

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

THE INFLUENCE OF THE OPERATING CONDITIONS OF THE STRUCTURES ON THE TECHNICAL POSITION OF BOLTED CONNECTIONS

М. И. ФАРФЕЛЬ, канд. техн. наук

Д. Ю. КОНЯШИН

Рассмотрены балки покрытия БСА «Лужники» с выявленными повреждениями в болтовых соединениях. Показано, что в результате эксплуатации конструкций в течение длительного времени наблюдаются отказы работы болтовых соединений, приводящие конструкции в ограниченно работоспособное состояние. Для продления срока службы конструкций необходим постоянный контроль и своевременная замена метизов.

Beams of BSA "Luzhniki" covering with the revealed damage in bolted joints considered. It is shown that as a result of operation structures in a long time, there are failures in operation of the bolt connections, which causes the structures to operate in a limited state. Constant monitoring and timely replacement of hardware required to extend the service life of structures.

Ключевые слова:

Балки, болты, гайки, колонны, несущие строительные конструкции, обследование, отказы, покрытия, техническое состояние, шайбы

Key words:

Beams, bearing building structures, bolts, coatings, columns, cracks, inspection, nuts, technical condition, washers

Во время осуществляемого сотрудниками ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко мониторинга Большой спортивной арены (БСА), начало которому было положено при проектировании и возведении объекта в период строительства и действует по настоящее время, определяется действительный характер напряженно-деформированного состояния

покрытия под воздействием на него эксплуатационных нагрузок, которые включают собственный вес покрытия, снеговую и технологические нагрузки. Кроме того, проводится выборочный визуальный осмотр элементов и узлов конструкций покрытия.

Мониторинг работы конструкций БСА и их узлов не прекращался и в 2014 – 2017 гг., когда проводились работы по реконструкции покрытия стадиона для возможности проведения на нём Чемпионата мира по футболу в 2018 г.

Покрытие Большой спортивной арены Олимпийского комплекса «Лужники» – это уникальное сооружение, имеющее наибольшие в мире безопорные пролеты для стального купольного покрытия, составляющие 310 м по большой оси и 250 м – по малой. Наружный опорный контур покрытия опирается на 72 колонны, расположенные по периметру стадиона и отстоящие на 5 м от трибун стадиона.

Покрытие БСА представляет собой пространственную систему, состоящую из внутреннего и наружного контуров и системы радиально-кольцевых ребер (рис. 1).

Стальной наружный опорный контур имеет замкнутое прямоугольное сечение с размерами 2×5 м. Контур образован 72 отдельными блоками, которые на монтаже объединены накладками на высокопрочных болтах. Сопряжение блоков между собой в пролете также осуществлено посредством болтовых сдвигоустойчивых соединений.

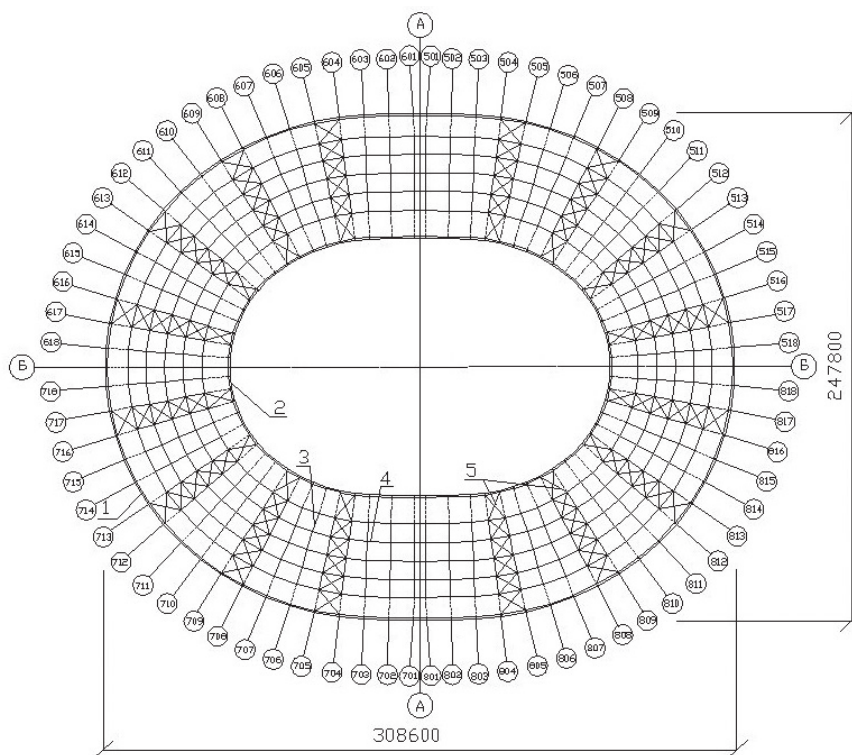


Рис.1. Схема элементов покрытия БСА: 1 – наружный опорный контур; 2 – внутренний контур; 3 – радиальные балки; 4 – кольцевые фермы; 5 – горизонтальные связи

