

Для цитирования: Д.А. Гура, Н.М. Кирюникова, Э.Д. Лесовая, Н.И. Хушит, А.П. Павлюкова. Программное обеспечение системы наблюдений за состоянием объектов инфраструктуры. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(3): 60-70. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-60-70

For citation: D.A. Gura, N.M. Kiryunikova, E.D. Lesovaya, N.I. Husht, A.P. Pavlyukova. Software for monitoring the state of infrastructure facilities. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (3): 60-70. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-60-70

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT**

УДК 303.732.4

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-3-60-70

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОСТОЯНИЕМ
ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Д.А. Гура, Н.М. Кирюникова, Э.Д. Лесовая, Н.И. Хушит, А.П. Павлюкова

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2, Россия*

Резюме. Цель. Целью данной работы является разработка концепции системы наблюдения за состоянием объектов инфраструктуры с применением технологии трёхмерного лазерного сканирования и обработки полученных данных с помощью специализированного программного обеспечения. **Метод.** Основополагающими методами при проведении исследования являются аналитический метод, заключающийся в обзоре и системном анализе существующих способов мониторинга зданий и сооружений и разработке на их основе технологической схемы наблюдения за объектами инфраструктуры; метод эмпирического системного анализа; инструментальный метод, представленный проведением полевой съемки в рамках периодического деформационного геодезического мониторинга с помощью наземного лазерного сканера Leica ScanStation C10 для получения исходной пространственной информации. Объектом исследования является искусственное дорожно-транспортное сооружение в г. Краснодаре (Тургеневский мост). Предмет исследования - целесообразность применения периодического деформационного геодезического мониторинга и базирующейся на его основе системы наблюдений за состоянием объектов инфраструктуры. **Результат.** Результатом исследования является разработка концепции системы периодического мониторинга за состоянием инфраструктурных объектов с выявлением характера и степени протекающих в них в процессе эксплуатации деформационных процессов, базирующейся на применении технологии трехмерного наземного лазерного сканирования. **Вывод.** Применение системы наземного лазерного сканирования за счет своего быстродействия и высокой точности обеспечивает получение максимально полной информации о контроле характера и видах деформационных изменений сканируемых объектов с целью автоматизации процесса мониторинга в рамках обеспечения их безопасности.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края Российской Федерации в рамках научного проекта № 19-48-233020 «Исследование возможности использования комплекса трехмерного лазерного сканирования для мониторинга и обеспечения безопасности инфраструктурных объектов в городе Краснодаре и Краснодарском крае».

Ключевые слова: система наблюдения за состоянием объектов, геодезический мониторинг, объекты инфраструктуры, виды деформаций, наземное лазерное сканирование

SOFTWARE FOR MONITORING THE STATE OF INFRASTRUCTURE FACILITIES

D.A. Gura, N.M. Kiryunikova, E.D. Lesovaya, N.I. Husht, A.P. Pavlyukova

*Kuban State Technological University,
2 Moskovskaya St., Krasnodar 350072, Russia*

Abstract. Objective. The purpose of this work is to develop the concept of a system for monitoring the state of infrastructure facilities using 3D laser scanning technology and processing the obtained data using specialized software. **Methods.** The primary methods used in this study are the analytical method, which consists in reviewing and system analysis of existing methods for monitoring buildings and structures and developing a technological scheme for monitoring infrastructure objects based on them, the method of empirical system analysis, and the instrumental method presented by conducting field surveys in the framework of periodic strain geodetic monitoring using a Leica ScanStation C10 ground laser scanner to obtain initial spatial information. The object of research is an artificial road transport structure in Krasnodar (Turgenevsky bridge). The subject of the study is the feasibility of using periodic strain geodetic monitoring and the system monitoring the state of infrastructure facilities. **Results.** The research result is the development of a concept for a system for the periodic state monitoring of infrastructure facilities with the identification of the nature and degree of strain processes occurring in them during operation, based on the use of 3D ground laser scanning technology. **Conclusion.** The use of a ground laser scanning system, due to its speed and high accuracy, provides the complete information about the control of the nature and types of strain changes of scanned objects in order to automate the monitoring process to ensure their safety.

Acknowledgement. The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Administration of the Krasnodar Region of the Russian Federation within the framework of the scientific project No. 19-48-233020 "Study of the possibility of using a three-dimensional laser scanning complex for monitoring and ensuring the safety of infrastructure facilities in the city of Krasnodar and Krasnodar Territory."

Key words: facility condition monitoring system, geodetic monitoring, infrastructure facilities, strain types, ground laser scanning

Введение. Основное назначение системы наблюдений за состоянием объектов инфраструктуры состоит в исключении рисков обрушения и обеспечении безопасной эксплуатации инфраструктурного объекта. В целом, анализ технического состояния объектов инфраструктуры позволяет своевременно определить зарождающийся и развивающийся процесс деформации, выявить причины его появления и спрогнозировать процесс развития с целью принятия превентивных мер [1].

