

УДК 624.072.2.014

doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-51-65](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-51-65)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СОСТОЯНИЯ РАСПОРНОЙ СИСТЕМЫ КОТЛОВАНА, ВОЗВОДИМОГО МОСКОВСКИМ МЕТОДОМ

М.И. ФАРФЕЛЬ^{1,2,✉}, канд. техн. наукМ.И. ГУКОВА¹, канд. техн. наукД.В. КОНДРАШОВ¹Д.Ю. КОНЯШИН¹

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Минобрнауки России (НИУ МГСУ),
Ярославское шоссе, д.26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

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

В статье представлены результаты, полученные при научно-техническом сопровождении строительства котлована строящейся гостиницы у Курского вокзала в г. Москве с помощью распорной системы ферм, закрепленных в «стене в грунте». Такой способ строительства, получивший название «Московский метод», дает возможность постепенной выемки грунта между стенами котлована по ярусам, укрепляемым стальными распорными фермами с одновременной установкой плит перекрытия. По апробированной, разработанной в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко методике определения напряжений (деформаций) в элементах металлических конструкций, с использованием механических тензометров со съемным индикатором во время проведения мониторинга строительства уникального сооружения, были выявлены нештатные ситуации, потребовавшие экстренных мер по устранению выявленных недопустимых напряжений в конструкциях. Приведенный пример показывает необходимость проведения научно-технического сопровождения строительства уникальных зданий и сооружений.

Ключевые слова: техническое состояние, деформация, напряжение, несущие конструкции, приборы, система, распорные фермы, котлован, здания и сооружения, мониторинг, элементы, этапы, циклы

Для цитирования: Фарфель М.И., Гукова М.И., Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю. Научно-техническое сопровождение состояния распорной системы котлована, возводимого московским методом // Вестник НИЦ «Строительство». 2021. Т. 31. № 4. С. 51–65. doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-51-65](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-51-65)

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH AND DEVELOPMENT SUPPORT OF THE SPACER SYSTEM FOR THE FOUNDATION PIT CONSTRUCTED BY THE MOSCOW METHOD

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

M.I. GUKOVA,¹ Cand. Sci. (Engineering)

D.V. KONDRASHOV¹

D.Yu. KONYASHIN¹

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

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

The article presents the results obtained during the research and development support for the construction of the foundation pit for a projected hotel near the Kursky railway station in Moscow using the truss spacer system fixed in the diaphragm wall. This construction technique, called the “Moscow method” ensures the gradual soil excavation between the pit walls along tiers reinforced by steel spacer trusses to be performed simultaneously with installation of floor slabs. The developed and approved at TsNIISK named after V.A. Kucherenko method for determining stresses (deformations) in elements of metal structures using mechanical strain gauges with a removable indicator was applied to monitor the construction of a unique structure. During the monitoring, emergency situations, requiring extra measures for eliminating the identified unacceptable stresses in the structures, were identified. The provided example demonstrates the research and development support to a prerequisite for the construction of unique buildings and structures.

Keywords: technical condition, deformation, stress, bearing structures, devices, system, spacer trusses, foundation pit, buildings and structures, monitoring, elements, stages, cycles

For citation: Farfel M.I., Gukova M.I., Kondrashov D.V., Konyashin D.Yu. Research and development support of the spacer system for the foundation pit constructed by the Moscow method. Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2021. Vol. 31. No. 4. P. 51–65 (In Russ.). doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-51-65](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-51-65)

Authors contribution statements

All authors have contributed equally to the work.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

При выполнении мониторинга [1] уникальных зданий и сооружений в соответствии с ГОСТ [2] для повышения степени обеспечения их безопасного функционирования, а также для отслеживания степени и скорости изменения технического состояния несущих конструкций и своевременного принятия в случае негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций, экстренных мер по предотвращению их обрушений в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко разработана и апробирована методика определения напряженно-деформированного состояния конструкций с помощью механических тензометров ТМИ-500М на базе индикаторов часового типа.

Первым положительным опытом проведения такой работы является мониторинг покрытия Большой спортивной арены (БСА) «Лужники», который выполняется сотрудниками

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» с 1996 г. по настоящее время [3, 4].

В течение двух лет (с 2019 по 2020 г.) по этой же методике проводился мониторинг напряженного состояния распорной системы котлована строящейся гостиницы у Курского вокзала в г. Москве (рис. 1).

Особенностью временной ограждающей конструкции котлована строящегося здания гостиницы было устройство монолитной железобетонной «стены в грунте» толщиной 800 мм и глубиной до 30,25 м. «Стена в грунте» из монолитного железобетона выполнялась гидрофрезой с шириной ковша 2,8 м. Глубина котлована составляла от 20,70 до 21,20 м (рис. 2).



Рис. 1. Строительство гостиницы у Курского вокзала в г. Москве
Fig. 1. Construction of a hotel near the Kursky railway station in Moscow



Рис. 2. «Стена в грунте» и распорные фермы первого подземного яруса
Fig. 2. Diaphragm wall and spacer trusses of the first underground tier

Вес перекрытий с монтажной нагрузкой передавался на «стену в грунте» через распорные фермы, опирающиеся на нее с помощью временных опорных столиков, выполненных из двутавров 50Б2. Опорные столики крепились к закладным деталям, заложенным в «стене в грунте».

