

**15-16 ОКТЯБРЯ  
2020**

**НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ**

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ  
ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО  
ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ**

**ОРГАНИЗАТОРЫ**



**МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ**

**КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ ОТЕЛЯ  
«ХОЛИДЕЙ ИНН  
МОСКВА СОКОЛЬНИКИ»**

[WWW.RUS-TAR.RU](http://WWW.RUS-TAR.RU)

[WWW.CCIBT.AT](http://WWW.CCIBT.AT)

[WWW.HI-SOKOLNIKI.RU](http://WWW.HI-SOKOLNIKI.RU)

ТРУДЫ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО  
ФОРУМА

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ  
ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО  
ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ**

Москва, 2020

## ОРГАНИЗАТОРЫ

---



## ПАРТНЕРЫ ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ РОССИИ

---

**BAUTRADE**



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

---



# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Конюхов Д.С.,</b> Основные принципы комплексного освоения подземного пространства Москвы. Требования современных строительных норм .....	6
<b>Бойцов Д.А.,</b> Объемно-планировочные решения станций метрополитена г. Москвы мелкого заложения в сочетании с двухпутными перегонными тоннелями .....	14
<b>Лебедев М.О.,</b> Что обеспечивает безопасность компонентов окружающей среды при строительстве объектов метрополитена г. Москвы? .....	19
<b>Петунин Д.С.,</b> Актуальные проблемы нормирования при выборе технологии и определении объемов организации геотехнического мониторинга объектов окружающей застройки на стадиях разработки проектной документации и реализации строительства в городе Москва .....	26
<b>Долев А.А.,</b> Риски в применении технологии jet grouting для закрепления грунтов при строительстве Московского Метрополитена.....	37
<b>Конюхов Д.С., Кобидзе Т.Е.,</b> Предустанавливаемые адгезионные гидроизоляционные системы для подземных сооружений транспортного назначения открытого и полужакрытого способа работ .....	40
<b>Крымов О. Б., Кобидзе Т. Е,</b> Опыт по восстановлению водонепроницаемости эскалаторного тоннеля из чугунных тубингов .....	41
<b>Зуев С.С.,</b> Опыт применения струйной цементации для создания противодиффузионной завесы в скальных грунтах при строительстве ст. Терехово БКЛ Московского метрополитена.....	42
<b>Ледяев А.П., Кавказский В.Н., Шелгунов О.О.,</b> Применение математического моделирования аэродинамических процессов в железнодорожных тоннелях на высокоскоростных магистралях в условиях инновационного развития подземной инфраструктуры .....	53

В Минске близится к завершению строительство третьей ветки метро ..... 57

**Сквернюк А.Е., Протасов Г.Н., Сосков Е.В.,** Юго-Западный участок третьего пересадочного контура. Станционный комплекс «Давыдково». Протаскивание ТПМК Ø10,8 м в сооруженных конструкциях станционного комплекса с применением специальных поддерживающих конструкций и последующим возведением центральной несущей стены станции .....64

**Гучёк Р. Л.,** Закрепление грунтового массива под конструкциями действующей станции метрополитена акрилатным гелем для устройства ходка пересадочного узла горным способом без прекращения движения поездов .....68

# ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МОСКВЫ. ТРЕБОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМ.

Конюхов Д.С., АО «Мосинжпроект»

Москва – наиболее динамично развивающийся мегаполис в РФ. Это город с почти тысячелетней историей. Здесь, на площади 2,5 тыс. км<sup>2</sup> проживает около 12,5 млн. человек. В 2012 году было принято Постановление Правительства Москвы «Об утверждении Перечня объектов перспективного строительства Московского метрополитена» [1], согласно которому до конца 2027 года построить 329 км новых линий и 151 станцию. Это позволит снизить нагрузку на действующую сеть метро, а также обеспечит «шаговую доступность» к станциям для 93% населения Москвы (рис. 1).

В общей сложности с 2011 по 2019 годы в Москве построено 50 новых станций метро, порядка 82 км новых линий и 10 электродепо. Всего строительные работы ведутся более чем на 300 строительных площадках на территории города, задействовано 23 тоннелепроходческих комплекса диаметром 6 м и 4 ТПМК диаметром 10 м.

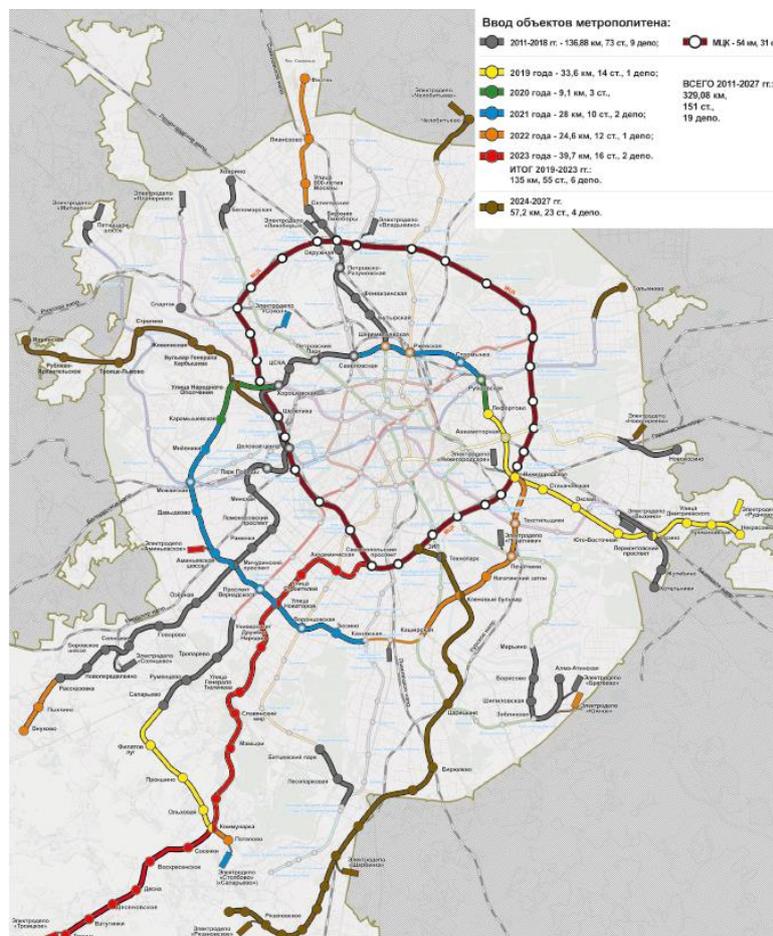


Рис. 1. Строящиеся объекты метрополитена Москвы

Программой реновации жилищного фонда в городе Москве предусматривается «совокупность мероприятий, направленных на обновление среды жизнедеятельности и создание благоприятных условий проживания

граждан, общественного пространства в целях предотвращения роста аварийного жилищного фонда в городе Москве, обеспечения развития жилых территорий и их благоустройства» (рис. 2) [2]. При этом «реновация жилищного фонда осуществляется с учетом развития сети объектов инфраструктуры, создания дополнительных условий для развития человеческого потенциала, экологии, что обеспечивает комплексное развитие территории в соответствии с современными требованиями к городской среде. При реализации Программы реновации должно быть обеспечено создание комфортной среды проживания граждан, в том числе путем установления дополнительных требований к благоустройству территории, формированию улично-дорожной сети, парковочного пространства, тротуаров прифасадной зоны, организации дворовых и внутриквартальных озелененных территорий».

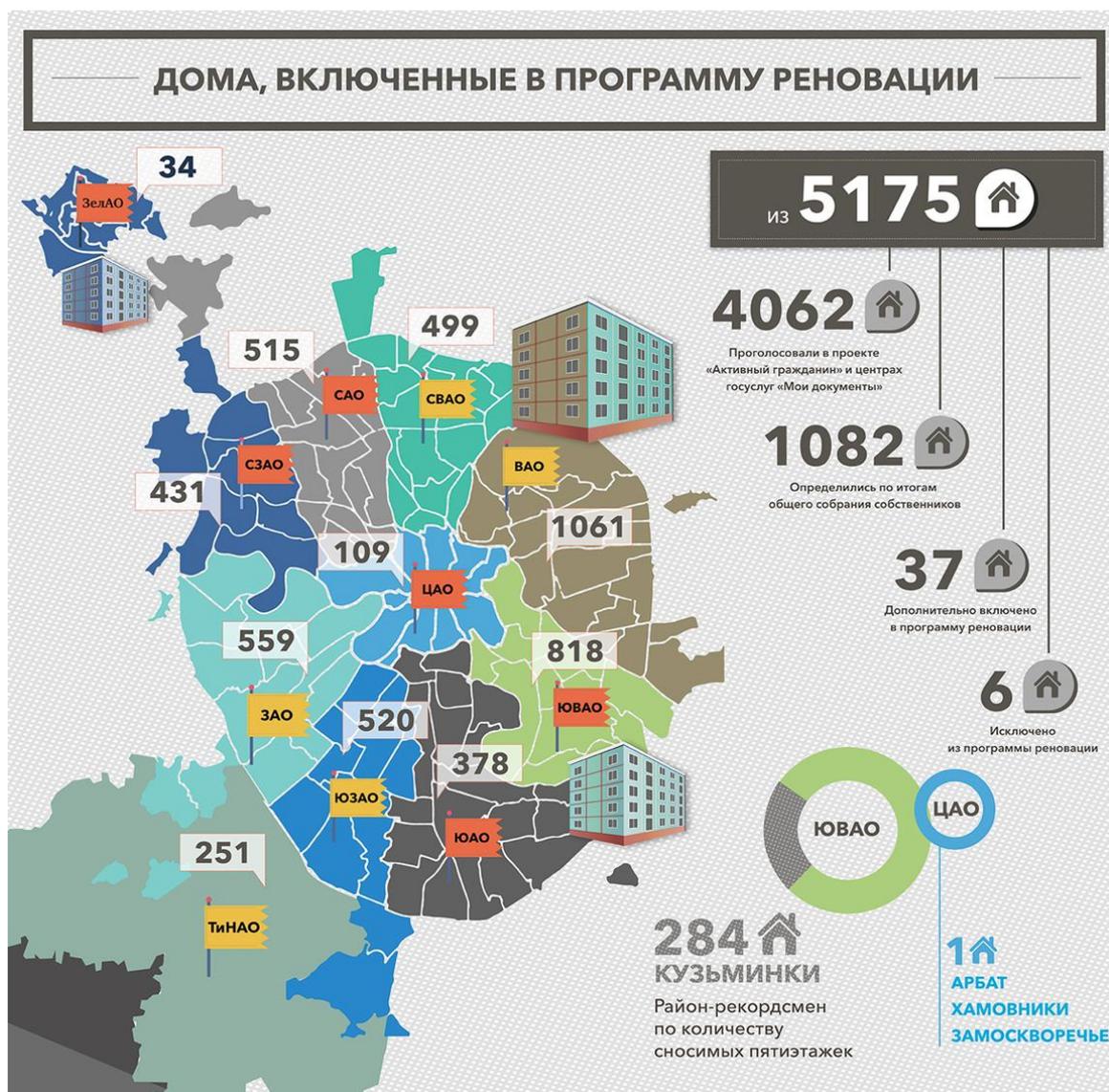


Рис. 2. Программа реновации Москвы

Модель комплексного использования подземного пространства Москвы должна учитывать следующие принципы долгосрочного планирования:

1. взаимодополняемости – например, проектируемые транспортные системы жилого района должны обеспечивать быстрое и комфортное перемещение человека от дверей его квартиры до дверей вагона метро;

2. взаимозаменяемости – в частности, объекты гражданской обороны должны проектироваться как парковки, склады магазинов, фитнес центры, хранилища библиотек и проч.;

3. безопасности;

4. централизации систем мониторинга, управления и обслуживания;

5. социального развития.

Решение этих задач возможно только путём комплексного освоения подземного пространства.

Впервые необходимость комплексного использования подземного пространства при проектировании объектов метрополитена была нормативно прописана в СП 120.13330.2012 "Метрополитены" [7]. В развитие этого требования был разработан специальный нормативный документ, определяющий основные градостроительные принципы регулирования освоения подземного пространства в России: СП 473.1325800 «Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования» [10]. Разработчики свода правил основывались на следующих принципах создания экономически-эффективного, комфортного и безопасного экологического города:

a. комплексное, в том числе многократное использование территории и подземного пространства;

b. компенсация сокращающегося земельного ресурса путём размещения в подземном пространстве объектов транспорта, инженерной инфраструктуры и обслуживания населения;

c. использование надземного пространства в первую очередь для размещения жилья, объектов социальной инфраструктуры и зеленых зон;

d. синергетический эффект от использования энергии и природных ресурсов;

e. применение передовых строительных технологий, оказывающих минимальное воздействие на природно-техногенную среду.

Градостроительные задачи создания подземного пространства должны предусматривать:

f. преемственность исторического развития городов, их пространственной организации, обеспечение их гармоничного и композиционного городского единства, создания системы общегородских центров, включающей исторически сложившиеся центры городов и центры их периферийных зон с учетом максимального использования подземных пространств;

g. увеличение доли территорий смешанного и многофункционального использования в балансе территорий городов, территорий высокоплотной общественной застройки и подземных пространств;

h. создание и развитие центров периферийных районов с подземными пространствами, объединёнными с транспортно-пересадочными узлами;

i. создание системы общественных, торговых, деловых комплексов, концентрирующих значительные потоки работающих и посетителей в составе подземных пространств на периферии исторического центра.

Свод правил содержит рекомендации по разрешенному использованию объектов капитального строительства, размещаемых в подземном пространстве, по степени использования подземного пространства в городах с различной

численностью населения, по размещению подземных объектов на территориях различных функциональных зон города, по функциональному составу подземных помещений.

Наряду с горизонтальным зонированием, предлагается использовать рациональное зонирование подземного пространства по вертикали. Для этого предложено функциональное распределение подземного пространства по четырём уровням глубины с учётом социальных и медицинских показателей:

ј. первый уровень (малозаглубленный – до 5 м): пешеходные зоны и тяготеющие к ним учреждения, предприятия розничной торговли, культурно-досуговые центры и другие предприятия торгово-бытового обслуживания населения, постоянно эксплуатируемые и посещаемые неограниченным количеством людей;

к. второй уровень (среднего заглубления – 5-15 м): транспортные тоннели, гаражи и автостоянки, подсобные складские помещения, грузовые дворы, служебные коммуникации и т.п., сооружения, кратковременно используемые неограниченным количеством людей;

л. третий уровень (повышенного заглубления – 15-30 м): предприятия промышленности и энергетики с постоянным присутствием ограниченного количества квалифицированного персонала;

м. четвертый уровень (особо глубокий – более 30 м): глубокие инженерные коммуникации, метрополитен, специальные сооружения, эксплуатируемые без постоянного присутствия человека.

При этом предлагается предусматривать возможность создания многофункциональных подземных пространств, позволяющих обеспечивать их эксплуатацию населением без необходимости выхода на поверхность.

Использование подземного пространства должно обеспечивать:

п. рациональное размещение подземных частей зданий и подземных сооружений различного назначения в необходимых местах города, в том числе в условиях стесненной застройки;

о. совершенствование транспортного обслуживания населения путём использования внеуличных электрифицированных видов транспорта для скоростных массовых перевозок пассажиров, организации скоростного и непрерывного движения на магистральных улицах и отдельных участках автомобильных дорог; формирование транспортно-пересадочных узлов и устройство транспортных развязок с использованием подземного пространства;

р. формирование оптимальных условий для развития, эксплуатации и ремонта городских инженерных сетей путем устройства проходных коллекторов, компактных очистных водопроводных и канализационных сооружений, сооружений электро- и газоснабжения, насосных станций и т. д.

с. хранение и паркование легковых автомобилей и других видов транспорта в подземном пространстве;

г. приспособление для современного использования территорий объектов культурного наследия, ансамблей памятников архитектуры, зон охраны объектов культурного наследия;

д. повышение комфортности пребывания в общественных, деловых и торгово-коммерческих зонах, зонах обслуживания населения;

t. защиту населения в защитных сооружениях гражданской обороны в условиях военного времени и при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера;

u. создание дружелюбной к маломобильным группам населения городской среды.

Для этого предполагается постепенный переход от использования подземного пространства городов для размещения отдельных объектов к его комплексному развитию, позволяющему сделать городскую среду более комфортной для жизни населения. Одновременно с этим в своде правил вводятся санитарные ограничения на использование подземного пространства для размещения:

- v. жилых помещений;
- w. учебных помещений для детей;
- x. учебных помещений для взрослых с пребыванием в них более 4 часов;
- y. административных помещений с постоянным режимом работы.

Рассмотрим реализацию этих принципов и подходов на конкретных примерах.

При строительстве в районах массовой жилой застройки перегонных тоннелей и станций метрополитена открытого способа работ предлагается использовать зону над тоннелями для размещения в ней пешеходных и автотранспортных тоннелей, автостоянок и гаражей, а также предприятий торговли. В некоторых случаях подземные сооружения могут располагаться под перегонными и станционными тоннелями или рядом с ними.

В районах, где не планируется развитие сети строящегося метрополитена, и реновация не предполагает квартального принципа застройки, для размещения подземных парковок и объектов бытового обслуживания шаговой доступности предлагается использовать существующую улично-дорожную сеть (рис. 3). При ширине парковочного места 2,5 м, подобное техническое решение позволит разместить до 1500 машиномест (с учётом въездов-выездов и других тех. помещений) на 1 пог км. автостоянки. При автоматизированной системе хранения емкость автостоянки увеличится примерно до 1650 машиномест на 1 пог км.

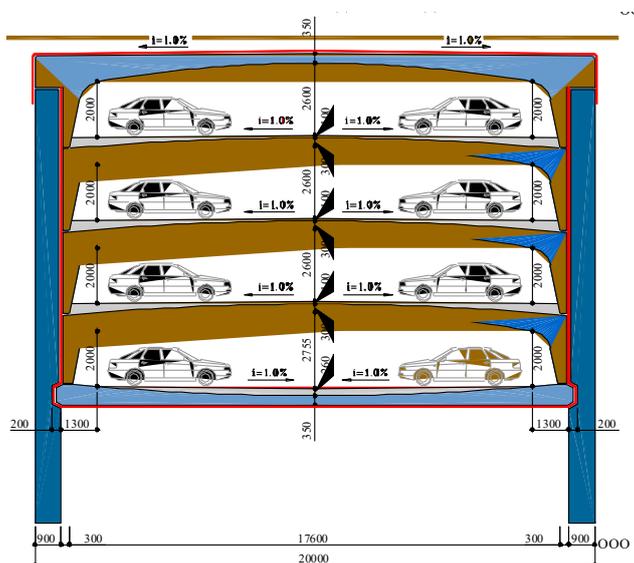


Рис. 3. Подземная автостоянка под улично-дорожной сетью

Также для хранения личного автотранспорта населения должна использоваться подземная часть строящихся торгово-развлекательных комплексов и ТПУ. Для этого необходимо, чтобы часть стояночных мест на автостоянках использовалась не только для ТПУ, посещения учреждений торговли, общественного питания и проч., но и для хранения личного автотранспорта сотрудниками близрасположенных административных и офисных зданий в дневное время, а жителями близлежащего района – ночью.

Для районов, где предполагается квартальный принцип застройки эти же задачи могут быть решены принципиально иным способом. В этом случае на наш взгляд, целесообразно строительство общей подземной части микрорайона, включающей:

- подземные автостоянки, включая места для постоянного и гостевого хранения автотранспорта;
- подземная транспортная сеть, включающая:
  1. проезжую часть для автомобилей и общественного транспорта;
  2. тротуары для движения пешеходов;
  3. остановочные пункты общественного транспорта;
- подъездные пути, разгрузочные площадки и склады предприятий торговли, бытового обслуживания, общественного питания и проч.;
- предприятия торговли, бытового обслуживания, общественного питания и проч.;
- сооружения инженерной инфраструктуры микрорайона;
- объекты гражданской обороны и проч.

Подобное решение позволит практически полностью разделить жилую и инженерную зоны микрорайона. Наземная часть будет отдана жилой застройке, детским садам, школам, больницам, зелёным насаждениям. За счёт перевода всего транспорта в подземную часть района будет обеспечена максимальная безопасность жителей, снижение ДТП, улучшена экологическая обстановка.

Примером подобного решения может быть экспериментальный район Северное Чертаново, построенный в 1970-х годах. Район был спроектирован как «город в городе» и включал в себя локальные бытовую, торговую, культурную, административную зоны. При этом в микрорайоне была реализована единая система обслуживания зданий с подземными автостоянками, пневматическим удалением мусора и централизованным контролем инженерных систем.

Необходимо учитывать, что строительство ведется в условиях плотной городской застройки. Для обеспечения сохранности существующей застройки необходимо применение современных передовых технических и технологических решений.

