

УДК 624.072.2.014

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-106-127](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-106-127)

EDN: SWZSNW

# ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

М.В. МАРКОВ

А.Р. АРТЕМОВ

А.И. ВДОВЕНКО✉

000 Фирма «ЮСТАС», Рублевское шоссе, д. 109, к. 5, г. Москва, 112252, Российская Федерация

## Аннотация

*Введение.* В статье рассказывается о ситуациях, когда происходят нарушения в геометрии в строящихся, а также уже введенных в эксплуатацию зданиях и сооружениях, при этом повышается риск возникновения аварийной ситуации. Также в работе показываются причины возникновения задачи по контролю геометрии на соответствие ее проектной форме и стабильности, возможного влияния отклонения проектной геометрии на соседние здания и сооружения.

*Цель:* проанализировать и описать применение геодезических методов для предотвращения возникновения аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

*Материалы и методы.* Приведены способы и методы измерений деформированного состояния зданий при помощи современных роботизированных тахеометров, инклинометров, спутникового оборудования, а также при использовании гидростатического нивелирования, которые позволяют получать надежные и достоверные параметры деформированного состояния строительных конструкций как при статических, так и динамических воздействиях на здание или сооружение.

*Результаты.* Объяснены принципы работы систем измерений с использованием геодезических автоматизированных систем наблюдения. Приведен процесс определения перемещений и прогибов при монтаже большепролетных покрытий уникальных зданий. К ним относятся стальной стержневой купол стадиона «Лужники» в г. Москве, имеющий наибольший безопорный пролет для сооружений такого класса, равный 310 м, большепролетное трансформированное покрытие стадиона «Газпром Арена» в г. Санкт-Петербурге, большепролетное покрытие стадиона «Казань Арена» в г. Казани. Определены прогибы и перемещения контрольных точек стальной пирамиды для церемонии открытия этого стадиона. Также приведены методы определения параметров деформированного состояния при возведении Центра художественной гимнастики в Лужниках, при строительстве линий метрополитена в г. Москве и, кроме этого, при сооружении участка «Каширская» – «Карачарово» кольцевой железной дороги г. Москвы. Для всех приведенных объектов разработаны и внедрены методики проведения измерений.

*Выводы.* Приведенные методы измерений, позволяющие определять горизонтальные перемещения и прогибы, успешно используются при проведении мониторинга деформированного состояния зданий и сооружений, что позволяет увеличить их надежность и безопасность в режимах строительства и эксплуатации.

**Ключевые слова:** мониторинг деформированного состояния конструкции, роботизированный тахеометр, горизонтальные перемещения, вертикальные прогибы, автоматизированная система мониторинга,

инклинометры, гидростатический нивелир, лазерное сканирование, проектная геометрия строительной конструкции, призмные отражатели

**Для цитирования:** Марков М.В., Артемов А.Р., Вдовенко А.И. Применение геодезических методов для предупреждения возникновения аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023;38(3):106–127. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-106-127](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-106-127)

#### **Вклад авторов**

Авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

#### **Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 28.06.2023*

*Поступила после рецензирования 20.07.2023*

*Принята к публикации 25.07.2023*

## **APPLICATION OF GEODETIC METHODS FOR PREVENTING EMERGENCIES IN THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

M.V. MARKOV

A.R. ARTEMOV

A.I. VDOVENKO✉

*EUSTACE Company, Rublevskoe Shosse, 109, bld. 5, Moscow, 112252, Russian Federation*

#### **Abstract**

*Introduction.* The paper describes distortions of geometry in buildings and structures under construction as well as those already commissioned, which increase the risk of an emergency. The paper also shows the reasons for controlling the geometry for its compliance with design form and stability, as well as possible impact of deviations in the design geometry on adjacent buildings and structures.

*Aim:* to analyze and describe the application of geodetic methods for preventing emergencies in the construction and operation of buildings and structures.

*Materials and methods.* The paper presents methods and techniques for measuring the deformations of buildings using modern robotic tacheometers, inclinometers, satellite equipment, as well as hydrostatic leveling, in order to obtain reliable and valid parameters of the deformed state of building structures under both static and dynamic effects on the building or structure.

*Results.* The paper explains the operating principles of measuring systems using automatic geodetic monitoring systems. The authors describe the process of determining displacements and deflections during the erection of large-span shells of unique buildings. These include the steel framed dome of the Luzhniki Stadium in Moscow, Russia, which has the largest unsupported span for structures of this class (310 m), large-span transformed shell of the Gazprom Arena Stadium in Saint Petersburg, and large-span shell of the Kazan Arena Stadium in Kazan, Russia. Deflections and displacements of the reference points of the steel pyramid were determined for the Opening Ceremony at the Kazan Arena Stadium. The paper also presents the methods for determining the parameters of deformations during the construction of the Rhythmic Gymnastics Center in Luzhniki, metro lines in Moscow, and Kashirskaya–Karacharovo section of the Moscow ring railroad. Measurement methods have been developed and implemented for all these facilities.

*Conclusion.* The above measurement methods are successfully used to determine horizontal displacements and deflections for monitoring the deformations of buildings and structures, which increases their reliability and safety during construction and operation.

**Keywords:** monitoring of the deformation state of the structure, robotic tacheometer, horizontal displacement, vertical deflection, automatic monitoring system, inclinometers, hydrostatic level, laser scanning, design geometry of building structure, prism reflectors

**For citation:** Markov M.V., Artemov A.R., Vdovenko A.I. Application of geodetic methods for preventing emergencies in the construction and operation of buildings and structures. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;38(3):106–127. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-106-127](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-106-127)

#### **Author contribution statements**

All authors made equal contributions to the study and the publication.

#### **Funding**

No funding support was obtained for the research.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 28.06.2023*

*Revised 20.07.2023*

*Accepted 25.07.2023*

Целостность здания или сооружения напрямую влияет на безопасность проживающих и окружающих людей. Вовремя не выявленные деформационные процессы негативно сказываются на сроке эксплуатации объекта, разрушают его и могут привести к человеческим жертвам. Геодезический мониторинг позволяет своевременно определить нарушения в возводимой застройке или уже в эксплуатируемом здании и исправить ситуацию, чтобы не произошла авария.

Стандартный периодический контроль за сооружением после его ввода в эксплуатацию, являющийся основой мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции, способен определить только те процессы, которые развиваются длительное время. Если по результатам мониторинга выявляется тенденция ускорения перемещений и прогибов, которые могут привести к обрушению зданий в непродолжительное время, то необходима автоматизация геодезического мониторинга. Параметры деформированного состояния, по которым определяется несущая способность здания или сооружения, определяются соответствующими нормативными документами [1, 2].

