

УДК 624.072.2.014

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-133-148](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-133-148)

EDN: JQECAL

МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УНИКАЛЬНОГО ТРАНСФОРМИРОВАННОГО БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО ПОКРЫТИЯ СТАДИОНА «ГАЗПРОМ АРЕНА» – ОСНОВА ЕГО БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

М.И. ФАРФЕЛЬ^{1,3,✉}, канд. техн. наук
А.И. ВДОВЕНКО²

¹Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко
АО «НИЦ Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

²ООО Фирма «ЮСТАС», Рублевское шоссе, д. 109, к. 5, г. Москва, 112252, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Миобрнауки России (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Описываются основные положения по созданию системы мониторинга напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) покрытия стадиона «Газпром Арена». Данное покрытие имеет повышенный уровень ответственности по федеральному закону № 384-ФЗ и имеет класс КС-3 по ГОСТ 27752 «Надежность строительных конструкций зданий и сооружений». Согласно этим документам в таком здании должна быть установлена система мониторинга напряженно-деформированного состояния, функционирующая весь срок эксплуатации сооружения.

Цель. Разработка и установка системы мониторинга НДС для установления параметров напряженного и деформированного состояния при постоянном слежении за работой уникального покрытия стадиона «Газпром Арена».

Материалы и методы. Описывается методика определения параметров как напряженного, включая измерения снеговой нагрузки на покрытии стадиона, так и деформированного состояния. Параметры деформированного состояния определяются с помощью автоматизированной системы, впервые установленной на уникальном большепролетном покрытии в строительной практике. Описывается процесс установки и настройки автоматизированной системы мониторинга деформированного состояния.

Результаты. Разработана система мониторинга напряженно-деформированного состояния, позволяющая осуществлять непрерывный контроль за работой уникального большепролетного трансформируемого покрытия стадиона «Газпром Арена» в Санкт-Петербурге. Приводятся примеры графической деформированной схемы, которая получается в результате обработки параметров деформированного состояния.

Выводы. Создание самого сложного в мире стадиона с трансформируемым уникальным большепролетным покрытием и футбольным полем позволило разработать спортивный комплекс, удовлетворяющий строгим требованиям ФИФА к аренам для проведения чемпионата мира по футболу. Система мониторинга напряженно-деформированного состояния позволила успешно и безопасно провести полуфинальный и несколько групповых матчей чемпионата мира по футболу 2018 года в России, а также

восемь матчей чемпионата Европы, состоявшегося в 2021 году. Стадион был готов к проведению финала Лиги чемпионов по футболу.

Научно-техническое сопровождение, в которое входит и мониторинг НДС, позволило следить за уровнем напряжений в металлических элементах уникального большепролетного покрытия, определять перемещения его элементов, графически строить деформированную схему сооружения, предупреждать и предотвращать возможные нештатные ситуации, которые возникали в процессе эксплуатации покрытия и могут возникать при дальнейшей эксплуатации уникального сооружения.

Ключевые слова: уникальное большепролетное трансформируемое покрытие, мониторинг напряженно-деформированного состояния, механический тензометр, высокоточный тахеометр и нивелир, напряжения, прогибы, горизонтальные перемещения, прочность, несущая способность конструкций

Для цитирования: 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)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 03.11.2022

Поступила после рецензирования 22.11.2022

Принята к публикации 29.11.2022

MONITORING STRESS-STRAIN STATE OF THE UNIQUE TRANSFORMED LONG-SPAN SHELL OF THE GAZPROM ARENA STADIUM AS A BASE FOR ITS SAFE OPERATION

M.I. FARFEL^{1,3,✉}, Cand. Sci. (Engineering)

A.I. VDOVENKO²

¹Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

²LLC “EUSTACE” Company, Rublevskoe highway, 109, bld. 5, Moscow, 112252, Russian Federation

³National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

Abstract

Introduction. The main provisions for the development of a system for monitoring the stress-strain state (SSS) of the shell covering the Gazprom Arena stadium are described. This shell characterized by an elevated consequence level under Federal Law 384-FZ belongs to a CS-3 class as per GOST 27752 “Safety of structures in buildings and civil engineering works”. According to these documents, a stress-strain state monitoring system should be installed in such a building, functioning for the entire life of the structure.

Aim. In this work, an SSS monitoring system was developed and installed in order to determine the parameters of the stress-strain state under continuous control of the unique shell operated at the Gazprom Arena stadium.

Materials and methods. The method of determining the parameters of the stress state, including the snow load over the stadium surface, as well as the strain state, was described. The parameters of the strain state were defined using an automated system installed for the first time in construction practice on a unique long-span shell. The process of installing and configuring an automated system of monitoring the strain state was described.

Results. A stress-strain state monitoring system was developed that allows continuous monitoring of the unique long-span transformable shell operated at the Gazprom Arena stadium in St. Petersburg. Examples of a graphical deformation scheme were obtained as a result of processing the parameters of the strain state.

Conclusions. The development of the most sophisticated stadium in the world having a transformable unique large-span shell and a football field resulted in a sports complex that meets FIFA's strict requirements for arenas of the World Cup. The system of monitoring the stress-strain state allowed the semi-final and several group matches of the 2018 FIFA World Cup in Russia, as well as eight matches of the European Championship in 2021, to be successfully and safely held. The stadium was ready to host the Champions League Final.

