., 2007, 68 p. (In Russian)

22. Kim Y.W., Kim S.C. Cost Analysis of Information Technology-Assisted Quality Inspection Using Activity-Based Costing. *Construction Management & Economics*, 2011, vol. 29, no. 2, pp. 163–172.

Received in November, 2016

About the authors: **Sopegin Georgiy Vladimirovich** — Master Student, Department of Construction Engineering and Material Science, **Perm National Research Polytechnic University (PNRPU)**, 29 Komsomol'skiy prospekt, Perm, 614990, Russian Federation; sp.georg@yahoo.com;

Sursanov Dmitriy Nikolaevich — Senior Lecturer, Department of Construction Technology and Geotechnics, **Perm National Research Polytechnic University (PNRPU)**, 29 Komsomol'skiy prospekt, Perm, 614990, Russian Federation; sursanov@mail.ru.

For citation: Sopegin G.V., Sursanov D.N. Ispol'zovanie avtomatizirovannykh sistem monitoringa konstruktivnykh (ASMK) [Use of Automated Systems for Monitoring of Structures (ASMS)]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 2 (101), pp. 230–242. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.230-242