

DOI 10.37882/2223-2966.2023.12.04

# РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ВИЗУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

## DEVELOPMENT AND TESTING OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR VISUAL MONITORING OF THE CONDITION OF OBJECTS USING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES AND INTELLIGENT DATA PROCESSING

**T. Bugakova  
A. Sharapov  
S. Katsko  
A. Basargin**

*Summary.* The article describes the development and testing of a hardware and software complex (APC) for visual monitoring of the condition of engineering facilities using computer vision technologies and intelligent data processing. In modern conditions, with the increasing complexity and uniqueness of construction projects, the need for constant monitoring and control of their condition becomes more urgent. The authors of the article consider the use of computer vision technologies for continuous visual monitoring of objects and analysis of the obtained images. The paper describes the structure of the APC, which includes a high-resolution camera, a portable digital device, software, and a database. The results of the testing of the agro-industrial complex showed its effectiveness in real time, allowing continuous monitoring of objects, as well as analysis of changes and defects. This approach complements the data obtained from automated monitoring systems, allowing to identify cause-and-effect relationships between changes in the state of the object and external factors. The paper emphasizes the importance of using computer vision technologies in monitoring engineering facilities and the possibility of improving the accuracy and efficiency of monitoring, which is of great importance for ensuring the safety and efficient operation of complex construction facilities.

*Keywords:* visual monitoring; intelligent data processing; intelligent monitoring of the state of objects; hardware and software complex; artificial intelligence.

**Бугакова Татьяна Юрьевна**

Канд. техн. наук, Сибирский государственный университет геосистем и технологий  
kaf.pi@ssga.ru

**Шарапов Артем Андреевич**

Ассистент, Сибирский государственный университет геосистем и технологий  
sharapov\_artem@mail.ru

**Кацко Станислав Юрьевич**

Канд. техн. наук, доцент, Сибирский государственный университет геосистем и технологий  
s.katsko@ssga.ru

**Басаргин Андрей Александрович**

Канд. техн. наук, доцент, Сибирский государственный университет геосистем и технологий  
abaspirant@mail.ru

*Аннотация.* Статья описывает разработку и апробацию аппаратно-программного комплекса (АПК) для визуального мониторинга состояния инженерных объектов с использованием технологий компьютерного зрения и интеллектуальной обработки данных. В современных условиях, с увеличением сложности и уникальности строительных объектов, необходимость в постоянном мониторинге и контроле их состояния становится более актуальной. Авторы статьи рассматривают использование технологий компьютерного зрения для непрерывного визуального мониторинга объектов и анализа полученных изображений. В работе описывается структура АПК, который включает в себя высокоразрешающую фотокамеру, переносное цифровое устройство, программное обеспечение, и базу данных. Результаты апробации АПК показали его эффективность в режиме реального времени, позволяя проводить непрерывный мониторинг объектов, а также анализ изменений и дефектов. Такой подход дополняет данные, полученные от автоматизированных систем мониторинга, позволяя выявить причинно-следственные связи между изменением состояния объекта и внешними факторами. В работе подчеркивается важность применения технологий компьютерного зрения в мониторинге инженерных объектов и возможность улучшения точности и оперативности мониторинга, что имеет большое значение для обеспечения безопасности и эффективной эксплуатации сложных строительных объектов.

*Ключевые слова:* визуальный мониторинг; интеллектуальная обработка данных; интеллектуальный мониторинг состояния объектов; аппаратно-программный комплекс; искусственный интеллект.

## Введение

**Р**азвитие современных строительных технологий способствовало возведению сложных и уникальных зданий и инженерных сооружений, включая промышленные комплексы, высотные здания, огромные торгово-развлекательные центры и спортивные арены, рассчитанные на множество посетителей. Эти сооружения, хоть и представляют собой инженерные чудеса, но при их эксплуатации возникают потенциальные риски и опасности. Поэтому, несомненно, важным становится контроль и надзор за наиболее критическими структурными элементами этих сооружений.

Согласно ГОСТ Р 22.1.12-2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях», такие объекты должны быть оборудованы системами мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС). В рамках этих систем существуют подсистемы, такие как системы мониторинга инженерных (несущих) конструкций (СМИК), которые занимаются наблюдением и управлением изменениями состояния фундаментов и несущих конструкций в режиме реального времени. Это необходимо для своевременного выявления и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Сегодня на рынке существует множество компаний, предлагающих системы автоматизированного мониторинга, такие как Leica GeoMoS, NOVA Tech, СМИК ZETLAB, СМИС Эксперт, БАУ-Мониторинг, ГОЧС «БАЗИС» и другие. Эти системы играют ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности сложных инженерных объектов, предупреждая от возможных чрезвычайных ситуаций и обеспечивая контроль и наблюдение за состоянием конструкций.

