

DOI: 10.12737/article\_5b4f02b82615c0.05783178

<sup>1</sup>Дементьева М.Е., канд. техн. наук, доц.,  
<sup>2</sup>Минин К.Е., инженер<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
<sup>2</sup>ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»

## АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ БЛОКА СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА

*Возведение и последующая эксплуатация технически сложных объектов сопряжена с необходимостью периодической оценки их эксплуатационной пригодности для контроля и обеспечения безопасности. Объектом исследования данной статьи является железобетонная монолитная плита покрытия блока станции метрополитена, возводимой на территории города Москвы. Предметом исследования являются методы оценки пригодности к эксплуатации конструкций на основе натурных и лабораторных испытаний, результатов численного моделирования напряженно-деформируемого состояния плиты. Актуальность исследования обоснована наличием дефектов, зафиксированных после завершения монолитных работ, и необходимостью в связи с этим определения пригодности к дальнейшей эксплуатации рассматриваемой несущей конструкции. Предложена программа исследования для оценки технического состояния с применением визуальных и визуальнотрументальных методов. Оценка прочностного состояния плиты покрытия проводилась по усилиям и напряжениям, возникающим в ней на момент возведения и завершения строительства станции метрополитена, а также с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок и фактического технического состояния. Предложена классификация дефектов по степени их влияния на работоспособность плиты покрытия. Дана оценка эффективности применения прямых и косвенных методов определения характеристик, позволяющих присвоить категорию технического состояния, а также рекомендации по устранению дефектов.*

**Ключевые слова:** техническое состояние, шкала дефектов, прочность бетона, ультразвуковые испытания, метод конечных элементов.

**Введение.** Одним из главных направлений в строительстве системы скоростного рельсового транспорта Москвы является увеличение протяженности Московского метрополитена, вызванное развитием города и необходимостью ускоренной доставки пассажиров как из периферийных районов в центр, так и из одного района в другой. Строительство необходимо осуществлять с учетом требований Технического регламента о безопасности зданий и сооружений, согласно которым совокупность параметров эксплуатационных качеств сооружения должна обеспечивать безопасность объекта в течение всего периода эксплуатации. Исследования отечественных и зарубежных авторов в области обеспечения безопасности сооружений метрополитена посвящены вопросам совершенствования конструктивных и организационно-технологических решений [1–3], улучшению методов расчетного обоснования, развитию методов контроля изменения напряженно-деформированного состояния конструкций и методов эксплуатационного контроля и обслуживания [4–10]. Вместе с тем, несмотря на достаточный опыт строительства заглубленных объектов в условиях крупного города [11, 12] и привлечение квалифицированных проектировщиков и строителей, зачастую в

процессе строительного контроля выявляются ошибки, допущенные как при проектировании, так и при возведении объектов, оказывающие негативное влияние не только на техническое состояние конструкций, но и приводящие к необходимости оценки пригодности к эксплуатации еще не завершенного строительного объекта. Мировой опыт строительства технически сложных, уникальных объектов свидетельствует о необходимости непрерывного мониторинга качества работ на этапе возведения. Следовательно, актуальность работы обоснована необходимостью совершенствования методики оценки технического состояния объектов.

Анализ научно-технической литературы [13–18] показывает, что систематизация данных о нарушениях на этапах проектирования и возведения зданий и сооружений позволяет по характерным диагностическим признакам определять их причины, оценивать вероятные последствия этих нарушений. Вместе с тем, объекты метрополитена, согласно статье 48.1 Градостроительного кодекса РФ, относятся к технически сложным уникальным объектам, разрабатываемым по индивидуальным проектам. Как правило, дефекты и отклонения не являются системными, и поэтому

требуют индивидуального рассмотрения в каждом отдельном случае, что также обосновывает актуальность данной работы.

Объект исследования расположен в Юго-Восточном округе города Москвы, в Нижегородском районе. Станция метрополитена представляет собой трехэтажное подземное сооружение прямоугольной формы с размерами в плане 170.5×58 м, возводимое полузакрытым способом в котловане глубиной 25.5 м. Предметом исследования является уточнение принципы оценки

технического состояния на примере плиты покрытия блока станции, которая представляет собой прямоугольную в плане конструкцию с габаритными размерами в крайних осях 57.9×35.75 м и толщиной 1.0 м. Необходимость выполнения исследования объясняется наличием дефектов, выявленных визуально после выполнения арматурных, бетонных работ и снятия опалубки (рис. 1).

