

УДК 69.059.327.2

**Швецов Владимир Александрович**  
Департамент строительства города Москвы  
Россия, Москва  
Заместитель руководителя Департамента  
Доктор экономических наук, профессор  
E-mail: pr\_shvetsova@mos.ru

**Меркин Валерий Евсеевич**  
НИЦ ОПИ ОАО «Мосинжпроект»  
Россия, Москва  
Начальник  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: nizta@inbox.ru

**Пискунов Александр Алексеевич**  
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, Казань<sup>1</sup>  
Заведующий кафедрой мостов, транспортных тоннелей и геодезии  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: a.piskunov52@mail.ru

**Петропавловских Ольга Константиновна**  
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, Казань  
Старший преподаватель  
E-mail: korsika@kgasu.ru

**Лашков Максим Вячеславович**  
ОАО «Мосинжпроект»  
Россия, Москва  
Главный специалист  
E-mail: max\_art@inbox.ru

## **Нештатные ситуации при строительстве объектов метрополитена. Причины и ликвидация последствий**

---

<sup>1</sup> 420043 Казань, ул.Зеленая, 1, корпус 5

**Аннотация.** Дается определение нештатных ситуаций в метростроении, классифицируются и указываются возможные причины их возникновения. Рассматривается нештатная ситуация резкого изменения напряженно-деформированного состояния вмещающего грунтового массива, вызванная выносом обводненных песков в тоннель, повлекшая за собой деформирование сборной железобетонной водонепроницаемой обделки. Описываются причины ее возникновения, дается анализ сложившейся ситуации и алгоритм ее решения. Проектом ликвидации нештатной ситуации предусмотрена переборка тоннеля с железобетонных блоков на чугунные тубинги, приведение тоннелей в проектное положение при открытом способе производства работ. Рассматриваются мероприятия по обеспечению жесткости тоннеля – бетонная «рубашка» и устройство распоров, усиления обделки тоннеля фибронабрызгбетоном с армированием арматурой, химическое закрепление грунта трехкомпонентным раствором из тоннеля за обделкой – для обеспечения контакта и увеличения несущей способности грунта. На протяжении всего времени ликвидации нештатной ситуации осуществлялся мониторинг геометрического положения и деформаций тоннелей по «радиальной» схеме. Определение внутренних усилий в конструкциях усиления производилось методом математического моделирования с использованием метода конечных элементов и реализацией в современных вычислительных комплексах. Приводится фотоотчет пошагового решения сложившейся нештатной ситуации с описательной частью.

**Ключевые слова:** нештатная ситуация; деформации; вынос грунта; перемещения; обделка; котлован; мониторинг; усиление; набрызгбетон; распор; просадка; закрепление грунта; тоннель; тубинг; строительство; обследования.

Московский метрополитен представляет собой сеть из 12 линий общей протяженностью 325,4 км со 195 станциями и 15 электродепо, обеспечивающую перевозку от 8 до 9,3 миллиона пассажиров ежедневно.

Программой развития Московского метрополитена на 2011 – 2020 год предусмотрено строительство 158,2 км новых линий, 75 новых станций, 9 новых и 3 реконструируемых электродепо, 4 дополнительных вестибюля (рис. 1) [1].