Очевидным преимуществом систем автоматизированного мониторинга является способность получать данные в режиме реального времени, что позволяет оперативно передавать актуальную информацию о состоянии объекта для принятия управленческих решений и предотвращения аварий.

Тем не менее, при анализе существующих систем автоматизированного мониторинга, как на российском, так и на зарубежных рынках, были выявлены следующие недостатки. Автоматизированные системы мониторинга обычно включают аппаратное и программное обеспечение для передачи и анализа данных в режиме онлайн. Под анализом, в основном, подразумевается обработка данных с использованием алгоритмов, заложенных в программном обеспечении для определения отклонений от установленных пороговых значений, проверки на наличие критических состояний и предупреждения о возможных чрезвычайных событиях. Однако существующие системы не включают сложные математические

алгоритмы, которые позволили бы проводить более глубокий анализ и прогнозирование процессов, происходящих на технически сложных и уникальных объектах, а также решать нестандартные задачи, связанные с определением корреляции между состоянием объекта и внешними факторами. Эта необходимость в более сложных математических алгоритмах также обусловлена уникальностью формы и структуры объектов.

Кроме того, высокая стоимость автоматизированных систем мониторинга часто приводит к оптимизации их комплектации при установке на объектах, что может снижать полноту и объективность получаемых данных о состоянии зданий или инженерных сооружений. В связи с этим периодически проводятся визуальные обследования объектов, которые позволяют выявить видимые внешние повреждения и деформации, а также дефектные и аварийные участки, которые могут предвещать изменения в состоянии объекта.

В целом, проведение визуальных осмотров способствует более объективным выводам о состоянии зданий и инженерных сооружений, что дополняет информацию, полученную с помощью автоматизированных систем мониторинга, и позволяет выявлять существенные дефекты конструкций, которые по различным причинам могут остаться незамеченными средствами автоматизированного контроля. Однако на данный момент визуальные осмотры выполняются специалистами вручную, что может привести к задержкам в получении информации. Применение технологии компьютерного зрения в сочетании с методами интеллектуальной обработки данных позволило бы проводить визуальный мониторинг и анализ результатов в реальном времени, обеспечивая более оперативный контроль и реагирование на обнаруженные проблемы.

## Материалы и методы

На сегодняшний день, технологии компьютерного зрения, способные обнаруживать, классифицировать и анализировать объекты на основе изображений или видеопотока с камеры, успешно применяются в различных отраслях экономики. Примерами такого использования являются системы транспортного управления, МЧС (для обнаружения лесных пожаров) и другие.

После проведения обзора и анализа отечественных и зарубежных публикаций [3, 5–9], авторы пришли к выводу, что в настоящее время системы автоматизированного мониторинга состояния инженерных сооружений осуществляются с использованием технических средств, которые практически не используют технологии компьютерного зрения и интеллектуальной обработки данных.

Основной целью работы является усовершенствование методики автоматизированного мониторинга состояния объектов путем внедрения технологий компьютерного зрения и интеллектуальной обработки данных.

В рамках исследований, направленных на использование технологии компьютерного зрения для визуального мониторинга объекта и анализа полученных изображений с применением интеллектуальных алгоритмов, были решены следующие задачи.

1. Обнаружение объекта.
2. Определение его границ.
3. Создание базы данных для классификации объектов.
4. Распознавание и классификация изображения объекта.
5. Привязка объекта к условной системе координат.
6. Определение геометрических параметров (размеров) объекта.

В результате проведенных экспериментов был разработан аппаратно-программный комплекс, способный в реальном времени определять форму, размеры и геометрические параметры объекта, а также проводить интеллектуальный анализ изменений, происходящих с течением времени.

На рисунке 1 представлена структурная схема аппаратно-программного комплекса для визуального мониторинга состояния объекта.

Этот комплекс включает в себя цифровую фотокамеру (D) с высоким разрешением, установленную в фиксированной точке и закрепленную в неподвижном состоянии, а также портативное цифровое устройство (например, ноутбук или планшет) (B), интегрирующее

веб-сервер, программное обеспечение и базу данных для хранения передаваемой информации, включая фотоснимки.

