

УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ВЫСОКОГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

С.В. ЧЕРЕМНЫХ, канд. техн. наук

Тверской государственной технической университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: cheremnykh_s.v@mail.ru

© Черемных С.В., 2021

Рассматривается вопрос применения инновационного оборудования, способного в режиме реального времени осуществлять контроль изменения состояния оснований и несущих конструкций зданий и сооружений. Оснащение объекта строительства системой мониторинга проводится впервые, при этом проработка узлов и деталей самой конструкции не выполняется. В качестве основы используются общие материалы запроектированного здания. Для системы мониторинга конструкций выделена цель ее использования и задачи, при решении которых обеспечивается сохранность и долговечность объекта строительства. Установка пунктов статистической диагностической системы выполняется на объектах тоннеля под горнолыжным склоном и металлической крыши пожарного депо и служит для предупреждения нарушения нормального состояния конструкций, а также потери их несущей способности. По результатам исследования выделяются критически важные несущие конструкции, на которые следует обратить внимание при эксплуатации объекта.

Ключевые слова: система мониторинга инженерных конструкций, несущая способность, напряженно-деформированное состояние, измерительные пункты статистической диагностической системы, мониторинг.

DOI: 10.46573/2658-5030-2021-69-78

ВВЕДЕНИЕ

В статье представлены инновационные технические решения по внедрению системы мониторинга инженерных (несущих) конструкций (СМИК) для объекта, расположенного на высокогорных территориях хребта Псехако Адлерского района города Сочи Краснодарского края, под названием «Совмещенный комплекс для проведения соревнований по лыжным гонкам и биатлону, горная олимпийская деревня».

Объект строительства представляет собой полностью автономный комплекс зданий, сооружений и инженерных сетей. Основные пассажирские и грузопотоки осуществляются посредством канатной дороги гондольного типа и проложенной через тоннель автомобильной дороги. Участок под строительство имеет многоугольную форму в плане и расположен на сложном рельефе с понижением местности с юга на север. Перепад рельефа позволяет комплексно использовать подземное пространство.

Согласно отчету по инженерно-геологическим изысканиям, основными инженерно-геологическими явлениями и процессами в пределах изучаемой площадки являются склоновые процессы и сейсмичность площадки. Однако на большей части проектируемого участка строительства при обследовании видимых следов опасных инженерно-геологических явлений и процессов не обнаружено.

Многофункциональный комплекс включает в себя главный корпус, в котором расположена инфраструктура для спортсменов и организаций соревнований; гостиничные корпуса, предназначенные для размещения 278 спортсменов; две встроенные автостоянки на 125 и 18 машиномест; трансформаторные подстанции; пожарное депо и тоннели (рис. 1).

