

УДК 624.072.2.014

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-82-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-82-105)

EDN: RJORZZ

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЙ БОЛЬШОЙ СПОРТИВНОЙ АРЕНЫ СТАДИОНА «ЛУЖНИКИ»

М.И. ФАРФЕЛЬ^{1,2}, канд. техн. наук

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

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В статье рассказывается об изменении покрытия над Большой спортивной ареной (БСА) стадиона «Лужники» с начала возведения и до наших дней. Показывается, как изменялось покрытие над трибунами БСА, включая три реконструкции стадиона, которые осуществлялись по различным причинам в течение 65-летней истории существования.

Цель. Показать процесс и особенности возведения покрытия над трибунами арены и создания стадиона, удовлетворяющего требованиям Международной федерации футбола (FIFA) для стадионов, на которых проводятся матчи открытия и финала Кубка мира по футболу.

Материалы и методы. Приведены способы создания уникального большепролетного покрытия стального купольного типа, имеющего наибольший безопорный пролет для сооружений такого класса, равный 310 м. Автором статьи описан процесс проектирования, проведения испытаний большеразмерной модели и испытаний в аэродинамической трубе специально изготовленной модели для определения снеговой и ветровой нагрузок. Подробно показан процесс монтажа покрытия, сборки наружного опорного контура и установки их на колонны. Описан процесс сборки внутреннего контура, периметр которого составил около 600 м, а вес – 4500 тс. После сборки внутреннего контура он в течение трех дней целиком был поднят на проектную отметку, которая достигала приблизительно значения 50 м. После этого между наружным опорным и внутренним контурами устанавливались криволинейные балки, между которыми монтировались кольцевые фермы. На каркас купола впервые в строительной практике нашей страны установлена светопрозрачная кровля из поликарбонатных панелей. Это была вторая реконструкция покрытия. Первая проводилась к Олимпиаде-80 в Москве. Третья реконструкция покрытия проведена для удовлетворения строгих требований FIFA. В ходе проведения реконструкции были демонтированы старые трибуны и сооружены новые. Увеличена площадь покрытия над трибунами, которые стали приближены к полю на 17 м, чтобы зрители были защищены от атмосферных осадков. Приняты меры для обеспечения несущей способности существующего большепролетного покрытия при проведении реконструкции стадиона.

Результаты. Разработана и осуществлена реконструкция Большой спортивной арены стадиона «Лужники». Реконструированная арена признана УЕФА (Европейской федерацией футбола) одним из лучших стадионов мира и получила квалификацию «Элит».

Выводы. Принципы реконструкции стадиона большой вместимости на примере усовершенствования Большой спортивной арены стадиона «Лужники» можно использовать для удовлетворения требований FIFA на других аренах с трибунами не менее 80 000 зрителей.

Ключевые слова: большепролетное покрытие, безопорный пролет, стальные конструкции, наружный опорный контур, внутренний контур, криволинейная радиальная балка, кольцевая ферма, консольная часть покрытия, светопрозрачная кровля, поликарбонат

Для цитирования: Фарфель М.И. История создания и реконструкций Большой спортивной арены стадиона «Лужники». *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023;38(3):82–105. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-82-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-82-105)

Вклад авторов

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.05.2023

Поступила после рецензирования 21.06.2023

Принята к публикации 27.06.2023

HISTORY OF CREATION AND RECONSTRUCTION OF THE GRAND SPORTS ARENA OF THE LUZHNIKI STADIUM

M.I. FARFEL^{1,2}, Cand. Sci. (Engineering)

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

² National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

Abstract

Introduction. The paper presents the process of renovating the roof over the Grand Sports Arena (GSA) of the Luzhniki Stadium from its construction to the present day. It demonstrates the modifications in the roof over the GSA stands, including three reconstructions of the stadium, which were carried out for various reasons during the 65-year history of the stadium.

Aim. To describe the process and peculiarities of erecting the roof over the arena stands and creating a stadium that meets the requirements of the International Football Federation (FIFA) for stadiums hosting the opening and final matches of the FIFA World Cup.

Materials and methods. The study involved methods for creating a unique large-span steel roof of a dome type with the largest unsupported span (310 m) for structures of this class. The paper describes the process of designing and testing a large-size model and a specially made model in a wind tunnel to determine the snow and wind loads. The process of erecting the roof, assembling the outer support contour, and lifting it on the columns is shown in detail. The process of assembling the inner contour is described. Its perimeter accounts for about 600 m, and its weight is 4500 tf. After assembling, the inner contour was lifted to the design level at approximately 50 m within three days. After that, curved beams were installed between the outer support and inner contours with ring trusses in between. A translucent roof made of polycarbonate panels was installed on the dome frame for the first time in the construction practice of Russia. This was the second reconstruction of the roof. The first one was arranged for the 1980 Summer Olympics in Moscow. The third reconstruction of the roof was carried out to meet the strict requirements of FIFA. The reconstruction involved dismantling old stands and building new ones. The roof over the stands became 17 meters closer to the field, and its area was increased to protect the spectators from atmospheric precipitation. Measures were taken to ensure the bearing capacity of the existing large-span roof during the stadium renovation.

Results. The reconstruction of the Grand Sports Arena of the Luzhniki Stadium was developed designed and implemented. The reconstructed arena was recognized by UEFA (Union of European Football Associations) as one of the best stadiums in the world and received “Elite” qualification.