Автоматизированная система мониторинга измерений предназначена для периодического определения параметров деформированного состояния конструкций, включая обработку выполненных измерений. Программное обеспечение удаленно, из офиса, управляет тахеометром через преобразователи и модемы. Тахеометр или другое средство измерений выполняет измерения углов и расстояний до деформационных марок, наклонов конструкций, изменения превышений и т. д., по которым вычисляются их координаты в пространстве.

Автоматизация контроля – это возможность отслеживать состояние конструкций с любой периодичностью, что позволит вовремя сделать экстренное оповещение.

Автоматизированный деформационный мониторинг можно разделить по системам контроля: геотехнические, геодезические и комбинированные системы.



**Рис. 1.** Геодезические системы для мониторинга  
**Fig. 1.** Geodetic systems for monitoring

В основе геодезических систем автоматизации (рис. 1) используются датчики для контроля за измерениями координат, контроля точек здания или сооружения; это могут быть инклинометры, тахеометры, спутниковые навигационные приемники и т. д.

Определению подлежат:

- горизонтальные перемещения (сдвиг);
- вертикальные перемещения (осадка);
- крен.

Геотехнические системы (рис. 2) предназначены для мониторинга за физическими величинами: акселерометры, датчики влажности, давления, температуры, тензометры и т. д.

Определению подлежат:

- напряжения в элементах конструкций;
- ускорения;
- вибрации;
- температура;
- линейные смещения.

Комбинированные системы совмещают в себе системы геотехнического и геодезического мониторинга.

Далее мы подробнее остановимся на геодезическом мониторинге.



**Рис. 2.** Геотехнические системы для мониторинга  
**Fig. 2.** Geotechnical systems for monitoring

## Используемое оборудование

### Инклинометры

Один из способов определения стабильности геометрии зданий и сооружений – это изменение наклонов площадок, жестко связанных с конструкциями самого объекта контроля. На площадках или соответствующих кронштейнах крепятся электронные уровни (инклинометры) необходимой точности (рис. 3). Изменение отсчетов свидетельствует о наличии деформационных процессов.

В зависимости от свойств наблюдаемого объекта сравнительно просто можно дорабатывать систему, оснащая ее новыми датчиками с разной конструкцией элементов крепления. К достоинствам можно отнести возможность оперативного контроля и сравнительную простоту реализации.

К недостаткам можно отнести: малую базу крепления датчика и возможное влияние сторонних факторов на стабильность отсчета; необходимость тянуть каналы связи и питания к каждому датчику.

### Спутниковое оборудование

Еще одним из способов определения стабильности геометрии зданий и сооружений является установка спутниковых систем контроля – спутниковых приемников (рис. 4).

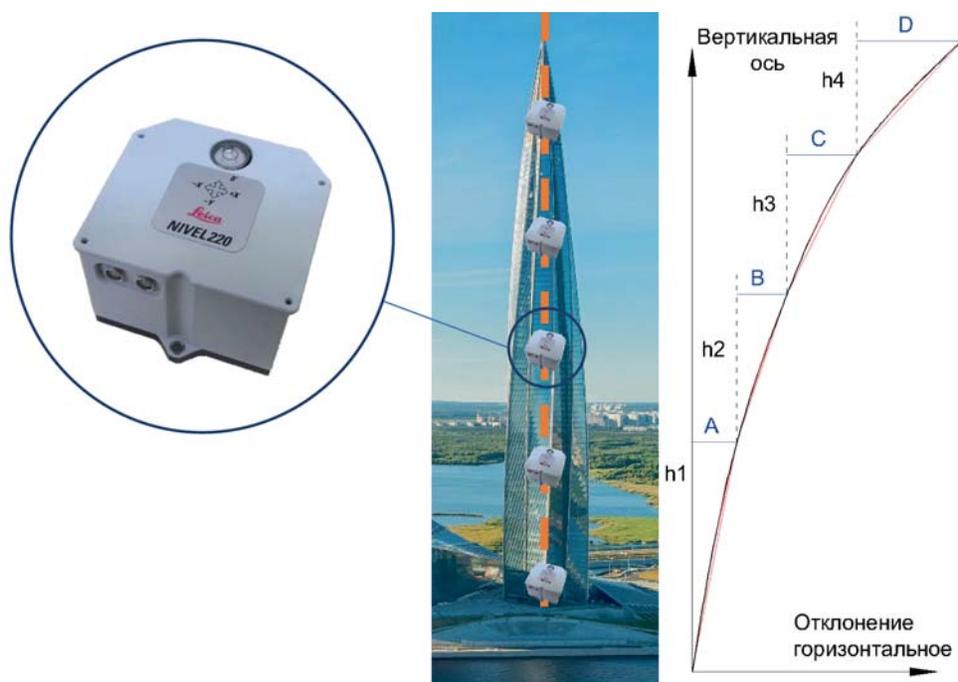
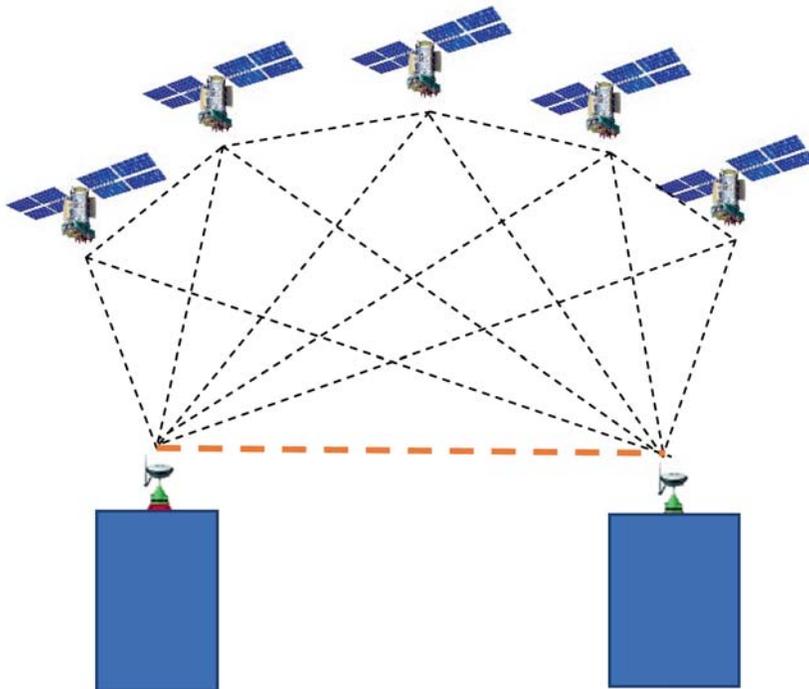


Рис. 3. Использование инклинометров  
Fig. 3. Use of inclinometers



**Рис. 4.** Использование спутниковых систем  
**Fig. 4.** Use of satellite systems

Изменения относительных спутниковых координат, жестко связанных с конструкциями самого объекта контроля, позволяют судить о наличии или отсутствии деформационных процессов.