Внутренний контур решен в виде сквозной пространственной системы, состоящей из верхнего, нижнего и среднего поясов (рис. 2).



Рис. 2. Наружный опорный контур (а) и внутренний контур (б)

Средний пояс объединен с верхним и нижним поясами крестовой решеткой. Верхний пояс имеет ширину 6 м, нижний – 3 м, средний состоит из двух листов шириной 1,5 м. Высота внутреннего контура 10 м.

Замкнутый контур образован из 74 монтажных блоков.

Горизонтальные элементы сечения контура представляют собой листы с приваренными к ним продольными ребрами, предназначенными для крепления вертикальных решеток из прокатных двутавров.

Диафрагмами сечения внутреннего контура являются радиальные балки и подкосы к нижнему поясу.

Радиальные ребра (балки) криволинейного очертания имеют двутавровое несимметричное сечение высотой 2,7 м. Каждое из 74 радиальных ребер разбито на элементы. Стык ребер, создающий их проектную криволинейную геометрию, выполнен сварным, а монтажные стыки этих криволинейных элементов при укрупнительной сборке выполнены посредством болтовых сдвигоустойчивых соединений. Ребра жестко сопрягаются с наружным контуром на сварке, а с внутренним контуром – на болтах.

Для получения данных о напряженно-деформированном состоянии *внутренний контур* покрытия БСА освидетельствовали с проходной площадки, расположенной над нижним поясом сечения, с проходной площадки внутри сечения, с верхней поверхности среднего пояса, сверху сечения и со стороны поля (с помощью бинокля).

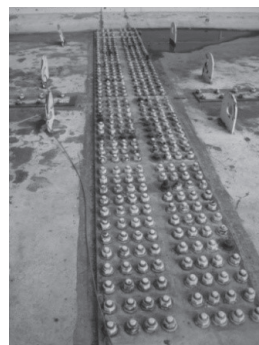
Обращалось особое внимание на состояние стыковых узлов конструкции контура, выполненных на высокопрочных болтах (рисунки 3, 4, 5).



Оси 609-615



Оси 616-715



Ось 809



Оси 706-704



Оси 803-805



Оси 813-Б



Оси 517-510

Рис. 3. Верхняя поверхность верхнего пояса внутреннего контура



Оси 518-Б



Оси 701-801

Рис. 4. Верхняя поверхность нижнего пояса внутреннего контура



Оси 518-Б



Оси 701-801

Рис. 5. Нижняя поверхность верхнего пояса внутреннего контура

Каждый раз при обследовании на фрикционных стыках покрытия обнаруживали отсутствующие высокопрочные болты М27.

Максимально возможное число отсутствующих болтов в месте пересечения верхнего пояса внутреннего контура с радиальной балкой не должно быть более трех.

До реконструкции число отказов болтов с течением времени (с 1999 по 2013 гг.) плавно увеличивалось, что видно из таблиц 1 и 2 и рис. 6. При этом после 2004 г. и в 2010 г. было заменено большинство отказавших болтов.

Начиная с 2013 г., особенно в 2014 г., когда проводились работы по реконструкции, в некоторых местах отказы болтов, выявленные в предыдущих этапах, обнаружить не удавалось из-за отсутствия к ним доступа (таблицы 3 и 4 и рис. 7).