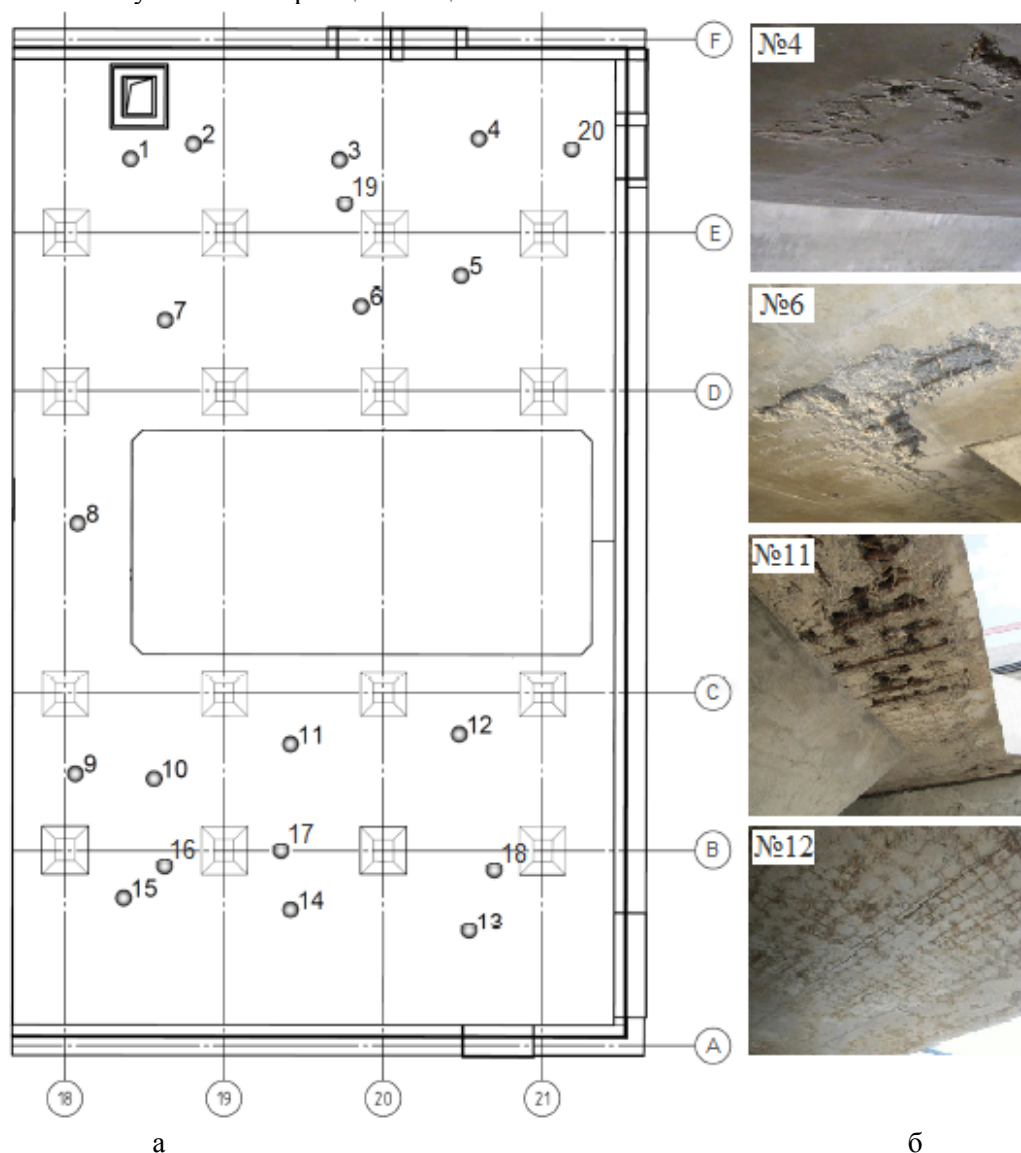


Рис. 1. Визуально-инструментальное обследование: а – схема расположения участков определения прочности бетона методом отрыва со скалыванием (1–15) и места отбора кернов (16–20); б – результаты фотофиксации дефектов

Целью исследования являлось уточнение методики определения технического состояния строительных конструкций. Для этого необходимо было решить следующие задачи:

1. Определить причины дефектов и повреждений плиты покрытия блока станции метрополитена.

2. Установить опасность выявленных отклонений и их влияние на пригодность объекта к эксплуатации.

3. Предложить корректировку методики определения технического состояния на примере плиты покрытия.

4. Разработать рекомендации по выбору технологии устранения дефектов и повреждений.

**Методика.** Оценка пригодности строительных конструкций к эксплуатации определяется на основании присвоения категории технического состояния согласно ГОСТ 31937–2011. Стандартная программа обследования включает:

1. Изучение характеристик материала.
2. Определение нагрузок и воздействий.
3. Определение перечня контролируемых параметров для оценки технического состояния.
4. Выбор методов определения значений контролируемых параметров.
5. Выполнение поверочных расчетов на основании результатов обследования.

В данной работе предложено дополнить программу исследования следующими этапами:

1. Определение шкалы характеристик дефектов, позволяющих классифицировать их тяжесть.
2. Моделирование изменения контролируемых параметров из-за наличия дефектов для оценки их влияния на работоспособность конструкции.

Для оценки эксплуатационной надежности железобетонной плиты покрытия были рассмотрены два параметра: потеря несущей способности и трещиностойкость, назначенные в соответствии с СП 63.13330.2012 и СП 120.13330.2012, которые были оценены по следующим характеристикам:

- геометрические размеры;
- толщина защитного слоя бетона;
- прочность на сжатие;
- коэффициент запаса прочности;
- параметры армирования;
- ширина раскрытия трещин;
- наличие пустот и разуплотнений, их размеры;
- прогиб плиты покрытия.

Согласно СП 63.13330.2012 коэффициент запаса по прочности от действия нагрузок должен быть больше 1.00, прогиб плиты покрытия должен быть не более 1/200 от длины пролета, согласно СП 120.13330.2012 ширина раскрытия трещин должна быть не более 0.2 мм. При этом градация категории тяжести нарушения отсутствует, что требует разработки шкалы для оценки тяжести нарушения.

Для определения значений указанных параметров использовались визуальный и визуальнoinструментальный методы. Визуальным методом выявлялись видимые дефекты и повреждения. Визуально-инструментальными методами уточнялись геометрические размеры, высотное положение, реальные физико-механические характеристики материалов исследуемой конструкции, оценивались размеры дефектов и поврежде-

ний. Визуальное состояние конструкции фиксировалось цифровой аппаратурой с включением в отчет фотоматериалов.

Линейные измерения выполнялись лазерным дальномером, стандартной рулеткой, линейкой и штангенциркулем. Отклонения конструкции от вертикали контролировались с помощью отвеса и уровня. Взаимное высотное положение отдельных конструкций определялось с помощью нивелира.

Прочностные характеристики материалов определялись неразрушающими методами по ГОСТ 22690-2015, ГОСТ 17624-2012 и ГОСТ 18105-2010 (рис. 1):

- методом отрыва со скалыванием измерителем прочности бетона ПОС-50МГ4;
- методом ударного импульса измерителем прочности ОНИКС-2.6;
- ультразвуковым методом тестером УК 1401.