Conclusion. The principles of reconstruction of a large-capacity stadium on the example of the renovated Grand Sports Arena of the Luzhniki Stadium can be used to meet the requirements of FIFA in other arenas with stands for at least 80,000 spectators.

Keywords: long-span roof, unsupported span, steel structures, outer support contour, inner contour, curved radial beam, ring truss, cantilever part of the roof, translucent roof, polycarbonate

For citation: Farfel M.I. History of creation and reconstruction of the Grand Sports Arena of the Luzhniki stadium. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;38(3):82–105. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-82-105](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-82-105)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 15.05.2023

Revised 21.06.2023

Accepted 27.06.2023

Введение

В данной работе рассказывается о создании и реконструкции главного стадиона страны. В статье объясняются причины проведения всех реконструкций стадиона, объясняются способы изготовления и монтажа покрытия над стадионом, а также мероприятия при проведении реконструкции к Кубку мира по футболу в 2018 году для удовлетворения требований Международной федерации футбола (FIFA).

Цель

Показать процесс создания покрытия над трибунами арены и создания стадиона, удовлетворяющего требованиям FIFA для стадионов, на которых проводятся матчи открытия и финала Кубка мира по футболу.

Сооружение стадиона «Лужники»

Решение о строительстве комплекса спортивных сооружений «Лужники» принято Советом Министров СССР в 1954 году. Архитекторами стадиона были А. В. Власов, И. А. Рожин, Н. Н. Уллас и А. Ф. Хряков. Инженерами являлись В. Н. Насонов, И. М. Резников, В. М. Поликарпов. При этом В. Н. Насонов был в то время директором ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко.

Проектирование комплекса завершилось за 90 дней, 31 июля 1956 года стадион был открыт. Его строительство осуществилось за 450 дней.



Рис. 1. Вид стадиона с 1956 по 1979 год
Fig. 1. View of the stadium from 1956 to 1979

Первоначальная вместимость стадиона составляла 110 тыс. зрителей, но в качестве посадочных мест были сплошные деревянные лавки (рис. 1).

Первым спортивным мероприятием, состоявшимся на стадионе, был футбольный матч между командами РСФСР и КНР. А несколько дней спустя на БСА стартовала первая Спартакиада народов СССР.

Первая реконструкция БСА состоялась перед Олимпиадой 1980 года. Были смонтированы четыре осветительные башни, обеспечивающие освещенность арены порядка 2000 люкс, что позволяло вести с Олимпиады телепередачи в цветном формате, также была установлена чаша олимпийского огня (рис. 2).

На БСА прошли соревнования по различным видам спорта, включая футбольные матчи олимпийского турнира, а также церемонии открытия и закрытия Олимпийских игр 1980 года (рис. 3).

Создание покрытия над трибунами БСА стадиона «Лужники»

Вторая реконструкция состоялась из-за того, что Международная федерация футбола (FIFA) выпустила требования о том, что все зрители, присутствующие на стадионе, должны быть защищены от атмосферных осадков. Необходимо было над зрительными местами создать покрытие.



Рис. 2. Вид стадиона с 1980 по 1996 год
Fig. 2. View of the stadium from 1980 to 1996



Рис. 3. БСА во время Олимпиады 1980 года
Fig. 3. GSA during the 1980 Olympics

После длительного конкурса принято решение его создать в форме стержневого стального купола, причем покрытие должно опираться на колонны, отстоящие от конструкций стадиона на 5 м.

Авторами проекта покрытия над стадионом «Лужники» были архитекторы А. Г. Оспенников, Г. Е. Ермилина, Т. В. Катунина; инженеры В. В. Ханджи, А. В. Ханджи от МНИИП «Моспроект-4»; сотрудники ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко В. Б. Микулин, М. И. Фарфель.

В результате запроектировано и затем осуществлено большепролетное покрытие с наибольшим в мире безопорным пролетом для такого класса сооружения, который составил 310 м.

Перед началом проектирования в аэродинамической трубе была осуществлена продувка модели будущего покрытия, т. к. в нормах [1] отсутствовали данные по значениям атмосферных нагрузок. Это позволило определить реальные значения снеговых и ветровых нагрузок для проведения расчета покрытия и проверки несущей способности входящих в его состав стальных элементов [3, 4, 9] (рис. 4).

Кроме того, была испытана большепролетная модель покрытия, на которой выяснялась работа системы от действия на нее разнообразных нагрузок (рис. 5) [4].

На этой же модели проведена попытка смоделировать осадку опор, опирающихся на основание. Были удалены из работы одна, две и три колонны. Такая схема, кроме своего первоначального назначения, явилась прообразом моделирования испытаний для проверки устойчивости конструкции от прогрессирующего обрушения (рис. 6).

Кроме модели сооружения испытывались отдельные модели фрикционного соединения, а также выяснялась работа нового типа кровли из светопрозрачного поликарбоната. Испытания проведены в лаборатории испытаний ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко (рис. 7) [4].