Крепление «стены в грунте» было предусмотрено четырьмя ярусами капитальных перекрытий, которые соединялись между собой системой из распорных ферм и обеспечивали её устойчивость от опрокидывания.

План расположения ферм распорной системы приведен на рис. 3.

Установка распорных ферм на трех ярусах, состоящих из поясов и раскосной решетки, и самого нижнего 4-го яруса – из подкосов к узлам нижних поясов третьего яруса (рис. 4), осуществлялась по мере выработки грунта под уже смонтированными конструкциями.

Измерения деформаций (напряжений) с помощью установленных механических тензометров в наиболее напряженных элементах всех распорных ферм (рис. 5) проводились по графику в шесть этапов после окончательного монтажа конструкции. Каждый этап был

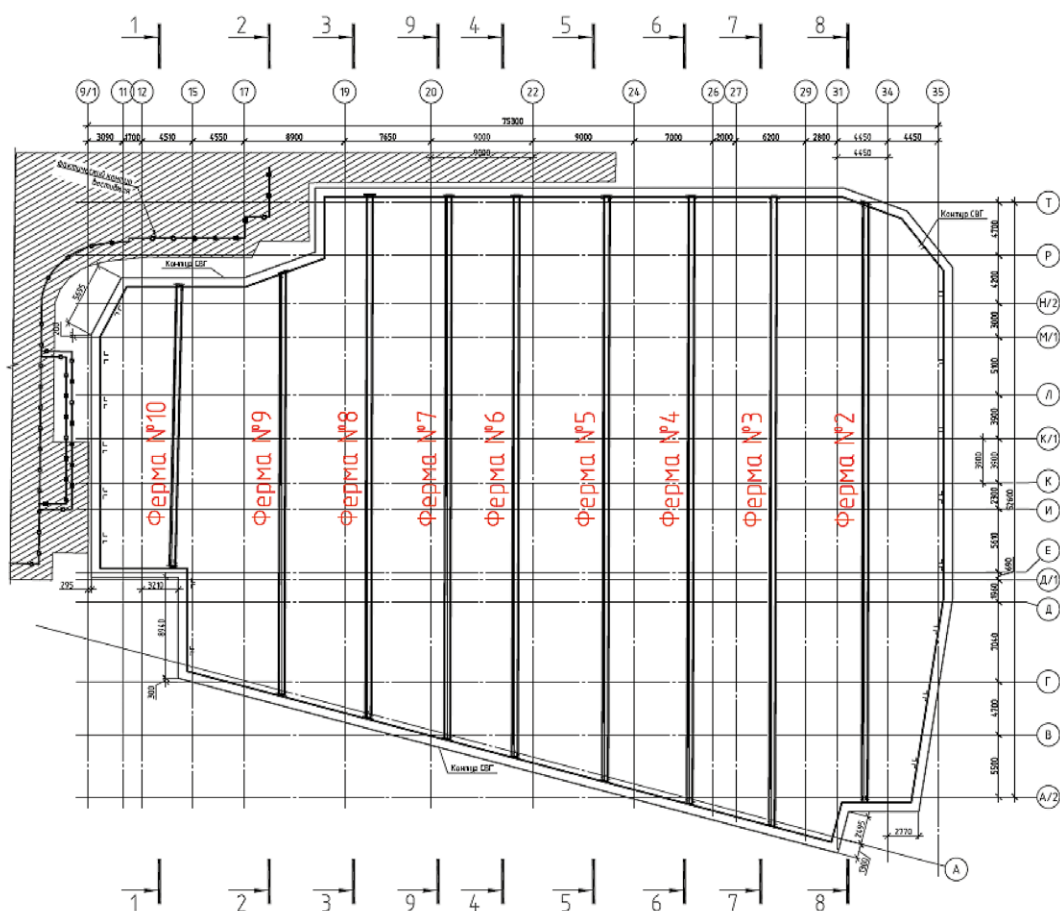


Рис. 3. План расположения ферм распорной системы котлована
Fig. 3. Layout of the trusses in the pit spacer system