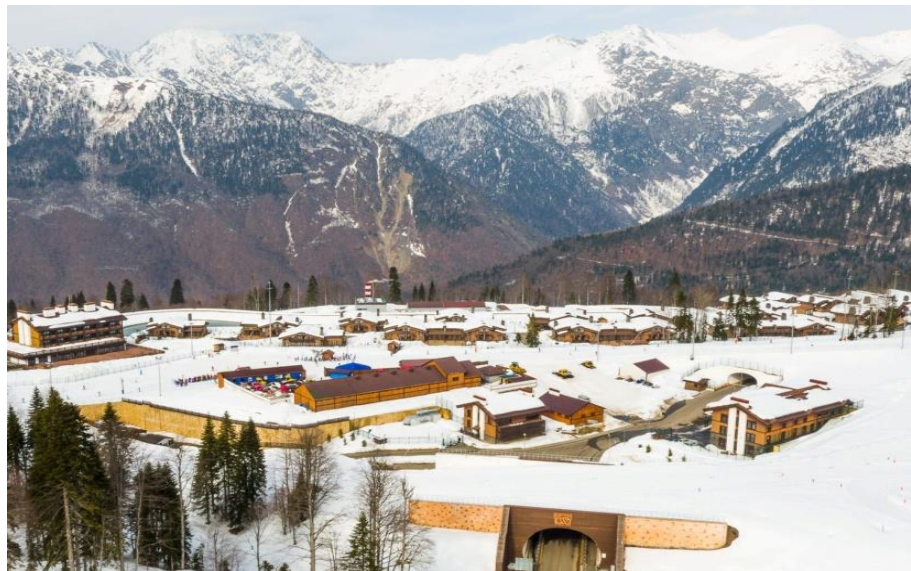


Рис. 1. Совмещенный комплекс для проведения соревнований по лыжным гонкам и биатлону, горная олимпийская деревня: общий вид объекта

В качестве примера система мониторинга инженерных конструкций будет рассмотрена для тоннеля под горнолыжным склоном, сооруженного из сборных металлических гофрированных конструкций на заранее устроенных железобетонных фундаментах, и крыши пожарного депо, выполненной из металлических стропильных и подстропильных конструкций [1–6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Система мониторинга инженерных (несущих) конструкций рассмотренных объектов является средством контроля параметров (интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния (НДС) несущих конструкций, являющихся инвариантом по отношению к внешним воздействиям), состояния инженерных конструкций зданий и сооружений. Она служит для предупреждения нарушения нормального состояния конструкций и осуществляется с целями [7–10]:

обеспечения поддержания безопасности пребывания в зданиях и сооружениях посетителей, персонала путем автоматического мониторинга интегральных характеристик НДС инженерных конструкций зданий и сооружений объекта;

своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения НДС конструкций для фактического обследования состояния несущих конструкций здания, сооружения;

своевременного информирования персонала дежурно-диспетчерской службы (ДДС) через системы мониторинга и управления инженерными системами (СМИС) объекта и органов повседневного управления единой дежурной диспетчерской службы (ЕДДС) средствами СМИС о критическом изменении НДС конструкций зданий и сооружений объекта;

обеспечения формирования заключений о состоянии несущих конструкций зданий и сооружений.

Система СМИК выполняет ряд функций, главными из которых являются [7–10]:
своевременное оповещение о критическом изменении состояния инженерных (несущих) конструкций персонала ДДС объекта и обеспечение принятия обоснованных решений по обеспечению безопасности посетителей и персонала, безопасная эксплуатация объекта;

мониторинг и регистрация в течение всего срока эксплуатации изменений состояния инженерных (несущих) конструкций;

информирование персонала ДДС объекта и ЕДДС о возможных изменениях состояния контролируемых инженерных (несущих) конструкций объекта.

Основными задачами СМИК являются следующие [7–10]:

обеспечение безопасности персонала, посетителей путем автоматического, осуществляемого в режиме реального времени мониторинга интегральных характеристик НДС несущих конструкций, своевременное информирование ДДС объекта и ЕДДС об их критическом изменении;

снижение риска утраты несущей конструкцией свойств, определяющих ее надежность, посредством своевременного обнаружения негативного изменения состояния несущих конструкций, которое может привести к их разрушению и повлечь человеческие жертвы;

организация автоматического и автоматизированного контроля и учета состояния несущих конструкций объекта.

Структура СМИК объекта

Система мониторинга инженерных (несущих) конструкций состоит из сигнальной и периодической систем мониторинга, представляющих собой автоматизированную систему, в состав которой входят технические средства, осуществляющие сбор, хранение, обработку и отображение измерений состояния несущих конструкций объекта, а именно [11–13]:

измерительные пункты статистической диагностической системы (ИП СДС);

программно-технический комплекс мониторинга состояния несущих конструкций.

Измерительные пункты статистической диагностической системы (ИП СДС) предназначены для контроля отклонений пространственной устойчивости и геометрической неизменяемости несущих конструкций. Программно-технический комплекс мониторинга состояния несущих конструкций сегмента (ПТК СМИК) служит для непрерывного автоматического мониторинга в режиме реального времени изменения значений параметров состояния несущих конструкций зданий и сооружений объекта путем получения данных от измерительных пунктов и выполняет при этом функции сигнальной и периодической подсистемы.