Организация системы наблюдения за состоянием объектов инфраструктуры – одна из наиболее важных и наукоемких задач в строительстве. Причиной этому являются сложности, связанные с проведением натурного и инструментального обследования отдельных труднодоступных конструктивных элементов, в том числе в составе аварийно опасных объектов инфраструктуры при необходимости прогнозирования оставшегося срока его эксплуатации до частичного или полного обрушения с исключением вероятности возникновения опасности для жизни и здоровья людей. Необходимо отметить, что объекты инфраструктуры обеспечивают нормальное функционирование и эксплуатацию населением жизненно необходимых объектов, которые можно классифицировать следующим образом: жилые дома; дошкольные образовательные учреждения; высшие учебные заведения; розничные предприятия (магазины, супермаркеты); заведения общественного питания; медицинские учреждения; финансовые учреждения; строительные и транспортные сооружения (мосты, тоннели, объекты метрополитена); социально-культурные объекты (театры, культурные центры) и др. [2].

Постановка задачи. Для обеспечения безопасной эксплуатации вышеперечисленных объектов необходима система наблюдений за их состоянием. В настоящее время, классическая технология мониторинга базируется на применении геодезических приборов, таких как электронные тахеометры. Методика их использования заключается в фиксации большого количе-

ства точек на объекте и в последовательном наведении на каждую из них с попутным выполнением измерений вручную или в автоматизированном режиме в случае, если прибор роботизирован. Необходимо отметить, что существенными недостатками электронного тахеометра как инструмента проведения периодического мониторинга объектов инфраструктуры является значительное влияние погодных условий (дождь, освещенность и т.п.), длительность проведения цикла мониторинга и невозможность получения информации о деформационных процессах в тех участках, где не планировалось устанавливать марки для наблюдения изначально [3].

С целью устранения указанных недостатков, в данном исследовании предлагается использование технологии наземного лазерного сканирования, позволяющего в автоматизированном режиме обеспечить выявление деформационных процессов на исследуемом объекте (изменение геометрических параметров объекта в процессе эксплуатации) [4].

Контроль над состоянием и развитием деформационных процессов может быть достигнут путем решения следующих задач:

- обеспечение безопасного и своевременного обнаружения на ранней стадии изменений состояния конструкций, которые могут привести к переходу объектов в ограниченное эксплуатационное или аварийное состояние (в том числе за счет применения технологии трехмерного лазерного сканирования);
- отслеживание степени и скорости изменения технического состояния объекта и принятие экстренных мер по предотвращению его обрушения в случае необходимости (периодический мониторинг), в том числе путем принятия мер по устранению возникающих факторов, приводящих к ухудшению технического состояния объектов инфраструктуры [5].

Возвращаясь к технологии трехмерного лазерного сканирования в составе системы наблюдения за состоянием объектов инфраструктуры, необходимо отметить, что она будет иметь следующий общий концептуальный вид (рис.1).



Рис.1. Структура системы наблюдения за объектами инфраструктуры
Fig. 1. Structure of the infrastructure monitoring system

Такая система наблюдений за состоянием зданий и сооружений будет направлена на решение следующих задач:

- обеспечение сохранности объектов инфраструктуры при эксплуатации и проведении ремонтных работ;

- устранение риска разрушения и обрушения здания при строительстве и его дальнейшей эксплуатации;
- оценка и анализ текущего состояния объектов инфраструктуры;
- предотвращение незапланированных расходов при реконструкции объекта;
- анализ состояния не только наблюдаемого инфраструктурного объекта, но и объектов, которые находятся в непосредственной близости от данного объекта, и информация о котором получена в ходе наблюдений за исследуемым объектом [6].

Этапы проведения наблюдений за объектами инфраструктуры:

Функционирование классической системы наблюдения за объектами инфраструктуры состоит из двух этапов – подготовительного и рабочего.

Подготовительный этап включает в себя:

- анализ исходной информации по результатам обследования объектов инфраструктуры;
- установку маяков и датчиков обнаружения трещин;
- определение степени и вида деформаций объектов инфраструктуры;
- установку геодезических отметок на цоколе с привязкой к геодезической сети [7].

Рабочий этап включает в себя:

- контроль состояния маяков и датчиков на трещинах;
- геодезические измерения деформаций объектов инфраструктуры [8].

Система наблюдения за объектами инфраструктуры проводится для:

- предотвращения ухудшения состояния объекта;
- своевременного выявления изменения состояния объекта;
- обеспечения безопасной эксплуатации объекта, выражающегося своевременным выявлением деформаций и/или дефектов;
- контроля степени и скорости изменения технического состояния объекта и принятия при необходимости экстренных мер по предотвращению его обрушения [9].