После проведения всех испытаний и выпуска проекта покрытия, в состав которого входил и расчет с проверкой несущей способности всех конструкций системы [9],



Рис. 4. Испытание модели в аэродинамической трубе
Fig. 4. Model wind tunnel testing

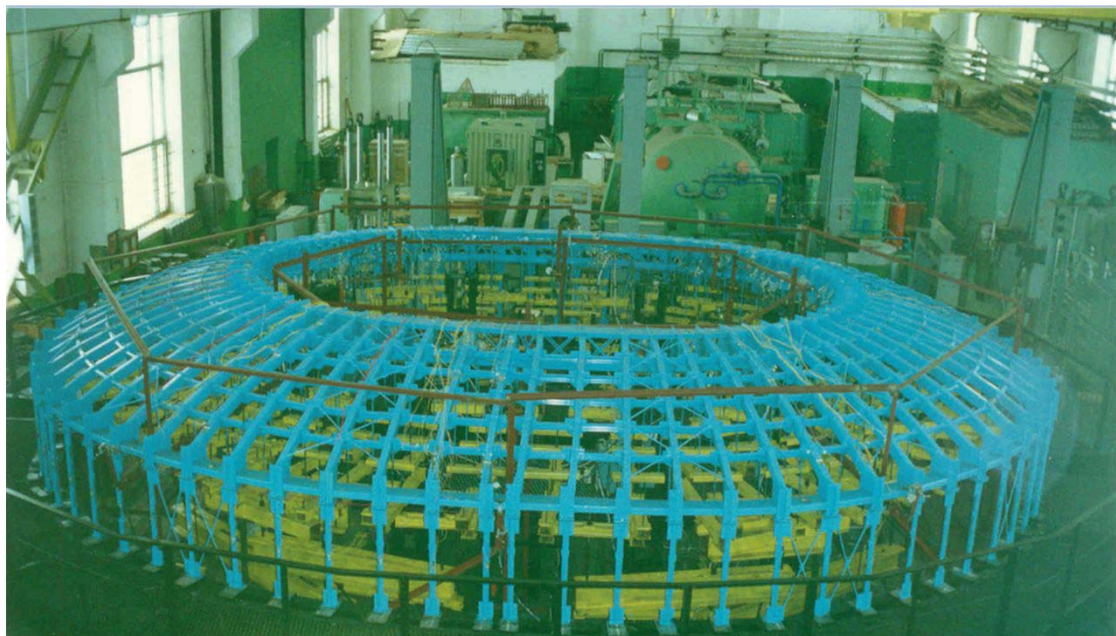


Рис. 5. Испытание большепролетной модели покрытия БСА
Fig. 5. Testing of a large-span model of the GSA roof

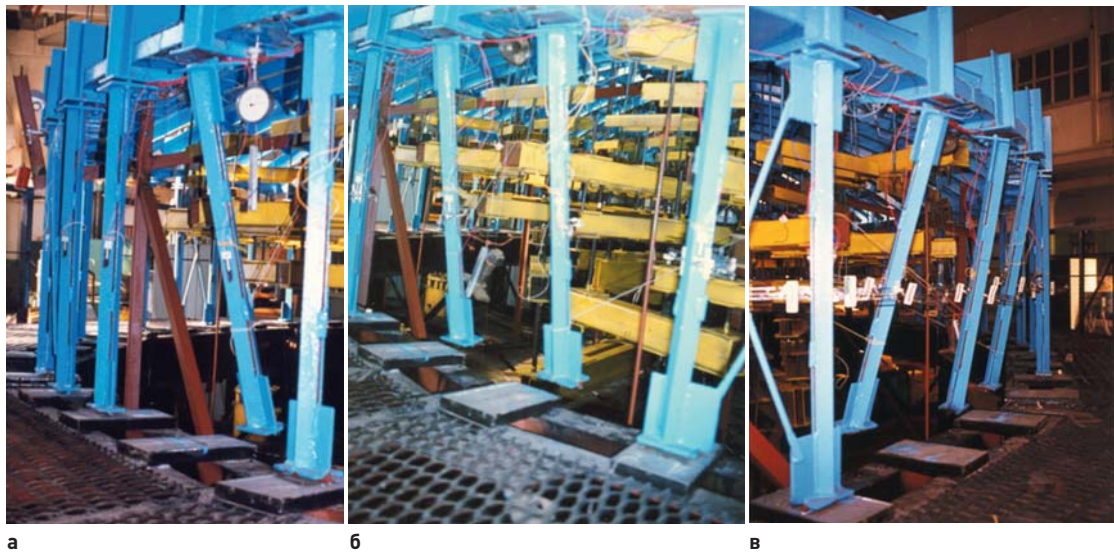


Рис. 6. Испытания, моделирующие устойчивость каркаса от прогрессирующего обрушения, исключением из работы: *а* – одной колонны; *б* – двух колонн; *в* – трех колонн
Fig. 6. Tests, modeling the progressive collapse resistance of the frame by excluding: *a* – one column; *б* – two columns; *в* – three columns

на двух заводах металлоконструкций были изготовлены элементы покрытия, которые затем были доставлены на строительную площадку для их сборки в пространственный каркас покрытия.

Отметим особенности каркаса покрытия стадиона. Купол покрытия шарнирно оперт на колонны, которые, в свою очередь, шарнирно прикреплены к фундаменту, что позволяет колоннам воспринимать только сжимающие продольные усилия при отсутствии изгибающих моментов. Этот прием позволяет сократить материалоемкость колонны и облегчить создание узлов прикрепления колонны к покрытию и к фундаменту.

Монтаж колонн покрытия изображен на рис. 8 [4].

Осуществление шарнирного опирания выполняется при помощи отфрезерованных торцов опорных элементов.

Далее расскажем о монтаже. Он представлял сложную техническую задачу, т. к. нужно было собрать два контура – наружный и внутренний. Периметр наружного опорного контура – более 900 м, а внутреннего контура – около 600 м длиной [4].