Функционально система мониторинга состояния несущих конструкций зданий и сооружений объекта включает в себя две подсистемы:

сигнальную подсистему;

подсистему периодического мониторинга.

Сигнальная подсистема мониторинга предназначена для осуществления в режиме реального времени непрерывного автоматического контроля параметров состояния несущих конструкций зданий и сооружений объекта через стационарные измерительные пункты с целью оповещения ДДС объекта и ЕДДС средствами СМИС в случае превышения значений измерения установочных параметров (предельно допустимых величин отклонения).

Основными задачами для сигнальной подсистемы являются:

сбор данных от датчиков, установленных в критически важных точках инженерных (несущих) конструкций здания, сооружения;

обработка и хранение полученных данных, определение интегральных характеристик и показателей изменения состояния инженерных (несущих) конструкций здания, сооружения;

информирование ДДС объекта и ЕДДС (посредством СМИС) о превышении значений установочных параметров.

В системе мониторинга состояния несущих конструкций различается два основных предельных состояния показаний измерения:

предаварийное;

нарушение нормального состояния.

Подсистема периодического мониторинга состояния инженерных (несущих) конструкций осуществляет контроль и обработку показаний измерений с целью предупреждения ситуаций, при которых значения регистрируемых параметров превысят установленные проектом предельно допустимые величины. Одним из результатов периодического мониторинга является оценка надежности здания, сооружения, т.е. возможность выполнения заданных функций в течение промежутка времени до следующего этапа периодического мониторинга [14–16].

Ввиду того, что мониторинг состояния несущих конструкций имеет, как правило, комплексный характер, включающий визуальный контроль, приборное (инструментальное) обследование и (при необходимости) автоматизированный мониторинг и его периодичность, а задачи решаются в каждом из этих видов контроля и определяются в регламенте работ периодического (внеочередного) мониторинга, основными задачами для подсистемы периодического мониторинга являются:

сбор и обработка измерений от датчиков сигнальной подсистемы, требуемых для своевременного прогнозирования изменений состояния несущих конструкций;

обеспечение выдачи заключений о состоянии несущих конструкций здания;

Обеспечение выдачи заключений о состоянии инженерных (несущих) конструкций здания, сооружения выполняется методом обработки данных от сигнальной подсистемы мониторинга для прогнозирования динамики изменения измерений к граничным (установочным) значениям за определенный период времени, тем самым сигнализируя о необходимости обратить внимание на фактическое состояние инженерной (несущей) конструкции здания, сооружения заблаговременно до момента выхода значений измерений за предельные состояния показаний измерения [17].

Измерительный пункт статистической диагностической системы

Для контроля отклонений пространственной устойчивости и геометрической неизменяемости инженерных (несущих) конструкций предусмотрены ИП СДС.

Измерительный пункт статистической диагностической системы состоит из следующих основных частей:

защитного кожуха (шкафа укрытия);

монтажной площадки (платформы);

крепежного комплекта;

измерителя наклона (датчика);

разветвителя.

Измеритель наклона предназначен для измерений малых углов наклона и наклонных перемещений объекта по двум координатам. Он применяется в системах мониторинга строительных конструкций, природных объектов, горных выработок, а также при проведении исследований изгибных деформаций элементов строительных конструкций и в системах контроля углового положения объектов.

Для установки измерительных пунктов используются соединенные с несущими конструкциями здания специальные монтажные площадки. Они монтируются на предварительно подготовленных (т.е. очищенных от коррозии) местах ранее демонтированного модернизируемого оборудования. Крепление оборудования на площадке осуществляется с помощью соединений, предусмотренных техническим паспортом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходя из конструктивных особенностей конструкции тоннеля и пожарного депо, можно выделить следующие критически важные несущие конструкции, элементы которых подлежат оснащению средствами СМИК [18, 19].