В частности, было проведено ранжирование современных технологий подземного строительства и введено 3 класса «высоких» или «передовых» технологий применительно по степени их воздействия на природно-техногенную среду (табл. 1). В табл. 2 представлено ранжирование современных технологий подземного строительства, наиболее часто применяющихся в г. Москве, в зависимости от степени влияния на сложившуюся геоэкологическую среду.

Таблица 1

Класс	Описание
<b>I – простой</b>	Строительство сооружений пониженного или нормального уровня ответственности ведётся на свободных от застройки территориях и не оказывает воздействия на геоэкологическую среду
<b>II – средний</b>	Строительство сооружений нормального уровня ответственности ведётся в условиях городской застройки, оказывает влияние на геоэкологическую среду, однако требования экологической безопасности вторичны по сравнению с экономической эффективностью или безопасностью застройки
<b>III – сложный</b>	Строительство сооружений нормального и повышенного уровня ответственности, в том числе особо опасных, технически сложных и уникальных ведётся в условиях исторической части города. застройка плотная. В зоне влияния строительства имеются памятники истории, культуры, архитектуры, здания и сооружения с повышенными требованиями по шуму и вибрации, особо опасные и уникальные здания и сооружения. Воздействия на геоэкологическую среду должны быть сведены к минимуму

Таблица 2

<b>I класс</b>	
<b>1.1</b>	Погружение металлических свай и шпунта копром
<b>1.2.</b>	"Стена в грунте" из свай РИТ
<b>II класс</b>	
<b>2.1</b>	Погружение металлических свай и шпунта вдавливанием
<b>2.2</b>	"Стена в грунте"
<b>2.2.1.</b>	траншейная, изготавливаемая грейфером
<b>2.2.2.</b>	из jet-свай
<b>2.2.3</b>	из jet-свай с химическими добавками
<b>2.2.4.</b>	буромесительным методом
<b>2.3.</b>	Крепление ограждающей конструкции котлована постоянными грунтовыми анкерами
<b>2.4</b>	Закрытый способ строительства
<b>2.4.1</b>	Новоавстрийский тоннельный метод
<b>2.4.2</b>	ТПМК с активным пригрузом забоя
<b>2.4.2.1</b>	аэрационным
<b>2.4.2.2.</b>	комбинированным
<b>III класс</b>	
<b>3.1</b>	Погружение металлических свай и шпунта высокочастотным вибропогружателем
<b>3.2</b>	"Стена в грунте"
<b>3.2.1</b>	траншейная, изготавливаемая фрезерным оборудованием
<b>3.2.2</b>	из бурящихся свай
<b>3.2.3</b>	сборно-монолитная с листовой арматурой
<b>3.2.4</b>	сборно-монолитная с предварительным напряжением
<b>3.2.5</b>	с тонкой противофильтрационной завесой, изготавливаемой по технологии jet-grouting
<b>3.3</b>	Крепление ограждающей конструкции котлована сборными распорными элементами многократного применения
<b>3.4</b>	Полузакрытый способ строительства
<b>3.5</b>	ТПМК с активным пригрузом забоя
<b>3.5.1</b>	гидравлическим
<b>3.5.2</b>	грунтовыми

Таким образом, еще одной серьезной градостроительной задачей подземного строительства в Москве является обеспечение безопасной и безаварийной эксплуатации существующей окружающей застройки,

подземных сооружений и инженерных коммуникаций [3]. При подземном строительстве деформации близлежащих зданий вызываются неизбежными воздействиями, связанными с изменением существующего напряженно-деформированного состояния грунтового массива, равно как и так называемыми «технологическими» воздействиями работающего строительного оборудования. Отечественные строительные нормы предусматривают необходимость выполнения геотехнического прогноза, как правило, методами математического моделирования. Геотехнический прогноз должен давать ответы на вопросы о безопасности планируемого подземного строительства и степени влияния на существующие здания и сооружения. Результаты геотехнического прогноза должны быть подтверждены в процессе геотехнического мониторинга [8], который следует вести на всем протяжении строительства подземного объекта. В том случае, если результаты прогноза показывают, что подземное строительство может оказать недопустимое воздействие на те или иные существующие объекты капитального строительства, в проекте должны быть предусмотрены защитные мероприятия, снижающие степень влияния. Проектирование защитных мероприятий регламентируется сводом правил [9], разработанным в последние годы в связи с интенсивным освоением подземного пространства в крупнейших городах РФ и, в первую очередь, конечно Москвы.

Использование опыта, накопленного строителями и проектировщиками Москвы, инновационных решений по ресурсосбережению и энергоэффективности, зонированию территории, организации транспортной доступности с преобладанием скоростной массовой перевозки пассажиров, позволит создать город, удобный для жизни, и повысить безопасность и инвестиционную привлекательность городского строительства.

#### Литература:

1. Постановление Правительства Москвы от 4 мая 2012 г. № 194-ПП № 282-ПП «Об утверждении Перечня объектов перспективного строительства Московского метрополитена»
2. Постановление Правительства Москвы № 497-ПП от 1 августа 2017 года «Программа реновации жилищного фонда в городе Москве».
3. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Том XII «Строительство подземных сооружений», ОАО «ВНИИГТИ», М.: 2008.
4. Admiral H., Cornado A. Dankable and investment-ready underground space developments. **16th World Conference of the Associated Research Centers for the Urban Underground Space (ACUUS 2018). - Hong Kong, 2018.**
5. Brown, H.. Next Generation Infrastructure: Principles for Post-Industrial Public Works. doi: 10.5822/978-1-61091-202-0, 2014.
6. Merkin V., Konyukhov D. Development of Moscow underground space plans, results, perspectives. - *Procedia Engineering*, v. 165, 2016, p.p. 663-672.
7. СП 120.13330.2012. "Метрополитены"
8. СП 305.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве».
9. СП 361.1325800.2017 «Здания и сооружения. Защитные мероприятия в зоне влияния строительства подземных объектов».
10. СП 473.1325800 «Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования»

# **ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА Г. МОСКВЫ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ В СОЧЕТАНИИ С ДВУХПУТНЫМИ ПЕРЕГОННЫМИ ТОННЕЛЯМИ**

*Бойцов Д. А., Начальник архитектурно-строительного отдела ОАО "НИПИИ  
"Ленметрогипротранс", к.арх., РФ*

На участках линий метрополитена с двухпутными тоннелями, с наружным диаметром обделки 10,0-10,6м, пути организованы параллельно в одном уровне. Расстояние между путями, как правило, принимают равным 4,0м для удобства организации стрелочных переводов и съездов. Для участков линии с такими тоннелями станции имеют ряд специфических особенностей, отличающихся от станций, сооружаемых на участках с двумя однопутными тоннелями. Во-первых, это боковые посадочные платформы, во-вторых, минимальная возможная глубина платформ от уровня земли – 16м, что обусловлено технологической необходимостью проходки двухпутного тоннеля на подходах к станции участках. В связи этим на станциях обязательным условием является наличие подъемно-транспортного оборудования (эскалаторов, лифтов). С учетом данной специфики В 2017г. проектным институтом Ленметрогипротранс были разработаны проектные решения по новому типу станций мелкого заложения в сочетании с двухпутными перегонными тоннелями.

Проектные решения по новому типу станций основаны на формировании объемно-планировочного решения, позволяющего минимизировать строительный объем и общую площадь станции при сохранении нормативных комфортных пассажирских пространств, а также унификации составных элементов станционных комплексов. Результатом проектирования стала разработка модульной блокированной станции, составные элементы которой могут перекомпоновываться и модернизироваться в зависимости от пассажиропотока и градостроительной ситуации.

Данный тип станций был применен для участка Кожуховской (Некрасовской) линии московского метрополитена, станции «Стахановская», «Окская», «Юго-Восточная». Три станции расположены последовательно и отличаются пропускной способностью пассажиропотока, расположением в среде застройки или под улично-дорожной сетью.

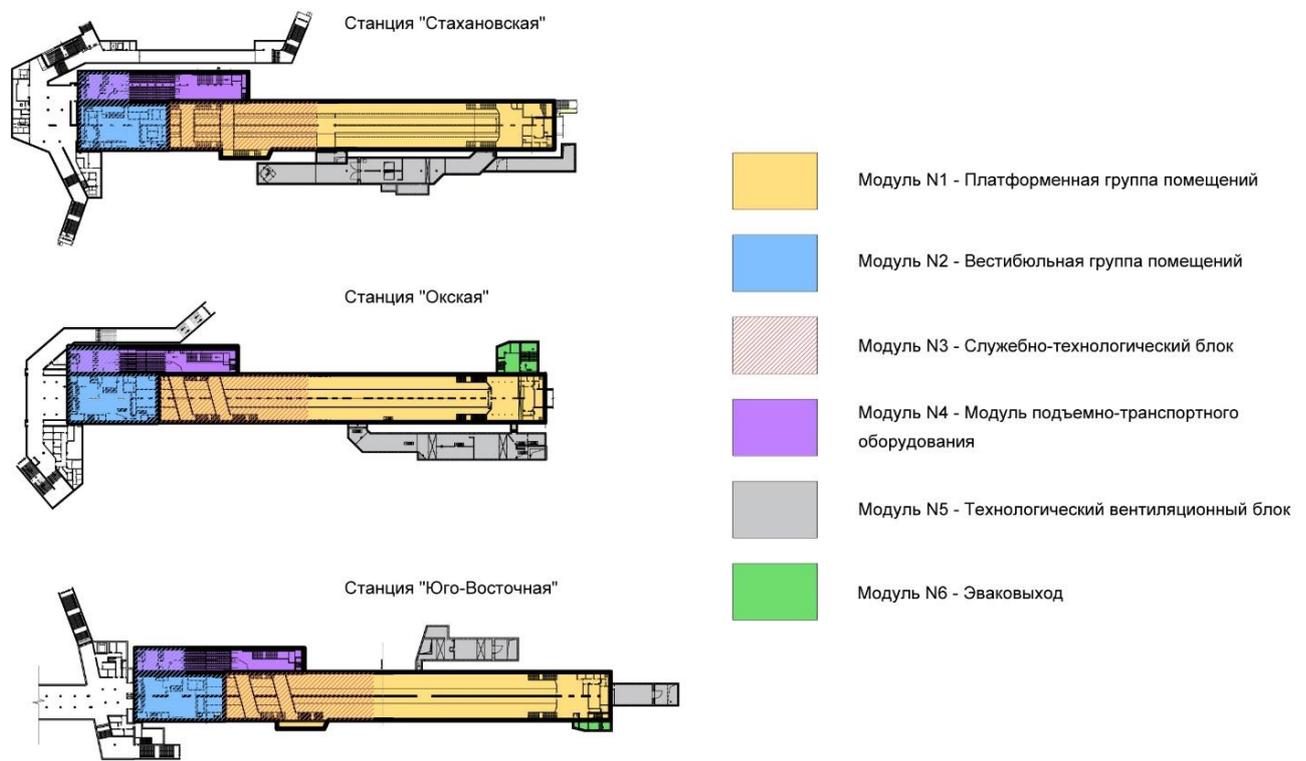


Рис.1 Станции Кожуховской (Некрасовской) линии

### Отличия и преимущества

Конструктивная схема станций отличается минимизацией колонн в пассажирской зоне. Разработано специальное решение с увеличенным междупутьем в объеме станции и с устройством за счет этого центральной несущей стены, которая воспринимает все нагрузки от перекрытий. Благодаря данному техническому решению на платформах нет колонн и, соответственно, уменьшены препятствия в пассажирской зоне.

По компоновке станции отличаются большей компактностью в плане в отличие от станций на участке линии с однопутными туннелями. Станции длиной не более 190м за счет расположения блоков помещений в 4 яруса.

По объемно-планировочным решениям основными преимуществами данного подхода являются:

- Возможность свободной планировки в зависимости от градостроительных условий, блоки могут трансформироваться и менять свое положение (рис.2).
- Возможность типизации каждого из блоков.
- Возможность перспективных разработок станционных комплексов при их развитии, например, при формировании на базе станции транспортно-пересадочных узлов.

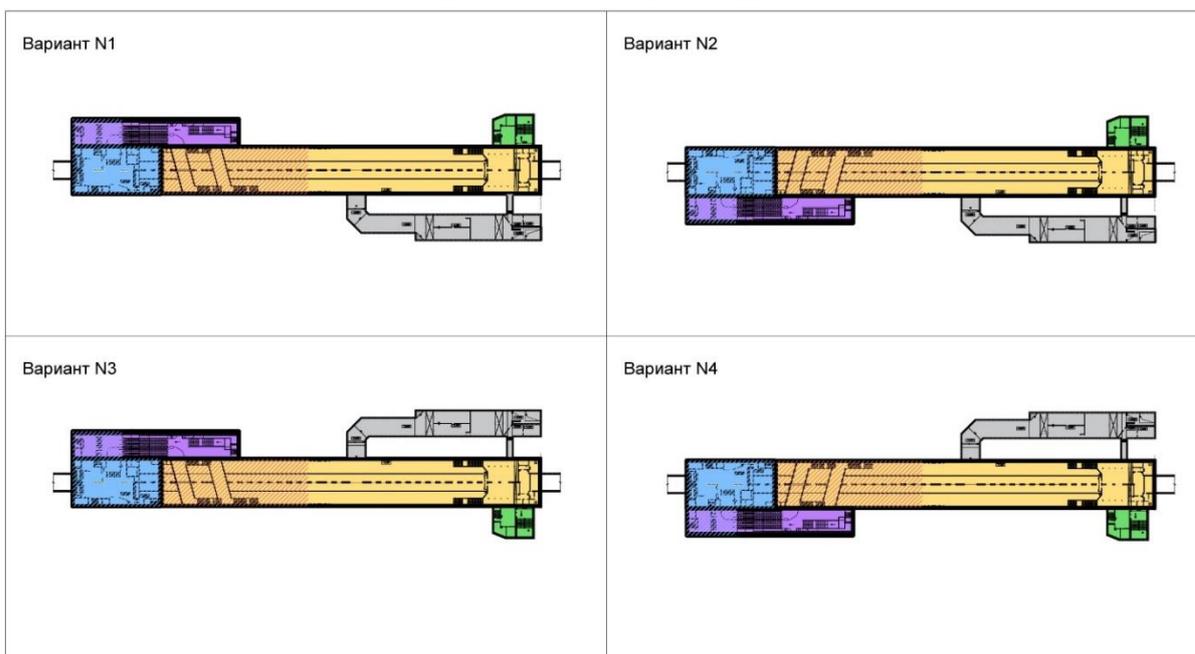


Рис. 2 Варианты компоновки станции

Преимущества по реализации объектов:

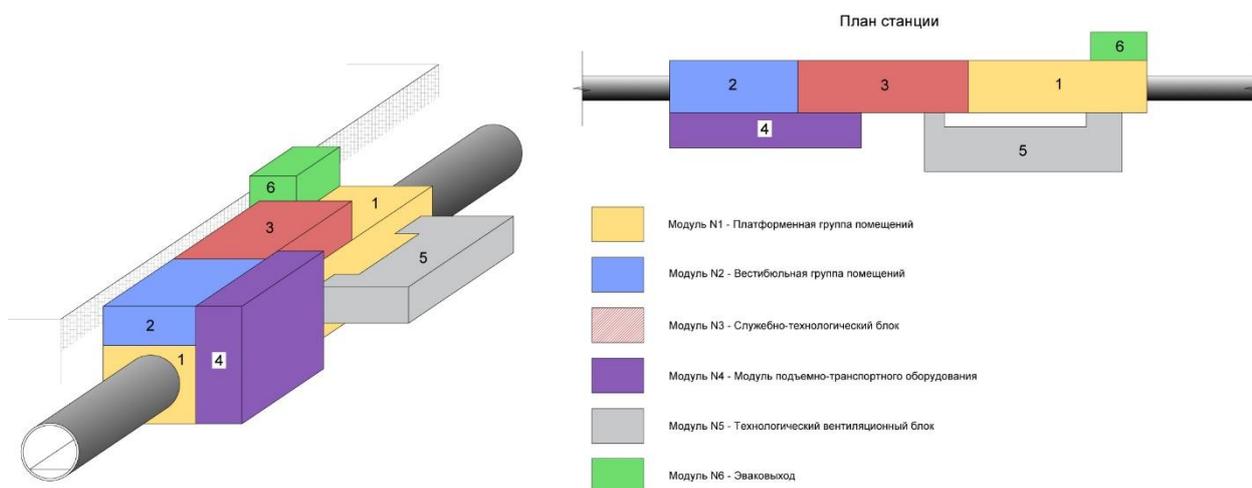
- Время проектирования сокращается относительно объемно-планировочных решений, формируемых на базе полностью индивидуальных разработок.
- Общий период строительства станции около 2,5 лет.
- Стоимость реализованных объектов на линии метрополитена с двухпутным тоннелем ниже аналогов:
  - станция «Стахановская» Кожуховской (Некрасовской) линии метрополитена с двухпутным тоннелем – 7,59 млрд.руб. в ценах 2018г.
  - стоимость станции на участке двух однопутных тоннелей (станция «Говорово» на Калининско-Солнцевской) линии) – 8,22 млрд.руб. в ценах 2018г.

### **Особенности модульной компоновки.**

На каждой станции расположены группы помещений, скомпонованные в группы. Из модулей формируется общий объем. В состав станционного комплекса входят модули, относящиеся к платформенной, вестибюльной, служебно-технологической зоне (рис.3)

Вестибюльный модуль расположен в верхнем подземном уровне. Из подземного вестибюля организован эскалаторный спуск на станцию. Эскалаторная группа выполнена единой для минимизации количества лент, работающих на спуск и подъем одновременно, минимизации вспомогательных технологических помещений, обеспечивающих работу эскалаторов. Решение данной задачи заключается в устройстве переходной площадки над путями (мостового перехода), с которой предусмотрен подъем эскалаторов в вестибюль. На данной площадке осуществляется распределение пассажиропотоков, а также спуск на боковые платформы по лестничным маршам высотой до 3,5м.

Организация второго эвакуационного выхода выполняется в соответствии с градостроительными условиями. В случае развития станционного комплекса с данного моста возможно организовать выводы в



отдельный блок с эскалаторами и вестибюльными помещениями. Данный блок может быть выполнен за пределами общего станционного объема.

Рис. 3 Расположение модулей в составе станции

Преимущества проектного решения – «мобильная» планировка станционного комплекса. Благодаря данному решению, основанному на блокировании функциональных зон в виде обособленных элементов, есть возможность адаптировать данный тип станции под различные градостроительные условия. Блоки могут смещаться, поворачиваться и разворачиваться относительно центральной двухпролетной основы станционного комплекса. При этом вся технология и планировочные взаимосвязи сохраняются.

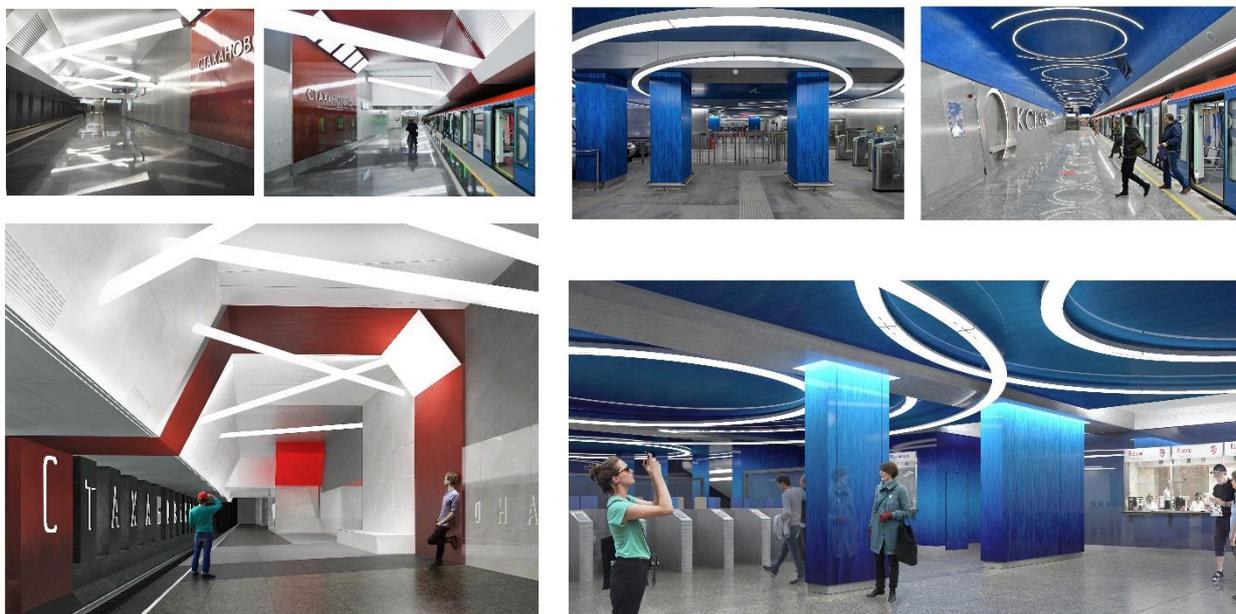
Конструктивно обособленные модули-блоки в составе станционного комплекса позволяют вести работы по одним из блоков независимо от остальных.

