

# Подземные ризонты

*Underground Horizons*

Март

№12

2017

www.techinform-press.ru

САМОХОДНЫЙ СВАРОЧНЫЙ КОМПЛЕКС

## TRANSPILLOT

Transpilot 250, 315, 630

- аппарат для стыковой сварки высокой степени автоматизации на гусеничном ходу
- электрогенератор для автономного питания оборудования
- модуль электромuftовой сварки
- модуль электродуговой сварки

127282, Москва,  
Чермянский пр-д, д.7, стр.1  
тел.: +7 (495) 727 1015  
e-mail: sales@ctf-m.ru

[www.ctf-russia.ru](http://www.ctf-russia.ru)

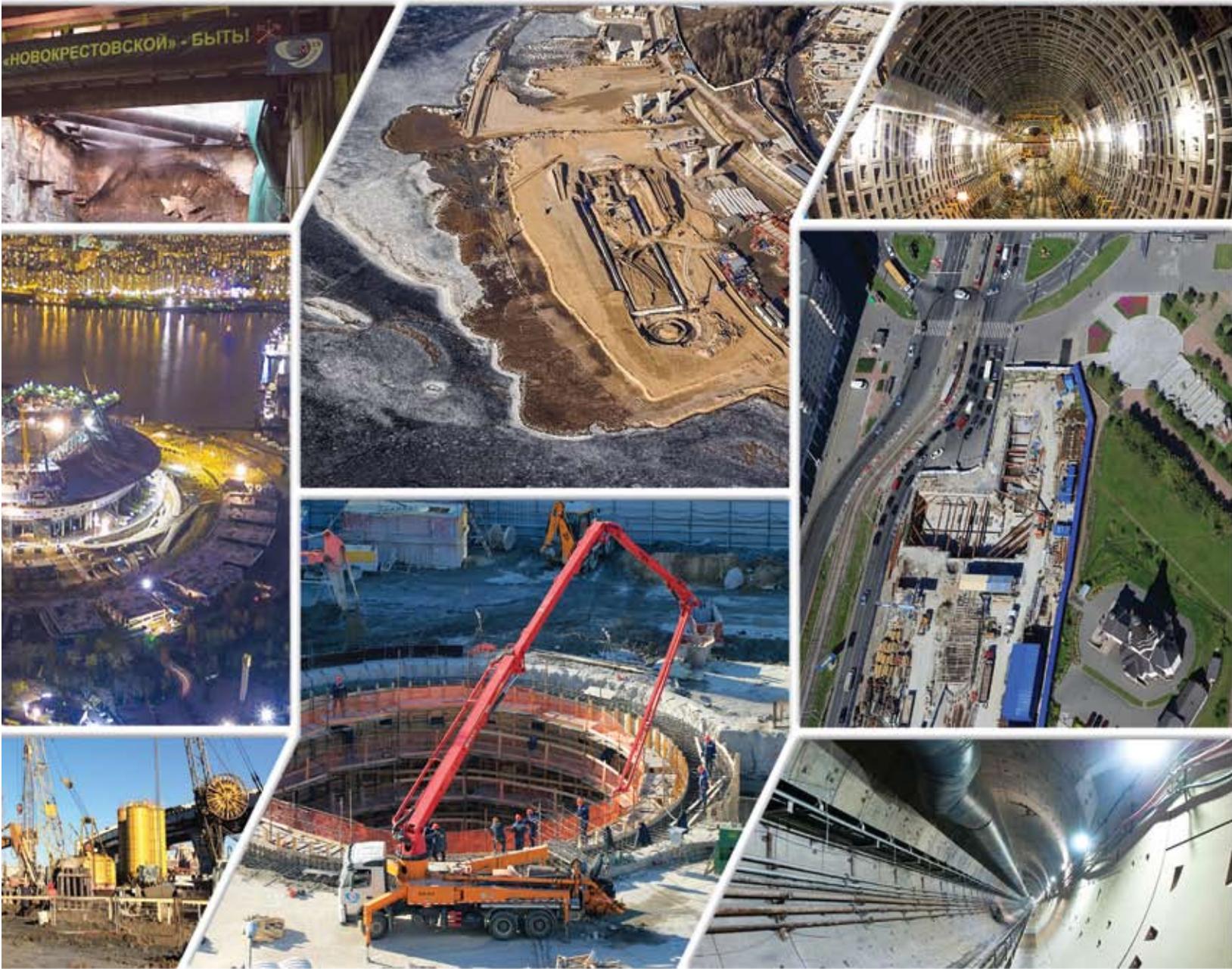
Подробнее  
на стр. 58



**CTF**  
**SAURON**



# ЗАО «УПРАВЛЕНИЕ -15 МЕТРОСТРОЙ»



192102, Санкт-Петербург, ул. Фучика, д. 4, лит. К  
Тел./факс: (812) 640-89-90



### Уважаемые читатели!

Как показывает мировая история, экономический кризис может выступать стимулом к решению тех проблем, которым в более благополучные времена должного внимания не уделялось. Совпадение это или закономерность, но именно за последние два года была проделана основная часть колоссальной работы по созданию в России системы ценообразования в строительстве применительно к технологии ГНБ. В рамках этой работы разработаны 17 федеральных расценок на бестраншейное строительство подземных коммуникаций различного назначения из стали и 12 расценок на полиэтиленовые трубы.

Известно, что на сегодняшний день компании, работающие на этом рынке, испытывают серьезные трудности. Чтобы оценить масштаб и состояние этого рынка, на страницах нашего издания мы начинаем публикацию бизнес-калейдоскопа «Рынок ГНБ в России», в котором будут объединены его основные участники.

Еще одной важной (хоть и узкоспециализированной) темой номера стало обсуждение технологии «стена в грунте». В формате заочного круглого стола мнениями обменялись эксперты и специалисты-практики. Без скепсиса по поводу квалификации российских строителей не обошлось, но были представлены и трудовые победы. В целом получилась живая дискуссия.

При этом «за бортом номера» не осталось и комплексное освоение городского подземного пространства. Мы продолжаем публикацию материалов петербургской конференции ACUUS, затрагивающих, в частности, теоретические аспекты строительства под землей в Москве. А градостроительная практика столицы представлена репортажем о готовящемся открытии второй станции метро «Деловой центр» — одного из ключевых объектов транспортно-пересадочного узла, который станет одним из крупнейших в Европе.

Однако и петербуржцам тоже есть чем гордиться. Метростроители Северной столицы рапортовали об успехах, связанных с подготовкой транспортной инфраструктуры к Чемпионату мира по футболу 2018 года. Готова к проведению футбольных матчей Zenit-Арена, завершена проходка двухпутного тоннеля и его сбойка с котлованом станции «Новокрестовская».

Не могли мы не отметить и такое радостное событие, как юбилей. 31 марта отмечает 70-летие один из активных участников реализации этого проекта, Управление механизации — филиал ОАО «Метрострой», с чем мы искренне и поздравляем весь его коллектив.

*С пожеланием грандиозных перспектив и великих свершений,  
Сергей Зубарев,  
главный редактор журнала «Подземные горизонты»*

## Журнал «ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ»

Официальный информационный партнер:

- Комитета по освоению подземного пространства НОСТРОЙ;
- Объединения подземных строителей и проектировщиков;
- Международной Ассоциации Фундаментостроителей

### №12 март/2017

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-57244 от 12.03.2014

Учредитель **Регина Фомина**

Издатель **ООО «Информационное агентство «ТехИнформ»**

Генеральный директор

**Регина Фомина** (info@techinform-press.ru)

Заместитель генерального директора

**Ирина Дворниченко** (pr@techinform-press.ru)

#### РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор

**Сергей Зубарев** (redactor@techinform-press.ru)

Дизайнер, бильд-редактор

**Лидия Шундалова** (art@techinform-press.ru)

Руководитель службы информации

**Илья Безручко** (bezruchko@techinform-press.ru)

Перевод **Тамары Невлевой**

Корректор **Мила Дмитриева**

Руководитель отдела стратегических проектов

**Людмила Алексеева** (editor@techinform-press.ru)

Руководитель службы рекламы,

маркетинга и выставочной деятельности

**Нелля Кокина** (roads@techinform-press.ru)

Руководитель отдела подписки и распространения

**Нина Бочкова** (public@techinform-press.ru)

#### Отдел маркетинга:

**Наталья Гунина** (mail@techinform-press.ru)

**Ирина Голоухова** (market@techinform-press.ru)

**Полина Богданова** (post@techinform-press.ru)

#### ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

**В.Н. Александров**, генеральный директор ОАО «Метрострой»

**С.Н. Алпатов**, генеральный директор Объединения подземных строителей и проектировщиков, президент Российского общества по внедрению бестраншейных технологий

**Андреа Беллоккьо**, руководитель проектов компании Rocksoil S.p.A (Италия)

**А.И. Брейдбурд**, президент МАС ГНБ, генеральный директор ООО «Нефтегазспецстрой»/ГК «ЮНИРУС»

**С.В. Кидяев**, генеральный директор АО «Объединение «ИНГЕОКОМ»

**А.С. Кириллов**, генеральный директор ООО «ГНБ-Лидер»

**А.П. Ледяев**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Тоннели и метрополитены»

**М.Е. Рыжевский**, к.т.н., президент компании MTR Ltd

**В.М. Улицкий**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Основания и фундаменты» ПГУПС

**Е.В. Щекудов**, к.т.н., директор филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены»

Адрес редакции: 1921007, Санкт-Петербург,

ул. Тамбовская, д. 8, лит. Б, оф. 35

Тел./факс: (812) 490-47-65; (812) 905-94-36

office@techinform-press.ru

www.techinform-press.ru

Установочный тираж 8 тыс. экз. Цена свободная.

Подписано в печать: 17.03.2017

Заказ №

Отпечатано в ООО «АКЦЕНТ типография», 194044, Санкт-Петербург, Большой Сампсониевский пр., д. 60, лит. И

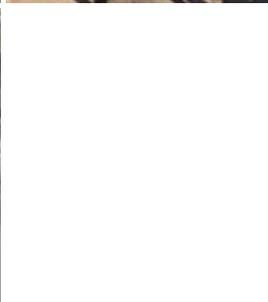
За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Сертификаты и лицензии на рекламируемую продукцию и услуги обеспечиваются рекламодателем. Любое использование опубликованных материалов допускается только с разрешения редакции.

Информационное сотрудничество: Интернет-портал undergroundexpert.info

Подписку на журнал можно оформить по телефону  
**(812) 490-47-65** и на сайте: **www.techinform-press.ru**

# С НАМИ СТРОИТЬ ЛЕГКО!



**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО  
подземных частей технически сложных  
и уникальных объектов:**

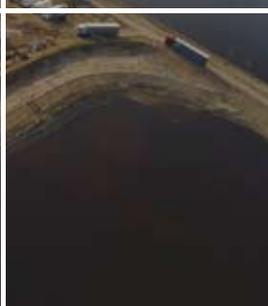
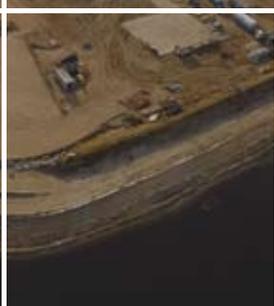
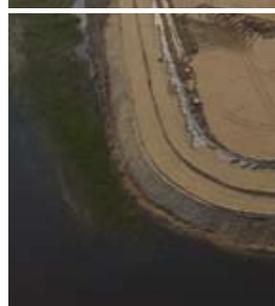
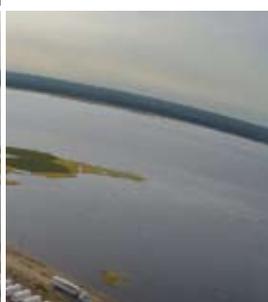
подземные автостоянки;  
транспортные развязки;  
гидротехнические сооружения

**ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНОВ**

**ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ**

**УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ**

**ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ  
на памятниках истории и архитектуры**



г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35 тел./факс: (342) 236 90-70

ИЖЕВСК: ..... (3412) 56-62-11 МОСКВА: ..... (495) 643-78-54

КРАСНОДАР: ..... (861) 240-90-82 САНКТ-ПЕТЕРБУРГ: (812) 923-48-15

КРАСНОЯРСК: ..... (391) 208-17-15 ТЮМЕНЬ: ..... (3452) 74-49-75

КАЗАНЬ: ..... (843) 296-66-61 УФА: ..... (917) 378-07-48

РОСТОВ-НА-ДОНУ: (863) 311-36-36 ЧЕЛЯБИНСК: ..... (351) 223-24-53



**ОАО «НЬЮ ГРАУНД»**

[www.new-ground.ru](http://www.new-ground.ru)

[info@new-ground.ru](mailto:info@new-ground.ru)





## Содержание / Contents



Стр. 6-9

### Экспертное мнение / Expert Opinion

- 6 *И. Н. Шустов.* Гармонизация законодательства — основа развития городского подземного пространства  
*I.N. Shustov.* Harmonization of legislation is a basis of the development of the city underground space

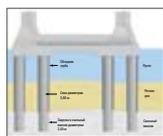


Стр. 10-13

- 10 *В. П. Коротаев.* Новые принципы пространственной организации российского мегаполиса  
*V.P. Korotaev.* New principles of the spatial organization of the Russian megalopolis

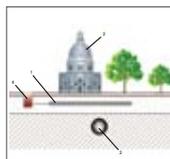
### Исследования / Research works

- 14 *М. Г. Зерцалов, М. В. Никишкин, И. Н. Хохлов.* Расчет буронабивных свай в скальных массивах на вертикальную и горизонтальную нагрузки  
*M.G. Zertsalov, M.V. Nikishkin, I.N. Khokhlov.* On the calculation of bored piles in rock formations for the vertical and horizontal load

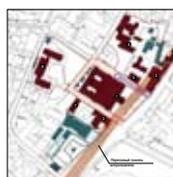


Стр. 14-18

- 19 *Л. В. Маковский, В. В. Кравченко.* Изучение технологии компенсационного нагнетания с применением математического моделирования



Стр. 18-21

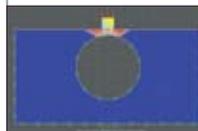


Стр. 22-25

- 22 *Л. В. Маковский, В. В. Кравченко.* Study of the compensation grouting technology using mathematical modeling

- 22 *Д. Е. Челушкин.* Обеспечение сохранности сооружений метрополитена при проходке инженерного коллектора щитовым способом.

*D.E. Chelushkin.* Ensuring the safety existing structures of the metro during the construction of the collector by TBM method



Стр. 26-27

- 26 *Г. Г. Карян.* О влиянии подземных сооружений на несущую способность грунтовых оснований

*G. G. Karyan.* Study of the influence of underground structures on subsoil bearing capacity



Стр. 28-29

### Строительный практикум / Workshop for building

- 28 *И. Н. Сотников.* Фундаменты и осадка Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге  
*I.N. Sotnikov.* Ground work and subsidence of Saint Isaac's Cathedral in Saint Petersburg



Стр. 30-31

- 30 «ДСИ Техно»: глобальные решения в подземных разработках  
 DSI Techno: global solutions in underground mining



Стр. 32–37



Стр. 38–45



Стр. 50–52



Стр. 53–57



Стр. 58–59



Стр. 60–61



Стр. 62–63

- 32 М. И. Никитенко. Особенности взаимодействия анкерных свай «Титан» и «Геоизол» с грунтами  
M.I. Nikitenko. Peculiarities in interaction of Titan and Geozol anchor piles with soils

- 38 Стена в грунте: технология и конструкция (заочный круглый стол)  
Diaphragm walls: technology and design

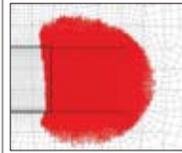
### **Бестраншейные технологии / Trenchless Technologies**

- 46 Рынок ГНБ в России  
Horizontal directional drilling market of Russia
- 50 О формировании цивилизованного строительного рынка  
On the formation of civilized construction market
- 53 А. И. Брейдбурд. ГНБ в России: проблемы и решения  
A.I. Braydburd. Horizontal directional drilling in Russia: problems and solutions

- 58 М. А. Зуев, В. И. Жуков.  
Оборудование фирмы Sauron для сварки труб из термопластов встык нагретым инструментом (ООО «ЦентрТехФорм»)  
M.A. Zuyev, V.I. Zhukov. Sauron equipment to butt-weld pipes from thermoplastic by a heated tool

- 60 ООО «СЕНСЕ ГНБ»: российские инновационные разработки для ГНБ  
LLC “SENSE horizontal directional drilling”: Russian innovations

- 62 Первое применение метода Direct Pipe для прокладки газопровода в Польше (ООО «Херренкнехт тоннельсервис»)  
First use of Direct Pipe method for gas pipelining in Poland (Herrenknecht)



Стр. 64–66  
Р. 67–69



Стр. 70–73  
Р. 74–77



Стр. 78–81



Стр. 82–84



Стр. 85–87



Стр. 88–89



Стр. 90–92

### **Мировой опыт / International Practices**

- 64 П. Луарди. Управление деформацией экструзии лба забоя как средство стабилизации тоннельной выработки  
P. Lunardi. Extrusion control of the ground core at the tunnel excavation face as a stabilisation instrument for the cavity
- 67 P. Lunardi. Extrusion control of the ground core at the tunnel excavation face as a stabilisation instrument for the cavity
- 70 Фан-Лэ Пэн, Чао Ян. Строительство тоннелей для инженерных коммуникаций в Китае  
Chao Yang, Fang-Le Peng. Discussion on the Development of Underground Utility Tunnels in China
- 74 Чжао Ян, Фан-Лэ Пэн. Обсуждение развития подземных коммунальных тоннелей в Китае  
Chao Yang, Fang-Le Peng. Discussion on the Development of Underground Utility Tunnels in China

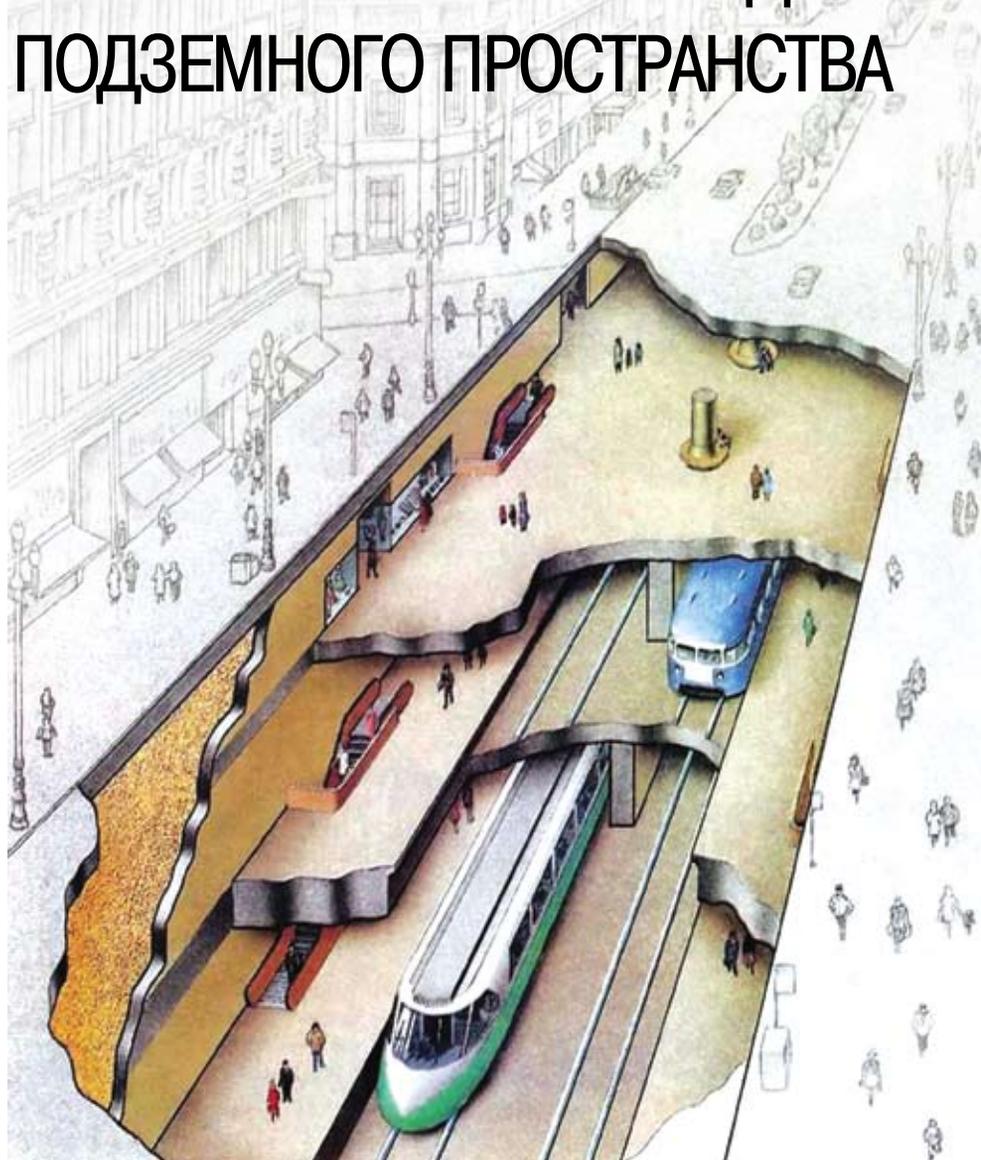
### **Метрополитены / Subway**

- 78 Третий пересадочный контур: на низком старте  
Third interchange circuit: on the starting blocks
- 82 Метрострой: все идет по плану  
Metrostroy. Everything is proceeding according to the plan
- 85 Хроника большой стройки (Управление механизации – филиал ОАО «Метрострой»)  
Chronicles of large construction (Administration-15 Metrostroy)
- 88 «Управление-15 Метрострой»: технология подземных побед  
Administration-15 Metrostroy: technology of underground victories
- 90 Применение битумно-полимерного материала «Дорфлекс®» для гидроизоляции в метрополитене (ООО «Инновационные технологии»)  
Use of Dorflex® bitumen polymeric materials for waterproofing in metro (Innovatsyonnyye tekhnologiyi LLC)

И. Н. ШУСТОВ,  
руководитель ГКУ «Московский центр  
градостроительного развития  
территорий» (Мосградцентр)

*In the Russian Federation, urban development of territories is governed by regulatory acts related to various branches of legislation. This determines the need for their harmonization at the level of federal laws in order to create favourable legal conditions for private investment in underground construction, exclude unjustified administrative barriers and obtain state guarantees of property rights for underground structures.*

# ГАРМОНИЗАЦИЯ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА — ОСНОВА РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА



**В Российской Федерации градостроительное развитие территорий на сегодняшний день регулируется нормативными правовыми актами, относящимся к различным отраслям законодательства. Этим определяется потребность в их гармонизации на уровне федеральных законов с целью гарантированного соблюдения публичных интересов и одновременно создания благоприятных правовых условий для частного инвестирования в подземное строительство, исключения необоснованных административных барьеров, получения государственных гарантий имущественных прав на сооружения под землей.**

**В**опросы подземного строительства в России затрагивает и природоохранное законодательство, включая земельное и гражданское законодательство, и законодательство о государственном кадастровом учете, регистрации имущественных прав на недвижимость, и законодательство о недрах, регламентирующее использование территории РФ ниже земной поверхности, и собственно градостроительное законодательство.

В гармонизации правовых актов, регулирующих освоение подземного пространства, особенно нуждаются города, планирующие создать современную комфортную среду в границах сложившихся застроенных территорий, где вся наземная недвижимость имеет своих владельцев, и в первую очередь — это города с большим количеством объектов исторического и культурного наследия.

### Проблемы освоения подземного пространства в городах

Историческая часть крупных городов, как правило, имеет плотную застройку, насыщена расположенными по соседству объектами культуры, исторического наследия, зонами их охраны, а также общественными зданиями, являющимися центрами притяжения населения.

Возможность создания современной комфортной городской среды в таких условиях существенно затрудняется и необходимостью сохранения сложившегося облика наземной территории, и наличием имущественных прав на землю и иную недвижимость.

Российским законодательством однозначно регламентированы случаи государственных или муниципальных нужд, когда земельные участки могут быть на основании судебного решения и при условии предварительного и равноценного возмещения изъяты у их владельцев.

Обусловленные этим ограничения в большинстве случаев не позволяют образовать и предоставить заинтересованным лицам территорию, необходимую для проектирования и размещения подземных сооружений, обеспечивающих в рамках создаваемого общественного пространства связанность наземных объектов как между собой, так и, например, с имеющимися станциями метрополитена. Суть заключается в том, что в соответствии с земельным и градостроительным законодательством в таких случаях происходит использование чужой недвижимости, что запрещено без согласия ее владельцев.

Еще более усложняет ситуацию наличие требований Закона РФ «О недрах», который был принят в 1992 году. Несмотря на измене-

ния, регулярно вносимые в этот документ, он по-прежнему содержит положения, выводящие процесс проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, из общего процесса нормативного регулирования размещения объектов капитального строительства, предусмотренного градостроительным законодательством. Правовое регулирование освоения городского подземного пространства в рамках данного ФЗ осуществляется по остаточному принципу и практически не позволяет решать задачи градостроения.