1. Тоннель под горнолыжным склоном

Контроль кренов и неравномерность осадок монолитного фундамента тоннеля под горнолыжным склоном осуществляется с помощью измерительных пунктов статической диагностики, устанавливаемых изнутри на монолитные железобетонные фундаменты по обеим сторонам тоннеля с шагом 18 м (рис. 2). Схема расположения металлических конструкций покрытия представлена на рис. 3.

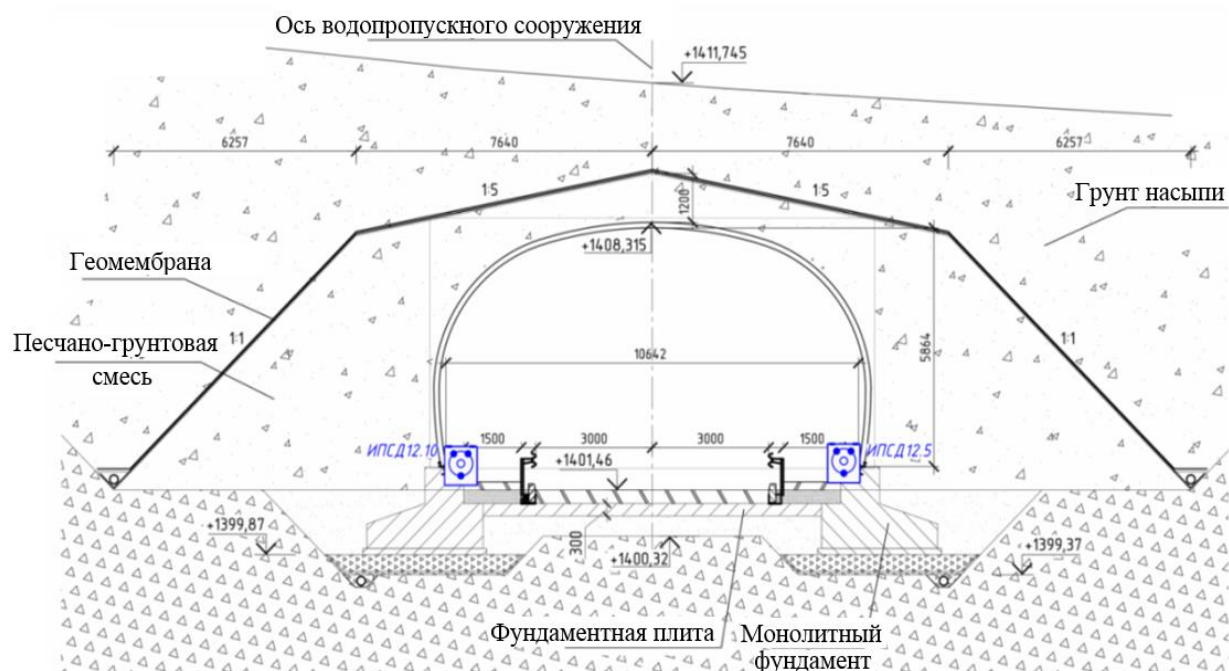