Обособленность компоновки модулей станции позволяет строить первый блок, не дожидаясь решения технических вопросов по остальным, позволяет индивидуально модернизировать один или несколько блоков, не реконструируя станцию целиком (например, поменять эскалаторное оборудование в вестибюльном блоке без остановки работы станции). Данное преимущество реализовано в настоящее время на строящейся станции «Кленовый бульвар», спроектированной по принципам модульной компоновки аналогично станциям Кожуховской (Некрасовской) линии метрополитена. На станции «Кленовый бульвар» Третьего пересадочного контура (Большой кольцевой линии) московского метрополитена возникла необходимость организации пересадки на станцию проектируемой линии метро, планировочные решения из модулей позволили без устройства дополнительных конструкций выполнить несколько стыковочных зон с платформенной и вестибюльной частью, не влияя на службно-технологические зоны.

Идея или модульного, или крупноблочного формирования объектов строительства, развивается и внедряется с середины XX века. В настоящее

время благодаря новым технологиям освоения подземных пространств данная идеология переходит на новый востребованный и актуальный этап развития. Концепция позволяет конструировать принципиально новые объекты транспортной инфраструктуры, не обособленные и замкнутые в собственных границах, а объекты, способные стать основой развивающихся многофункциональных комплексов и будущих транспортно-пересадочных узлов.

Существенным преимуществом объектов, спроектированных по модульной технологии, является удобство их развития и модернизации. При этом типизация объемно-планировочного решения не влияет на архитектуру метро – при свободных открытых



планировках возможна реализация разнообразных решений, обладающих запоминающейся индивидуальностью, что является важным критерием для комфортной эксплуатации метрополитена (рис.5).

Рис.5 Станция «Стахановская», станция «Окская»

# ЧТО ОБЕСПЕЧИВАЕТ БЕЗОПАСНОСТЬ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА Г. МОСКВЫ?

*Лебедев М.О., ОАО «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс», ул. Большая Московская дом 2, 191002, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [lmgt@lenmetro.ru](mailto:lmgt@lenmetro.ru), тел. +7 (812) 316-20-22*

В соответствии с Федеральным Законом [1]: «В проектной документации может быть предусмотрена необходимость проведения в процессе **строительства и эксплуатации** проектируемого здания или сооружения мониторинга компонентов окружающей среды (в том числе состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации проектируемого здания или сооружения), состояния основания, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения проектируемого здания или сооружения, сооружений инженерной защиты».

Для строящихся объектов метрополитена, которые являются опасными производственными объектами, в составе проектной документации такие мероприятия должны быть предусмотрены. В настоящее время в состав проектной документации при строительстве Московского метрополитена, прошедшей Московскую Государственную экспертизу, входит лишь проект наблюдательных станций, в соответствии с которым выполняются геодезические работы за смещением поверхности Земли и за смещением тоннелей Метрополитена, попадающих в зону влияния строительства, а также визуальный мониторинг зданий и сооружений. Это работы, позволяющие определить только факт и величину деформаций, но никак не минимизировать влияние, и тем более не исключить его. Причем частота геодезических измерений составляет от одного раза в день (для зданий в зоне влияния) до одного раза в месяц (для котлованов) – время, за которое могут реализоваться критические деформации. Выполнить прогноз развития деформаций по таким данным невозможно.

За счет непредвиденных расходов частота выполнения геодезических измерений может увеличиваться вплоть до установки роботизированных тахеометров.

Известно, что все деформации, реализуемые на дневной поверхности, зависят от принятой технологии ведения подземных работ и культуры его производства. Поэтому при наличии контроля напряженно-деформированного состояния самих строительных конструкций и вмещающего массива от контура подземного сооружения до дневной поверхности, можно осуществлять своевременную корректировку технологических параметров ведения горнопроходческих работ и давать прогноз деформаций дневной поверхности.

Например, при строительстве котлованов для станций мелкого заложения Московского метрополитена предусматривается геодезический контроль смещений стенок котлована по верхнему контуру (обвязочной

балке). Здесь возникает ряд вопросов, среди которых наличие критериев по допустимым величинам смещений, а при их наличии и теоретическом превышении, - достаточна ли несущая способность конструктивных элементов крепления? Для ответа на этот вопрос весь мир идет по простому пути, - после установки расстрелов в проектное положение на типовые расстрелы всех ярусов устанавливаются датчики, позволяющие контролировать не только величины усилий в расстрелах, но и их эксцентриситет. На рис. 1 показано размещение струнных датчиков на расстрелы котлована при строительстве метрополитена в Стамбуле. Получаемая информация с датчиков позволяет регулировать необходимую частоту геодезических измерений, тем самым экономя затраты на мониторинг. Аналогичные системы используются при строительстве котлованов для объектов метрополитена в Санкт-Петербурге.



Рис.1 Оснащение расстрельной системы котлованов датчиками в Турции, г. Стамбул

Еще одним важным параметром для мониторинга котлованов является наличие информации о пространственном положении ограждающих конструкций, как на момент окончания их возведения, так и в процессе разработки котлованов. Так, например, по опыту строительства станций мелкого заложения в Санкт-Петербурге по технологии «top-down», контроль смещений "стены в грунте" при помощи инклинометрических скважин позволил получить следующую информацию: Заглубление в коренные грунты не гарантирует "защемление" нижней части "стены в грунте", - в процессе разработки котлованов происходит ее смещение в сторону оси станции; смещение "стены в грунте" впереди забоя (дна котлована) составляют до 40%

от окончательных величин смещений, формируемых к моменту окончания возведения перекрытия на каждом ярусе.

Не редки случаи, когда после разработки котлована, внутренний контур "стены в грунте" оказывается в габарите будущих постоянных конструкций. В этом случае вырубают внутреннюю поверхность "стены в грунте" для обеспечения "проектного" положения постоянных конструкций. Наличие инклинометрических скважин дает возможность исключить спекуляцию о причинно-следственной связи попадания "стены в грунте" в контур постоянных конструкций и соответственно источнику финансирования "дополнительных" работ.

Большой перечень инструментальных работ выполняется для обеспечения безопасности существующих зданий и сооружений. Не только тех, по которым судят уже о свершившемся влиянии, но и тех, которые позволяют прогнозировать деформации, реализуемые на поверхности. К ним, например, относится:

- гидрогеологический мониторинг при помощи датчиков порового давления, размещаемых в скважинах;
- скважины с экстензометрами и инклинометрами;
- комплекс геофизических методов.

Размещение таких скважин по трассе перегонных тоннелей позволяет до приближения к существующим зданиям откорректировать технологические параметры ведения работ для минимизации деформаций поверхности. При их размещении вокруг любых подземных сооружений можно фиксировать начало деформационных процессов еще до их реализации на поверхности, их направлении и судить об абсолютных величинах деформаций, которые будут реализованы на поверхности.

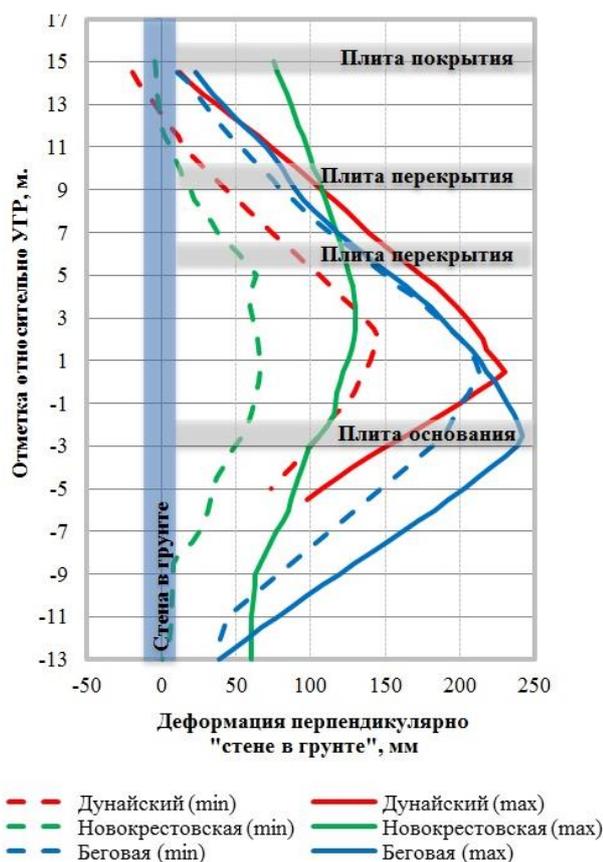


Рис. 2 Графики горизонтальных смещений "стены в грунте" при строительстве по технологии «top-down»

Важным вопросом при эксплуатации подземных сооружений метрополитена является механическая надежность несущих элементов постоянных конструкций. В настоящее время для Московского метрополитена оценка запаса несущей способности конструкций определяется косвенным методом по измерениям конвергенции внутреннего контура, измерению прочностных показателей материала обделок и численно-эмпирическими методами.

Но есть другой путь - оснащение контрольно-измерительной аппаратурой конструкций и обделок подземных сооружений при их возведении. В таком случае можно получить информацию о величинах усилий, сформированных в конструкциях на всех этапах их возведения, а затем и от всех эксплуатационных нагрузок. При этом у эксплуатирующей организации будут иметься абсолютные величины напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, которые позволяют прогнозировать техническое состояние конструкций. На рис.3 показано оснащение датчиками поперечного сечения станционного узла мелкого заложения, а на рис.4 обделки двухпутного перегонного тоннеля, построенных в Санкт-Петербурге. К моменту передачи контрольно-измерительной аппаратуры, установленной в обделках и строительных конструкциях, целесообразно ее подключать к автоматизированным системам, позволяющим обрабатывать и накапливать базу данных на выделенных серверах.

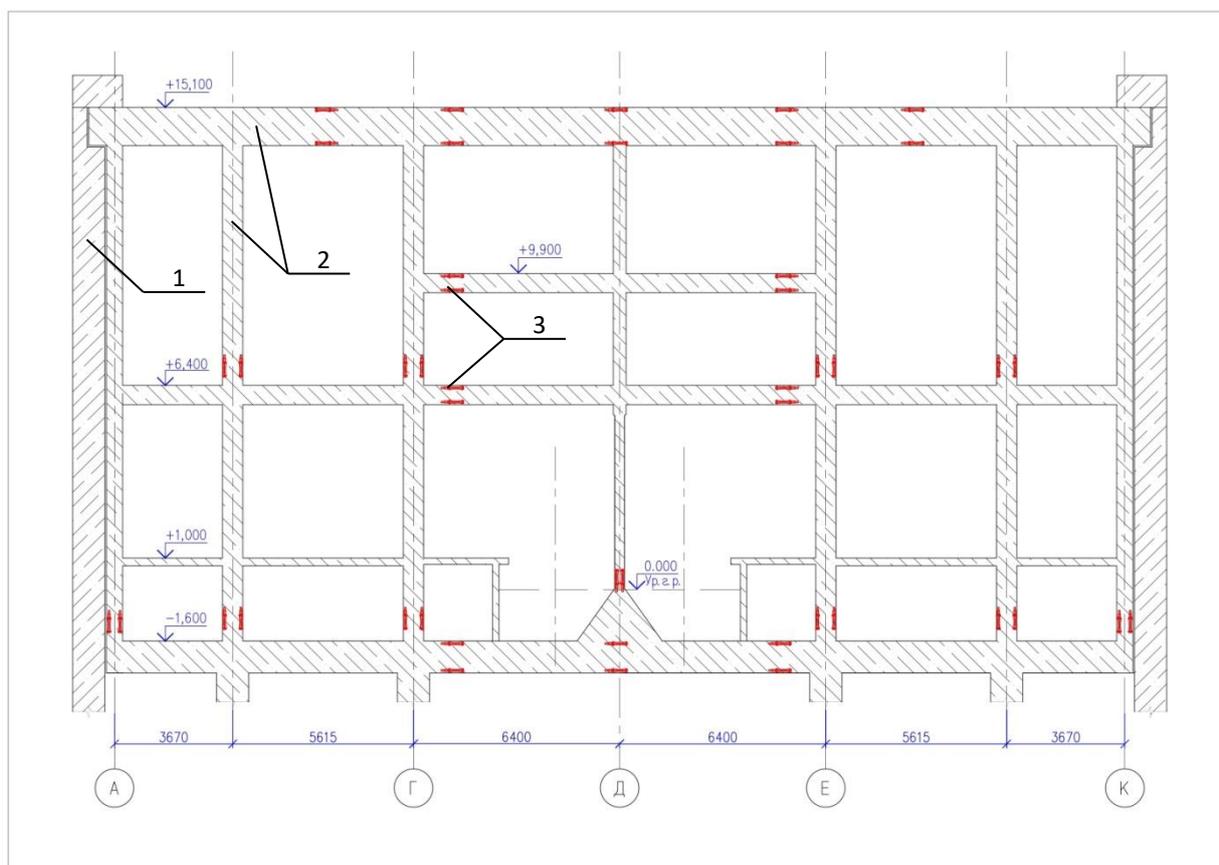


Рис.3 Схема размещения датчиков в несущих конструкциях станции мелкого заложения: 1 – «стена в грунте»; 2 – несущие конструкции; 3 - датчики.

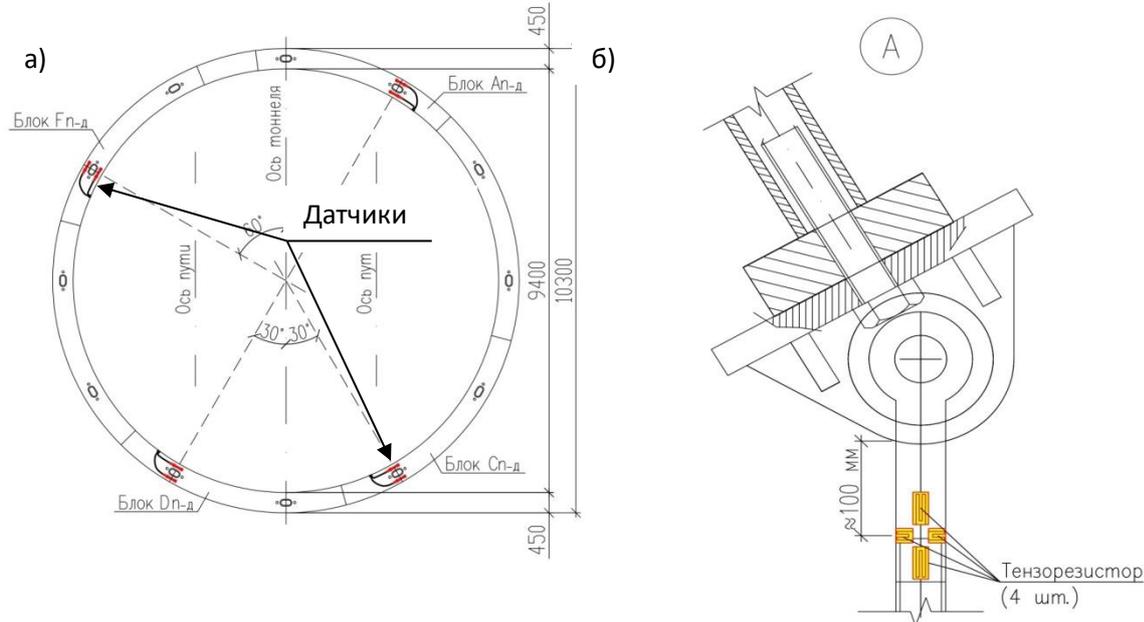


Рис. 4 Схема размещения датчиков в обделке двухпутного перегонного тоннеля а) и на тросах подвесного перекрытия б).

Решение такой задачи является крайне актуальной – в процессе долгосрочной эксплуатации транспортных тоннелей и станционных комплексов постепенные разрушения, повреждения и деформации, вызванные длительно проявляющимися геотехническими и техногенными факторами, равно как внезапные разрушения и повреждения конструкций приводят к невозможности дальнейшей эксплуатации сооружений и требуют их незамедлительного ремонта или реконструкции. Появляются и новые «современные» факторы, осложняющие эксплуатацию тоннелей и метрополитенов, например, террористические акты, разрушение тоннелей сваями при проведении строительных работ на земной поверхности и другие.

Так что же мешает применять, казалось бы, уже давно известные и эффективные методы мониторинга для обеспечения безопасности компонентов окружающей среды в процессе строительства и эксплуатации сооружений? Как бы банально это ни звучало, но это в первую очередь "терминология". В вышеупомянутом законе [1] слова "может быть предусмотрена" могут трактоваться, что могут и не предусматриваться. Для Федерального Закона такая двоякость формулировки для опасных производственных объектов все-таки не допустима.

В другом Федеральном законе [2], следующие требования к проектной документации: "Проектная документация ... опасных производственных объектов ..., особо опасных, технически сложных, уникальных объектов, ... должна содержать ... перечень мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера". С одной стороны, требование предельно ясное – должны присутствовать системы контроля, а с точки зрения Заказчика строительства и Экспертизы – достаточно соблюсти требования нормативных документов в части строительных конструкций и технологии ведения работ при наличии геодезического мониторинга, при этом о «Рисках» при таком подходе думать не принято. К сожалению многочисленные нештатные ситуации, о которых

известно только узкому кругу лиц, «проще» решать за счет непредвиденных расходов.

В постановлении Правительства Российской Федерации [3]: Мероприятия по охране окружающей среды" должны содержать:

- перечень мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и рациональному использованию природных ресурсов на период строительства и эксплуатации линейного объекта, включающий:

...

- программу производственного экологического контроля (мониторинга) за характером изменения всех компонентов экосистемы при строительстве и эксплуатации линейного объекта, а также при авариях на его отдельных участках;

- программу специальных наблюдений за линейным объектом на участках, подверженных опасным природным воздействиям.

Отсутствие конкретики в таких формулировках Федеральных законов не позволяет доказать в Московской Государственной экспертизе необходимость применения тех или иных методов мониторинга.

Ясность в этом вопросе вносят многочисленные нормативные документы, такие как СП, СНиПы, ГОСТы, ТСНы, МГСНы, методические пособия и рекомендации, научная литература и монографии, каждый в своем объеме. Но в то же время они, в большинстве своем, носят только рекомендательный характер, легко "отмечаемый" экспертизой.

А формулировка термина, под которым должны решаться все задачи мониторинга, тоже не имеет единого знаменателя. Присутствуют различные наименования, используемые инженерами и учеными:

- мониторинг;
- геотехнический мониторинг;
- горно-экологический мониторинг;
- комплексный ... мониторинг;
- локальный мониторинг ...;
- структурированный мониторинг ...;
- автоматизированный мониторинг ...;
- научно-техническое сопровождение;
- и пр.

И даже один из последних документов по мониторингу при строительстве подземных сооружений [4], разработанный специально для Москвы по заказу Департамента градостроительной политики города Москвы и утвержденный заместителем Мэра Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства М.Ш. Хуснуллиным, для Московской Государственной экспертизы не является руководством для требования наличия в проектной документации методов мониторинга, кроме геодезического контроля.

Вопрос о повышении безопасности при строительстве Московского метрополитена поднимается уже не в первый раз. Технические заседания по данной тематике проводились при ГАУ «Мосгосэкспертиза» и Департаменте строительства города Москвы, но до сегодняшнего дня мероприятия, которые

бы давали заблаговременную оценку влияния на "все компоненты окружающей среды", при строительстве и эксплуатации Московского метрополитена, остаются за рамками проектной документации.

### **Литература**

1. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".
2. "ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ КОДЕКС РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ" от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 07.03.2017).
3. Постановление №87 от 16 февраля 2008 года о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию.
4. Технические рекомендации по автоматизированному геотехническому мониторингу зданий и сооружений при освоении подземного пространства в городе Москве. НИЦ ТА. Москва. 140 с.

# **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЪЁМОВ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ НА СТАДИЯХ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ И РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА В ГОРОДЕ МОСКВА**

*Петунин Д.С.*

Одной из функций Заказчика, в соответствии с СП 48.133330.2019 «Организация строительства» является обеспечение геотехнического мониторинга окружающей застройки при ведении строительных работ.

В условиях строительства в плотной застройке г. Москвы этот вопрос является актуальным.

В зону влияния строительства объектов метрополитена в условиях плотной городской застройки попадают инженерные коммуникации, здания и сооружения, объекты транспортного назначения, такие как метрополитен, объекты автодорожной и железнодорожной инфраструктуры.

За всеми сооружениями, попадающими в зону влияния строительства согласно СП 120.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», необходимо вести геотехнический мониторинг.

В данном докладе рассмотрен вопрос мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры при проходе под ними или в непосредственной близости перегонных тоннелей метрополитена.

При строительстве объектов Московского метрополитена перегонные тоннели пересекают большое количество железнодорожных путей разного назначения.