Необходимо отметить, что, хотя метод отрыва со скалыванием является прямым методом определения прочности бетона, однако особенности армирования (густое нижнее продольное армирование плиты при большом количестве хомутов и стержней поперечного армирования) не позволили получить достаточную выборку достоверных результатов. В этой связи для сплошного контроля прочности бетона обследуемого покрытия данный метод применялся в совокупности с двумя другими, которые являются косвенными и для которых требуется построение градуировочных зависимостей.

Для определения сплошности плиты покрытия, комплексных испытаний физико-механических свойств бетона, анализа макро- и микро-структуры произведен отбор образцов-керна с помощью станка алмазного бурения (рис. 1). Определение толщины защитного слоя бетона и диаметра арматуры выполнялось магнитным методом по ГОСТ 22904-93 с помощью измерителя диаметров и глубины залегания арматуры FERROSCAN PS250 с проверкой и корректировкой результатов в ходе непосредственных измерений на вскрытых участках конструкции. Для поиска скрытых дефектов было выполнено выборочное георадарное обследование плиты. Для поиска приповерхностных дефектов в строительных конструкциях применялся ультразвуковой метод.

На завершающем этапе, на основании результатов обследования, методом математического моделирования проведено исследование напряженно-деформированного состояния плиты покрытия при строительстве стационарного комплекса и его изменения в перспективе при эксплуатации. Исследования и реализация

метода конечных элементов выполнялись на базе сертифицированного современного геотехнического программно-вычислительного комплекса Z\_Soil 3D v.12.24 (Швейцария). При расчете высота сечения железобетонной конструкции принята равной проектной. Однако для учета ее фактического технического состояния были приняты следующие сечения:

1. Сечение 1-1 принято тавровое с высотой полки 0,92 м, шириной спинки 0,42 м, так как местами отсутствует защитный слой бетона и в растянутой зоне оголена одна из спаренных арматур диаметром 40 мм.

2. Сечение 2-2 принято тавровое с высотой полки 0,96 м, шириной спинки 0,90 м, так как местами отсутствует защитный слой бетона.

3. Сечение 3-3 с расчетной высотой сечения.

Также в расчете было учтено, что прочность бетона на дефектных участках снижена на 30–55 % по сравнению с бездефектным бетоном, и что 15 % арматуры в растянутой зоне в местах дефектов не вошли в работу, поскольку отсутствует защитный слой, частично отсутствует заделка арматуры в бетоне, местами отсутствует сцепление арматурных стержней с бетоном (до 20 % стержней).

**Основная часть.** При проведении визуального обследования плиты покрытия были обнаружены дефекты в состоянии нижней поверхности плиты в виде:

- раковин и каверн на поверхности бетона;
- участков недоуплотненного и недовибрированного бетона (участок конструкции с гравелистой или щебеночной структурой с низким содержанием растворной части);
- участков с отсутствием защитного слоя бетона, оголением арматуры, отсутствием адгезии арматурных стержней с бетоном;
- участков с поверхностными инородными включениями грязи и пыли в теле бетона;
- участков с низкой прочностью бетона.

Общая площадь нижней поверхности обследуемой конструкции плиты покрытия 1400 м<sup>2</sup>.

После обработки полученных результатов визуального обследования была выполнена классификация дефектов по степени их влияния на пригодность к эксплуатации на основе метода экспертных оценок, для наглядности представленная в виде цветовой шкалы (рис. 2).

Цветовая шкала зонирования

Качественная характеристика признаков дефектов		
раковины и каверны	раковины и каверны	глубокие раковины и полости в бетоне
недовибрирование бетона	недовибрирование бетона	нарушение структуры бетона
уменьшение толщины защитного слоя бетона	уменьшение толщины защитного слоя бетона	отсутствие защитного слоя бетона
незначительное снижение прочности бетона	участки с низкой прочностью бетона	отсутствие сцепления арматуры с бетоном
-	наличие скрытых дефектов в защитном слое бетона	большое количество скрытых дефектов
-	включения песка и грязи на поверхности бетона	-
-	-	оголение рабочей арматуры
Количественная характеристика признаков дефектов (глубина дефекта), мм		
до 10 мм	от 10 до 30 мм	до 80 мм
Площадь дефектного участка, м <sup>2</sup> / Длина распространения дефекта, м		
100.48 м <sup>2</sup> / менее 0.5 м	467.3 м <sup>2</sup> / свыше 0.5 м, но менее 1.0 м	79.87 м <sup>2</sup> / свыше 1.0 м
Степень распространенности дефекта, %		
7.2	33.4	5.7

Рис. 2. Квалиметрическая шкала дефектов

На основании предложенной шкалы была составлена схема зонирования дефектов и повреждений нижней поверхности плиты покрытия по (рис. 3).

В ходе выполнения обследования конструкции была установлена градирующая зависимость между прочностью, определенной методом отрыва со скалыванием и косвенной характеристикой – величиной ударного импульса. Для этого было отобрано пять кернов для проведения испытаний на одноосное сжатие. При проведе-

нии сплошного контроля прочности бетона ультразвуковым методом на участках имели место аномально низкие результаты, обусловленные наличием скрытых дефектов (рис. 4).

Результаты расчетов контролируемых параметров, в частности коэффициентов запаса по прочности и трещиностойкости, прогибов и ширины раскрытия трещин плиты покрытия блока на момент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок по методике СП 63.13330.2012, приведены в таблице 1.