Рис. 2. Тоннель под горнолыжным склоном

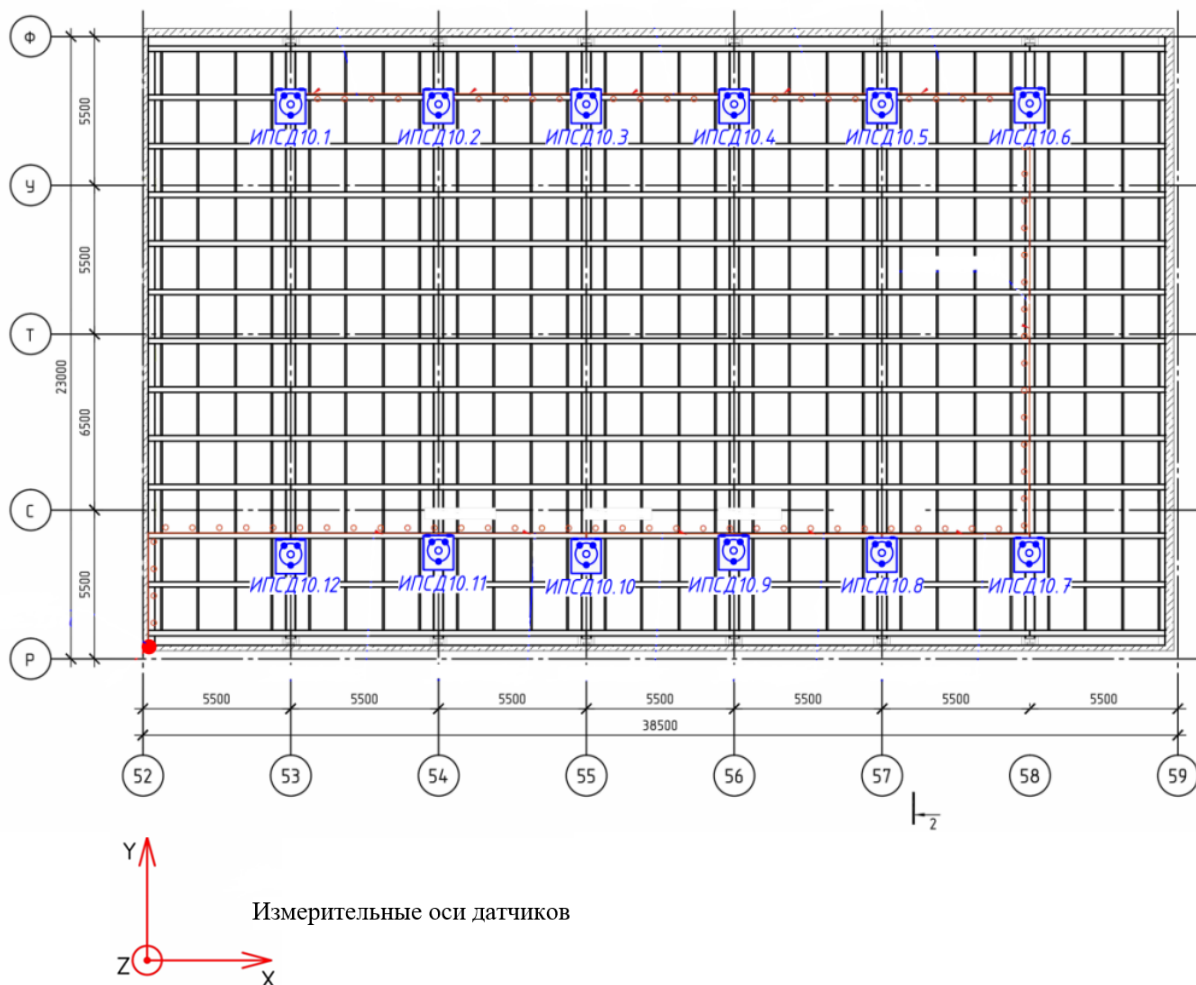


Рис. 3. Схема расположения металлических конструкций покрытия

2. Крыша пожарного депо

Контроль углов наклона и прогибов металлических ферм покрытия осуществляется с помощью измерительных пунктов статистической диагностики, устанавливаемых по два в нижнем поясе на каждой металлической ферме покрытия. Проводится для определения кренов и неравномерности осадок монолитного фундамента (рис. 4).