Абсурдный пример из недавней практики. В Правительство Москвы обратилась организация, планирующая построить здание на принадлежащем ей земельном участке, где уже расположено несколько ее же зданий. Потребовалось заключение об отсутствии полезных ископаемых под местом будущей стройки, согласно закону «О недрах». При этом Градостроительный кодекс РФ содержит закрытый перечень документов, необходимых для выдачи разрешения на строительство, где наличие такого заключения не предусмотрено, что вполне закономерно. Ведь даже если под Москвой обнаружится месторождение нефти, никто не станет сносить столичную застройку для его разработки.

Этот пример демонстрирует один из необоснованных административных барьеров для городского подземного строительства, что в данном случае является следствием неточной нормы законодательства о недропользовании.

Кроме того, ни Градкодекс, ни закон «О недрах» не регулируют территориальное планирование размещения подземных сооружений, то есть не предусматривают (хотя и не запрещают) их отображение в генеральных планах городов.

Несоответствие норм ряда федеральных законов стала побудительным мотивом для того, чтобы в российской столице занялись выработкой комплекса мероприятий, позволяющих создать благоприятные условия для подземного строительства. В частности, Правительством Москвы утверждена государственная программа «Градостроительная политика», срок действия которой пока ограничен 2018 годом. Задачей одной из восьми ее подпрограмм является развитие подземного пространства для сбалансированного развития территории города. Предусмотрено формирование предложений по размещению объектов многофункционального общественного пространства Москвы под землей в качестве одного из условий создания современной комфортной городской среды.

### Краткое описание состояния законодательства

В России действуют два ключевых закона, подлежащих применению в границах городских территорий в связи с планированием размещения, проектированием, строительством и эксплуатацией подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых. Это Закон РФ «О недрах» и Градостроительный кодекс РФ.

В соответствии с первым из них, недра являются в государственной собственности, а их участки могут предоставляться в пользование на основании лицензии. Архаичная система лицензирования в данном случае сохранилась несмотря на то, что по Гражданскому кодексу РФ речь здесь идет об объектах недвижимости. Лицензия удостоверяет как границы самого участка недр, так и права ее владельца на пользование им.

Применительно к подземному строительству эта система лицензирования до настоящего времени заменяет собой действующие в России уже почти два десятилетия государственные системы кадастрового учета и регистрации прав на недвижимость, гарантирующие имущественные права.

Более того, вступивший в силу с 1 января 2017 года Федеральный закон «О государственной регистрации недвижимости» исключает участки недр из сферы своего действия. В то же время ст. 33 недавно принятого Федерального закона «О государственно-частном партнерстве» содержит указание на возможность нахождения участка недр в аренде. Каким образом в таком случае должна происходить регистрация права аренды, однако, не указано ни в том, ни в другом документе.

Лицензия оправдана как разрешение на добычу полезных ископаемых, но применительно к городским подземным сооружениям представляется избыточным требованием, поскольку для строительства объекта недвижимости необходимо получить отдельное разрешение в соответствии с градостроительным законодательством. Таким образом, длительная процедура лицензирования становится излишним административным барьером.

Также в настоящее время объекты капитального строительства под землей не выделяются как отдельные объекты недвижимости, а лишь устанавливается возможность в документах кадастрового учета указать количество подземных этажей и глубину конструктивных элементов. Отсюда возникают удивительные явления, когда при государственной регистрации прав в качестве объекта фигурирует фактически вход или въезд

в него, а основная часть описывается как «подземные этажи».

Таким образом, в настоящее время участки недр и подземные сооружения исключены из единообразного правового регулирования Российской Федерации, уже два десятилетия функционирующего для иных объектов недвижимости.

В силу этого государственные гарантии наличия имущественных прав и их перехода при совершении сделок с подземными сооружениями не столь убедительны, как для иной недвижимости, что не способствует вовлечению таких объектов в гражданский оборот и привлечению частных инвестиций для их строительства.

По закону «О недрах» размещение подземных сооружений начинается с образования и предоставления участков недр в предварительных границах, а необходимые земельные участки для целей недропользования определяются после уточнения границ участка недр, согласования и утверждения технического проекта или проектной документации.

По Градостроительному кодексу сначала образуется и предоставляется земельный участок, а в случае, если подземное сооружение в проекции его границ будет располагаться ниже 5-метровой отметки, потребуются образование участка недр с получением соответствующей лицензии.

При ее выдаче, однако, устанавливаются только предварительные границы горного отвода, а для установления уточненных границ участка необходима разработка технического проекта, куда (согласно утвержденному Правительством РФ «Положению о подготовке, согласовании и утверждении технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых...») включаются мероприятия по безопасному ведению работ, рациональному использованию недр, охране окружающей среды и консервации, типы и способы строительства, оптимальные режимы эксплуатации.

При этом согласно Градостроительному кодексу для получения разрешения на строительство необходимо представить проектную документацию, которая подготавливается на основании результатов инженерных изысканий, также проводимых для исследования природных условий, воздействия на окружающую среду, обоснования конструктивных решений и т. п. Безопасность ведения работ подтверждается результатами экспертизы.

Таким образом, при строительстве подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, инвестору юридически необходимо дважды осуществлять изыскания, оформляя при этом два комплекта документов на разных стадиях

подготовки проекта, причем согласование их осуществляется не в одном, а в разных органах власти.

Сложная правовая конструкция порой приводит к тому, что подземные этажи зданий, даже если они расположены глубже 5 м от земной поверхности, строятся без формирования участка недр и получения лицензии на их использование, то есть с нарушением ныне действующих норм законодательства.

Как уже было сказано, ни закон «О недрах», ни Градостроительный кодекс не содержат явных предписаний, связанных с важнейшей стадией планирования размещения подземных сооружений — отображением их на картах схем территориального планирования субъектов РФ или генпланов городов. Это также не создает благоприятных и конкурентных условий для привлечения частных инвестиций, поскольку никто из заинтересованных представителей бизнеса не может открыто и заблаговременно получить сведения о предполагаемом строительстве. При этом нет никакой гарантии, что, проведя свои собственные исследования, затратив время и средства и представив предложения городским властям, инвестор не получит отказ, поскольку у города могут быть другие планы по использованию данной территории.

Наличие перечисленных выше несоответствий правовых норм и проведенный анализ правоприменительной и судебной практики в различных регионах РФ свидетельствуют о необходимости гармонизации действующего законодательства. Особенно актуальной такая корректировка становится в условиях, когда для подземного строительства целесообразно использовать не только бюджетное, но и частное финансирование.

Должны быть сформированы абсолютно понятные и непротиворечивые нормы, позволяющие при сохранении государственной собственности на недра обеспечить соблюдение публичного интереса и гарантии имущественных прав для инвесторов, а также исключающие любые необоснованные барьеры, в том числе административные.

## **Предлагаемые подходы к уточнению законодательства**

По результатам анализа российского законодательства специалистами ГКУ «Мосградцентр» выявлен ряд положений, корректировка которых будет способствовать созданию благоприятных условий для привлечения частного капитала в подземное строительство в городах.

Предложения представлены в форме Концепции проекта федерального закона об освоении подземного пространства в

целях размещения подземных объектов капитального строительства местного и регионального значения, не связанных с добычей полезных ископаемых, в участках недр местного значения.

В Комплексе градостроительной политики и строительства Правительства Москвы, с учетом рассмотрения данной инициативы в Минстрое, Минэкономразвития и Минприроды России, создана рабочая группа по подготовке текста соответствующего законопроекта. В ее состав, наряду с представителями федеральных министерств, включены представители Российской академии архитектуры и строительных наук, Московского государственного строительного университета, Национального объединения изыскателей и проектировщиков.

Планируется использовать применимый в российских условиях зарубежный опыт освоения подземного пространства, в том числе в таких городах, как Монреаль, Сеул, Токио.

Кроме того, результаты работы будут задействованы для формирования согласованных предложений по совершенствованию не только федерального, но и московского регионального законодательства, что позволит создать благоприятные условия для привлечения частных инвестиций в освоение подземного пространства в границах застроенных территорий города.

Концепция предусматривает, в частности:

- отказ от лицензирования недропользования в целях строительства подземных объектов, не связанных с добычей полезных ископаемых;

- установление особенностей проведения изысканий, проектирования, строительства и последующей эксплуатации подземных сооружений, в том числе на территориях объектов исторического или культурного наследия, а также в их охранных зонах;

- установление обязательности включения в состав документов территориального планирования карт, предусматривающих размещение подземных сооружений;

- предоставление права подготовки проектной документации подземного сооружения пользователю недр;

- установление единства судьбы участка недр и подземного сооружения: следование права пользования таким участком за правом собственности на подземное сооружение;

- установление единых правил государственного кадастрового учета и регистрации прав на участки недр и подземные сооружения — таких же, как и для прочих объектов недвижимости.

Результаты, полученные в ходе работы, планируется вынести на обсуждение в заинтересованных профессиональных сообществах. ■



**MiningWorld**  
Russia

# MiningWorld

21-я Международная выставка  
машин и оборудования  
для добычи, обогащения  
и транспортировки  
полезных ископаемых

25–27 апреля 2017  
Москва, Крокус Экспо

Подробнее о выставке  
[miningworld.ru](http://miningworld.ru)



Всегда  
в центре  
событий

12+

Организаторы:



primexpo



+7 (812) 380 60 16/00 • [mining@primexpo.ru](mailto:mining@primexpo.ru)

В. П. КОРОТАЕВ,  
заслуженный архитектор России,  
заместитель директора —  
руководитель отделения  
пространственного и региональ-  
ного развития ФГБНИУ «Совет по  
изучению производительных сил»

*In the current context, the development of any large city, particularly, of the largest metropolitan area in the world – Moscow – requires constant careful consideration and understanding of basic principles of its spatial organization, including the huge potential of the underground space. Using the Russian capital as an example, we do give you an opportunity to consider some of the possible solutions to improve the city-planning structure.*

# НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ РОССИЙСКОГО МЕГАПОЛИСА



**В современных условиях развитие любого большого города, а уж тем более одной из крупнейших агломераций мира — Москвы, — требует постоянной тщательной проработки и осмысления основных принципов его пространственной организации, включая огромный потенциал подземного пространства. На примере российской столицы предлагается рассмотреть некоторые возможные решения по совершенствованию градостроительной структуры.**

**К**омплексное освоение подземного пространства подразумевает создание под землей развитой инфраструктуры и крупных сооружений. Благодаря этому появится возможность сформировать развитую систему пешеходных зон и транспортно-пересадочных узлов, многофункциональных общественных центров, обеспечить максимальную доступность объектов обслуживания населения. Под землей возможно и необходимо размещение временных и постоянных парковок автотранспорта при комплексной реконструкции сложившейся жилой застройки, производственно-складских и инженерных сооружений. При этом требуются интенсификация использования сохраняемых производственных территорий и городских магистралей, создание новых линий скоростного внеуличного общественного транспорта, энергетических объектов.

Застройка жилых районов также должна вестись с максимальным учетом соответствующих возможностей. В частности, гаражное

строительство может быть вынесено в систему объектов под зданиями в интеграции с существующей улично-дорожной сетью. Здесь также важен комплексный подход. Наряду с автостоянками, инфраструктура подземных объектов, как известно, может включать в себя спортивные и зрелищные залы, театры, предприятия торговли, бытового обслуживания, общественного питания, автосервиса. Под землей можно вынести и часть улично-дорожной сети. Это обеспечит максимальную безопасность и в значительной степени улучшит экологическую обстановку в жилых районах. В «подземном исполнении» могут быть и различные склады, а также сооружения инженерной инфраструктуры — трансформаторные подстанции, объекты централизованного сбора и удаления мусора и т. д. Благодаря размещению всего этого под землей в наземной части освобождается место, в частности, для устройства зеленых зон.

Многие мегаполисы разных стран, как и Москва, имеют моноцентрическую простран-

ственную структуру, и их проблемы похожи. Со временем такие города теряют качество жизни из-за избыточной транспортной нагрузки, особенно в центральной части. Стратегия полицентрического развития при этом на сегодня уже принята многими крупными городскими агломерациями мира, включая Москву.

На примере столицы к рассмотрению предлагаются некоторые принципы пространственной организации крупнейших городов России и совершенствования их градостроительной структуры благодаря освоению подземного пространства.

### «Компактный город»

Во многих странах мира концепция «компактного города» является одной из приоритетных. Высокая концентрация населения и инфраструктуры позволяет добиться наибольшей экономической эффективности на единицу территории, что было просчитано еще в 1944 году. «Парадокс компактного города» (Vreheny, 1993) при этом заключается в том, что такая пространственная организация экологична, и чем больше развито городское подземное пространство, тем лучше качество окружающей среды, тем больше места выделяется для зеленых и пешеходных зон.

Тенденция создания «компактного города» требует пересмотра концепций развития многих инфраструктур и, прежде всего, транспортной. В основу закладывается уменьшение доли автомобильного движения с заменой его транспортом внеуличным, рельсовым, функционирующим в подземном пространстве.

Относительно развития Москвы, однако, в последнее время принято несколько градостроительных решений, которые в ближайшем будущем негативно скажутся на реализации данной концепции. Прежде всего, речь идет о неоправданном и необоснованном, на наш взгляд, расширении границ мегаполиса более чем в два раза, а также о продолжении интенсивного строительства жилья без учета потенциала подземного пространства, как в старых границах города, так и на присоединенных территориях. При этом не меняется старый, отраслевой подход к формированию транспортной и инженерной инфраструктуры.

В целях реализации концепции «компактного города» необходимо сформировать комплексную программу структурной реорганизации территории с учетом подземного вектора развития.

### «Пространственный город»

В основу данной концепции должно быть заложено осознание ценности городских

пространств во всей их сложности, уникальности и многообразии. В процессе развития современного города происходят серьезные изменения в его пространственных характеристиках. Это транспортная инфраструктура и, прежде всего, автомагистрали I и II класса непрерывного движения. Появление таких многорядных автомобильных дорог с многоярусными эстакадами и развязками вносит существенные изменения в пространственную структуру города, которые сделают его, наряду с временным улучшением транспортной ситуации, менее комфортным для жителей. Городская территория практически оказывается многократно разделенной на отдельные, плохо связанные между собой фрагменты.

Примером решения подобных проблем могут послужить проекты реорганизации градостроительной структуры Бостона (Биг-Диг), Мадрида (Мадрид Рио), Сеула (Чхонгечхон).

Максимальное разделение в пространстве пешеходных и транспортных потоков, создание комфортных пешеходных зон, максимально возможное размещение под землей линий движения рельсового и автомобильного транспорта позволяют постепенно сделать мегаполисы России, начиная с Москвы, более удобными для проживания.

### «Транспортно-ориентированный город»

В основу концепции транспортно-ориентированного города должны быть заложены новые принципы градостроительного развития с учетом использования подземного ресурса. Обобщение современных приоритетов потребует фундаментального пересмотра старой, неустойчивой парадигмы, которая делала акцент на автомобилизацию. Вот некоторые принципы организации транспортно-ориентированного города:

- организация комфортных и привлекательных условий для пешеходного движения;
- концентрация застройки в пешеходной доступности от сетей общественного транспорта;
- минимизация всех ежедневных обязательных передвижений человека в городе;
- повышение мобильности передвижения человека в городе;
- оптимизация плотности застройки и пропускной способности общественного транспорта.

Соблюдение этих принципов возможно только при максимальном использовании подземного пространства.

### «Исторический город»

Для создания более комфортных условий жизни во всех крупнейших мегаполисах мира пытаются решать задачи наиболее эффективного и сбалансированного использования их территории.

Для Москвы система общественных пространств также является важнейшим структурным элементом, формирующим наиболее существенную часть каркаса общегородского центра, его «столичную» составляющую.

В центральной части города наблюдается нарушение функционального баланса, выраженное в соотношении площадей жилой застройки, озелененных участков и территорий природного комплекса, объектов административно-деловой сферы. Наземный резерв центра практически исчерпан. Периферийная часть города и внешний пояс центральной зоны отстают в развитии инфраструктуры, что приводит к увеличению функциональной нагрузки на зону в пределах Садового кольца.

Система городского центра (общественных пространств) крайне неоднородна и зависит от степени приближения к «историческому ядру», в связи с чем, соответственно, предлагаются разные варианты ее развития и трансформации. При этом новое строительство должно осуществляться исключительно в рамках регенерации и воссоздания объектов.

Среди проблем рассматриваемой зоны — перегруженность станций метрополитена и улично-дорожной сети, которые работают на пределе пропускной способности. Здесь наблюдается острый дефицит мест парковки и хранения автомобилей, возрастающий дискомфорт городской среды — общественных и пешеходных пространств, отставание в развитии транспортной инфраструктуры. Инженерные сети и головные инженерные объекты нуждаются в реконструкции. Помимо этого, на территории практически отсутствуют зеленые зоны, а также ощущается нехватка объектов повседневного социально-бытового обслуживания. Подземное пространство от Тверского бульвара до площади Большого театра используется на 8%.

Конечно, земля центра Москвы имеет высокую стоимость, территория обладает высочайшим градостроительным потенциалом и хорошей транспортной доступностью. Здесь расположены памятники архитектуры и истории, другие ценные объекты, значимые для развития туристической отрасли. Все эти факторы создают предпосылки для устойчивого позитивного градостроительного преобразования территории центра посредством освоения подземного пространства.



Схема развития многофункциональных подземных общественных пространств центральной части Москвы

На сегодняшний день небольшое число реализованных проектов строительства под землей в центральной зоне Москвы между собой не связано. Однако в структуре общегородского центра необходимо развивать именно систему подземных общественных пространств, единую комфортную пешеходную инфраструктуру.

### Многофункциональные общественные пространства

Создание многофункциональных подземных общественных пространств должно стать одним из основных направлений развития центра Москвы. Их система может быть сформирована, следуя основным транспортным направлениям, связывающим центральную часть города с его периферией. Это, например, такие городские артерии, как Новый Арбат, Тверская улица, проспект Академика Сахарова. Каркасом для развития подземной пешеходной инфраструктуры должны стать транспортно-пересадочные узлы, сформированные на основе станций метрополитена. Создание единой системы, ориентированной на пешехода, объединит сложившуюся структуру общественных пространств и будет способствовать устойчивому развитию города.

Развитие негативных процессов в центральной части Москвы обусловлено высокой

плотностью застройки, теснейшим переплетением на одной территории различных, в том числе малосовместимых функций, вследствие чего центр города постоянно генерирует конфликтные градостроительные и социальные ситуации. Усовершенствование функционально-планировочной и архитектурно-пространственной структуры территории с помощью эффективного освоения подземного пространства приведет к высвобождению земельных участков под пешеходные зоны и озеленение, снижению интенсивности транспортного движения и сокращению площадей наземных парковок. Как следствие, мы сможем развивать и полнее использовать функциональные особенности центра, соблюдая существующие градостроительные ограничения, сохраняя этажность и масштаб среды, ценную архитектурную застройку, а также улучшить экологическую ситуацию в городе в целом.

### Подземные объекты инженерной инфраструктуры

Создание подземных объектов инфраструктуры — один из основных резервов пространственного развития городского центра.

Примером соответствующего комплексного подхода может служить проект «Будущее города» (Urban Futures), финансируемый

государственным Советом по инженерно-физическим наукам (Engineering and Physical Sciences Research Council) Великобритании, который пытается планировать будущее городской инфраструктуры до 2050 года.

Важнейшим направлением развития инженерных сетей должно стать строительство многофункциональных тоннелей-коллекторов — утилизаторов (Hunt, D.V.L., Jefferson, I. and Rogers, C.D.F. 2010. A toolkit for testing sustainable use of underground space in future scenarios). Ожидается, что широкое распространение получат вакуумные трубопроводы для транспортировки канализационных отходов, мусора и даже полезных грузов, осуществляющие данные операции с помощью разницы в давлении воздуха (Pneumatic waste collection). Подземное пространство также будет активно использоваться для сбора, очистки и хранения питьевой воды, для теплообмена и хранения геотермальной энергии.

### Общегородские центры и транспортно-пересадочные узлы

Создание многофункциональных общегородских центров — одно из основных направлений совершенствования пространственной структуры Москвы. Одними из самых важных точек роста и территориями приоритетной градостроительной реорганизации должны стать крупнейшие транспортно-пересадочные узлы регионального уровня, где предполагается сформировать многофункциональные общественные центры с максимальным использованием подземного пространства: «Сокол», «Петрово-Разумовский», «Ярославский», «Черкизовский», «Шоссе Энтузиастов», «Текстильщики», «Кунцевский», «Аминьевский», «Калужский», «Варшавский».

Планировочным каркасом пространственного развития Москвы и освоения подземного пространства должны стать транспортно-пересадочные узлы, интегрирующие метрополитен, пригородное железнодорожное сообщение и автомобильный транспорт. Как и в других крупнейших городах мира, основой для создания такой системы будут станции метро, на долю которого приходится более 40% пассажирских перевозок российской столицы.

Проблемы существуют следующие:

- плотность линий Московского метрополитена в 2 раза ниже, чем в Нью-Йорке, в 4 раза ниже, чем в Лондоне, и в 10 раз ниже, чем в Париже, в то же время интенсивность эксплуатации — самая высокая в Европе и одна из первых в мире;

■ московские железнодорожные вокзалы располагаются в центральной части города и создают здесь скопление большой массы людей, что привело к формированию некомфортной системы транспортно-пересадочных узлов;

■ в Москве более 50% транспортных пересечений работает в режиме перегрузки, а построенные автотранспортные тоннели лишь отчасти обеспечивают потребность столицы; обеспеченность подземными переходами составляет лишь 30–40% от существующей нормы.

Строительство современных ТПУ позволит снизить нагрузку на автодорожную сеть и перераспределить пассажиропотоки с автомобильного транспорта на метрополитен и Московскую железную дорогу. Кроме того, сеть подземных сооружений с транспортной функцией должна быть взаимоувязана с социальной инфраструктурой. Чтобы добиться максимального синергетического эффекта, наибольшей экономической эффективности, а также создания комфортной городской среды, многофункциональные общегородские подземные центры в составе ТПУ должны включать в себя и объекты коммерческого назначения. А для обеспечения их рентабельности, благодаря постоянному притоку посетителей, при разработке планировочных решений необходима организация транзитных пешеходных потоков через их территорию.

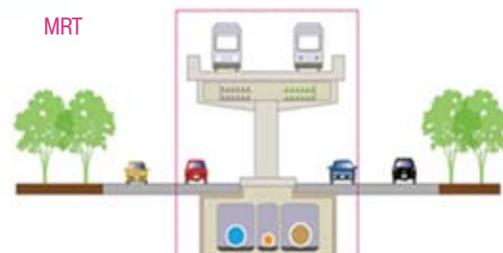
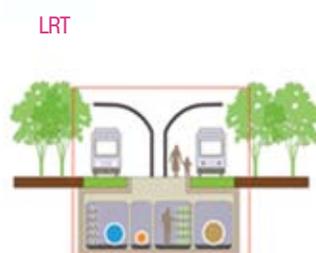
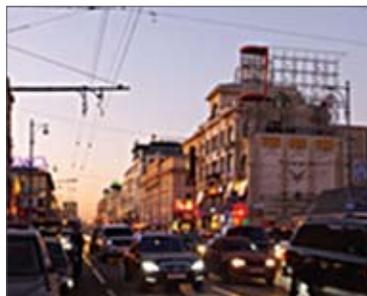
## Железнодорожные вокзалы

В Москве действуют девять железнодорожных вокзалов. Они работают в режиме перегрузки, особенно в «часы пик». Некоторые локальные градостроительные мероприятия, осуществленные в последние годы, улучшили ситуацию, но кардинально ее не изменили.

Все девять вокзалов не соответствуют современным требованиям, предъявляемым к ТПУ агломерационного значения. Они справляются с пассажиропотоками только благодаря метрополитену, который принимает основную нагрузку на пределе своих возможностей.

Пересадки на наземные виды транспорта здесь крайне некомфортны и небезопасны. На прилегающих территориях осуществляется и планируется строительство большого количества коммерческих объектов — офисов, гостиниц и торговых центров, которые будут дополнительной неучтенной нагрузкой. Районы всех девяти вокзалов нуждаются в серьезной реорганизации, которая потребует соответствующих финансовых затрат.

ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ №12. Март/2017



Предложение по реконструкции магистралей Москвы (вариант)



Предложение по реконструкции основных радиальных магистралей Москвы (вариант)

При этом необходимость уменьшения существующих здесь пассажиропотоков осознана уже давно.

Безусловно, только использование ресурса подземного пространства при строительстве транспортно-пересадочных узлов на базе новых вокзалов или зонных станций и реорганизация прилегающих к ним территорий позволит решить эту сложнейшую градостроительную задачу. Примером могут быть многие железнодорожные вокзалы городов Европы — Парижа, Антверпена, Штутгарта и т. д.