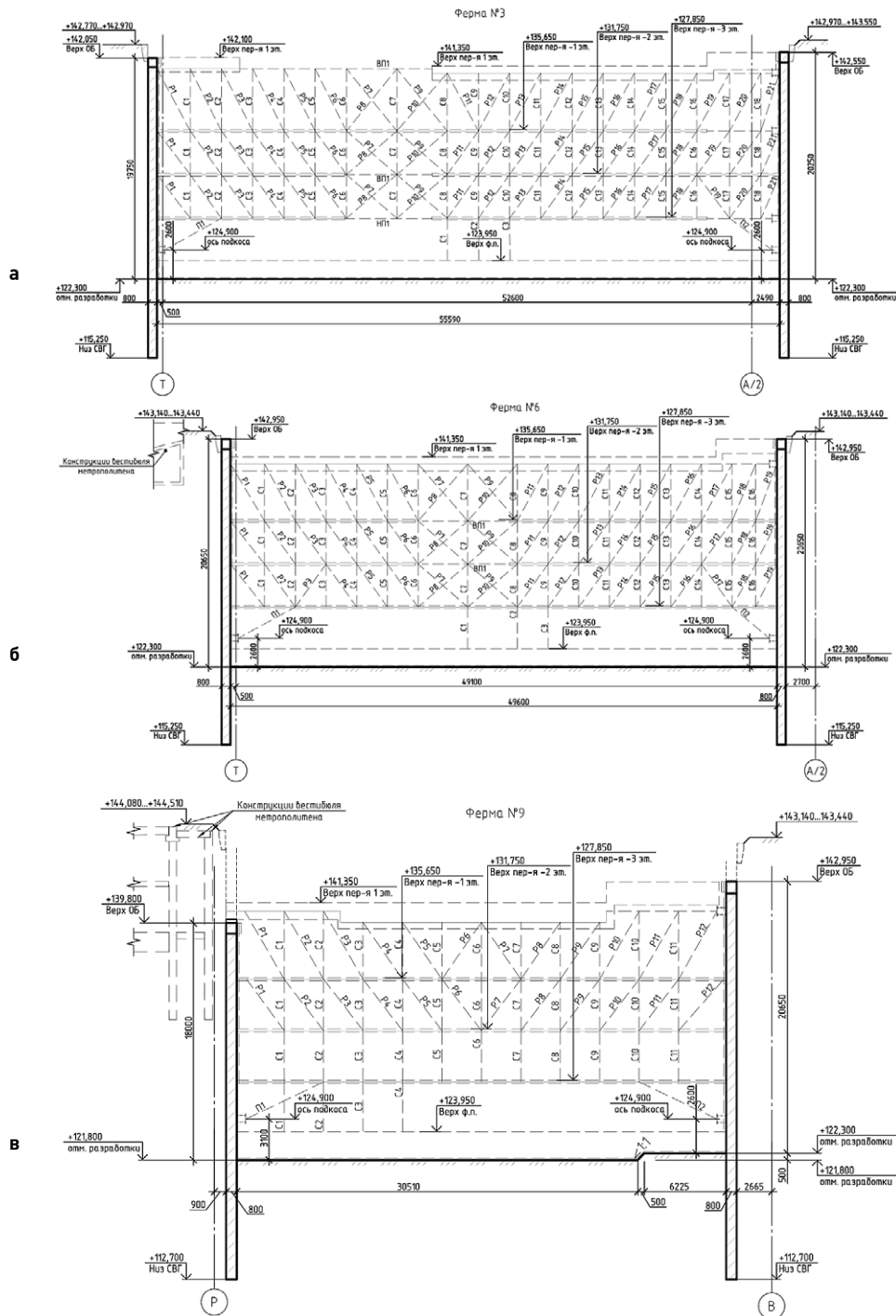


Рис. 4. Схемы распорных ферм: а – № 3 (разрез 7-7 на рис. 3);

б – № 6 (разрез 4-4 на рис. 3); в – № 9 (разрез 2-2 на рис. 3)

Fig. 4. Spacer truss schemes: а – no. 3 (section 7-7 in Fig. 3);
б – no. 6 (section 4-4 in Fig. 3); в – no. 9 (section 2-2 in Fig. 3)

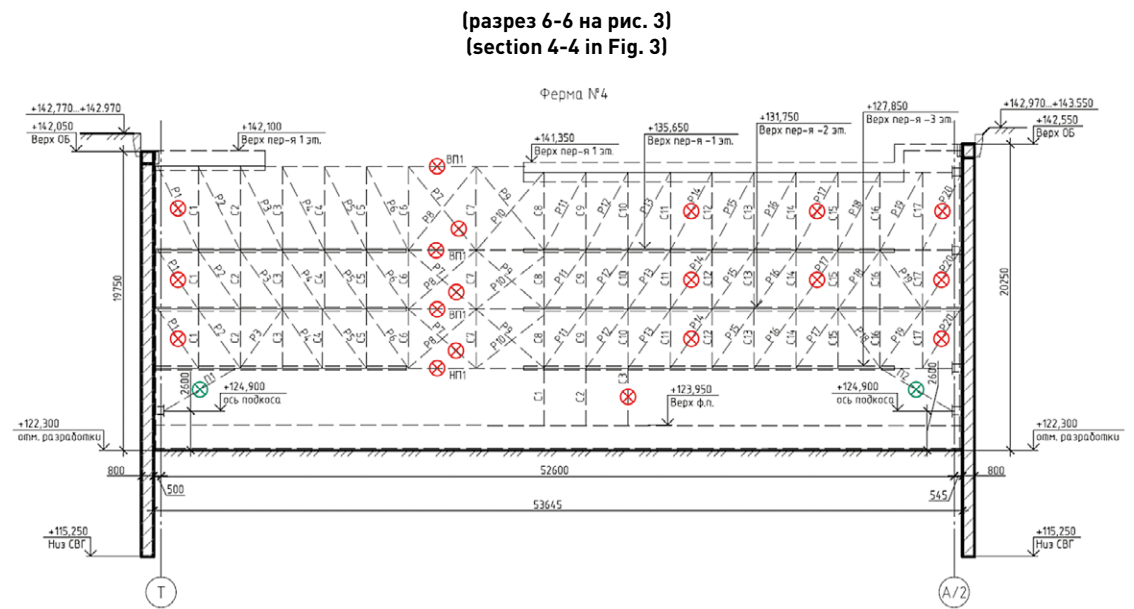


Рис. 5. Схема установки механических тензометров на ферме № 4
Fig. 5. Installation scheme of mechanical strain gauges of the truss no. 4

разделен на циклы, во время которых проводились измерения и анализ напряженно-деформированного состояния конструкций распорных ферм. За время проведения мониторинга (с сентября 2019 года по декабрь 2020 г.) было проведено 32 цикла измерений по всем ярусам: на отм. +141.350 (1-й ярус); +135.650 (2-й ярус); +131.750 (3-й ярус) и +127.850 (4-й ярус).