На каждом этапе функционирования системы наблюдения за состоянием объектов инфраструктуры проводятся следующие работы:

1) определяются текущие динамические параметры объекта инфраструктуры и сравниваются с параметрами, измеренными на предыдущем этапе;

2) фиксируется степень изменения ранее выявленных и вновь появившихся дефектов и повреждений конструкций объекта;

3) проводятся повторные измерения деформаций, кренов, прогибов и т.д. и сравниваются со значениями аналогичных величин, полученных на предыдущем цикле;

4) анализируется полученная на предыдущих этапах информация о параметрах инфраструктурного объекта и делается вывод о его текущем техническом состоянии;

5) анализируется степень и характер протекающих в инфраструктурном объекте во время эксплуатации деформационных процессов, а также необходимость принятия тех или иных мер по предотвращению их дальнейшего развития [10].

Необходимо отметить, что в настоящее время экспертным путем выработаны следующие сроки периодичности проведения мониторинга объектов на основании текущих параметров их технического состояния:

1) если по результатам предварительной оценки категория технического состояния объекта соответствует исправному или работоспособному, то повторные измерения статических и динамических параметров проводятся через два года;

2) если по результатам повторных измерений изменения статических и динамических параметров не превышают 10%, то следующее измерение проводится еще через два года;

3) если по результатам предварительной оценки категория технического состояния объекта соответствует ограниченному эксплуатационному или аварийному состоянию, либо при повторном измерении статических и динамических параметров объекта результаты из-

мерений отличаются более чем на 10 %, то техническое состояние такого объекта подлежит обязательной внеплановой проверки [11-13].

Методы исследования. Предлагаемая к использованию для целей мониторинга технология трехмерного наземного лазерного сканирования обладает рядом преимуществ, по сравнению с классической системой мониторинга (рис.2).



Рис.2. Преимущества наземного лазерного сканирования

Fig. 2. Advantages of ground-based laser scanning

Наряду с приведенными преимуществами (рис.2), наземное лазерное сканирование на данный момент обладает следующими существенными недостатками: специальное техническое обслуживание; дорогостоящее программное обеспечение; высокая стоимость геодезического прибора; необходимость привлечения к работам квалифицированного специалиста [14].

Тем не менее, несмотря на указанный перечень недостатков, по отношению к конструктивно сложным и социально значимым объектам инфраструктуры, таким как мосты, тоннели, уникальные спортивные сооружения, использование лазерного сканирования оправдано за счет получаемого в короткие сроки колоссального объема данных для дальнейшего анализа состояния указанных объектов и обеспечения надежности и безопасности их эксплуатации [15].

Принцип действия системы наземного лазерного сканирования заключается в получении информации об окружающих объектах (в том числе о видах деформаций и дефектов) в форме облаков точек. Полученные облака точек на следующем этапе сшиваются при помощи специализированного программного обеспечения (например, например, Leica Cyclone Register), затем по полученной трехмерной модели объекта инфраструктуры вычисляются параметры, необходимые для выявления мест локализации и степени распространения протекающих в объекте деформационных процессов.

Так же, как и классическая система мониторинга объектов инфраструктуры с применением электронного тахеометра, технология наблюдения за состоянием инфраструктурных объектов путем использования наземного лазерного сканирования подразделяется на два этапа: полевой и камеральный [16, 17].

Полевой этап заключается в работе на станции сканирования и состоит из следующих действий:

- установка сканера в проекционной точке на штатив, высота которого устанавливается таким образом, чтобы обеспечить максимальный охват интересующей области (объекта) на одном сканировании;

- размещение вокруг сканера специальных марок, являющихся точками рабочей съемки обоснования;
- сканирование местности и объектов вокруг точки стояния сканера (если сканер оснащен цифровой камерой, то выполняется также цифровая фотосъемка);
- сканирование специальных марок с максимальным разрешением;
- перемещение сканера в следующую точку сканирования и повтор указанных выше пунктов [18].

Камеральный этап заключается в обработке данных, полученных в ходе лазерного сканирования, в том числе путем устранения «шумов» и так называемого «мусора» для формирования с помощью специализированного программного обеспечения высокоточной трехмерной модели.

В целом, метод наблюдения за состоянием объектов инфраструктуры с использованием системы трёхмерного лазерного сканирования значительно эффективнее классического, так как лазерное сканирование делает возможным выполнение сплошной съемки с высокой скоростью и, как уже было отмечено ранее, позволяет за малое время осуществлять большой объем работ по анализу состояния различных инфраструктурных объектов.

Рассмотрим этап полевой съёмки на примере проведения периодического деформационного геодезического мониторинга с помощью наземного лазерного сканера Тургеневского моста (рис.3) в г. Краснодаре. Задача исследования состояла в выявлении отклонений текущих геометрических параметров моста в процессе эксплуатации от их изначальных проектных значений.



Рис.3. Выполнение измерений сканером Leica ScanStation C10

Fig. 3. Performing measurements with the Leica ScanStation C10 scanner

Для сканирования на этапе полевой съемки использовался наземный лазерный сканер Leica ScanStation C10. В начале работы было произведено визуальное обследование объекта и рекогносцировка прилегающей к нему территории для планирования размещения станций стояния сканера (в данном случае сканирование моста было произведено с семи станций) и связующих марок (количество связующих марок было равно трем).