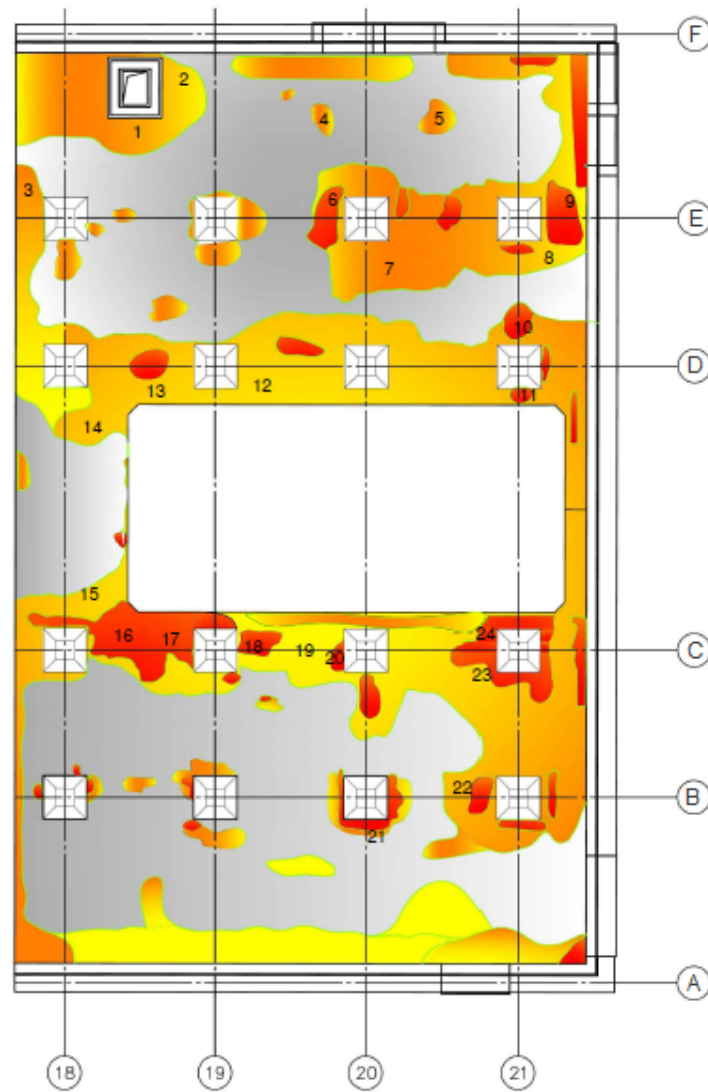


Рис. 3. Схема зонирования дефектов нижней поверхности плиты покрытия с указанием мест фотофиксации повреждений

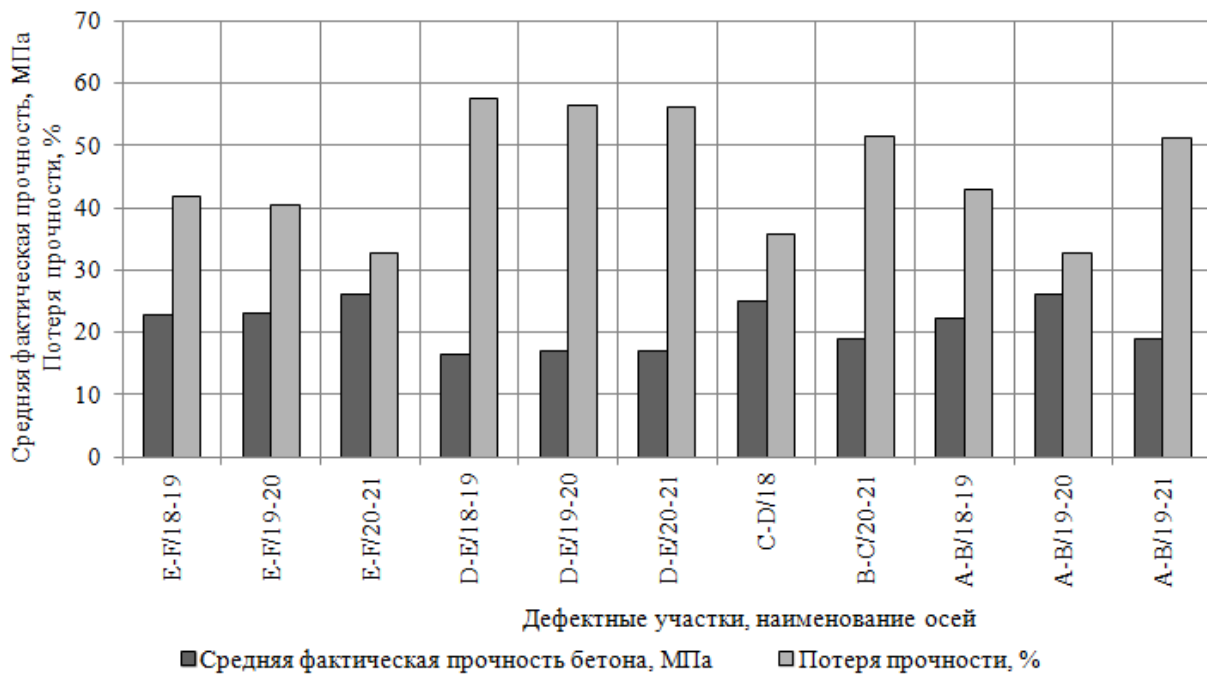


Рис. 4. Результаты определения прочности бетона класса В30 на дефектных участках нижней поверхности плиты неразрушающими методами в осях А-В/18-21



Таблица 1

**Результаты расчета параметров для оценки эксплуатационной пригодности плиты покрытия на основе инструментального обследования**

Сечение (участок)	Изгибающий момент, кНм	Коэффициент запаса прочности	Прогиб от эксплуатационной нагрузки, мм	Предельно допустимый прогиб, мм	Коэффициент запаса по трещиностойкости					
1-1 (С-D/18)	-2016.32	1.053	86	85.5	1.178					
2-2 (Е-F/19-20)	-337.187	2.947	45	5.454	3-3 (В/19)	+448.96	9.04	58	45	4.887
3-3 (В/19)	+448.96	9.04	58	45	4.887					

На завершающем этапе была решена задача моделирования изменения контролируемых параметров вследствие дефектов для оценки их влияния на работоспособность конструкции. По-

ставленная задача решалась в объемной постановке методом конечных элементов. Внутренние усилия представлены в наиболее опасных сечениях (рис. 5–7).