Scientific and technical support, including SSS monitoring, ensured the following: monitoring the stress level in the metal elements of a unique long-span shell; determining the movements of its elements; plotting a deformation scheme of the structure; preventing possible emergency situations that occurred and may further occur during the operation of the unique structure.

Keywords: unique long-span transformable shell, stress-strain state monitoring, mechanical strain gauge, high-precision tacheometer and level station, stresses, deflections, horizontal displacement, strength, load-bearing capacity of structures

For citation: Farfel M.I., Vdovenko A.I. Monitoring stress-strain state of the unique transformed long-span shell of the Gazprom Arena stadium as a base for its safe operation. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;35(4):133–148. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-133-148](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-133-148)

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 03.11.2022

Revised 22.11.2022

Accepted 29.11.2022

Введение

В данной работе описывается процесс создания системы мониторинга напряженно-деформированного состояния, которая позволяет увеличить безопасность и надежность покрытия стадиона «Газпром Арена», с помощью которой можно предотвратить возникающие в процессе эксплуатации сооружения возможные нештатные ситуации в уникальном трансформируемом большепролетном покрытии. Данная система установлена на уникальном трансформируемом большепролетном покрытии стадиона «Газпром Арена» согласно требованиям федерального закона № 384-ФЗ и ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций зданий и сооружений».

Конструкция и основные особенности большепролетного трансформируемого покрытия стадиона «Газпром Арена»

Стадион «Газпром Арена» – это многофункциональный футбольный стадион закрытого типа высшей категории (по международной классификации «Элит» разряда «А») круглогодичного использования с выдвижным полем, раздвижной крышей и трибунами. Вместимость стационарных трибун – 62 300 зрителей. В настоящее время на стадионе установлены дополнительные разборные трибуны, позволившие увеличить количество посадочных мест на арене до 68 тысяч.

Проект стадиона выполнен институтом «Гипростроймост СПб» (инженеры Скорик Г. Б., Зюськов А. Г.) по проекту японского архитектора Кисе Курокава, выигравшего творческий конкурс. В проекте учтены требования [1, 2].

Фасад стадиона в положении «закрыто» и «открыто» приведен на рис. 1.

Интерьер стадиона при закрытом и открытом трансформируемом покрытии изображен на рис. 2.

Стадион «Газпром Арена» относится к зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности по № 384-ФЗ и класса КС-3 по ГОСТ 27751–2014. Коэффициент надежности по ответственности принят равным 1,2.

Кровля стадиона имеет форму пологого купола с радиусом кривизны 725 м и наружным диаметром в плане 295,9 м. Относительная отметка верха кровли составляет +79,000.

Наружный опорный контур, включающий балки наружного окаймления и ортотропные плиты, воспринимает распор с покрытия. Несущим сжато-изгибаемым элементом покрытия является внутренний контур, представляющий пространственную ферму, состоящую из трех поясов, объединенных вертикальными, горизонтальными связями и подкосами (рис. 3). Тангенциальные фермы являются кольцевыми связевыми блоками, а радиальные криволинейные фермы – ребрами.

В центральной зоне купола диаметром 150 м для перемещения раздвижных створок кровли на расстоянии 89,96 м друг от друга установлены две ездовые фермы пролетом



Рис. 1. Фасады стадиона «Газпром Арена»

а – покрытие в положении «закрыто»; б – покрытие в положении «открыто»

Fig. 1. Facades of the Gazprom Arena stadium

а – shell in “closed” position; б – shell in “open” position

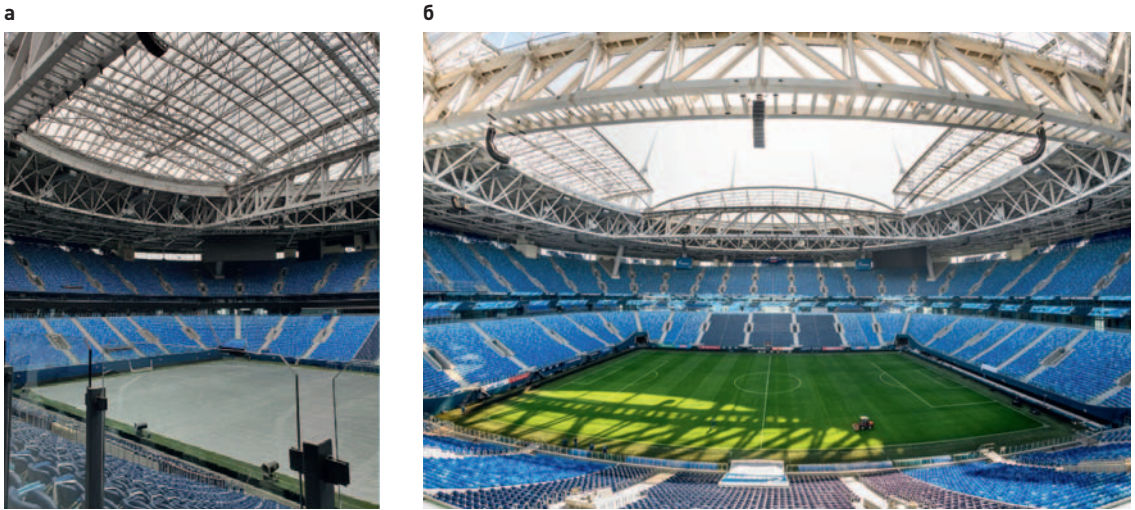


Рис. 2. Интерьеры стадиона «Газпром Арена»