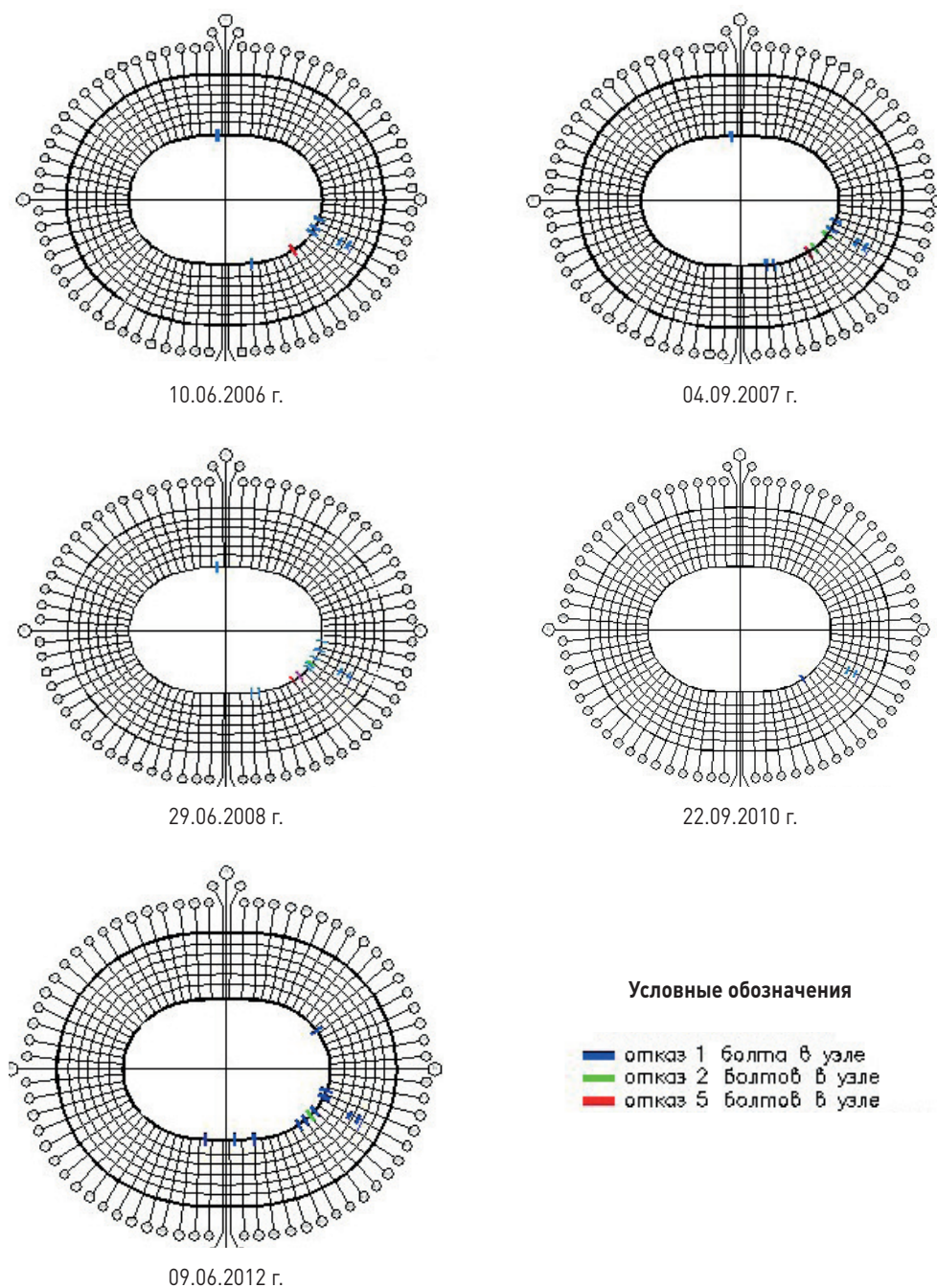
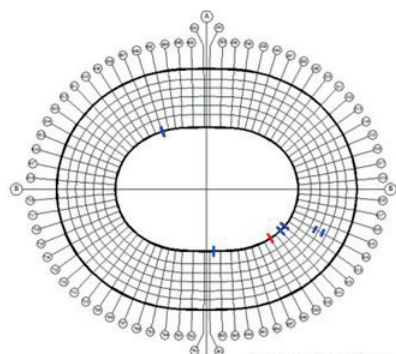
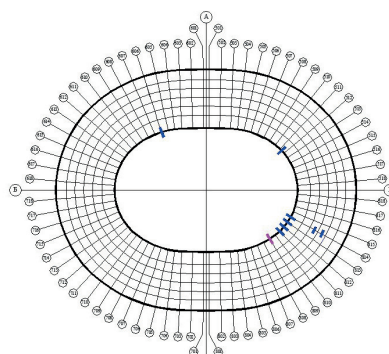


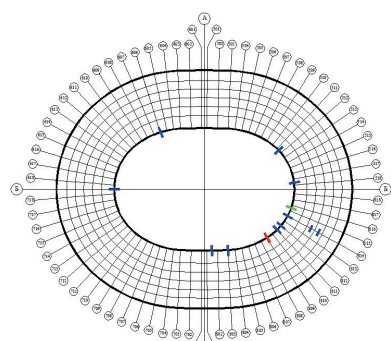
Рис. 6. Схемы выявленных мест отказов высокопрочных болтов на покрытии БСА с 2006 по 2012 гг.