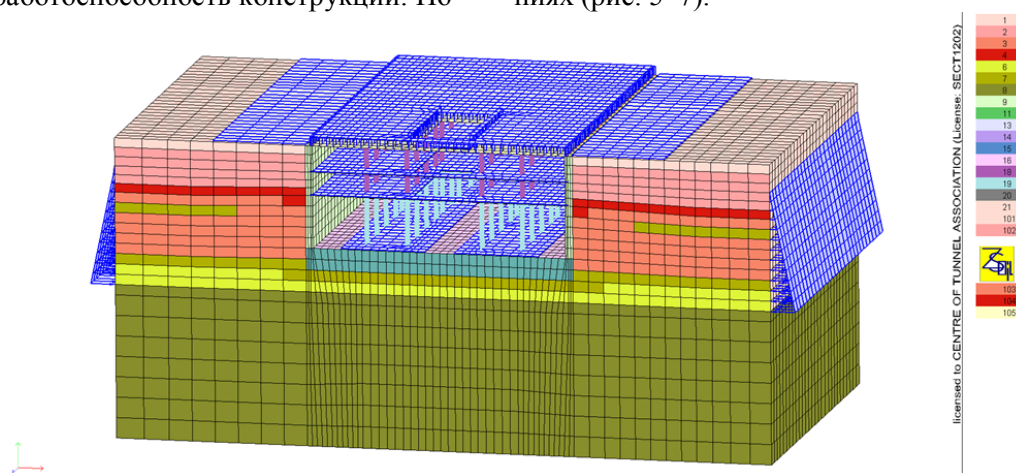


Рис. 5. Расчетная схема в ПК Z\_Soil на момент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок

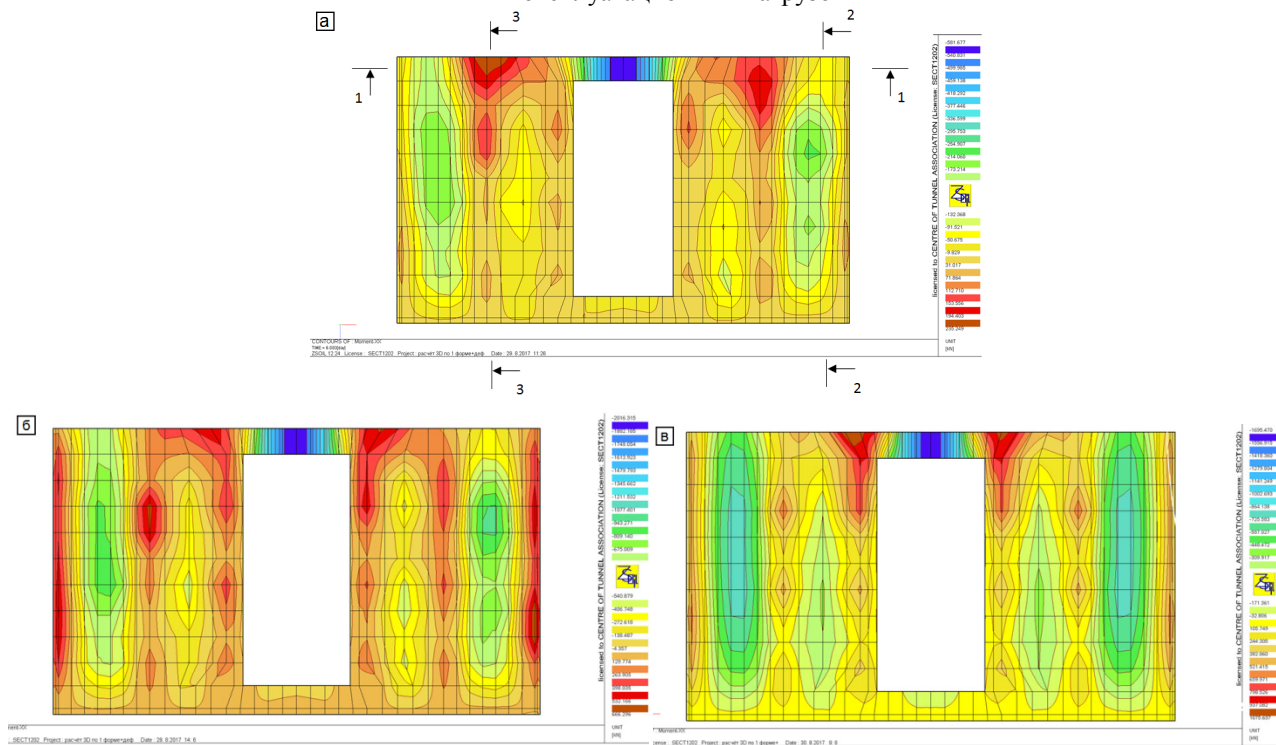


Рис. 6. Изополя изгибающих моментов: а – на момент окончания бетонирования и снятия опалубки с учетом фактического технического состояния; б – с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок и фактического технического состояния; в – с учетом выполнения ремонтно-восстановительных работ 1–1