Поясним, как собирался наружный опорный контур. На предварительно установленные и выверенные в проектное положение колонны устанавливались монтажные отправочные марки, которые имели длину, соответствующую транспортному габариту, т. е. около 12 м, и высоту не более 3,6 м. Каждый последующий монтажный элемент соединялся с предыдущим при помощи фрикционных соединений на высокопрочных болтах.

Для обеспечения полной сборки наружного опорного контура в овальное кольцо были предусмотрены четыре компенсационных стыка, в которых устранялись неточности монтажа. На рис. 9 показан процесс монтажа наружного опорного контура.

Вернемся к узлу опирания колонны на фундамент и напомним, что он запроектирован и выполнен шарнирным. Узел и общий вид колонны показаны на рис. 10.



Рис. 7. Испытания узлов и частей БСА: а – узел фрикционного соединения монтажных элементов; б – испытания светопрозрачной поликарбонатной панели

Fig. 7. Tests of GSA joints and parts: а – friction joint of mounting elements; б – tests of translucent polycarbonate panel



Рис. 8. Монтаж наружного опорного контура: а – установка наружного опорного контура на колонны;
б – верхняя часть колонны; в – узел сопряжения колонны с наружным контуром
Fig. 8. Installation of the outer support contour: а – installation of the outer support contour on the columns;
б – the upper part of the column; в – column to outer contour joint

Далее перейдем к монтажу и сборке внутреннего контура. Он по проекту имел сложное сечение в виде пространственной фермы, которая состояла из верхнего, двух средних и нижнего поясов, объединенных с помощью крестовой решетки из широкополочных двутавров в единую пространственную систему [4, 7, 8].

Сборка внутреннего контура осуществлялась на специально организованных подмостях, которые показаны на рис. 11. Сборка кольца велась симметрично с двух сторон. Собранный полностью внутренний контур показан на рис. 12 [4, 7, 8].

Возможность неточной сборки поправлялась по данным измерений, которые выполнялись специалистами ООО Фирма «ЮСТАС», представители которой находились на заводе металлоконструкций, где помогали осуществлять контрольную сборку отправочных элементов, и на строительной площадке, а также участвовали в соединении отправочных элементов в овальное сплошное кольцо. Соединение отправочных элементов велось с помощью фрикционных соединений на высокопрочных болтах. Такой тип соединения при монтаже всего каркаса был основным и позволил намного сократить сроки возведения покрытия. Для его осуществления понадобилось 360 тысяч высокопрочных болтов на всем покрытии.

После окончательной сборки внутреннего контура, которая благодаря специалистам ООО Фирма «ЮСТАС» завершилась с прецизионной точностью, идеально совпали отверстия для установки высокопрочных болтов в последнем монтажном стыке, несмотря на то что периметр овального кольца внутреннего контура составлял около 600 м.

Далее полностью собранный внутренний контур весом 4500 кг был поднят на проектную отметку – высоту 50 м. Процесс подъема осуществлялся в течение трех дней при помощи предварительно установленных на специальных стойках мощных домкратов. После достижения внутренним контуром проектной отметки внутренний контур был закреплен на монтажных стойках (рис. 12 и 13).



а



б

Рис. 9. Установка наружного контура на колонны: а – колонны покрытия БСА; б – наружный опорный контур покрытия БСА

Fig. 9. Installation of the outer contour on the columns: а – GSA roof columns; б – GSA roof outer support contour



а



б

Рис. 10. Колонна покрытия: а – общий вид колонны; б – нижняя часть колонны покрытия БСА

Fig. 10. Roof column: а – general view of the column; б – the lower part of the GSA roof column



Рис. 11. Сборка внутреннего контура на подмостях
Fig. 11. Assembling the inner contour on scaffolds



Рис. 12. Внутренний контур собран
Fig. 12. Inner contour assembled



Рис. 13. Подъем внутреннего контура на проектную отметку
Fig. 13. Lifting the inner contour to the design level

Следующим этапом был монтаж криволинейных радиальных балок, которые одним концом опирались на наружный опорный контур, а другим – на внутренний (рис. 14).

Монтаж радиальных балок осуществлялся в строгой последовательности, чтобы избежать нежелательных деформаций двух контуров.

После установки всех радиальных балок между ними были смонтированы кольцевые фермы. Совокупность всех установленных элементов обеспечивала необходимую жесткость, устойчивость и неизменяемость покрытия БСА. Вид на стадион во время монтажа показан на рис. 15.



Рис. 14. Монтаж криволинейных радиальных балок
Fig. 14. Installation of curved radial beams

После полной сборки каркаса впервые в строительной практике нашей страны проведено устройство светопрозрачной кровли из поликарбоната немецкой фирмы «Макролон». Ее монтаж показан на рис. 16.

На рис. 17 и 18 показаны фасад и интерьер стадиона после возведения покрытия над трибунами [4, 7, 8].



Рис. 15. Вид на покрытие БСА во время монтажа
Fig. 15. View of the GSA roof during installation



а

б

Рис. 16. Монтаж светопрозрачной кровли: *а* – подъем светопрозрачной панели;
б – монтаж панели на покрытие БСА

Fig. 16. Installation of the translucent roof: *a* – lifting of a translucent panel; *b* – installation of a panel on the GSA roof



Рис. 17. Фасад стадиона после возведения покрытия
Fig. 17. The stadium facade after the erection of the roof



Рис. 18. Интерьер стадиона после возведения покрытия над трибунами БСА

Fig. 18. The stadium interior after the erection of the roof over the GSA stands

Реконструкция стадиона к Кубку мира 2018 года

Следующий этап в истории стадиона «Лужники» – это реконструкция стадиона к чемпионату мира по футболу в 2018 году в России. Стадион был выбран главной ареной чемпионата, на которой должны были быть проведены матчи открытия и финала.