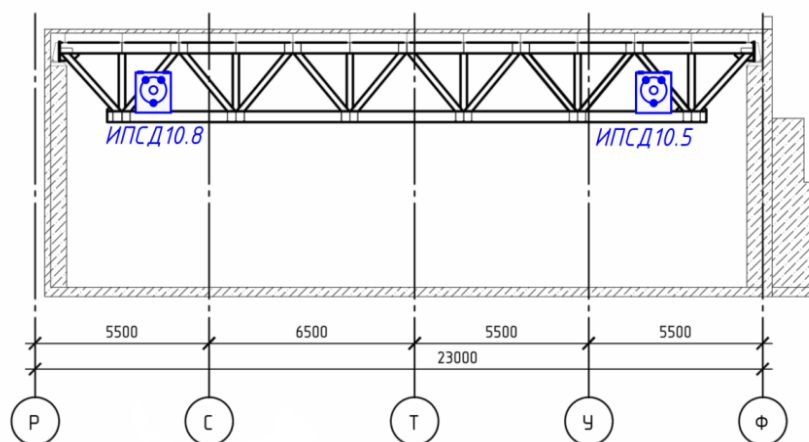


Рис. 4. Схема расположения измерительных пунктов (ИПСД) системы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установка СМИК объекта обеспечивает:

- автоматический мониторинг подлежащих контролю параметров несущих конструкций здания, сооружения;
- автоматический сбор и хранение результатов мониторинга подлежащих контролю параметров несущих конструкций;
- автоматическую обработку результатов мониторинга подлежащих контролю параметров несущих конструкций для своевременного прогнозирования изменений состояния сооружения;
- визуальное отображение результатов мониторинга подлежащих контролю параметров несущих конструкций и сооружений;
- автоматическое информирование ДДС объекта и ЕДДС о превышении значений установочных параметров состояния несущих конструкций зданий и сооружений (посредством СМИС);
- автоматическое информирование ДДС объекта о превышении значений установочных параметров состояния несущих конструкций здания и сооружений (посредством СМИК, СМИС);
- обеспечение персонала объекта необходимой информацией для своевременного принятия эффективных мер по устранению инцидентов, аварий с целью предотвращения или локализации нештатной (аварийной/чрезвычайной) ситуации во избежание людских и материальных потерь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Кайтуков Т.Б., Петряшев Н.О., Петряшев С.О. О состоянии и развитии системы мониторинга инженерных конструкций башни «Эволюция» // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 111–117.
2. Белый А.А., Долинский К.Ю., Осадчий Г.В. Система мониторинга инженерных конструкций при строительстве тоннеля под рекой Смоленка (г. Санкт-Петербург) // *Геотехника*. 2016. № 2. С. 18–27.
3. Рубцов И.В. Постановка задачи проектирования системы мониторинга большепролетных и уникальных объектов // *Технологии строительства*. 2008. № 1. С. 15.
4. Грабовый П.Г., Трухин Ю.Г., Трухина Н.И. Monitoring the stress state of frame structures of buildings and structures under the influence of operational load on construction sites // *Недвижимость: экономика, управление*. 2019. № 2. С. 46–52.
5. Jun T.A.O., Lei M.U., Ping D.U. Application of optical fiber sensors using linear ingaas spectral imaging technique to seepage monitoring of dam // *Acta Photonica Sinica*. 2010. V. 39. № 1. P. 42–46.
6. Идиатуллин Д.Р. Задачи минимизации ложных срабатываний систем мониторинга инженерных (несущих) конструкций (СМИК) // *Мониторинг. Наука и безопасность*. 2013. № 3. С. 36–43.
7. Егоров Ф.А., Неугодников А.П., Быковский В.А., Туляков Ю.А., Шерстюк С.П. Автоматизированная система мониторинга инженерных конструкций. Практика применения // *Датчики и системы*. 2014. № 11 (186). С. 71–78.
8. Ni N. Safety monitoring and evaluation of construction projects based on multi-sensor fusion // *Instrumentation, Measures, Métrologies*. 2020. V. 19. № 6. P. 431–441.
9. Grebenets V.I. Monitoring changes in geocryological conditions during the engineering preparation, construction, and occupancy of buildings and structures // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1999. V 36. № 5. P. 191–194.