На основании накопленного за последние 4 года опыта таких пересечений был сделан анализ 18 точек пересечений по основным показателям.

За основные показатели были приняты:

1. Геологические условия участка строительства;
2. Глубина заложения перегонных тоннелей;
3. Расчетная осадка;
4. Категория пути ОАО «РЖД»;
5. Периодичность мониторинга;
6. Наблюдаемые параметры;
7. Количество закладываемых деформационных знаков;
8. Стоимость выполнения работ по мониторингу.

На стоимость работ влияют все вышеперечисленные показатели. В данной работе был проведен сравнительный анализ зависимости стоимости от выбора методов и объемов работ на различных точках пересечений.

Для начала были сравнены стоимости работ по наблюдению за железнодорожным полотном, находящегося в зоне влияния проходки перегонного тоннеля. Для удобства анализа была взята стоимость работ на 100 п.м. одного железнодорожного пути.



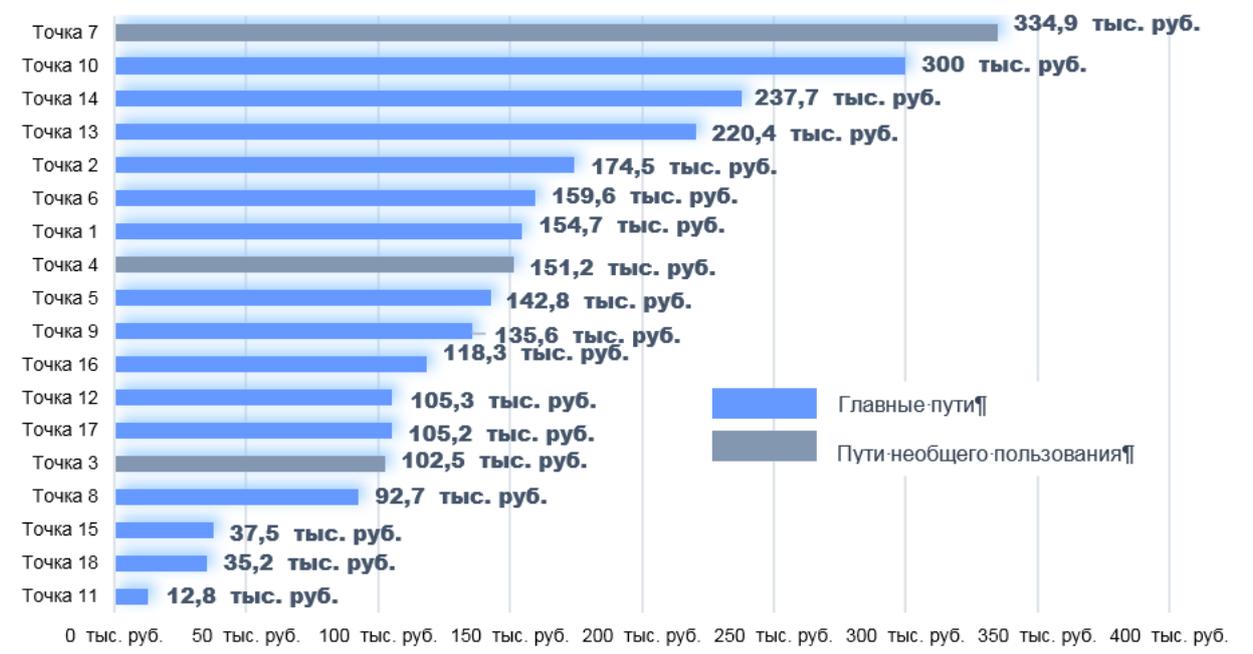
Как видно из графика, разница стоимости работ по мониторингу одного железнодорожного пути на разных объектах может отличаться более чем в 20 раз.

Первый анализируемый показатель будет периодичность наблюдений.

#### 1. Периодичность наблюдений

Для каждой точки наблюдений была посчитана средняя стоимость 1 цикла наблюдений на 100 п.м. железнодорожного пути.

**Стоимость выполнения мониторинга железнодорожных путей при пересечении перегонных тоннелей за 1 цикл на 100 п.м. пути**



В СП 120.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» есть рекомендации по выбору периодичности:

Таблица 12.1

Объемы, сроки, периодичность и методы	Геотехнический мониторинг			
	вновь возводимых (реконструируемых) сооружений			сооружений окружающей застройки
	оснований, фундаментов, конструкций	ограждающих конструкций котлована	массива грунта, окружающего сооружение	
1 Контролируемые параметры	Таблицы Л.1 и Л.2 приложения Л	Таблица Л.3 приложения Л	Таблица Л.4 приложения Л	Таблицы Л.5 и Л.6 приложения Л
2 Сроки выполнения работ	С начала строительства и не менее одного года после его завершения	С начала экскавации грунта в котловане и до завершения возведения подземной части сооружения	До начала строительства и не менее одного года после его завершения	До начала строительства и не менее одного года после его завершения
3 Периодичность фиксации контролируемых параметров	После возведения каждого 3-5 этажа, но не реже одного раза в месяц	Не реже двух раз в месяц	Не реже одного раза в месяц на этапе устройства подземной части сооружения	Не реже одного раза в месяц
4 Методы	Принимаются в зависимости от объема контролируемых параметров в соответствии с требованиями 12.3			

Однако данная таблица предназначена для мониторинга окружающей застройки при строительстве зданий и сооружений в котлованах. При строительстве объектов метрополитена между станционными комплексами сооружаются перегонные тоннели. Большинство перегонных тоннелей на объектах Московского метрополитена сооружаются с использованием тоннелепроходческих механизированных комплексов. Средняя скорость проходки перегонных тоннелей составляет 250 м/мес (при длине железобетонного кольца 1,4 м - 6 колец/сутки). Зона влияния меняется по мере продвижения забоя, соответственно необходимо выбирать более частую периодичность наблюдений.

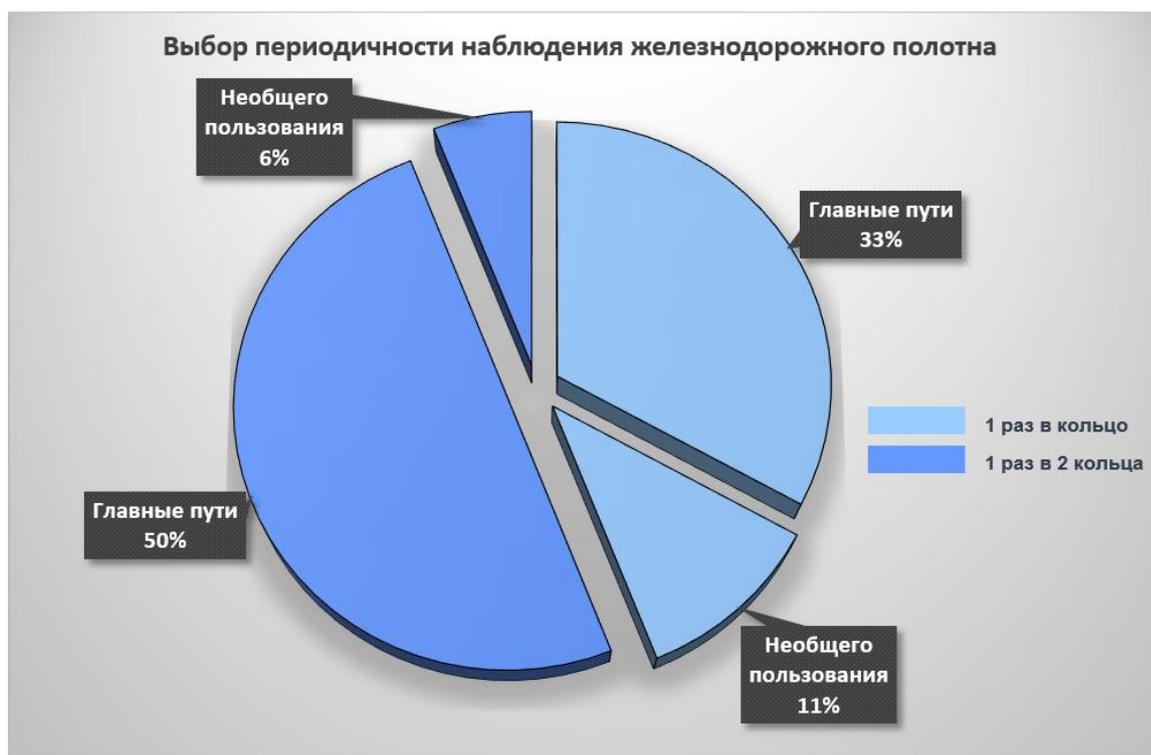
Для мониторинга окружающей застройки при проходке тоннелей закрытым способом под железнодорожным полотном в нормативной документации нет требований и рекомендаций. Проектировщики пользуются накопленным опытом и требованиями эксплуатирующих служб ОАО «РЖД».

При анализе рассматривалась периодичность мониторинга при проходке непосредственно под железнодорожным полотном, т.е. в зоне максимальных возможных деформаций.

Периодичность на всех рассматриваемых точках пересечения составляет:

- 1 раз в кольцо (8 из 18 точек);
- 1 раз в 2 кольца (10 из 18 точек).

При этом, для путей необщего пользования чаще выбирается периодичность 1 раз в кольцо, а для главных путей 1 раз 2 кольца:



Стоит отметить, что технические условия, выдаваемые ОАО «РЖД» на разработку проекта пересечения тоннелей метрополитена объектов железнодорожной инфраструктуры, содержит в себе рекомендацию по периодичности наблюдений не менее 3 раз в сутки, т.е. при средней скорости проходки 250 м/мес или 6 колец в сутки – 1 раз в 2 кольца.

Следующим не менее важным показателем является определение контролируемых параметров и схемы закладки геодезических знаков.

## 2. Количество знаков и наблюдаемые параметры.

Для каждой точки наблюдений было посчитано количество всех заложённых деформационных знаков на 100 п.м. железнодорожного пути.



При мониторинге объектов железнодорожной инфраструктуры по требованиям технических условий, выдаваемых в ОАО «РЖД» деформационные знаки должны закладываться:

- в верхнее строение пути по головке рельсов через каждые 5 м;
- в балластную призму через каждые 5 м в шахматном порядке по отношению к маркам, установленным на головке рельсов;
- в земляное плотно с шагом 10 м.



На точках 1 и 2 на конструкции верхнего строения пути были установлены отражатели для проведения планово-высотного измерения в автоматизированном режиме, выполнена отрисовка краской для проведения высотных ручных измерений и наклеена отражательная марка для проведения планово-высотных ручных измерений. Так на одном железнодорожном рельсе

одновременно применяются три типа деформационных марок, что ведет к троекратному удорожанию работ.

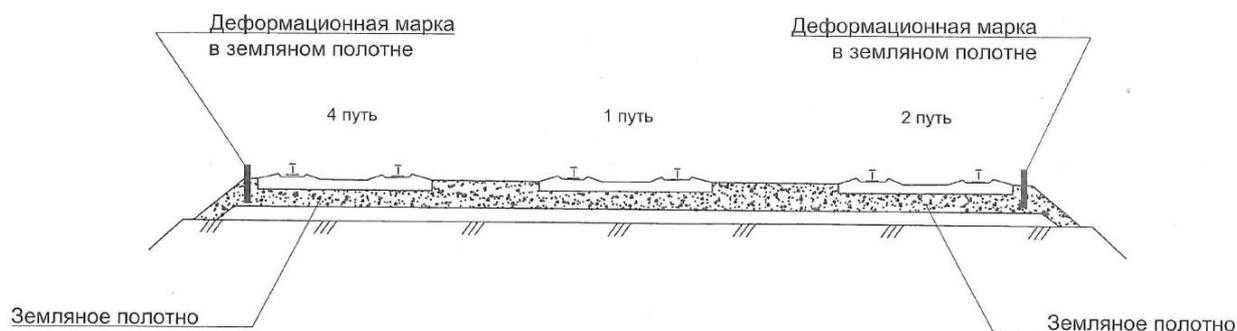


Установка деформационных марок для наблюдения за рельсовыми нитями на одной точке пересечения.

На точке 18 деформационные марки установлены в верхнем строении пути с шагом 15 метров и в земляное полотно с шагом 15 метров. При этом шаг марок соответствует расстоянию между деформационными знаками, рекомендуемому различными методическими пособиями.

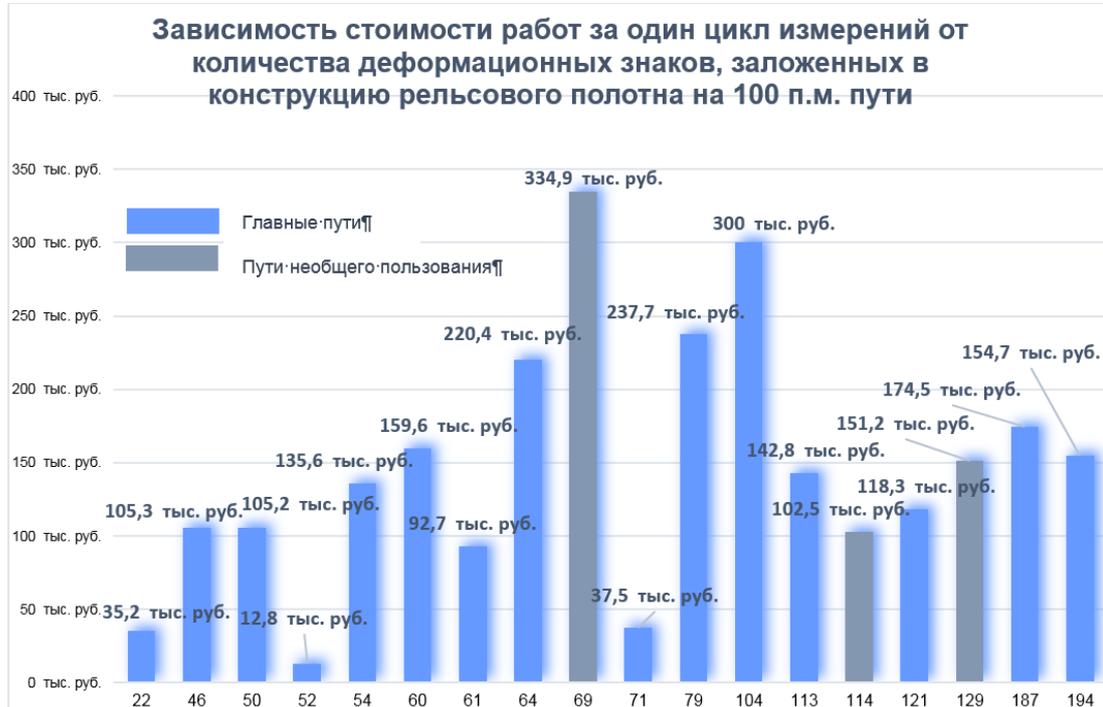
В 50 % рассмотренных точек пересечения деформационные знаки закладывались в верхнее строение пути с шагом 5-10 метров и в земляное полотно, либо в балластную призму с шагом 5-10 метров.

Учитывая, что толщина балластового слоя на железнодорожных путях от 20 см до 55 см, а закладываемые знаки имеют длину 100 см, при закладке знаков и в балластную призму и земляное полотно наблюдаться будет в любом случае земляное полотно.



Анализируя способы измерения деформаций железнодорожного полотна в 90 % случаях наблюдения за железнодорожными путями ограничиваются только геодезическими измерениями и в 2 точках из 18 были применены скважинные инклинометры.

При этом, как видно из графика, зависимость стоимости работ за один цикл измерений от количества деформационных марок не прослеживается.



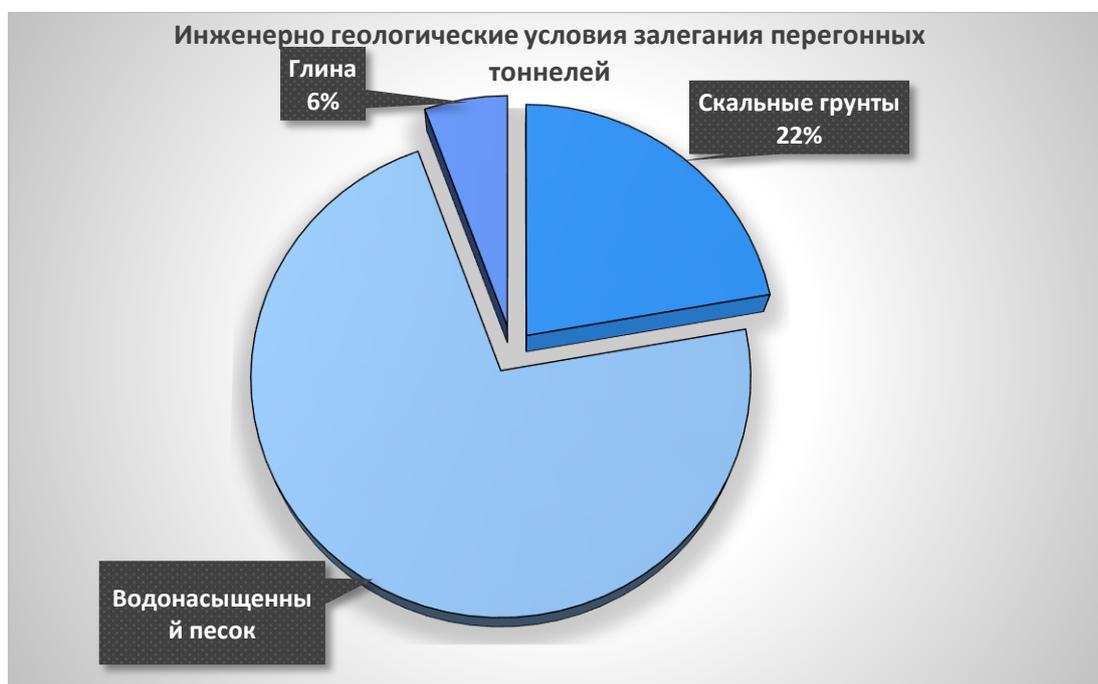
Стоит отметить, что самая высокая стоимость 1 цикла мониторинга на графике для путей НЕОБЩЕГО пользования.

3. Геологические условия участка строительства, глубина заложения перегонных тоннелей и прогнозируемые деформации.