Фотокамера регулярно захватывает изображение объекта мониторинга (A) в виде растровых фотоснимков. Затем, по беспроводному соединению Wi-Fi, эти фотоснимки отправляются в базу данных, а затем на сервер, где происходит их обработка и анализ с использованием программных решений, основанных на интеллектуальных алгоритмах распознавания образов. Процесс съемки осуществляется в течение заранее заданного временного периода (T), необходимого для фиксирования визуальных признаков изменения состояния объекта.

### Результаты

Для проведения экспериментов с аппаратно-программным комплексом визуального мониторинга объектов была создана полезная модель (зарегистрированная 21.04.2020, № 197310) с названием «Лабораторный стенд интеллектуального мониторинга геометрических параметров исследуемого объекта средствами систем машинного зрения». Общий вид этого стенда представлен на рисунке 2.

Структура стенда включает в себя основание в форме прямоугольного треугольника (1), к катетам которого прикреплены ограничительные панели (2, 3). На верхней панели основания закреплены видеокамеры (4, 5), их видеосигналы поступают на одноплатный компьютер (14). В центре верхней панели установлен поворотный столик (6), жестко связанный с нижней панелью. На этот столик устанавливается исследуемый объект (7), представляющий здание или сооружение. Изменение положения объекта в пространстве осуществляется путем поворота

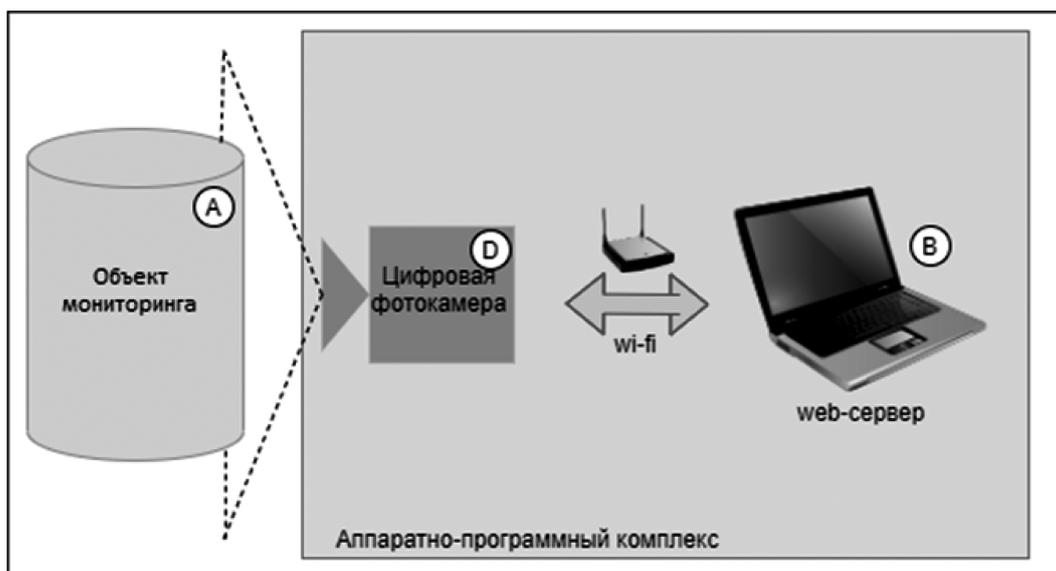


Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса (АПК)