На первом этапе со 2-го по 6-й цикл проведения измерений были смонтированы только фермы № 2, 3, 4, 5 и 6 самого верхнего первого яруса, началась выборка грунта под второй ярус (рис. 6).



Рис. 6. Установленные фермы первого яруса (а) и выработка грунта на 1-м этапе (б)
Fig. 6. Installed trusses of the first tier (a) and 1st stage excavation (b)

К проведению 7-го цикла были полностью смонтированы фермы № 2÷10 первого яруса, почти закончилась выборка грунта под первым ярусом (рис. 7), произведен монтаж фермы № 2 и частично ферм № 3 и 4 на втором ярусе. На смонтированных фермах сразу устанавливались механические тензометры и производился начальный отсчет.

На момент проведения 11–12-х циклов 2-го этапа на первом и втором подземных ярусах были полностью смонтированы все элементы распорных ферм котлована и произведен монтаж ферм № 2, 3, 4, 5 и 6 третьего подземного яруса.

Во время проведения измерений 14-го цикла под фермами первого, второго и третьего подземных ярусов грунт был полностью удален. Распорные фермы на первом и втором

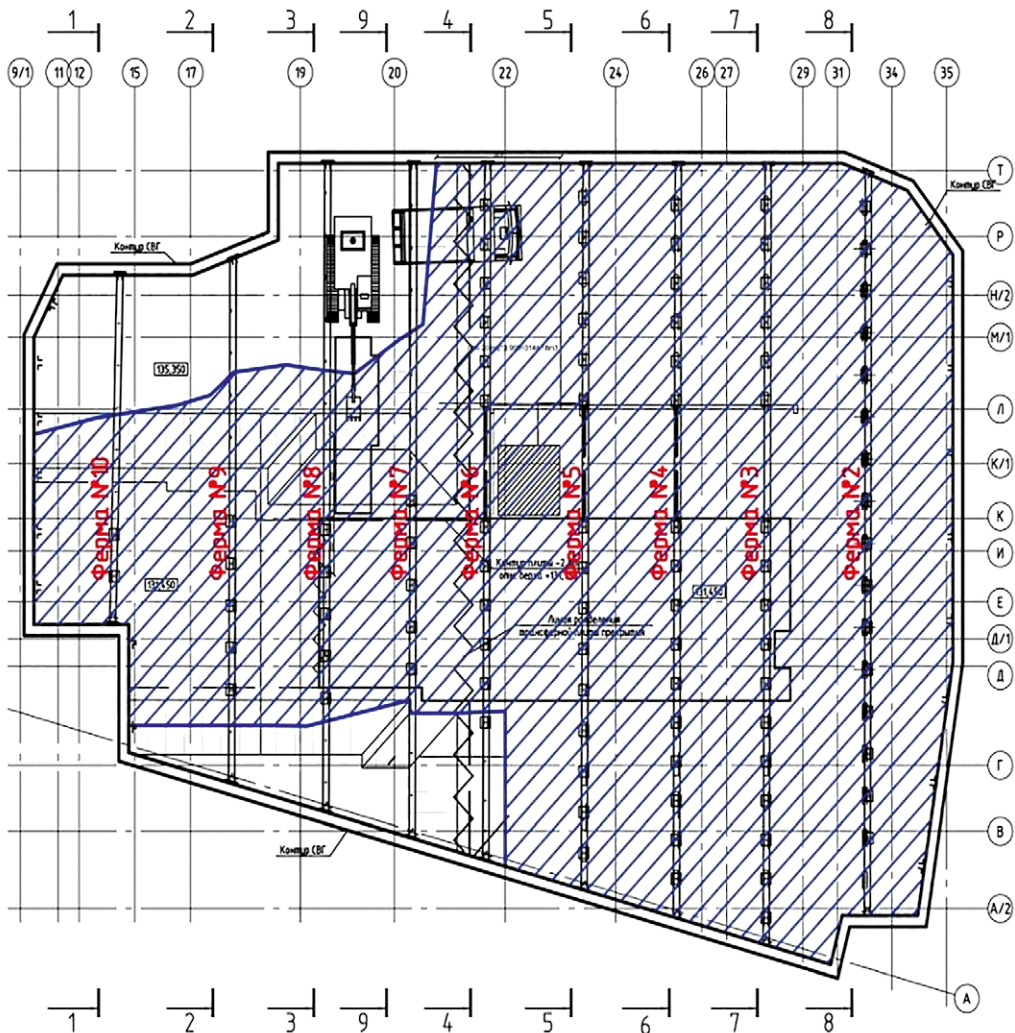
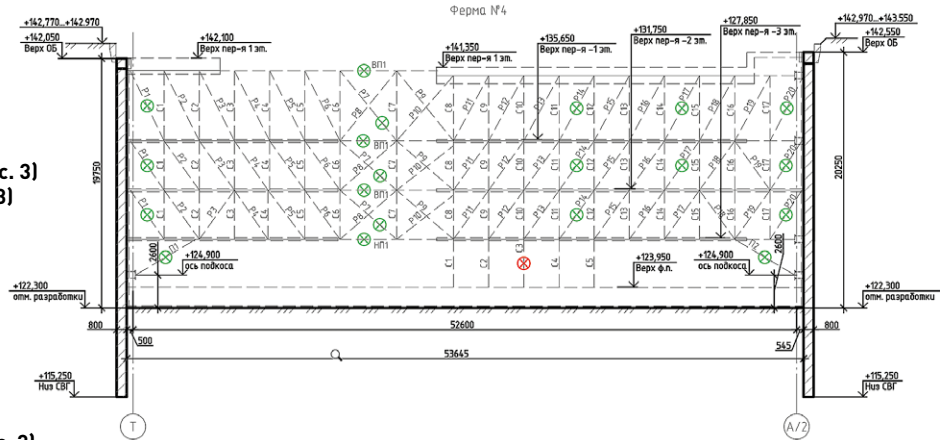