## Общегородские магистрали

Реорганизация автотранспортной инфраструктуры — одна из важнейших задач по повышению уровня подвижности населения и созданию комфортной городской среды. Плотность улично-дорожной сети в мегаполисе должна составлять примерно 25% его территории. В Москве это только около 10%. Однако реорганизация автотранспортной

инфраструктуры — проблема комплексная, и решать ее надо одновременно с улучшением условий пешеходного движения, связанности природных и рекреационных территорий.

Более локальной, но не менее важной проблемой для российской столицы стала необходимость реконструкции таких важнейших автомагистралей, как Ленинградский, Ленинский и Кутузовский проспекты. Потерять одну из «визитных карточек» Москвы — ее знаменитые и давно сформировавшиеся проспекты, — не такая уж далекая перспектива. Практика дорожно-мостового строительства в мегаполисе говорит о тенденциях создания «двухэтажных» радиальных магистралей.

Вместе с тем можно предложить к рассмотрению эффективные альтернативные варианты реорганизации городских автотранспортных артерий с учетом использования ресурса подземного пространства. Такие решения позволят сохранить основные исторические проспекты Москвы с озелененными и рекреационными территориями. ■

М. Г. ЗЕРЦАЛОВ,  
д. т. н., профессор НИУ МГСУ;  
М. В. НИКИШКИН,  
старший преподаватель  
НИУ МГСУ;  
И. Н. ХОХЛОВ,  
инженер АО «Мосинжпроект»

*Large diameter bored piles working in the conditions of compression are typically used to transfer loads from the ground constructions and buildings through the layers of soft ground to more solid underlying rocks. The article deals with the results of the numerical simulation and offers a method of calculation of piles in the rocky soil in conditions of the spatial problem developed on the basis of the results. It takes into account the work of the pile contact and rock mass.*

# РАСЧЕТ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ В СКАЛЬНЫХ МАССИВАХ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ И ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКИ

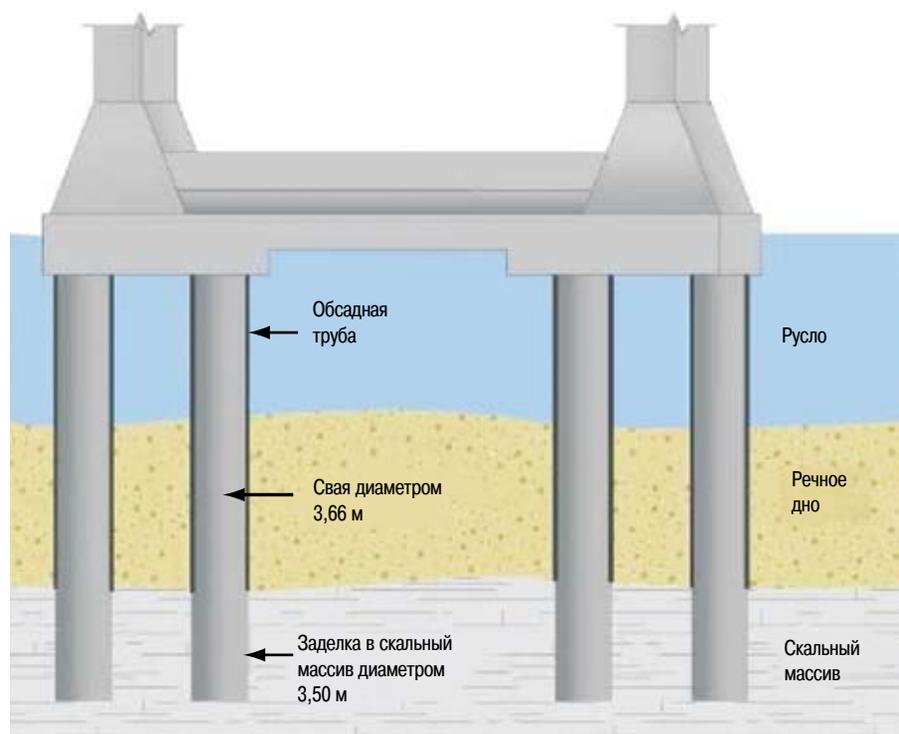


Рис. 1. Схема устройства свай-опор мостового перехода через р. Огайо, США

**Р**аботающие в условиях сжатия буронабивные сваи большого диаметра обычно используются для передачи нагрузки от наземных конструкций и сооружений через слои слабых грунтов на более прочные подстилающие скальные породы. Сваи могут либо опираться на скальное основание, либо заглубляться в него. При этом, как показывает мировая практика, их диаметр может меняться обычно в пределах от 0,5 до 2 м, а длина заглубленной части достигать 30 м и более (рис. 1).

Устройство подобных свай (см.: Zhang L., 2004, NCHRP Synthesis 360: Rock-socketed shafts for highway structure foundations, 2006) имеет следующие преимущества:

- при их сооружении отсутствуют шум и вибрация, что особенно важно при строительстве фундаментов в городах;
- легко оценивается качество основания, даже визуально по выходу выбуренной горной массы;

- диаметр и длина свай могут быть скорректированы в случае непредвиденных обстоятельств, связанных с точностью геологических исследований;

- буронабивные сваи могут сооружаться в грунтах с валунами и булыжниками, в том числе заглубляются в скальные массивы;

- сваи большого диаметра воспринимают более значительную нагрузку, что дает возможность снизить их количество и уменьшить объемы ростверков;

- при значительных горизонтальных нагрузках (например, ветровых, сейсмических) буровые сваи большого диаметра имеют преимущества за счет повышенного момента инерции.

Принимая во внимание указанные преимущества, при строительстве мостов и высотных зданий на слабых грунтах, подстилаемых скальными массивами, фундаменты на буронабивных сваях рассматриваются как наиболее эффективные

и экономически выгодные фундаменты глубокого заложения. По данным американских исследователей, только в 1997 году объем сооружения их, в финансовом выражении, составил более 1 млрд долларов, и с тех пор он постоянно возрастал.

Несмотря на то, что механизм работы сваи в скальном и нескальном (дисперсном) грунтах аналогичен, характер ее взаимодействия с массивом при вертикальных и горизонтальных нагрузках отличается значительно.

На основании анализа результатов лабораторных исследований, многочисленных натурных испытаний, а также результатов численного моделирования стало возможным выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на работу свай в скальных грунтах под нагрузками. К ним следует отнести:

- структурные особенности скального массива;
- отношение модуля упругости материала сваи к модулю деформации скального грунта;
- свойства контакта сваи с породным массивом;
- отношение глубины заделки сваи в скальный массив к ее диаметру.

Необходимость учета этих факторов усложняет определение параметров взаимодействия сваи со скальным массивом и требует проведения ее испытания в натурных условиях для построения кривых «нагрузка — перемещение».

В естественном состоянии скальные массивы представляют собой неоднородные трещиноватые среды. Соответственно, их инженерные свойства определяются как структурой и происхождением ненарушенных блоков скального грунта, так и размерами и характеристиками нарушений массива. При этом следует учитывать, что определение прочностных и деформационных характеристик экспериментальным путем не представляется возможным (Зерцалов М. Г., 2014; Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F., 1995), и механические характеристики скальных массивов чаще всего устанавливаются по эмпирическим зависимостям. Анализ поведения средне- и сильнотрещиноватых массивов скальных грунтов при выполнении критерия квазисплощности можно рассматривать с позиции механики сплошной среды, заменяя структуру, состоящую из блоков и трещин квазисплошной квазиоднородной средой, характеризуемой эффективными деформационными и прочностными характеристиками, которые учитываются в используемых математических моделях поведения скальных грунтов.

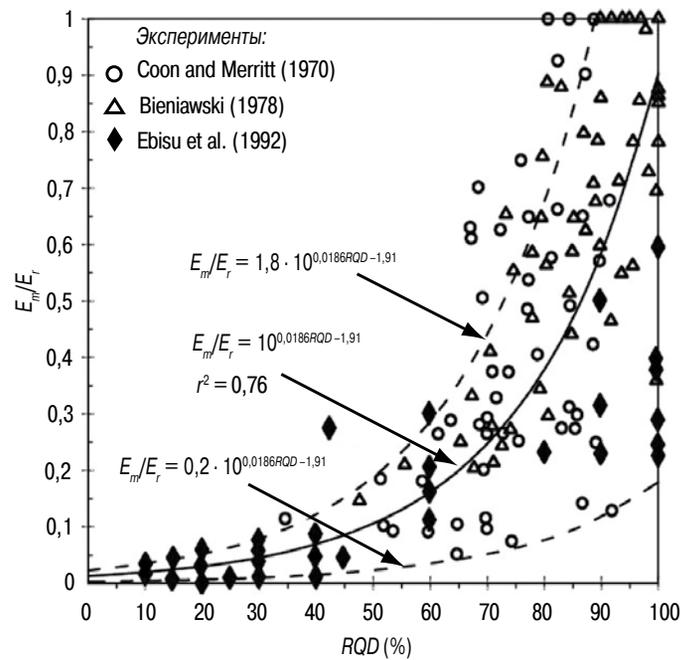


Рис. 2. График зависимости соотношения  $E_m/E_r$  от  $RQD$

В предлагаемой статье рассматриваются результаты численного моделирования и предлагается разработанный на их основе метод расчета свай в скальных грунтах в условиях пространственной задачи, учитывающий работу контакта сваи и скального массива. Численное моделирование на базе МКЭ выполнялось с использованием программного комплекса Z-SOIL\_PC v 2013, ориентированного на решение геотехнических задач.

Численное моделирование и обработка полученных результатов проводились в соответствии с методом планирования эксперимента, на основании чего были получены уравнения регрессии, позволяющие определять зависимость между нагрузками на сваю и ее перемещениями на всем диапазоне нагружения, что очень важно на стадии предварительного вариантного проектирования. В качестве независимых факторов использовались  $RQD$ ,  $E_s/E_r$ ,  $L/D$ , где:

- $RQD$  — показатель качества скального массива, характеризующий степень его трещиноватости;
- $E_s/E_r$  — отношение модуля упругости материала сваи к модулю упругости ненарушенного скального грунта;
- $L/D$  — отношение длины сваи к ее диаметру.

Модулем упругости материала сваи принимался  $E_s = 25\ 000$  МПа. Расчетные модули деформации скального массива назначались исходя из следующих сообщений. Первоначально рассматривались

два массива, в каждом из которых вычленимые трещинами скальные отдельности имели соответственно модули упругости  $E_r = 5\ 000$  и  $50\ 000$  МПа, что принимается нижней и верхней границей осредненных значений модулей упругости ненарушенных скальных грунтов средней прочности. Поэтому осредненные значения прочности на одноосное сжатие этих же грунтов составили:  $\sigma_c = 20$  и  $100$  МПа (ISRM (1978)).

Затем, при известных значениях модулей упругости отдельностей, с целью учета трещиноватости для каждого из массивов задавались пределы варьирования фактора  $RQD$  (25% и 75%). Исходя из того, что при значениях менее 25% механические характеристики изменяются незначительно, а при значениях больших, чем 75%, скальные массивы можно рассматривать как практически ненарушенные.

Таким образом, для двух значений показателя качества массива ( $RQD = 25\%$  и  $75\%$ ) и двух значений модулей упругости скальных отдельностей ( $E_r = 5\ 000$  и  $50\ 000$  МПа), используя график (рис. 2), были получены четыре расчетных значения модуля деформации. Они, соответственно, составляли 200, 1500, 2 000 и 15 000 МПа.

Поскольку для моделирования поведения скальных массивов использовалась модель Кулона — Мора, их прочность в рассмотренных случаях характеризовалась удельным сцеплением  $c_m$  и углом внутреннего трения  $\phi_m$ , эмпирические значения которых определялись по методике, предложенной Хоеком (Hoek E., Brown E.T., 1997). Величины этих

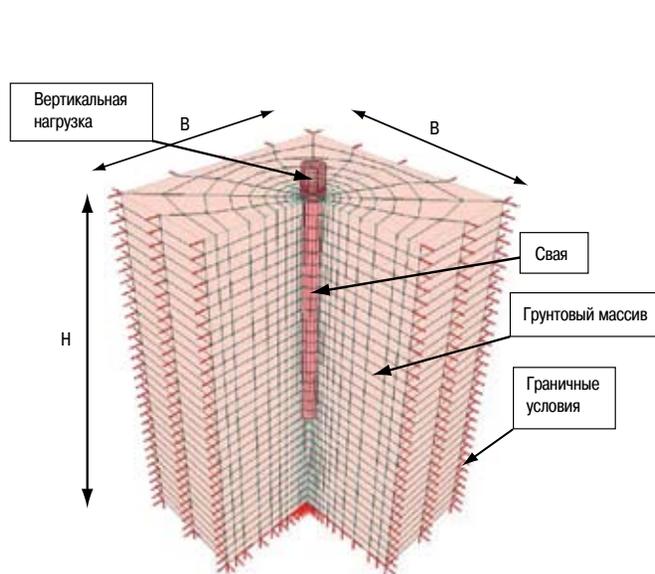


Рис. 3. Пространственная модель взаимодействия свай с массивом скального грунта при расчете на вертикальные нагрузки

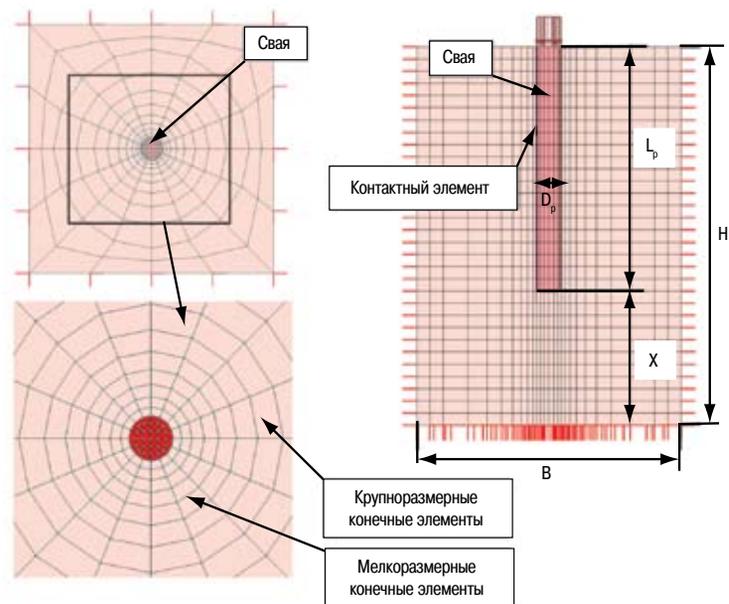


Рис. 4. Пространственная модель свай (вид сверху — слева, разрез по плоскости приложения нагрузки — справа)

параметров, соответственно, составляли:  $c_m = 0,4, 0,7, 2,8$  и  $4,5$  МПа;  $\varphi_m = 26^\circ, 29^\circ, 30^\circ$  и  $36^\circ$ .

Сдвиговые смещения сваи относительно скального массива моделировались специальными контактными элементами, работа которых также определяется моделью Кулона — Мора. В качестве упругих характеристик контактного элемента принимались касательная (вдоль сваи) и нормальная жесткости —  $K_s$  и  $K_n$ . На основе анализа опытных данных сдвигов бетонных штампов по скальным основаниям устанавливалось осредненное значение касательной жесткости:  $K_s = 100\,000$  кН/м<sup>3</sup>.

Значение нормальной жесткости  $K_n$  подсчитывалось по известной формуле теории упругости:

$$K_n = \frac{2}{(1 + \nu)}, \quad (1)$$

в соответствии с которой  $K_n = 260\,000$  кН/м<sup>3</sup>.

Прочностные характеристики контакта «бетон — скальный грунт» — удельное сцепление  $c_k$  и угол внутреннего трения контакта  $\varphi_k$ , — имели соответственно значения:  $c_k = 0, 15; 0, 18; 0, 25$  и  $0, 3$  МПа и  $\varphi_k = 36^\circ, 37^\circ, 38^\circ, 39^\circ$ . Указанные характеристики назначались по рекомендациям, приводимым в нормативной литературе (СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений).

Для последующей реализации исследования с помощью метода планирования эксперимента были составлены матрицы планирования экспериментов для трех факторов на двух уровнях варьирования (матрица вида 2<sup>3</sup>).

Для случая работы свай при вертикальной нагрузке в качестве функций отклика принимались нагрузки на сваю и осадки ее оголовка в моменты начала и окончания разрушения контакта со скальным грунтом, а также в моменты начала разрушения материала сваи или породного массива (характерные точки кривой осадок сваи). При изучении взаимодействия сваи и окружающего массива при горизонтальной нагрузке в качестве функций отклика принимались несущая способность сваи при разрушении окружающего массива или сваи при изгибе ее ствола, а также соответствующие этим нагрузкам горизонтальные смещения свай.

Общий вид моделей работы сваи и окружающего грунтового массива представлен на рис. 3 и 4. Прямоугольные параллелепипеды разделены на пространственные конечные элементы, которым присваиваются физико-механические характеристики рассматриваемого массива скального грунта. В центре модели задается круглая свая соответствующего диаметра.

На основании проведенных численных расчетов был выполнен анализ напряженно-деформированного состояния системы «свая — скальный массив» при действии вертикальных нагрузок.

При приложении к свае вертикальной сжимающей силы вдоль контакта со скальным массивом развиваются касательные напряжения, увеличивающиеся с возрастанием нагрузки. Характер деформирования на этом (первом) участке — линейный (рис.

5,а). Участок заканчивается при достижении касательными напряжениями величины сопротивления контакту сдвигу (точка НРК на графиках). Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к прогрессирующему разрушению контакта, которое продолжается до тех пор, пока не произойдет сдвиг по всей длине боковой поверхности сваи (точка КРК). Характер деформирования на этом (втором) участке — нелинейный. При дальнейшем увеличении нагрузки большая ее часть передается на скальный массив, линейное деформирование которого (третий участок) продолжается до достижения материалом сваи или массива прочности на сжатие (точка РМ).

Анализ результатов выполненных расчетов позволяет отметить следующее: характер кривой осадок сваи и протяженность первых двух ее участков полностью определяются значением жесткости контакта и значением сопротивления сдвигу по боковой поверхности сваи.

Благодаря численному моделированию удалось также установить, что в упругой стадии работы сваи деформируются одинаково. Однако во втором случае, при достижении действующими по боковой поверхности касательными напряжениями предельных значений, контакт всегда разрушается, что приводит к недопустимо большим осадкам (см. рис. 5, б). Принимая это во внимание, в случае хрупкого разрушения контакта, при расчетах несущей способности, определяемой как сопротивлением сдвигу по боковой поверхности, так

и прочностью грунта, нагрузку на сваю, соответствующую началу разрушения контакта, следует рассматривать как предельную.

Обработка результатов выполненных исследований методом планирования эксперимента позволила получить уравнения построения кривых осадок всех видов исследованных свай. В качестве примера приводятся уравнения определения значений нагрузок и осадок в характерных точках кривой деформирования (рис. 5), определяемой как сопротивлением сдвигу по боковой поверхности сваи, так и прочностью грунта под нижним концом сваи.

Начало разрушения контакта (точка А, рис. 5):

(нагрузка)

$$Y = 6,94 - 2,04 \cdot X_1 + 0,99 \cdot X_2 + 0,46 \cdot X_3 - 0,59 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,34 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,29 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,59 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

(осадка)

$$Y = 5,625 + 1,475 \cdot X_1 - 1,95 \cdot X_2 + 1,475 \cdot X_3 - 1,4 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,125 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,1 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,75 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3)$$

Конец разрушения контакта (точка В, рис. 5):

(нагрузка)

$$Y = 15,71 - 6,41 \cdot X_1 + 4,01 \cdot X_2 + 3,91 \cdot X_3 - 3,41 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,89 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,59 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,29 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (4)$$

(осадка)

$$Y = 13,92 + 1,1 \cdot X_1 - 2,75 \cdot X_2 + 6,38 \cdot X_3 - 3,78 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,8 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,55 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,325 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (5)$$

Начало разрушения скального массива или сваи (точка С, рис. 5):

(нагрузка)

$$Y = 18,82 - 9,025 \cdot X_1 + 2,725 \cdot X_2 + 4,625 \cdot X_3 - 2,125 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,025 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,775 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,575 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (6)$$

(осадка)

$$Y = 18,09 - 1,105 \cdot X_1 - 5,305 \cdot X_2 + 7,43 \cdot X_3 - 2,455 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,47 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,47 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,22 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (7)$$

где:

$$X_1 = \left( \frac{E_b}{E_r} - 2,75 \right) / 2,25 \quad (8)$$

$$X_2 = \left( \frac{RQD - 50}{25} \right) \quad (9)$$

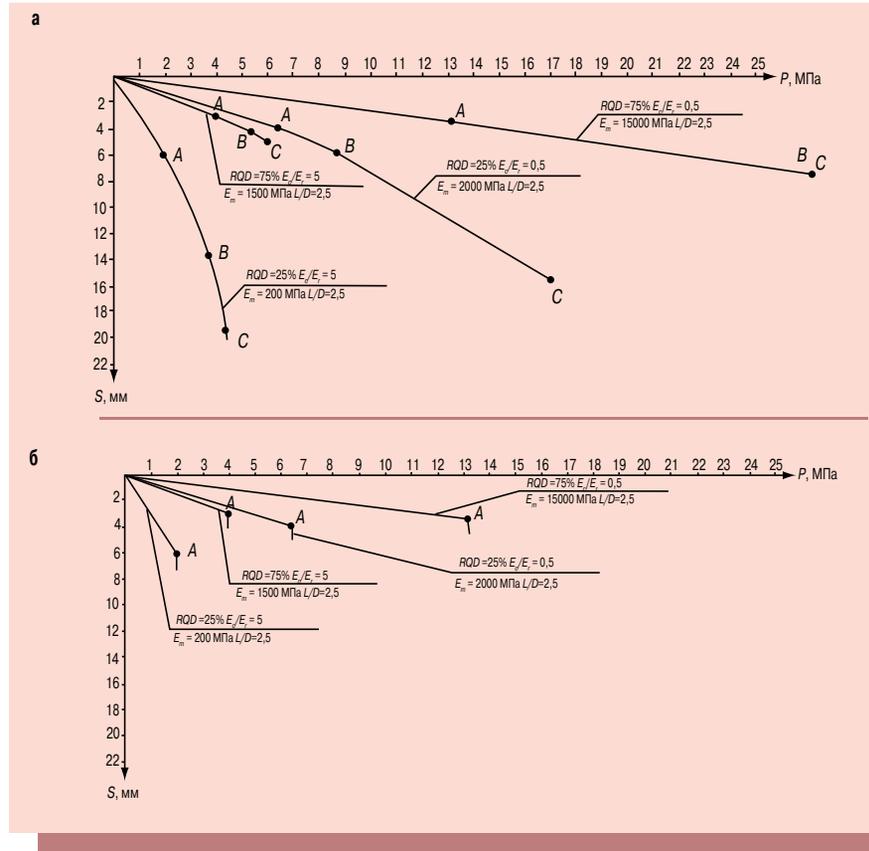


Рис. 5. Графики «нагрузка – осадка» свай при пластическом (а) и хрупком (б) характере разрушения контакта «свая – массив»

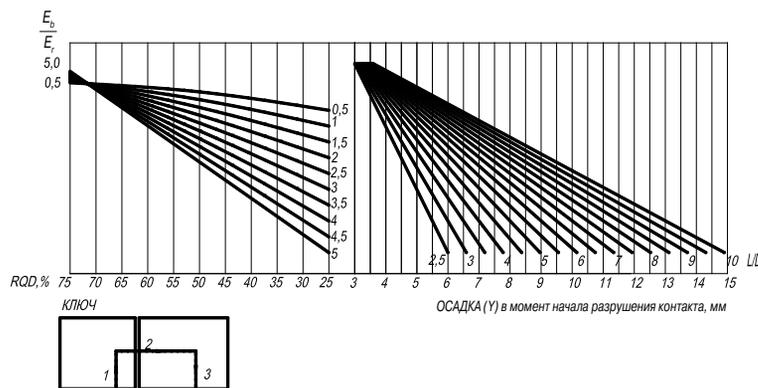


Рис. 6. Номограмма для определения значения вертикальной нагрузки в момент разрушения контакта «свая – массив»

$$X_3 = \left( \frac{L}{D} - 6 \right) / 4 \quad (10)$$

Для получения функций откликов в параметрические уравнения (2)–(7) следует подставить значения переменных X1, X2, X3, вычисляемых по уравнениям (8)–(9), которые соответствуют вышеперечисленным исследуемым в данной работе факторам в пределах их варьирования.

В целях облегчения практического использования данных уравнений (для

экспресс-анализа) составлены номограммы, позволяющие графическим способом выполнять поиск значений функций отклика. Пример, для уравнения (3), приведен на рис. 6.