Применяемые в процессе сканирования шестидюймовые (15,24 см) круглые марки представляли собой мишени со специальным светоотражающим покрытием. На каждой станции осуществлялись следующие сопутствующие сканированию процедуры, такие как: установка сканера, его нивелирование, тестирование, создание при необходимости панорамной фотографии объекта и прилегающей местности, непосредственно само сканирование и распознавание марок.

По времени весь процесс сканирования на каждой станции стояния занимал от 5 минут до 30 минут в зависимости от заданной величины дискретности производимой съемки и ширины области охвата сканирования. Так, при сканировании моста научно-исследовательской группой Кубанского государственного технологического университета была задана дискрет-

ность 5x5 см, выдержка – 64 с., разрешение 1920 x 1920 пикселей, область охвата сканирования составляла 360°x270°.

Обсуждение результатов. Результатом производства полевого этапа наземного лазерного сканирования Тургеневского моста стало облако точек (рис.4).

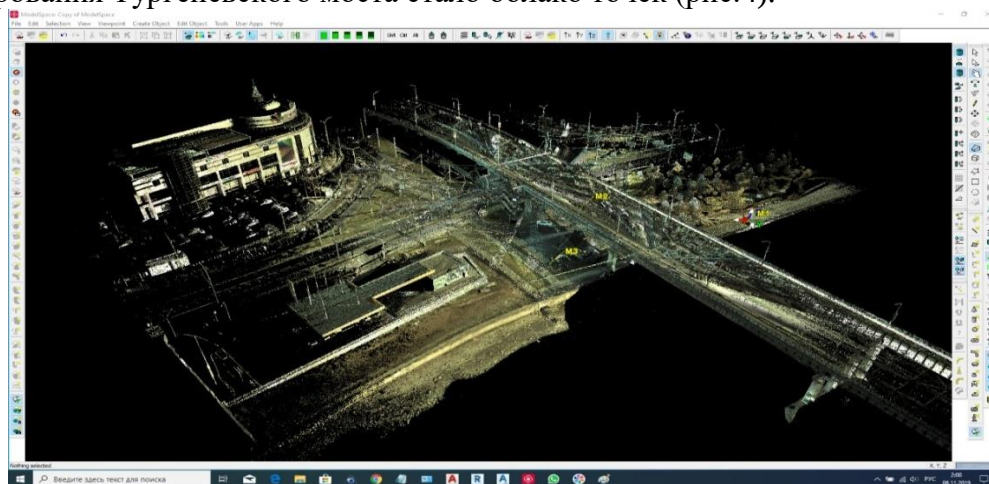


Рис.4. Облако точек, полученное в результате сканирования Тургеневского моста в г. Краснодаре

Fig. 4. Point cloud obtained from scanning the Turgenev bridge in Krasnodar

С использованием полученной пространственной информации, представленной в виде облаков точек, был реализован второй этап лазерного сканирования, заключающийся в сшивке в специализированном программном обеспечении Leica Cyclone облаков точек и последующем создании трехмерной модели моста для решения прикладных задач. В частности, в качестве одной из таких задач выступило измерение значений отклонений отдельных геометрических параметров указанного сооружения на предмет их колебаний в диапазонах допустимых значений, гарантирующих безопасность моста в процессе его эксплуатации.

В рамках указанного исследования были определены значения прогибов 4-х несущих балок моста, представленных на рис. 5.

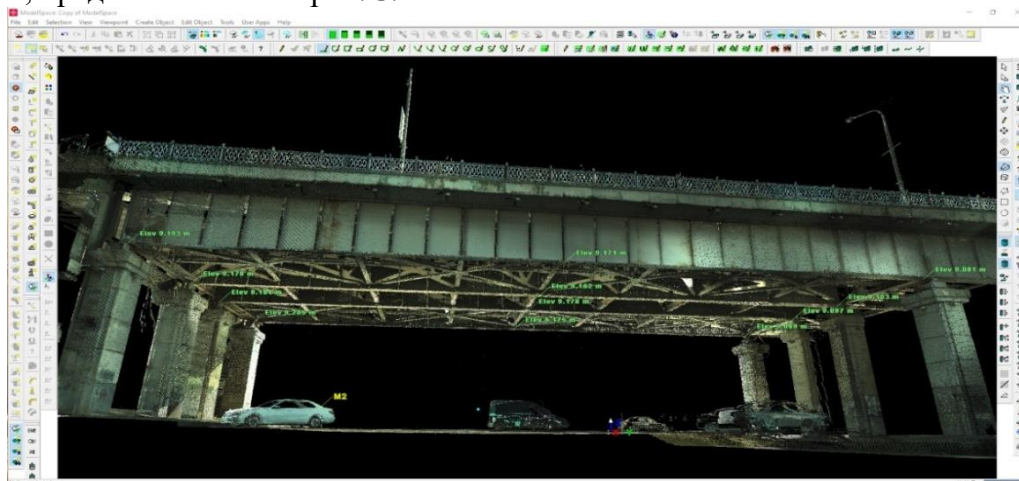


Рис. 5. Измерение высот балок по принципу трех измерений

Fig.5. Measurement of beam heights according to the principle of three dimensions