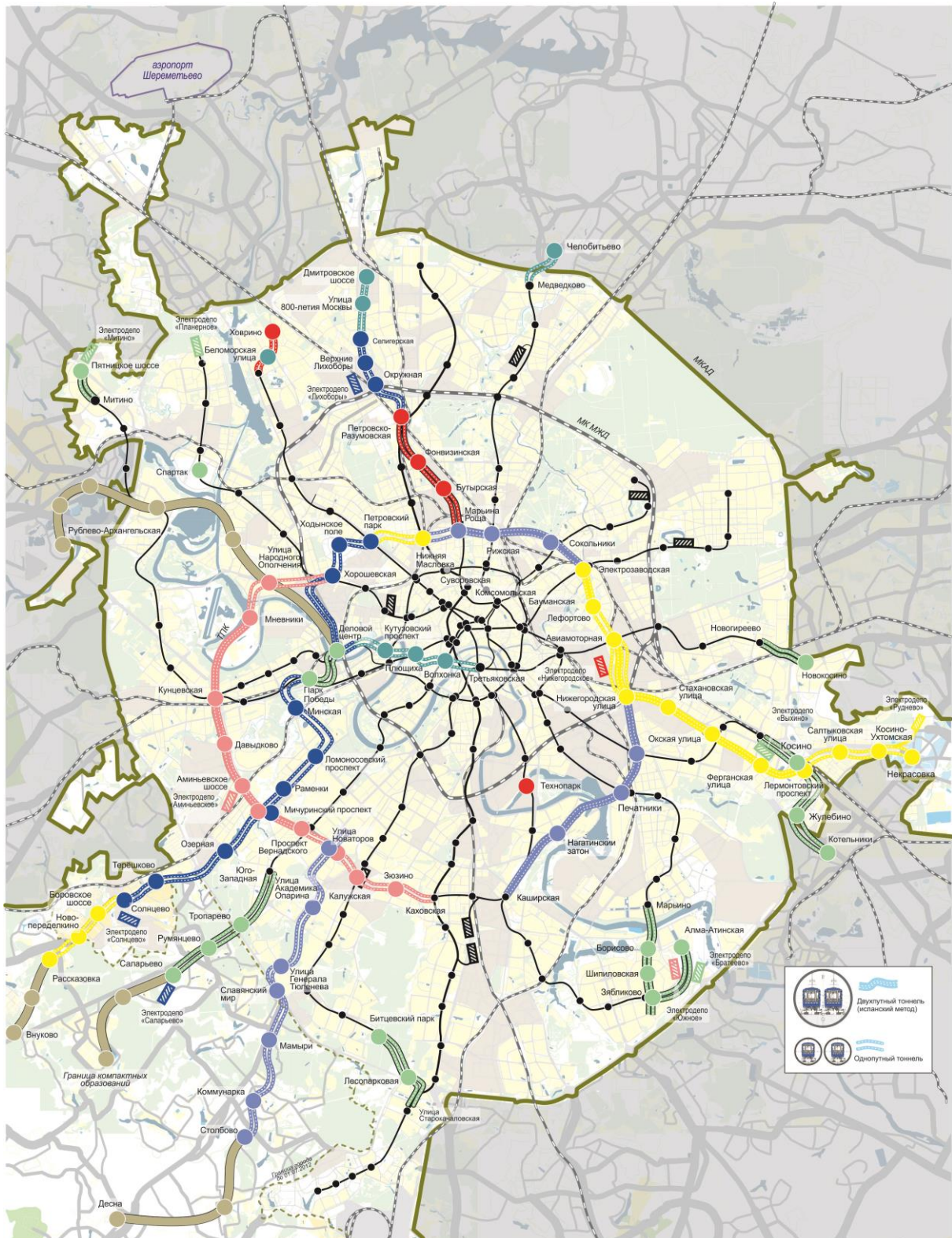


Рисунок 1. Схема развития метрополитена в Москве в 2011-2020 гг.

В соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации метрополитены относятся к особо опасным и технически сложным объектам.

В результате реализации проектных решений по разного рода причинам иногда происходят нештатные ситуации, которые требуют значительных материальных, финансовых и временных затрат на их ликвидацию.

Нештатная ситуация – это не предусмотренное проектным решением событие, вызванное природными или человеческими факторами, а также фатальным совпадением совместного или последовательного воздействия неблагоприятных факторов, нарушающих безопасное строительство или эксплуатацию объекта.

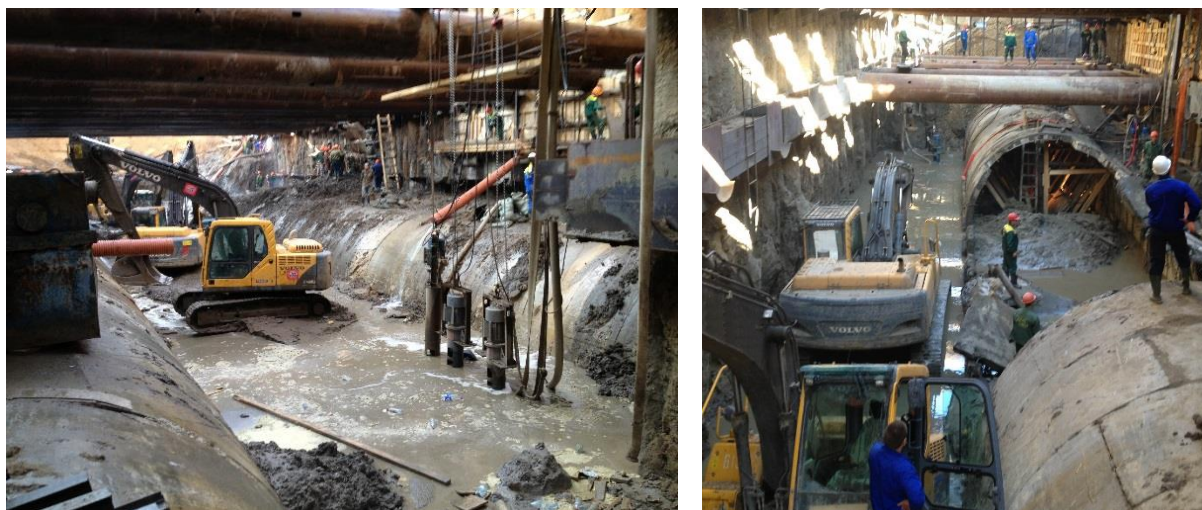
Опыт строительства Московского метрополитена свидетельствует о том, что нештатные ситуации возникают в результате воздействия неблагоприятных природных факторов, технических неполадок при проходке тоннелей ТПК, человеческого фактора, выражающегося в нарушении регламентов проходки в сложных инженерно-геологических условиях (при устройстве сбоек, водоотливных, вентиляционных установок и других объектов) [2,3,4].

Таблица 1

**Классификация нештатных ситуаций при строительстве метрополитенов**

Нештатные ситуации	Результат нештатной ситуации	Возможные причины	Способы устранения нештатных ситуаций
- деформации и обрушение стен, а также затопление котлованов	- деформации и просадки инженерных коммуникаций, близлежащих зданий и сооружений	- нарушение проектного решения, регламентов и проектов организации строительства; - ошибки при проектировании и строительстве конструкций	- повышение технологической дисциплины производства строительного-монтажных работ; - проверки и исключение ошибок в проектах
- отклонение в плане и профиле трассы; сверхнормативные отклонения в геометрии, трещины, в том числе силовые, в обделке	- нарушение габаритов тоннеля; - снижение несущей способности и водонепроницаемости обделки	- прорыв водогрунтовой массы в тоннель и притоннельные сооружения; - нарушение регламента производства работ при сооружении обделки и ведения проходки, в том числе при назначении давления грунтопригруза	- перепроектирование плана и профиля; - усиление конструкции обделки; - разработка и наличие мероприятий плана действий по устранению нештатных ситуаций
- прорыв водогрунтовой массы в котлован, тоннель и притоннельные сооружения	- затопление котлована, тоннелей и притоннельных сооружений; - деформация конструкций котлована и обделки; - деформация поверхности и просадка грунта, инженерных коммуникаций, близлежащих зданий и сооружений	- отсутствие сплошности при устройстве свай в ограждении котлована; - нарушение регламента, износ оборудования при щитовой проходке; - ошибки в проекте; - нарушение технологии производства работ при проходке тоннеля и устройстве притоннельных сооружений;	- контроль вертикального положения при погружении свай; - своевременное устранение водопроявлений при закреплении грунтов и устройстве притоннельных сооружений; - соблюдение технологической дисциплины, регламентов проходки и проектов производства работ

В настоящей статье рассматривается нештатная ситуация резкого изменения НДС вмещающего грунтового массива, вызванная выносом обводненных песков в тоннель, повлекшая за собой деформирование сборной железобетонной водонепроницаемой обделки (рис. 2), а также приводится обобщение полученного опыта.