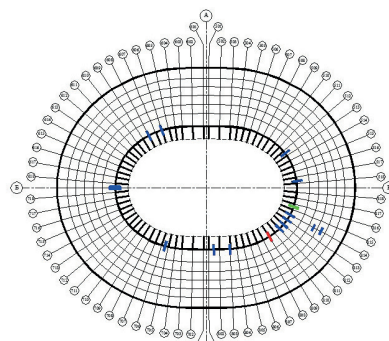
13.06.2013г.



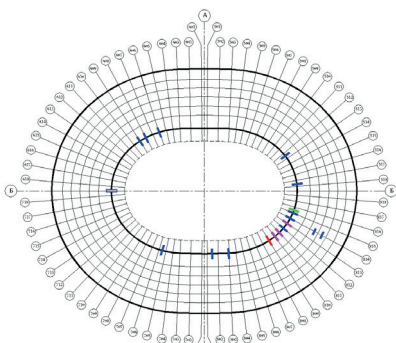
30.01.2014г.



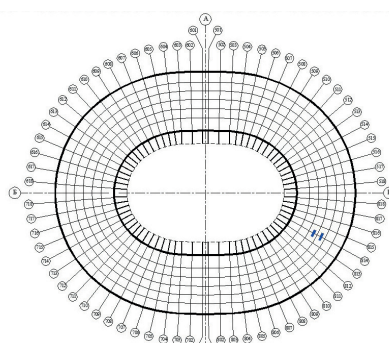
13.03.2015 г.



03.07.2015 г.; 30.07.2015 г.



13.05.2016 г.



29.09.2016 г.; 19.12.2016 г.; 31.01.2017 г.; 13.04.2017 г.

Условные обозначения:

- отказ 3 болтов в узле
- отказ 1 болта в узле
- отказ 2 болтов в узле
- отказ 5 болтов в узле
- отказ 1 болта на верхнем и 1 на нижнем поясе

Рис. 7. Схемы выявленных мест отказов высокопрочных болтов на покрытии БСА в 2013-17 гг.

Таблица 1

**Расположение и число выявленных до 2013 г. вышедших из строя болтов М27
во фрикционных стыках на верхнем поясе внутреннего контура покрытия**

Ось	Годы												
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010*	2011	2012
	Число разрушенных болтов												
514		1											
512-513			2	2	3							1	1
601-602				1			1	1	1	1	1/0		
605-606				1	1								
606		1	1										
606-607				1	1								
607		1	3	3	3								
607-608				1									
801-802					1							1	1
803						1	1	1	1	1	2/0	1	1
804								1	1	1	2/0		
808			1	1	1	1		1		1	1/0		
809		1	3	3	3		4	4	5	5	7/1	1	1
810	1	3	3	3	3			1	2	3	3/0	1	1
811												1	2
812										1	1/0	1	1
812-813										1	1/0		
813			1	1	2	1	1	1	2	2	2/0		
814						1	1	1	1	1	1/0		
815			1	1	1								
814-815			2	1	1								
815-816	1	2	3	3	3		1	1	1	1	1/0	1	1
817										1	1/0		
702-703												1	1
715		1	1	1	1								

* В числителе указано число отказавших болтов в начале года, в знаменателе – после восстановления.

Таблица 2

**Расположение и число выявленных до 2013 г. вышедших из строя болтов М27
во фрикционных стыках на радиальной балке покрытия**

Ось	Годы												
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	Число разрушенных болтов												
814	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2/2	2	2
Всего	4	12	23	25	26	6	11	14	16	21	25/3	11	12

* В числителе указано число отказавших болтов в начале года, в знаменателе – после восстановления.