Однако он не удовлетворял строгим требованиям FIFA для проведения таких мероприятий. Для этого нужно было провести реконструкцию. Назовем отдельные требования, которым не удовлетворял стадион:

- вместимость. Она должна была составлять 89 тысяч зрителей;
- расстояние в плане от углового флажка до крайнего ряда должно составлять 190 м для обеспечения максимальной комфортности и видимости для зрителей при проведении спортивных мероприятий. На стадионе эта величина была 240 м;
- ширина ступени гребенки трибун должна составлять 80 см для свободного прохода зрителей к своему месту;
- отсутствие скай-боксов, в которых располагались VIP-места для зрителей;
- отсутствие на стадионе зон для прессы и другие требования, которые мы не будем здесь перечислять.

Требование по вместимости удалось решить в результате переговоров московской администрации с президентом FIFA. Оно было снижено до 80 тысяч зрителей.

В ходе подготовки к реконструкции предлагалось либо снести существующий стадион и на его месте построить новый, либо демонтировать старое покрытие и заменить его новым. Варианты реконструкции приведены на рис. 19.

Однако нынешний стадион является одним из символов города Москвы, находится на золотой оси города, на нем было проведено множество знаковых спортивных мероприятий. Поэтому удалось убедить руководство города оставить неизменным его внешний вид. В этом большую роль кроме автора статьи сыграли нынешний директор ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко И. И. Ведяков, известные специалисты нашего института М. Р. Урицкий, П. Д. Одесский, П. Г. Еремеев при поддержке вице-президента РААСН В. И. Травуша.



Рис. 19. Варианты реконструкции стадиона «Лужники»
Fig. 19. Options for the reconstruction of the Luzhniki Stadium

Авторами реконструкции являлись: архитекторы, работающие в ООО «Спич», А. А. Шубкин, С. О. Кузнецов и А. Э. Чобан. Инженеры реконструкции стадиона «Лужники» – сотрудники ООО «Метрополис» А. В. Любарцев и А. Е. Куценко; сотрудник ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» М. И. Фарфель.

Реконструкция заключалась в сохранении существующего стального купольного покрытия с увеличением его площади и фасадных трибун, а также полной заменой трибун с удовлетворением требований FIFA при сохранении несущей способности несущих конструкций, что представляло собой сложную инженерную задачу, которая была успешно решена [5, 10].

Устойчивость покрытия была обеспечена установкой крестовых трубчатых связей между колоннами стадиона (рис. 20).

На рис. 21 показан демонтаж старых трибун. Для обеспечения устойчивости исторической фасадной стены в последних пролетах старых трибун установлены временные вертикальные связи (рис. 22).

Для определения нагрузок от снега и ветра проведены продувки модели реконструируемого покрытия в аэродинамической трубе ООО «Фирма «Уникон» М. М. Березиным и М. А. Березиным (рис. 23), которые использовались при проведении прочностных расчетов нового покрытия [11], по результатам которых специалистами ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» И. В. Лебедевой и Д. С. Богачевым составлены рекомендации по назначению этих нагрузок.

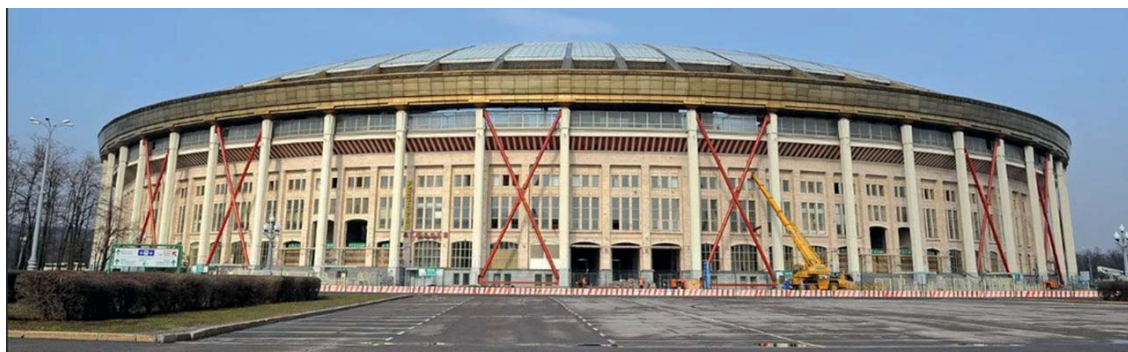


Рис. 20. Временные вертикальные связи для обеспечения устойчивости покрытия БСА
Fig. 20. Temporary vertical braces to ensure the stability of the GSA roof



Рис. 21. Демонтаж трибун стадиона «Лужники»
Fig. 21. Dismantling of the Luzhnik Stadium stands