*Рисунок 2. Результат нештатной ситуации*

Основными факторами риска в результате нештатной ситуации являются:

1. Снижение и возможная потеря несущей способности сборной железобетонной обделки.
2. Несоблюдение в результате деформаций регламентированных нормами габаритов тоннеля.
3. Нарушение герметичности обделки.
4. Нарушение плана и профиля трассы.

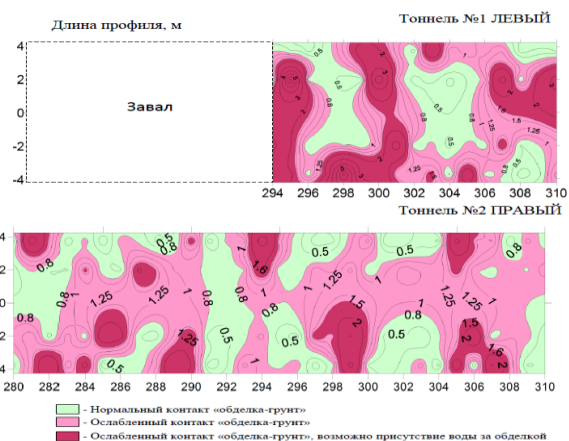
Анализ возможных вариантов решения проблемы:

1. Стабилизация вмещающего грунтового массива путем закрепления грунта.
2. Устройство котлована, разборка сооруженной обделки и сборка новой обделки в открытом котловане с последующей обратной засыпкой.
3. Устройство конструкций усиления с внутренней стороны обделки тоннеля.
4. Проектное решение по восстановлению трассы или корректировка плана и профиля трассы.

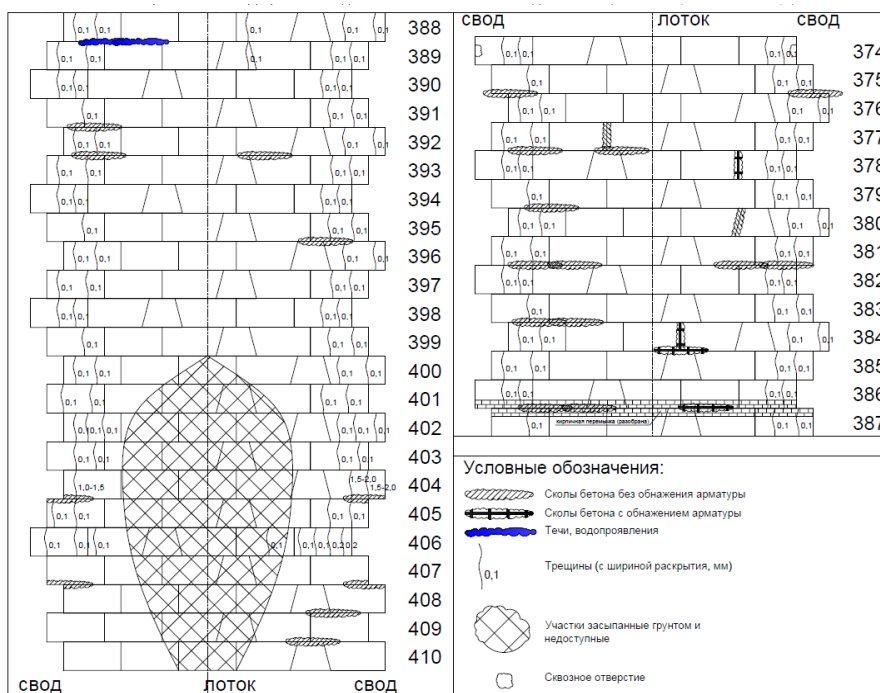
Для принятия решения по завершению строительства необходимо проведение обследования конструкций, в том числе примыкающих к месту, где произошла нештатная ситуация, геофизические исследования контакта «обделка-грунт», мониторинг состояния тоннелей, инженерных коммуникаций, окружающих зданий и сооружений в процессе производства работ (рис. 3, 4, 5) [5,6,7].



**Рисунок 3.** Результаты обследования тоннелей

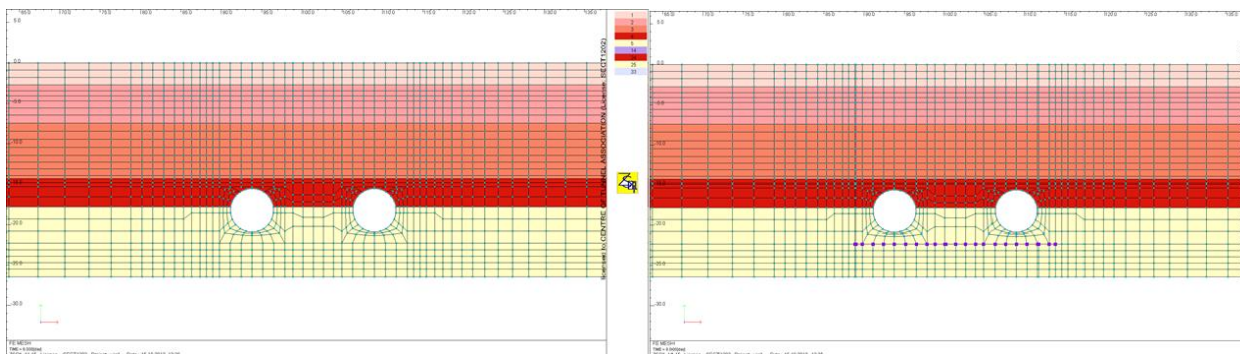


**Рисунок 4.** Контакт «грунт-обделка». Геофизические исследования.



**Рисунок 5.** Пример дефектной ведомости

Моделирование нештатной ситуации в рассматриваемом случае осуществляется с учетом предположения о том, что основным фактором, оказавшим влияние на изменение НДС системы «грунт-обделка», является изменение гидрогеологических условий. В общем случае для правильного определения НДС системы «грунт-обделка» необходимо учитывать весь комплекс факторов, приведших к возникновению нештатной ситуации (рис.6).