Достоинство: возможность оперативного контроля.

К недостаткам можно отнести: высокую стоимость оборудования; необходимость наличия открытого небосвода.

### *Роботизированные тахеометры*

Использование роботизированных тахеометров (рис. 5) при мониторинге стабильности геометрии зданий и сооружений – это наиболее очевидный способ их использования в работе.

Сами измерения заключаются в определении положения специальных контрольных марок в виде трипельпризменных отражателей, закрепляемых на исследуемом объекте. При наличии большого числа собственно контрольных марок использование роботизированных тахеометров наиболее целесообразно.

Метод позволяет определить как плановые, так и высотные деформации.

Точность зависит от расстояния до определяемых марок и условий измерений, от используемого тахеометра, количества приемов измерений.

Этот метод нами используется наиболее часто.

Из недостатков метода можно назвать необходимость наличия прямой видимости между тахеометром и маркой.

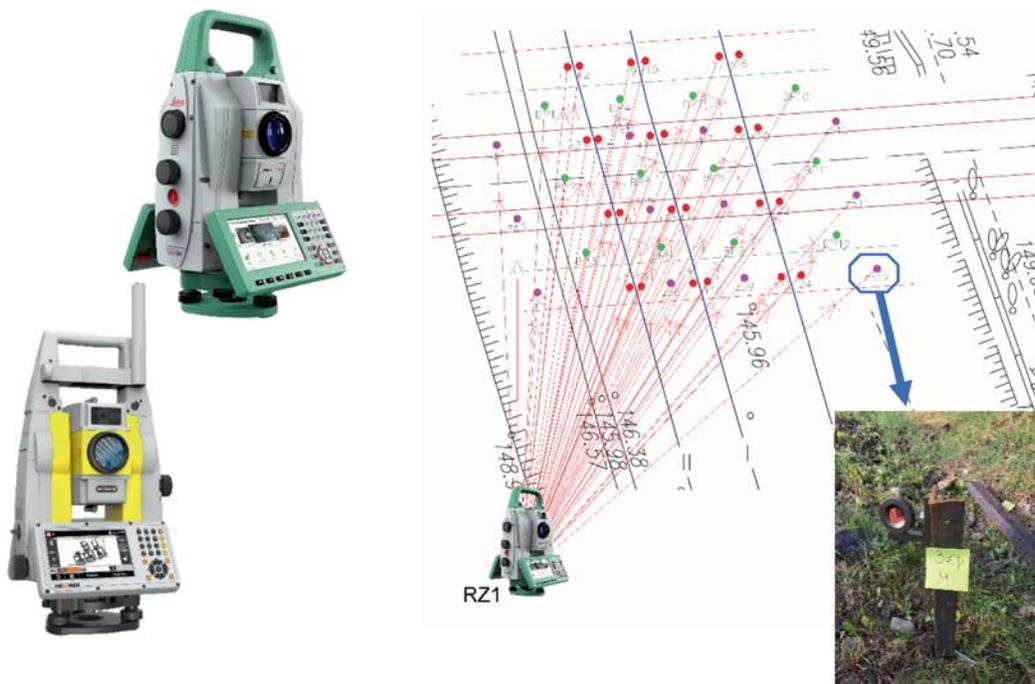


Рис. 5. Использование роботизированных тахеометров  
Fig. 5. Use of robotic tachymeters

### Гидростатическое нивелирование

Одним из методов определения относительных высотных перемещений является гидростатическое нивелирование.

Преимущества гидростатического нивелирования:

- возможность работы при ограниченной видимости или ее отсутствии;
- высокая точность измерений;
- прямые измерения.

Немного о сути метода. Как известно, в сообщающихся сосудах горизонт неподвижной жидкости (с точностью до постоянства плотности, несжимаемости и т. д.) находится на одном уровне поверхности.

По изменениям превышений между некоторым нулем сосуда и уровнем жидкости можно судить о соответствующих им превышениях между базовыми точками сосудов и соответствующих участков измеряемого объекта.

Из недостатков гидростатического нивелирования можно назвать необходимость

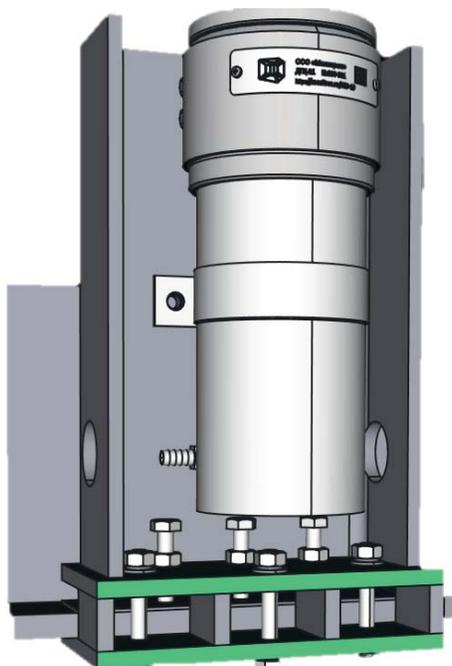


Рис. 6. Гидростатический нивелир  
Fig. 6. Hydrostatic level

соединения датчиков системой шлангов для рабочей жидкости и воздуха, необходимость установки датчиков примерно в один горизонт или деление их в связанные друг с другом группы.

Данный вид измерений необходимо активно применять при использовании технологии компенсационного нагнетания, он позволяет в реальном времени контролировать деформированное состояние сооружения.

Это позволяет минимизировать деформации, отсутствие которых особенно важно для недопущения аварийных ситуаций или выровнять фундамент, если превышены допустимые деформации.

## **Примеры выполненных работ на уникальных объектах**

### *Стадион «Газпром Арена»*

Футбольный стадион «Газпром Арена» относится к уникальным сооружениям, он имеет пролет более 100 м. Покрытие стадиона впервые в нашей стране выполнено трансформируемым.

Для обеспечения надежности и безопасности уникальных сооружений необходимо проведение соответствующего научно-технического сопровождения (НТС) при проектировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации. А также мониторинг напряженно-деформированного состояния элементов металлических конструкций, входящих в состав покрытия.