10. Grecheneva A.V., Kuzichkin O.R., Mikhaleva E.S., Romanov R.V. The results of joint processing of geotechnical and geodynamic monitoring data of karst processes // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. V. 12. № S3. P. 6628–6634.
11. Xu Y. Mathematical modeling and numerical analysis of force monitoring of foundation pit support structure based on vibration response sensor system // *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*. 2019. V. 1. № 6. P. 134–144.
12. Muttillio M., Stornelli V., Paolucci R., de Rubeis T., Ferri G., Alaggio R., Di Battista L. Structural health monitoring: an iot sensor system for structural damage indicator evaluation // *Sensors*. 2020. V. 20. № 17. P. 1–15.
13. Bai Sh., Zhou Zh., Ou J. Design and testing of a novel wireless intelligent fatigue monitoring system // *Pacific Science Review*. 2011. V. 13. № 3. P. 186–189.
14. Vitola J., Pozo F., Tibaduiza D.A., Anaya M. Distributed piezoelectric sensor system for damage identification in structures subjected to temperature changes // *Sensors*. 2017. V. 17. № 6. P. 1252.
15. Il'in V.V., Shevlyagin Yu.S., Yudkevich A.I. Experience in the use of modern computer-aided technologies in the engineering-geology feasibility analysis of hydraulic structures // *Power Technology and Engineering*. 2003. V. 37. № 2. P. 69–73.
16. Cai L., Wu K., Yu Q., Feng J. A new method of equivalent material model deformation observation // *International Journal of Modern Education and Computer Science*. 2011. V. 3. № 5. P. 40–46.
17. Weng X., Sun Y., Niu H., Liu X., Dong Y., Zhang Y. Physical modeling of wetting-induced collapse of shield tunneling in loess strata // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019. V. 90. P. 208–219.
18. Yang P., Qin W., Yang Y., Wang T. Study of feedback analysis and safety control of large-section tunnel excavation under intensive buildings // *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2010. V. 29. № 4. P. 795–803.
19. Orlando A. On line monitoring of the power control and engineering parameters systems of the nemo phase-2 tower // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2009. V. 602. № 1. P. 180–182.

Для цитирования: Черемных С.В. Устройство системы мониторинга инженерных конструкций для строительных объектов на высокогорных территориях // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2021. № 3 (11). С. 69–78.

INSTALLATION OF A MONITORING SYSTEM FOR ENGINEERING STRUCTURES FOR CONSTRUCTION PROJECTS IN HIGH-ALTITUDE AREAS

S.V. CHEREMNYKH, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb.,
170026, Tver, Russian Federation, e-mail: cheremnykh_s.v@mail.ru

The article considers the use of innovative equipment capable of monitoring changes in the state of the foundations and supporting structures of buildings and structures in real time. Equipping the construction site with a monitoring system is carried out for the first time,

while the study of the components and details of the structure itself is not carried out. The general materials of the designed building are used as the basis. For the structure monitoring system, the purpose of its use and the tasks that ensure the safety and durability of the construction object are highlighted. The installation of the points of the statistical diagnostic system is carried out on the objects of the tunnel under the ski slope and the metal roof of the fire station and serves to prevent violations of the normal state of the structures, as well as the loss of their load-bearing capacity. According to the results of the study, critical load-bearing structures are identified, which should be paid attention to when operating the object.

Keywords: monitoring system of engineering structures, load-bearing capacity, stress-strain state, measuring points of statistical diagnostic system, monitoring.