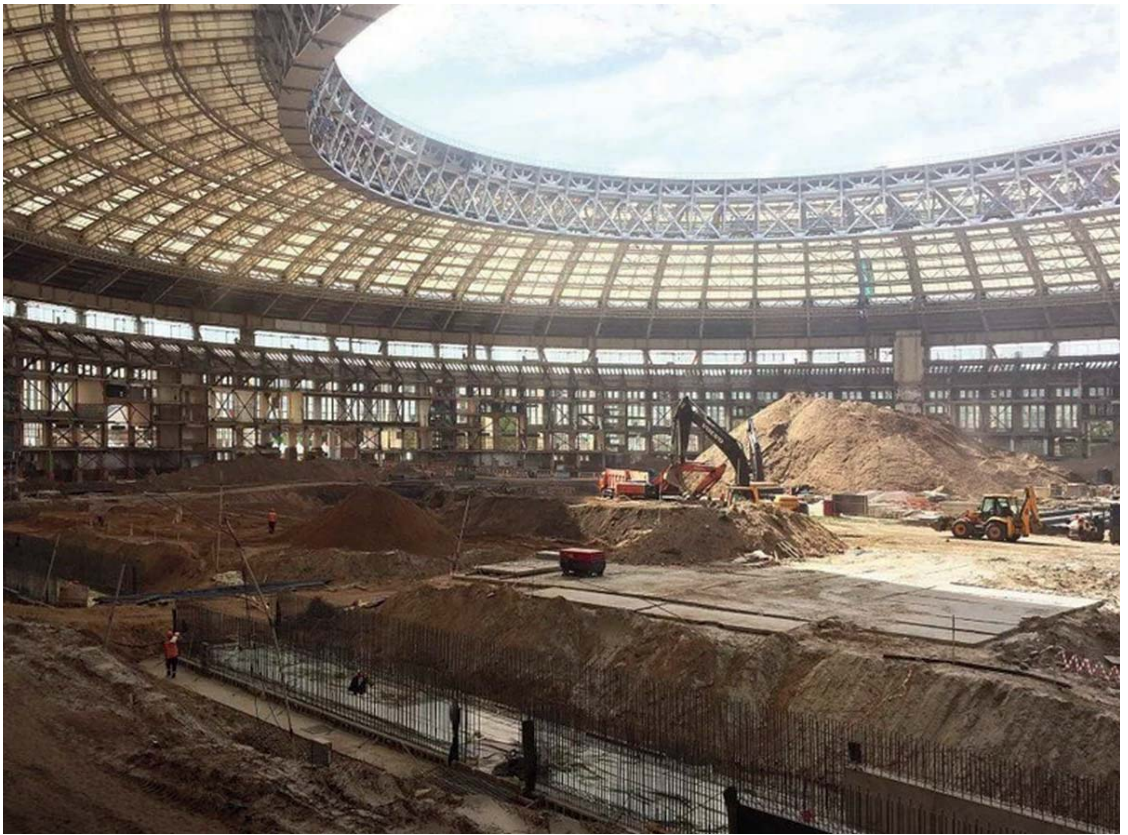


Рис. 22. Меры по обеспечению устойчивости исторической фасадной стены
Fig. 22. Measures to ensure the stability of the historic front wall

В ходе выполнения работ по реконструкции были проведены испытания, в которых выяснялось влияние температурных воздействий на несущую способность высокопрочных предварительно напряженных болтов, а также проведены испытания реальных узлов соединения старой части покрытия с новой консольной частью, увеличивающей площадь уникального большепролетного покрытия БСА. Это показано на рис. 24 и 25.



Рис. 23. Испытание модели в аэродинамической трубе для определения снеговых и ветровых нагрузок
Fig. 23. Wind tunnel testing of the model to determine snow and wind loads



Рис. 24. Испытания влияния температуры на несущую способность высокопрочных болтов: а – сварка модели элемента, позволяющего увеличить площадь покрытия БСА; б – проверка натяжения высокопрочных болтов
Fig. 24. Testing the effect of temperature on the load-bearing capacity of high-strength bolts: а – welding of the model of the element to increase the coverage area of the GSA; б – testing of the tension of high-strength bolts



Рис. 25. Испытания реального узла соединения консольной части покрытия с существующей частью покрытия БСА
Fig. 25. Testing the real joint of the cantilever part of the roof with the existing part of the GSA roof

В проведении испытаний, обследовании покрытия перед проведением монтажа, научно-техническом сопровождении реконструкции на стадии изготовления, монтажа и осуществлении реконструкции трибун, при сохранении исторической фасадной стены стадиона, принимали участие специалисты ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко М. И. Гукова, Д. Ю. Коняшин, Д. В. Кондрашов, С.В. Гуров, О.И. Пономарев, А. А. Минасян.

На рис. 26 показан консольный элемент, увеличивающий площадь покрытия БСА, и его вид при сборке в кондукторе. Установленные на покрытие элементы консольной части показаны на рис. 27.



Рис. 26. Консольный элемент, увеличивающий площадь покрытия БСА, в кондукторе
Fig. 26. Cantilever element increasing the coverage area of the GSA in the jig



Рис. 27. Монтаж консольной части покрытия БСА
Fig. 27. Installation of the cantilever part of the GSA roof

В процессе реконструкции осуществлялся мониторинг напряженно-деформированного состояния элементов покрытия по специально разработанной в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко системе. Приборы системы защищены патентом. Этот процесс показан на рис. 28, где изображено проведение измерений непосредственно на самом покрытии и на временных вертикальных связях [6]. Продолжаются работы по мониторингу деформированного состояния

покрытия под руководством и непосредственно специалистами ООО Фирма «ЮСТАС» А. И. Вдовенко, М. В. Марковым, А. Р. Артемьевым, Я. В. Грицишиным.