Для обеспечения безопасности работы покрытия в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко совместно с ООО Фирма «ЮСТАС» разработана и установлена система мониторинга напряженно-деформированного состояния, входящая в состав НТС [3].

Мониторинг деформированного состояния покрытия и трибун выполняется методами инженерной геодезии (рис. 7) и позволяет определять прогибы и горизонтальные перемещения в контрольных точках покрытия. Первично для определения текущего состояния конструкций были выполнены мероприятия по созданию опорной геодезической сети стадиона.

Затем тахеометрами и с помощью лазерного сканирования были выполнены измерения конструкций (рис. 8). Эти действия позволили охватить практически 100% конструкций покрытия стадиона и определить их текущее положение относительно момента до раскрытия конструкций.

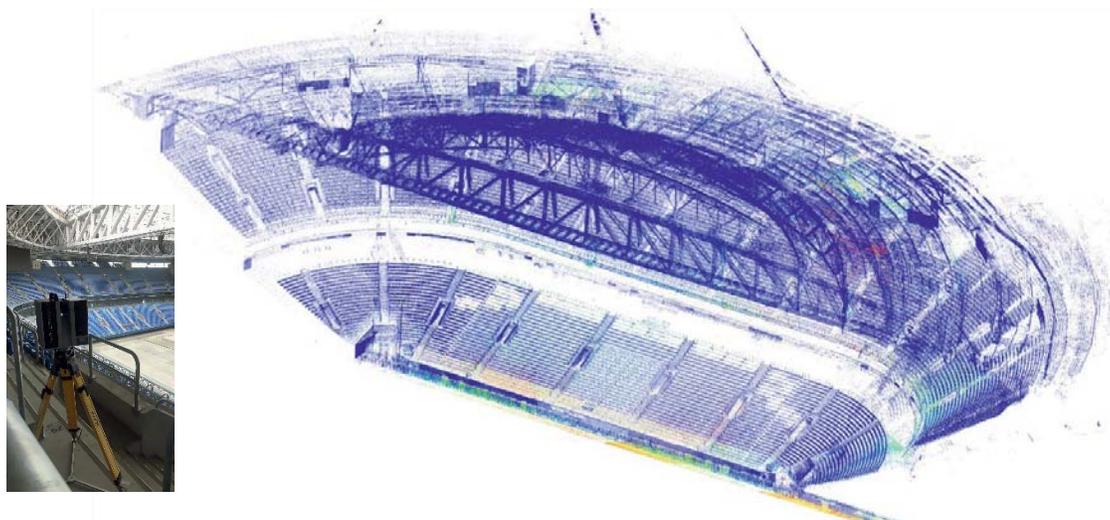
На стадионе «Газпром Арена» разработана и установлена автоматизированная система мониторинга деформированного состояния, позволяющая шесть раз в день измерять горизонтальные и вертикальные перемещения конструкций (рис. 9), которая может быть перенастроена в случае аварийных ситуаций на цикл измерений один раз в 15 минут. Система состоит из двух тахеометров Leica TS60 и 108 L-образных призмных отражателей, комплекса программного обеспечения, позволяющего записывать данные и передавать их по каналам связи. По результатам измерений она позволяет строить деформированные схемы в плане и на разрезах. Отметим, что данная система впервые установлена для слежения за работой большепролетных строительных конструкций с учетом требований по точностям ГОСТ 24846-2019 [1].

Система мониторинга НДС позволяет выявлять возможные нештатные ситуации, возникающие в процессе эксплуатации, для оценки их опасности и принятия мер по их устранению.

На основании полученных результатов определяется техническое состояние объекта, что позволяет выдавать разрешения на безопасное проведение спортивных и концертных мероприятий, проводимых на стадионе.



**Рис. 7.** Выполнение геодезических работ  
**Fig. 7.** Geodetic works



**Рис. 8.** Результат лазерного сканирования конструкций покрытия  
**Fig. 8.** Result of laser scanning of shell structures



**Рис. 9.** Настройка системы мониторинга  
**Fig. 9.** Setting up of the monitoring system

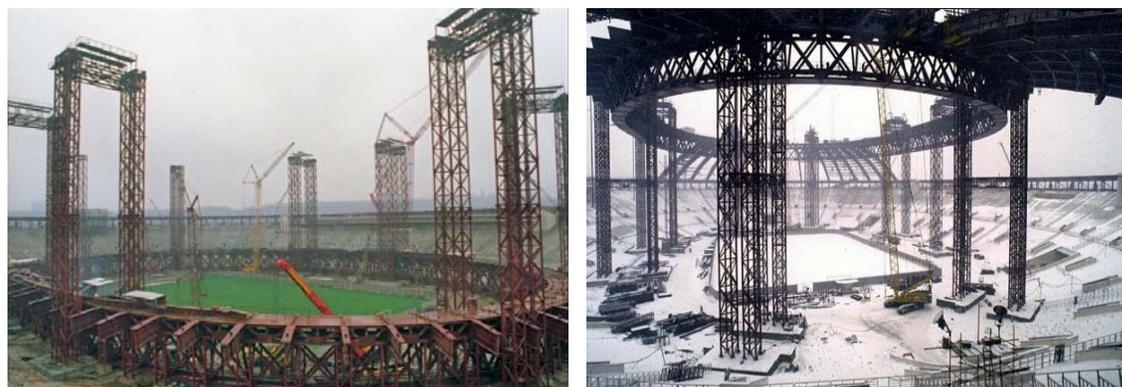
### *Большая спортивная арена «Лужники»*

На этом объекте специалисты ООО Фирма «ЮСТАС» участвовали в двух реконструкциях – в 1996 и 2014 годах.

#### *Реконструкция Большой спортивной арены «Лужники», 1996–1997 гг.*

В 1996 году начались работы по контролю геометрии конструкции покрытия стадиона БСА «Лужники» на этапах производства, сборки и мониторинга (рис. 10). Внутренний контур собирали из стальных ферм на земле, а затем поднимали на высоту 45 м с помощью четырех гидравлических домкратов в виде стальных рам, на ригеле которых располагались гидравлические домкраты, с помощью которых осуществлялся подъем целиком собранного внутреннего контура весом 4500 тс. Чтобы собрать кольцо на земле, нам пришлось контролировать размеры всех деталей еще на заводах-изготовителях в Белгороде и Челябинске, а на стадионе разбивать стапель и осуществлять контроль за сборкой конструкций в пространственный каркас стального купола. Словом, два года трудов ООО Фирма «ЮСТАС» увенчались успехом: внутренний контур, овальный в плане, периметр которого составлял около 600 м, собрался без единой проблемы.