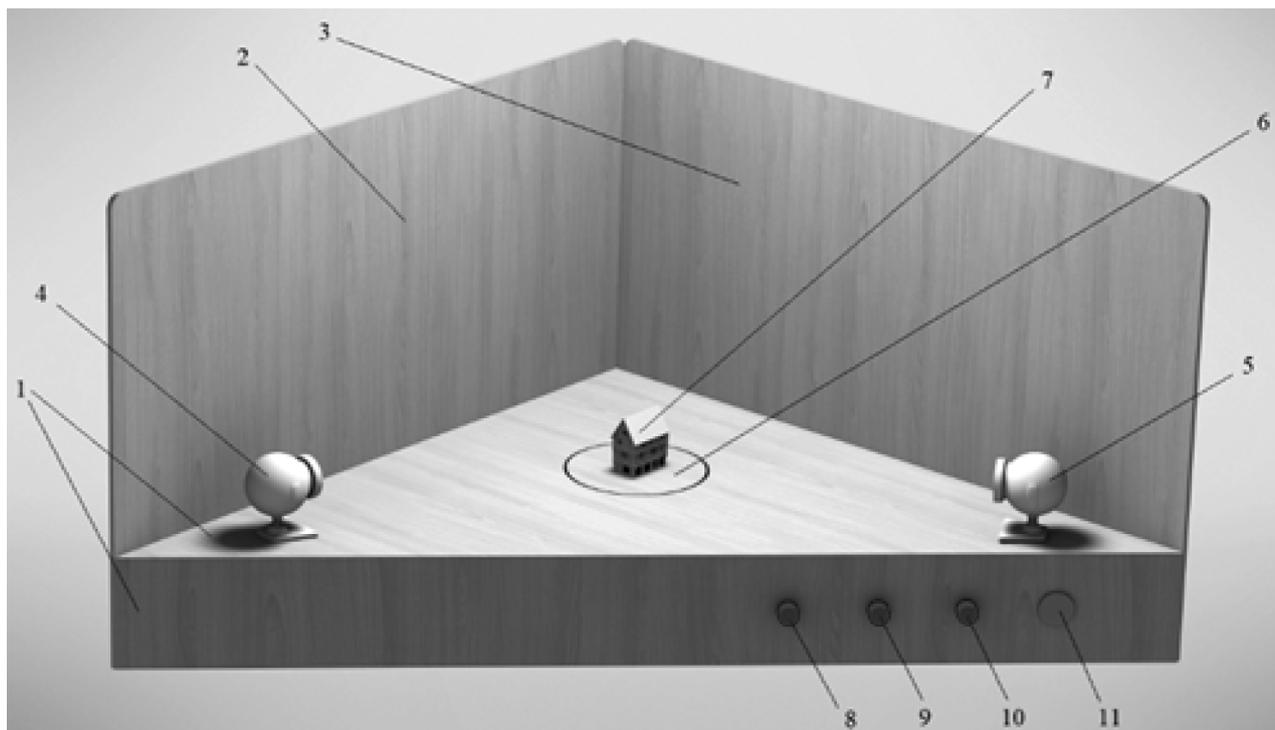


Рис. 2. Общий вид лабораторного стенда интеллектуального мониторинга геометрических параметров исследуемого объекта средствами систем машинного зрения

столика, который также оборудован датчиками угла — энкодерами (8, 9, 10), прикрепленными к лицевой панели основания. Платформа управления энкодерами (12) осуществляет программную обработку сигналов от энкодеров. Также внутри основания размещен одноплатный компьютер (14), который обрабатывает видеопоток и выводит информацию о состоянии объекта. Для включения всех компонентов стенда используется выключатель (11), расположенный на лицевой панели основания. Элементы питания (13) внутри основания обеспечивают работу платформы управления энкодерами и одноплатного компьютера.

На рисунке 3 представлена концептуальная схема функционирования лабораторного стенда интеллектуального мониторинга геометрических параметров объекта.

Для разработки программных модулей использовался язык программирования Python с использованием библиотеки OpenCV для компьютерного зрения с открытым исходным кодом. Эта библиотека включает в себя алгоритмы обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения и может быть свободно использована как в академических, так и в коммерческих целях на условиях лицензии BSD.

Для обнаружения границы объекта был разработан модуль «интеллектуального определения границ», который использует детектор границ Кенни для определения внешней границы объекта, как показано на рисунке 4.



Рис. 3. Концептуальная схема работы экспериментальной модели мониторинга геометрических параметров исследуемого объекта

Второй разработанный модуль предназначен для обнаружения дефектов, в данном случае трещин. Процесс поиска и распознавания трещин на объекте выполняется с использованием библиотеки OpenCV и детектора Хаара, что обеспечивает быструю обработку изображений и видеопотока. Для обучения детектора Хаара использовались положительные и отрицательные изображения трещин. Положительные изображения трещин (рисунок 5) представляют собой множество фотографий с изображенными трещинами, в то время как отрицательные изображения представляют собой фотографии без объекта (трещин).



Рис. 4. Определение границ объекта

С использованием утилиты `opencv_createsamples` был создан каскад для распознавания трещин, и его работа была проверена на изображении с трещиной (рисунки 6, 7).

Полезная модель была использована для отработки технологических этапов внедрения компьютерного зрения в процесс визуального мониторинга зданий и сооружений. Эти этапы включали в себя следующее:

- обнаружение трещин на изучаемых объектах;
- определение смещения структурных элементов сооружения относительно друг друга и относительно условной системы координат на основе видеоданных;
- определение границ объекта с использованием алгоритма Кенни;
- оценка положения и ориентации объекта относительно камеры.