Таблица 3

Расположение и число выявленных в 2013-2014 гг. вышедших из строя болтов М27 во фрикционных стыках на верхнем поясе внутреннего контура покрытия

Ось	2013 г.	2014 г.					
		28.02.	23.05.	12.09. *	10.10. *	10.11.*	22.12.
	Число разрушенных болтов						
517-518							1
512-513		1	1	1			1
606	1	1	1	1	1	1	1
608					1	1	
609							
705-706							
801-802	1			1	1	1	
803			1	1			1
809	5	3	3	1		1	1
811	1	1	2				1
812	1	1	1	1	1	1	
813		1	2				
814		1	1	1	1	1	1
815							
Б							
815-816							2

* Отказы остальных болтов, выявленные в предыдущих этапах, обнаружить не удалось из-за отсутствия к ним доступа в связи с тем, что они закрыты демонтированными листами поликарбоната и желобами.

Таблица 4

Расположение и число выявленных в 2013-2014 гг. вышедших из строя болтов М27 во фрикционных стыках на радиальной балке покрытия

Ось	2013 г.	2014 г.					
		28.02.	23.05.	12.09.	10.10. *	10.11.*	22.12.
	Число разрушенных болтов						
814	2	2	2	2			
Всего	11	11	14	9	5	6	9

* Отказы остальных болтов, выявленные в предыдущих этапах, обнаружить не удалось из-за отсутствия к ним доступа, в связи с тем, что они закрыты демонтированными листами поликарбоната и желобами.

С начала 2015 г. по август 2016 г. было зафиксировано увеличение отказов болтов с большей интенсивностью (таблицы 5; 6 и 7 и рис. 7).

Таблица 5

Расположение и число выявленных в 2015 г. вышедших из строя болтов М27 во фрикционных стыках на верхнем поясе внутреннего контура покрытия

Ось	2015 г.					
	16.01.	13.03.	03.07.	18.08.	01.10.	27.12.
	Число разрушенных болтов					
517-518	1	1	1	1	1	1
512-513	1	1	1	1	1	1
606	1	1	1	1	1	1
608			1	1	1	1
609					1	1
801-802	1	1	1	1	1	1
803	1	1	1	1	1	1
809	1	4	5	5	5	5
811		1	1	1	1	1
812	1	1	1	1	1	1
813			1	1	2	2
814	1	1	1	1	1	1
815					1	1
Б		1	1	1	1	1
Б*			1	1	1	1
815-816	2	2	2	2	3	3
705-706			1	1	1	1

* На среднем поясе внутреннего контура

Таблица 6

Расположение и число выявленных в 2015 г. вышедших из строя болтов М27 во фрикционных стыках на радиальной балке покрытия

Ось	2015 г.					
	16.01.	13.03.	03.07.	18.08.	01.10.	27.12.
	Число разрушенных болтов					
814	2	2	2	2	2	2
Всего	12	17	22	22	26	26

Таблица 7

Расположение и число выявленных в 2016 г. вышедших из строя болтов М27 во фрикционных стыках на верхнем поясе внутреннего контура покрытия

Ось	2016 г.			
	28.01.	02.03.	13.05.	11.08.
	Число разрушенных болтов			
517-518	1	1	1	
512-513	1	1	1	
602				1
606	1	1	1	
608	1	1	1	
609	1	1	1	
801-802	1	1	1	
803	1	1	1	
809	5	5	6	1
810			2	1
811	1	1	2	
812	1	1	1	
813	2	2	2	
814	1	1	1	
815	1	1	1	
Б	1	1	1	1
Б*	3	3	1	
815-816	1	1	3	
705-706	1	1	1	

* На среднем поясе внутреннего контура

В августе 2016 г. было заменено большее число отказавших болтов, и к 2017 г. остались не замененными только два болта на радиальной балке (табл. 8 и рис. 7).

Таблица 8

Расположение и количество выявленных в 2016-17 гг. вышедших из строя болтов М27 во фрикционных стыках на радиальной балке покрытия

Ось	2016 г.						2017 г.		
	28.01.	02.03.	13.05.	11.08.	19.09.	19.12.	31.01.	02.03.	13.04.
	Число разрушенных болтов								
814	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Всего	26	26	30	6	2	2	2	2	2

На рис. 8 представлены графики зависимости числа отказов высокопрочных болтов во фрикционных соединениях элементов конструкции БСА за время эксплуатации.