Вместе со строительством покрытия БСА инженеры ООО Фирма «ЮСТАС» создавали методику наблюдения за ее прогибами и перемещениями в процессе эксплуатации.



**Рис. 10.** Стадион «Лужники». Реконструкция 1996–1997 гг.  
**Fig. 10.** Luzhniko Stadium. Reconstruction in 1996–1997

Наблюдения начались сразу после раскруживания весной 1997 года и продолжаются по настоящее время [4].

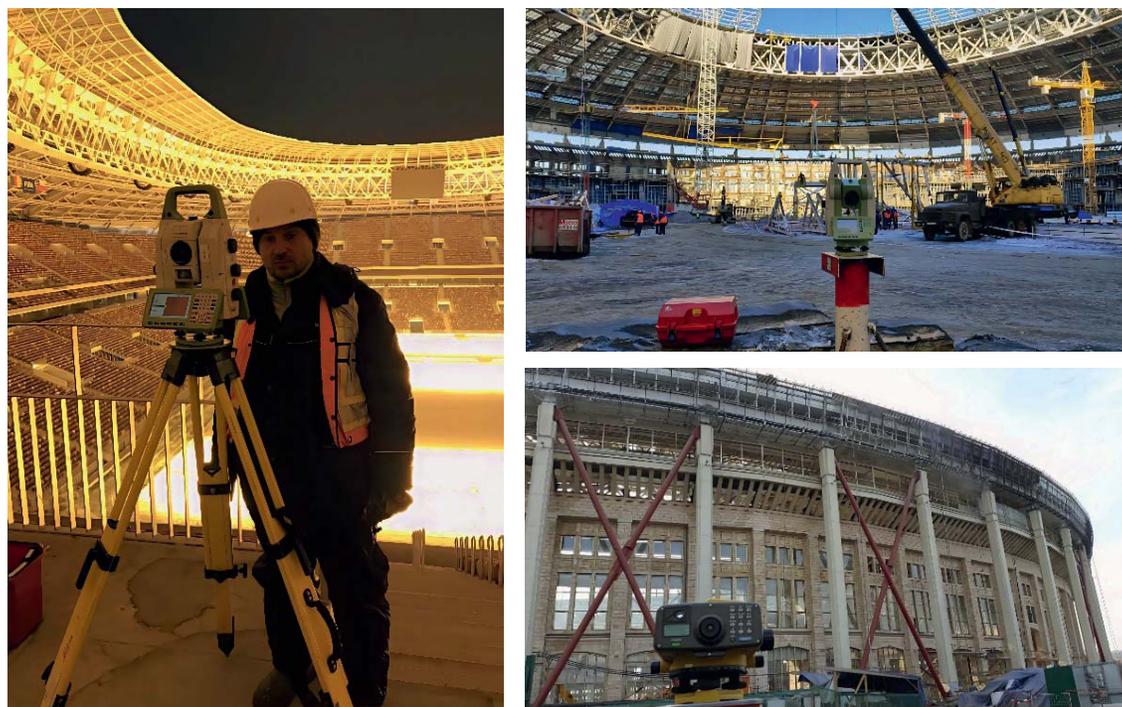
На внешнем и внутреннем контурах разместили по 8 визирных марок, координаты которых измерялись тахеометром с четырех опорных станций, расположенных на трибунах. Данные измерений передавались в камеральную группу для составления отчетных документов в виде таблиц и схемы. Документы отправляли в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. Высота внутреннего контура меняется от зимы к лету примерно на 15 см, а овал немного меняет форму. Осадки колонн после первых двух лет практически отсутствуют.

#### *Реконструкция Большой спортивной арены «Лужники», 2014–2017 гг.*

ООО Фирма «ЮСТАС» производила следующие работы при реконструкции 2014–2017 гг. [5]:

- по сохранности измерений предыдущих циклов геодезических наблюдений с 1996 по 2014 год;
- по контролю деформаций несущих конструкций внешней стены здания и несущих конструкций покрытия стадиона в процессе реконструкции БСА «Лужники»;
- по обучению специалистов и внедрению автоматизированных комплексов в ООО «МИП-строй № 1».

Работы по измерению деформированного состояния при реконструкции БСА в 2014–2017 годах показаны на рис. 11.



**Рис. 11.** Стадион «Лужники». Реконструкция 2014–2017 гг.  
**Fig. 11.** Luzhniki Stadium. Reconstruction in 2014–2017

### *Стадион «Казань Арена»*

Сотрудники ООО Фирма «ЮСТАС» приняли активное участие в строительстве стадиона «Казань Арена». Работа делилась на пять этапов:

- контрольные измерения отлитых опорных закладных элементов в основании стадиона под монтаж главного ригеля крыши стадиона г. Казани;
- контроль изготовления сборных элементов главного ригеля на заводе металлических конструкций (ЗМК) в г. Белгороде;
- трехмерная сборка секций главного ригеля из изготовленных элементов на ЗМК в г. Белгороде и на строительной площадке в г. Казани;
- контроль изготовления элементов пирамиды для церемонии открытия и закрытия Универсиады в г. Нижнекамске;
- контроль геометрии главного ригеля после раскруживания крыши стадиона с помощью трехмерного лазерного сканирования;
- контроль изготовления элементов пирамиды для церемонии открытия и закрытия Универсиады в г. Нижнекамске (рис. 14).

### *Центр художественной гимнастики в Лужниках 2018–2019 гг.*

Центр художественной гимнастики предназначен для соревнований по художественной гимнастике, других спортивных, тренировочных, оздоровительных, а также массовых мероприятий (рис. 16). В общей сложности спорткомплекс сможет принять порядка 4 тыс. зрителей. Конструкции покрытия Центра художественной гимнастики в Лужниках показаны на рис. 17.