**Рисунок 6.** Расчетные схемы для определения несущей способности обделки после нештатной ситуации.

В расчетной схеме была смоделирована проходка левого и правого перегонных тоннелей с последующим снижением уровня грунтовых вод вследствие нарушения герметичности обделки и выноса грунта в тоннель. По результатам расчета были определены усилия в обделке до и после нештатной ситуации, определен процент несущей способности сохраненной обделки.

**Таблица 2**

**Соотношение значений внутренних усилий в сборной железобетонной обделке до и после нештатной ситуации**

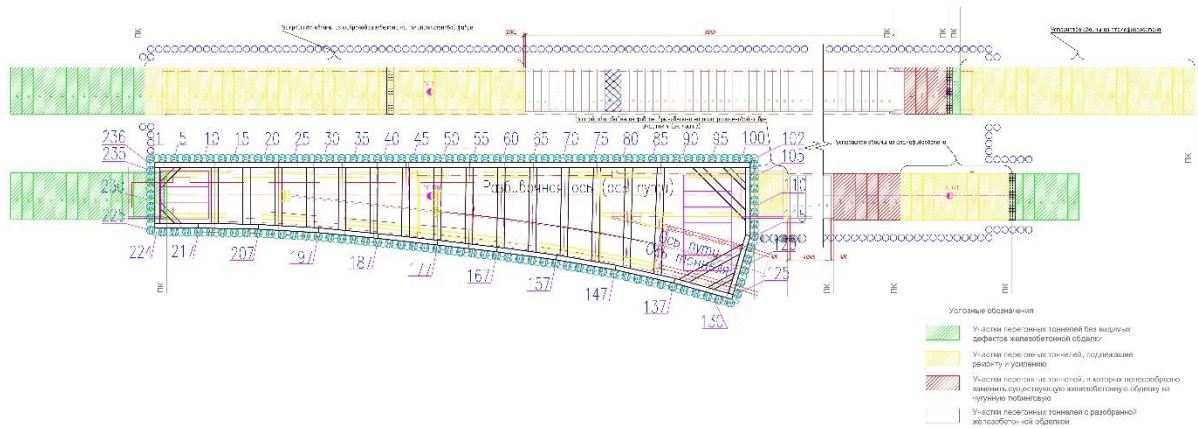
	<u>M, кНм</u>	<u>N, кН</u>	<u>K3 по прочности</u>
<b>Свод</b>	<b>113,0/173,7</b>	<b>697,1/498,4</b>	<b>1,28/0,87</b>
<b>Горизонтальный диаметр</b>	<b>117,6/175,9</b>	<b>996,6/924,6</b>	<b>1,34/1,03</b>
<b>Обратный свод</b>	<b>134,9/195,5</b>	<b>749,2/525,6</b>	<b>1,16/0,80</b>

*Примечание: в числителе – значения до нештатной ситуации, в знаменателе – после.*

Определение допустимых геометрических параметров конструкций усиления, связанных с обеспечением необходимого внутреннего габарита тоннеля, предполагает анализ данных геодезических измерений фактических габаритов тоннеля, после чего определяется максимально допустимая толщина облоймы, при которой обеспечиваются необходимые габариты тоннеля. При назначении толщины облоймы усиления должны учитываться возможные дополнительные деформации тоннеля.

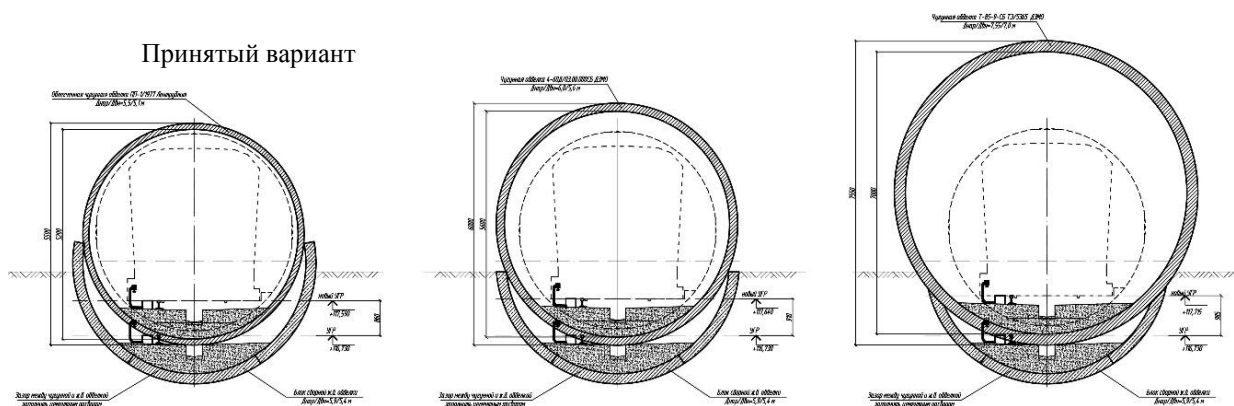
Определение внутренних усилий в конструкциях усиления производилось методом математического моделирования с использованием МКЭ и реализацией в современных ПКВ задачи об определении НДС для этапов нештатной ситуации и устройства усиления в единой расчетной модели [8].

На основании полученных результатов был разработан проект ликвидации нештатной ситуации путем производства работ открытым способом, откорректирован план и продольный профиль на этом участке для приведения тоннелей в проектное положение (рис. 7).



**Рисунок 7.** Схема расположения участков замены тьюбингов и усиления железобетонной обделки.

Проектом предусматривались устройство железобетонной плиты и монтаж тоннелей в проектное положение с последующей засыпкой котлована. Однако реализовать проект в сложных инженерно-геологических условиях не удалось, поэтому было принято нестандартное решение. Изучение состояния грунтов позволило смонтировать чугунные тьюбинги, на нижнюю часть деформированного железобетонного тоннеля, оставив его в виде фундамента для чугунной обделки (рис. 8).



**Рисунок 8.** Варианты устройства чугунных тьюбингов

Для обеспечения жесткости чугунного тоннеля в продольном и поперечном направлении была выполнена бетонная «рубашка» с устройством распоров, которая одновременно решила задачи фиксации тоннеля от вертикальных перемещений и всплытия (рис. 9).