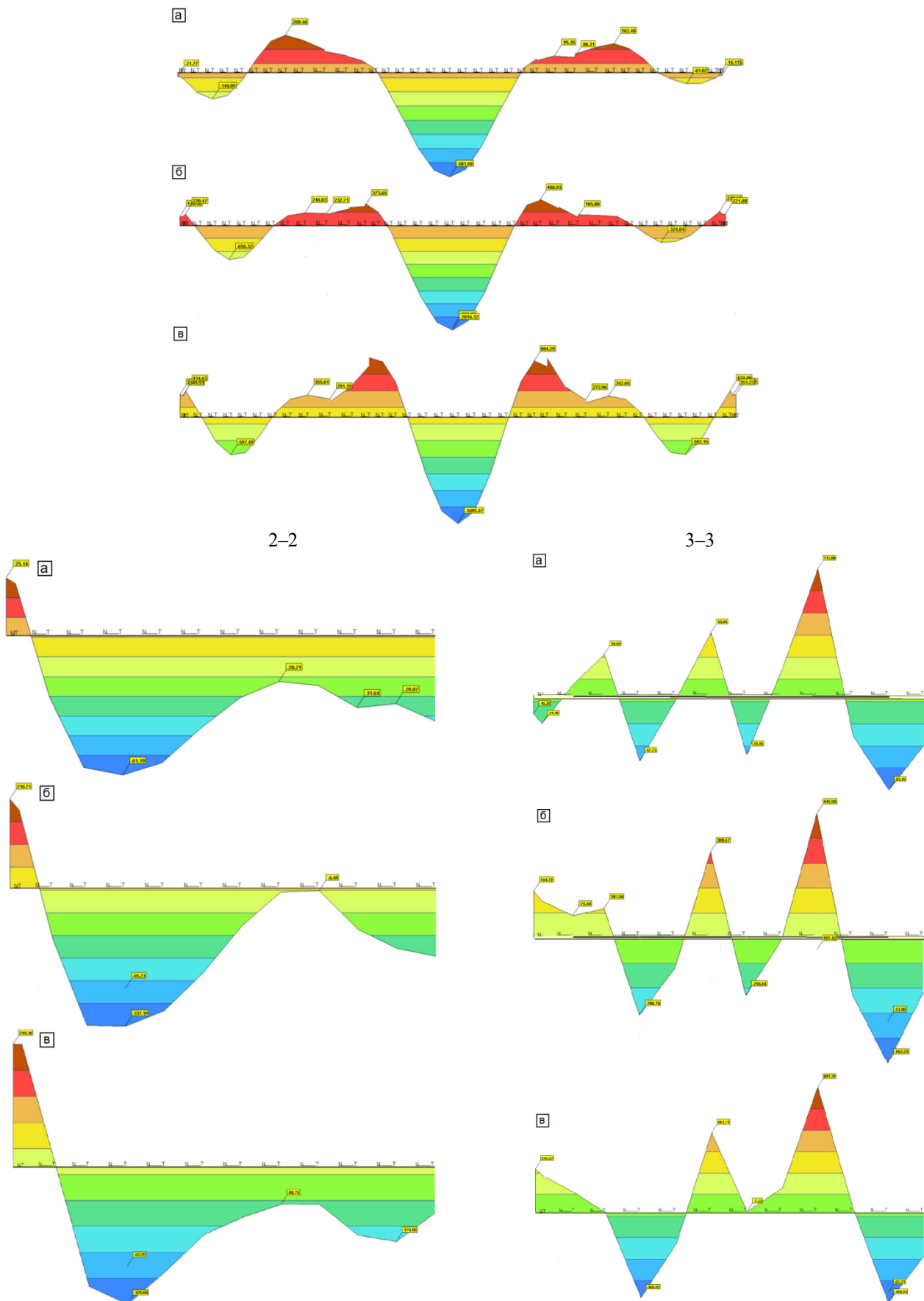


Рис. 7. Эпюра изгибающих моментов в сечениях 1–1, 2–2 и 3–3:

- а – на момент окончания бетонирования и снятия опалубки с учетом фактического технического состояния;
- б – с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок и фактического технического состояния;
- в – с учетом выполнения ремонтно-восстановительных работ

В результате расчета было установлено, что коэффициенты запаса прочности и трещиностойкости плиты покрытия на момент окончания бетонирования и снятия опалубки, а также на мо-

мент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок удовлетворяют условию прочности по предельным состояниям при условии выполнения ремонтных работ (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты расчета параметров для оценки эксплуатационной пригодности плиты покрытия на основе моделирования в ПК Z\_Soil 3D**

Вид воздействия и условия функционирования	Коэффициент запаса прочности	Коэффициент запаса по трещиностойкости
При нормативных нагрузках на момент окончания бетонирования и снятия опалубки	3.651	3.753
При эксплуатационных нагрузках на момент окончания строительства без учета проведения ремонтных работ	1.053	1.178
При эксплуатационных нагрузках на момент окончания строительства с учетом проведения ремонтных работ	3.818	1.555

Состав ремонтных работ определялся в зависимости от вида дефекта. Работы можно разделить на 3 основных группы:

1. На участках с оголенной арматурой необходимо зачистить арматуру от ржавчины, удалить ослабленный бетон, обработать арматуру ингибитором коррозии, обработать зоны сопряжения арматуры с бездефектным бетоном адгезионным составом и выполнить торкретирование поверхности ремонтной смесью, при большой глубине повреждения в несколько слоев с технологическими перерывами.

2. На участках с недовибрированным бетоном, с уменьшенной толщиной защитного слоя бетона, наличием инородных включений необходимо удалить дефектный слой бетона или инородные включения, нанести ингибирующую пропитку на бездефектную поверхность бетона, нанести грунтовку для повышения адгезии существующего и нового слоя бетона, выполнить укладку ремонтной смеси вручную при малых площадях повреждения или торкретирование.

2. На участках с полостями и пустотами выполняется бурение сетки инъекционных скважин Ø10 мм с учетом проектного шага арматуры. Через установленные пакеры выполняется нагнетание раствора в расчетном объеме или до отказа.

**Выводы.** Достижение поставленной в работе цели было основано на исследовании факторов, влияющих на эксплуатационную пригодность плиты покрытия блока станции метрополитена. Выполненные исследования позволили установить следующее:

1. В результате отбора кернов с помощью установки алмазного бурения количество пустот в образцах составило от 6 до 17 %, что говорит о локальном отсутствии сплошности плиты покрытия.

2. Отмечено снижение прочности бетона на дефектных участках на 30–55 % по сравнению с бездефектным бетоном.

3. Фактическая толщина защитного слоя бетона соответствует требуемым проектным и нормативным минимальным значениям применительно к участкам бездефектного бетона, соответственно, при наличии дефектов фактическая толщина слоя снижается, и на данных участках условия по защите арматуры не выполняются.