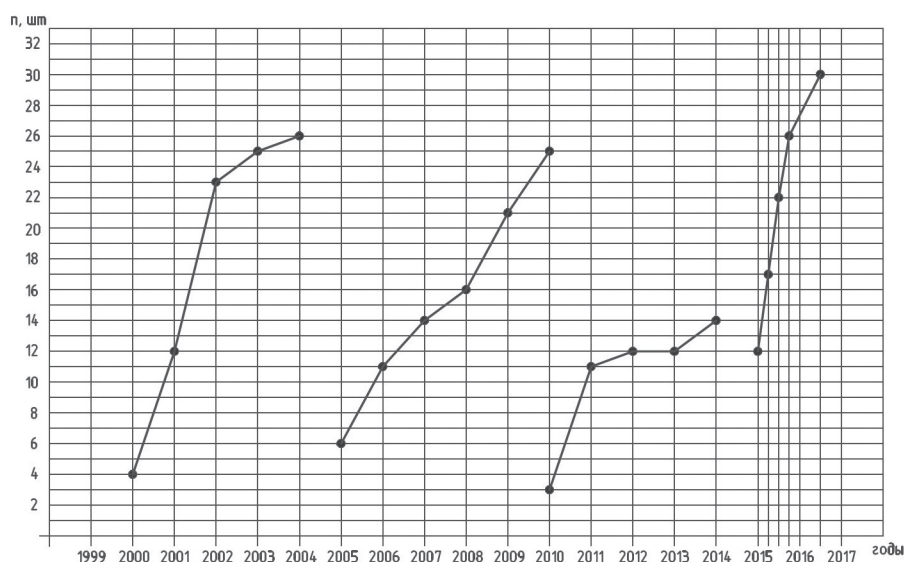


Рис. 8. Число отказов болтов с 1999 по 2017 годы

Как видно из приведенных графиков, за весь период эксплуатации и мониторинга сооружения до момента реконструкции отказы болтов случались постепенно (с периодом 4-5 лет), доходя до максимального числа 26 штук. Службы эксплуатации регулярно восстанавливали вышедшие из строя болты.

В период реконструкции частота достижения максимального числа отказов (26 шт.) увеличилась до одного года. В 2016 г. (в пик реконструкции) число отказавших болтов дошло до 30 штук. Это свидетельствует о том, что при изменении нагрузок в период реконструкции монтажные соединения работают в другом режиме работы конструкции и должны более тщательно контролироваться во избежание непредвиденных изменений в работе конструктивных элементов.

Выводы

1. В процессе эксплуатации и реконструкции уникального покрытия БСА в московских Лужниках была подтверждена необходимость и важность проведения мониторинга конструкций.

2. В составе мониторинга важную роль играет слежение за работой соединений элементов конструкций покрытия.

3. Указания на своевременную замену изношенных или отказавших метизов в монтажных соединениях элементов конструкций покрытия заблаговременно предупредят и предотвратят возможные нештатные ситуации, возникающие при проведении работ по реконструкции.

Библиографический список

1. Микулин В. Б., Одесский П. Д., 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). М.: «Фортэ», 1998.
2. Фарфель М. И. Обеспечение безаварийной эксплуатации уникального большепролетного покрытия Большой спортивной арены олимпийского стадиона «Лужники» // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 6. С. 56–61.
3. Фарфель М. И. Организация мониторинга покрытия Большой спортивной арены олимпийского стадиона «Лужники» в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации // Вестник НИЦ «Строительство». Исследования по теории сооружений. Сб. статей. Вып. 7-8 (XXXI). 2013. С. 37–50.
4. Гукова М. И., Гуров С. В., Фарфель М. И., Иващенко С. В., Коняшин Д. Ю. Работа комбинированных соединений при реконструкции Большой спортивной арены стадиона «Лужники» // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 12. С. 37-43.
5. Егоров М. И., Баранов Д. С. Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций уникальных сооружений Москвы // Промышленное и гражданское строительство. 2001. №10. С. 14-17.
6. Mikulin V. B., Khandzhi A. V. Design and construction of mayor sports arena in Luzhniki, Moscow // Spatial Structures in new and Renovation project of Buildings and constructions / International congress ICSS-98, June 22-26 1998, Moscow, Russia. Pp. 113-114.

Авторы:

Михаил Иосифович ФАРФЕЛЬ, канд. техн. наук, заведующий сектором реконструкции и мониторинга зданий и сооружений лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Mikhail FARFEL, Ph.D. in Engineering, Chief Manager of Reconstruction and monitoring of building and structures Sector, Metal structures Laboratory, TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Farfelmi@yandex.ru

тел.: +7 (916) 950-61-29; +7 (499) 170-10-87

Дмитрий Юрьевич КОНЯШИН, инженер, научный сотрудник лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitry KONYASHIN, Researcher of Metal structures Laboratory, TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: dkon@yandex.ru

тел.: +7 (925) 271-00-10; +7 (499) 174-77-93