

УДК 69.059.14

СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В. А. КОВТУН, В. Н. ПАСОВЕЦ

*Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
г. Минск*

А. М. ТАНЫРВЕРДИ

*Государственный пожарный надзор МЧС
Азербайджанской Республики*

Представлена система непрерывного мониторинга несущих конструкций зданий и сооружений на основе тензодатчиков, внедрение и активное использование которой позволит значительно увеличить уровень обеспечения безопасности пребывания людей в зданиях и сооружениях различного назначения. Приведен перечень зданий и сооружений, подлежащих обязательному оборудованию системами непрерывного мониторинга. Представленные результаты могут быть использованы в сфере обеспечения безопасности зданий и сооружений.

Ключевые слова: системы непрерывного мониторинга, техническое состояние, строительные конструкции, технология контроля.

CONTINUOUS MONITORING SYSTEM FOR LOAD-BEARING STRUCTURES OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

V. A. KOVTUN, V. N. PASOVETS

*The State Educational Institution University of Civil
Protection of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus, Minsk*

A. M. TANYRVERDI

*State Fire Supervision of the Ministry of Emergency
Situations of the Republic of Azerbaijan*

Authors present a system for continuous monitoring of load-bearing structures of buildings and structures based on strain gauges. The introduction and active use of which will significantly increase the level of ensuring the safety of people in buildings and structures for various purposes.

The list of buildings and structures subject to mandatory equipment by continuous monitoring systems is given. The presented results can be used in the field of ensuring the safety of buildings and structures.

Keywords: continuous monitoring systems, technical condition, building structures, control technology.

Введение

Ежегодно возрастающие скорость и объемы строительства объектов различного назначения как в Республике Беларусь, так и в Азербайджанской Республике обусловлены экономическим ростом стран и развитием промышленности. Архитектурный облик указанных государств изменяется, появляются новые объекты культуры, здравоохранения и спорта, жилые кварталы, промышленные предприятия. Совре-

менные инженерные сооружения представляют собой сложные технические объекты, включающие в себя как уникальные архитектурные новации, так и средства контроля состояния, позволяющие прогнозировать изменение технического состояния. В период своего жизненного цикла компоненты строительных систем подвергаются различного рода воздействиям как плановым в виде эксплуатационных и природно-климатических нагрузок, так и внеплановым со стороны окружающей среды и внешней инфраструктуры, что может приводить к аварийным ситуациям, особенно характерным для сооружений, которые располагаются в стесненных условиях крупных городов (рис. 1).

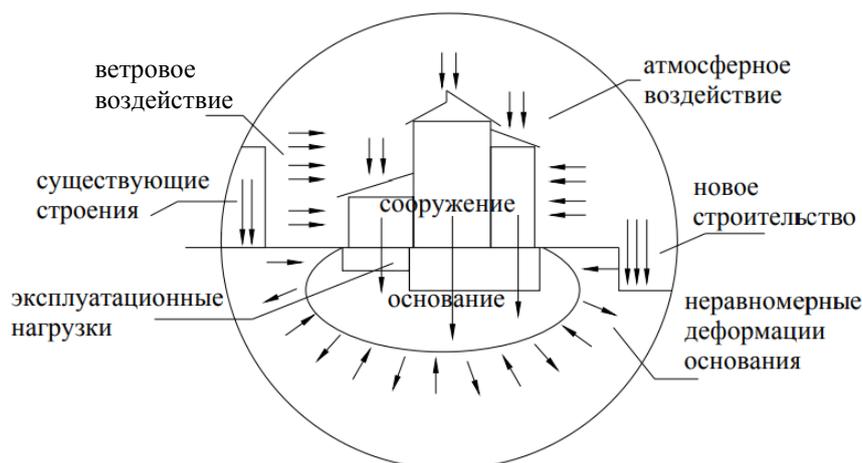


Рис. 1. Схема взаимодействия сооружения с окружающей средой города

Анализ статистических данных показывает, что большое количество чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с разрушением зданий и сооружений, происходит из-за нарушения работы элементов основных несущих конструкций. Разрушение зданий и сооружений наносит значительный экономический ущерб и часто сопровождается гибелью людей. При этом выявление признаков аварийного состояния элементов основных несущих конструкций зданий и сооружений путем визуального осмотра достаточно затруднительно [1]–[4].