Преимуществом визуального мониторинга с применением компьютерного зрения является то, что он дополняет информацию о состоянии объекта данными о его внешней структуре, наличии дефектов, деформа-

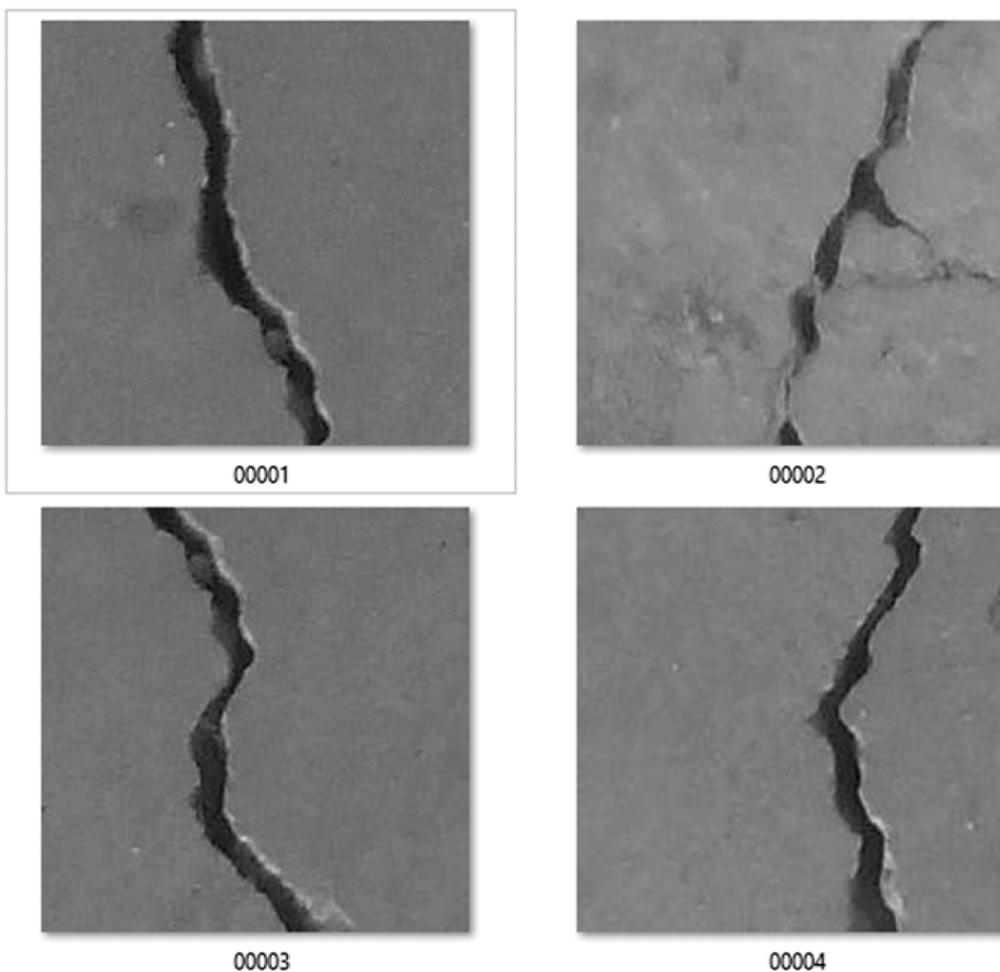


Рис. 5. Выборка из положительных фотографий, на которых присутствует изображение трещины

циях и изменении геометрических характеристик. Это позволяет сделать выводы о взаимосвязи между изменением состояния объекта и воздействием внешних факторов [1, 2].



Рис. 6. Изображение с видимой трещиной

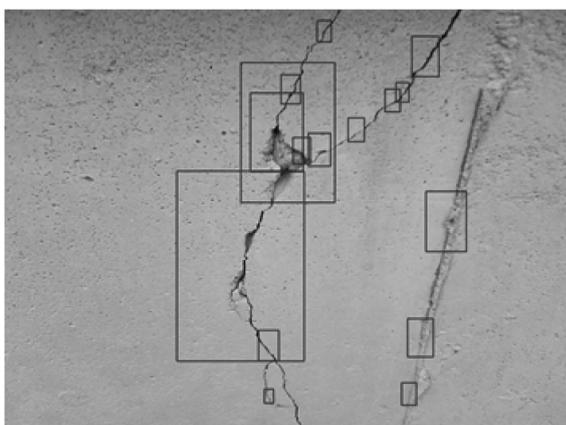


Рис. 7. Результат работы программного модуля для определения трещин на объекте

### Дискуссия

На данный момент существуют примеры в области фотограмметрии, где используются технологии компьютерного зрения для наблюдения за трещинами и деформационными швами в строительных конструкциях [4]. Тем не менее, разработки, представленные авторами, отличаются от фотограмметрических систем мониторинга технологическими решениями, которые позволяют в режиме реального времени не только отслеживать состо-