*Рисунок 9. Устройство железобетонных перемычек, технологической сбойки и бетонной «рубашки»*

До завершения работ оставалось 3 дня, когда произошел очередной нештатный случай, вызванный суффозией грунта: просадка смежных железобетонных колец относительно друг друга с изменением геометрии поперечного сечения тоннеля (рис. 10). Результат обследования и геофизические исследования показали разуплотнение грунта по периметру тоннелей.



*Рисунок 10. Изменение поперечного сечения тоннеля в результате просадки грунта*

Анализ обследований и проведенные расчеты показали необходимость усиления обделки тоннеля фибронабрызгбетоном с армированием арматурой (рис. 11, 12, 13) [9].

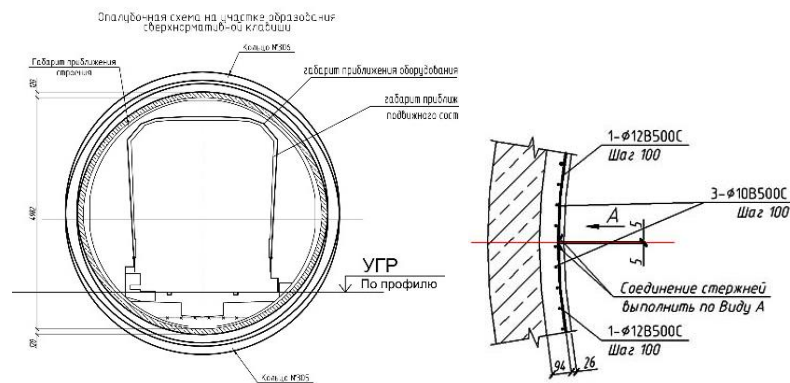


Рисунок 11. Вариант схемы усиления дефектных колец

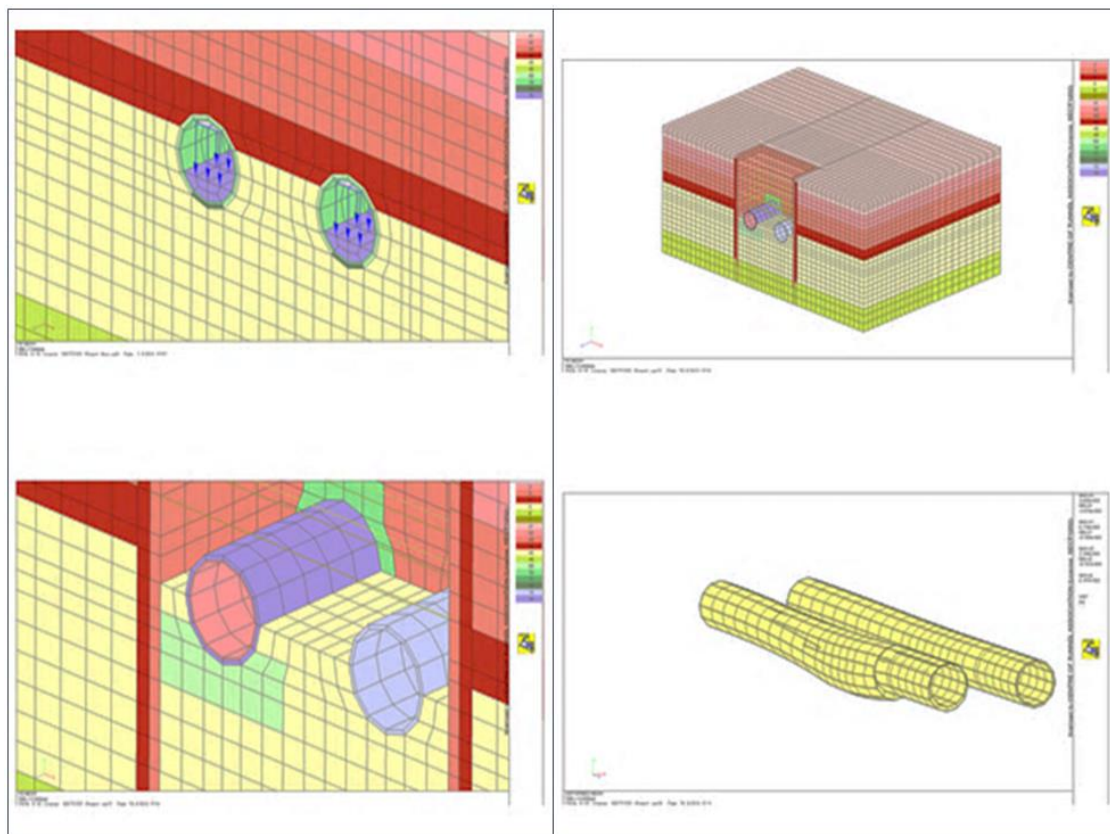
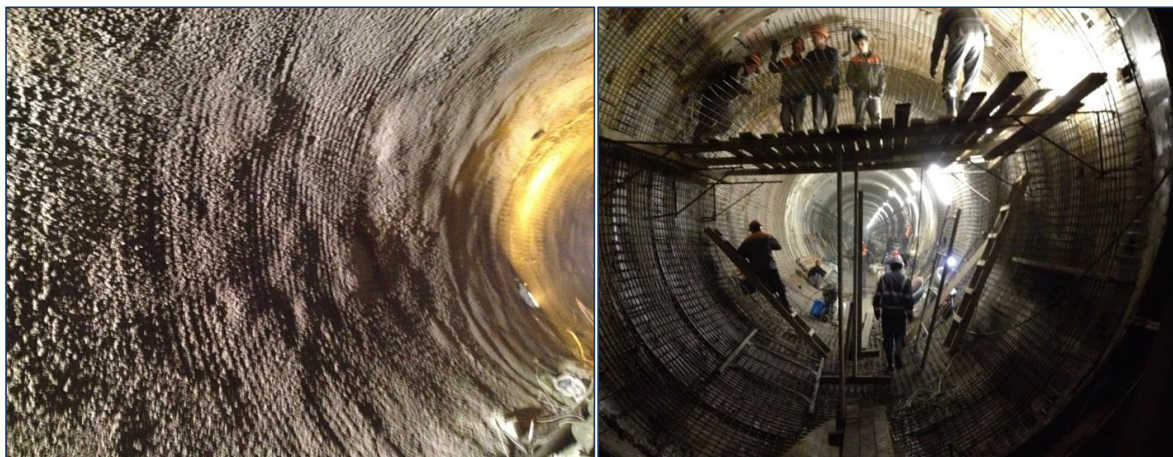