а – покрытие в положении «закрыто»; б – покрытие в положении «открыто»

Fig. 2. Interior decorations of the Gazprom Arena Stadium

а – shell in “closed” position; б – shell in “open” position

251,2 м (рис. 4). Ездовые фермы имеют по четыре собственные опоры для каждой ездовой фермы и шарнирно опираются на них (рис. 5).

Несущие металлические конструкции покрытия опираются с помощью стальных колонн (рис. 6) на железобетонные конструкции фундаментов с помощью специальных шарниров. Внутренний контур подвешен на сорока вантах, прикрепленных к восьми наклонным пилонам.

Общая устойчивость покрытия обеспечивается пространственной работой купола и установленными в осях симметрий Л-образными колоннами (рис. 7).

В проекте покрытия принята система координатных осей, состоящая из кольцевых (буквенных) и радиальных (цифровых) осей, соответствующих шагу основных несущих конструкций покрытия, что показано на рис. 8.

Футбольный стадион «Газпром Арена», согласно федеральному закону № 190-ФЗ от 29.12.2004 г. «Градостроительный кодекс», относится к уникальным сооружениям, он имеет пролет более 100 м.

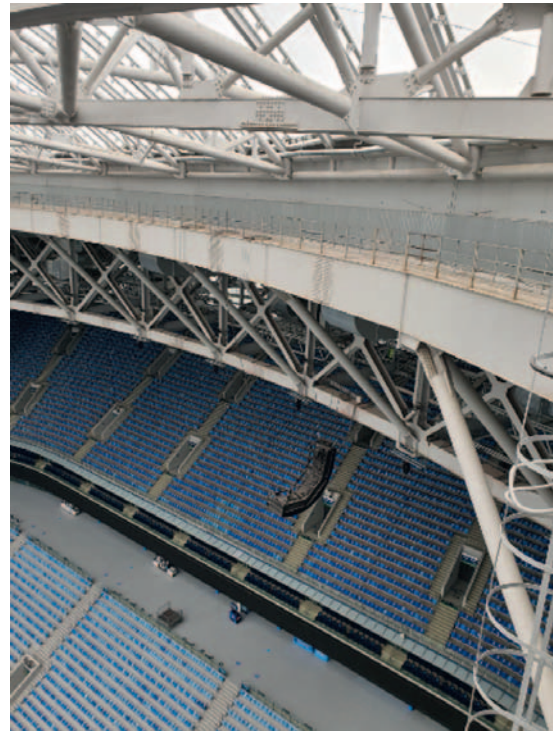


Рис. 3. Внутренний контур, представляющий пространственную ферму покрытия стадиона «Газпром Арена»

Fig. 3. Internal contour comprising an open frame of shells of the Gazprom Arena stadium

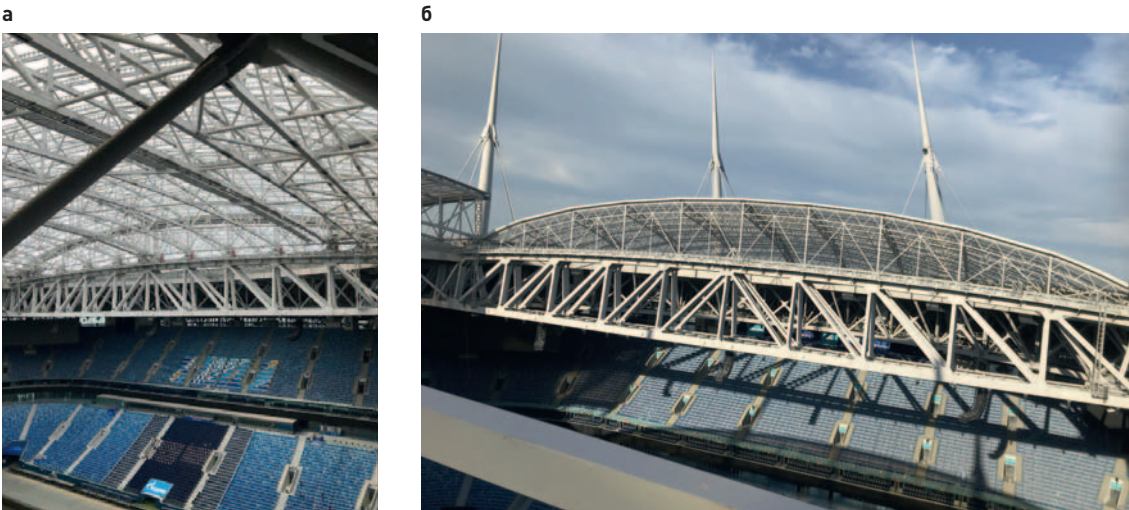


Рис. 4. Ездовая ферма для опирания трансформируемой части покрытия «Газпром Арена»
а – в положении «закрыто»; б – в положении «открыто»

Fig. 4. A deck bearing frame for transforming part of the Gazprom Arena coatings
a – in “closed” position; б – in “open” position



Рис. 5. Шарнирная опора ездовой фермы
Fig. 5. Hinge bearing of deck frame



Рис. 6. Стальные колонны, на которые опирается покрытие стадиона
Fig. 6. Steel columns bearing stadium shell

Для обеспечения надежности и безопасности уникальных сооружений по требованиям федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент безопасности зданий и сооружений» необходимо провести научно-техническое сопровождение (НТС) при проектировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации. В его состав входит 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 на стадионе система мониторинга напряженно-деформированного состояния, входящая в состав НТС [3–7].