**Рис. 12.** Контроль изготовления сборных элементов главного ригеля на ЗМК в г. Белгороде  
**Fig. 12.** Monitoring of the manufacture of prefabricated elements for the main crossbar at Belgorod Plant



**Рис. 13.** Трехмерная сборка секций главного ригеля из изготовленных элементов на строительной площадке в г. Казани  
**Fig. 13.** Three-dimensional assembly of sections of the main crossbar from manufactured elements at the construction site in Kazan



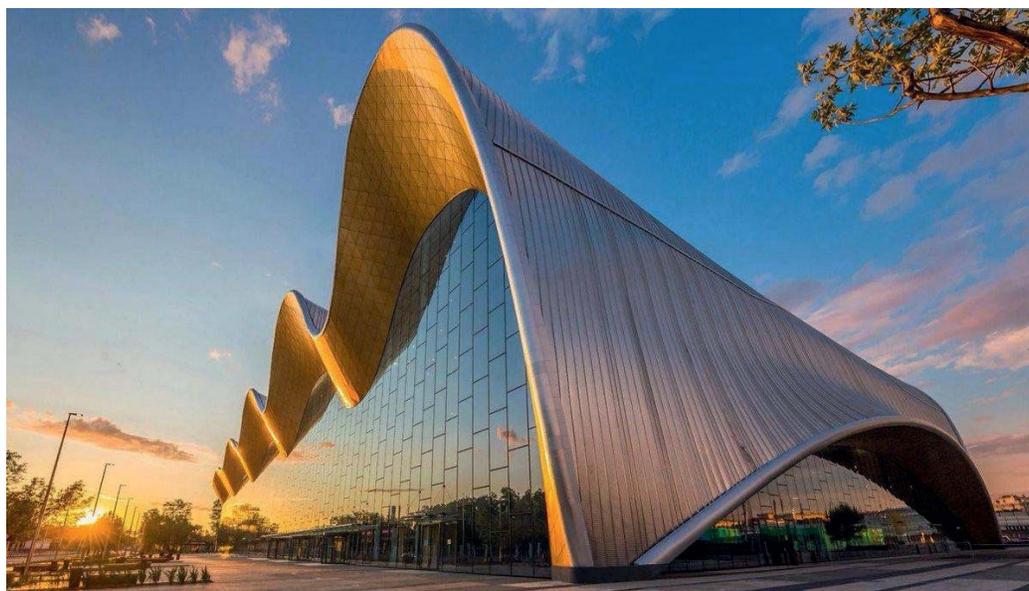
**Рис. 14.** Контроль изготовления элементов пирамиды для церемонии открытия и закрытия Универсиады на ЗМК в г. Нижнекамске

**Fig. 14.** Monitoring of the manufacture of pyramid elements for the University Games Opening and Closing Ceremonies at Nizhnekamsk Plant

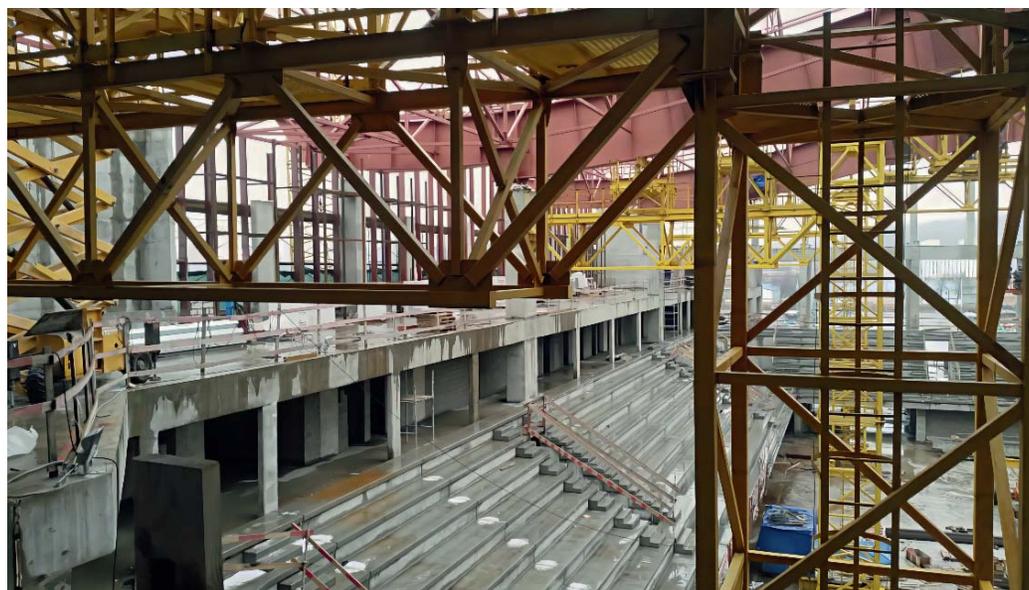


**Рис. 15.** Контроль геометрии главного ригеля

**Fig. 15.** Geometry control of the main crossbar



**Рис. 16.** Общий вид Центра художественной гимнастики в Лужниках  
**Fig. 16.** General view of the Rhythmic Gymnastics Center in Luzhniki



**Рис. 17.** Конструкции покрытия Центра художественной гимнастики  
**Fig. 17.** Shell structures of the Rhythmic Gymnastics Center

Здание имеет прямоугольную форму в плане с габаритами около 130 на 80 м. Конструкция трибун представляет собой сборные железобетонные элементы Т-образной формы.

Покрытие представляет собой сложную волнообразную форму с переменной кривизной поверхности в обоих направлениях.

Цель выполняемых работ – наблюдение за деформациями основания и конструкции покрытия в процессе строительства и последующей эксплуатации.



**Рис. 18.** Центр художественной гимнастики. Выполнение измерений  
**Fig. 18.** Rhythmic Gymnastics Center. Measurements

При выполнении измерений использовались тахеометры Leica TM50, Leica TS60 (рис. 18).

По результатам контроля в полевых условиях с помощью ПО инструмента среднеквадратическая погрешность определения положения измеряемых точек по высоте не превысила 0–6 мм.

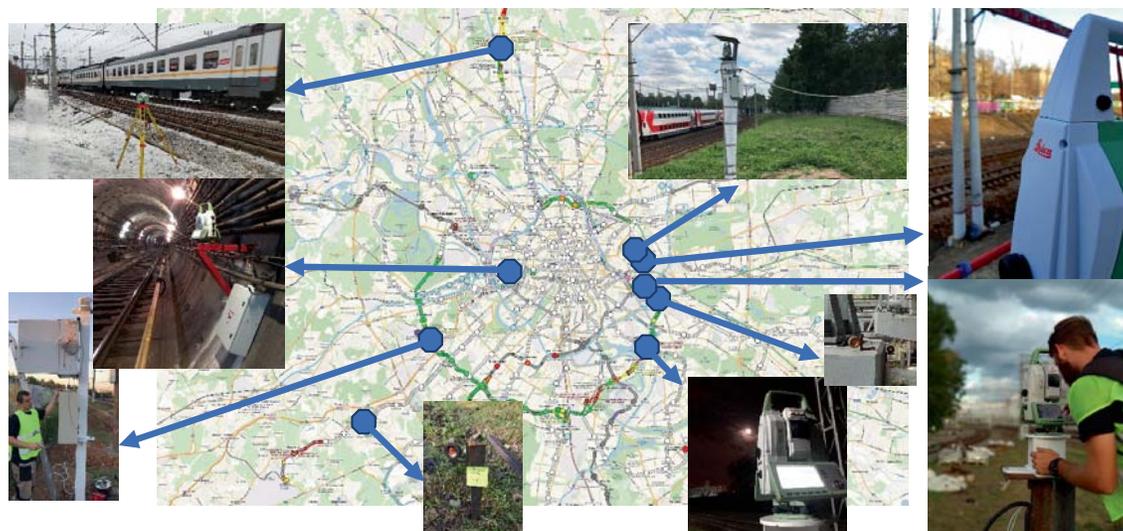
### *Примеры выполненных работ при строительстве метрополитена*

При выполнении подобных работ необходимо обеспечить проектную геометрию не только строящихся объектов, но и объектов, попадающих в зону их влияния (рис. 19).