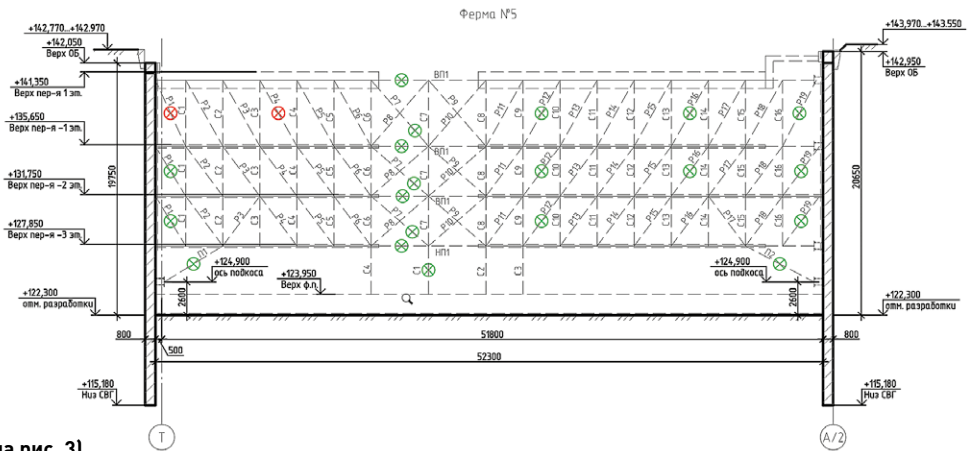
Рис. 7. Схема участков с удаленным грунтом (зона выемки выделена штриховкой) под перекрытием, верхний обрез которого расположен на отм. +135.650 на 7-м цикле измерений

Fig. 7. Scheme of areas with excavated soil (the excavation zone is highlighted by hatching) under the floor slab with the top edge located at elevation +135.650 in the 7th measurement cycle

в (разрез 6-6 на рис. 3)
(section 6-6 in Fig. 3)



г (разрез 5-5 на рис. 3)
(section 5-5 in Fig. 3)



д (разрез 4-4 на рис. 3)
(section 4-4 in Fig. 3)

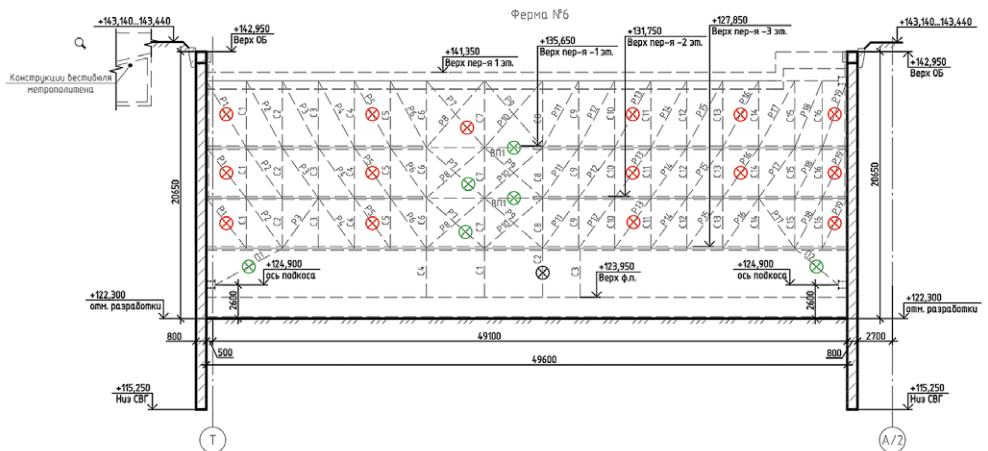


Рис. 8. Схема установленных (красных) и удаленных (зеленых) механических тензометров на фермах на 30-м цикле измерений