Стадиону «Лужники» Европейской международной федерацией (УЕФА) присвоен статус «Элит». Он признан одним из лучших стадионов по комфортности в мире (по оценке президента международной федерации Д. Инфантино). Сертификат изображен на рис. 29.

Окончательный вид реконструированных трибун показан на рис. 30.

Также во время реконструкции была проведена полная замена кровли из поликарбоната на новую. Она не поддерживает горение, снижает величину инфракрасного излучения и изготовлена фирмой «Макролон», которая изготавливала поликарбонат при сооружении покрытия БСА, что изображено на рис. 31.

Вид стадиона и его интерьер после проведения реконструкции показан на рис. 32 [4, 5, 10].



Рис. 28. Измерение напряжений при проведении реконструкции стадиона «Лужники»
Fig. 28. Stress measurements during the reconstruction of the Luzhniki Stadium



Рис. 29. Документ, подтверждающий присвоение стадиону «Лужники» статуса «Элит»
Fig. 29. Document confirming the assignment of the Elite status to the Luzhniki Stadium



Рис. 30. Смонтированные трибуны стадиона, удовлетворяющие требованиям FIFA
Fig. 30. Installed Stadium stands that meet FIFA requirements



Рис. 31. Установка новых светопрозрачных панелей из поликарбоната
Fig. 31. Installation of new translucent polycarbonate panels

Одной из новых архитектурных особенностей реконструируемого покрытия явилось устройство медиакровли, работу которой можно оценить, рассматривая рис. 33.

Фасад стадиона во время проведения Кубка мира приведен на рис. 34.

На рис. 35 показаны церемонии открытия и финала матчей чемпионата мира по футболу 2018 года, состоявшиеся на Большой спортивной арене стадиона «Лужники».



Рис. 32. Фасад (а) и интерьер (б) реконструированного стадиона, который удовлетворяет требованиям FIFA для стадионов, на которых проводятся матчи открытия и финала Кубка мира по футболу
Fig. 32. Facade (a) and interior (b) of the reconstructed stadium, which meets FIFA requirements for the stadiums hosting the opening and final matches of the FIFA World Cup

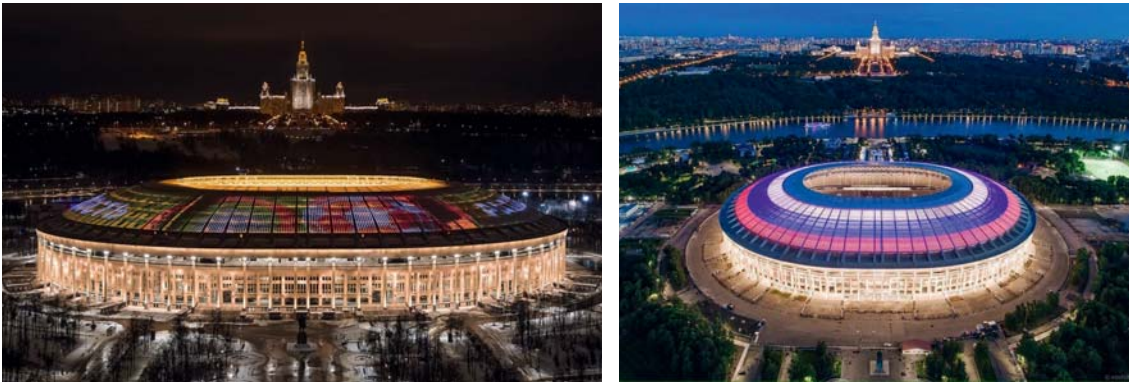


Рис. 33. Медиаэкран на реконструированном покрытии БСА
Fig. 33. Media screen on the reconstructed GSA roof



Рис. 34. БСА во время проведения Кубка мира по футболу
Fig. 34. GSA during the FIFA World Cup



а



б

Рис. 35. Матчи Кубка мира по футболу 2018 года: а – матч открытия чемпионата мира; б – финальный матч чемпионата мира

Fig. 35. 2018 FIFA World Cup matches: а – World Cup opening match; б – World Cup final match



Рис. 36. Вручение Кубка мира по футболу победителю чемпионата президентом РФ В.В. Путиным

Fig. 36. Awarding the winner of the championship with the FIFA World Cup by Russian President Vladimir Putin



Рис. 37. Торжественное закрытие Кубка мира по футболу

Fig. 37. Closing ceremony of the FIFA World Cup

На рис. 36 изображено вручение Кубка мира по футболу победителю турнира, сборной Франции, президентом РФ В.В. Путиным, а на рис. 37 показан праздничный салют, состоявшийся во время закрытия соревнований.

Выводы

Принципы реконструкции стадиона большой вместимости на примере усовершенствования Большой спортивной арены стадиона «Лужники» можно использовать для удовлетворения требований FIFA на других аренах с вместимостью не менее 80 000 зрителей, чтобы на них можно было проводить матчи открытия и финала Кубка мира по футболу и другие знаковые спортивные мероприятия по футболу, в том числе финал Лиги чемпионов и матчи чемпионата Европы, включая его финал.