Результаты численного моделирования подтвердили также отмеченную многими исследователями особенность характера кривой осадок свай при действии вертикальной нагрузки. Во всех расчетных случаях (рис. 5), как и при натурных испытаниях свай, график осадок в пределах второго участка (разрушение контакта) имеет нелинейный характер. В слабых грунтах эта

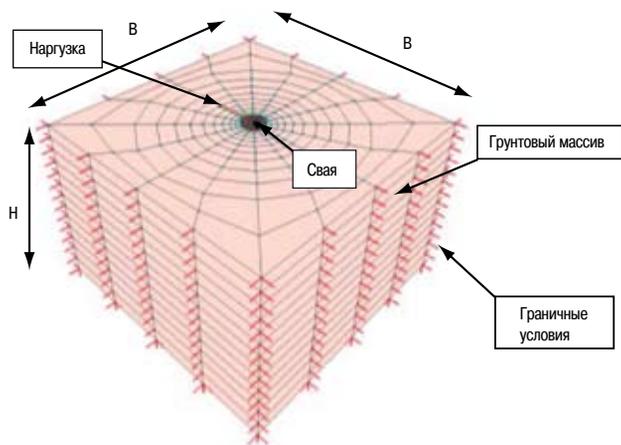


Рис. 7. Пространственная модель взаимодействия свай с массивом скального грунта при расчете на горизонтальные нагрузки

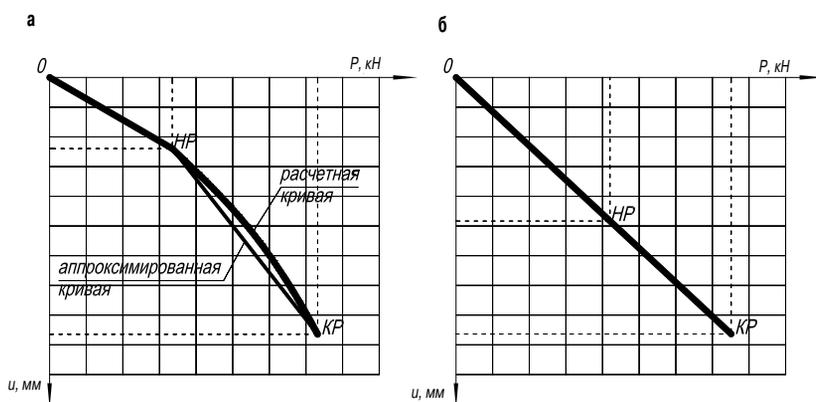


Рис. 8. Общий вид графиков горизонтальных смещений свай для массивов низкой (а) и высокой прочности (б)

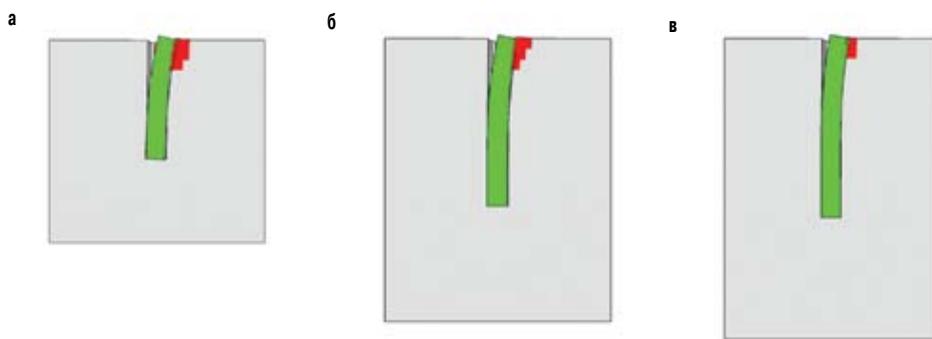


Рис. 9. Горизонтальные перемещения сечений свай диаметром 1 м с увеличением длины в скальном массиве средней прочности: а — поворот с изгибом  $L_p/D_p = 7$ ; б — поворот с изгибом  $L_p/D_p = 8$ ; в — изгиб  $L_p/D_p = 9$

нелинейность проявляется сильнее, но участок разрушения контакта сравнительно короткий. С увеличением жесткости контакта, возрастающей с увеличением прочности скального массива, нелинейность практически исчезает, но длина участка разрушения существенно увеличивается (см. нижнюю и верхнюю кривые на рис. 5). Принимая это во внимание, обычно в расчетных методах полная кривая осадок представляется в виде полигонального графика, состоящего из двух или трех линейных участков, в зависимости от того, произойдет ли сначала полное разрушение контакта, или начнет разрушаться скальный массив либо материал сваи.

Аналогичным образом, используя численное моделирование методом конечных элементов (рис. 7) в сочетании с обработкой результатов методом планирования экспериментов, проводилось исследование работы свай на горизонтальную нагрузку.

Результаты исследований позволили определить основные особенности взаимодействия свай и скального массива при действии горизонтальных нагрузок и

моментов. Для практических целей, как и в предыдущем случае, расчетную кривую перемещений сваи при действии горизонтальной нагрузки можно аппроксимировать двумя отрезками, если на втором участке проявляются нелинейные деформации сваи и массива. Точка перелома на этом графике будет соответствовать моменту начала разрушения скального массива, а конечная точка — моменту потери сваей несущей способности (рис. 8, а) по прочности массива или по прочности ствола сваи на изгиб. Для массивов, где перемещения сваи имеют линейную зависимость от действия нагрузок, график изменения смещений будет иметь вид, представленный на рис. 8, б.

В зависимости от соотношения модуля упругости материала сваи к модулю упругости скальной отдельности ( $E_b/E_c$ ) и RQD скальный массив можно разделить на две области. В первой, при небольших длинах сваи («короткие сваи»), когда она имеет возможность поворота в массиве, ее несущая способность определяется либо разрушением скального массива, либо разрушением материала сваи; во второй

(«длинные сваи») — несущая способность определяется сопротивлением изгибу и зависит только от прочности ствола. С увеличением длины растет гибкость сваи, и схема деформирования меняется от поворота с изгибом к изгибу с заделкой нижнего конца (рис. 9).

В сечениях ниже уровня заделки наблюдается отсутствие горизонтальных перемещений и поворотов сечений.

На основе анализа напряженно-деформированного состояния системы «свая — скальный массив» с помощью обработки полученных результатов методом регрессионного анализа (методом планирования эксперимента) были составлены параметрические уравнения регрессии, общий вид которых аналогичен уравнениям (2)–(7), для определения несущей способности и горизонтальных перемещений сваи в характерных точках кривой ее деформирования, при любом сочетании исследуемых факторов в пределах их варьирования.

В заключение следует отметить, что разработанные методы расчета свай в скальных массивах при действии осевых сжимающих и горизонтальных нагрузок позволяют на предварительной стадии проектирования определить несущую способность и предельную осадку сваи, а также строить кривую ее деформирования. Это может быть использовано при разработке программы натурных испытаний. Сложный характер взаимодействия свай со скальным массивом при вертикальных и горизонтальных нагрузках свидетельствует о необходимости дальнейшего интенсивного изучения и обобщения зарубежного и отечественного опыта, накопленного в этой области, развивая на его основе отечественные исследования и корректируя существующие нормативные документы. ■

Л. В. МАКОВСКИЙ, к. т. н.,  
заведующий кафедрой «Мосты,  
тоннели и строительные  
конструкции»;  
В. В. КРАВЧЕНКО, к. т. н.;  
Московский автомобильно-  
дорожный государственный  
технический университет (МАДИ)

**Одной из наиболее актуальных и сложных проблем в тоннелестроении является предотвращение недопустимых осадок грунтового массива и дневной поверхности.**

**В подобных случаях требуется проведение специальных работ, таких как дополнительное крепление лба забоя, установка опережающей крепи из анкеров или нагелей, устройство экрана из труб, физико-химическое укрепление грунтового массива, усиление конструкций зданий, расположенных по трассе тоннеля, и их фундаментов. В статье приведены результаты экспериментальных исследований технологии компенсационного нагнетания в тоннельном строительстве. В результате анализа данных численных экспериментов установлены и обоснованы эффективные технологические параметры метода.**

*One of the most urgent and complex problems in tunnel construction is the prevention of inadmissible settlement of soil body and daylight surface. In such cases, special work is required. The article presents the results of experimental studies of the technology of compensatory grouting in tunnel construction. As a result of the analysis of the data of numerical experiments, effective technological parameters of the method were established and justified.*

# ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЕНСАЦИОННОГО НАГНЕТЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

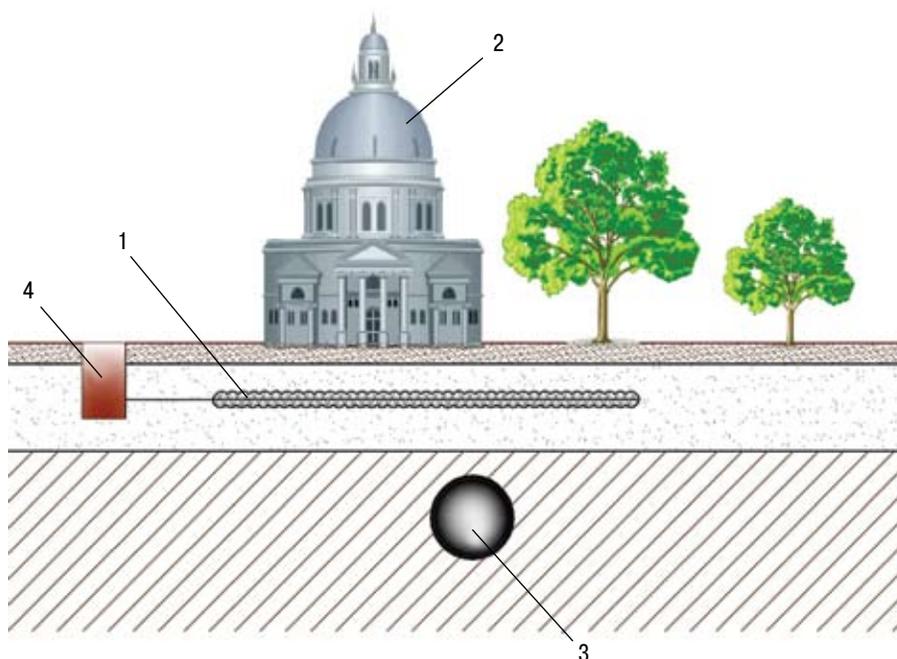


Рис. 1. Принципиальная схема технологии компенсационного нагнетания: 1 – зона компенсационного нагнетания; 2 – защищаемое здание; 3 – тоннель; 4 – шахтный ствол

**В** современном тоннелестроении все более широкое применение находит технология укрепления грунтового массива методом компенсационного нагнетания (рис. 1).

Сущность технологии заключается в нагнетании специальных растворов в определенный горизонт грунтового массива. Таким образом, создается «строительный подъем» и компенсируются возникающие потери грунта.

На кафедре «Мосты, тоннели и строительные конструкции» МАДИ до проведения численных исследований компенсационного нагнетания был, в частности, проанализи-

рован пример успешной реализации данной технологии при защите 10-этажного здания, расположенного в центральной части Тайбэя (Тайвань). Дом получил максимальные осадки 10 см при образовании провала вследствие строительства тоннеля. Для уменьшения деформаций и восстановления первоначального положения здания применялся метод компенсационного нагнетания, чему предшествовало устройство грунтовой завесы из грунтоцементных свай диаметром 1,6 м.

Расчеты в МАДИ проводились с применением комплексов программ PLAXIS 2D v.8.5

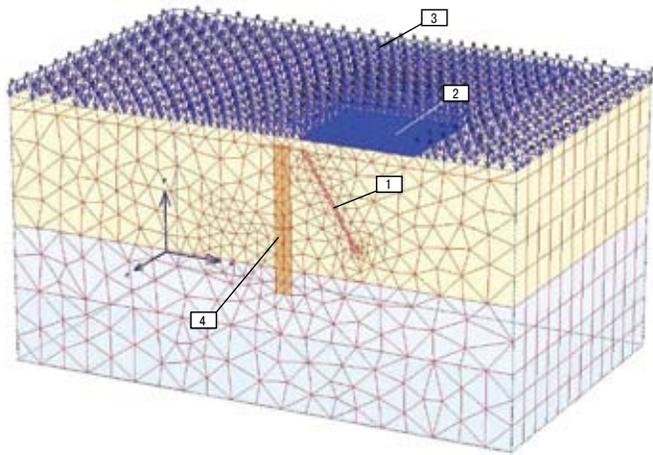


Рис. 2. Расчетная модель: 1 — зона компенсационного нагнетания; 2 — нагрузка от здания; 3 — нагрузка, соответствующая 5-метровому слою грунта; 4 — грунтовая завеса

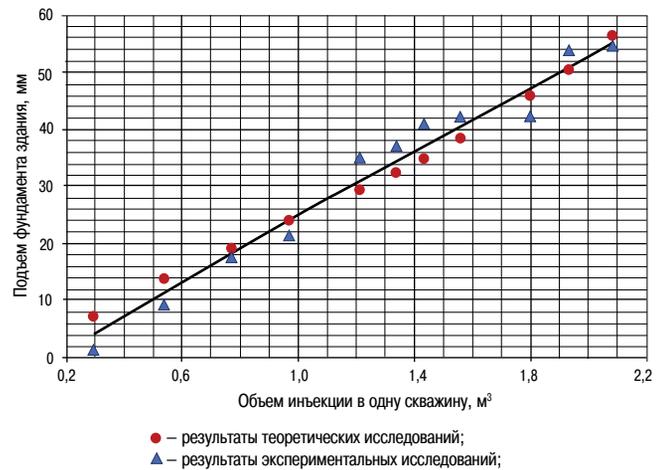


Рис. 3. Подъем фундамента здания в г. Тайбэй (Тайвань) по результатам теоретических и экспериментальных исследований

и PLAXIS 3D Tunnel 2. Для моделирования работы грунта в исследованиях была использована нелинейная упругопластическая модель Мора-Кулона, которая характеризуется четырьмя расчетными параметрами прочностных и упругих характеристик:  $E$  — модуль деформации [ $\text{кН/м}^2$ ];  $\nu$  — коэффициент Пуассона;  $\varphi$  — угол внутреннего трения [град.];  $c$  — сцепление [ $\text{кН/м}^2$ ].

Разработанная пространственная конечно-элементная модель представлена на рис. 2.

Полученные в результате численного эксперимента данные по подъему фундамента здания в зависимости от объема инъекции строительного раствора в скважину были сравнены с натурными (см. рис. 3).

Сравнительный анализ данных экспериментальных результатов и теоретических исследований, выполненных с применением расчетного комплекса PLAXIS, показал, что аппроксимация между их значениями составляет 0,97, то есть они имеют хорошую сходимость.

Разработанная объемная конечно-элементная модель позволяет с доста-

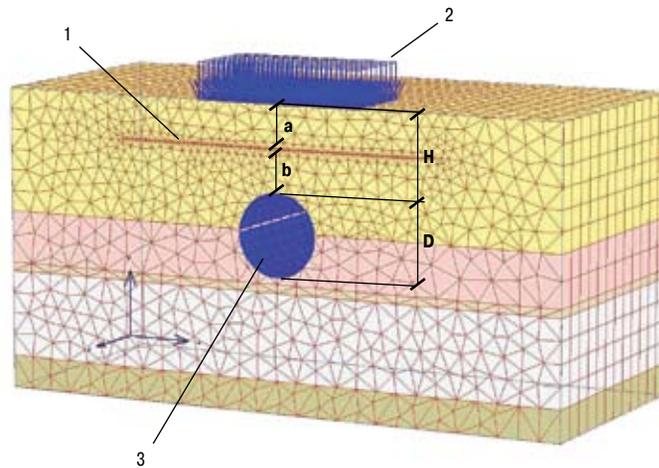


Рис. 4. Расчетная модель: 1 — зона компенсационного нагнетания; 2 — нагрузка от здания; 3 — тоннель

точной для практических целей точностью оценивать НДС системы «массив — тоннель — укрепление» и прогнозировать локализацию осадок зданий и сооружений путем применения компенсационного нагнетания.

В настоящее время существует ряд вопросов, касающихся назначения эф-

фективных параметров компенсационного нагнетания: шаг скважин для инъекций строительного раствора, положение этих скважин относительно вертикальной оси, объем и давление нагнетания строительного раствора в скважину, необходимые для «поднятия» сооружения.

Для решения указанных задач на кафедре «Мосты, тоннели и строительные конструкции» МАДИ были разработаны численные плоские и пространственные конечно-элементные модели для расчета системы «тоннель — укрепление — массив» и проведены теоретические исследования.

На рис. 4 приведена схема конечно-элементной математической модели, с применением которой исследуется положение скважин компенсационного нагнетания относительно вертикальной оси  $a/b$ , где  $a$  и  $b$  — расстояния от скважины до фундамента

Разработанная объемная конечно-элементная модель позволяет с достаточной для практических целей точностью оценивать НДС системы «массив — тоннель — укрепление» и прогнозировать локализацию осадок зданий и сооружений путем применения компенсационного нагнетания.

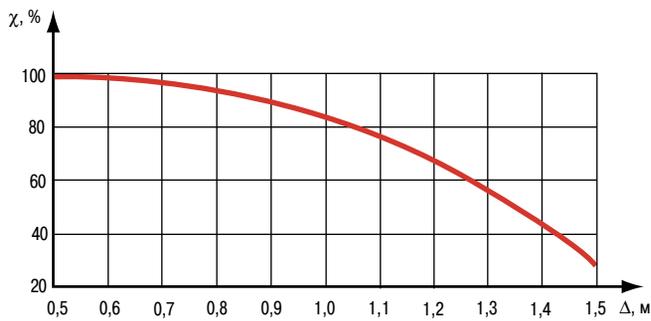
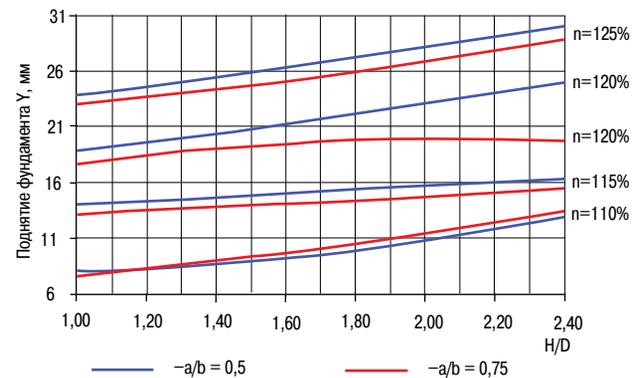
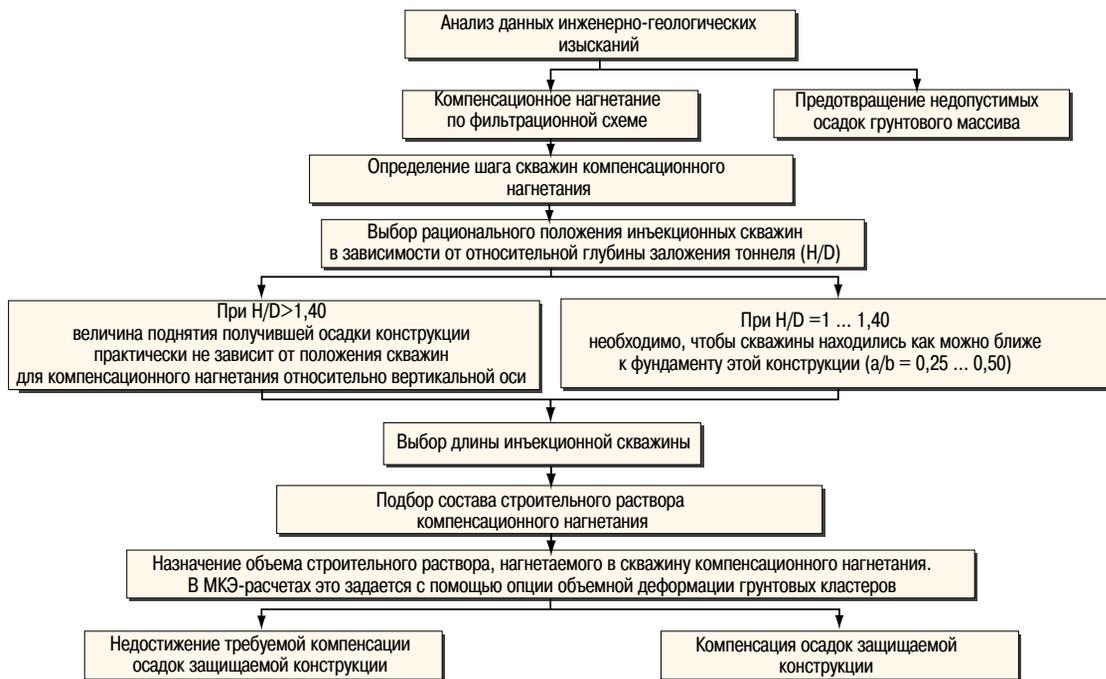
Рис. 5. Зависимость однородности грунтоцементной области  $\chi$  от шага скважин  $\Delta$ Рис. 6. Зависимость вертикальных перемещений фундамента здания  $Y$  от  $H/D$  при различном значении увеличения инъекционной скважины  $n$ 

Рис. 7. Блок-схема методики определения эффективных параметров компенсационного нагнетания в тоннелестроении

здания и свода будущего тоннеля соответственно, относительная глубина заложения тоннеля —  $H/D$ , где  $H$  — расстояние от низа фундамента здания до свода тоннеля,  $D$  — диаметр тоннеля. Расчетная схема включает в себя разделение грунтового массива по отдельным слоям, структурные объекты, этапы строительства и нагрузки.

Проведенные на данной модели теоретические исследования позволили выявить:

- зависимость однородности образующейся при компенсационном нагнетании укрепленной области от шага инъекционных скважин;
- оптимальное положение скважин для компенсационного нагнетания относительно вертикальной оси.

Из графика на рис. 5 видно, что при шаге скважин  $\Delta = 0,5...0,7$  однородность грунтоцементной области  $\chi$  составляет 100%, при шаге 0,9 м — снижается на 10%, при 1,1 м — на 20%, при 1,3 м — на 50% и при 1,5 м

На основе проведенных исследований разработаны практические рекомендации инженерам-проектировщикам по определению эффективных параметров компенсационного нагнетания в тоннелестроении.

— на 70%. Таким образом, можно сделать вывод, что необходимый для перекрытия зон грунтоцементных областей шаг скважин компенсационного нагнетания должен быть не более 0,7 м.

Для удобства практического применения полученных результатов построены номограммы, в которых отражены зависимости поднятия фундамента от относительной глубины заложения строящегося тоннеля ( $H/D$ ) при различном объеме

подачи строительного раствора в скважину и ее положения в горизонте грунтового массива  $a/b$ . Примеры таких зависимостей для  $a/b = 0,50$  и  $0,75$  приведены на рис. 6.

На основе проведенных исследований разработаны практические рекомендации инженерам-проектировщикам по определению эффективных параметров компенсационного нагнетания в тоннелестроении, основные из которых приведены в блок-схеме на рис. 7. ■

Д. Е. ЧЕЛУШКИН,  
научный сотрудник филиала  
АО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели  
и метрополитены»

*The article presents the results of numerical modeling of stress-strain state of soil and structures existing tunnels of the Moscow Metro during the construction of the tunnel communication  $\varnothing$  4100 mm shield method. Recommended protective measures to provide the safety and reliability of structures the metro tunnel and the analysis of the effectiveness of the proposed measures.*

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ СООРУЖЕНИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА ПРИ ПРОХОДКЕ ИНЖЕНЕРНОГО КОЛЛЕКТОРА ЩИТОВЫМ СПОСОБОМ

*По решению Правительства РФ в рамках подготовки празднования 100-летия Государственного музея изобразительных искусств им. А. С. Пушкина принят план создания на его базе Музейного городка. Реализация проекта, в частности, предполагает строительство коллекторных тоннелей для коммуникаций, в зону влияния которого попадает действующая линия метро.*

*В статье представлены результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового массива и конструкций эксплуатируемого перегонного тоннеля метрополитена при проходке под ним инженерного коллектора  $\varnothing$  4100 мм щитовым способом. Рекомендованы мероприятия, обеспечивающие сохранность существующего подземного сооружения, и выполнен анализ их эффективности.*

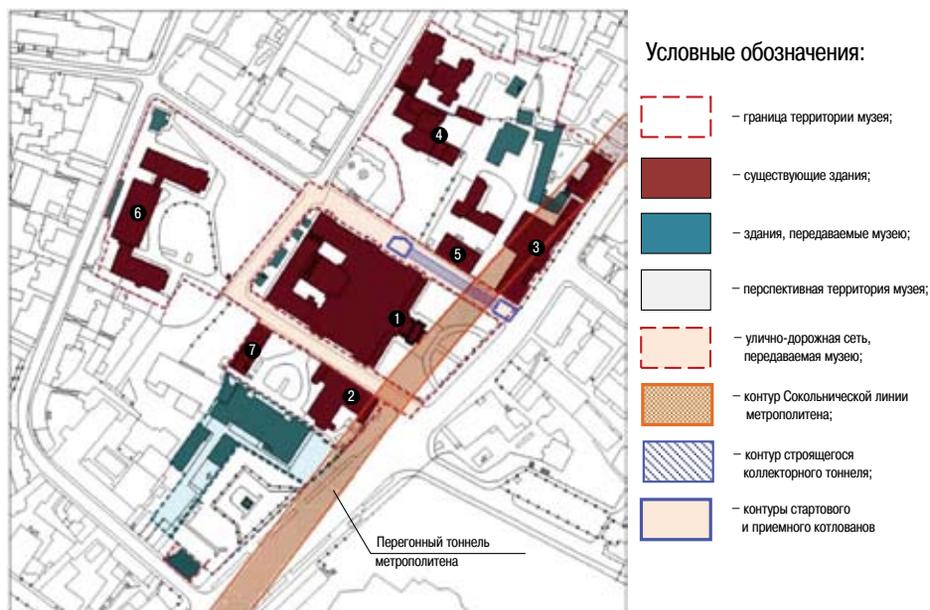


Рис. 1. Схема расположения Музейного городка

**В** результате реализации проекта комплексной реконструкции, реставрации, технического перевооружения и нового строительства комплекс ГМИИ им. А. С. Пушкина будет состоять из девяти самостоятельных музеев. Его общая площадь увеличится более чем в два раза — до 105 тыс. м<sup>2</sup>, расчетное количество посетителей превысит 3 млн человек в год.