Техническое состояние зданий и сооружений в общем случае является функцией работоспособности отдельных конструктивных элементов и связей между ними. Проведенный анализ ЧС, связанных с разрушением зданий и сооружений, позволил установить основные причины их разрушения. К данным причинам относятся: повышенные нагрузки на несущие конструкции зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации длительный период времени; воздействие на конструкции природных и техногенных факторов, таких как перепады температур, ветровые и снеговые нагрузки, вибрации, аварии, пожары, а также взрывы, например, обусловленные террористическими актами; несоблюдение технологии возведения зданий и сооружений. Так, несоответствие требованиям проекта классов бетона и марок раствора, примененных для замоноличивания стыков и швов, не обеспечивает равномерного распределения нагрузки между элементами конструкций здания, что приводит к потере устойчивости стен. Использование железобетонных конструкций со сквозными трещинами значительно снижает несущую способность отдельных конструктивных элементов, что в конечном счете ведет к существенному увеличению вероятности нарушения целостности здания или сооружения [5], [6]. Наиболее распространен-

ными ошибками проектирования зданий и сооружений является неверная оценка гидрогеологических условий участка строительства и ошибки при определении несущей способности фундамента.

Техническая эксплуатация зданий и сооружений в Республике Беларусь осуществляется в соответствии с требованиями Закона Республики Беларусь от 5 июля 2004 г. № 300-З «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь», Строительных норм Республики Беларусь СН 1.04.01–2020 «Техническое состояние зданий и сооружений», а также ведомственных инструкций по технической эксплуатации. Необходимо обратить внимание, что произошедшие ЧС, связанные с внезапным обрушением, например, школ в Могилевской области (г. п. Краснополье, 2004 г. и г. Кричев, 2014 г.), купола «Трансвааль-парка» (Москва, 2004 г.), моста на реке Ахсу (Азербайджан, 2009 г.), автомобильного путепровода (Минск, 2022 г.), кровли бассейна в Пермском крае (г. Чусовой, 2005 г.), Басманного рынка и аквапарка (Москва, 2006 г.), секции аэропорта во Франции (Париж, 2005 г.), кровель катков в Германии и Австрии (2006 г.), пятиэтажного жилого дома в Украине (Луцк, 2018 г.), жилого семиэтажного дома в Азербайджане (Баку, 2019 г.), подняли вопросы контроля технического состояния несущих конструкций при эксплуатации зданий и сооружений на одно из первых мест в системе комплексной безопасности функционирования строительных объектов. При этом особого внимания требуют вопросы безопасности при возведении высотных зданий, так как число жертв обрушения высотных зданий значительно превышает число погибших при обрушении зданий малоэтажной застройки.

Регулярно проводимые трудоемкие обследования, требующие значительных затрат денежных средств, на сегодняшний день являются единственным путем своевременного обнаружения нарушений в работе несущих конструкций зданий и сооружений. При этом ТКП 45-1.04-305–2016 указывает на то, что периодическое обследование зданий, их отдельных зон и видов конструкций с оценкой их технического состояния и уточнением режима дальнейшей эксплуатации необходимо производить с привлечением специализированных организаций. Объемы проводимых обследований зданий и сооружений ежегодно возрастают, что является следствием их физического и морального износа, перевооружения и реконструкции производственных зданий промышленных предприятий и объектов энергетики, реконструкции малоэтажной старой застройки.