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://tk-expert.ru/uploads/files/docs/%D0%A1%D0%9F%20%D0%9D%D0%90%D0%93%D0%A0%D0%A3%D0%97%D0%9A%D0%98%20%D0%92%D0%9E%D0%97%D0%94%D0%95%D0%99%D0%A1%D0%A2%D0%92%D0%98%D0%AF%20%D0%90%D0%9A%D0%A2%D0%A3%D0%90%D0%9B%D0%98%D0%97%D0%98%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%9D%D0%90%D0%AF%20%D0%A0%D0%95%D0%94%D0%90%D0%9A%D0%A6%D0%98%D0%AF%20%D0%A1%D0%9D%D0%98%D0%9F%2002.01.07-85%20%D0%A1%D0%9F%2020.13330.2016%202022-05-30.pdf>
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://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&baseC=101&RegNum=54&DocOnPageCount=100&page=1&id=217968>
3. СП 294. 1325800.2017. Конструкции стальные. Правила проектирования [интернет]. Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/fff/konstruktsii-stalnye.pdf>
4. Алешин В.В., Баранов Д.С., Беликов Ю.М., Берклайд М.М., Бобряшов В.В., Бобряшов В.М. 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;{3}:74–92.
6. Фарфель М.И. Обеспечение безаварийной эксплуатации уникального большепролетного покрытия Большой спортивной арены олимпийского стадиона «Лужники». Строительная механика и расчет сооружений. 2012;{6}:56–61.
7. 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. Москва: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; 2007, с. 46–55.
8. Mikulin V.B., Khandzhi A.V. Design and construction of mayor sports arena in Luzhniki. Moscow. In: Spatial structures in new and renovation projects of buildings and construction: Theory, investigations, design, erection: Proceedings: Intern. Congr. ICSS-98, June 22–26, 1998. Moscow; 1998, pp. 113–114.
9. Микулин В.Б., Попов Н.А., Отставнов В.А., Фарфель М.И. Расчет покрытия Большой спортивной арены Олимпийского комплекса «Лужники». Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2003;{6}:38–42.
10. Ведяков И.И., Фарфель М.И. Научно-техническое сопровождение проектирования, изготовления и монтажа и эксплуатации при реконструкции Большой спортивной арены «Лужники» в г. Москве к Чемпионату мира по футболу в 2018 году. Вестник НИЦ «Строительство». 2019;22{3}:27–41.
11. Лебедева И.В., Фарфель М.И., Коняшин Д.Ю., Березин М.М. Экспериментальное исследование распределения снеговых нагрузок на покрытие Большой спортивной арены «Лужники». Вестник НИЦ «Строительство». 2022;35{4}:40–61. <https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4{35}-40-61>

References

1. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Updated version of SNiP 2.01.07-85* [with Changes No. 1, No. 2 and No. 3, No. 4] [internet]. Available at: <https://tk-expert.ru/uploads/files/docs/%D0%A1%D0%9F%20%D0%9D%D0%90%D0%93%D0%A0%D0%A3%D0%97%D0%9A%D0%98%20%D0%92%D0%9E%D0%97%D0%94%D0%95%D0%99%D0%A1%D0%A2%D0%92%D0%98%D0%AF%20%D0%90%D0%9A%D0%A2%D0%A3%D0%90%D0%9B%D0%98%D0%97%D0%98%D0%A0%D0%9E%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%9D%D0%90%D0%AF%20%D0%A0%D0%95%D0%94%D0%90%D0%9A%D0%A6%D0%98%D0%AF%20%D0%A1%D0%9D%D0%98%D0%9F%2002.01.07-85%20%D0%A1%D0%9F%2020.13330.2016%202022-05-30.pdf> [in Russian].
2. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81* [with Changes No. 1, No. 2 and No. 3, No. 4 and No. 5] [internet]. Available at: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&baseC=101&RegNum=54&DocOnPageCount=100&page=1&id=217968> [in Russian].
3. SP 294. 1325800.2017. The construction of steel. Design rules [internet]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/fff/konstruktsii-stalnye.pdf> [in Russian].

4. Aleshin V.V., Baranov D.S., Belikov Yu.M., Berklaide M.M., Bobryashov V.V., Bobryashov V.M. 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. Particular 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;(3):74–92. (In Russian).
6. 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).
7. Mikulin V.B., Farfel M.I. et al. Covering the Large sports arena of the Olympic Complex in Luzhniki. In: V.A. Koucherenko TSNIISK. 80 years old. Moscow: V.A. Koucherenko TSNIISK; 2007, pp. 46–55. (In Russian).
8. Mikulin V.B., Khandzhi A.V. Design and construction of mayor sports arena in Luzhniki. Moscow. In: Spatial structures in new and renovation projects of buildings and construction: Theory, investigations, design, erection: Proceedings: Intern. Congr. ICSS-98, June 22–26, 1998. Moscow; 1998, pp. 113–114.
9. Mikulin V.B., Popov N.A., Postnov V.A., Farfel M.I. Calculation of the coverage of the Large sports arena of the Olympic complex "Luzhniki". Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety. 2003;(6):38–42. (In Russian).
10. Vedyakov I.I., Farfel M.I. Scientific and technical support of design, manufacture, installation and operation during the reconstruction of Grand Sports Arena "Luzhniki" in Moscow to the football World Cup in 2018. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2019;22(3):27–41. (In Russian).
11. Lebedeva I.V., Farfel M.I., Konyashin D.Yu., Berezin M.M. Experimental study of snow load distribution on a shell of the Grand Sports Arena of Luzhniki Olympic Complex. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022;35(4):40–61. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-40-61](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-40-61)

Информация об авторе / Information about the author

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, 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