Для расчета прогибов балок по трехмерной модели моста были взяты измерения высот их расположения над поверхностью земли в местах стыка балок с несущими колоннами моста и в середине пролета между ними. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1. Измерение значений прогибов балок Тургеневского моста
Table 1.Measurement of the deflection values of the beams of the Turgenevsky bridge

№ балки Beam No.	Начало Start	Середина Mid	Конец End	Величина прогиба Deflection Amount
1	9,193	9,171	9,081	-0,034
2	9,178	9,162	9,103	-0,022
3	9,184	9,178	9,097	-0,038
4	9,205	9,175	9,089	-0,028

Исходя из представленных значений, прогибы несущих балок моста колеблются в пределах значений 2-4 см.

В соответствии с пунктом 5.43 СП 35.13330.2011. «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84» вертикальные упругие прогибы пролетных строений, вычисленные при действии подвижной временной вертикальной нагрузки для автодорожных мостов не должны превышать значения $\frac{1}{400}l$, где l – расчетная длина пролета, м.

Рассчитаем предельно допустимое значение прогиба для пролета Тургеневского моста, при условии, что расчетная длина пролета $l = 48$ м и произведем сравнение полученных значений прогибов балок с допустимым значением.

$$\rho = \frac{1}{400}l = \frac{1}{400} \cdot 4800 = 12 \text{ см}$$

$$\rho_1 = 3,4 \text{ см} < \rho$$

$$\rho_2 = 2,2 \text{ см} < \rho$$

$$\rho_3 = 3,8 \text{ см} < \rho$$

$$\rho_4 = 2,8 \text{ см} < \rho$$

Опираясь на произведенные расчеты, можно сделать вывод о том, что по такому геометрическому параметру, как прогиб несущих балок, мост удовлетворяет требованиям безопасности.

Вывод. Выполненное исследование позволяет сделать вывод, что метод анализа состояния объектов инфраструктуры с помощью трехмерного лазерного наземного сканирования является достаточно перспективным и эффективным. Сканирование делает возможной сплошную съемку различных объектов инфраструктуры со значительной скоростью и позволяет за малое время осуществлять значительный объем измерений с высокой точностью и информативностью. Рассмотрено использование системы наземного лазерного сканирования, как одного из методов наблюдения за деформациями и дефектами, описаны этапы работ, выполняющиеся в процессе мониторинга, допустимые параметры для контроля состояния объекта инфраструктуры, преимущества лазерного сканирования, процесс проведения полевой съемки на примере Тургеневского моста в г. Краснодаре и выполнение обработки данных трехмерного лазерного сканирования в специализированном программном обеспечении.

Можно отметить несколько преимуществ системы наземного лазерного сканирования:

1. Мгновенная трехмерная визуализация;
2. Технология процесса выполнения работ интуитивно понятна;
3. Высокая точность;
4. Быстрый сбор данных;
5. Выявление деформаций на ранних стадиях эксплуатации объекта;
6. Информативность [19].

Материальные затраты по сбору данных и моделированию объектов инфраструктуры методами наземного лазерного сканирования на небольших участках и объектах значительно

превышают классические методы съемки. На сегодняшний день преимущества НЛС позволяют избежать дополнительных расходов на этапах проектирования и эксплуатации объектов инфраструктуры [20].

Более того, ввиду постоянного развития научно-технического прогресса, ожидается снижение стоимости оборудования для сканирования, что в ближайшие годы сделает его более применимым даже для менее значимых инфраструктурных объектов. Важно следить за состоянием объектов инфраструктуры, так как анализ технического состояния природных и искусственных сооружений в наши дни является необходимостью и неотъемлемой частью системы обеспечения безопасности. Регулярное сканирование (объектов инфраструктуры) позволит выявить деформации на ранних стадиях эксплуатации, что поспособствует предотвращению аварийных ситуаций на инфраструктурных объектах.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края Российской Федерации в рамках научного проекта № 19-48-233020 «Исследование возможности использования комплекса трехмерного лазерного сканирования для мониторинга и обеспечения безопасности инфраструктурных объектов в городе Краснодаре и Краснодарском крае».