Замена трудоемких исследований, проводимых вручную, на мониторинг, осуществляемый в автоматическом режиме, позволит существенно уменьшить затраты, связанные с поддержанием работоспособности сложных конструкций зданий и сооружений. В настоящее время существует потребность в надежных системах мониторинга технического состояния несущих конструкций, которые могут в автоматическом режиме обрабатывать получаемые данные, производить оценку технического состояния и оповещать о необходимости вмешательства человека. Представляет интерес использование подобных систем мониторинга технического состояния конструкций при возведении и эксплуатации крупных технически сложных зданий и сооружений, например, стадионов. Так, все основные Олимпийские объекты спортивного кластера Сочи – 2014 (ледовый дворец «Большой», керлинговый центр «Ледяной куб», крытый конькобежный центр «Адлерарена», дворец зимнего спорта «Айсберг», ледовая арена «Шайба», олимпийский стадион «Фишт») были оборудованы автоматизированными системами мониторинга технического (напряженно-деформированного) состояния несущих конструкций, которые учитывали расположение объектов в сейсмически опасном районе. Однако используемые системы мониторинга характеризуются весьма небольшим набором оборудования и сложностью. Тем не менее полученные результаты

подтвердили перспективность внедрения автоматизированной системы мониторинга напряженно-деформационного состояния несущих конструкций на сооружениях с большепролетными покрытиями [7], [8].

Системы как периодического, так и непрерывного мониторинга сейчас активно развиваются и внедряются на критически важных объектах, что позволяет сделать вывод о наступлении эпохи применения средств автоматического распознавания и прогнозирования технического состояния зданий и сооружений.

Цель работы состояла в разработке системы непрерывного мониторинга на основе тензодатчиков.

Основная часть

Для оценки динамики развития напряженного состояния и деформационных процессов в элементах строительных конструкций используются тензодатчики различных типов. Наибольшее распространение получили тензодатчики с резистивными элементами (тензорезисторами), в основе работы которых лежит способность проводников изменять свое сопротивление при растяжении либо сжатии. При этом для точной работы системы мониторинга необходимо применение нескольких тензодатчиков, или тензодатчиков, имеющих несколько тензорезисторных элементов, расположенных под определенным углом. Общий вид рабочих элементов системы непрерывного мониторинга представлен на рис. 2.

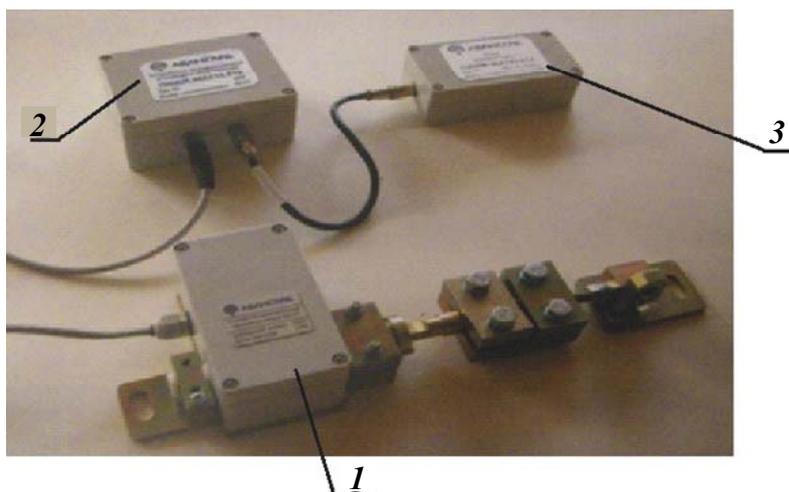


Рис. 2. Элементы системы непрерывного мониторинга:
1 – измерительное устройство на основе тензодатчиков;
2 – преобразующий блок; 3 – блок передачи информации

Разработанная система непрерывного мониторинга (рис. 3), позволяющая контролировать напряженно-деформированное состояние элементов конструкции, имеет явное преимущество по сравнению с используемым на сегодняшний день оборудованием неразрушающих методов контроля [9], так как непрерывный поток данных, полученных с использованием большого числа датчиков, размещенных в различных точках конструкции, подвергается тщательному анализу с помощью специального программного обеспечения и сопоставляется с допустимыми техническими параметрами контролируемого объекта. Применение систем непрерывного мониторинга в зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей, а также на опасных производственных объектах, позволит получать необходимую точную информацию о состоянии элементов несущих конструкций объекта с момента его строительства, а также, что имеет особо важное значение, – в условиях ликвидации ЧС.