Система мониторинга напряженного состояния покрытия стадиона «Газпром Арена»

В процессе мониторинга напряженного покрытия определяются деформации (напряжения) в основных конструкциях (в наиболее напряженных сечениях элементов). Измерения проводятся с помощью разработанных в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко механических тензометров ТМИ-500М, с использованием съемных деформометров и с учетом температурных поправок.

На рис. 9 а показан механический тензометр без съемного деформометра. Это его вид, когда измерения не проводятся, а на рис. 9 б прибор изображен в момент проведения измерений с установленным съемным деформометром.

Процесс измерения деформаций (напряжений) приведен на рис. 10.

Измерение температур конструкции, штанги и калибра показано на рис. 11. Они проводятся электронным контактным термометром ТК5-О1П, изготовленным отечественной фирмой Техно АС.



Рис. 7. Л-образные колонны, расположенные в осях симметрии покрытия стадиона

Fig. 7. L-shaped columns in symmetry axes of stadium shell

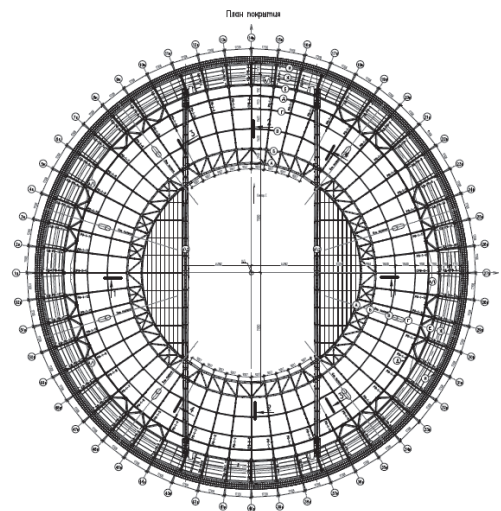


Рис. 8. План покрытия стадиона

Fig. 8. Stadium shell plan



Рис. 9. Механический тензометр
а – без съемного деформометра; б – со съемным деформометром
Fig. 9. Mechanical strain gauge
a – no removable strainmeter; б – with removable strainmeter

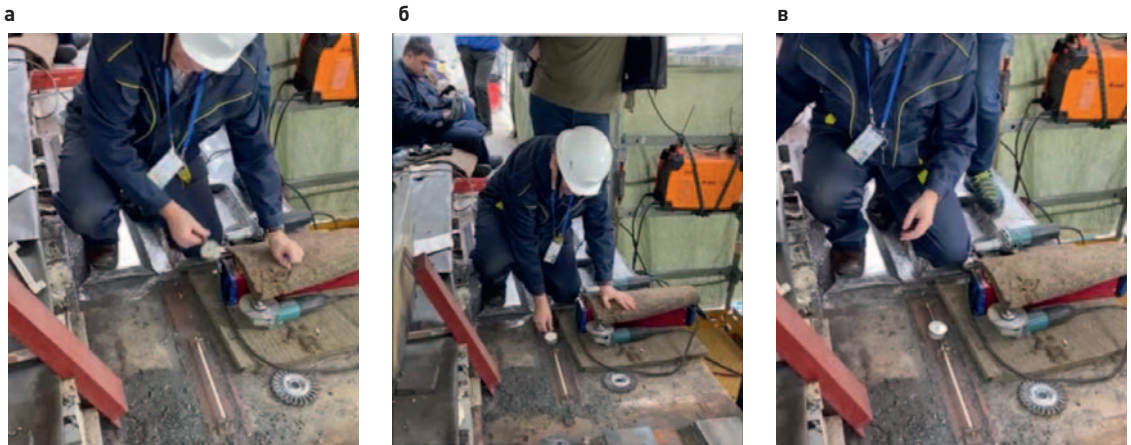


Рис. 10. Процесс измерения деформаций (напряжений) в конструкциях внутреннего контура покрытия «Газпром Арена»
а – калибровка съемного деформометра; б – установка деформометра в механический тензометр;
в – проведение измерений деформаций (напряжений)

Fig. 10. Process of measuring deformations (stresses) in structures of internal contour of the Gazprom Arena shell
a – calibration of a removable strainmeter; б – installation of a strainmeter in a mechanical strain gauge;
в – measurements of deformations (stresses)



Рис. 11. Измерение температуры конструкции и штанги механического тензометра
Fig. 11. Process of measuring temperature of structure and rod in a mechanical strain gauge

В состав мониторинга напряженного состояния также входит измерение снеговой нагрузки на покрытие, что показано на рис. 12 а, б. Измерения проводятся весовым снегомером ВС-43, разработанным в ЦКБ Росгидромета, что позволяет определить интенсивность и распределение снеговой нагрузки на покрытие, которое показано на рис. 13 а, б.