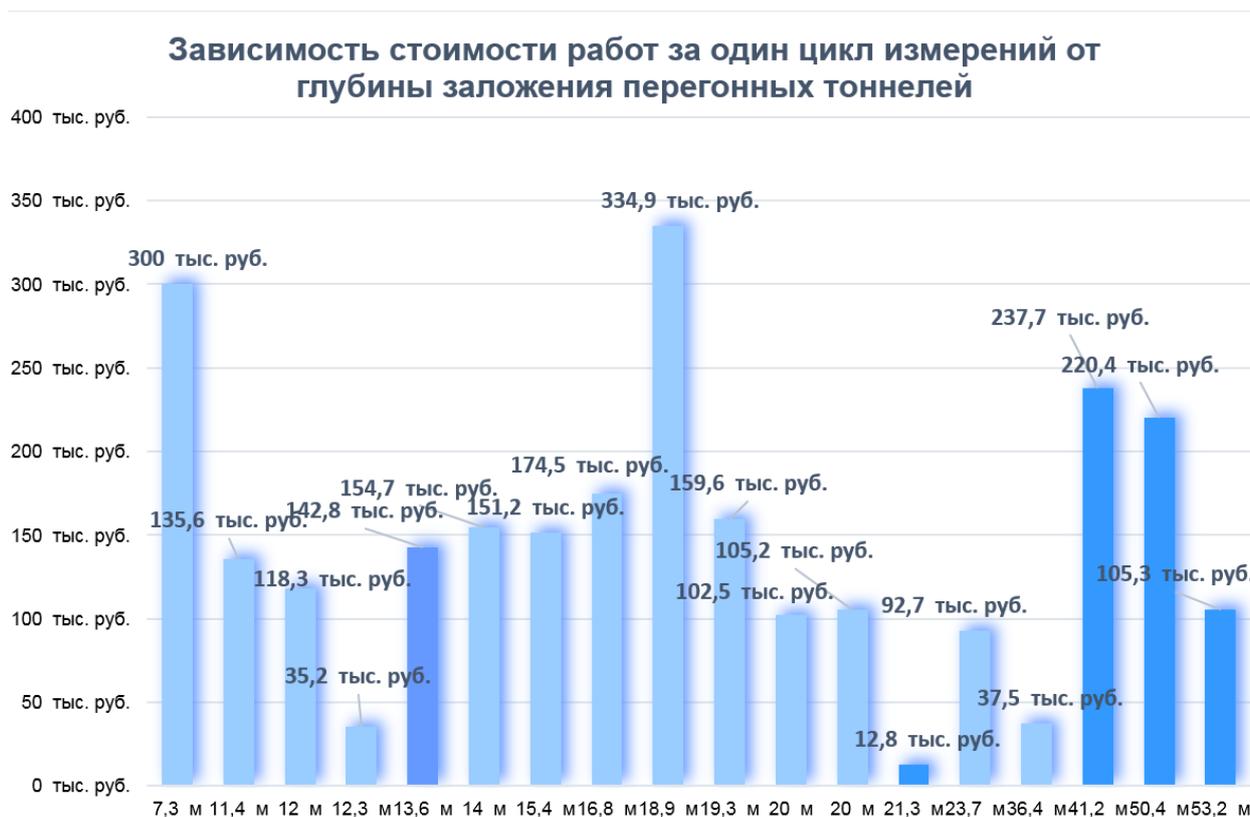
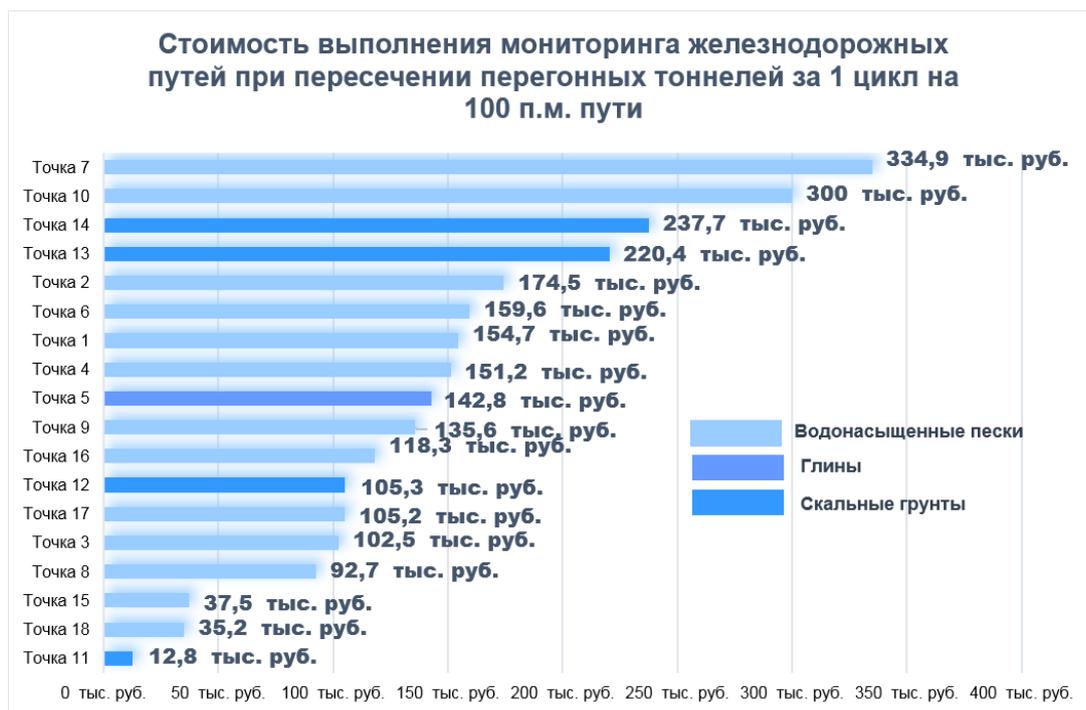
В ГОСТ 24846-2012 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» даны требования к точности измерений вертикальных и горизонтальных измерений в зависимости от ожидаемого значения перемещения, установленного проектом и типа грунтов.

Выбор точности наблюдений также сказывается на стоимости работ.

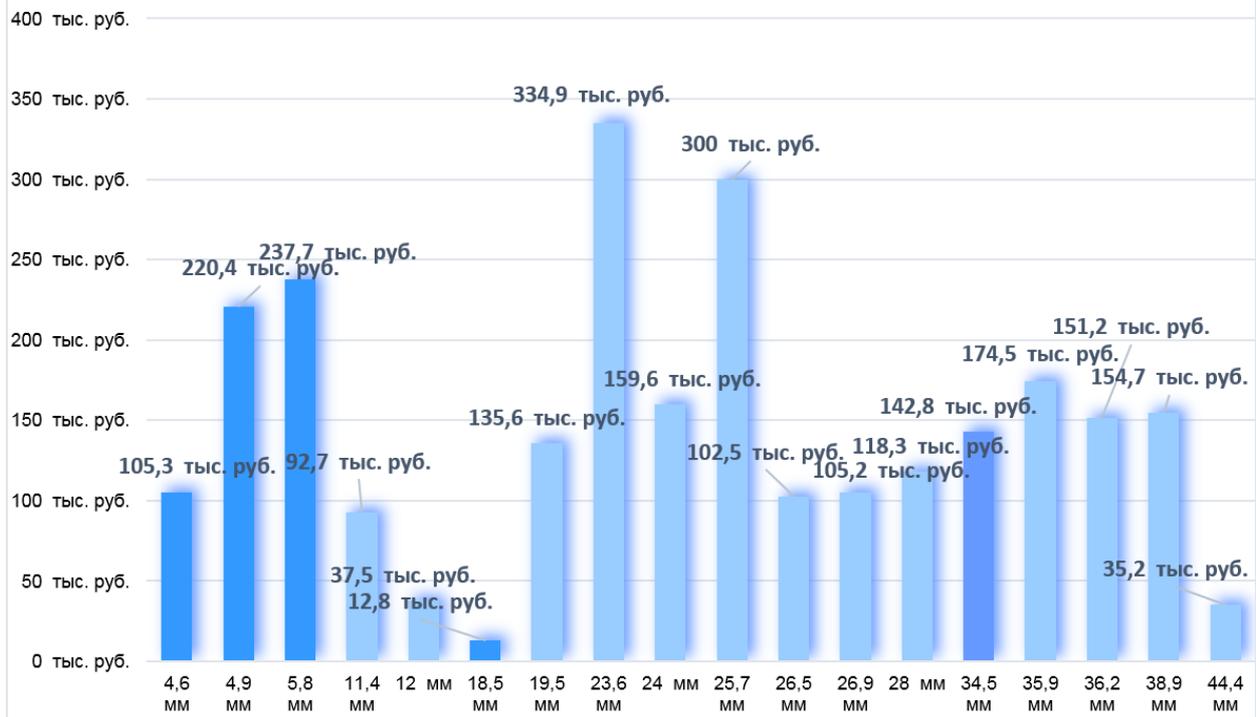
В условиях инженерной геологии г. Москвы строительство в основной ведется в водонасыщенных песках.



Классифицируя график стоимости мониторинга за 1 цикл измерений по типу грунтов в которых ведется проходка перегонных тоннелей, по глубине заложения перегонных тоннелей и по расчетным осадкам железнодорожного пути можно отметить, что стоимость выполнения работ не зависит ни от одного из перечисленных показателей.



## Зависимость стоимости работ за один цикл измерений от прогнозируемой расчетной осадки железнодорожных путей



Выводы:

Проанализировав 18 пересечений объектов железнодорожной инфраструктуры строящимися перегонными тоннелями можно сделать выводы:

1. При выборе контролируемых параметров и периодичности наблюдения никак не учитывается категория пути.
2. Для мониторинга верхнего строения пути (головки рельс) используют одновременно три разных типа знака, что приводит к троекратному удорожанию работ.
3. Закладка знаков и в балластную призму, и в земляное полотно является задвоением объёмов работ, так как при длине геодезического знака 100 см, наблюдается в любом случае земляное полотно.
4. Стоимость работ не зависит ни от количества закладываемых знаков, ни от периодичности наблюдений, ни от условий строительства (инженерно-геологические условия залегания перегонных тоннелей, глубина заложения перегонных тоннелей и прогнозных величин деформаций пути).
5. В 90 % случая наблюдения за железнодорожными путями ограничиваются только геодезическими измерениями.
6. Периодичность наблюдений железнодорожных путей не определена нормативными документами. И определяется в каждом конкретном случае исходя из опыта конкретного проектировщика, персональных требований конкретного представителя эксплуатирующей организации, согласующей проектные решения, и технических возможностей исполнителя мониторинга. Что в совокупности приводит к хаотическому формированию объёмов работ, а, следовательно, и к их абстрактной стоимости. Данные обстоятельства являются благоприятной средой для бессистемного расходования средств проекта.

Исходя из проведенного анализа считаю целесообразным:

1. Использовать наработанный опыт для совершенствования нормативной базы, а именно внести в СП 227.1326000.2014 «Пересечения железнодорожных линий с линиями транспорта и инженерными сетями» требования по организации мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры и включить данные СП в Перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30.12.2009 N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".
2. Рассмотреть возможность применения иного оборудования для проведения мониторинга, например, статического.
3. Утвердить единый порядок расчета стоимости геодезических работ при наблюдении объектов железнодорожной инфраструктуры, включая наблюдения автоматизированными тахеометрами.
4. Разграничить ответственности сторон (проектировщик, строитель, организация, выполняющая геодезические наблюдения и эксплуатирующая организация) при разработке и согласовании проектной документации и проведение строительно-монтажных работ.

Металлокерамические  
панели для  
архитектурных  
и инфраструктурных  
объектов

**ХАРДВОМ**



**УНИКОР**

Сотовые  
алюминиевые  
панели



Телефон / Факс: +7 (495) 662-57-32  
Электронная почта: [sales@bau-t.ru](mailto:sales@bau-t.ru)  
[www.bau-t.ru](http://www.bau-t.ru)

**БАУТРЕЙД**

экслюзивные облицовочные  
и кровельные материалы

# РИСКИ В ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ JET GROUTING ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

*А.А. Долев, главный специалист АО «Мосинжпроект»*

Технология укрепления грунтов jet grouting получила широкое распространение в строительстве вот уже более 20 лет.

В настоящее время большие объемы строительства Московского метрополитена так же потребовали больших объемов закрепления грунта. Применения jet grouting в метростроении, в основном, заключается в устройстве массивов грунта (внешних пригрузов) для ввода/вывода тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК), устройство ПФЗ дна котлована, устройство замковых элементов в местах соприкосновения буросекущихся/бурокасательных свай, усиления основания существующих конструкций или нового строительства (например, водоводов или канализационных коллекторов) и т.д.

Однако с ростом объемов производимого закрепления грунтов по технологии jet grouting начали накапливаться неудовлетворительные результаты подобного усиления. В ряде случаев необходимо было полностью переделывать работы по устройству jet элементов. Анализ результатов выполненных работ (расход цемента, осмотр выбуренных кернов, испытание на прочность образцов закрепленного грунта, наблюдение за деформациями окружающего грунтового массива/существующих строительных конструкций) позволил выделить и сгруппировать основные причины неудачного опыта устройства jet элементов.

**Применение в пlyingах** – отсутствие однородности по глубине. При устройстве ПФЗ массивов в мелких и пылеватых (особенно обогащенных глинистыми/илистыми частицами) водонасыщенных песчаных грунтах, было замечено, что при визуальном штатном режиме устройства (стабильный выход пульпы) при последующих буровых работах обнаруживались значительные зоны незакрепленного грунта. В положении этих зон, их количестве, толщине и положении не просматривалась закономерность. При анализе возможных причин отсутствия однородности jet элементов было установлено, что т.к. мелкий и пылеватый песчаный водонасыщенный грунт, особенно с глинистыми включениями, способен к проявлению пlyingных свойств при вибрационном воздействии, а монитор при истечении струи цементно-водной суспензии, как и сама струя, являются источником локальной вибрации, то при работе монитора подобный окружающий грунт переходит в текучее состояние. Следствием этого является грунт, закрепленный хаотичным расположением линз грунтоцемента или просто цементным материалом. Устроенная подобным образом ПФЗ пропускает грунтовую воду и не является монолитным массивом закрепленного грунта.

**Применение на больших глубинах** – снижение радиуса jet элемента с глубиной из-за увеличения давления вышележащей пульпы в теле jet элемента. При устройстве столбов закрепленного грунта, например, замковых элементов между бурокасательными сваями, не удается добиться водонепроницаемости ограждений глубоких котлованов. При анализе возможных причин самым правдоподобным объяснением признано невыполнение замковыми jet элементами своих функций. Наиболее вероятно, что это является следствием уменьшения диаметра jet элемента с глубиной. Действительно, диаметр размыва напрямую зависит от энергии струи, которая гасится окружающей средой. Поскольку с увеличением глубины jet-элемента увеличивается столб жидкости (пульпы), то давление в нижней части скважины способно настолько гасить энергию размывающей струи, что отсутствует возможность в нижней части jet элемента размыва грунта на требуемый проектом диаметр. В связи с этим очевидно, что использование jet технологии для устройства грунтобетонных столбов на больших глубинах не оправдано без учета уменьшения диаметра размыва.

**Высокая усадка грунтобетона.** Довольно часто наблюдаются незапланированные осадки зданий и сооружений на ленточных фундаментах при усилении их основания грунтобетонными колоннами с частым шагом их расположения. Это происходит вследствие того, что плотный грунт основания пусть временно и локально, но замещался на объем жидкой пульпы, которая под нагрузкой от фундамента деформировалась до своего твердения. В последствии, после многих последовательных устройств рядом расположенных jet элементов, подобные деформации друг на друга накладываются. При усилении основания необходимо проведение специальных мероприятий.

**Уменьшение прочности грунтобетона** при использовании в глинах и заторфованных грунтах. Известно, что глины состоят из чешуек монтмориллонита, который обладает свойством – поглощать огромный объем свободного кальция (служащего материалом для кристаллического каркаса) из раствора и адсорбировать его на поверхности своих чешуек. Следствием этого является значительный перерасход (более 2-х раз) цемента для достижения одинаковой прочности на безглинистом грунтобетоне.

**Использование жидкого стекла и хлорида кальция.** В настоящее время почти все работы по устройству jet элементов производятся с использованием ускорителей твердения. Побочным воздействием ускорителей твердения является загущение цементного раствора. И если благодаря использованию мощных высокопроизводительных насосов изменение подвижности смеси не сказывается на ее транспортировке в системе трубопроводов, то это изменение вязкости на прямую сказывается на способности струи к размыву, которая снижается пропорционально увеличению вязкости и, соответственно, количеству введенной добавки. Как следствие этого, диаметр jet элемента уменьшается по сравнению с тем случаем, когда ускоритель твердения не используется.

Подытоживая указанное выше, необходимо отметить, что получившая широкое распространение в гражданском строительстве технология jet grouting, при всех своих положительных аспектах, таких как технологичность и универсальность, все же имеет ряд нюансов, ограничивающих ее применение для строительства московского метрополитена.

Эти эффекты предлагается учитывать при проектировании и выполнении работ по устройству колонн из закрепленного грунта по технологии jet grouting.

# **ПРЕДУСТАНАВЛИВАЕМЫЕ АДГЕЗИОННЫЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОТКРЫТОГО И ПОЛУЗАКРЫТОГО СПОСОБА РАБОТ.**

*к.т.н. Д.С. Конюхов, к.т.н. Т. Е. Кобидзе, АО «Мосинжпроект»*

Концептуальной новизной для представленных в докладе гидроизоляционных систем является применение разновидностей гидроизоляционных материалов последнего поколения, которые в виде предварительно устроенных гидроизоляционных покрытий проявляют способность к адгезионному сцеплению к свежееуложенному бетону.

Данное свойство этих материалов определило возможность разработки отечественными и зарубежными специалистами гидроизоляционных материалов и систем адгезионного закрепления, в том числе, для тех элементов обделок подземных сооружений, наружная поверхность которых, после возведения, отличается отсутствием доступа для выполнения гидроизоляционных работ с применением традиционных гидроизоляционных материалов, в том числе: наплавляемых рулонных и напыляемых материалов на основе битумно-полимерных композиций, напыляемых составов на основе полимочевины, метилметакрилата, полиуретана и др.

К данному виду конструкций тоннельных обделок относятся лотковые плиты, прижимные несущие и не несущие стенки ограждающих конструкций котлована при строительстве подземных сооружений методом «сверху в низ», а также стеновые конструкции тоннельных сооружений, возводимых без пазух для обратной засыпки грунта.

При возведении (бетонировании) этих конструкций традиционные гидроизоляционные материалы предварительно наносятся на доступную поверхность бетонной подготовки под лотковой плитой и ограждения котлована (стена в грунте). Отсутствие сплошного адгезионного сцепления уложенных гидроизоляционных покрытий к поверхности постоянных конструкций, в случае их повреждения или некачественного выполнения, приводит к неконтролируемой миграция просочившихся грунтовых вод по всей поверхности защищаемых конструкций и их обводнению, а также проникновению воды в тоннельных сооружениях через фильтрующие дефекты ж\б конструкций.

В данных условиях восстановление водонепроницаемости обводненных ж\б конструкций применением методов локальной инъекционной гидроизоляции фильтрующих дефектов становится невозможным и требуется выполнение дорогостоящих работ по повторной гидроизоляции поврежденных сооружений.

Исходя из вышеизложенного применение предлагаемых гидроизоляционных систем обеспечит надежность, долговечность и ремонтпригодность гидроизоляционных покрытий и безопасность подземных сооружений.

# ОПЫТ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ ЭСКАЛАТОРНОГО ТОННЕЛЯ ИЗ ЧУГУННЫХ ТЮБИНГОВ

*Крымов О. Б., Кобидзе Т. Е., АО «Мосинжпроект»*

## 1. Проблема

Проходка и монтаж эскалаторного тоннеля. Дн/Дв = 10,5/9,8м, с обделкой из чугунных тубингов, на станциях Московского метрополитена «Шереметьевская» и «Ржевская» выполнялось в водонасыщенном грунтовом массиве, временно закреплённом методом замораживания грунтов.

В процессе проходки было выполнено нагнетание цементно-песчаного раствора за обделку и чеканка швов с использованием свинца и БУС.

Результаты контрольного нагнетания и комиссионного осмотра объектов, выполненные после завершения проходки, выявили активные течи с выносом водонасыщенных песков в выработку при замене пробок и болтовых соединений тубингов, вынос тампонажного раствора при нагнетании за обделку, сопровождающийся значительными водопритоками и выносами цементного молочка через швы между тубингами и отверстия для болтовых соединений.

Причиной активных водопроявлений стали деформации тоннеля вызванное неравномерным оттаиванием грунта что привело к возникновению растягивающих напряжений в обделке по всей длине наклонного хода, раскрытию швов между тубингами и разрушению ранее выполненной жесткой чеканки швов, а также активизация движения грунтовых вод, приведшая к размыву замороженного тампонажного раствора,

## 2. Технологические решения по устранению водопроявлений.

Для устранения возникшей проблемы было предложено применение двух технологических решений, в частности:

- выполнение вуального нагнетания в заобделочное пространство специального разработанного безусадочного тампонажного раствора на основе цементно-вяжущей смеси фирмы Basf с широкими возможностями регулирования сроков схватывания и плотности смеси;
- инъектирование в стыковые соединения полиуретановыми смолами (например, фирмы Basf и Normet), которые при контакте с водой формируют водонепроницаемое уплотнение в полости этих соединений.

По и этом, с целью эффективного и безопасного выполнения работ по инъектированию и вуальному нагнетанию были предложены специальные технические решения.

Результаты проведенных ремонтных работ показали эффективность предложенных решений, которые позволили в полной мере восстановить водонепроницаемость эскалаторных тоннелей.

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЗАВЕСЫ В СКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СТ. ТЕРЕХОВО БКЛ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

*С.С. ЗУЕВ, зам. генерального директора АО «НЬЮ ГРАУНД»*

**Введение.** Время и сложившиеся обстоятельства диктуют необходимость перехода от горизонтального к вертикальному зонированию городского пространства, которое способно обеспечить формирование комфортной жилой и производственной среды, на основе глубинно-пространственной организации всей системы объектов [1-3]. К факторам, удорожающим использование подземного пространства, относятся: геологические и гидрогеологические условия, усложнение инженерно-конструктивных решений подземных сооружений, стесненность при производстве работ в сложившейся городской застройке [СП 473.1325800.2019 Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования].

Конструкция ограждения котлована при строительстве открытым способом должна обеспечивать устойчивость стен котлована в процессе и после полной разработки грунта и водонепроницаемость в условиях высокого уровня подземных вод. При размещении подземного сооружения ниже уровня подземных вод и невозможности заглубления ограждения котлована в водоупор (несовершенное ограждение котлована) широкое применение находит устройство вертикальных и горизонтальных противοфильтрационных завес вокруг подземной части здания [СП 250.1325800.2016 Здания и сооружения. Защита от подземных вод]. Для устройства подобных конструкций наиболее широко применяются струйной цементации грунтов «jet-grouting» и технология возведения подземных сооружений «стена в грунте» [4-8].

Как правило, устройство подземных частей происходит в рыхлых дисперсных грунтах четвертичного возраста, но с увеличением глубины котлованов все чаще приходится сталкиваться при производстве работ со скальными и сцементированными полускальными грунтами: известняками, песчаниками, аргиллитами и алевролитами. В верхней зоне залегания они залегают в виде отдельных рыхляков и сильно трещиноватых слоев. В этом случае они имеют малую прочность и высокий коэффициент фильтрации подземных вод, достигающий 2,0 ... 10,0 м/сут, причем горизонты трещинных вод в большинстве случаев являются напорными.