4. Коэффициенты запаса прочности плиты покрытия на момент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок удовлетворяют условию прочности по первому предельному состоянию и остаются большими 1.00.

5. Ширина раскрытия трещин не превышает предельно допустимой величины.

6. Прогобы, возникающие в плите покрытия на момент окончания строительства с учетом дополнительных эксплуатационных нагрузок, превышают предельно допустимые значения, что может быть объяснено отсутствием капителей в расчетной схеме в ПК Z-Soil.

7. Исходя из установленных причин возникновения дефектов, есть основания полагать, что зона распространения дефектов по сечению плиты не выходит за пределы глубины заложения нижнего армирования, за исключением участков сопряжения плиты с капителями колонн и вутами стен.

8. С учетом изложенного выше, техническое состояние обследуемой плиты покрытия на основе методов экспертной оценки согласно ГОСТ 15467-79 признано ограниченно-работоспособным.

Для анализа эксплуатационной пригодности потребовалась корректировка программы обследования. Причинами возникновения дефектов



является несоответствие технологических параметров процесса бетонирования фактическим конструктивным параметрам плиты покрытия. Для обеспечения эксплуатационной надежности и восстановления прочности рекомендуется выполнить заделку трещин, раковин и каверн, а также организовать визуально-инструментальный мониторинг за состоянием с целью фиксации возможного развития старых и появления новых дефектов.

В ходе проведения обследования также было установлено, что поиск скрытых дефектов в средней зоне сечения конструкции значительно затруднен наличием густого нижнего и верхнего армирования, большого количества хомутов, поперечной и дополнительной арматуры, поэтому использование метода георадиолокационного профилирования не показало своей эффективности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнилков М.В., Половов Б.Д., Кряжевских А.Н., Кузьмин Н.Г. Объемно-планировочные и конструктивно-технологические решения по строительству и эксплуатации линий Екатеринбургского и Челябинского метрополитенов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2014. № 6. С. 70–78.
2. Маслак В.А., Безродный К.П., Лебедев М.О., Гендлер С.Г. Новые технико-технологические решения для строительства тоннелей метрополитена в условиях мегаполиса // Горный журнал. 2014. № 5. С. 57–60.
3. Shen X., Lu M., Mao S., Wu X. Integrated approach to machine guidance and operations monitoring in tunnel construction // The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014). 2014. С. 103–109.
4. Деменков П.А., Очуров В.И., Шубин А.А. Методология прогнозирования напряженно-деформированного состояния конструкций станций метрополитена глубокого заложения с учетом этапов строительства // Проблемы современной науки и образования. 2016. № 4(46). С. 205–207.
5. Yin Z.Z. Application of hydrostatic leveling system in metro monitoring for construction deep excavation above shield tunnel // Applied Mechanics and Materials. 2013. Т. 333–335. С. 1509–1513.
6. Belostotsky A., Kaytukov T., Afanasyeva I., Grosel J. About contemporary problems of numerical modelling of unique structures, buildings and facilities // MATEC Web of Conferences. 2017. Т. 117. С. 00016. DOI: 10.1051/mateconf/201711700016
7. Дементьева М.Е., Шайтанов А.М. Повышение эксплуатационной пригодности гидротехнических сооружений на примере Кайраккумской ГЭС (Таджикистан) // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 10(109). С. 1098–1106. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.10.1098-1106
8. Bartholomew-Biggs M., Zuo M.J., Li X. Modelling and optimizing sequential imperfect preventive maintenance // Reliability Engineering and System Safety. 2009. Т. 94(1). С. 53–62.
9. Dement'eva M. Evaluation of exploitation suitability of enclosing structures of filling stations // MATEC Web of Conferences. 2017. Т. 117. С. 00037. DOI: 10.1051/mateconf/201711700037
10. Алпатов С.Н. Развитие метрополитена открывает перспективы комплексного освоения подземного пространства // Метро и тоннели. 2014. № 4. С. 16–17.
11. Дремов В.И., Мазеин С.В., Прудников А.Д., Акутин Д.В. Мероприятия промышленной безопасности при проектировании строительства московского метрополитена // Метро и тоннели. 2016. № 5. С. 31–38.
12. Дмитренко А.В. Как начинать строить линии метро в крупных городах // Вестник транспорта. 2016. № 3. С. 24–28.
13. Гарбер В.А. Нештатные ситуации при строительстве и эксплуатации Московского метрополитена за последние 40 лет // Метро и тоннели. 2014. № 3. С. 34–35.
14. Усанов С.В., Коновалова Ю.П. Аварийные деформации зданий при строительстве перегонных тоннелей на урбанизированных территориях // Проблемы недропользования. 2016. № 4(11). С. 104–110.
15. Соломатина И.А. Классификация нарушений для проведения экономической экспертизы объекта строительства // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2015. № 19. С. 179–184.
16. Pleshko M., Voinov I., Revyakin A. Assessment of the impact of railway tunnel lining defects with a long working lifespan on its carrying capacity // MATEC Web of Conferences. 2017. Т. 106. С. 05004. DOI: 10.1051/mateconf/201710605004
17. Zhang X., Han Y., Liu S., Su C. Deformation prediction analysis model for the mine shaft-wall // Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition). 2014. №. 33(8). С. 1070–1073.
18. Daller J., Zibert M., Exinger C., Lah M. Implementation of BIM in the tunnel design – engineering consultant's aspect // Geomechanics and tunnelling. 2016. Т. 9. С. 674–683.

*Информация об авторах*

**Дементьева Марина Евгеньевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального комплекса.

E-mail: 7dem@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.  
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д.26.

**Минин Кирилл Евгеньевич**, инженер.

E-mail: kirk.min@yandex.ru

ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации».

Россия, 129344, Москва, ул. Енисейская д.7 стр.4.