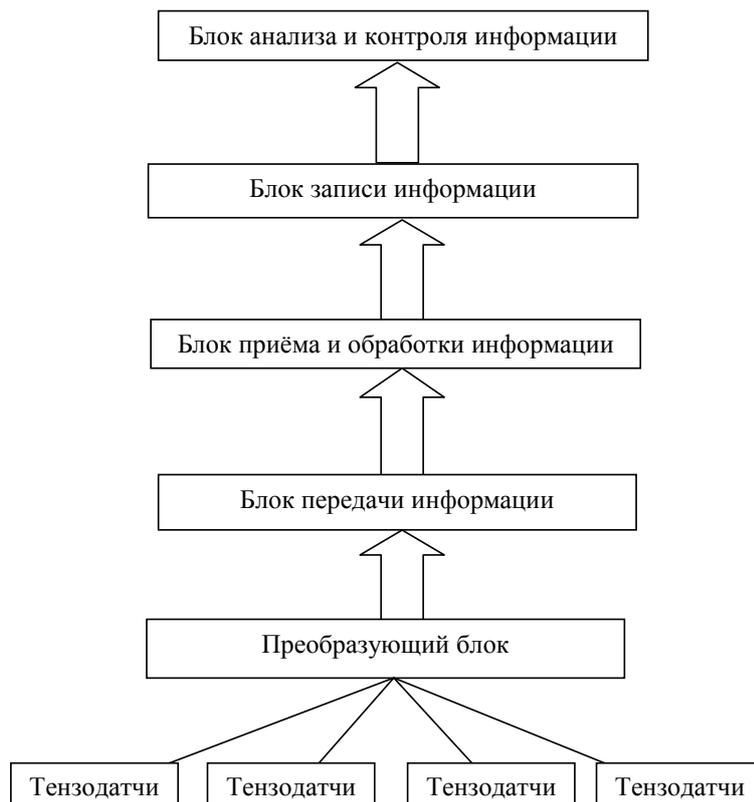


Рис. 3. Структура системы непрерывного мониторинга

Система непрерывного мониторинга позволяет получать данные в автоматическом режиме о величине напряжений, возникающих в элементах конструкций, отслеживать изменение напряжений в основных конструктивных элементах сооружения на протяжении всего этапа его эксплуатации, оценивать работу конструкции в целом и эффективность применения использованных материалов, а также отслеживать возникновение критических и предаварийных состояний, контролировать осадку зданий и сооружений. При этом поток информации, получаемый с установленных датчиков и поступающий по указанной выше схеме, представлен на рис. 4. На приведенном рисунке показана нумерация работающих измерительных устройств (тензодатчиков), их деформация и оставшийся заряд на элементе питания.

№ датчика	Деформация	Заряд
9	-0,02838	2,42028
8	-0,01526	2,34952
7	0,01312	2,38612
6	-0,04011	2,45688
5	-0,04011	2,45688
4	-0,10000	2,41296
3	0,02857	2,41052
2		2,57156

Рис. 4. Скриншот полученных результатов с указанием работающих измерительных устройств (тензодатчиков), величины деформации и заряда элемента питания

Установка тензодатчиков системы мониторинга производится на основных конструктивных элементах зданий и сооружений, разрушение или недопустимые деформации которых ведут к нарушению устойчивости или разрушению здания в целом, а также на элементах, обеспечивающих пространственную жесткость, неизменяемость и устойчивость сооружения. Современные технические решения в области коммуникационного оборудования позволяют осуществлять передачу данных по имеющимся сетям, что не требует дополнительного оборудования каналов связи.