Одной из основных задач в этом случае является устройство горизонтального противοфильтрационного экрана в основании котлована,

обеспечивающего восприятие напора подземных вод и ликвидацию притоков воды в котлован.

Как правило, для снижения фильтрации подземных вод по трещинам использовалась цементация методом заполнения под малым давлением (5-20 атмосфер) [9-12]. Но начиная с глубин десять - двенадцать метров от поверхности грунта этот метод является недостаточно эффективным, высокие скорости движения напорных вод приводят к вымыванию смеси. Применение струйной цементации с давлением 350 - 400 атмосфер позволяет отжать воду из трещин, заполнить их скрепляющей смесью и «замонолитить» трещиноватый массив грунта.

Специалисты-геотехники настороженно относились к использованию струйной цементации в скальных грунтах, но успешный опыт ее применения при строительстве подземных сооружений показал ее эффективность. Таким опытом мы хотели поделиться в этой статье.

### **Устройство горизонтальной противофильтрационной завесы в скальных грунтах при строительстве стационарного комплекса «Терехово» в г. Москва.**

Целью работы являлось закрепление струйной цементацией слоя известняков в основании котлована с целью ограничения фильтрации подземной воды и восприятия гидростатического давления, исключения прорыва потока подземных вод при разработке котлована.

Закрепляемый грунт находится в интервале глубин 28,0 ...38, 0 м от поверхности и представлен: известняками, разрушенными до глыб, щебня дресвы и муки с глинистым заполнителем и известняками, микрзернистыми, сильнотрещиноватыми, малопрочными и средней прочности. (Рис.1).

Проектный диаметр зоны цементации составлял 2000 мм, скважины размещались по треугольной сетке 1700 x 2000 мм, междусековое расстояние составило также 2000 мм (Рис.2).

Одним из важных моментов выполнения работ было точное достижение зоны цементации рабочим буровым органом (Рис.3). При допустимом отклонении 10 мм на один погонный метр бурения такая точность была обеспечена и контролировалась во время опытно-исследовательских работ и производственного процесса.

При опытных работах подбирался состав скрепляющей смеси и технологические параметры процесса. Механизм действия водоцементной струи на такие слои грунта представляется следующим образом. Под действием высокого давления водоцементная смесь (ВЦС) вырывается из сопла. При этом «струя» после выхода из сопла представляет собой «цепочку капелек» водоцементной смеси. Разрыв струи и образование «капелек» происходит за счет высокого давления в сопле, трения ВЦС о стенки сопла и

движения по полуокружности потока воздуха в затрубном пространстве. Реактивный поток ВЦС за счет вращения и подъема колонны воздействует на грунт в различных точках по образующей скважины. Характерным физическим процессом, определяющим зону разрушения грунта, является процесс соударения «капли» ВЦС с массивом грунта и формирование напряжённого состояния в грунте. При превышении динамическим напряжением от удара «капли» предела прочности грунта на сжатие происходит его разрушение с отделением от массива грунта.

В дисперсных грунтах происходит замещение части минеральных частиц цементным раствором, в трещиноватых полускальных грунтах происходит добавление цементных связей в массив грунта без подъема минеральных частиц [13].

В ходе опытных работ для формирования зоны закрепления проектного диаметра в условиях напорных вод были использованы добавки: снижающие скорость фильтрации воды - бентонит; и ускорители твердения бетона - силикат натрия («жидкое стекло») и хлористый кальций. Бентонит – это высокодисперсный слоистый алюмосиликат, который используется как гелеобразователь, снижающий скорости фильтрации за счет формирования тонкого водонепроницаемого слоя.

При добавлении силиката натрия к воде, идущей на затворение цемента, его сроки схватывания сильно сокращаются. Обусловлено это тем, что в результате химической реакции между щелочным силикатом (жидкое стекло) и составными частями цементного клинкера (гидроалюминат кальция) образуются коллоидные гидросиликат кальция и алюминат натрия. Именно образующийся в составе грунтобетона алюминат натрия является очень сильным ускорителем его схватывания. Кроме того, проходит еще одна реакция – между жидким стеклом и известью, находящейся в цементе, с образованием силиката кальция. Отлагаясь в порах твердеющего камня, силикат кальция придает ему повышенную плотность и водонепроницаемость. Вся совокупность свойств – ускорение схватывания грунтобетона от образования алюмината натрия и пониженная проницаемость порового пространства за счет кольматирующего действия силиката кальция обусловила применение жидкого стекла в качестве добавки для производства работ в зоне с высокими напорами подземной воды [14].

Процессы твердения грунтобетона в раннем возрасте протекают интенсивней и с большей полнотой, когда его температура повышается. Добавка 1% хлористого кальция от массы цемента, по его влиянию на схватывание цемента, равносильна повышению температуры на 15–20°C. Таким образом, хлористый кальций может быть применен как в работах при нормальных температурах (от +10 °C до +25 °C) для ускорения процессов схватывания и твердения, так и в работах при пониженных температурах (ниже +10°C). И хотя в обоих случаях он дает значительную интенсификацию процессов схватывания и твердения при пониженных положительных

температурах (характерных для грунта), его сравнительная эффективность значительно выше.

Свойства всех добавок реализуются в ходе формирования и начального периода кристаллизации грунтобетонного элемента, дальнейший набор прочности грунтоцементного композита происходит по законам твердения цементного вяжущего [15].

В ходе опытных работ был подобран следующий состав скрепляющей водоцементной смеси: водоцементное отношение -  $V/C = 0,8$ ; цемент марки М500 - с расходом 1200 кг/м (764 кг/м<sup>3</sup>); хлористый кальций (CaCl<sub>2</sub>) - до пяти процентов от массы сухого цемента.

Цементирование выполнялось по двухкомпонентной технологии Jet-2 с подачей воздуха под давлением до 0,8 МПа, скоростью вращения - 11 оборотов в минуту и скоростью подъема - 1 м за 400 секунд.

Контроль качества и достаточность законченных работ по цементации устанавливается путем гидравлического опробования контрольных скважин до и после струйной цементации грунтов [16,17]. Количество контрольных участков составило: 18 шт. до производства работ и 30 шт. после их проведения.

Гидравлическое опробование выполнялось методом нагнетания воды в скважину под давлением 1,0 МПа. Конструкция и общий вид опытной скважины представлены на рис.4.

Нагнетание воды под давлением должно поддерживаться неизменным в течение 10 - 15 мин после его стабилизации; за это время следует произвести 2 - 3 измерения расхода воды.

По результатам гидравлического опробования должно быть определено удельное водопоглощение грунтов ( $q$ ):

$$q = \frac{Q}{H \cdot l} \left[ \frac{\text{л}}{\text{мин} \cdot \text{м}^2} \right]; \text{ или } \mu = \frac{Q}{P \cdot l} \text{ [люжон]}$$

где:  $Q$  - расход поглощаемой воды (л/мин) ;  $H$  - напор воды в зоне (м);  $P$  - давление воды в зоне (МПа);  $l$  - длина опробуемой зоны (м).

Грунты исследуемой зоны в исходном состоянии имели удельное водопоглощение в интервале 10...25 лужон, достигая в отдельных точках значения 90 лужон, что в целом превышало требуемое предельное в 5 лужон, обеспечивающие защиту от прорыва подземных вод в котлован.

После проведения цементации значение удельного водопоглощения снизилось до величины 0,9...3,5 лужона.

По результатам опытных работ была разработана схема закрепления грунтов по всему пятну котлована (Рис.5) размерами 81,0 x 42,0 м и выполнены работы по закреплению грунта.

Гидравлическое опробование в тридцати точках грунтов закрепленной зоны по описанной методике показало, что удельное водопоглощение

находится в диапазоне значений 0,5...4,2 люжона и ни в одной точке не превышает предельно допустимого значения в 5 люжон.

После закрепления грунтов струйной цементацией, они представляют из себя сплошной экран горизонтальной противofильтрационной завесы и воспринимают по своей нижней плоскости гидростатическое давление воды. В этом случае мы рассматриваем его как прямоугольную пластину, закрепленную по четырем сторонам (границы ограждения котлована), толщиной в зону закрепления, выполненную из грунтоцементного композита. Пластина рассчитывается на прорыв, отрыв от незакрепленного слоя грунта и изгиб.

Для выполнения этих расчетов требуется определение механических свойств грунтоцементного композита [18]. Для этого из закрепленной зоны были выбурены керны и проведены лабораторные исследования прочности на сжатие и растяжение (Рис.6). При цементации происходит только заполнение трещин и пор грунтов закрепляемой зоны, а характеристики вмещающего грунта не меняют своих физико-механических свойств. Поэтому прочностные характеристики закрепленного грунта приняты по наименьшим значениям: прочность на сжатие:  $R_c = 2,5 \text{ МПа} = 2500 \text{ кПа}$ ; прочность на растяжение:  $R_p = R_c * 0,1 = 2,5 * 0,1 = 0,25 \text{ МПа} = 250 \text{ кПа}$

Для определения напряжений в конструкции ПФЗ, произведен расчет в объемной постановке в программном комплексе Plaxis 3D [19]. В качестве нагружающих факторов учтены объемный вес грунтов и гидростатическое давление воды. Получены следующие результаты: максимальная величина вертикальных перемещений конструкции ПФЗ составляет - 30 мм; максимальное значение сжимающих напряжений в конструкции ПФЗ - 560 КПа; максимальное значение растягивающих напряжений - 40 КПа. Поскольку действующие в конструкции сжимающие и растягивающие напряжения не превышают прочности на сжатие и растяжение грунтоцементного композита (материала конструкции), прочность на сжатие и растяжение обеспечена.

Эффективность устройства противofильтрационной завесы (цементация трещиноватой зоны известняков) определяется временем инфильтрации воды сквозь нее [20]. При напорном градиенте 15 и коэффициенте фильтрации закрепленной зоны  $1 \times 10^{-6} \text{ м/сут}$  (п. 6.4.6 СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования), скорость фильтрации составляет  $1,5 \times 10^{-5} \text{ м/сут}$ . При толщине завесы 5,0 м, время фильтрации составит около 300000 суток или 900 лет, что превышает нормативный срок эксплуатации такого сооружения. Условие защиты подземной части сооружения от проникновения подземных вод выполнено.

Описанные работы были успешно проведены при устройстве стационарного комплекса «Терехово» на западном участке третьего пересадочного контура ст. «Нижние Мневники» - ст. «Можайская», что позволило вести работы в котловане без организации мероприятий,

связанных с поступлением в него подземных вод и обеспечить требуемую эксплуатационную надежность подземного сооружения (рис.7).

## **Выводы.**

1. Опыт проведенных работ показал, что струйная цементация имеет определенные преимущества перед традиционными методами заполнительной цементации в трещиноватых и разрушенных до рыхляков скальных грунтах в зоне напорных подземных вод.

2. Получаемый в результате такого применения грунтоцементный композит обладает достаточно высокими прочностными и низкими фильтрационными характеристиками, позволяющими использовать его в конструкции горизонтальной противофильтрационной завесы.

3. Рецептуры скрепляющего раствора и технологические параметры процесса струйной цементации должны определяться в ходе опытно-конструкторских работ, до накопления статистического материала, позволяющего выявить устойчивые закономерности и разработать рекомендации по применению данной технологии.

## **Литература**

1. Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С., Меркин В.Е. Использование подземного пространства. М.: Издательство АСВ, 2015. 416 с.

2. Конюхов Д.С. Основные принципы комплексного освоения подземного пространства при реновации жилой застройки Москвы // *Метро и тоннели*. 2019. №2. С.38-40.

3. Merkin V., Konyukhov D. Development of Moscow underground space plans, results, perspectives// *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165, pp.663-672.

4. Makovetskiy O., Zuev S. Practice device artificial improvement basis of soil technologies jet grouting // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165, pp.504-509.

5. Зуев С.С., Маковецкий О.А. Опыт использования метода «up-down» при строительстве подземной и надземной части здания // *Жилищное строительство*. 2019. № 9. С. 24-30. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-00-00>

6. Henn, Raymond W. Practical guide to grouting of underground structures. American Society of Civil Engineers, 1996. 200 p.

7. Karol, Reuben H. Chemical grouting and soil stabilization / Reuben H. Karol. - American Society of Civil Engineers, 2003. 536 p.

8. Moseley, M.P. Ground improvement. London. 2004. 440 p.

9. Хямяляйнен В.А., Майоров А.Е. Новые способы цементационного упрочнения горных пород // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2010. №10. С.212-217.

10. Хямяляйнен В.А., Майоров А.Е. Особенности течения цементационных растворов при упрочнении трещиноватых горных пород. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012. №10. С.199-205.
11. Шубин А.А. Моделирование процесса ликвидации подземных пустот в условиях техногенной активизации // *Записки Горного института*. 2013. Т.204. С.101-104
12. Должиков П.Н. Ликвидация водопритоков в условиях развития карста / П.Н. Должиков, А.А. Шубин // *Научно-технические проблемы разработки угольных месторождений, шахтного и подземного строительства: Сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ (НПИ)*. Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2005. С.180-185.
13. Воронкевич С.Д. Основы технической мелиорации грунтов. М. : Науч. мир, 2005. 498 с.
14. Ружинский С.И. Ускорители схватывания и твердения в технологии бетонов // *Популярное бетоноведенье*. 2005. №1. С.2-76.
15. Нургалиев Е.И., Майоров А.Е. Реологические характеристики специализированных цементных смесей для комплексной изоляции горных выработок // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2018. №4. С.56-64.
16. Гринбаум И.И. О методике и особенностях расходометрических исследований фильтрационных свойств трещиноватых пород в основаниях высоконапорных сооружений. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1970. Вып. 48. С. 125 - 134.
17. Ильина О.В. Фильтрационная устойчивость заполнителя трещин в скальных породах, определяемая в полевых условиях и в лаборатории. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1970. Вып. 48. С. 149 - 156.
18. Максимова, И.Н. Структура и конструкционная прочность цементных композитов: монография / И. Н. Максимова, Н. И. Макридин, В. Т. Ерофеев, Ю. П. Скачков. М.: Издательство АСВ, 2017. - 400 с.
19. Bull, John W. Linear and nonlinear numerical analysis of foundations. New York, 2009. 465p.
20. Адамович А.Н. Закрепление грунтов и противодиффузионные завесы. М.: Энергия, 1980. 320 с.

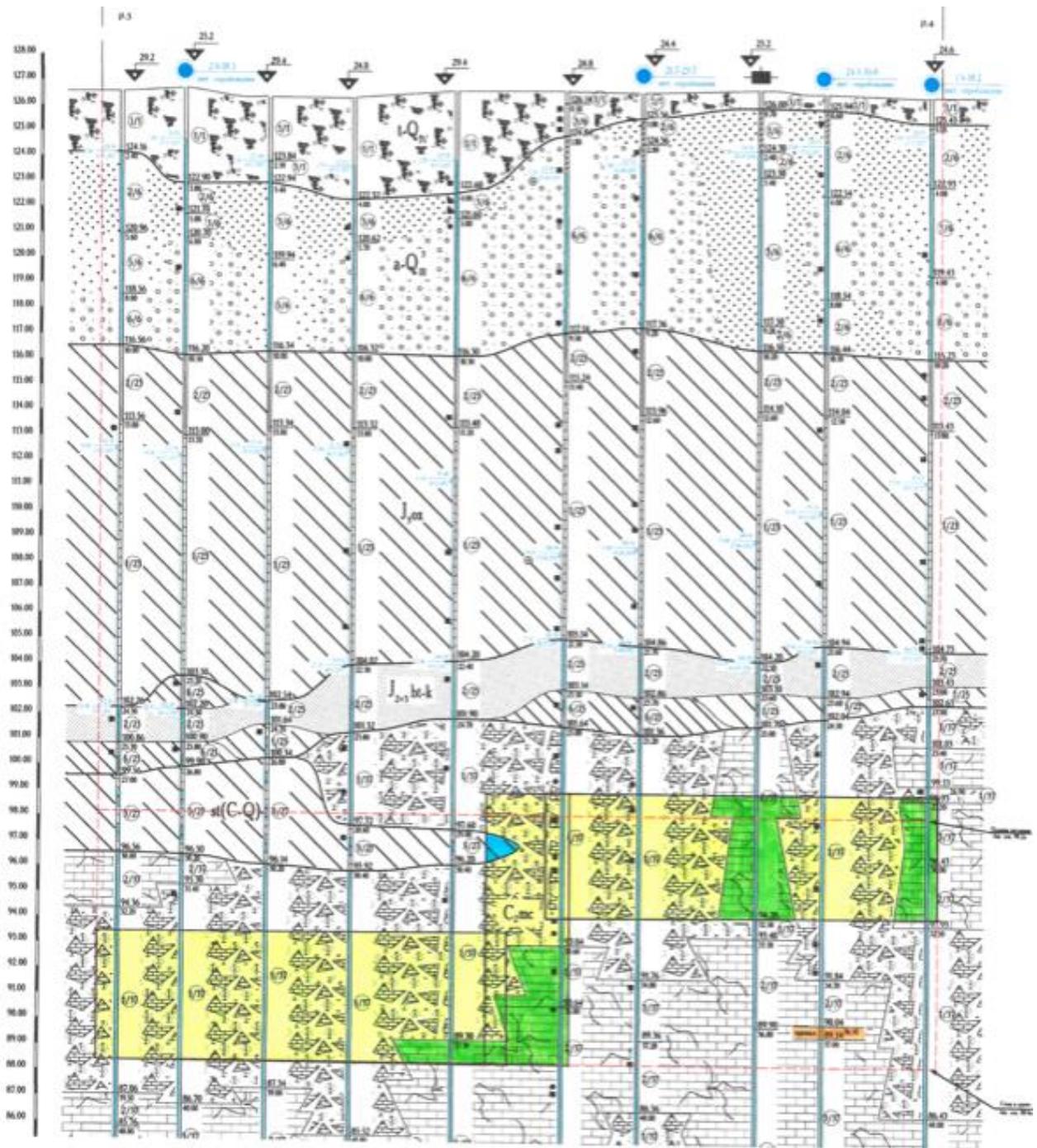


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки строительства

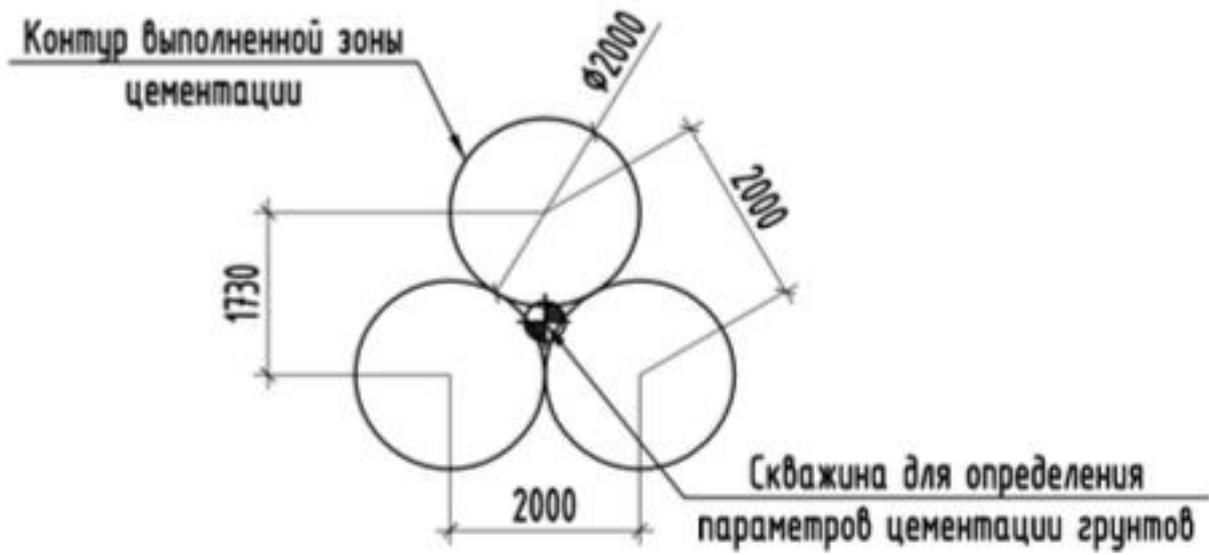


Рис.2. Схема зоны цементации

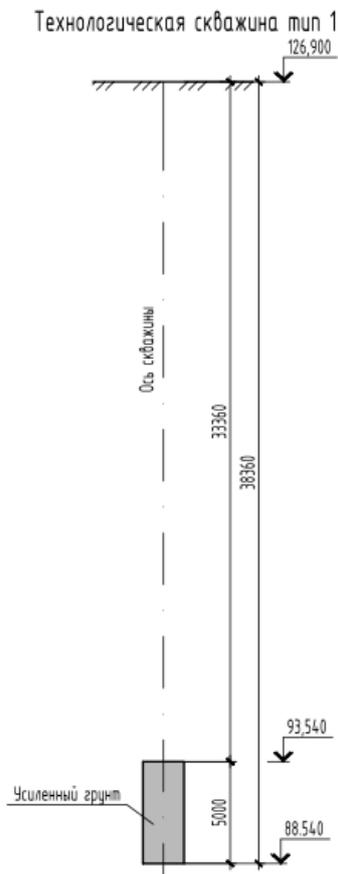


Рис.3 Схема технологической скважины



Рис.4. Конструкция и общий вид опытной нагнетательной скважины.