Рис. 12. Измерение снеговой нагрузки на покрытие весовым снегомером
 а – весовой снегомер; б – определение интенсивности снеговой нагрузки

Fig. 12. Measurement of snow load on a shell using a weight snow gauge
 а – weight snow gauge; б – determination of snow load intensity

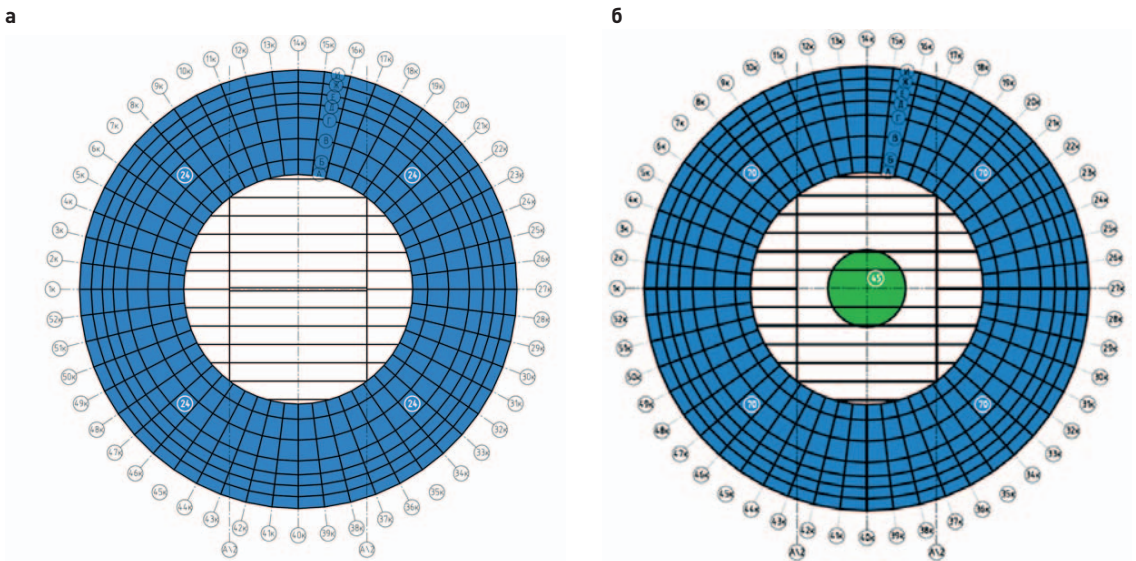


Рис. 13. Распределение и интенсивность снеговой нагрузки на покрытие в зимний период 2022 года:
 а – распределение снеговой нагрузки в январе 2022 г;
 б – распределение снеговой нагрузки в начале марта 2022 года

Fig. 13. Distribution and intensity of snow load on a surface in winter period 2022:

а – distribution of snow load in January 2022; б – distribution of snow load at the beginning of March 2022

Система мониторинга деформированного состояния покрытия стадиона «Газпром Арена»

Мониторинг деформированного состояния покрытия и трибун выполняется методами инженерной геодезии и позволяет определять прогибы и горизонтальные перемещения в контрольных точках покрытия.

Схема мониторинга деформированного состояния разработана по требованиям нормативных документов [9, 10].

Первично для определения текущего состояния конструкций были выполнены мероприятия по созданию опорной геодезической сети на стадионе, что изображено на рис. 14.

Во время создания планово-высотного обоснования для сохранения преемственности измерений были совместно измерены и уравнены координаты деформационных марок, расположенных на пилонах стадиона.

Координаты пунктов планового обоснования работы проводились согласно п. 5.2 [8]. Уравнивание инструментальных геодезических измерений выполнялось с помощью программы «Кредо Дат».

Определение высотного положения пунктов обоснования выполнялось с помощью высокоточного оборудования фирмы Leica, нивелира Leica LS15 и тахеометра Leica TS60 (технические характеристики представлены в табл. 1), прошедшими обязательную сертификацию в центре стандартизации, метрологии и испытаний.

С помощью электронного нивелира (от глубинных реперов, отметки которых были переданы заказчиком, до четырех реперов, заложенных в железобетонные конструкции трибун стадиона) был проложен ход геометрического нивелирования II класса в соответствии с п. 6.3 [8].

Затем с помощью электронного тахеометра Leica TS60 в соответствии с п. 6.4 [8] методом тригонометрического нивелирования была произведена передача высотной отметки на пункты планово-высотного обоснования.

Для удобства вычисления прогиба конструкций отметки высотного положения были пересчитаны из городской системы высот в строительную, относительно проектного нуля стадиона.