---

*Поступила в апреле 2018 г.*

© Дементьева М.Е., Минин К.Е., 2018

---

**M.E. Dement'eva, K.E. Minin**

**ANALYSIS OF OVERLAP SUBWAY STATION SUITABILITY EXPLOITATION**

*The erection and subsequent exploitation of technical complex facilities is associated with the need for periodic evaluation of their operational suitability for control and safety. The object of the study of this article is a reinforced concrete monolithic slab covering the block of the metro station, which is being built on the territory of the city of Moscow. The subject of the study are methods for assessing the suitability for the exploitation of structures based on full-scale and laboratory tests, the results of numerical simulation of the stress-strain state of the plate. The urgency of the study is justified by the presence of defects fixed after the completion of monolithic works and the need to determine the suitability for further exploitation of the bearing structure in question. A research program is proposed for assessing the technical state using visual and visual-instrumental methods. The evaluation of the strength of the slab was carried out according to the efforts and stresses arising in it at the time of erection and completion of construction, and also taking into account additional exploitation loads and actual technical condition. The classification of defects according to the degree of their effect on the working capacity of the slab of the coating is presented. The estimation of efficiency of application of direct and indirect methods of definition of the characteristics, allowing to assign a category of a technical condition is given. Recommendations for the elimination of defects are given.*

**Keywords:** *technical condition, scale of defects, strength of concrete, ultrasonic testing, finite element method.*

---

**REFERENCES**

1. Kornilkov M.V., Polovov B.D., Kriazhevskikh A.N., Kuzmin N.G. Analysis of space-planning and design and technological solutions for construction and operation of Yekaterinburg and Chelyabinsk metro. News of higher educational institutions. Mountain magazine, 2014, no. 6, pp. 70–78.
2. Maslak V.A., Bezrodnyy K.P., Lebedev M.O., Gendler S.G. New technical and technological solutions for the construction of subway tunnels in the metropolis. Mountain magazine, 2014, no. 5, pp. 57–60.
3. Shen X., Lu M., Mao S., Wu X. Integrated approach to machine guidance and operations monitoring in tunnel construction. The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014), 2014, pp. 103–109.
4. Demenkov P.A., Ochukurov V.I., Shubin A.A. The methodology for predicting the stress–strain state of structures of metro stations deep foundations considering construction stages. Problems of modern science and education, 2016, no. 4(46), pp. 205–207.
5. Yin Z.Z. Application of hydrostatic leveling system in metro monitoring for construction deep excavation above shield tunnel. Applied Mechanics and Materials, 2013, vol. 333–335, pp. 1509–1513.
6. Belostotsky A., Kaytukov T., Afanasyeva I., Grosel J. About contemporary problems of numerical modelling of unique structures, buildings and facilities. MATEC Web of Conferences, 2017, vol. 117, p. 00016. DOI: 10.1051/mateconf/201711700016
7. Dement'eva M.E., Shajtanov A.M. Increase of Operational Suitability of Hydrotechnical Structures on the Example of Kayrakkum HPP (Tajikistan). Vestnik MGSU, 2017, vol. 12, no. 10(109), pp. 1098–1106.
8. Bartholomew-Biggs M., Zuo M.J., Li X. Modelling and optimizing sequential imperfect preventive maintenance. Reliability Engineering and System Safety, 2009, vol. 94(1), pp. 53–62.
9. Dement'eva M. Evaluation of exploitation suitability of enclosing structures of filling stations. MATEC Web of Conferences, 2017, vol. 117, p. 00037. DOI: 10.1051/mateconf/201711700037

10. Alpatov S.N. The development of the underground opens prospects for the integrated development of the underground space. *Metro and tunnels*, 2014, no. 4, pp. 16–17.

11. Dremov V.I., Mazein S.V., Prudnikov A.D., Akutin D.V. Measures of industrial safety in the design of the construction of the Moscow Metro. *Metro and tunnels*, 2016, no. 5, pp. 31–38.

12. Dmitrenko A.V. How to start building metro lines in large cities. *Transport Massanger Scientific*, 2016, no. 3, pp. 24–28.

13. Garber V.A. Unstable situations in the construction and operation of the Moscow subway over the past 40 years. *Metro and tunnels*, 2014, no. 3, pp. 34–35.

14. Usanov S.V., Konovalova Yu.P. Accidental buildings' deformations during construction deriving tunnels in urbanized territories. *Subsoil use problems*, 2016, no. 4(11), pp. 104–110.

15. Solomatina I.A. Classification of violations for the economic assessment of the construction site. *Fundamental and applied research: problems and results*, 2015, no. 19, pp. 179–184.

16. Pleshko M., Voinov I., Revyakin A. Assessment of the impact of railway tunnel lining defects with a long working lifespan on its carrying capacity. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, pp. 05004. DOI: 10.1051/mateconf/201710605004

17. Zhang X., Han Y., Liu S., Su C. Deformation prediction analysis model for the mine shaft-wall. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition)*, 2014, no. 33(8), pp. 1070–1073.

18. Daller J., Zibert M., Exinger C., Lah M. Implementation of BIM in the tunnel design – engineering consultant's aspect. *Geomechanics and tunneling*, 2016, vol. 9, pp. 674–683.

#### *Information about the author*

**Marina E. Dement'eva**, PhD, Assistant professor.

E-mail: 7dem@mail.ru

Moscow State University of Civil Engineering.

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

**Kirill E. Minin**, Geotechnical Engineer.

E-mail: kirk.min@yandex.ru

Limited Liability Company "Research and Engineering Center Tunnel Association".

Russia, 129344, Moscow, st. Eniseyskaya, 46.

---

*Received in April 2018*

#### **Для цитирования:**

Дементьева М.Е., Минин К.Е. Анализ эксплуатационной пригодности плиты покрытия блока станции метрополитена // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №7. С. 42–52. DOI: 10.12737/article\_5b4f02b82615c0.05783178.

#### **For citation:**

Dement'eva M.E., Minin K.E. Analysis of overlap subway station suitability exploitation. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no.7, pp. 42–52. DOI: 10.12737/article\_5b4f02b82615c0.05783178.