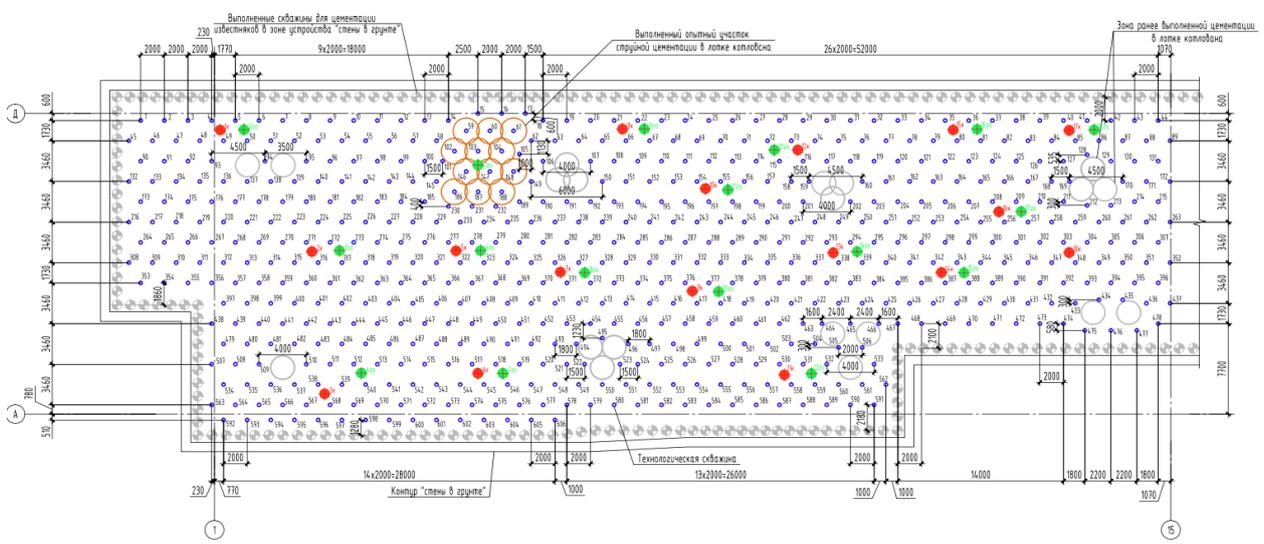


Рис.5 Схема цементации площадки



Рис.6. Схема испытания кернов



Рис.7. Общий вид сухого котлована после экскавации

# ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЯХ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*Ледяев А.П., Кавказский В.Н., Шелгунов О.О., Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I кафедра «Тоннели и метрополитены», Московский пр. 9, Санкт-Петербург, 190031, Российская федерация*

**Ключевые слова:** железнодорожные тоннели, высокоскоростные магистрали, аэродинамические процессы, площадь поперечного сечения тоннеля

**Аннотация.** Исследование аэродинамических процессов в железнодорожных тоннелях на высокоскоростных магистралях при отсутствии практического опыта эксплуатации возможно вести с достаточной степенью точности только при помощи математического моделирования. Проведен многофакторный эксперимент, результатом которого является решение оптимизационной задачи по определению площади поперечного сечения тоннеля с учетом аэродинамики. На основании анализа результатов делается вывод о применимости методики к прогнозу аэродинамических воздействий на перспективных тоннельных сооружениях высокоскоростных магистралей и оптимизации геометрических параметров тоннеля.

## Введение

Аэродинамические процессы в условиях высокоскоростного движения поездов делают назначение площади поперечного сечения тоннелей одним из самых сложных вопросов тоннелестроения. Данный параметр существенно влияет на стоимость сооружения, которая может колебаться на 20-30%, соответственно, на целесообразность строительства. Для определения влияющих на геометрические параметры сооружений факторов с учетом аэродинамики применяются два возможных варианта решения задачи - методы физического и математического моделирования.

Многие исследования содержат допущения, погрешности, неполноценные зависимости между геометрическими и механическими параметрами тоннеля и высокоскоростного поезда и окружающей среды, что может приводить к недостаточному физическому подобию процессов. Подобные неточности в моделировании и отсутствие отечественных аналогов моделирования являются причинами необходимости проведения полнофакторного эксперимента – исследования аэродинамических процессов в железнодорожных тоннелях на ВСМ, взаимодействия многофакторной системы «тоннель-поезд».

## Описание методики исследования

Целями исследования являются: обоснование параметров поперечного сечения тоннелей на ВСМ в зависимости от скорости движения поездов с учетом аэродинамических процессов, а также определение соответствия геометрических параметров тоннельных сооружений аэродинамическим требованиям, подтверждение выдвигаемой гипотезы поведения многофакторной системы «тоннель-поезд» в условиях высокоскоростного движения.

Задачами исследования установлены: определение аэродинамических параметров и нагрузок при движении поезда в тоннеле на ВСМ в заданном на основе оптимизационного плана диапазоне параметров многофакторной системы «тоннель-поезд» и оптимизация многофакторной системы «тоннель-поезд» по назначенному критерию.

Перед моделированием аэродинамических воздействий в тоннеле и расчетом, результаты аэродинамического воздействия поезда на открытом пространстве успешно верифицированы, модель откалибрована. Затем осуществлено моделирование многофакторной системы «тоннель-поезд» в условиях высокоскоростного движения с учётом аэродинамики. Результаты расчетов верифицируются с существующими зарубежными нормативными значениями, а также с аналогичными исследованиями.

## Порядок исследования и обсуждение результатов

С целью исследования аэродинамического взаимодействия многофакторной системы "тоннель-поезд" осуществлена серия экспериментов. Исследование включает в себя моделирование прохождения высокоскоростным поездом тоннеля в виртуальной герметичной среде при различных начальных условиях: механических и геометрических параметрах системы - скорости движения поезда  $v$ , (км/ч), площади поперечного сечения  $S_{\text{tun}}$ , ( $\text{м}^2$ ) и длины тоннеля  $L$ , (м), приведенной к безразмерному коэффициенту длины  $\lambda$  (отношение длины тоннеля  $L_{\text{tun}}$  к длине поезда  $L_{\text{tr}}$ ).

Внутренние задачи аэродинамического взаимодействия высокоскоростного поезда и тоннельного сооружения решены в соответствии с планом эксперимента. Результатами решения задач стали численные значения и картины (рис.1,2,3,4) таких величин, как амплитуды перепадов давления, аэродинамическое сопротивление, аэродинамическая нагрузка на обделку тоннеля, а также характеристики воздушного потока.

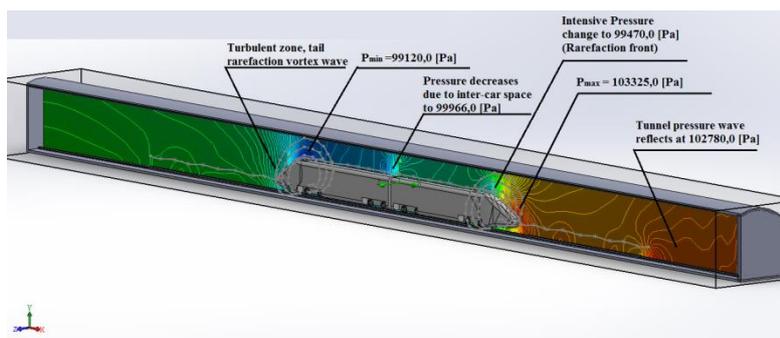
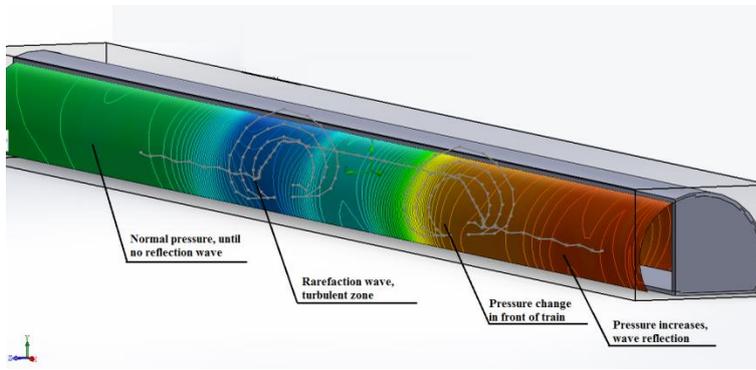
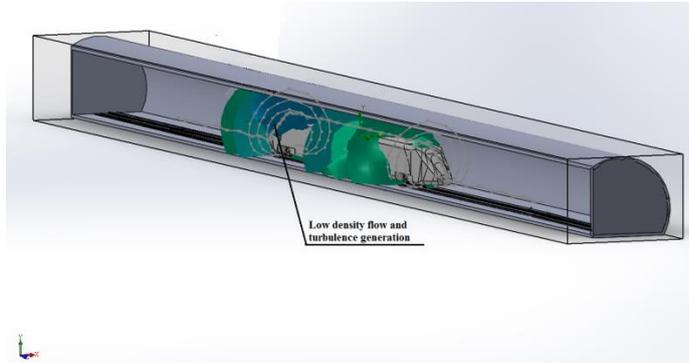


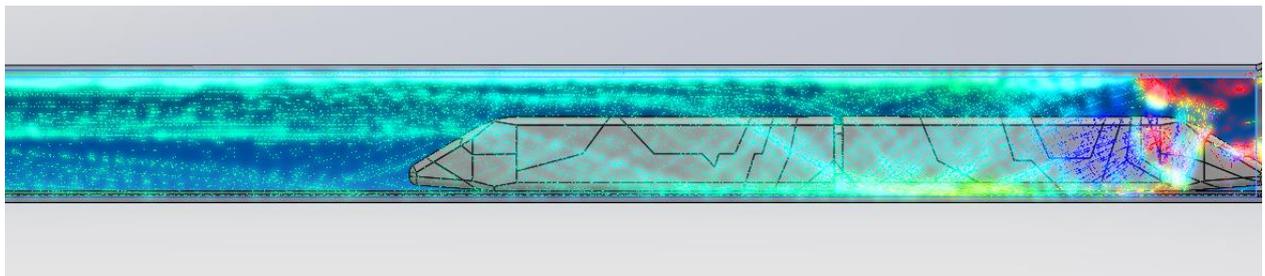
Рис.1 Результирующая эпюра давления потока в тоннеле при движении поезда со скоростью 333,5 км/ч



*Рис.2 Результирующая эюра давления потока на тоннельную обделку при движении поезда со скоростью 333,5 км/ч*



*Рис.3 Объёмная эюра плотностей увлекаемого воздушного потока в тоннеле*



*Рис.4 Завихрение воздушного потока в спирали, создающие пульсацию давления*

Отмечено, что при определении физики аэродинамического процесса выявлены известные зависимости и предположения. Так, например, подтверждены положения, представленные исследователями, а именно:

- подтверждены явления отражения тоннельных волн давления, распространяющихся на всю длину тоннеля в процессе движения поезда;
- скоростной напор достигает 135% от скорости поезда;
- значительные массы воздуха интенсивно увлекаются из зоны сжатия в голове поезда в зону разрежения в хвосте поезда, образуя турбулентные потоки меньшей плотности (рис.3);
- давление, действующее на поверхность обделки тоннеля, непостоянно по длине тоннеля и времени прохождения состава, что подтверждается пульсациями воздушного потока, давление носит динамический характер (рис.4).

## Заключение

В ходе исследования установлена применимость критерия безопасности  $\Delta P \leq 10$  кПа к обоснованию геометрических параметров тоннельных сооружений на ВСМ, определены в заданном на основе оптимального плана эксперимента аэродинамические параметры и нагрузки. Их графическая интерпретация в виде зависимостей между геометрическими и механическими параметрами многофакторной системы «тоннель-поезд» в условиях высокоскоростного движения позволила провести синтез явлений аэродинамического взаимодействия и представить результат прогнозирования поведения системы в наглядной форме. Наибольшая вероятность возникновения критического давления проявляется в условиях высоких скоростей движения поездов (300-400 км/ч) при площади поперечного сечения тоннеля менее 77 м<sup>2</sup>. При этом исследованный эффект длины сооружения на величину аэродинамического давления показал, что вне зависимости от величины площади поперечного сечения тоннеля, наибольшими окажутся давления в интервале коэффициента длины сооружения от 2 до 6, что следует учитывать при назначении длины эксплуатируемого на ВСМ подвижного состава.

В данном исследовании приводятся следующие выводы:

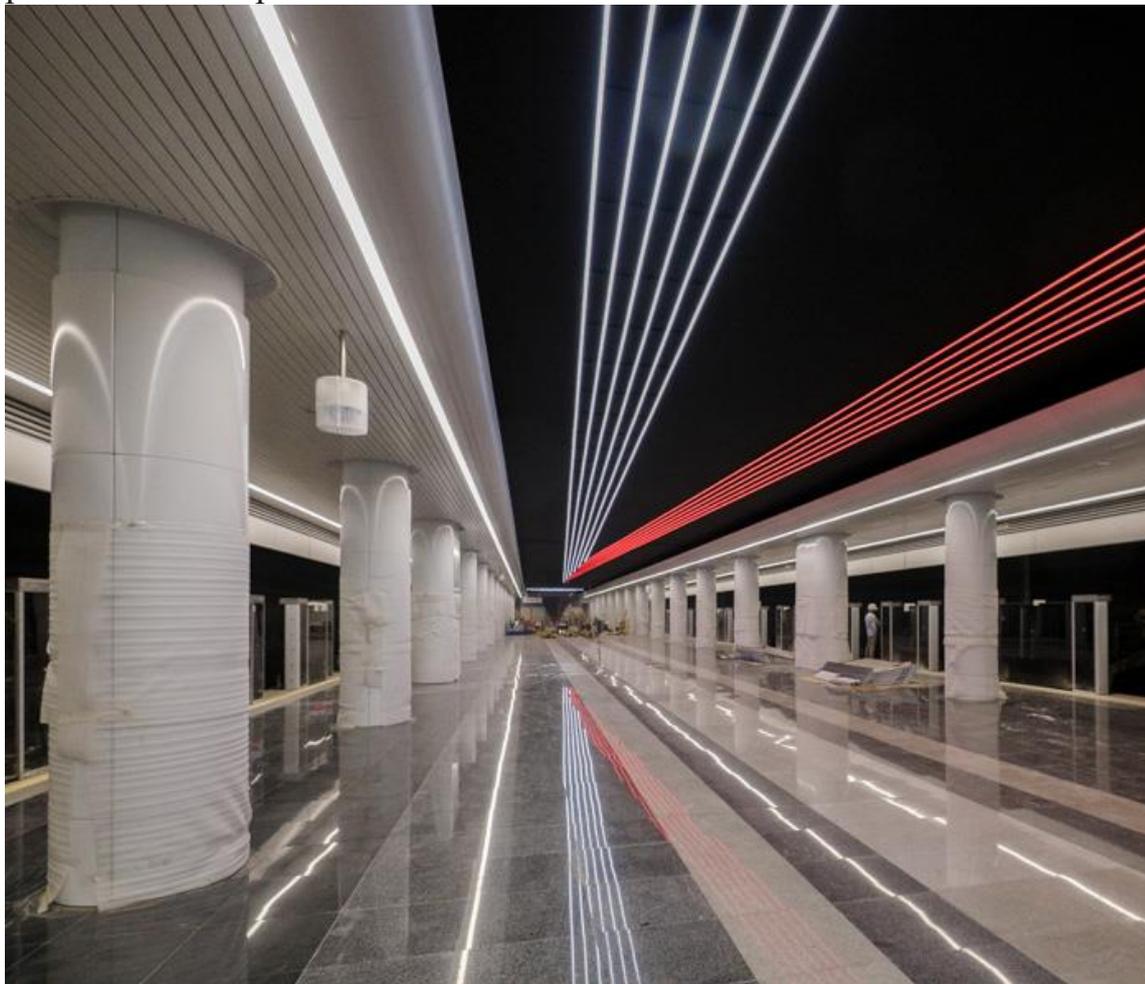
- 1) Показана точность и работоспособность применяемых математических моделей;
- 2) Доказана достоверность гипотезы и полученных результатов расчетов;
- 3) Построены графические зависимости параметров системы «тоннель-поезд».
- 4) Определены оптимальные значения площади поперечного сечения тоннеля на ВСМ в заданных условиях.

Решение задачи оптимизации станет шагом к назначению практических рекомендаций по назначению технических характеристик системы и тоннельного сооружения, а подтверждение экспериментальным путем и верификация результатов позволяет успешно назначать технические параметры с помощью многофакторной системы "тоннель-поезд". Решение поставленных задач даёт возможность увеличить эффективность высокоскоростных железнодорожных перевозок. При этом снижение затрат на строительные капиталовложения и текущее содержание объекта инфраструктуры может составить до 25% при заданных технических характеристиках.

## В МИНСКЕ БЛИЗИТСЯ К ЗАВЕРШЕНИЮ СТРОИТЕЛЬСТВО ТРЕТЬЕЙ ВЕТКИ МЕТРО

Первый участок третьей линии Минского метрополитена состоит из четырех станций: «Вокзальная», «Ковальская Слобода», «Площадь Франтишка Богушевича» и «Юбилейная площадь». Две из них являются пересадочными узлами, связывающими новую линию с первой и второй линиями действующего метрополитена. Все станции находятся в высокой степени готовности к принятию пассажиров.

Одновременно с 3-ей веткой метро сооружён инженерный корпус, для обслуживания новой линии и здание эксплуатационного персонала для работников метрополитена.



29 июля впервые на 3-ю линию зашел электропоезд.

Штаб по пропуску пробного поезда был организован на платформе станции «Ковальская слобода». В состав штаба вошли: Арутюнян А.В. – главный инженер УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ», Круглов О.А. – заместитель директора по строительству ГП «Минский метрополитен», Мурач А.В. – главный инженер УП «Дирекция по строительству Минского метрополитена». Полищук В.Н. – заместитель директора по эксплуатации ГП «Минский метрополитен», Гречкин С.А. – начальник ПТО УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ», Ковальский В.Н. – Заместитель главного инженера ГП «Минский метрополитен».



В первом составе, проехавшем по новой линии приняли участие почетные гости: Сивак А.А. - мэр города Минска; Дорохович А.В. - заместитель председателя Мингорисполкома; Стухальский Л.П. – генеральный директор УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ»; Сотников В.Т. - директор ГП "Минский метрополитен"; Чеканов П.В. – директор АОА «Минскметропроект».



Технический запуск поезда прошел успешно.

Подвижной состав, который проходит обкатку и будет эксплуатироваться на третьей линии – новая разработка совместного белорусско-швейцарского предприятия ЗАО«Штадлер Минск».



Для цветового оформления поездов были выбраны цвета герба Минска: синий, белый и красный.



Внутри вагоны выполнены в светлых оттенках

Новый подвижной состав обеспечивает большой комфорт пассажиров благодаря удобной организации пространства салона, плавности хода и сниженного уровня шума при движении.



Главный инженер УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ» - Арутюнян А.В.

При строительстве 3-ей линии Минского метрополитена были освоены новые технологии, а также выполнены сложные и уникальные работы:



Все тоннели 3-ей ветки выполнены высокотехнологичным тоннелепроходческим механизированным комплексом «Алеся».



Новый тип верхнего строения пути – виброгасящий блок БВ-2М, для упругого крепления рельсового пути метрополитена. Он обеспечивает снижение шума и гашение вибраций при движении поездов, что оценят пассажиры и жители близлежащих домов.



Блок разработан силами УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ» и признан лучшим строительным продуктом 2019 года в республиканском ежегодном конкурсе.