Fig. 8. Diagram of installed (red) and removed (green) mechanical strain gauges on trusses in the 30th measurement cycle

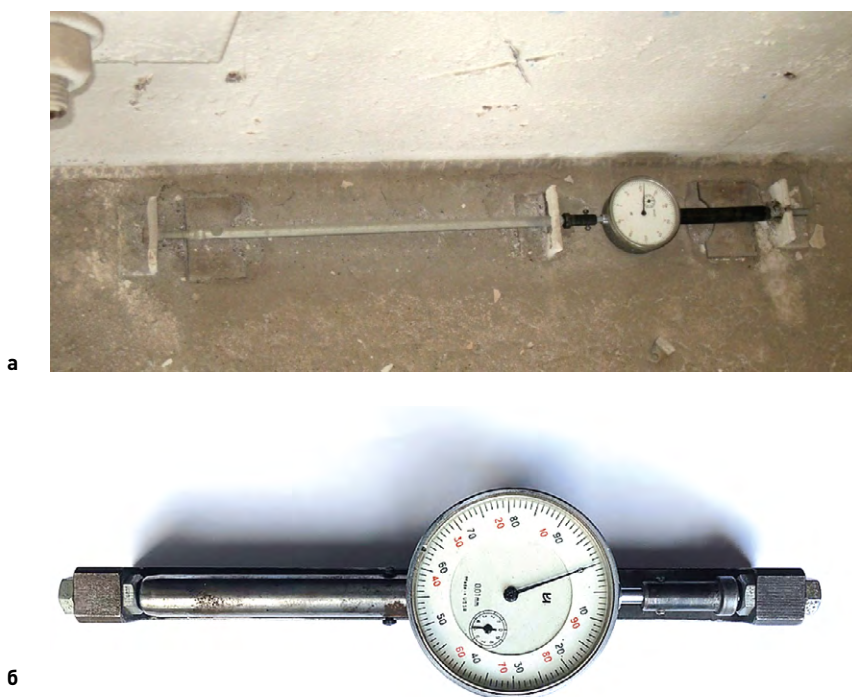


Рис. 9. Общий вид механического тензометра ТМИ-500М (а) и съемного деформометра (б)

Fig. 9. General view of the TMI-500M mechanical strain gauge (a) and a removable deformation gauge (b)

В течение всего мониторинга осуществлялось измерение напряжений (деформаций) наиболее напряженных элементов стальных распорных ферм с помощью механических тензометров (рис. 9). Исходным состоянием для определения напряженного состояния элементов распорных ферм в процессе создания фундаментов строящегося здания было принято их состояние в момент снятия нулевых отсчетов с установленных механических тензометров на уже смонтированных распорных конструкциях.

Принятая для проведения измерений система регистрации напряжений в элементах распорных ферм с помощью механического тензометра типа ТМИ со съемным деформометром [5, 6] является наиболее надежной, т. к. при применении электромеханических или электронных систем измерений возможна реальная угроза повреждения или утрата закрепленных на конструкциях приборов или соединительных кабелей для электромеханических датчиков. Кроме того, на электромеханические или электронные датчики значительно влияют атмосферные осадки и электромагнитное излучение от сварочных работ или другого строительного-монтажного оборудования.

Напряжения в элементах ферм определяются с помощью закона Гука [5, 6] по результатам измерений деформаций на установленных приборах (рис. 10). При этом учитывается вся история нагружения конструкции с момента ее возведения до проведения текущего этапа.

При определении деформаций элементов вводится учет температурных поправок из-за того, что температура самой конструкции, температура штанги базы механического

тензометра и температура контрольного калибра прибора могут различаться. Разработана методика учета поправок при определении действительных деформаций элементов покрытия, и при определении деформации волокна сечения деформация, полученная при измерении от внешних нагрузок, суммируется с температурными деформациями. Измерение температур конструкции, штанги и калибра проводится электронным контактным термометром ТК-5.01П, изготовленным отечественной фирмой «Техно-АС». Пределы измерений термометра расположены в диапазоне от -20 до $+200$ °С [5, 6].

По результатам обработки и анализа полученных данных в табл. 1 представлена динамика увеличения максимальных напряжений в элементах наиболее нагруженных распорных ферм за весь период мониторинга, включающий установку ферм по ярусам, установку перекрытий, удаление под установленными перекрытиями грунта и в конечных циклах – удаление самих элементов распорных ферм.

Наибольшие сжимающие напряжения были зафиксированы в элементах фермы № 5, которые увеличивались с 1428 кг/см^2 (начиная с 11-го цикла) до 2520 кг/см^2 (в циклах 28÷32). Эти напряжения превысили расчетное сопротивление стали, из которой были изготовлены элементы распорных ферм. Таким образом, во время научно-технического сопровождения установки распорной системы для обеспечения устойчивости котлована была зафиксирована нештатная ситуация, требовавшая ее устранения. Наибольшее значение напряжений в верхнем поясе фермы № 5 первого яруса объясняется расположением в зоне этой фермы грейфера, удаляющего грунт в разрабатываемом котловане. Кроме того, перед проведением измерений 22-го цикла монтажная организация удалила два грунтовых «целика» (рис. 11), поддерживающих распорные фермы с уровня