Имеется ряд нюансов, в той или иной мере возникающих при строительстве этих и других сложных объектов:

- высокая плотность застройки надземными и подземными объектами инфраструктуры, введенными в эксплуатацию;
- высокая степень ответственности по предоставлению надежных данных с предельной погрешностью измерений 1 мм;
- высокая частота измерений с выдачей обработанных результатов;
- ограниченный доступ к объектам наблюдения, требующий максимальной автономности систем;
- большая протяженность объектов.

Автоматизированная система мониторинга показала наибольшую эффективность как раз для подобных проектов, когда необходима высокая точность результатов при невозможности или ограниченности присутствия наблюдателя. Для увеличения точности измерений возможно использовать наиболее точное оборудование и многократное повторение приемов измерений.



**Рис. 19.** Примеры выполненных работ при строительстве метрополитена  
**Fig. 19.** Examples of works performed during the construction of the metro

### *Мониторинг деформированного состояния на объекте «Восточный участок ТПК «Каширская» – «Карачарово»*

В зону строительства двухпутного перегонного тоннеля попадает участок железнодорожных путей на перегоне и пути соединительных ветвей кольцевой железной дороги города Москвы. Протяженность объекта – 300 м. Грунт – обводненный песчаный.

Целью работ являлось своевременное информирование заинтересованных лиц актуальными данными измерений для обеспечения безопасности строительства и эксплуатационной сохранности объектов мониторинга, предупреждения развития существующих (при их наличии) повреждений в конструкциях, оценки воздействия нового строительства на объекты мониторинга и сохранности экологической обстановки.

Задачи мониторинга:

- определение абсолютных величин прогибов и перемещений по данным измерений при проведении работ по мониторингу и сравнение их с расчетными (допустимыми) значениями;

- выявление причин возникновения и степени опасности дополнительных прогибов и перемещений для безопасного производства строительно-монтажных работ и нормальной эксплуатации объектов мониторинга;

- принятие своевременных мер по борьбе с возникающими деформациям.

Измерение параметров мониторинга деформированного состояния показано на рис. 20, 21.

Для обеспечения производства работ по геодезическому мониторингу объектов кольцевой железной дороги г. Москвы был выполнен комплекс мероприятий по созданию плановой и высотной деформационной основы: три репера в качестве пунктов плановой деформации и три репера в качестве высотной основы.

Для мониторинга контролируемых параметров было заложено порядка 300 рабочих знаков на рельсовые нити, балластную призму путей, земляное полотно, опоры контактной сети. Точность фиксации величин контролируемых параметров – 1 мм.

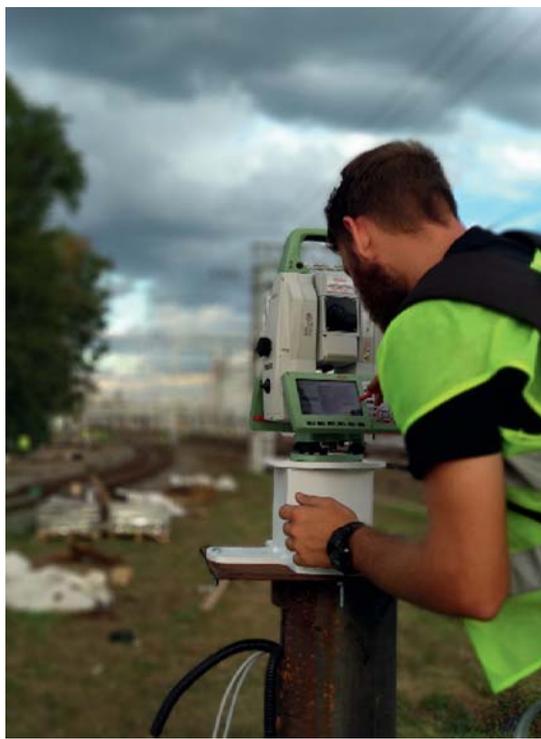


Рис. 20. Выполнение измерений  
Fig. 20. Measurements



Рис. 21. Мониторинг на объекте «Восточный участок ТПК «Каширская» – «Карачарово»  
Fig. 21. On-site monitoring: Kashirskaya-Karacharovo, eastern section of the Third Interchange Contour of the Moscow metro

Цикличность выполнения геодезических наблюдений:

- нулевой цикл – до начала строительных работ;
- 1-й период – при приближении ротора щита на расстоянии 40 м, наблюдения производились каждые 16 ч.;
- 2-й период – при приближении ротора щита на расстоянии 20 м, наблюдения производились каждые 8 ч.;
- 3-й период – при удалении ротора щита на расстоянии 20 м, наблюдения производились каждые 16 ч.;
- 4-й период – до затухания приращения деформации, наблюдения производились один раз в двое суток.

В связи с выходом пенного реагента из балластной призмы на поверхность и верхнее строение пути были согласованы дополнительные циклы измерений с периодичностью один раз в 30 мин.

Итоги четвертого периода наблюдений свидетельствовали о полном затухании деформаций на объекте.

### *Мониторинг действующих перегонных тоннелей Филевской линии Московского метрополитена*

Особенности проекта:

В зону влияния перегонные туннели Филевской линии от станции «Киевская» до станции «Выставочная» попали дважды: при щитовой проходке Третьего пересадочного контура и при сооружении перегонных тоннелей Калининско-Солнцевской линии.

Протяженность перегонных тоннелей, входящих в зону геотехнического мониторинга, – 500 м каждый, и нет прямой видимости, так как участок находится на кривой.

Доступ в перегонный тоннель ограничен ночным окном в 3,5 ч.