Территория Музейного городка располагается в историческом центре Москвы, неподалеку от Кремля и Храма Христа-Спасителя,

и характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, высокой плотностью застройки, насыщенностью инженерными сетями. При комплексной реконструкции необходима проходка коллекторных тоннелей для переустройства существующих и проведения новых коммуникаций. В зону влияния строительства попадают существующие наземные здания и сооружения, а также эксплуатируемый тоннель метрополитена, обеспечение сохранности и эксплуатационной надежности которых является важной задачей.

Рассмотрим влияние проходки инженерного коллектора на НДС конструкции эксплуатируемого перегонного тоннеля Сокольнической линии Московского метрополитена между станциями «Библиотека им. Ленина» и «Кропоткинская».

Геологическое строение на участке трассы строительства представлено техногенными грунтами, песками различной крупности с прослоями супесей и суглинков, напластованиями супесей и суглинков с различными включениями. Под четвертичными отложениями залегают породы верхнего отдела каменноугольной системы, представленные элювиальными отложениями, древесно-щепенистыми грунтами. Гидрогеологические условия характеризуются наличием напорного водоносного горизонта, залегающего на глубине 20,1–22,6 м от поверхности земли.

Перегонный двухпутный тоннель метрополитена сооружен открытым способом в 1934 году и представляет собой однопролетную конструкцию прямоугольного сечения переменной ширины. На рассматриваемом участке она составляет 10,3 м, глубина заложения — 1,6 м. Перекрытие и лотковый блок выполнены из железобетона, стены — из монолитного бетона. Перекрытие и стены тоннеля омоноличены между собой, лотковые элементы отделены от монолитной части конструкции строительными швами. По результатам обследования определена работоспособная категория технического состояния тоннеля.

Трасса строящегося коллектора пересекает двухпутный перегонный тоннель под углом ~ 110°. Проходка ведется непосредственно под ним в пластичных супесях (шельга свода расположена на ~5,1 м ниже его лотка) ТПМК фирмы Herrenknecht (модель M1127M/EPB 3600) с грунтовым пригрузом забоя. Диаметр оболочки щита —  $D_{нар} = 4,300$  м, диаметр резанья —  $D_{рез} = 4,347$  м. Обделка тоннеля — высокоточная сборная железобетонная (класс бетона по прочности на сжатие В45) с резиновыми уплотнительными прокладками  $D_{нар}/D_{вн} = 4,100/3,600$  м. На расстоянии в плане ~ 5 м от перегонного тоннеля метрополитена расположен приемный котлован (демонтажная камера) для выхода ТПМК, имеющий размеры в плане 10,0 × 9,6 м и глубину 19,5 м. Ограждение котлована — буросекущие сваи (БСС) Ø1000 мм. Крепление ограждения — раскосы из труб Ø426 × 10 и Ø512 × 12 мм, установленные в 7 ярусов. Под днищем и по контуру ограждения котлована в зоне выхода ТПМК предусмотрено укрепление грунтов струйной цементацией.

Основными факторами, определяющими величины деформаций тоннеля метрополитена и вмещающего грунтового массив при

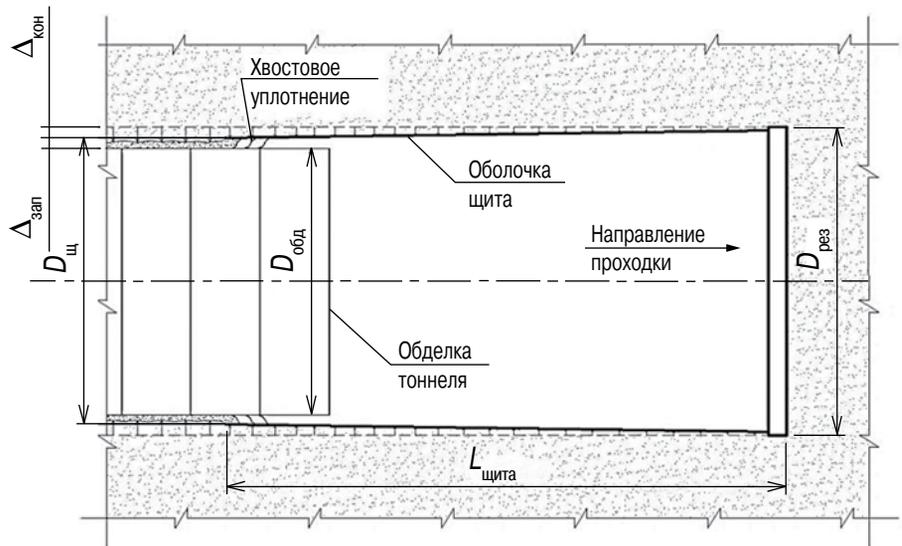


Рис. 2. Схема к определению величины усадки тоннельной обделки:  $D_{рез}$  — диаметр резанья;  $D_{щ}$  — диаметр в зоне хвостовой оболочки щита;  $D_{обд}$  — диаметр обделки;  $\Delta_{кон}$  — величина конусности щита;  $\Delta_{зап}$  — величина строительного зазора, подлежащего заполнению;  $L_{щита}$  — длина щита

проходке коллектора, являются деформативность обделки коллекторного тоннеля (характеристики материалов обделки вводятся в программу расчета), переборы грунта при его разработке и продвижении щита, выпуски породы в забое, качество заполнения строительного (кольцевого) зазора между хвостовой оболочкой щита и возводимой обделкой.

При правильном выборе величины активного пригруза забоя и проходке в штатном режиме переборы (потери объема) грунта происходят из-за конструктивных особенностей ТПМК, предназначенных для сооружения инженерных коллекторов. Речь идет о «конусности» (разнице между диаметрами в зоне резанья и в хвостовой оболочке) (рис. 2), которая определяет маневренность — чем она выше, тем меньшие радиусы кривых может прокладывать щит, что особенно важно при проходке коллекторных тоннелей в стесненных городских условиях.

Другим фактором, влияющим на величину смещений (осадок) в грунтовом массиве при проходке, являются качество (полнота) заполнения тампонажными растворами строительного зазора между хвостовой оболочкой щита и возводимой обделкой.

Для моделирования потери объема грунта применяется метод усадки, которая определяется как процент уменьшения площади поперечного сечения тоннеля по сравнению с первоначальной (в зоне резанья). Величина усадки учитывает конусность щита, а также полноту заполнения строительного зазора.

Усадка при проходке рассчитывается по следующей формуле (объемы даны на 1 пог. м):

$$\Delta = (V_{рез} - V_T^i) / V_{рез} \cdot 100\%$$

где:  $V_{рез}$  и  $V_T$  — объем разрабатываемого/извлекаемого грунта в призабойной зоне и в зоне готового тоннеля с учетом заполнения строительного зазора;  $i$  — полнота заполнения строительного зазора.

Величина конусности принятого проектом щита:

$$\Delta_{кон} = \frac{D_{рез} - D_{щ}}{2} = 0,0235 \text{ м.}$$

Величина строительного зазора при проходке:

$$\Delta_{зап} = \frac{D_{щ} - D_{обд}}{2} = 0,100 \text{ м.}$$

Объем разрабатываемого грунта в призабойной зоне:

$$V_{рез} = \pi \cdot \frac{D_{рез}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{4,347^2}{4} = 14,841 \text{ м}^3$$

Объем извлеченного грунта в зоне хвостовой оболочки:

$$V_{щ} = \pi \cdot \frac{D_{щ}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{4,300^2}{4} = 14,522 \text{ м}^3$$

Объем готового тоннеля (с учетом заполнения строительного зазора  $\Delta_{зап}$ ):

$$V_T^{1,0} = \pi (D_{обд} + 2 D_{зап})^2 / 4 = V_{щ} = 14,522 \text{ м}^3 \text{ — } \text{заполнение } 100\%;$$

$$V_T^{0,9} = \pi (D_{обд} + 2 D_{зап} \cdot 0,9)^2 / 4 = 14,387 \text{ м}^3 \text{ — } 90\%;$$

$$V_T^{0,5} = \pi (D_{обд} + 2 D_{зап} \cdot 0,5)^2 / 4 = 13,854 \text{ м}^3 \text{ — } 50\%;$$

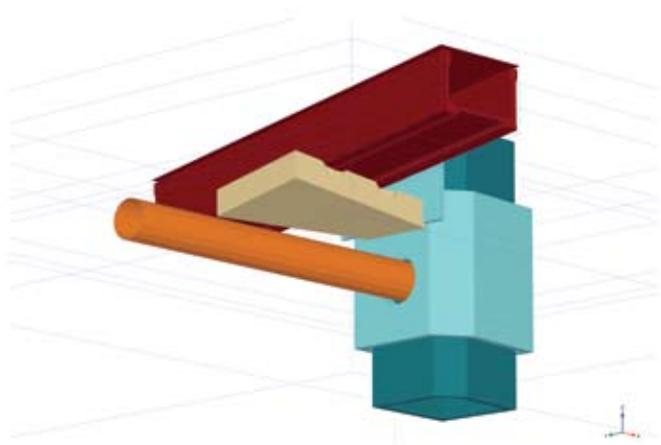


Рис. 3. Расчетная область. Расчет №2

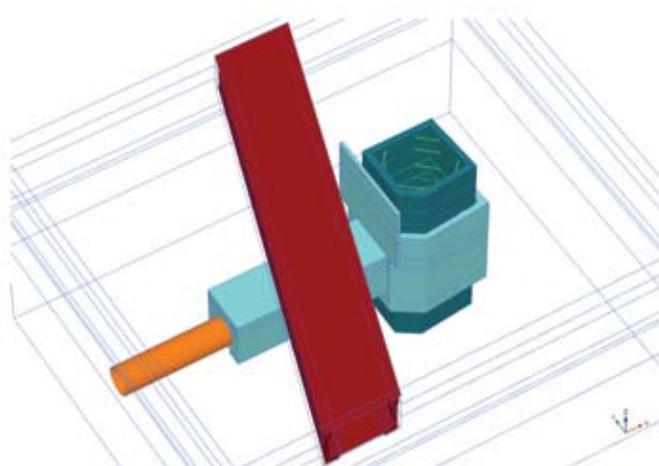


Рис. 4. Расчетная область. Расчет №3

Таблица 1. Расчетные смещения сооружений метрополитена

№ расчета	Описание защитных мероприятий	Расчетные смещения, мм			
		Максимальные абсолютные	Горизонтальные	Вертикальные (осадка)	Разность осадок
1	Без применения защитных мероприятий	11	4	11	5
2	Укрепление грунтов в основании тоннеля метро	10	4	10	5
3	Устройство ГЦМ в зоне щитовой проходки	5	2	5	3

$$V^0 = V_{\text{обд}} = \pi D_{\text{обд}}^2 / 4 = 3,14 \cdot 4,100^2 / 4 = 13,202 \text{ м}^3 \text{ — 0\% (без заполнения).}$$

В результате получаем величину усадки:

$$\Delta^{100} = \frac{14,845 - 14,522}{14,845} \cdot 100 \% = 2,17 \% \text{ —}$$

заполнение строительного зазора 100%,

$$\Delta^{90} = 3,00\% \text{ — заполнение 90\%,}$$

$$\Delta^{50} = 6,67\% \text{ — заполнение 50\%,}$$

$\Delta^0 = 11,06\%$  — при проходке без заполнения строительного зазора.

Исходя из результатов анализа измеренных осадок земной поверхности на пройденных щитом участках трассы коллектора и опыта назначения величины усадки при применении аналогичных щитов в похожих инженерно-геологических условиях, величина усадки принята равной 3% при условии проходки в штатном режиме и 90%-м заполнении строительного зазора тампонажным раствором.

Для определения возможных деформаций обделки тоннеля метрополитена при проходке коллектора выполнено численное моделирование сложившейся геотехнической ситуации в зоне строительства. Расчеты

произведены с применением комплекса программ Plaxis 3D, предназначенного для решения широкого круга задач инженерной геотехники на основе метода конечных элементов. Использована упругопластическая модель упрочняющегося грунта. Для проведения расчетов выбрана расчетная область в границах с наибольшим влиянием нового строительства на эксплуатируемый тоннель метрополитена.

Численная модель (расчетная область) разбита на конечные элементы (см. рис. 3, 4). Изополя вертикальных перемещений в массиве, осадок обделки перегонного тоннеля представлены на рис. 5, 6. Прогнозируемые расчетные значения смещений (деформаций) обделки тоннеля в результате проходки коллектора даны в табл. 1.

Проверка прочности элементов конструкций обделки перегонного тоннеля метрополитена показала, что напряжения, возникающие в результате проходки инженерного коллектора, не превышают предельно допустимых, и имеются достаточные запасы по несущей способности.

Однако, согласно результатам расчетов, при проходке коллектора щитовым способом (расчет №1) конструкции тоннеля метрополитена претерпевают значительные

(до 10–11 мм) деформации. Такие величины осадок могут стать причиной снижения эксплуатационной безопасности тоннельного сооружения. Кроме того, при отклонении параметров щитовой проходки от предусмотренных регламентом (нарушение технологии, значительные переборы грунта, неудовлетворительное заполнение строительного зазора между возводимой обделкой и грунтом и т. д.) существует опасность значительного и неконтролируемого увеличения осадок в грунтовом массиве. Это способно повлечь за собой поворот балок перекрытия и изменение характера опирания их на стены, с уменьшением площади (длины) опорных зон концевых частей балок на консоли. Следствием таких смещений элементов конструкций перегонного тоннеля может стать раскрытие швов и образование уступов между лотковыми и стеновыми элементами обделки, снижение несущей способности плит перекрытия и нарушение наружной гидроизоляции.

Для снижения величин осадок, а также предотвращения возможных аварийных ситуаций при проходке рассмотрено применение специальных защитных мероприятий, в числе которых:

- повышение несущей способности песчаных грунтов в основании тоннеля на глубину до 2–2,5 м инъекцией растворов на основе ОТДВ «Микродур» (расчет №2),
- устройство методом струйной цементации укрепленного грунтового массива (целика) из грунтоцементных свай (ГЦС) в зоне проходки вокруг контура резки ТПМК (расчет №3).

В качестве дополнительного мероприятия для предотвращения возможных осадок грунта предложено устройство скважин компенсационного нагнетания в основании перегонного тоннеля.

Для обеспечения непрерывной эксплуатации линии метро, а также в связи с наличием

большого количества инженерных коммуникаций, затрудняющих производство работ с дневной поверхности, инъектирование планируется выполнить из демонтажного котлована, расположенного в непосредственной близости от тоннеля метрополитена.

Анализ результатов поверочных расчетов по двум вариантам проведения защитных мероприятий показал, что укрепление грунтов в основании перегонного тоннеля (расчет №2) не принесет ожидаемого эффекта, то есть прогнозируемые осадки снизятся незначительно. В то же время при устройстве массива из укрепленного грунта в зоне проходки под тоннелем метрополитена (расчет №3) они снизятся с 11 до 5 мм, а разность осадок конструкций — с 5 до 3 мм.

По результатам сравнительных расчетов предложен наиболее эффективный способ снижения осадок. Таковым, с учетом физико-механических характеристик вмещающих грунтов, является устройство массива из укрепленного грунта в зоне проходки коллекторного тоннеля методом струйной цементации (рис. 7, 8).

Таким образом:

- учет конструктивных и технологических факторов щитовой проходки позволяет с большей точностью спрогнозировать осадки грунтового массива;

- расчетный анализ предлагаемых защитных и противоаварийных мероприятий в зоне нового строительства необходим для выбора наиболее эффективного решения с точки зрения обеспечения безопасности эксплуатации существующих объектов метрополитена.

В данном случае увеличение деформационных и прочностных характеристик грунтов в зоне проходки коллектора снижает развитие вертикальных деформаций в вышележащие слои грунтового массива, тоннеля метрополитена, а также риски возникновения нештатных ситуаций при нарушении технологии проходки коллектора. ■

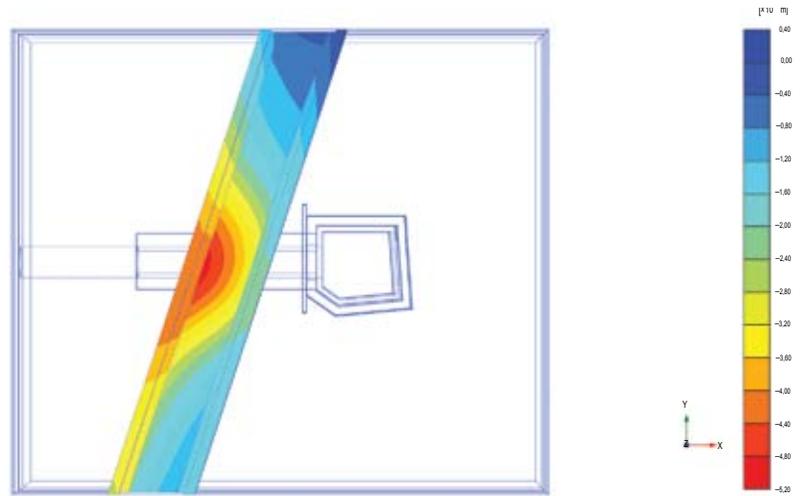


Рис. 5. Изополя вертикальных перемещений (осадок) обделки перегонного тоннеля метрополитена. Расчет №3

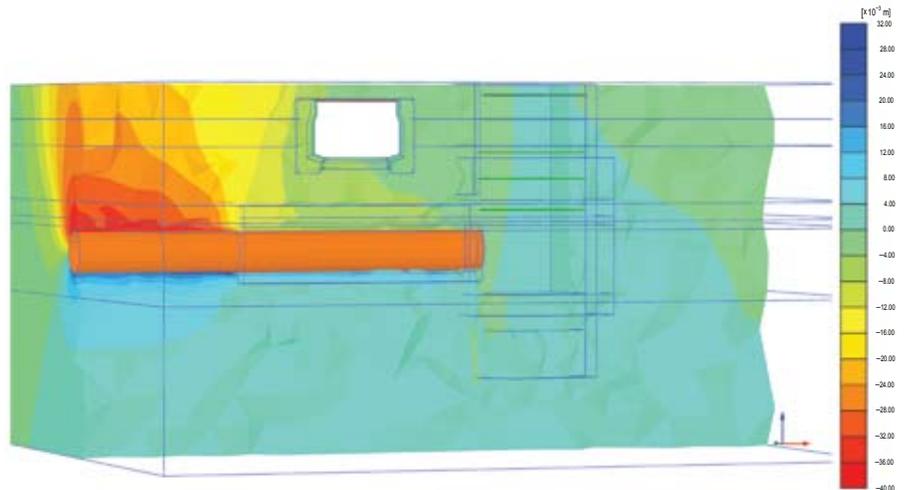


Рис. 6. Изополя вертикальных перемещений (осадок) в массиве (разрез вдоль оси коллектора). Расчет №3

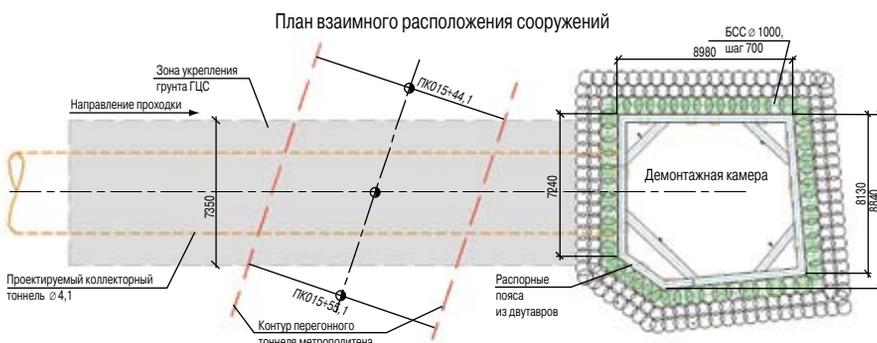


Рис. 7. Схема расположения зоны укрепления грунтов струйной цементацией

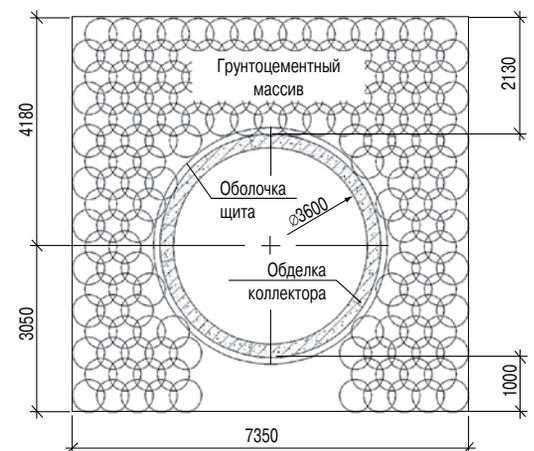


Рис. 8. Схема расположения свай ГЭС

Г. Г. КАРЯН, инженер  
научно-исследовательской  
лаборатории «Тоннели  
и метрополитены» СГУПС

*Cases when subsoils include underground structures of various purposes are widely used in the practice of geotechnical construction. In order to ensure the reliability of the technical system formed (“foundation – base – underground structure”), it is necessary to properly assess the bearing capacity of the base. In accordance with the norms in force in the Russian Federation, calculations shall be performed using methods of Coulomb’s wedge theory, which is provided in the work presented.*

## О ВЛИЯНИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

*Случаи, когда грунтовые основания включают в себя подземные сооружения различного назначения (объекты метрополитена, подземные коммуникации, транспортные тоннели и т. п.), широко распространены в практике геотехнического строительства. Для обеспечения надежности образовавшейся технической системы («фундамент — основание — подземное сооружение») необходимо корректно оценить несущую способность основания. В соответствии с действующими нормами (СП 22.13330.2011) расчет следует выполнять методами теории предельного равновесия грунтов (ТПРГ), что и реализовано в представленной работе.*

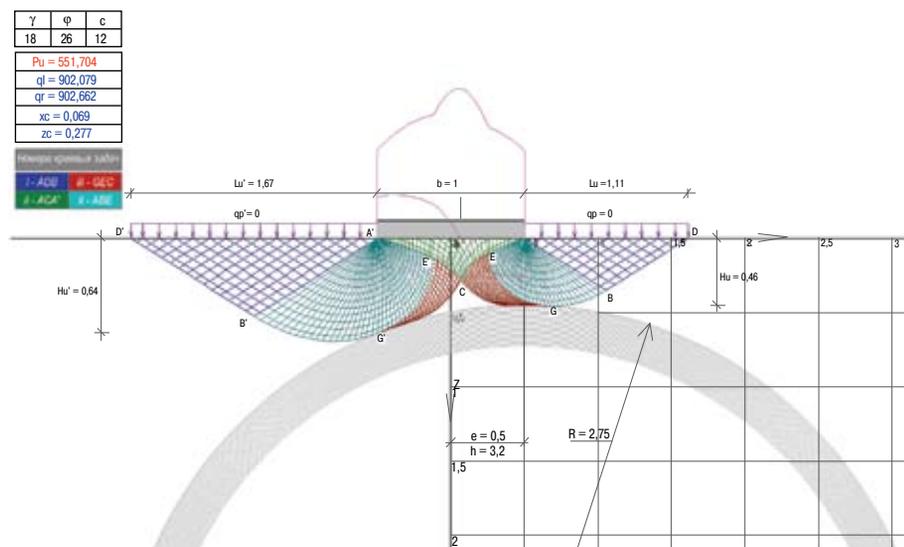


Рис. 1. Пример решения задачи методом характеристик

На основе проведенных исследований составлены рекомендации по определению предельной нагрузки на грунтовое основание с учетом наличия подземного сооружения.

Предварительно заметим, что решения ТПРГ были получены как методом характеристик (рис. 1), так и посредством Finite Element Limit Analysis (рис. 2, 3) в программном пакете OptumG2.

Из анализа эпюры предельного давления (рис. 3) можно наглядно проследить влияние подземного сооружения на несущую способность основания — в частности, резкий рост на эпюре предельного давления, приуроченный к точкам выхода на границу тех линий скольжения, которые строятся от контура подземного сооружения.