Рисунок 12. Расчетная схема усиления дефектного участка тоннеля фибронабрызгбетоном с армированием



*Рисунок 13. Армирование и устройство усиления тоннелей фибронабрызгбетоном*

Для обеспечения контакта и увеличения несущей способности грунта было выполнено закрепление грунта за обделкой (рис. 14) с одновременной прокачкой из тоннеля трехкомпонентным раствором для его химического закрепления (рис. 15) [10], что дало положительный эффект (рис. 16).

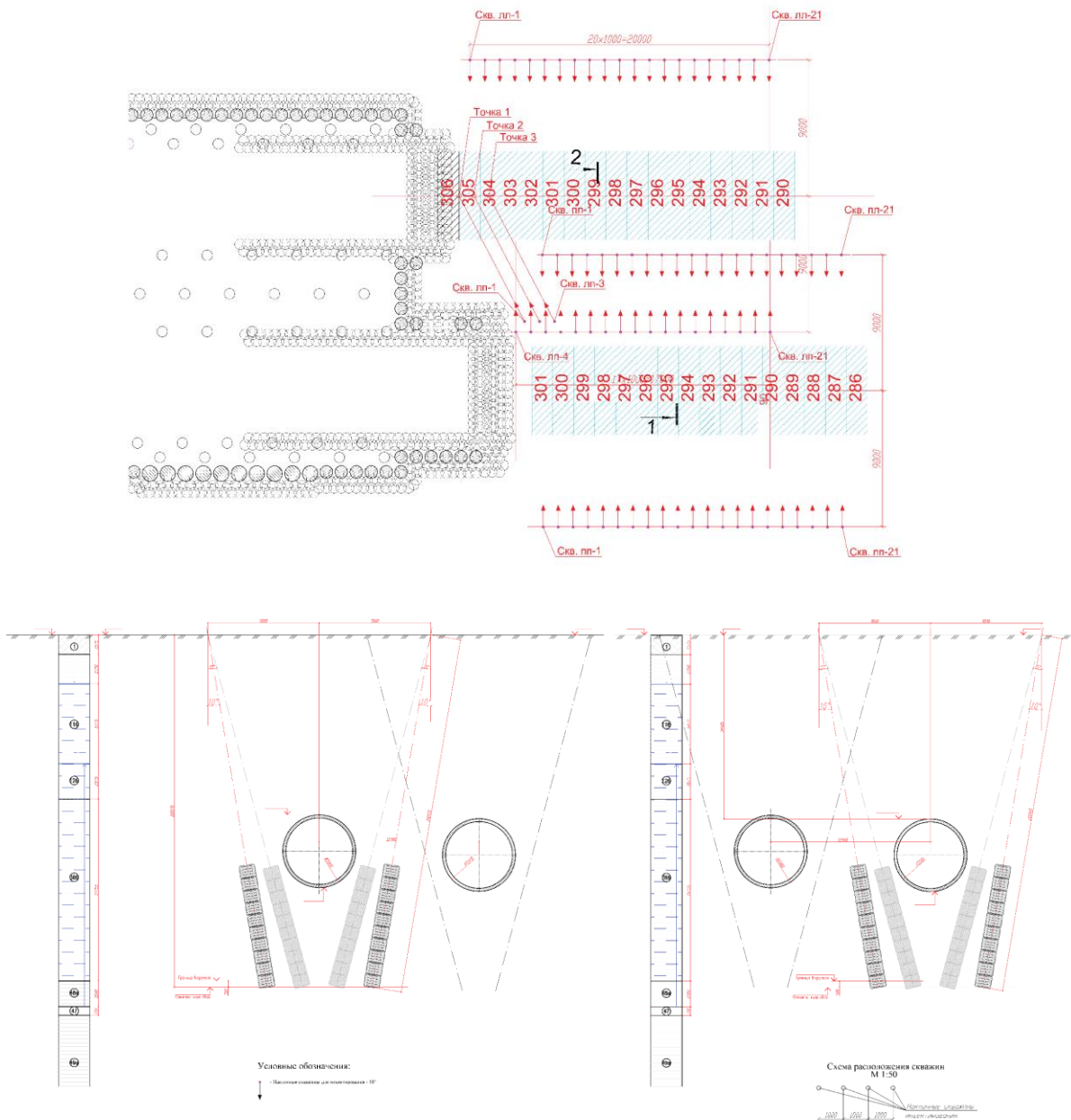
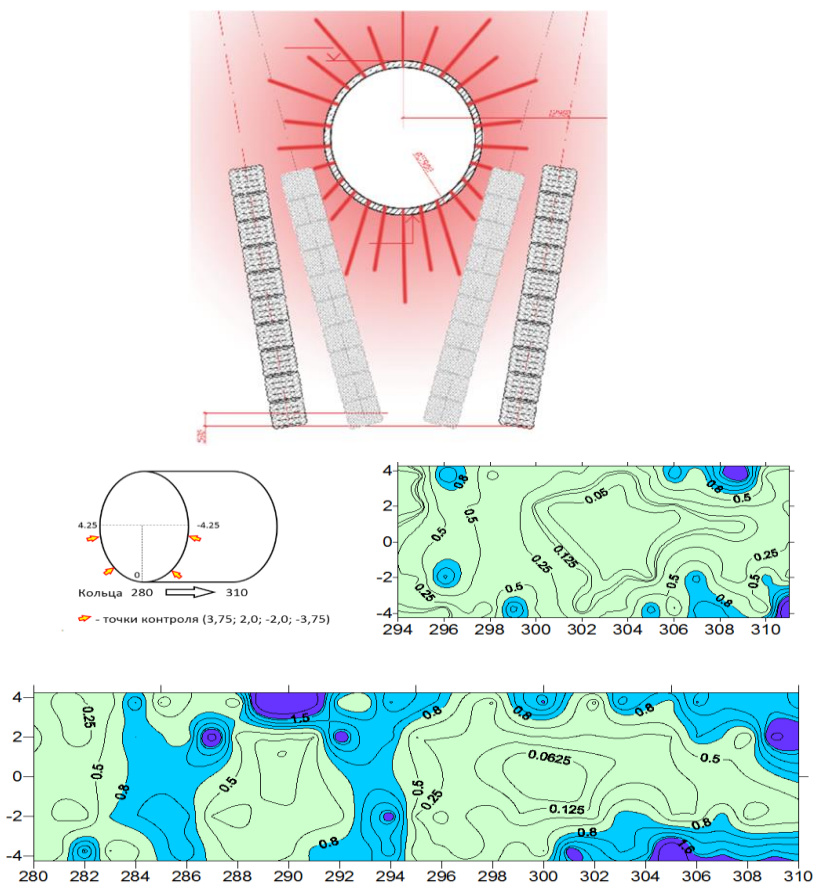