Техническое задание на мониторинг предполагало:

- контроль пространственного положения отражателей в обделке тоннеля с точностью 2 мм;
- контроль высотного положения деформационных реперов в путевом бетоне с точностью 1 мм;
- контроль высотного положения верха головок рельсов с точностью 2 мм.

Состав основных наблюдений (рис. 22 и 23):

– ручные геодезические измерения для контроля высотного положения верхнего строения пути. Периодичность достигала 1 раза в день при прохождении ротора щита на расстоянии менее 20 м;

– автоматизированный геодезический мониторинг для контроля сводов тоннеля. Периодичность достигала 1 раза в 2 часа при положении ротора щита на расстоянии менее 20 м.

Автоматизированная система мониторинга показала наибольшую эффективность как раз для подобных проектов, когда необходима высокая точность результатов при невозможности или ограниченности присутствия наблюдателя. Для увеличения точности измерений возможно использовать наиболее точное оборудование и многократное повторение приемов измерений.



**Рис. 22.** Мониторинг действующих перегонных тоннелей  
**Fig. 22.** Monitoring of existing interstation tunnels



**Рис. 23.** Мониторинг действующих перегонных тоннелей  
**Fig. 23.** Monitoring of existing interstation tunnels

*Малое время для возможности нахождения людей также требует:*

- высокой степени ответственности руководителей проекта для обеспечения бесперебойности его исполнения;
- высокого уровня подготовки исполнителей, чтобы уложиться в короткий срок ручных измерений и обеспечить высокую точность измерений.

Стесненность условий измерений и изгиб тоннеля – условия, которые определили установку четырех тахеометров в системе в зоне влияния проходческого щита.

Для учета влияния была разработана программа автоматизированных измерений, в которой координаты точек стояний приборов совместно перевычисляются по опорным точкам перед каждым циклом измерений.

## Выводы

Как было сказано ранее, за прошедшие годы ООО Фирма «ЮСТАС» получила огромный опыт в реализации задач контроля геометрии на объектах различного назначения.

За рамками настоящей статьи остались многие реализованные и перспективные проекты, не вписывающиеся в тему статьи или не предназначенные для широкого освещения.

Приведенные методы измерений, позволяющие определять горизонтальные перемещения и прогибы, должны успешно использоваться при проведении мониторинга деформированного состояния зданий и сооружений, что увеличит их надежность и безопасность в режимах строительства и эксплуатации, позволит участвовать в проектах по строительству, реконструкции, эксплуатации объектов различного назначения для совместного решения самых сложных задач для обеспечения еще большей безопасности жизни на просторах нашей страны.

## Список литературы

1. ГОСТ 24846-2019. Грунты. Методы измерения деформаций зданий и сооружений. Москва: Стандартинформ; 2020.
2. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* [с Изменениями № 1, № 2 и № 3, № 4 и № 5] [интернет]. Режим доступа: <https://nostroy-sdo.ru/staticcontent/56.%20%D0%A1%D0%9F%2016.13330.2017%20%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8.%20%D0%90%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%D0%A1%D0%9D%D0%B8%D0%9F%20II-23-81.pdf>
3. Фарфель М.И., Вдовенко А.И. Мониторинг напряженно-деформированного состояния уникального трансформированного большепролетного покрытия стадиона «Газпром Арена» – основа его безопасной эксплуатации. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;35(4):133–148. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-133-148](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-133-148)
4. Микулин В., Одесский П.Д., Лебедева И.В., Оспенников А.Г., Отставнов В.А., Попов Н.А., Ханджи А.В., Фарфель М.И. и др. Покрытие Большой спортивной арены стадиона «Лужники» [проектирование, научные исследования и строительство]. Москва: Фортэ; 1998.
5. Фарфель М.И., Гукова М.И., Коняшин Д.Ю., Кущенко А.Е., Любарцев А.В. Особенности реконструкции Большой спортивной арены стадиона «Лужники» к Чемпионату мира по футболу в 2018 году. Вестник НИЦ «Строительство». 2017;14(3):74–92.

## References

1. State Rstandard 24846-2019. Soils. Measuring methods of strains of structures and building bases. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. [In Russian].
2. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81\* [with Amendments No. 1, No. 2 and No. 3, No. 4 and No. 5] [internet]. Available at: <https://nostroy-sdo.ru/staticcontent/56.%20%D0%A1%D0%9F%2016.13330.2017%20%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8.%20%D0%90%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%D0%A1%D0%9D%D0%B8%D0%9F%20II-23-81.pdf> [in Russian].

3. *Farfel M.I., Vdovenko A.I.* Monitoring stress-strain state of the unique transformed long-span shell of the Gazprom Arena stadium as a basis for its safe operation. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;35(4):133–148. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-133-148](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-133-148)
4. *Mikulin V., Odessky P.D., Lebedeva I.V., Ospennikov A.G., Retiring V.A., Popov N.A., Khandzhi A.V., Farfel M.I. et al.* Covering of the Large Sports Arena of the Luzhniki Stadium (design, research and construction). Moscow: Forte Publ.; 1998. (In Russian).
5. *Farfel M.I., Gukova M.I., Konyashin D.Yu., Kuschenko A.E., Lyubarsky A.V.* Particularities of the reconstruction of the Grand Arena of the stadium "Luzhniki" to the football World Cup in 2018. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2017;14(3):74–92. (In Russian).

## Информация об авторах / Information about the authors

**Михаил Владимирович Марков**, директор ООО Фирма «ЮСТАС», Москва

e-mail: markov.mv@ooo-justas.ru

тел.: +7 (926) 135-12-64; +7 (499) 141-82-71

**Mikhail V. Markov**, Director of EUSTACE Company, Moscow

e-mail: markov.mv@ooo-justas.ru

tel.: +7 (926) 135-12-64; +7 (499) 141-82-71

**Алексей Ремович Артемов**, главный инженер ООО Фирма «ЮСТАС», Москва

e-mail: artemov@ooo-justas.ru

тел.: +7 (903) 516-98-96; +7 (499) 141-82-71

**Alexey R. Artemov**, Chief Engineer of EUSTACE Company, Moscow

e-mail: artemov@ooo-justas.ru

tel.: +7 (903) 516-98-96; +7 (499) 141-82-71

**Александр Иванович Вдовенко**✉, заместитель директора ООО Фирма «ЮСТАС», Москва

e-mail: vai@ooo-justas.ru

тел.: +7 (926) 253-06-95; +7 (499) 141-82-71

**Alexander I. Vdovenko**✉, Deputy Director of EUSTACE Company, Moscow

e-mail: vai@ooo-justas.ru

tel.: +7 (926) 253-06-95; +7 (499) 141-82-71

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author