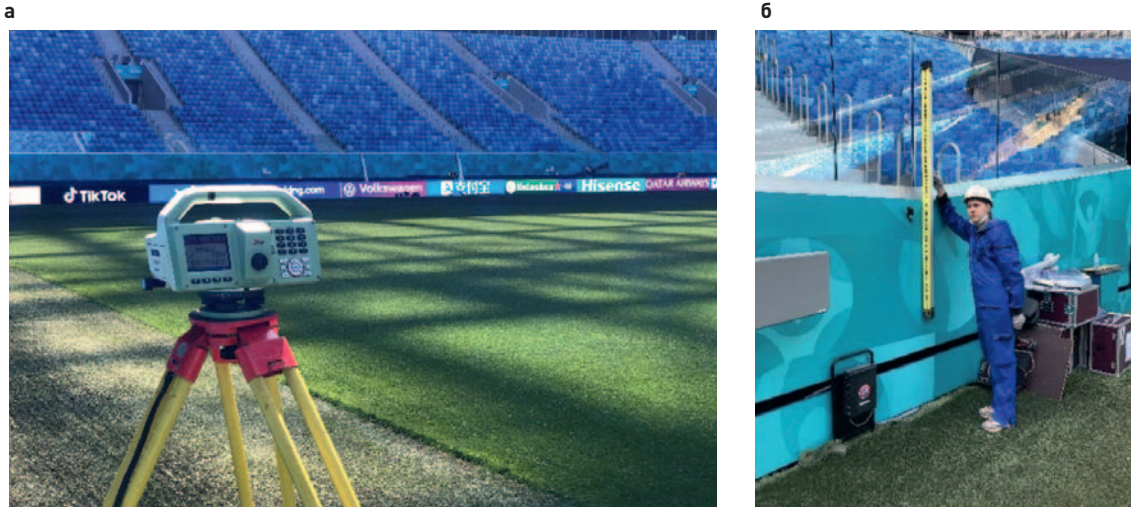
Таблица 1

Характеристики оборудования автоматизированной системы мониторинга деформированного состояния

Table 1

Characteristics of equipment for automated monitoring system of strain state

Оборудование	Вид точности	Размер точности
Leica LS15	Среднее квадратичное отклонение на 1 км двойного хода	0,3 мм
	Точность измерения расстояния	± 15 мм на 30 м
	Увеличение зрительной трубы	32 ⁿ
Leica TS600.5"	Точность измерений угла	0,5"
	Точность измерения расстояния на призму	± 0,6 мм
	Увеличение	30 ⁿ
	Диапазон измерения на одну стандартную призму	1,5–3500 м
	Автоматическое распознавание отражателя на стандартную призму	1500 м

**Рис. 14.** Создание опорной геодезической сети**Fig. 14.** Establishment of a geodetic control grid

Следом были выполнены измерения конструкций тахеометрами и с помощью лазерного сканирования (рис. 15). Эти действия позволили охватить практически 100 % конструкций покрытия стадиона и определить их текущее положение относительно момента до раскрытия конструкций. Результат сканирования показан на рис. 16.

На следующем этапе для стадиона была разработана и установлена автоматизированная система мониторинга деформированного состояния, позволяющая шесть раз в день измерять горизонтальные и вертикальные перемещения конструкций, которая может быть перенастроена в случае аварийных ситуаций на цикл измерений 1 раз в 15 минут. Система состоит из двух тахеометров Leica TS60 (рис. 17), 108 L-образных призмённых отражателей (рис. 18), программного обеспечения, позволяющего записывать данные и передавать по каналам связи для обработки результатов измерений, которая также в графическом виде дает возможность 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, приведенным в [8].

Настройка автоматизированной системы показана на рис. 19. На рис. 20 показано рабочее место оператора автоматизированной системы мониторинга деформированного состояния и интерфейс системы сбора данных.

По результатам, полученным системой мониторинга деформированного состояния, строится деформированная схема, которая приведена на рис. 21.

Разработанная и установленная система мониторинга НДС позволила выявлять возможные нештатные ситуации, возникающие в процессе эксплуатации, оценивать их опасность и принимать меры по их устранению. На основании полученных результатов определяется техническое состояние объекта, что позволяет давать разрешения на безопасное проведение спортивных и концертных мероприятий, проводимых на стадионе.



Рис. 15. Съемка и лазерное сканирование конструкций покрытия:
а – съемка с помощью тахеометра; б – проведение лазерного сканирования
Fig. 15. Shooting and laser scanning of shell structures:
а – shooting using a tacheometer; б – laser scanning