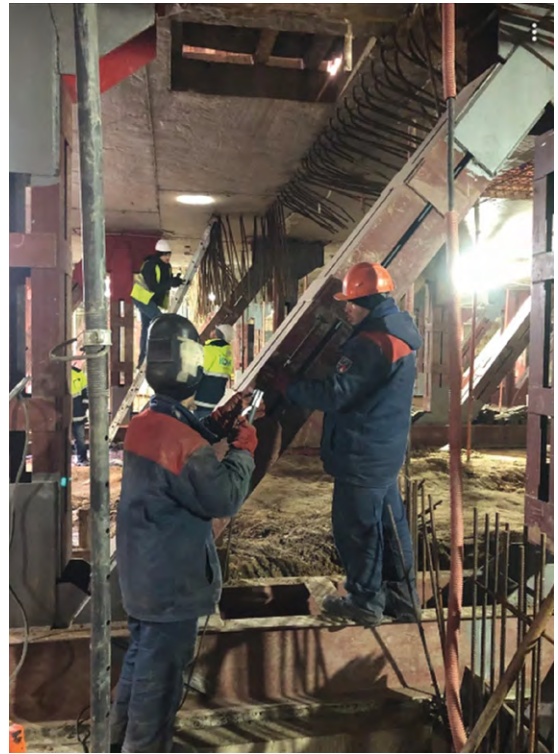
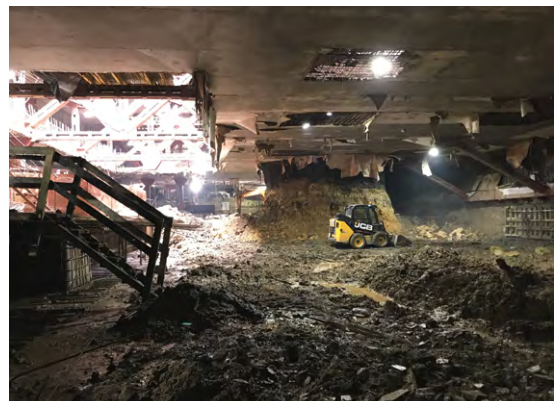


Рис. 10. Установка механических тензометров ТМИ-500М со съемным деформометром для измерения деформаций элемента конструкции

Fig. 10. Installation of TMI-500M mechanical strain gauges with a removable deformation gauge for measuring the deformations of a structural element



Грунтовый «целик»

Рис. 11. Страховочный грунтовый «целик» для опирания ферм № 5 и 6 третьего яруса
Fig. 11. Safety “dumpling” for supporting trusses no. 5 and 6 of the 3rd tier

Таблица 1

Максимальные напряжения в элементах ферм за весь период научно-технического сопровождения установки распорной системы в котловане строящейся гостиницы у Курского вокзала в г. Москве

Table 1

Maximum stresses in the truss elements for the entire period of research and development support of the spacer system in the foundation pit of a hotel under construction near the Kursky railway station in Moscow

Ферма	Ярус	Максимальные напряжения, кг/см², во время циклов				
		2÷8 (09÷11.2019 г.)	9÷13 (12.2019÷02.2020 г.)	16÷20 (05÷06.2020 г.)	26 (09.2020 г.)	28÷32 (11÷12.2020 г.)
1	2	3	4	5	6	7
Ф4, Ф5	1	+224	+1218	+1554	+1680	+1848
		-1071	-1596	-1949	-2449	-2520
	2		+1680	+1806	+1806	+1806
			-84	-538	-840	-966
	3			+1260	+546	+756
				-302	-630	-294
	4			-	-	-
				-630	-756	-672
Ф6	1	+357	+1050	+1480	+1386	+1554
		-819	-252	+168	+504	+462
	2		+819	+1166	+1470	+1890
			-168	-25	-578	-504
	3			+462	+588	+882
				-235	-252	-294
	4					
Ф7, Ф8	1	+882	+1470	+1655	+1680	+1554
		-756	1218	-336	-210	-378
	2		+1029	+1760	+1848	+2100
			-231	-126	-168	-252
	3			+361	+462	+1050
				-454	-714	-756
	4			-	-	-
				-546	-798	-798
Ф9	1	+1260	+1512	+1352	+1470	+1512
		+147	-84	+210	+420	+504
	2		+231	+857	+1218	+1680
			-210	-42	+168	+168
	3			-	-	-
				-496	0	-126
	4					-
						-210

Обозначения: «+» – знак растягивающих напряжений ; «-» – знак сжимающих напряжений.



а



б

Рис. 12. Схема установленных элементов: подкоса (а) и страховочных стоек C4 и C2 под фермой № 5 (б)

Fig. 12. Scheme of installed elements: brace (a) and safety racks C4 and C2 under the truss no. 5 (b)

самой нижней отметки разработки котлована (+122.300 м) до верхней грани перекрытия 4-го яруса на отм. +127.850. Это привело к резкому увеличению сжимающих напряжений в верхних поясах распорных ферм на первом ярусе.