При помощи технологии «Стена в грунте», которая выполняется оборудованием фирмы «Штайн», выполнено крепление котлованов двух станций и других сооружений различной степени сложности. Толщина «Стены в грунте» - 800мм, наибольшая глубина траншеи до 36,0 м.;

Благодаря технологии был сооружен котлован максимальной глубиной 25 метров в непосредственной близости от жилых 9-ти этажных зданий, без отселения жильцов;



- При креплении стен котлована станции «Юбилейная» были успешно применены прядевые анкера. Основное преимущество - повышенная несущая способность и возможность использовать все пространство котлована для выполнения строительно-монтажных работ;
- При гидроизоляции комплекса пересадочной станции «Юбилейная» впервые была использована ремонтпригодная гидроизоляционная система с применением полимерных мембран;

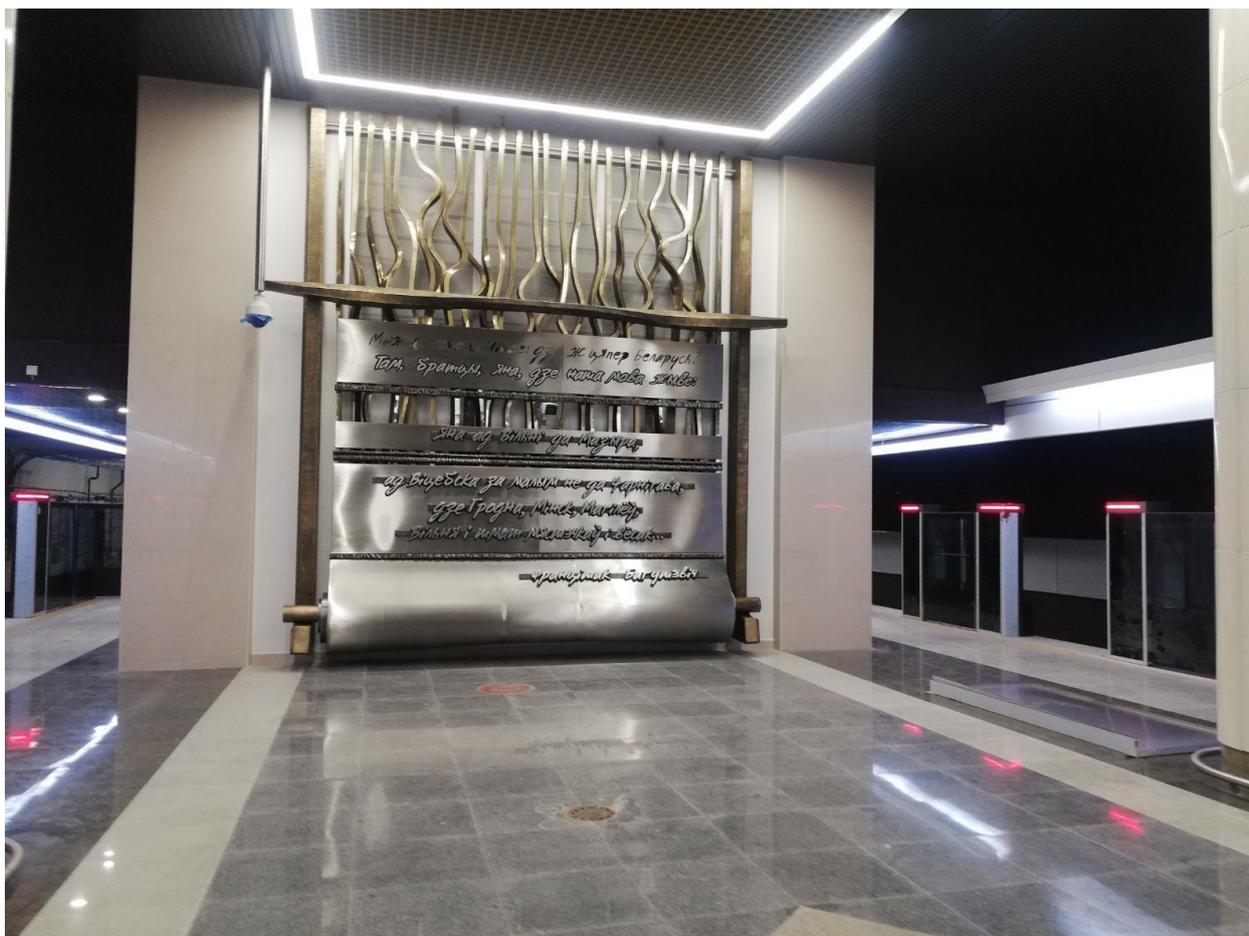
- При строительстве пересадочных узлов под действующими путями метрополитена без остановки движения поездов, впервые было применено закрепление грунтов акрилатными гелями.

На платформах всех построенных станций применены системы барьерных ограждений с автоматическими дверями, которые будут синхронизированы с дверями подвижного состава.



#### Монтаж автоматических дверей

Система автоматических дверей препятствует попаданию на путь посторонних предметов, а также обеспечивает безопасность пассажиров.



# ЮГО-ЗАПАДНЫЙ УЧАСТОК ТРЕТЬЕГО ПЕРЕСАДОЧНОГО КОНТУРА. СТАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС «ДАВЫДКОВО». ПРОТАСКИВАНИЕ ТПМК Ø10,8 М В СООРУЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ СТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОСЛЕДУЮЩИМ ВОЗВЕДЕНИЕМ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ СТЕНЫ СТАНЦИИ

*А.Е. Сквернюк, главный инженер проекта ОАО «Минскметропроект».*

*Г.Н. Протасов, главный специалист отдела ПСКА ОАО «Минскметропроект».*

*Е.В. Сосков, начальник группы отдела ПТ ОАО «Минскметропроект».*

При строительстве Юго-Западного участка третьего пересадочного контура Московского метрополитена на участке от станции Можайская до переходной камеры за станцией Аминьевское шоссе была применена технология протаскивания ТПМК Ø10,8 м через сооруженные конструкции станции «Давыдково» для выхода на трассу перегонного тоннеля от станции «Давыдково» до переходной камеры за станцией «Аминьевское шоссе».

Данный способ перемещения ТПМК к месту старта включает в себя следующие работы:

- после проходки перегона от ст. «Можайская» до станции «Давыдково» ТПМК принимается на заранее выполненное основание из бетона с установленными закладными деталями и направляющими из металлической полосы, установленные внутри сооруженных конструкций станции «Давыдково», для передвижения ТПМК к месту старта для проходки следующего перегона. Бетонное основание выполняется по лотку постоянных конструкций станции в уровне, необходимом для точного выхода ТПМК на трассу.

- после выхода в конструкции станции ТПМК передвигается к месту старта по направляющим с помощью лотковых блоков (часть кольца постоянной обделки), передвижение осуществляется за счет щитовых домкратов. Направляющие предварительно смазываются солидолом для предотвращения трения оболочки ТПМК. Лотковые блоки устанавливаются в проектное положение, зазор между бетонным основанием и блоками заполняется бетоном после выхода блоков из-под оболочки ТПМК, с помощью деревянных клиньев производится расклинка блоков для сохранения проектного положения. Лотковые блоки доставляются подземным транспортом по сооруженному ранее перегону через монтажное окно, предусмотренное на станции Можайская.

Отличительной особенностью станции «Давыдково» является большая глубина котлована (30-35 м). В связи с этим для стационарного комплекса

применена многоэтажная компоновочная схема, позволяющая наиболее рационально использовать строительный объем. Центральная часть станции имеет 5 уровней перекрытий. Высота засыпки для неё составляет от 1 до 4 м. Блоки, примыкающие к центральной части с одной и с другой стороны, имеют по 2 уровня перекрытий. Высота засыпки над покрытием для них составляет 17 и 13 м. К станции примыкает двухпутный тоннель диаметром 10,3 м и камера съездов.

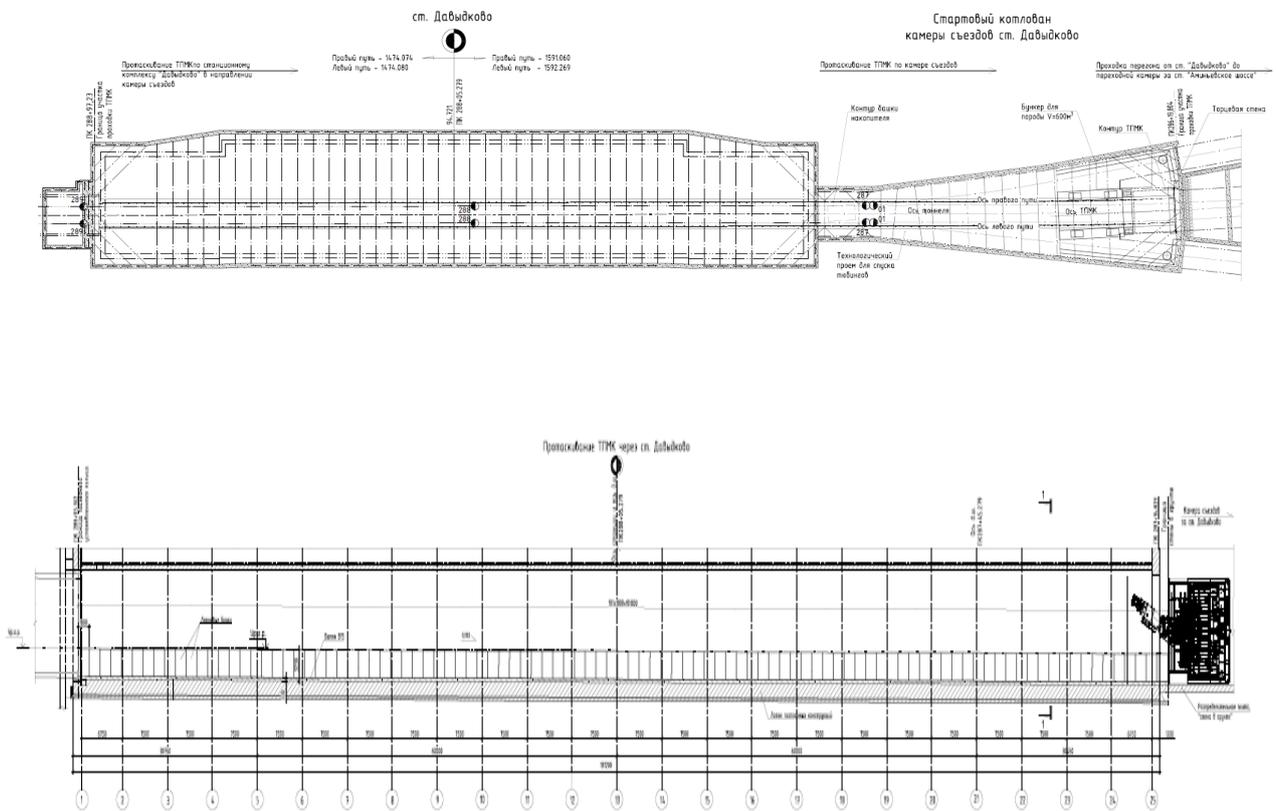
Для выполнения поставленных задач на этапе эскизного проектирования для станции была рассмотрена конструктивная схема с несущими колоннами (для возможности протаскивания между ними ТПМК). На «глубоких» участках при этом пришлось бы запроектировать пилоны сечением  $0,8 \times 1,4$  м с шагом 4 м. Такие пилоны значительно уменьшали бы площадь посадочной части платформы возле поезда и были бы неприемлемы с точки зрения обслуживания пассажиров. Поэтому от пилонов пришлось отказаться в пользу конструктивной схемы с несущими стенами. При этом продольная несущая стена толщиной 0,5 м располагается между путями – на пути движения ТПМК при протаскивании.

Конструктивные решения станции разработаны с учётом возможности протаскивания через неё ТПМК. При этом к моменту прохождения ТПМК должны были быть построены четыре уровня перекрытий в центральной части станции и два уровня перекрытия в боковых частях. Продольная несущая стена, расположенная между путями, должна впоследствии подводиться под перекрытия.

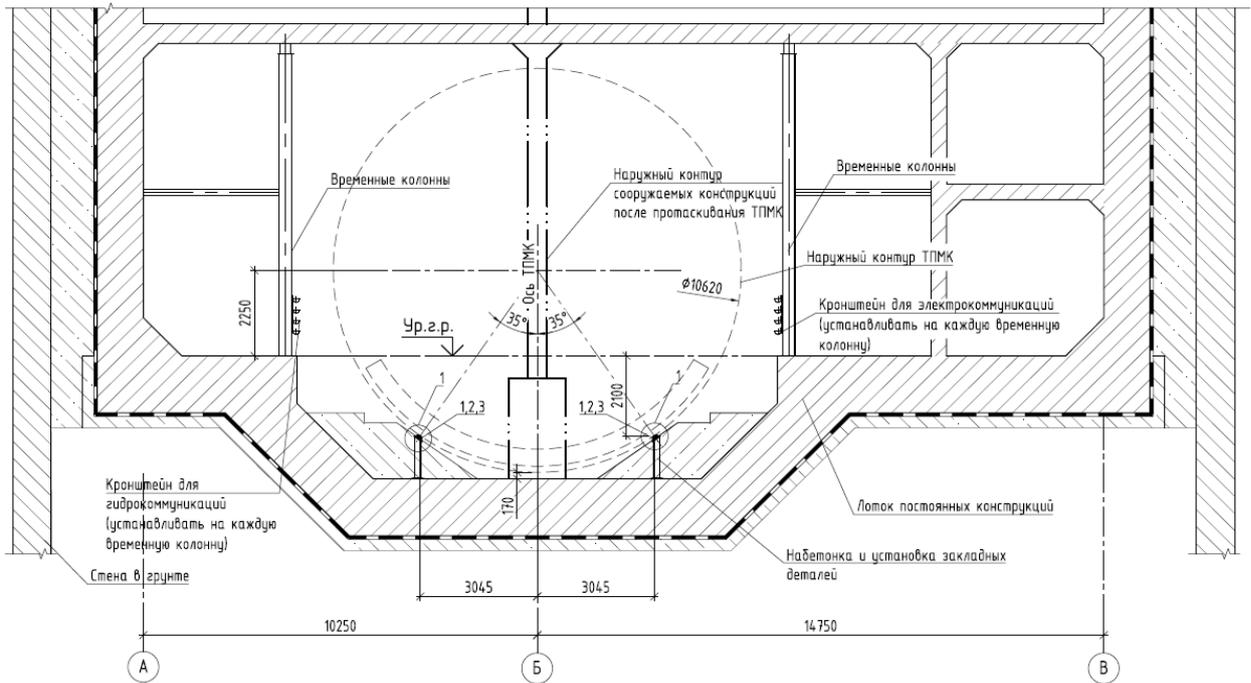
Смонтированные лотковые блоки также служат основанием для передвижения подземного транспорта на время врезки ТПМК и проходки первых 100 м. На данном этапе грунт, разрабатываемый при проходке, доставляется при помощи конвейера через станцию Давыдково и далее по сооруженному перегону на станции Можайская.

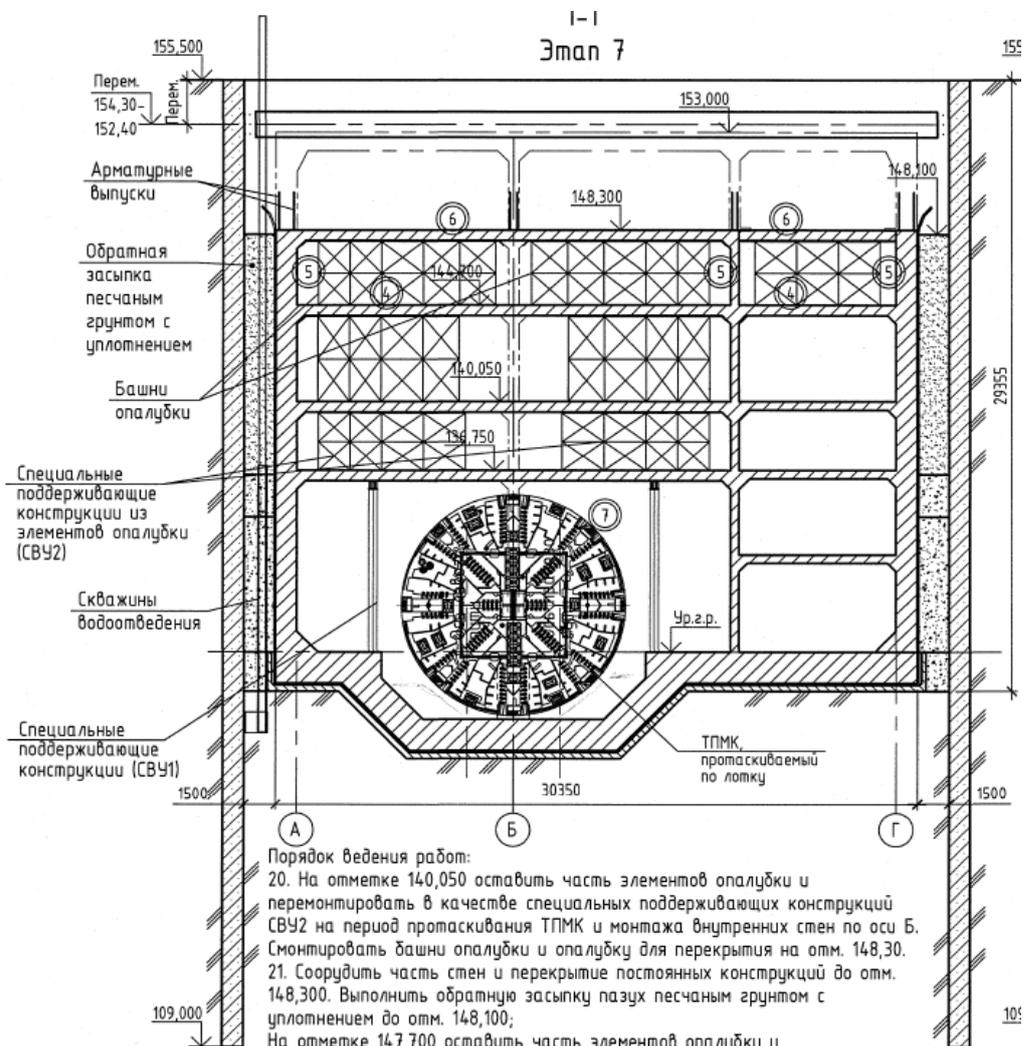
В момент прохождения ТПМК несущая способность перекрытий обеспечивалась за счет установки временных специальных поддерживающих конструкций и опалубочных систем. При этом использовалась несущая способность нижележащих перекрытий. Демонтаж опалубочных систем осуществлялся после прохождения ТПМК и возведения центральной стены.

Данное решение позволило сократить продолжительность строительства за счёт параллельного ведения работ и увеличить полезную площадь посадочных платформ за счет исключения пилонов больших размеров. Так же при данном способе исключается трудоемкий процесс монтажа/демонтажа ТПМК и перемещения к месту перед стартом. При этом текущее обслуживание и необходимый ремонт рабочего органа и узлов ТПМК осуществляется в процессе протаскивания ТПМК.



Установка направляющих  
для протаскивания ТПМК Неггенкест S-782





# **ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВОГО МАССИВА ПОД КОНСТРУКЦИЯМИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА АКРИЛАТНЫМ ГЕЛЕМ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ХОДКА ПЕРЕСАДОЧНОГО УЗЛА ГОРНЫМ СПОСОБОМ БЕЗ ПРЕКРАЩЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ**

*Гучёк Р. Л., инженер 2-й кат. отдела ПОМ ОАО «Минскметропроект», ул. Соломенная,  
13, г. Минск, 220088, Республика Беларусь  
E-mail: [guchek@metropr.by](mailto:guchek@metropr.by)*

Современные технологии производства работ позволяют сооружать новые конструкции в непосредственной близости от существующих действующих инженерных сооружений. Однако, геологическая ситуация зачастую вносит свои коррективы в планы проектировщиков строителей и заказчиков. Поэтому всё чаще приходится искать способы приведения грунтового массива в состояние, позволяющее возводить новые конструкции без ущерба для эксплуатируемых конструкций.

На сегодняшний день есть множество способов стабилизации грунтов. Ниже описана технология, применённая ОАО «Минскметропроект» на строящемся объекте третьей линии Минского метрополитена.

Перед инженерами ОАО «Минскметропроект» была поставлена задача обеспечить строительство пересадочного ходка, примыкающего под платформой действующей станции метро «Площадь Ленина» без остановки её работы.

Изучив геологическое строение грунтового массива, конструкции станционного комплекса, их состояние в месте примыкания, а также существующие технологии закрепления грунтов, проектировщики остановили свой выбор на химическом закреплении грунта. А конкретно – на использовании акрилатного геля.

Технология закрепления грунтового массива при помощи акрилатного геля состоит в следующем:

1. Погружение инъекторной трубки в грунт на необходимую глубину.
2. Инъектирование (пропитка) акрилатного геля в массив при помощи двухкомпонентного насоса по мере извлечения инъектора.
3. Определение характеристик закреплённого грунта.

По итогам выполнения работ по нагнетанию акрилатного геля в грунтовой массив под конструкцией действующей станции были достигнуты следующие результаты:

1. Стабилизация и устойчивость песчаного грунтового массива, позволившие выполнить в нём горнопроходческие работы без опасности деформаций и обрушения.

2. Сохранение и, даже, некоторое снижение сложности разработки грунта, поскольку закреплённый массив приобрёл студенистую консистенцию. Это позволило разрабатывать песчаный грунт довольно устойчивыми «блоками».

Таким образом, можно заключить, что выполнение поставленной перед ОАО «Минскметропроект» задачи стало возможным благодаря грамотному применению современных материалов и технологий к имеющимся условиям строительства.