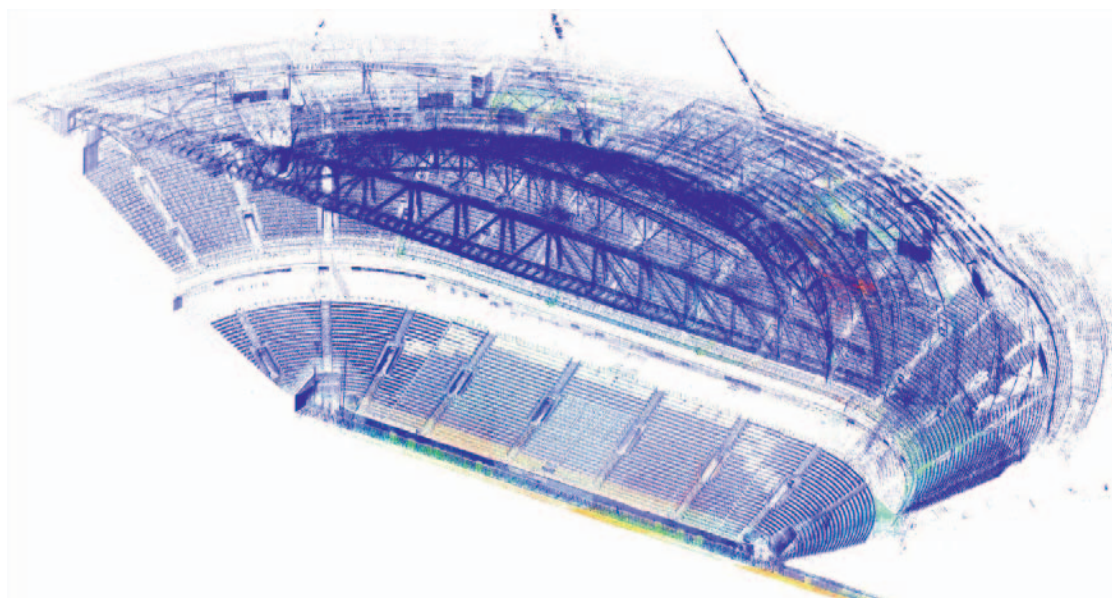


Рис. 16. Результат лазерного сканирования конструкций покрытия
Fig. 16. Result of laser scanning of shell structures



Рис. 17. L-образный отражатель
Fig. 17. L-shaped reflector



Рис. 18. Тахеометр на кронштейне автоматизированной системы
Fig. 18. Tacheometer mounted on a bearing element of an automated system



Рис. 19. Процесс монтажа и наладки автоматизированной системы
Fig. 19. Installation and commissioning of an automated system

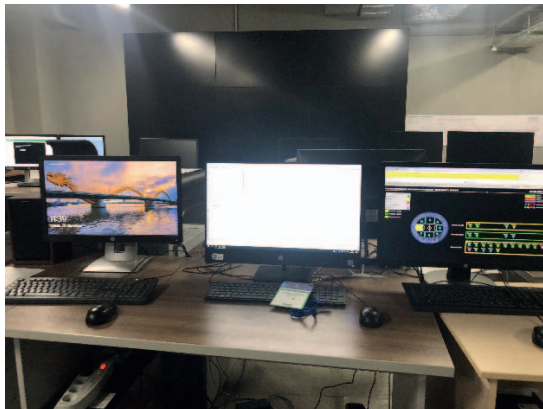


Рис. 20. Рабочее место оператора автоматизированной системы и интерфейс системы сбора данных
Fig. 20. Workplace of an operator of automated system and data acquisition interface unit

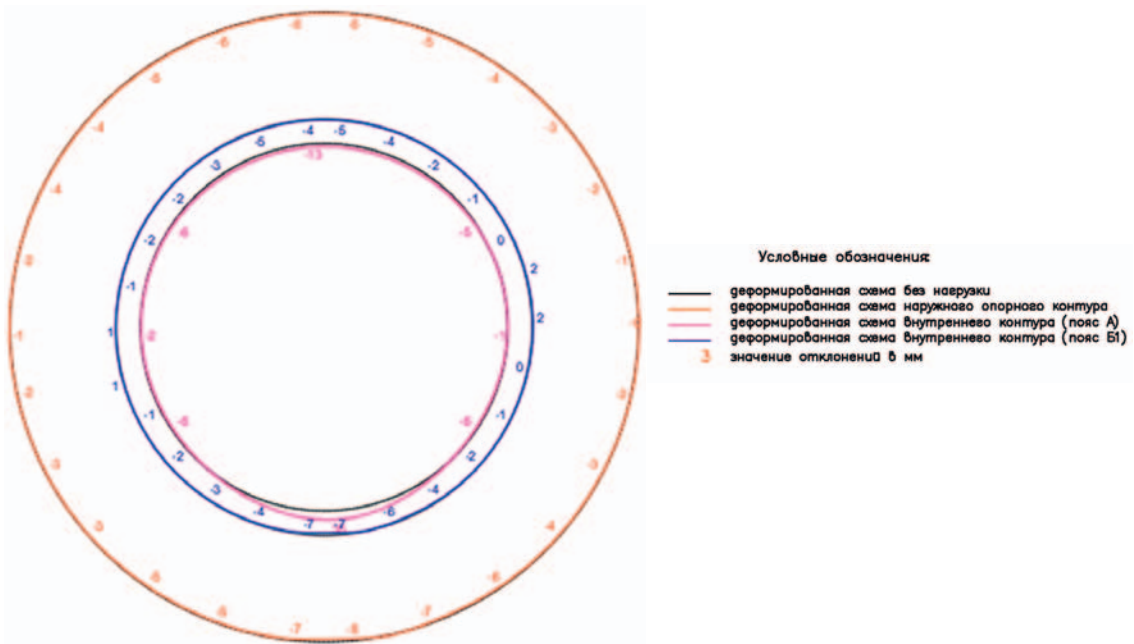


Рис. 21. Деформированная схема, полученная по результатам измерений параметров системы мониторинга, выполненных 27 октября 2022 г.
Fig. 21. Deformation diagram obtained by measuring parameters of a monitoring system on October 27, 2022

Выводы

Создание самого сложного в мире стадиона с трансформируемыми уникальным большепролетным покрытием и футбольным полем позволило соорудить спортивную арену, удовлетворяющую строгим требованиям ФИФА к аренам для проведения чемпионата мира по футболу, матчи которого с успехом проведены в 2018 году. На стадионе также успешно проведены матчи чемпионата Европы 2021 года. Стадион был готов к проведению финала Лиги чемпионов по футболу.