REFERENCES

1. Belostockij A.M., Akimov P.A., Kajtukov T.B., Petryashev N.O., Petryashev S.O. About the state and development of the monitoring system of engineering structures of the tower «Evolution». *Academia. Arhitektura i stroitelstvo*. 2020. No 1, pp. 111–117. (In Russian).
2. Belyj A.A., Dolinskij K.YU., Osadchij G.V. Monitoring system of engineering structures during the construction of a tunnel under the Smolenka River (St. Petersburg). *Geotekhnika*. 2016. No 2, pp. 18–27. (In Russian).
3. Rubcov I.V. Setting the task of designing a monitoring system for large-span and unique objects. *Tekhnologii stroitelstva*. 2008. No 1, p. 15. (In Russian).
4. Grabovoi P.G., Trukhin Yu.G., Trukhina N.I. Monitoring the stress state of frame structures of buildings and structures under the influence of operational load on construction sites. *Nedvizhimost: ekonomika, upravleniye*. 2019. No 2, pp. 46–52. (In Russian).
5. Jun T.A.O., Lei M.U., Ping D.U. Application of optical fiber sensors using linear ingaas spectral imaging technique to seepage monitoring of dam. *Acta Photonica Sinica*. 2010. V. 39. No 1, pp. 42–46.
6. Idiatullin D.R. Tasks of minimizing false positives of monitoring systems of engineering (load-bearing) structures (SMIC). *Monitoring. Nauka i bezopasnost*. 2013. No 3, pp. 36–43. (In Russian).
7. Egorov F.A., Neugodnikov A.P., Bykovskij V.A., Tulyakov Yu.A., Sherstyuk S.P. Automated system for monitoring engineering structures. Application practice. *Datchiki i sistemy*. 2014. No 11 (186), pp. 71–78. (In Russian).
8. Ni N. Safety monitoring and evaluation of construction projects based on multi-sensor fusion. *Instrumentation, Mesures, Métrologies*. 2020. V. 19. No 6, pp. 431–441.
9. Grebenets V.I. Monitoring changes in geocryological conditions during the engineering preparation, construction, and occupancy of buildings and structures. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1999. V 36. No 5, pp. 191–194.
10. Grecheneva A.V., Kuzichkin O.R., Mikhaleva E.S., Romanov R.V. The results of joint processing of geotechnical and geodynamic monitoring data of karst processes. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. V. 12. No S3, pp. 6628–6634.
11. Xu Y. Mathematical modeling and numerical analysis of force monitoring of foundation pit support structure based on vibration response sensor system. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*. 2019. V. 1. No 6, pp. 134–144.

12. Muttillio M., Stornelli V., Paolucci R., de Rubeis T., Ferri G., Alaggio R., Di Battista L. Structural health monitoring: an iot sensor system for structural damage indicator evaluation. *Sensors*. 2020. V. 20. No 17, pp. 1–15.
13. Bai Sh., Zhou Zh., Ou J. Design and testing of a novel wireless intelligent fatigue monitoring system. *Pacific Science Review*. 2011. V. 13. No 3, pp. 186–189.
14. Vitola J., Pozo F., Tibaduiza D.A., Anaya M. Distributed piezoelectric sensor system for damage identification in structures subjected to temperature changes. *Sensors*. 2017. V. 17. No 6, 1252 p.
15. Il'in V.V., Shevlyagin Yu.S., Yudkevich A.I. Experience in the use of modern computer-aided technologies in the engineering-geology feasibility analysis of hydraulic structures. *Power Technology and Engineering*. 2003. V. 37. No 2, pp. 69–73.
16. Cai L., Wu K., Yu Q., Feng J. A new method of equivalent material model deformation observation. *International Journal of Modern Education and Computer Science*. 2011. V. 3. No 5, pp. 40–46.
17. Weng X., Sun Y., Niu H., Liu X., Dong Y., Zhang Y. Physical modeling of wetting-induced collapse of shield tunneling in loess strata. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019. V. 90, pp. 208–219.
18. Yang P., Qin W., Yang Y., Wang T. Study of feedback analysis and safety control of large-section tunnel excavation under intensive buildings. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2010. V. 29. No 4, pp. 795–803.
19. Orlando A. On line monitoring of the power control and engineering parameters systems of the nemo phase-2 tower. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2009. V. 602. No 1, pp. 180–182.

Поступила в редакцию/received: 21.04.2021; после рецензирования/ revised: 12.05.2021;
принята/accepted: 01.06.2021