Библиографический список:

1. Гура Д.А., Дубенко В.Ю., Бучацкий П.Ю., Марковский И.Г., Хушт Н.И. Мониторинг сложных объектов инфраструктуры // Вестник Адыгейского государственного университета. Раздел «Технические науки». Выпуск 4 (251) 2019.
2. Хашпакияз Н.О., Грибкова И.С. Применение лазерного сканирования в землеустройстве и кадастрах. Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2017. №9. С. 27-35.
3. Шевченко, Г. Г. Анализ способов проведения геодезического мониторинга зданий и сооружений [Текст] / Г. Г. Шевченко, Д. А. Гура // Современные исследования основных направлений гуманитарных и естественных наук: сборник научных трудов международной научно-теоретической конференции / Под ред. И. Т. Насретдинова; Казанский кооперативный институт (филиал) АНО ОВО ЦС РФ «Российский университет кооперации». Казань, 2017. С. 150–153.
4. A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure / C. Koch, K. Georgieva, V. Kasireddy, B. Akinci, P. Fieguth // Advanced Engineering Informatics. 2015. Vol. 29, No. 2. pp. 196–210.
5. Емельянов М.В. Информационная технология проектирования систем мониторинга зданий и сооружений // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2019.- Т.46, №1. – С. 123-131.
6. Эркал Б.Г., Джером Ф.Хаджар Обнаружение и количественное определение поверхностных повреждений на основе лазера с использованием предсказанных свойств поверхности // Автоматизация в строительстве. 2017. Т.83. С.285-302.
7. Kong E, Achikgoz S., Pendry S., Riley E., Deyong M. displaying deformations and displaying movements of masonry arch bridges using point cloud data // Artificial structures. Vol. 173. 2018. pp. 530-545.
8. Kim B., Cho S. Automated vision-based detection of cracks on concrete surfaces using a deep learning technique // Sensors. 2018. Vol. 18, No. 10. pp. 3452.
9. Сидоренко Ю.А., Цветкова Н.Ю. Проблемы мониторинга состояния объектов транспортной инфраструктуры // Интерактивная наука. 2016. №2. С.151-154.
10. Дерюгин П.В. Богачёва Л.А. Перспективное развитие систем диагностики, мониторинга и обслуживания объектов транспортной инфраструктуры // Материалы IV Международной студенческой научно-практической конференции. 2016. С. 14-16.
11. Feng D., Feng M.Q. Computer vision for SHM of civil infrastructure: From dynamic response measurement to damage detection – A review // Engineering Structures. 2018. Vol. 156. pp. 105–117.
12. Шевченко А.А., Буртасова А.Н., Глазков Р.Е. О необходимости выполнения постоянного геодезического мониторинга // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2016. №10. С.39-48.
13. Lutovinov A.A. Providing information connectivity over Russian territory using remote sensing systems of the earth / A.A. Lutovinov, E.A. Lupyan, M.A. Pogosyan, A.O.Shemyakov // Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2019. Vol. 89, № 2. pp. 190-195. DOI: 10.1134/S1019331619020114.
14. Spencer B., Hoskore V., Narazaki Y. Advances in Computer Vision-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring. 2019. Vol. 5, No. 2. pp. 199–222.
15. Акопян Г.Т., Кирюникова Н.М., Лесовая Э.Д., Гура Д.А. Опыт использования ПО «Cyclone» для моделирования и определения смещения объекта в пространстве // Девелопмент и инновации в строительстве/ Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ» 2020 г.
16. Грибкова Л.А., Морозов А.А. Особенности применения современных геодезических приборов и технологий при строительстве зданий и сооружений // Научные труды кубанского государственного технологического университета. 2016. №5. С. 59-69.
17. Шахрамьян А.М., Колотовичев Ю.А., Мозжухин Д.А. Способ мониторинга технического состояния строительных объектов и система мониторинга технического состояния строительных объектов // Патент.
18. Дубенко Ю.В., Гура Д.А., Шевченко Г.Г., Дышкант Е.Е., Хушт Н.И. Three-dimensional laser scanning for safety of transport infrastructure with application of neural network algorithms and methods of artificial intelligence // Транспортное

строительство в холодных регионах (TRANSOILCOLD 2019) : сб. тр. междунар. науч.-технич. конф. – Санкт-Петербург: Федеральное агентство железнодорожного транспорта; ФГБОУ ВО "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I", 2019. С. 185-190.

19. Ерасыл К.К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. С.27-30.

20. Дручинин С.С. О мониторинге объектов недвижимости: история вопроса, предлагаемая технология ведения // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. С. 78–81.