Научно-техническое сопровождение, в которую входит и мониторинг НДС, позволило следить за уровнем напряжений в металлических элементах уникального большепролетного покрытия, определять перемещения его элементов, графически строить деформированную схему сооружения, предупреждать и предотвращать возможные нештатные ситуации, которые возникали в процессе эксплуатации покрытия и могут возникать при дальнейшей эксплуатации уникального сооружения.

Список литературы

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1, № 2 и № 3, № 4) [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>
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://docs.cntd.ru/document/456069588>
3. Микулин В.Б., Одесский П.Д., Лебедева И.В., Оспенников А.Г., Отставнов В.А., Попов Н.А., и др. Покрытие Большой спортивной арены стадиона «Лужники» (проектирование, научные исследования и строительство). Москва: Фортэ; 1998.
4. 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;(3):74–92.
5. Фарфель М.И. Обеспечение безаварийной эксплуатации уникального большепролетного покрытия Большой спортивной арены олимпийского стадиона «Лужники». Строительная механика и расчет сооружений. 2012;(6):56–61.
6. Микулин В.Б., Фарфель М.И., Ханджи А.В. Покрытие Большой спортивной арены Олимпийского комплекса в Лужниках. В: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко 80 лет: сборник статей. Москва: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; 2007. С. 46–55.
7. Mikulin V.B., Khandzhi A.V. Design and construction of mayor sports arena in Luzhniki. Moscow. In: Spatial Structures in new and Renovation project of Buildings and constructions (International congress ICSS-98, june 22-26 1998. Moscow. Russia). Moscow; 1998, p. 113–114.
8. ГОСТ 24846-2019. Грунты. Методы измерения деформаций зданий и сооружений. Москва: Стандартинформ; 2020.
9. ГОСТ 51842-2019. Документация исполнительная геодезическая. Москва: Стандартинформ; 2019.
10. Федеральная служба геодезии и картографии России. Геодезические и картографические инструкции. Нормы и правила. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. Москва: ЦНИИГАиК; 2004.

References

1. SP 20.13330.2016. Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07-85* (with Amendments No. 1, No. 2 and No. 3, No. 4). [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456044318> (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). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456069588> (in Russian).
3. Mikulin V.B., 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).
4. Farfel M.I., Gukova M.I., Konyashin D.Yu., Kushchenko A.E., Lyubartsev A. In particular, reconstruction of the Large Sports Arena of the Luzhniki Stadium for the 2018 FIFA World Cup. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2017;(3):74–92 (in Russian).
5. Farfel M.I. Ensuring trouble-free operation of the unique long-span covering of the Large Sports Arena of the Olympic stadium "Luzhniki". Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii = Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2012;(6):56–61 (in Russian).
6. Mikulin V.B., Farfel M.I., Khandzhi A.V. Covering the Large sports arena of the Olympic Complex in Luzhniki. V.A. Koucherenko TSNISK 80 years old. Collection of articles. Moscow: V.A. Koucherenko TSNISK; 2007. P. 46–55 (in Russian).
7. Mikulin V.B., Khandzhi A.V. Design and construction of mayor sports arena in Luzhniki. Moscow. In: Spatial Structures in new and Renovation project of Buildings and constructions (International congress ICSS-98, june 22-26 1998. Moscow. Russia). Moscow; 1998, p. 113–114.
8. State Standard 24846-2019. Soils. Methods of measuring deformations of buildings and structures. Moscow: Standartinform Publ.; 2020 (in Russian).
9. State Standard 51842-2019. Executive geodetic documentation. Moscow: Standartinform Publ.; 2019 (in Russian).

10. Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia. Geodetic and cartographic instructions. Rules and regulations. Instructions for leveling I, II, III, IV classes of GKINP (GNTA)-03-010-03. Moscow: TsNIIGAiK; 2004 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Иосифович Фарфель , канд. техн. наук, заведующий лабораторией нормирования, реконструкции и мониторинга уникальных зданий и сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», доцент кафедры металлических и деревянных конструкций НИУ МГСУ, Москва

e-mail: farfelmi@yandex.ru

тел.: +7 (499) 170-10-87

Mikhail I. Farfel , Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of Reconstruction, Standardization, and Monitoring of Unique Buildings and Structures of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Associate Prof., Department of Metal and Wooden Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

e-mail: farfelmi@yandex.ru

tel.: +7 (499) 170-10-87

Александр Иванович Вдовенко, заместитель директора ООО фирма «ЮСТАС», Москва

e-mail: via@ooo-yustas.ru

тел.: +7 (926) 253-06-95

Alexander I. Vdovenko, Deputy Director of the LLC "EUSTACE" Company, Moscow

e-mail: via@ooo-yustas.ru

tel.: +7 (926) 253-06-95

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author