яние трещин, но и следить за всей внешней структурой объекта, обнаруживать дефекты, деформации и изменения геометрических характеристик конструкции объекта [8, 9].

Результаты данного исследования были представлены на научном международном форуме «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» в Новосибирске. В ходе дискуссии было отмечено, что использование технологий компьютерного зрения в сочетании с автоматизированными системами мониторинга состояния зданий и инженерных сооружений позволит дополнить данные, полученные с помощью автоматизированных систем, информацией из визуального мониторинга в режиме реального времени. Интеллектуальная обработка данных из визуального мониторинга позволит выявлять причинно-следственные связи между изменениями состояния объекта и воздействием внешних факторов.

### Заключение

После апробации аппаратно-программного комплекса для визуального мониторинга объектов на лабораторном стенде, было выявлено, что сочетание компьютерного зрения и автоматизированных систем мониторинга (СМИК) позволяет осуществлять непрерывный визуальный мониторинг объекта в реальном времени. Это включает в себя анализ изображений с использованием интеллектуальных алгоритмов обработки данных, а также выявление и классификацию дефектов строительных конструкций, анализ количественных изменений параметров объекта.

Компьютерное зрение оказывается эффективным средством для постоянного мониторинга состояния здания или инженерного сооружения как с внешней, так и с внутренней стороны. Экспериментальное исследование точности съемки объекта фотокамерой позволило сделать вывод о зависимости точности определения координат пикселей в условной пространственной системе координат от разрешения фотокамеры, расстояния от фотокамеры до объекта и уровня освещения. Также следует отметить, что увеличение расстояния между фотокамерой и объектом приводит к уменьшению точности измерений, требуя использования фотокамеры с более высоким разрешением в таких случаях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бугакова, Т.Ю., Шарапов А.А. Применение мультиагентного подхода для определения пространственно-временного состояния техногенных систем // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. — Новосибирск, 2016. — С. 189–194.
2. Бугакова, Т.Ю., Шарапов А.А. Алгоритмы функционирования мультиагентной системы определения пространственно-временных состояний объекта // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. — Новосибирск, 2017. — С. 3–7.
3. Войнаровский А.Е., Леонтьева А.Б., Тюрин С.В., Тихонов С.Г., Артемьева О.В. Фотограмметрическая технология дистанционного высокоточного 3d-мониторинга трещин и деформационных швов в зданиях и сооружениях // Архитектурная фотограмметрия. — URL: <https://photogrammetria.ru/321-fotogrammetricheskaja-tehnologija-distancionnogo-vysokotochnogo-3d-monitoringa-treschin-i-deformacionnyh-shvov-v-zdaniyah-i-sooruzhenijah.html>.

4. Градостроительный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 25.12.2018).
5. ГОСТ Р 22.1.12-2005 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений.
6. Середович В.А., Студенков С.С., Ткачева Г.Н. Опыт создания стационарных систем геодезического деформационного мониторинга при эксплуатации инженерных объектов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. — Новосибирск, 2006. — С. 120–124.
7. Хорошилова, Ж.А., Хорошилов В.С. Деформационный мониторинг инженерных объектов как составная часть геодезического мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. — Новосибирск, 2012. — С. 77–80.
8. Barazzetti L., Scaioni M. (2009) Crack measurement: development, testing and applications of an automatic image-based algorithm. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2009.02.004.
9. Sarker, M.M., Ali, T.A., Abdelfatah, A., Yehia, S., and Elaksher, A.: A (2017) cost-effective method for crack detection and measurement on concrete surface. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W8-237-2017.

---

© Бугакова Татьяна Юрьевна (kaf.pi@ssga.ru); Шарапов Артем Андреевич (sharapov\_artem@mail.ru);  
Кацко Станислав Юрьевич (s.katsko@ssga.ru); Басаргин Андрей Александрович (abaspirant@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»