References:

1. Gura D.A., Dubenko V.YU., Buchatskiy P.YU., Markovskiy I.G., Khusht N.I. Monitoring slozhnykh ob"yektov infrastruktury//Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Razdel «Tekhnicheskiye nauki». Vypusk 4 (251) 2019. [Gura D.A., Dubenko V. Yu., Buchatskiy P. J., Markovskiy, I. G., Khusht N. I. Monitoring a complex infrastructure//Bulletin of the Adygeya state University. Section "Technical Sciences". Issue 4 (251) 2019.(In Russ)]

2. Khashpakyants N.O., Gribkova I.S. Primeneniye lazernogo skanirvaniya v zemleustroytve i kadastrakh. Elektronnyy setevoy politematicheskyy zhurnal «Nauchnyye trudy KubGTU». 2017. №9. S. 27-35. [Khashpakyants N. O., Gribkova I. S. Application of laser scanning in land management and cadastre. Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubSTU", 2017, No. 9, pp. 27-35 (In Russ)]

3. Shevchenko, G. G. Analiz sposobov provedeniya geodezicheskogo monitoringa zdaniy i sooruzheniy [Tekst] / G. G. Shevchenko, D. A. Gura // Sovremennyye issledovaniya osnovnykh napravleniy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno teoreticheskoy konferentsii / Pod red. I. T. Nasretidinova; Kazanskiy kooperativnyy institut (filial) ANO OVO TSS RF «Rossiyskiy universitet kooperatsii». Kazan', 2017 – S. 150–153. [Shevchenko, G. G. Analysis of methods for conducting geodetic monitoring of buildings and structures [Text] / G. G. Shevchenko, D. A. Gura // Modern research of the main directions of the Humanities and natural Sciences: collection of scientific papers of the international scientific and theoretical conference / edited by I. T. Nasretidinova; Kazan cooperative Institute (branch) ANO OVO CA RF "Russian University of co-operation". Kazan: [b. I.], 2017. pp. 150-153.(In Russ)]

4. A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure / C. Koch, K. Georgieva, V. Kasireddy, B. Akinci, P. Fieguth // Advanced Engineering Informatics. 2015. Vol. 29, No. 2. pp. 196–210.

5. Yemel'yanov M.V. Informatsionnaya tekhnologiya proyektirovaniya sistem monitoringa zdaniy i sooruzheniy // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2019.T.46, №1. S. 123-131. [Emelyanov M. V. Information technology for designing monitoring systems for buildings and structures / / Herald of the Dagestan State Technical University. Technical Sciences, 2019, Vol. 46, No. 1, pp. 123-131(In Russ)]

6. Erkal B.G., Dzherom F.Khadzhar Obnaruzheniye i kolichestvennoye opredeleniye poverkhnostnykh povrezhdeniy na osnove lazera s ispol'zovaniyem predskazannykh svoystv poverkhnosti // Avtomatizatsiya v stroitel'stve. – 2017. T.83. S.285-302. [Erkal B. G., Jerome F.Hajar Detection and quantification of surface damage based on a laser using predicted surface properties // Automation in construction. 2017. Vol. 83. pp. 285-302 (In Russ)]

7. Kong E, Achikgoz S., Pendry S., Riley E., Deyong M. displaying deformations and displaying movements of masonry arch bridges using point cloud data // Artificial structures. Vol. 173. 2018. pp. 530-545.

8. Kim B., Cho S. Automated vision-based detection of cracks on concrete surfaces using a deep learning technique // Sensors. 2018. Vol. 18, No. 10. pp. 3452.

9. Sidorenko YU.A., Tsvetkova N.YU. Problemy monitoringa sostoyaniya ob"yektov transportnoy infrastruktury // Interaktivnaya nauka. 2016. №2. S.151-154. [Sidorenko Yu. A., Tsvetkova N. Yu. Problems of monitoring the state of transport infrastructure facilities // Interactive science, 2016, No. 2, pp. 151-154. (In Russ)]

10. Deryugin P.V. Bogachova L.A. Perspektivnoye razvitiye sistem diagnostiki, monitoringa i obsluzhivaniya ob"yektov transportnoy infrastruktury // Materialy IV Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2016. S. 14-16. [Deryugin P. V. Bogacheva L. A. Perspective development of systems of diagnostics, monitoring and maintenance of transport infrastructure objects / / Materials of the IV International student scientific and practical conference. 2016. pp. 14-16. (In Russ)]

11. Feng D., Feng M.Q. Computer vision for SHM of civil infrastructure: From dynamic response measurement to damage detection – A review // Engineering Structures. 2018. Vol. 156. pp. 105–117.

12. Shevchenko A.A., Burtasova A. N., Glazkov R.Ye. O neobkhodimosti vypolneniya postoyannogo geodezicheskogo monitoringa // Elektronnyy setevoy politematicheskyy zhurnal «Nauchnyye trudy KubGTU». 2016. №10. – S.39-48. [Shevchenko A. A., Burtasova A. N., Glazkov R. E. on the need to perform constant geodetic monitoring / / Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubSTU". 2016. №10. pp. 39-48.(In Russ)]

13. Lutovinov A.A. Providing information connectivity over Russian territory using remote sensing systems of the earth / A.A. Lutovinov, E.A. Lupyan, M.A. Pogosyan, A.O.Shemyakov // Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2019. Vol. 89, No 2. pp. 190-195. DOI: 10.1134/S1019331619020114.

14. Spencer B., Hoskere V., Narazaki Y. Advances in Computer Vision-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring. 2019. Vol. 5, No. 2. pp. 199–222.