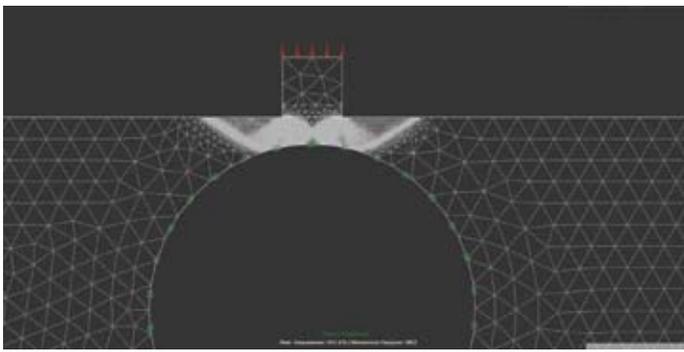


Рис. 2. Конечно-элементная модель анализируемой системы

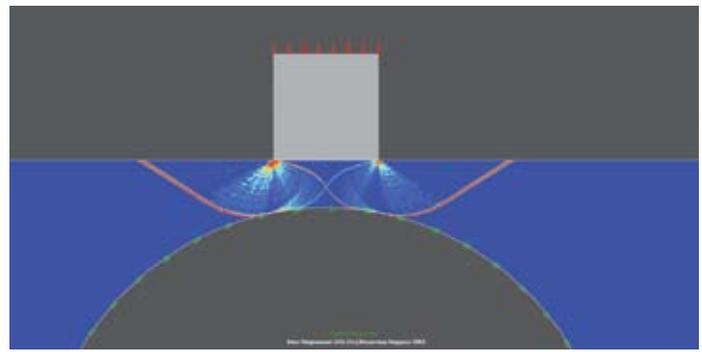


Рис. 3. Области предельного равновесия

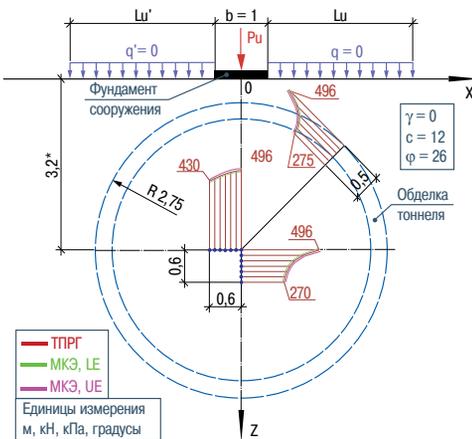


Рис. 4. «Линии влияния»: зависимость  $P_u$  от  $X$ ,  $Z$  и  $R$  (LE – “lower” elements) и (UE – “upper” elements)

На рис. 4 показан пример практического использования полученного решения в проектной деятельности: построены графики, подобные «линиям влияния», — изменяется местоположение и размеры подземного сооружения и при этом фиксируется значение предельной нагрузки ( $P_u$ ) на основании. Таким образом, появляется возможность наглядной и достоверной оценки последствий нового строительства над подземным сооружением или доработки существующего объекта.

На основе проведенных исследований составлены рекомендации по определению предельной нагрузки на грунтовое основание с учетом наличия подземного сооружения, которые сведены в табл. 1 и отражают предпочтительную последовательность выполнения расчетов.

Окончательное проектное решение следует принимать на основе обобщенного анализа результатов расчетов по трем приведенным подходам.

**Выводы**

1. Получено строгое статическое решение задачи определения несущей способности основания фундамента с учетом

Таблица 1. Определение предельной нагрузки

1		<p>Определение предельной нагрузки методами теории предельного равновесия грунтов</p>
2		<p>Определение предельной нагрузки напрямую в OptumG2 посредством Finite Element Limit Analysis</p>
3		<p>Определение предельной нагрузки путем анализа графика «нагрузка — перемещение», а также развития зон пластических деформаций</p>

наличия малозаглубленных подземных сооружений.

2. Установлены закономерности изменения несущей способности основания в зависимости от характеристик грунта, глубины заложения, планового положения подземного сооружения и т. д.

3. Выявлена закономерность: OptumG2 (оценка снизу)  $\leq$  ТПРГ (метод характеристик)  $\leq$  OptumG2 (оценка сверху).

4. Предложен аппарат «линий влияния» для принятия проектных решений в случае необходимости учета подземного сооружения при расчете оснований по первой группе предельных состояний.

5. Рекомендован подход к решению практических проектных задач, позволяющий обеспечить высокую надежность в определении предельной нагрузки, так как базируется на строгих решениях ТПРГ. ■



С. Н. СОТНИКОВ,  
д.т.н., генеральный директор  
ООО «ПЕТЕР-ГИБ»

*В 80-е годы прошлого века, работая на кафедре оснований, фундаментов и механики грунтов ЛИСИ, по заказу института «ЛенНИИпроект» я занимался разработкой темы «Строительство фундаментов около существующих зданий». В тот период в центральных районах города начали проектировать и строить новые дома, однако вокруг них образовывалась «осадочная воронка», а соседние старые дома получали дополнительную осадку, в их стенах возникали трещины... Это явилось поводом выявить осадочную воронку вокруг большого числа зданий разного типа, включая Исаакиевский собор, который, как можно было предполагать, получил весьма значительную осадку.*



МАСТЕРСКАЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ  
**ПЕТЕР-ГИБ**  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕРНОЕ БИРО

ООО «ПЕТЕР-ГИБ»  
197198, Санкт-Петербург,  
пр. Добролюбова, д. 1/79, лит. Б  
Тел.: (812) 405-71-05,  
petergib@yandex.ru

## ФУНДАМЕНТЫ И ОСАДКА ИСААКИЕВСКОГО СОБОРА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ



**Н**апомним, что автором и строителем собора являлся французский архитектор Огюст Монферран, который к тому же был превосходным живописцем и рисовальщиком. Росписи на стенах и плафонах, сделанные им после пожара в Зимнем дворце, так понравились Александру I, что в 1817 году он присвоил зодчему звание «Придворный архитектор» и поручил ему строительство Исаакиевского собора.

В начале XVIII века архитектор Ринальди начал, но не достроил Исаакиевскую церковь, которую достраивал в спешке архитектор Бренна. Это здание, занимавшее восточную часть существующего ныне собора, имело нелепый вид. Как государь, так и население города относились к этому строению весьма плохо. Монферрану было поручено построить новый собор большей площади и большой высоты (четвертый в Европе). В 1818 году зодчий представил царю пачку рисунков предполагаемого храма, и на первом из них было написано: «Быть по сему, Александр».

Строительство собора началось в том же году. Территория Исаакиевской площади в период этой грандиозной стройки представляла собой насыщен-

ную различными машинами и приспособлениями промышленную площадку, на которой обрабатывали колонны, обтесывали плиты, размалывали и гасили известь, работали кузницы и разные другие мастерские.

Монферран сохранил фундамент, алтарь, стены, полы старой церкви, остальная часть которой была разобрана, и начал свайные работы, создавая, что иначе на слабых грунтах города такое здание не построить. Конечно, в начале XIX века геологических изысканий не делали, а конструкция фундаментов была прерогативой подрядчика или автора проекта.

На плане (рис. 1) цифрами 5, 6, 7 показана сохранившаяся алтарная часть старой церкви. Под ней были забиты сваи длиной 12 м, по сетке «аршин на аршин» (0,6 × 0,6 м), всего 13 тыс. штук. Поскольку размеры нового собора в плане (97,6 × 111 м) были существенно больше размеров полуразобранной церкви, потребовалось развить фундамент, конструкция которого создавалась следующим образом:

- откапывались широкие траншеи глубиной до 5 м, из них непрерывно откачивали воду паровыми насосами;

- со дна траншей забивали еловые сваи  $D = 30$  см, длиной 6,5 м, расстояние между которыми было равно их диаметру;

- сваи забивали «тяжелым молотом», по каждой производилось 10 ударов;

- после забивки 11 тыс. свай откачку воды прекратили, и по ее установившемуся уровню в глубоком котловане все они были опилены под одну отметку;

- ростверк сформировали из нескольких слоев: древесный уголь — два слоя тесанных гранитных глыб — кладка из бутового камня.

Вся кладка фундаментной плиты выполнялась на известковом растворе. Новый фундамент строили 4 года 150 тыс. рабочих. В его теле оставили расположенные крестообразно тоннели («потерны», играющие роль подвалов). Та часть фундаментной плиты, на которую опирали огромные подкупольные пилоны («столбища»), была построена на сваях длиной 12 м, а кладка плиты под пилоны была выполнена из тесанных гранитных плит.

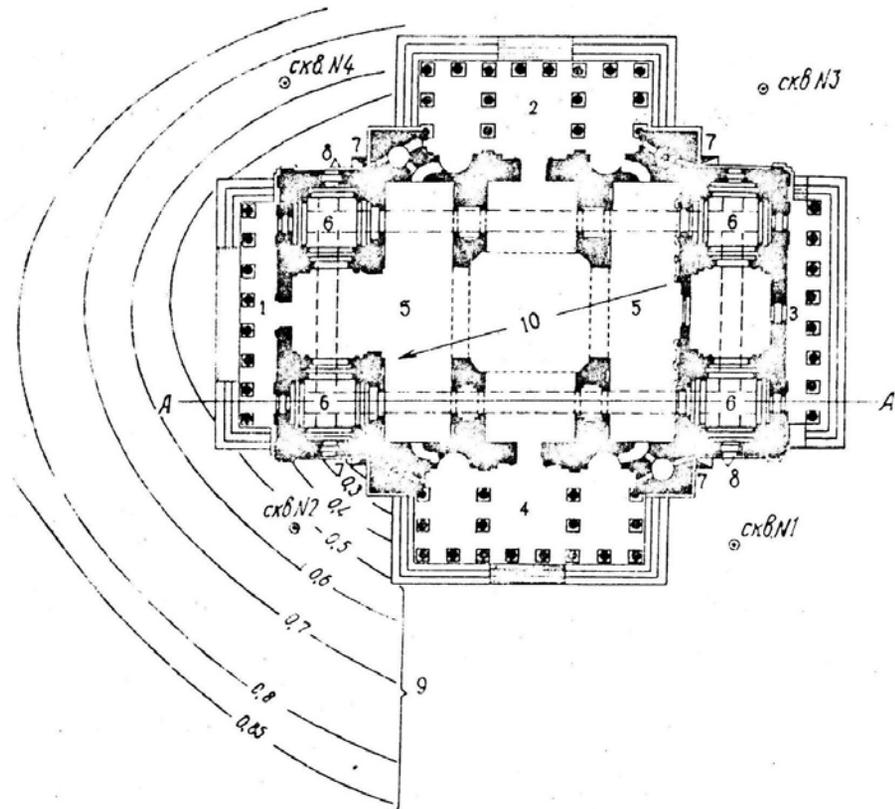
В советское время собором занималось учреждение под названием «Главнаука». По заданию этой организации трест ГРИИ пробурил четыре разведочных скважины, установил на стенах деформационные марки, выполнил нивелировку пола первого этажа по густой сетке. Указанные данные позволили установить следующее:

- пол здания имеет крен в диагональном направлении (с северо-востока на юго-запад, показано стрелкой на рис. 1.);

- максимальная разность осадки пола достигла 37 см;

- осадка основания здания, по-видимому, стабилизировалась, поскольку результаты высотной съемки по деформационным маркам, выполняемые один раз в 10 лет, не фиксируют перемещений с конца 30-х годов XX века;

- разность осадки поверхности покрытия площади и обреза фундаментной плиты равна 87 см.



На рис. 1 показаны изолинии поверхности покрытия Исаакиевской площади в метрах.

Возникновение крена плиты здания легко объяснить: сваи под разобранной церковью Ринальди (на рис. 1 — цифры 5, 6, 7, 8) по длине различаются с забитыми впоследствии в два раза. Концы старых свай длиной 12 м заделаны в слой плотного грунта — морены, а короткие сваи под новой плитой — в ленточные глины, слабый грунт текучей консистенции.

Дополнительно отметим, что в некоторых источниках указана масса собора 300 тыс. т. Однако доверия эта цифра не вызывает, поскольку выполнить сбор нагрузок на фундамент с учетом распределения давления от гранитных колонн, стен, столбов, купола весьма затруднительно. Поэтому расчет осадки основания мы не стали делать. По-видимому, для фундамента она составила не меньше 1 м.

В завершение темы хотелось бы напомнить некоторые исторические факты. На строительство Исаакиевского собора, которое продолжалось 40 лет, было согнано не менее 400 тыс. рабочих (по-видимому, государственных крестьян), четвертая часть которых погибла от травм и болезней... А после освящения собора, состоявшегося в 1858 году, его передали под опеку Министерства путей сообщений и публичных зданий. В последующем, однако, стал предъявлять свои права Синод, и власть была как бы поделена между церковью и государством.

Мне довелось видеть собор Святого Павла в Лондоне, Нотр-Дам де Пари, собор Святого Петра в Ватикане. Хотя эти культовые здания чуть выше «Исаакия», но, на мой взгляд, он настолько прекрасен и несравненен, что все меркнет перед его великолепием. ■

Рис. 1. План плиты здания. Результаты высотной съемки Исаакиевской площади, выполненной ЛИСИ в 1985 году

**«Международная компания ДСИ — Дивидаг Системс Интернешнл (DSI — Duwidag Systems International) известна во всем мире своими материалами и системами, прежде всего, для стабилизации горных пород в горнодобывающей промышленности и тоннелестроении. Ее российское подразделение ООО «ДСИ Техно», организовавшееся сравнительно недавно, успело заслужить на отечественном рынке славу ведущего производителя и поставщика специализированной продукции своего направления. Представим краткий обзор некоторых передовых технологических решений из широкого ассортимента различных типов анкерных систем, а также из большого разнообразия полимерных составов для стабилизации горных пород, которые предлагает компания.**

*DSI International Company is known for its materials and systems for stabilization of rocks in the mining industry and tunnel construction. Its Russian division DSI Techno LLC, which was established quite recently, has already gained the frame of the leading manufacturer and supplier of specialized products of its direction in the Russian market.*



**ООО «ДСИ Техно»**  
**650000, Россия, Кемерово,**  
**ул. Весенняя, 24А**  
**Тел.: +7 (3842) 36-57-65**  
**Факс: +7 (3842) 75-84-33**  
**E-mail: info@dsi-techno.ru**  
**www.dsi-techno.ru**  
**www.dsi-techno.com**



## «ДСИ ТЕХНО»: ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТКАХ

### Стабилизация горных пород полимерными смолами

Полиуретановая двухкомпонентная смола «Блокпур», предлагаемая компанией «ДСИ Техно», предназначена для стабилизации неустойчивых и нарушенных горных массивов в шахтах, рудниках, тоннелях, упрочнения пород кровли в очистных и подготовительных забоях, гидроизоляции горных выработок, гидротехнических сооружений и тоннелей.

Органоминеральная двухкомпонентная смола «Блоксил» рекомендуется для стабилизации горного массива в проходческих забоях и лавах в зонах горно-геологических нарушений, закрепления анкеров при бесфундаментном (свайном) креплении горно-шахтного оборудования и других конструкций, в том числе подводных, заполнения различных пустот методом вытеснения воды.

Преимуществами использования этих смол являются быстрота происходящей реакции, отличная адгезия, высокая прочность и эластичность, устойчивость к агрессивному воздействию кислот, щелочей и других органических растворителей.

Технологически близким решением является применение фенольной двухкомпонентной вспенивающейся смолы «Блокфил» для заполнения вывалов и «куполов», возведения противопожарных перемычек, герметизации и газоизоляция. Достоинства такого решения заключаются в том, что скорость реакции не



Блокпур

требует возведения герметичной опалубки, а высокий коэффициент вспенивания позволяет заполнять значительные объемы пустот с низким расходом материала, который к тому же является негорючим.

### Закрепление грунтов

Двухкомпонентный минеральный состав для силикатизации «Стабсил» предназначен для упрочнения и стабилизации сухих и влажных песков, гравийных насыпей, просадочных грунтов, повышения несущей способности оснований фундаментов, укрепления песчаных откосов дорожного полотна, придания водонепроницаемости пескам, осадочным и рыхлым горным породам. В результате применения технологии инъектирования материала «Стабсил» получается сплошной массив закрепленного грунта тре-



Стабсил



Стопцем

буемого очертания. Преимущества: высокая степень проникновения даже в предельно мелкий песок; регулируемая скорость реакции; крайне низкая вязкость; укрепляющее и герметизирующее воздействие в одной технологической операции.

### Крепление и изоляция выработок

С целью крепления горных выработок, герметизации вентиляционных и изолирующих перемычек, восстановления защитного слоя бетона, закрепления анкерных стержней применяется однокомпонентная цементно-песчаная смесь для торкретирования с химическими и армирующими добавками «Стопцем». Преимущества решения: отличная адгезия ко всем видам поверхностей (уголь, порода, металл, бетон и др.); быстрота достижения требуемой несущей способности; высокая производительность при нанесении материала; возможность модификации под технические характеристики заказчика.

### Анкерные системы

Бурильно-инъекционная анкерная система «Диви Дрилл» применяется для укрепления откосов, насыпей, скальных склонов, порталов перед строительством тоннелей, для армирования при упрочнении разрушенного горного массива, бесфундаментного (свайного) крепления горно-шахтного оборудования и т. п. Отличается возможностью бурения шпуров и проведения работ по упрочнению горного массива в сильно нарушенных и неустойчивых породах, а также совмещения процессов упрочнения горного массива и возведения крепи.

ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ №12. Март/2017

Крепь анкерная фрикционная «Фрикшн Лок» разработана как система управления горным массивом для надежного крепления пород. Обеспечивает полную несущую способность сразу после установки анкера по всей длине, отличается безопасностью и легкостью совмещения со шпурами различного диаметра, не требуя при этом дополнительных стройматериалов, имеет расширенный температурный диапазон условий применения.

Для горной промышленности и тоннелестроения предназначена еще одна разновидность фрикционной крепи — гидрораспорный анкер «Омега Болт». Помимо ряда аналогичных достоинств, он отличается также низкой чувствительностью к вибрациям, возникающим при взрывных работах, и сохраняет несущую способность даже при деформации горного массива.

Для сталеполимерного крепления горных выработок в шахтах, рудниках, тоннелях компания «ДСИ Техно» предлагает двухкомпонентный полиэфирный состав в ампулах «Полисет». Его прочность и эластичность позволяют с высокой производительностью возводить анкерную крепь в сложных горногеологических условиях, а скорость гелеобразования и мгновенный набор прочности — в условиях обводнения. Состав устойчив к агрессивному воздействию кислот, щелочей и других органических растворителей.

### Стратегические преимущества

«Благодаря нашему глобальному присутствию мы находимся в уникальном положении, которое позволяет объединить знания наших экспертов по всему миру для разработки сложных решений в любых отраслях горнодобывающей промышленности и тоннелестроения», — говорят в компании ДСИ.

Уточним, что холдинг «Дивидаг-Системс Интернешнл» (Dywidag-Systems International, DSI), головной офис которого находится в Люксембурге, ведет отсчет своей истории с 1865 года. На сегодняшний день имеет подразделения в 90 странах с более чем 2,1 тыс. квалифицированных сотрудников, готовых удовлетворить потребности клиентов на любом этапе проекта. Слоган компании: «Региональное присутствие — мировой опыт».

Оперативное развитие деятельности «ДСИ» в СНГ включает в себя создание производства сухих цементных смесей, полиуретановых, органо-минеральных и минеральных смол с разработкой новейших рецептов и составов. Технические ноу-хау подкрепляются хорошо организованным коммерческим присутствием на российском рынке, развитой складской инфраструктурой и гибкой ценовой политикой.



Полисет



Омега Болт



Фрикшн Лок



Диви Дрилл



М. И. НИКИТЕНКО,  
д. т. н., председатель ТКС-02  
«Основания и фундаменты,  
инженерные изыскания»  
РУП «Стройтехнорм» Минархстроя  
Республики Беларусь

**В статье на опыте анкерования ограждения глубокого котлована для многофункционального комплекса в Минске излагаются особенности устройства и испытаний буроинъекционных анкерных свай конструкции, предложенной петербургским ООО «Геоизол» по типу системы «Титан». Отражен характер взаимодействия свай с грунтами, приведены выявленные достоинства и недостатки технологии при решении конкретных задач.**

*Based on the practice of enclosure anchoring of a deep excavation for a multifunctional complex in Minsk, the article presents main features and testings of continuous flight augering pile of the structure proposed by Geozil LLC in St. Petersburg in the form of Titan system. The nature of interaction of piles with soils is provided, revealed advantages and disadvantages of the technology are shown when solving concrete tasks.*

# ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АНКЕРНЫХ СВАЙ «ТИТАН» И «ГЕОИЗОЛ» С ГРУНТАМИ

Для ограждения глубокого котлована при возведении многофункционального комплекса в Минске были применены заанкеренные на одном, двух и трех ярусах траншейные стены, возводимые методом «стена в грунте». Для крепления секций использованы выдергиваемые сваи «Геоизол» по типу «Титан», устраиваемые посредством буроинъекционной технологии, которая находит все большее применение в геотехнической практике. Сущность заключается в проходке скважин и закачке в них под давлением цементного раствора, что обеспечивает опрессовку окружающего скважину грунта с улучшением его свойств, а также формирование цементно-каменных фундаментных конструкций в виде стволов свай, закрепляемых в грунте несущих отрезков (корней) анкеров или армирующих элементов внутри упрочняемых зон грунтового основания. Высоконапорная инъекция (Jet-grouting) позволяет не только размывать грунт по глубине проходки скважины, но и перемешивать его с закачиваемым цементным раствором, создавая при этом указанные несущие элементы.

На таком технологическом приеме и базируется устройство анкерных свай данного типа, которые отличаются от классических предварительно напрягаемых буроинъекционных анкеров особенностями взаимодействия с грунтами при выдергивании.

## Конструктивное решение анкерных свай типа «Титан» и «Геоизол»

Конструкция анкерной тяги включает в себя стальную трубчатую штангу с винтовой накаткой на внешней поверхности, состоящую из соединяемых винтовыми муфтами звеньев, причем на нижнее из них в торце навинчивается буровая коронка с выпускными отверстиями (соплами), а на верхнее — стопорная гайка со сферической поверхностью контакта с опираемой на конструкцию пластиной (рис. 1). В таком исполнении



Рис. 1. Конструктивные элементы анкерных свай типа «Титан» и «Геоизол»

полая анкерная тяга совмещает функции бурового става при проходке скважин за счет поступательно-вращательного перемещения штанги с буровой коронкой, а также иньектора для закачки в полость цементного раствора, который под напором размывает в забое грунт и при перемешивании с ним тампонирует скважину, создавая при твердении ствол сваи. В последующем тяга армирует ее, а при выдергивании обеспечивает восприятие растягивающего усилия.

Последовательность технологических операций при устройстве анкерных свай типа «Титан» и «Геоизол»:

1. Перед началом проходки скважины на помосте укладывают необходимые детали анкерной тяги. На ее первую секцию навинчивается буровая коронка, а на последующие — соединительные муфты-гайки. Конец последней секции с резьбовой накаткой и навинченной стопорной гайкой защищается от повреждений клейкой лентой или пеньковой обмоткой.

2. Лафет буровой установки на месте проходки скважины выставляют по оси с заданным наклоном. К верхней секции полой

анкерной тяги подсоединяются шланги от растворонасоса.

3. В смесителе приготавливают цементный раствор — для проходки скважины — промывочный с  $V/C = 0,7$  (на 100 кг воды расход цемента 70 кг), а для опрессовки окружающего грунта и формирования ствола — рабочий с  $V/C = 0,5$  (на 100 л воды — 50 кг), — который перед соответствующей закачкой заливают в емкость растворонасоса.

4. Верхняя секция анкерной тяги прочно вкручивается в промывочную муфту на хвостовике бурового станка.

5. При подаче лафета нижняя секция тяги с буровой головкой в торце устанавливается на точку проходки скважины с требуемым наклоном по проектному направлению.

6. Включается растворонасос для закачки промывочной жидкости, а полая штанга (анкерная тяга) с буровой коронкой в торце нижней секции погружается в грунт на несколько сантиметров и центрируется. После этого включается редуктор вращения, и за счет размытия грунта закачиваемым через сопла в буровой коронке промывочным цементным раствором вращаемая тяга со скоростью не более 1 м/мин погружается на проектную длину. Во время бурения необходимо следить за тем, чтобы к устью скважины постоянно поступал раствор без перерывов. В противном случае анкерная тяга отводится назад, а затем процесс проходки продолжается с непрерывной закачкой раствора.

7. При наращивании длины анкерной тяги из ранее погруженных секций верхний конец должен выступать из скважины над поверхностью на 30–50 см. Для дополнительного расширения и прочистки скважины от шлама рекомендуется тягу при непрерывном вращении 2–3 раза выдвинуть по всей длине подачи лафета.

8. После проходки скважины по длине очередную секцию полой штанги захватывают зажимным устройством и выкручивают из промывочной муфты путем изменения вращения или при помощи гаечного ключа с открытым зевом. Вращатель бурового станка затем возвращают в исходное положение. При соединении нескольких секций тяги операции повторяют.