Рисунок 14. Закрепление грунта

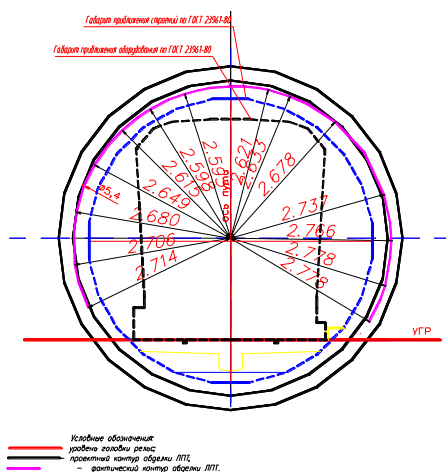


*Рисунок 15. Химическое закрепление грунта трехкомпонентным раствором из тоннеля*



*Рисунок 16. Результат химического закрепления грунта из тоннеля*

На протяжении всего времени о ликвидации нештатной ситуации осуществлялся мониторинг геометрического положения и деформаций тоннелей по «радиальной» схеме (рис. 17) [11].



**Рисунок 17.** Пример радиальной съемки колец существующей обделки

Мероприятия по переборке тоннеля с железобетонных блоков на чугунные тубинги, обеспечение их жесткости за счет бетонирования, закрепления грунтов, устройства усиления блоков обделки фибронабрызгбетоном с армированием дали положительный результат, после чего была произведена обратная засыпка грунта в котлован (Рис. 18) [12].



**Рисунок 18.** Обратная засыпка грунта в котлован

Реализация откорректированного проектного решения, постоянный автоматизированный мониторинг состояния деформаций позволили запустить движение поездов метрополитена и начать перевозку пассажиров в штатном режиме.

**Выводы:**

1. Во избежание нештатных ситуаций необходима серьезная работа проектировщиков по изучению инженерно-геологических условий при назначении трассы и особенно выбору спецметодов при проходке притоннельных сооружений.
2. При проходке сбоек, сооружении других притоннельных сооружений требуется строгое соблюдение технологической дисциплины, проектов производства работ, технических регламентов.
3. В случае возникновения нештатных ситуаций инженерно-технический и рабочий персонал должен иметь оборудование, план действий и запас материалов, для их оперативной ликвидации.
4. Для осуществления контроля за ходом производства работ и сохранности коммуникаций близлежащих зданий и сооружений необходим постоянный автоматизированный мониторинг, лабораторный и строительный контроль качества при производстве работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Книгина Д. А я иду шагаю под Москвой. // Профессиональный журнал ОАО «Мосинжпроект» «Инженерные сооружения». № 2, 2013. – С. 12-13.
2. Королев М.В. Примеры и причины аварий зданий и сооружений в г. Москве. – Методическое пособие. М.: МГСУ, 1998. – 80 с.
3. В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин Геотехническое сопровождение развития городов (практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки): «Стройиздат Северо-Запад», Группа компаний «Геореконструкция» - СПб. 2010. – С.41-51.
4. Колыбин И.В. Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях. – Развитие городов и геотехническое строительство, № 12. СПб: Издательство «Геореконструкция-Фундаментпроект», 2008. – С 90-124.
5. В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям). / ПИ «Геореконструкция». 2010. – С 91-93.
6. Меркин В.Е. Скоростное восстановление строящихся тоннелей при нештатных ситуациях // Научно-технический и производственный журнал «Транспортное строительство». №8,2014. - С.18-22.
7. Швец В.Б., Феклин В.И., Гинзбург Л.К. Усиление и реконструкция фундаментов. – М.: Стройиздат, 1985. – 202 с.
8. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геотехнике. –М.: Недра, 1987. – С 220.
9. Русанов В.Е. Определение прочностных и деформационных свойств сталефибробетона для расчета тоннельных обделок. // Вестник МГСУ. №2, 2012. – С. 189-197.
10. Богов С.Г., Запечалов И.А. Исследование свойств инъекционных растворов для качественного закрепления грунтов. – Реконструкция городов и геотехническое строительство, № 2. СПб. Издательство «Геореконструкция-Фундаментпроект», 2000.
11. К.П. Безродный, С.Г. Гендлер, Ю.С. Исаев, М.О. Лебедев Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. – М.: УРАН ИПКОН РАН, НИПИИ «Ленметрогипротранс», 2009. – С.19-20.
12. Петрухин В.П. Геотехнические проблемы строительства в Москве – крупнейшем мегаполисе России. – Геотехнические проблемы мегаполисов. СПб. Издательство «Группа компаний Геореконструкция», 2010. Т.1 – 259 с.
13. В.Е. Меркин, А.А. Пискунов, И.Я. Харченко, И.Н. Хохлов, Е.А. Хотеев, Д.В. Устинов «Нестандартные решения в нештатных ситуациях» // Международная научно-практическая конференция «Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение», Сборник трудов, Часть I. г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, с.414-421. 2014г.