15. Akopyan G.T., Kiryunikova N.M., Lesovaya E.D., Gura D.A. Opyt ispol'zovaniya PO «Syclone» dlya modelirovaniya i opredeleniya smeshcheniya ob"yektov v prostranstve // Development i innovatsii v stroitel'stve/ Elektronnyy setevoy politematicheskyy zhurnal «Nauchnyye trudy KubGTU» 2020 g. [Akopyan G. T., Kiryunikova N. M., Lesovaya E. D., Gura D. A. Experience of using the "Cyclone" SOFTWARE for modeling and determining the displacement of an object in space // Development and innovation in construction/ polythematic network Electronic magazine "Scientific works of the Kuban state University" 2020.(In Russ)]

16. Gribkova L.A., Morozov A.A. Osobennosti primeneniya sovremennykh geodezicheskikh priborov i tekhnologiy pri stroitel'stve zdaniy i sooruzheniy//Nauchnyye trudy kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016. №5. S. 59-69. [Gribkova L. A., Morozov A. A. Features of application of modern geodetic devices and technologies in the construction of buildings and structures//Scientific works of Kuban state technological University, 2016, no. 5, pp. 59-69.

17. Shakhraman'yan A.M., Kolotovichev YU.A., Mozzhukhin D.A. Sposob monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh ob"yektov i sistema monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh ob"yektov // Patent. [Shakhramanyan M. A.,

Kolomoitsev J. A., D. A. Mozhukhin Method of monitoring technical state of construction projects and monitoring the technical condition of building facilities // Patent. (In Russ)]

18. Dubenko YU.V., Gura D.A., Shevchenko G.G., Dyshkant Ye.Ye., Khusht N.I. Three-dimensional laser scanning for safety of transport infrastructure with application of neural network algorithms and methods of artificial intelligence // Transportnoye stroitel'stvo v kholodnykh regionakh (TRANSOILCOLD 2019) : sb. tr. mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. – Sankt-Peterburg: Federal'noye agentstvo zheleznodorozhnogo transporta; FGBOU VO "Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Imperatora Aleksandra I", 2019. S. 185-190. [Dubenko Yu. V., Gura D. A., Shevchenko G. G., Dyshkant E. E., Khusht N. I. Three-dimensional laser scanning for safety of transport infrastructure with application of neural network algorithms and methods of artificial intelligence // Transport construction in cold regions (TRANSOILCOLD 2019): SB. Tr.mezhdunar. scientific and technical Conf. - Saint Petersburg: Federal Agency of railway transport; Saint Petersburg state University of Railways of Emperor Alexander I, 2019, pp. 185-190. (In Russ)]

19. Yerasyl K.K. Vozmozhnosti, preimushchestva i nedostatki nazemnogo lazernogo skanirovaniya // Interekspo Geo-Sibir. 2017. S.27-30. Erasyul K. K. Opportunities, advantages and disadvantages of ground-based laser scanning // Interexpo Geo-Siberia. 2017. pp. 27-30. (In Russ)]

20. Druchinin S.S. O monitoringe ob'yektov nedvizhimosti: istoriya voprosa, predlagayemaya tekhnologiya vedeniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'yemka. 2016. S. 78–81. [Druchinin S. S. about monitoring of real estate objects: the history of the issue, the proposed technology of conducting // News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography. 2016. pp. 78-81. (In Russ)]

Сведения об авторах:

Дмитрий Андреевич Гура, кандидат технических наук, доцент, кафедра кадастра и геоинженерии; e-mail:gda-kuban@mail.ru

Надежда Максимовна Кирюникова, студентка, кафедра кадастра и геоинженерии; e-mail:kiryunikovaa2001@yandex.ru

Элина Дмитриевна Лесовая, студентка кафедра кадастра и геоинженерии; e-mail:elyaaa_129102000@mail.ru

Нафсет Инвербиевна Хушт, магистрант, кафедра кадастра и геоинженерии; e-mail:nafset-khusht@yandex.ru

Алина Петровна Павлюкова, магистрант, кафедра кадастра и геоинженерии; e-mail:pavlukova190397@mail.ru

Information about the authors:

Dmitry A. Gura, Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Cadastre and Geoengineering; e-mail:gda-kuban@mail.ru

Nadezhda M.Kiryunikova, Student, Department of Cadastre and Geoengineering; e-mail:kiryunikovaa2001@yandex.ru

Elina D. Lesovaya, Student, Department of Cadastre and Geoengineering; e-mail:elyaaa_129102000@mail.ru

Nafset I.Khusht, Master Student, Department of Cadastre and Geoengineering; e-mail:nafset-khusht@yandex.ru

Alina P.Pavlyukova, Master Student, Department of Cadastre and Geoengineering; e-mail:pavlukova190397@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 23.06.2020.

Принята в печать 10.08.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 23.06.2020.

Accepted for publication 10.08.2020.