9. После достижения буровой скважиной проектной глубины при непрерывном вращении (без ударов и подачи) штанги смесительно-насосную станцию переключают с режима закачки промывочного раствора ( $V/C = 0,7$ ) на рабочий опрессовочный раствор ( $V/C = 0,5$ ). Во избежание попадания воздуха в цементное тело анкерной сваи и появления полостей, при нагнетании раствора не допускается его полное выкачи-

вание из накопителя. Рабочий раствор закачивают с повышенным давлением до тех пор, пока он в чистом виде не начнет выходить через устье скважины. При этом опрессовку производят в пределах длины анкерного корня, а требуемый его диаметр создают за счет закачки необходимого объема цементного раствора, с учетом водопоглощения, в окружающий грунт.

10. Когда цементный раствор наберет прочность не менее 70% от проектной (в песках — через 14 дней при растворе без пластификатора С-2 и через 7 дней — с пластификатором), все анкерные сваи подлежат натяжению. В глинистых грунтах требуется дренирование раствора.

Таким образом, технологические операции по устройству анкерной сваи в грунте включают в себя проходку скважины на проектную глубину при вращении трубчатой тяги с разбуриванием коронкой грунта и его вытеснением в стороны. При этом закачиваемый через полость тяги тампонажный цементный раствор размывает грунт и облегчает его разбуривание в забое скважины, заполняет ее и предотвращает обрушение грунта. После проходки скважины на проектную глубину вместо тампонажного раствора закачивается с повышенным давлением рабочий, по мере подъема тяги для формирования несущего элемента (корня) увеличенного диаметра в несмещаемом массиве грунта за пределами сдвигаемой призмы.

### Опыт анкерования ограждения глубокого котлована

Площадка строительства многофункционального комплекса (МФК), расположенная в северо-восточной части Минска, имеет полого-волнистый рельеф местности, причем в пределах участка застройки перепад высот достигает 8 м при общем уклоне с запада на восток и абсолютными отметкам от 220,50 до 212,00 м.

Инженерно-геологические условия площадки, согласно данным изысканий УП «Геосервис», характеризуются распространением следующих типов грунтов:

1. Голоценовый горизонт. Залегающие преимущественно у поверхности насыпные пески различной крупности и супеси, перемешанные с песками.

2. Могилевский подгоризонт сожского горизонта. Залегающие под насыпным грунтом флювиогляциальные надморенные отложения включают пески средние, крупные и гравелистые, а под ними — моренные супеси и суглинки с включением гравия и гальки до 3...7%, а в отдельных частях разреза до 15%, с прослойками песка от 1–2 до 10–20 см,

встречаются также валуны размером в поперечнике 0,7...1,2 м. Водноледниковые межморенные отложения представлены песками пылеватыми, мелкими, средними и крупными с линзами супеси мощностью 1,0–5,3 м.

3. Славгородский подгоризонт. Моренные супеси с включением гравия и гальки 3...7 до 15%, с частыми прослойками и линзами песка. В пределах площадки они залегают двумя слоями на разных гипсометрических уровнях и разделены слоем внутриморенных песков.

4. Днепровско-сожский горизонт. Комплекс водноледниковых и озерных отложений под славгородской мореной включает в себя пески пылеватые, мелкие, средние и крупные.

5. Днепровский горизонт. Моренные супеси с гравием и галькой до 15...20%. Подстилают днепровско-сожские пески.

Для бетона все грунты неагрессивны.

В грунтовом массиве верховодка и водоносный днепровско-сожский напорный горизонт вскрыты всеми скважинами на абсолютных отметках 186,68–192,73. Мощность водонасыщенных песков составила 2,67 м. Питание верховодки осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и дополнительно утечками из водонесущих коммуникаций.

Верхним водоупором являются моренные супеси могилевского подгоризонта, нижним — моренные отложения славгородского подгоризонта.

По наружному контуру котлована с учетом переменного уровня рельефа и его глубин на разных участках запроектировано ограждение из монолитных траншейных стен, возводимых методом «стена в грунте», с их креплением посредством выдергиваемых свай типа «Геоизол» на одном, двух и трех ярусах (рис. 2).

Все секции траншейных стен сопрягаются между собой в шпунт, а поверху объединены мощным железобетонным поясом со взаимным сварным соединением его арматурных каркасов и секций стен. Несмотря на это, для передачи на стены анкерных усилий при натяжении выдергиваемых свай, дополнительно предусмотрено на всех ярусах креплений устройство упорных поясов из стальных двутавровых балок, к которым под оголовками свай приварены большие толстые стальные плиты, а к ним сверху — плиты меньшего размера для опирания стопорных гаек. Жесткости балок повышены приваренными ребрами между их полками в местах размещения упорных плит с проходными отверстиями для тяг.

Длины анкерных свай при диаметрах их стволов по 0,25 м составляли по 15 м на



Рис. 2. Анкерование ограждения котлована МФК



Рис. 3. Использование опытных анкерных свай: а — извлечение из грунта; б — формы раскопанных стволов; в — фрагмент тела анкерной сваи, оставшийся в грунте и спрессованной на контакте со стволом; г — измерение диаметра ствола в грунте

первом и по 12 м на втором ярусе, а рабочих (корневых) отрезков — по 8,4 и 6,9 м, причем они располагались в толщах супесей над обводненными напорными водами песками.

До устройства и напряжения анкерных тяг выдергиваемых свай для оценки сопротивлений сдвигу супесей вдоль стволов свайных корней и подтверждения принятых в расчетах значений была предусмотрена отработка технологии инъецирования в такие грунты и выполнены пять опытных свай с тягами конструкции «Титан». При этом первые три из них предназначались для выявления роли состава закачиваемого цементного раствора на качество набора им прочности через 7 суток, а также для определения при раскопке фактической формы

и диаметра стволов (рис. 3). Их устраивали по верху откоса для удобства раскопки.

Еще два образца опытных анкерных свай устраивали ниже первых трех с тем, чтобы через 28 суток испытать их с полным выдергиванием. При этом первая из них была выполнена закачкой цементного раствора без ускорителя твердения, а вторая — с его наличием.

Поглощение «тощими» супесями воды из закачиваемых цементных растворов обеспечило одинаковое качество и время набора прочности, независимо от наличия или отсутствия добавки.

При раскопке с осмотром и обмерами трех опытных образцов анкерных свай на

верхнем уровне через 7 суток твердения закачанного раствора было установлено, что их стволы имеют примерно цилиндрическую форму с диаметрами 0,25 м (рис. 3) без разделения на свободные (затампонируемые) и рабочие корневые (заинъецированные) отрезки. Такие сваи удерживаются в грунте от выдергивания за счет его сопротивления сдвигу по контакту с боковой поверхностью ствола цилиндрической формы. При неразрушающем методе испытания сотрудники РУП «Институт БелНИИС» установили, что прочность цементного камня у всех образцов была практически одинаковой и достигла свыше 70% от расчетной. Это свидетельствует, что в данных грунтовых условиях натяжение анкеров возможно практически через 7 суток после закачки раствора в связи с хорошей водопоглотительной способностью моренной супеси с минимальным содержанием в ней глинистых фракций.

Исходя из результатов пробных испытаний, получены максимальные выдергивающие усилия для обеих анкерных свай по 549 кН. При одинаковых диаметрах их стволов по 0,25 м по всей длине и площади боковых поверхностей по 3,925 м<sup>2</sup> осредненные значения предельного сопротивления грунтов сдвигу вдоль боковых поверхностей составили 140 кПа.

Таким образом, предельные прогнозируемые несущие способности грунтов в основании этих корней исходя из сопротивляемости сдвигу будут равны на верхнем ярусе 922,3 кН, на нижнем — 757,6 кН. Поэтому при коэффициенте 1,2 допускаемые выдергивающие силы составят на анкерные сваи верхнего яруса — 768,6 кН, нижнего — 640,5 кН, что больше расчетных значений 504,6 кН и 595,2 кН от давления грунта за стеной.

При длинах стволов рабочих выдергиваемых свай 15 и 12 м, включая нерабочие отрезки в потенциальных призмах обрушения за ограждающими стенами, общие сопротивления грунтов вдоль них составят на верхнем ярусе — 1647 кН, на нижнем — 1317,6 кН, что больше прочности тяг по материалу в 1046 кН.

## Особенности взаимодействия

Рассмотрим отличительные особенности взаимодействия между собой, с грунтами и удерживаемыми конструкциями составных элементов выдергиваемых свай типа «Титан» и «Геоизол» и классических предварительно напряженных буринъекционных анкеров.

У анкерной сваи замоналиченная в цементном камне ствола стальная тяга при выдергивании передает на грунт сдвигающие

напряжения только вдоль его боковой поверхности. Растянутая тяга не выдергивается из цементного камня ствола за счет сцепления с ним по всей длине и передает на него усилие сжатия буровой головкой с распорами от выступов винтовой накатки снаружи тяги.

У классических буроинъекционных анкеров с растянутыми корнями тяга замоноличивается только в цементном камне корня и имеет возможность свободного удлинения в тампонажной обойме, где размещается в гладкой пластмассовой трубке. При наличии сжатого корня у анкера его тяга может удлиниться, при растяжении по всей длине в гладкой пластмассовой трубке, а усилие сжатия на цементный камень корня передается через опорную шайбу вниз. Для исключения передачи доли выдергивающего усилия от анкерного корня в виде сжатия на тампонажную цементно-каменную трубчатую обойму требуется выполнять на стыке этих участков легкосжимаемый пакер. При его отсутствии данная трубчатая обойма вместе с пластиковой трубкой повышенной прочности может воспринимать эту долю усилия за счет сопротивления сдвигу по контакту ее боковой поверхности с грунтом, а при меньшей прочности — по предельному значению сжатия при разрушении кольцевого сечения обоймы.

При наличии легкосжимаемого пакера выдергивающее усилие на анкер полностью передается его корню. Без пакера анкер превращается в выдергиваемую сваю с разными диаметрами ствола: меньшим у тампонажной обоймы и большим у корня или с несколькими уширениями. В таком случае на корень анкерной сваи приходится лишь разница между прилагаемой нагрузкой и сопротивлением тампонажной обоймы сжатию или сдвигу в грунте. Поэтому для оценки величины удерживающего в грунте усилия из общей выдергивающей нагрузки требуется вычитание значений сопротивлений сжатия тампонажной обоймы или сдвигу по ее контакту с грунтом.

В конструкциях анкерных свай типа «Титан» и «Геоизол» тяги без гладких пластмассовых трубок в пределах потенциальной сдвигаемой призмы грунта оказываются замоноличенными в цементном камне ствола по всей длине. Однако при анкерровании ограждающих глубокие котлованы стен нерабочие отрезки стволов анкерных свай в пределах потенциальных призм обрушения грунта, в зависимости от глубин ярусов анкеров, могут порой существенно превосходить длины рабочих корней (рис. 4). В подобных случаях сопротивления сдвигу грунтов вдоль тампонажных обоек оказываются больше, чем вдоль корневых отрезков, и соответственно, превышают приходящиеся на анкеры выдергивающие усилия.

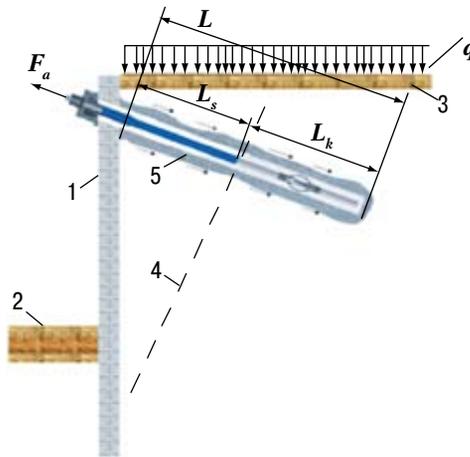


Рис. 4. Схема ограждающей котлован стены, заанкеренной с помощью выдергиваемых свай: 1 — стена ограждения котлована; 2 — дно котлована; 3 — поверхность грунта за стеной; 4 — предполагаемая поверхность сдвига грунта; 5 — выдергиваемая анкерная свая;  $q$  — пригрузка на поверхности грунта;  $F_a$  — общее усилие растяжения в анкерной тяге;  $L$  — длина анкерной сваи;  $L_s$  — длина свободной части анкера или тяги сваи в пределах призмы обрушения грунта за ограждением;  $L_k$  — длина анкерного корня

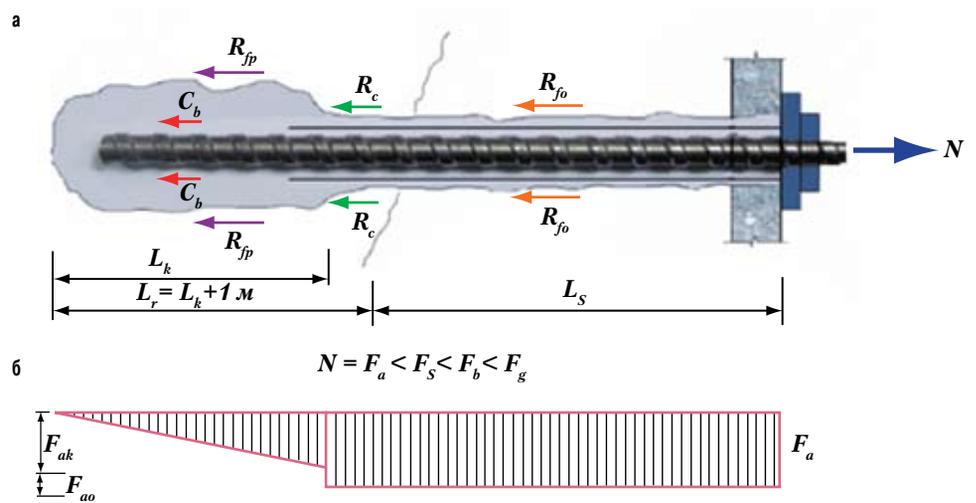


Рис. 5. Характер распределения усилия растяжения в тяге буроинъекционного анкера с растянутым корнем и пробное испытание одной из них: а — схема буроинъекционного анкера с растянутым корнем и тягой в гладкой пластмассовой трубке по свободной длине; б — характер распределения усилия растяжения в тяге анкера;  $N$  — выдергивающее усилие на анкер (сваю),  $R_{fp}$  — удельное сопротивление сдвигу опрессованного грунта по боковой поверхности корня анкера или ствола сваи;  $C_b$  — удельное сцепление между цементным камнем и анкерной тягой;  $R_{fo}$  — удельное сопротивление сдвигу грунта без опрессовки по боковой поверхности тампонажной обоймы;  $R_c$  — удельное сопротивление сжатию опрессованного грунта по кольцевой лобовой поверхности уширения корня;  $F_{ao}$  — доля уменьшения растягивающего усилия в тяге за счет передачи сжатия на тампонажную обойму;  $F_{ak}$  — остаточная доля растягивающего усилия в тяге при уменьшении по длине за счет сцепления с корнем и сопротивлений сдвигу его с грунтом;  $F_s$  — предельное сопротивление тяги на разрыв;  $F_b$  — предельное сопротивление сдвигу между корнем и тягой;  $F_g$  — предельное сопротивление грунта сдвигу вдоль боковой и сжатию по кольцевой лобовой поверхности корня

У буроинъекционного анкера тяга при выдергивании в процессе натяжения и последующей блокировке на проектном усилии оказывается с одинаковыми напряжениями по всей свободной длине отрезка в гладкой пластмассовой трубке. При этом падение напряжения в тяге происходит в хвостовой части анкера за счет суммирования сопротивлений грунта сжатию перед лобовой кольцевой и сдвигу вдоль боковой поверхности корня (рис. 5).

Данная схема представлена для случая отсутствия пакера на стыке нерабочей тампонажной обоймы и корня, когда анкер работает как выдергиваемая свая с тем отличием, что ее тяга имеет одинаковое напряжение внутри гладкой пластмассовой трубки по длине обой-

мы. Здесь у корня цементный камень оказывается сжатым за счет упора в тампонажную обойму с трубкой. При отсутствии пакера и без такого упора корень подвергается растяжению вместе с тягой.

У выдергиваемой сваи типа «Титан» и «Геоизол» тяга замоноличивается в цементном камне ствола полностью, поэтому при натяжении растягивающее усилие в ней уменьшается от головы по длине за счет контактных сопротивлений сдвигу тяги по стволу и его самого по грунту, за счет чего может не доходить до нижнего торца на некотором отрезке (рис. 6).

Если представить такой отрезок за стеной ограждения котлована вне призмы

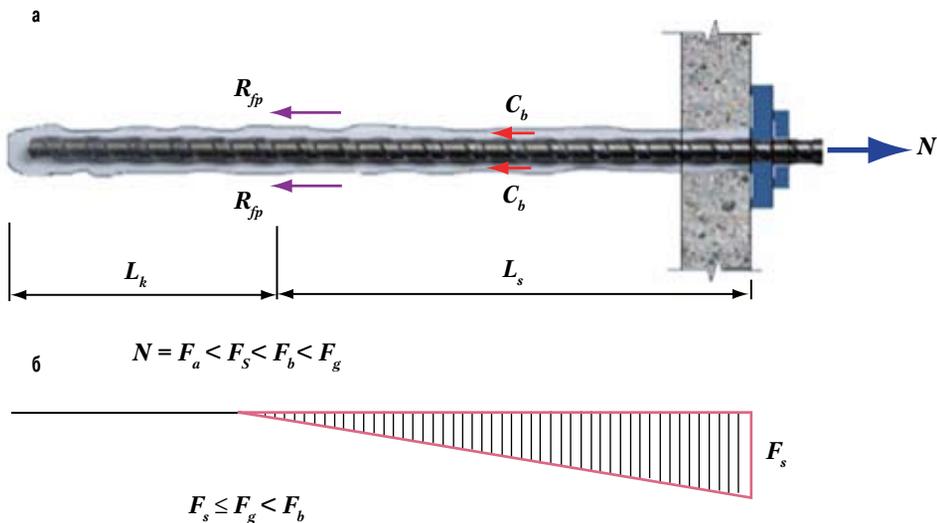


Рис. 6. Характер распределения усилия растяжения в тяге анкерной сваи: а – схема анкерной сваи, б – эпюра растягивающих усилий по длине тяги

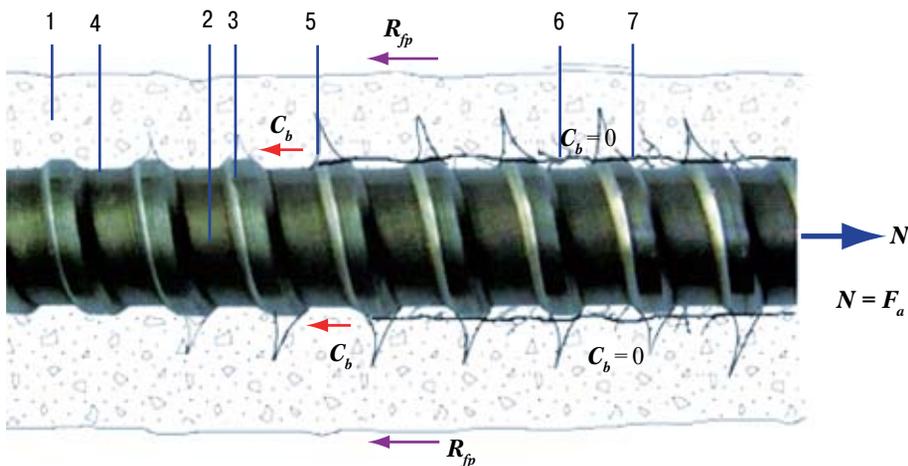


Рис. 7. Деформации цементного камня ствола анкерной тяги на контакте с выступами винтовой накатки трубчатой тяги: 1 – цементный камень ствола сваи; 2 – поверхность трубчатой тяги; 3 – винтовая накатка (выступы) на поверхности тяги; 4 – зона контакта тяги со стволом без проскальзывания; 5 – разрывные трещины в цементном камне ствола сваи (перед выступами тяги) за счет ее растяжения; 6 – местное смятие (разрушение цементного камня при концентрации напряжений сжатия); 7 – поверхность проскальзывания тяги в зоне местного смятия цементного камня

обрушения грунта в несмещаемом массиве, причем вдоль него сопротивление грунта будет ничтожно малым (например, грунт окажется размытым, в виде линзы или торфа), то данная свая может обрушиться вместе с грунтом этой призмы и привести к потере устойчивости (опрокидыванию) стены. Судя по данной схеме, замоноличенная в стволе анкерной сваи и имеющая сцепление с его цементным камнем тяга не может иметь предварительное напряжение.

Поскольку после заделки цементного раствора в скважину ствол оказывается упираемым на ограждающую стену или замоноличенным в ее отверстии для бурения анкерной скважины, то при натяжении вы-

дергиваемой тяги по ее контакту с цементным камнем в оголовке ствола возникает концентрация сдвигающих напряжений с превышением сил сцепления. В этой связи передаваемое выступами винтовой накатки тяги сжатие камня может вызывать его местное разрушение (смятие) с разрывными трещинами на некотором отрезке, где тяга будет способна проскальзывать вдоль контактной со стволом поверхности (рис. 7).

Аналогичные процессы могут происходить и у растянутого корня буроинъекционного анкера при натяжении тяги в случае наличия легкосжимаемого пакера на стыке корня с тампонажной обоймой. Отличие возникает при отсутствии пакера, когда корень упира-

ется в обойму и сжимается, а концентрация напряжений на их стыке может вызвать местные разрушения цементного камня перед выступами тяги и (или) в торце обоймы.

Если у буроинъекционных анкеров при их испытаниях (пробных, контрольных и приемочных) тяги напрягаются и удлиняются в гладких пластмассовых трубках соразмерно выдергивающим усилиям, то у выдергиваемых свай это возможно только сверху ствола под стопорной гайкой над выдвигаемым штоком домкрата, по длине проскальзывания, включая отрезок замоноличивания в стене, и вдоль призмы обрушения.

Поскольку тяги классических анкеров после натяжений оставляют напряженными на блокировочных усилиях, исходя из давления распора грунта на стену, то ее смещение в сторону котлована возможно только после превышения распора. При этом грунт призмы обрушения оказывается прижатым к поверхности несмещаемого массива, а передаваемые на нее напряжения соразмерно силам натяжения анкеров мобилизуют сопротивление сдвига.

При натяжении анкерных свай типа «Титан» и «Геоизол» выдергиваемые усилия всего лишь прижимают их стволы к стене, с которой они совместно смещаются в сторону котлована соразмерно удлинениям тяг в оголовках стволов и сдвиговым перемещениям в грунте самих стволов, исходя из характера распределения усилий.

Таким образом, практикуемые для выдергиваемых свай типа «Титан» и «Геоизол» контрольные и приемочные испытания теряют смысл, поскольку сводятся лишь к проверке удлинений коротких отрезков тяг от растягивающих усилий. Так, например, при этом удлинения тяг составляли всего от 4 до 16 мм. Поэтому для сопряжения выдергиваемых свай со стенами достаточно лишь небольшого натяжения стопорных гаек над опорными плитами без ненужных затрат средств и времени на проведение испытаний.

### Достоинства и недостатки анкерных свай типа «Титан» и «Геоизол»

Достаточно широкое распространение в геотехнической практике свай типа «Титан», «Геоизол» и их модификаций обусловлено рядом достоинств:

- конструктивное решение тяг в виде составных полых штанг из высокопрочной стали с винтовой накаткой на внешней поверхности обеспечивает удобство их транспортировки, простоту поперечного соединения с помощью винтовых муфт, а также навинчивания сверху стопорных гаек и

снизу буровых коронок с соплами для выхода закачиваемого раствора;

- использование жестких и высокопрочных стальных анкерных тяг с навинченными внизу коронками функций в качестве буровых штанг для проходки скважин и инъекторов для закачки цементных растворов позволяет сначала размывать грунт в забое с предотвращением его обрушения со стенок скважины, а после твердения формировать стволы свай;

- минимальные удлинения анкерных тяг с высокой прочностью и жесткостью при замоноличивании в цементно-каменном стволе от выдергивающих (растягивающих) усилий;

- увеличение диаметров стволов свай от размытия, прорезания винтообразной борозды по длине скважины и вытеснения грунта в стороны, а также его цементации от перемешивания с раствором в процессе высоконапорной инъекции;

- малая опасность коррозии жестких стальных тяг при их незначительном удлинении и достаточной толщине защитного цементно-каменного слоя у ствола сваи.

Однако имеются и недостатки, зачастую не учитываемые:

- создание локального уширения на нижнем конце свай, то есть в рабочей корневой зоне, довольно проблематично, поскольку в жидком тампонажном растворе дальнейшая закачка более густого высоконапорного давления приводит примерно к одинаковому диаметру ствола по всей длине скважины, за исключением более интенсивно сжимаемых грунтовых слоев;

- огромный перерасход цемента за счет изливания из устья скважины закачиваемого тампонажного цементного раствора в процессе разбухания грунта при ее проходке, а затем при высоконапорной инъекции густого рабочего раствора, который вытесняет более жидкий тампонажный при формировании ствола сваи;

- твердение тампонажного раствора исключается, поскольку затруднит вращение штанги с буровой короной, однако с укрупнением зерен водопоглоительная способность маловлажных песков способствует быстрому дренированию и твердению таких растворов, а при увеличении их водоцементного отношения (В/Ц) усиливаются процессы седиментации.