Для предотвращения дальнейшего увеличения напряжений было принято решение:

- в ферме № 5 четвертого подземного уровня установить подкосы, как показано на рис. 12, а, или подпорные страховочные стойки (рис. 12, б), опирающиеся на железобетонный фундамент через вспомогательный опорный швеллер;
- убрать грейфер из зоны фермы № 5 первого яруса для надежного включения в работу страховочных элементов при их монтаже и при бетонировании до уровня трансферной плиты стационарных железобетонных колонн;
- забетонировать на всю высоту до трансферной плиты стационарные железобетонные колонны;
- накрыть верхние пояса ферм № 4 и 5 первого яруса либо геотекстилем, либо мешковиной, защищающими элемент от нагрева прямыми солнечными лучами при температуре окружающего воздуха выше +20 °С для уменьшения температурных напряжений в этих элементах.

На остальных ярусах за весь период измерений напряжения по сжатию и растяжению выше 2100 кг/см² (во втором ярусе в элементах фермы № 4 в циклах 28÷32) не поднимались (см. табл. 1).

Выводы

1. При выполнении установки распорной системы в котловане строящегося уникального сооружения – здания высотной гостиницы у Курского вокзала в г. Москве – была использована весьма эффективная методика, разработанная в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, для определения напряженно-деформированного состояния конструкций.

2. Предложенная апробированная методика позволяет:

- определять деформации (напряжения) в элементах конструкций от фактических нагрузок в течение всего периода научно-технического сопровождения строящегося сооружения;
- учитывать влияние температурных поправок при измерении напряжений элементов конструкций.

3. Вовремя зафиксированная нештатная ситуация (появление напряжений в элементах распорной системы, превышающих расчетное сопротивление металла, из которых они были изготовлены) и принятые меры не позволили допустить аварийного состояния конструкции.

4. После установки подпорной стойки и устройства стационарных железобетонных колонн на всех четырех подземных уровнях до трансферной плиты грейфер смог продолжить работу – вернулся на место своей проектной стоянки для удаления неразработанной части грунта.

Список литературы

1. Градостроительный Кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: 29 декабря 2004 г., № 190-ФЗ, принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года: одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года. – Гл.6, ст.48.1 «Особо опасные, технически сложные и уникальные объекты». – Режим доступа: <https://www.zakonrf.info/gradostroitelnyy-kodeks/48.1/>
2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: Межгосударственный стандарт: введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. N 1984-ст в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2014. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 59 с.
3. Покрытие Большой спортивной арены стадиона «Лужники» [проектирование, научные исследования и строительство] / В.Б. Микулин, П.Д. Одесский, А.Г. Оспенников [и др.]. – Москва: Фортэ, 1998. – 144 с.
4. Особенности реконструкции Большой спортивной арены стадиона «Лужники» к Чемпионату мира по футболу в 2018 году / М.И. Фарфель, М.И. Гукова, Д.Ю. Коняшин [и др.] // Вестник НИЦ «Строительство». – 2017. – № 14. – С. 74–92.
5. Ведяков И.И. Научно-техническое сопровождение проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации при реконструкции Большой спортивной арены «Лужники» в г. Москве к Чемпионату мира по футболу в 2018 году / И.И. Ведяков, М.И. Фарфель // Вестник НИЦ «Строительство». – 2019. – № 3. – С. 27–41.
6. Апробированная методика проведения мониторинга в зданиях и сооружениях / М.И. Фарфель, М.И. Гукова, Д.В. Кондрашов, Д.Ю. Коняшин // Вестник НИЦ «Строительство». – 2021. – № 1. – С. 110–123.

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Иосифович Фарфель*, канд. техн. наук, заведующий лабораторией реконструкции, нормирования и мониторинга уникальных зданий и сооружений Отдела металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва; доцент кафедры металлических и деревянных конструкций ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» Минобрнауки России (НИУ МГСУ), Москва
e-mail: Farfelmi@yandex.ru
тел.: +7 (499) 170-10-87

Mikhail I. Farfel, * Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory, Laboratory for Reconstruction, Standardization, and Monitoring of Unique Buildings and Structures, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow; 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

Маргарита Ильинична Гукова, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией реконструкции, нормирования и мониторинга уникальных зданий и сооружений Отдела металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: Gukova.Rita@yandex.ru
тел.: +7 (499) 170-10-87

Margarita I. Gukova, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head of Laboratory, Laboratory for Reconstruction, Standardization, and Monitoring of Unique Buildings and Structures, Department of Metal Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
e-mail: Gukova.Rita@yandex.ru
tel.: +7 (499) 170-10-87

Дмитрий Владимирович Кондрашов, ведущий научный сотрудник лаборатории реконструкции, нормирования и мониторинга уникальных зданий и сооружений Отдела металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: dkondras@mail.ru
тел.: +7 (499) 174-73-25

Dmitry V. Kondrashov, Leading Researcher, Laboratory for Reconstruction, Standardization, and Monitoring of Unique Buildings and Structures, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: dkondras@mail.ru
tel.: +7 (499) 174-73-25

Дмитрий Юрьевич Коняшин, научный сотрудник лаборатории реконструкции, нормирования и мониторинга уникальных зданий и сооружений Отдела металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: dkon10@yandex.ru
тел.: +7 (499) 174-77-93

Dmitry Yu. Konyashin, Researcher, Laboratory for Reconstruction, Standardization, and Monitoring of Unique Buildings and Structures, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: dkon10@yandex.ru
tel.: +7 (499) 174-77-93

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author