**Рецензент:** Овчинников Игорь Георгиевич, заместитель Председателя Поволжского отделения Российской академии транспорта, академик РАТ, доктор технических наук, профессор.

**Shvetsov Vladimir**

Department of construction  
Russia, Moscow  
E-mail: [pr\\_shvetsova@mos.ru](mailto:pr_shvetsova@mos.ru)

**Merkin Valery**

NIC OPP OAO “Mosinzhproekt”  
Russia, Moscow  
E-mail: [nizta@inbox.ru](mailto:nizta@inbox.ru)

**Piskunov Alexander**

Kazan state university of architecture and engineering  
Russia, Kazan  
E-mail: [a.piskunov52@mail.ru](mailto:a.piskunov52@mail.ru)

**Petropavlovskih Olga**

Kazan state university of architecture and engineering  
Russia, Kazan  
E-mail: [korsika@kgasu.ru](mailto:korsika@kgasu.ru)

**Lashkov Maxim**

OAO “Mosinzhproekt”  
Russia, Moscow  
E-mail: [max\\_art@inbox.ru](mailto:max_art@inbox.ru)

## **Emergency situations during construction underground facilities. Causes and liquidation of consequences**

**Abstract:** The article deals with the description of emergency situation in the metro (subway) construction. Possible reasons are classified and identified in the text. It is spoken in detail about an example of an emergency situation: an abrupt change of stress strain behavior enclosing soil mass caused by the removal of watered sand to the tunnel and as a result a deformation of the reinforced concrete waterproof lining. Much attention is given to the occurrence, the analysis of the situation and the algorithm for its solving. One should note here that the project of elimination of contingency contains remaking of the tunnel with concrete block on iron tubing, bringing the tunnels in the design position at the open method of manufacturing jobs. According to the article the rear shown measures for ensure rigidity of the tunnel – concrete "shirt" and thrust device, enhancing tunnel lining shotcrete with rebar, chemical grouting ternary solution of tunnel lining. Doubtless it should be done for contacting and increase the bearing capacity of the soil. Besides, the monitoring of the geometrical position and deformation of tunnels on the "radial" scheme carries through during all time of resolving the situation. It is reported that the determination of internal forces in the construction of the gain produced by the method of mathematical modeling using the finite element method and the implementation of modern computer systems. The text gives valuable information about detailed resolution of the situation with photos.

**Keywords:** emergency situation; deformation; caving; movement; repair; pit; monitoring; strengthening; shotcrete; thrust; subsidence; grouting; tunnel; tubing; construction; survey.

## REFERENCES

1. Knigina D. A ja idu shagaju pod Moskvoy. // Professional'nyj zhurnal OAO «Mosinzhpromekt» «Inzhenernye sooruzhenija». № 2, 2013. – S. 12-13.
2. Korolev M.V. Primery i prichiny avarij zdaniy i sooruzhenij v g. Moskve. – Metodicheskoe posobie. M.: MGSU, 1998. – 80 s.
3. V.M. Ulickij, A.G. Shashkin, K.G. Shashkin Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitija gorodov (prakticheskoe posobie po proektirovaniyu zdaniy i podzemnyh sooruzhenij v uslovijah plotnoj zastrojki): «Strojizdat Severo-Zapad», Gruppa kompanij «Georekonstrukcija» SPb. 2010. – S.41-51.
4. Kolybin I.V. Uroki avarijnyh situacij pri stroitel'stve kotlovanov v gorodskih uslovijah. – Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo, № 12. SPb: Izdatel'stvo «Georekonstrukcija-Fundamentproekt», 2008. – S 90-124.
5. V.M. Ulickij, A.G. Shashkin, K.G. Shashkin Gid po geotekhnike (putevoditel' po osnovanijam, fundamentam i podzemnym sooruzhenijam). / PI «Georekonstrukcija». 2010. – S 91-93.
6. Merkin V.E. Skorostnoe vosstanovlenie strojashhihsja tonnelej pri neshtatnyh situacijah // Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Transportnoe stroitel'stvo». №8, 2014. - S.18-22.
7. Shvec V.B., Feklin V.I., Ginzburg L.K. Usilenie i rekonstrukcija fundamentov. – M.: Strojizdat, 1985. – 202 s.
8. Fadeev A.B. Metod konechnyh jelementov v geotekhnike. –M.: Nedra, 1987. – S 220.
9. Rusanov V.E. Opredelenie prochnostnyh i deformacionnyh svojstv stalefibrobetona dlja rascheta tonnel'nyh obdelok. // Vestnik MGSU. №2, 2012. – S. 189-197.
10. Bogov S.G., Zapevalov I.A. Issledovanie svojstv in ekcionnyh rastvorov dlja kachestvennogo zakreplenija gruntov. – Rekonstrukcija gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo, № 2. SPb. Izdatel'stvo «Georekonstrukcija-Fundamentproekt», 2000.
11. K.P. Bezrodnyj, S.G. Gendler, Ju.S. Isaev, M.O. Lebedev Metodicheskoe rukovodstvo po kompleksnomu gorno-jekologicheskomu monitoringu pri stroitel'stve i jekspluatacii transportnyh tonnelej. – M.: URAN IPKON RAN, NIPPI «Lenmetrogiprotrans», 2009. – S.19-20.
12. Petruhin V.P. Geotekhnicheskie problemy stroitel'stva v Moskve – krupnejšem megapolise Rossii. – Geotekhnicheskie problemy megapolisov. SPb. Izdatel'stvo «Gruppa kompanij Georekonstrukcija», 2010. T.1 – 259 s.
13. V.E. Merkin, A.A. Piskunov, I.Ja. Harchenko, I.N. Hohlov, E.A. Hoteev, D.V. Ustinov «Nestandardnye reshenija v neshtatnyh situacijah» // Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Sovremennye geotekhnologii v stroitel'stve i ih nauchno-tehnicheskoe soprovozhdenie», Sbornik trudov, Chast' I. g. Sankt-Peterburg, Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, s.414-421. 2014g.