Выполненный анализ работ [10]–[12] позволил определить перечень зданий и сооружений, подлежащих обязательному оборудованию системами непрерывного мониторинга. К данным объектам относятся аэропорты, мосты, тоннели, метрополитены, крупные промышленные предприятия, высотные здания высотой более 75 метров и уникальные сооружения с пролетами более 100 метров, объекты с массовым пребыванием людей, а также гостиницы вместимостью более 100 номеров.

Представленная в данной работе система мониторинга полностью отвечает требованиям, предъявляемым к современным системам мониторинга как в Республике Беларусь и Азербайджанской Республике, так и в других зарубежных странах. Также необходимо обратить внимание на то, что потребность в подобных системах мониторинга испытывают объекты военно-технического и ракетно-космического назначения.

Заключение

Использование систем непрерывного мониторинга на всех стадиях процесса строительства и эксплуатации зданий и сооружений различного назначения позволит значительно повысить уровень обеспечения безопасности пребывания в них людей. Внедрение данных систем является инструментом обеспечения безопасности и надежности в условиях современного строительства. В будущем данные системы, получив развитие, позволят прогнозировать техническое состояние всех объектов современной инфраструктуры.

Литература

1. Мониторинг технического состояния раздвижной крыши стадиона «Санкт–Петербург Арена» / Г. В. Осадчий [и др.] // Стр-во уникальных зданий и сооружений. – 2018. – Т. 69, № 6. – С. 10–24. DOI: 10.18720/CUBS.69.2.
2. Предупреждение чрезвычайных ситуаций, связанных с разрушением инженерных конструкций / В. А. Ковтун [и др.] // Вестн. ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 3. – С. 335–342.
3. Шаблинский, Г. Э. Мониторинг уникальных высотных зданий и сооружений на динамические и сейсмические воздействия / Г. Э. Шаблинский. – М. : АСВ, 2013. – 328 с.
4. Moore, J. F. A. Monitoring Building Structures / J. F. A. Moore. – London : Blackie and Son Ltd, 1992. – 155 p.
5. Peeters, B. System Identification and damage detection in civil engineering / B. Peeters – Belgium : Katholieke Universiteit Leuven, 2000. – 256 p.
6. Yang, Y. Specifications and applications of the technical code for monitoring of building and bridge structures in China / Y. Yang, Q. S. Li, B. W. Yan // Advances in Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 9, № 1. – P. 1–10.
7. Шахраманьян, А. М. Опыт использования автоматизированных систем мониторинга деформационного состояния несущих конструкций на Олимпийских объектах Сочи – 2014 / А. М. Шахраманьян, Ю. А. Колотовичев // Вестн. МГСУ. – 2015. – № 12. – С. 92–105.

8. Тензорезистивные датчики и их применение / под ред. А. М. Самуты // Электроника инфо, 2012. – Режим доступа: <http://electronica.nsys.by/files/File/Vishay.pdf>. – Дата доступа: 15.02.2012.
9. Бирюк, В. А. Неразрушающие методы контроля агрегатов и узлов пожарной аварийно-спасательной техники / В. А. Бирюк, В. Н. Пасовец, М. М. Журов // Вестн. ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 387–396.
10. Belyi, A. A. Structural health and geotechnical monitoring during transport objects construction and maintenance (Saint–Petersburg example) / A. A. Belyi, E. S. Karapetov, Yu. S. Efimenko // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 189. – P. 145–151.
11. Wenzel, H. Health monitoring of bridges / H. Wenzel. – Chichester: John Wiley & Sons, 2009. – 621 p.
12. Structural health monitoring system of bridges / C. C. Comisu [et al.] // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 199. – P. 2054–2059.

Получено 29.04.2022 г.