Особо проблемными при слабофильтрующих глинистых грунтах являются следующие отрицательные факторы:

- при повышенном давлении инъекции в процессе расширения скважины за счет растягивающих напряжений в кольцевом направлении возникают в окружающем грунте разрывные трещины, по которым закачиваемый раствор может уходить в неконтролируе-

мые (нерабочие) зоны, особенно в сильно сжимаемые слои грунтов и песчаные прослойки в связных глинистых с просачиванием через них;

- даже передаваемые на грунт сжимающие напряжения в радиальных направлениях и вызванные ими деформации способствуют нарушению структурных связей со снижением сцепления, что традиционно не учитывается;

- закачиваемый в слабофильтрующие глинистые грунты цементный раствор с большими значениями В/Ц (у тампонажного — даже 1:1) без дренирования (в отличие от песка) избыточной воды и при отсутствии поступления воздуха на большие глубины не имеет требуемых условий для гидратации, что сильно увеличивает период набора прочности цементным камнем;

- весьма неблагоприятно сказывается перемешивание при высоконапорной инъекции связных глинистых грунтов с цементным раствором, увеличивая срок твердения и набора прочности такой смесью до 2-х месяцев и более в зависимости от числа пластичности.

Устранить последние отрицательные факторы позволит дренирование избыточной влаги из закачиваемого цементного раствора с большим значением В/Ц (в соответствии с запатентованными изобретениями: №№ 1281635, 1527378, 1392203).

Снижению значений В/Ц инъекционных цементных растворов при сохранении эффективности их прокачивания по трубопроводам способствует добавка пластификатора типа С-3.

Наиболее эффективным, оправдавшим себя на многих объектах Минского метрополитена, оказалось решение для анкера по а. с. № 1392203, предусматривающее управляемую инъекцию цементного раствора с его дренированием за счет закачки в геотекстильный рукав в пределах корня при наличии между ним и свободной частью тяги легкосжимаемого пакера. Оснащение геотекстильного рукава по длине бандажами для ограничения диаметра расширения закачиваемым раствором позволяет формировать локальные уширения при их оптимальном количестве не более трех, что обеспечивает передачу на грунт сжимающих напряжений с повышением несущей способности основания анкера. При уменьшении до четырех раз расхода цемента на формирование корней несущая способность основания может увеличиваться также до четырех раз.

С учетом вышеизложенного целесообразно модернизировать конструктивное и технологическое решение анкеров типа «Титан» или «Геоизол», особенно при их устройстве с корнями в слоях глинистых грунтов за счет

управляемой закачки цементного раствора в геотекстильные рукава и создания локальных уширений согласно а. с. № 1392203.

Для этого проходку скважин на проектные глубины можно производить посредством традиционных операций по разбурированию коронкой внизу трубчатой тяги и закачкой тампонажного раствора по мере извлечения штанги. После этого в заполненную жидким раствором скважину должна погружаться трубчатая тяга без буровой коронки с оснащением по длине корня геотекстильным рукавом и бандажами для создания при его заполнении раствором требуемых диаметров уширений, а над корнем — пакером, заполненным легкосжимаемым материалом. При этом рукав и пакер для возможности погружения в разбуренную скважину диаметром 175–180 мм следует складывать по типу «юбки гофре» равномерно по периметру.

Трубчатую тягу анкера в пределах свободной длины выше корня целесообразно поместить в гладкую пластмассовую трубку для исключения связи с цементным камнем обоймы и обеспечения свободного удлинения выдергиваемой тяги.

После погружения трубчатой штанги с геотекстильным рукавом по длине корня его формирование следует осуществлять за счет закачки рабочего цементного раствора с В/Ц порядка 0,3–0,35 с добавкой пластификатора С-3 или иного равнозначного. Давление инъекции должно наращиваться плавно с поступлением раствора в рукав через нижний торец тяги в объеме, требуемом для полного заполнения рукава до требуемого диаметра уширений. Геотекстильный рукав обеспечит отцеживание избыточной влаги из раствора и его дренирование, что существенно ускорит процесс гидратации и набора цементным камнем требуемой прочности для возможности натяжения анкеров.

В качестве резюме можно отметить, что для минимизации присущих выдергиваемым сваям типа «Титан» и «Геоизол» недостатков и повышения несущей способности их оснований при меньшем расходе цемента на формирование стволов, особенно в глинистых грунтах, требуются:

- увеличение диаметров свайных корней вне призмы обрушения грунта за ограждающими стенами и обеспечение свободного удлинения отрезков тяг в гладких пластмассовых трубках вдоль этой призмы,

- совершенствование технологических операций управляемой закачки цементного раствора в дренирующие геотекстильные рукава с локальными бандажными кольцами по длине корней и пакерами с легкосжимаемым заполнением между ними и тампонажными обоймами.■



**Алексей АРХИПОВ,**  
д. т. н., генеральный  
директор  
ООО «Геодиагностика»



**Дмитрий КОНЮХОВ,**  
к. т. н., профессор, заместитель  
начальника нормативно-  
технического управления  
АО «Мосинжпроект»



**Валерий КУЗНЕЦОВ,**  
директор Управления механизации —  
филиала ОАО «Метрострой»

# СТЕНА В ГРУНТЕ: ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУКЦИЯ

*Если обратиться к истории, то нельзя обойти вниманием интересный факт: метод «стена в грунте» впервые был применен при сооружении Московского метрополитена в 1932 году. Технология, позволяющая в стесненных условиях сохранять существующую застройку, использовалась в СССР при строительстве городских подземных сооружений мелкого заложения, но широкого распространения не получила. Идея, однако, была подхвачена на Западе, и метод «стена в грунте», развитый и усовершенствованный, фактически вернулся в Россию в начале XXI века как «импорт». На сегодняшний день одни специалисты считают его давней и хорошо отработанной отечественной технологией, другие — зарубежной инновацией, которая еще не освоена до конца. Открытым также остается вопрос, в том числе, и для и петербургских строителей, — в любых ли инженерно-геологических условиях возможно устройство стены в грунте? Чтобы прояснить ситуацию, мы организовали на страницах этого номера обмен мнениями по данной теме между экспертами и специалистами-практиками.*

*В каких инженерно-геологических условиях можно применять технологию «стена в грунте»? Насколько это возможно в Санкт-Петербурге?*

**Игорь Харченко:**

— Устройство ограждений котлована по технологии «стена в грунте» возможно в различных вариантах: траншейный, буросекущие сваи, монолитный, сборный, комбинированная схема и т. д. Всего известно более 20 способов. Решение принимается на основании их технико-экономического сравнения.

В сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга возможно и целесообразно применять технологию «стена в грунте», как альтернативу шпунтовым ограждениям.

**Алексей Архипов:**

— Технология применима в широком диапазоне инженерно-геологических условий, в том числе в грунтах Санкт-Петербурга. Возможность устройства стены

в грунте в конкретных условиях должна определяться по результатам инженерно-геологических изысканий. Опасными факторами при этом являются наличие водоносных горизонтов с коэффициентом фильтрации в несколько десятков метров в сутки, погребенный строительный мусор, большая мощность прослоев текучих грунтов, изношенное оборудование и неквалифицированный персонал.

**Дмитрий Коныхов:**

— Отвечая на такие вопросы, прежде всего необходимо понять, о какой именно разновидности этой технологии идет речь. Стена в грунте может быть траншейной или свайной. Траншейная, в свою очередь, делится на монолитную, сборную, сборно-монолитную только с точки зрения технологии изготовления. А есть еще конструкции сложной геометрической формы, например, с контрфорсами, есть разделение по типу ограничителей захваток и прочее. Аналогичная ситуация и со стеной в грунте свайного типа. Сваи могут быть буронабивными, изготовленными по струйной, разрядно-импульсной технологиям, перемешиванием (Deep Soil Mixing). Естественно, для каждого из этих вариантов есть своя область применения, однако в целом можно сказать, что современное оборудование позволяет изготавливать стену в грунте практически в любых нескальных грунтах, в том числе, водонасыщенных.

Эта технология уже неоднократно применялась при строительстве подземных сооружений в Санкт-Петербурге.

**Алексей Шашкин:**

— Технология «стена в грунте» применяется во всем мире в разных инженерно-геологических условиях, в том числе, в подобных петербургским. Однако вопрос о том, применима ли она в нашем городе, пока что никак не связан с ее потенциальными возможностями. Насколько мне известно, на сегодняшний день, к сожалению, ни одна геотехническая компания, работающая в Петербурге, не смогла сделать стену в грунте без дефектов. Во-первых, часто встречаются включения грунта и глинистого раствора вместо бетона. Во-вторых, зачастую такая «стена» пропускает воду, как решето. Впору дать название «грунт в стене», по остроумному замечанию профессора Евгения Мироновича Перлея.

**Валерий Кузнецов:**

— Метод «стена в грунте» чаще всего используется при слабых грунтах, крепостью 7–10 класса по шкале Протодьяконова, которые поддаются разработке с помощью штатных грейферов специальных строительных установок заводского производства. В Санкт-Петербурге технология, безусловно, применима и необходима.

**Олег Маковецкий:**

— Эта технология может применяться в любых дисперсных грунтах. В случае твердых включений природного или техногенного происхождения (крупные валуны, обломки бетонных конструкций, каменной кладки и др.) при проходке траншеи используется техника, оснащенная



**Олег МАКОВЕЦКИЙ,**  
к. т. н., заместитель  
генерального директора  
ОАО «Нью Граунд»



**Игорь ХАРЧЕНКО,**  
д. т. н., профессор, начальник  
отдела освоения подземного  
пространства НИИ экспертизы и  
инжиниринга МГСУ



**Алексей ШАШКИН,**  
к. т. н., генеральный директор  
ООО «ПИ Геореко­н­струк­ция», член Санкт-Петербургской экспертно-консультативной комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям



ная фрезерным оборудованием. Мощность крутящего момента колес фрезы в совокупности с ее весом достаточна для того, чтобы разбивать грунт любого типа и крошить булыжник, небольшие валуны или слабые горные породы, либо срезать бетон со смежных панелей. Эта техника применяется при строительстве глубоких стен в грунте и стен, располагаемых в сыпучих материалах и мягком камне. Использование данной технологии позволяет устраивать протяженные вертикальные монолитные железобетонные конструкции шириной 600–1000 мм и глубиной до 32 м. В слабых водонасыщенных глинистых грунтах, в песках применяется телескопический грейфер.

Для выполнения конструкций применяется бетон класса прочности В30, с осадкой конуса 150–180 мм, что позволяет укладывать его методом вертикального подъема бетонолитной трубы. Марка по водонепроницаемости — W10–W12.

Элементы, выполняемые по этой технологии, используются в качестве ограждающих конструкций, воспринимающих давление грунта, подземной воды и полезные нагрузки. Отлаженные методы производства работ и контроля качества, высокая долговечность железобетона в условиях постоянного увлажнения позволяют обеспечить необходимую надежность и безопасность на весь эксплуатационный срок стены в грунте. Компания «Нью Граунд» применяла эту технологию в широком спектре сложных геологических условий Москвы, Перми, Краснодара, Самары, Уфы, Тюмени.

Основным критерием использования стены в грунте является ее экономическая эффективность по сравнению с другими возможными решениями. Этот способ является одним из наиболее прогрессивных и универсальных для устройства подземных сооружений, возводимых в открытых котлованах. Он позволяет осуществлять строительство в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений:

- при значительной глубине нового сооружения (до 50 м);

- при больших размерах в плане и сложной форме объекта;

- при высоком уровне подземных вод, в слабых водонасыщенных грунтах.

Использование технологии «стена в грунте» в Санкт-Петербурге принципиально возможно, но каждый объект надо рассматривать в конкретной ситуации: конструктивное решение подземной части; геологические и гидрогеологические условия площадки строительства (колебания уровня подземных вод, их напор и агрессивность); техническое состояние окружающих зданий и сооружений. Разумеется, все работы следует проводить в сопровождении геотехнического мониторинга, прогнозируя и контролируя изменения во времени.

Известный практический опыт строительства в Санкт-Петербурге (подземная часть «Лахта-центра», вторая сцена Мариинского театра, здание Арбитражного суда) подтверждает возможность применения здесь стены в грунте, но вместе с тем свидетельствует и о больших сложностях при выполнении такого рода работ.

**Как предотвратить брак в виде включений грунта и бентонита при изготовлении стены в грунте? Является ли этот дефект неизбежным? Как его можно компенсировать?**

**Игорь Харченко:**

— Для исключения брака необходимо грамотно разрабатывать технологические регламенты и строго их соблюдать. Включение грунта не является неизбежным дефектом. Необходимо осуществлять строгий контроль качества работ при устройстве траншеи, качества бентонитового раствора. Для устройства конструкции стены целесообразно применять самоуплотняющиеся бетонные смеси.

**Алексей Архипов:**

— Вероятность возникновения дефектов сопровождается любой сложной технологический процесс. Снижение риска их возникновения в стене в грунте обеспечивается качественным проектированием и строгим соблюдением всех технологических операций. Очевидно, что наличие дефектов в ограждении необходимо определять до начала проходческих работ неразрушающими методами, с целью разработки и реализации решений по усилению и защите. Технология проходки котлованов под защитой стен в грунте ([www.geodiagnosics.ru](http://www.geodiagnosics.ru)) должна включать в себя закладку в армокаркасы трубок, выявление ослабленных зон (щебенистости, дефектных стыков и т. п.) методом акустического и ультразвукового прозвучивания, а также защитную струйную цементацию типа «моноджет» с наружной стороны стены в интервалах выявленных ослабленных зон.

**Дмитрий Коныхов:**

— В целом нужно отметить, что подобные дефекты изготовления в первую очередь определяются культурой производства и уровнем квалификации непосредственных исполнителей, а также некоторыми «внешними» факторами: директивными сроками строительства,



финансированием, стремлением подрядчика к неоправданной экономии и т. п.

**Алексей Шашкин:**

— Подрядные организации каждый раз объясняют свой брак чуть ли не вмешательством потусторонних сил — подземными реками, напорными горизонтами подземных вод и т. п. На самом деле технология разработана как раз для сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Достаточно держать уровень технологического раствора — бентонита — выше пьезометрического, и проблем нет. Но у наших подрядчиков, как правило, проблемы есть. Их причина проста — низкая квалификация.

**Валерий Кузнецов:**

— Идеальной стены в грунте добиться сложно и даже экономически нецелесообразно. Включения грунта и бентонита можно значительно сократить, строго соблюдая технологию производства и применяя качественный бентонит максимальной концентрации. И не используя бентонитовый раствор повторно, а полностью обновляя его после изготовления секции стены. Причем надо учитывать и то, что в России выпускается очень мало бентонита хорошего качества.

**Олег Маковецкий:**

— Стена в грунте строится с использованием щелевой стеной технологии, включающей в себя вырезание узкой захватки, заполненной специальной жидкостью или суспензией. Суспензия оказывает гидравлическое давление на стены захватки и исполняет роль крепления для предотвращения разрушения. Вырезание щелей может производиться во всех типах грунта, даже ниже уровня подземных вод. Специфические применения и основополагающие условия требуют использования фрезы с гидравлическим управлением и обратной циркуляцией.

Состав и свойства используемых растворов должны обеспечивать: предохранение стенок траншей от

обрушения и вывалов грунта; удержание частиц разрыхленного грунта во взвешенном состоянии; образование по стенкам траншеи кольматированной корки с коэффициентом фильтрации порядка  $10^{-6} \dots 10^{-7}$  см/с. Параметры глинистых растворов (плотность, вязкость) должны подбираться с учетом инженерно-геологических условий строительной площадки.

Технология обратной циркуляции предусматривает непрерывную подачу раствора и удержание его уровня не ниже 200 мм от верха форшахты. При этом происходит его постоянное замещение и вынос частиц грунта из разрабатываемого шлица, затем на специальном оборудовании производится разделение грунта и раствора — его очистка и обогащение. После окончания проходки должно быть выполнено трехкратное полное замещение раствора в полном объеме «заходки» — ее промывка для удаления оставшегося бурового шлама. Выполнение этих мероприятий позволяет максимально полно очистить пространство для установки армирующих каркасов и последующего бетонирования. Перерыв между данными операциями должен быть минимальным.

При бетонировании под глинистым раствором необходимо обеспечивать: изоляцию бетонной смеси от раствора в процессе ее подачи в траншею; недопустимость перемешивания бетонной смеси с раствором при укладке; непрерывность бетонирования в пределах секции. Каждую очередную секцию следует бетонировать без перерывов в подаче бетона. Темп процесса должен составлять не менее  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ , скорость подъема смеси — не менее 3 м/ч. В случае вынужденных перерывов необходимо перед возобновлением укладки выполнить барботаж глинистого раствора, особенно тщательно — в зоне, примыкающей к поверхности ранее уложенного бетона. Нижний конец бетонолитной трубы при бетонировании методом ВПТ без вибрации должен быть заглублен в бетон не менее чем на 2 м. Уровень уложенного материала в захватке контролируют при помощи футштока, а положение трубы — по рискам разметки.



Таким образом, в случае правильного соблюдения технологии происходит полное вытеснение бентонитового раствора из «шлица», не допускающее возникновение «пузырей» с включениями грунта и бентонита. Однако неизбежные в строительной практике случайные остановки, перерывы в бетонировании, нарушения регламента все-таки приводят к их образованию. Опыт строительства показывает, что при соблюдении технологии такие включения составляет 2–3% от общего объема бетонирования. Дефектные места подлежат удалению, очищению и последующему заполнению ремонтными безусадочными смесями с полимерными добавками.

**Может ли стена в грунте использоваться в качестве гидроизоляционной защиты? Можно ли добиться абсолютной водонепроницаемости стены в грунте и стыков между панелями? Требуется ли при этом устройство мембранной гидроизоляции с прижимной железобетонной стенкой?**

**Игорь Харченко:**

— Если стена в грунте выполняет функцию гидроизоляционной защиты, то такая технология имеет название «белая ванна» и применяется в европейской строительной практике с 80-х годов прошлого века. При этом какой-либо дополнительной гидроизоляции не предусматривается. Данную технологию мы пытаемся внедрить на объектах строительства Московского метрополитена.

**Алексей Архипов:**

— Это возможно совместно с дополнительными мероприятиями по изменению фильтрационных свойств грунтов, примыкающих к ограждению. Стену в грунте и примыкающий грунт надо рассматривать как единую систему. Устройство мембранной гидроизоляции — это один из методов.

**Дмитрий Коныхов:**

— Однозначно может. Повторю, что в первую очередь проблема качественного изготовления стены в грунте и, соответственно, ее водонепроницаемости заключается в культуре производства.

Что касается гидроизоляционных свойств, то Научно-инженерным центром по освоению подземного пространства АО «Мосинжпроект» совместно с ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» разработана система с применением напыляемых полимерных составов с высокой (не менее 0,5 МПа) адгезией к основанию из ранее уложенного бетона (набрызг-бетона), металла или геотекстильной ткани, а также к свежесформованному бетону (набрызг-бетону). Модификация этой системы включает в себя специально разработанную листовую мембрану с вторичной адгезией, получаемую в условиях строительной площадки путем напыления специальных составов на подложку из нетканого геотекстильного материала с плотностью 500 гр/м<sup>2</sup>. Разработаны защищенные патентами РФ конструктивно-технологические решения для устройства надежных и ремонтпригодных гидроизоляционных систем стены в грунте.

**Алексей Шашкин:**

— Стена в грунте экономически оправдана только в том случае, если она является надежной защитой от проникновения подземных вод внутрь сооружения. Если для гидроизоляции нужна еще мембрана и дублирующая железобетонная стена, смысл применения технологии вообще пропадает. На Западе имеется множество примеров успешной работы стены в грунте в качестве ограждающей конструкции и одновременно противодиффузионной защиты. Насколько мне известно, в большинстве своем петербургские подрядчики этим пока что похвастаться не могут.

**Валерий Кузнецов:**

— Естественно, стена в грунте используется и в качестве гидроизоляционной защиты. Хотя при сегодняшних возможностях идеальной гидроизоляции вряд ли можно



добиться. А повысить водонепроницаемость стены в грунте и стыков между панелями можно за счет струйной цементации. В частности, на станции «Новокрестовская» в нескольких местах мы таким способом устранили протечки воды в котлован, результат получился стопроцентный.

Что же касается мембранной гидроизоляции, то мы ее сторонниками не являемся — ее устройство трудоемко и дорого. Хотя теоретически это возможно.

#### **Олег Маковецкий:**

— При проектировании ограждающей конструкции, выполняемой по технологии «стена в грунте», учитывается ее взаимодействие с подземными водами во всех проявлениях: гидростатическое и гидродинамическое давление водяного столба, агрессивность среды, возможность формирования барражного эффекта.

В этом случае применяются бетоны с маркой водонепроницаемости W10 и выше. При соблюдении технологии укладки они являются достаточной гидроизоляционной защитой. Слабым местом такой конструкции являются технологические («холодные») швы отдельных захваток. В качестве компенсационных мероприятий на них должны быть выставлены гидрошпонки. В местах технологических отверстий в стене предусматриваются сальниковые уплотнения.

В гидрогеологических условиях средней сложности перечисленных мероприятий достаточно для обеспечения приемлемого уровня водонепроницаемости ограждения. Устройства дополнительной гидроизоляции и прижимной стенки не требуется, достаточно выполнить выравнивание и черновую отделку поверхности, если подразумевается последующее использование подземного пространства.

В сложных гидрогеологических условиях, при высоких напорах и скоростях движения подземной воды, при проявлении сильной и многоагентной агрессивности, при возможности техногенных факторов подтопления необходимы специальные мероприятия, которые разрабатываются для каждого сооружения индивидуально: компенсационное нагнетание цементных и полимерных растворов в швы; устройство дополнительной гидроизоляции (оклеечной или мембранной) и выполнение

прижимной стенки; наружная герметизация швов с использованием технологии Jet-grouting.

Здесь следует, однако, отметить, что абсолютной гидроизоляции подземных частей зданий и сооружений добиться практически невозможно (а если и возможно, то экономически нецелесообразно). Это необходимо учитывать при размещении под землей, в частности, того или иного технологического оборудования.

#### **Каковы осадки окружающей территории и соседних зданий при устройстве стены в грунте, откопке котлованов под защитой стены в грунте?**

#### **Игорь Харченко:**

— Деформации зданий, находящихся в зоне влияния строительства котлована с ограждением из стены в грунте, не должны превышать предельно-допустимых значений. Если превышение имеется, это либо ошибка проекта, либо следствие брака при производстве работ.

#### **Алексей Архипов:**

— Осадки возможны при любой строительной технологии, реализуемой в условиях плотной городской застройки. Для снижения риска деформации зданий необходимо исследование состояния грунтов оснований и фундаментов и, если потребуется, их укрепление.

#### **Дмитрий Конюхов:**

— Осадки близлежащих зданий в процессе устройства стены в грунте определяются технологией производства работ и инженерно-геологическими условиями и могут достигать значительных величин. Согласно результатам современных исследований, от 30 до 90% от всей замеренной величины осадки фундаментов. Причем абсолютные значения технологических деформаций для инженерно-геологических условий Москвы и Санкт-Петербурга могут существенно различаться. Если в первом случае при устройстве стены в грунте из буро-



секущих свай в непосредственной близости от здания осадки обычно не превышают 6–8 мм, то в Петербурге, согласно опубликованным данным, они доходят до 60 мм. В СМП НОСТРОЙ 3.27.3-2014 «Освоение подземного пространства. Комплексное использование подземного пространства в мегаполисах» приведена методика расчета технологических деформаций при устройстве различных типов ограждений котлованов, в том числе стены в грунте траншейного типа.

**Алексей Шашкин:**

— Осадка должна быть в пределах допускаемого ответственными нормами. Проведенный нами натурный эксперимент на опытной площадке показал, что этого можно добиться даже в условиях плотной петербургской застройки. Однако высокие технологии требуют высокого интеллекта. Есть опыт, когда при отсутствии научно-технического сопровождения с нашей стороны эта технология в руках подрядчика сразу же стала весьма опасной. Имеются случаи, когда при устройстве подземного пространства под защитой «дырявой» стены в грунте происходили провалы ближайших дорожных покрытий с образованием воронки глубиной 3 м и осадки окружающих зданий-памятников порядка 300 мм (при допустимых для них 5 мм).

**Валерий Кузнецов:**

— Благодаря стене в грунте осадки существенно снижаются. Особенно это очевидно при сооружении котлованов методом бурсекущих свай. То есть стена в грунте не всегда создается с помощью рейферов. В частности, мы сооружали стартовые котлованы для монтажа проходческих щитов, используя метод бурсекущих свай. Если есть хорошее оборудование и техника, делать это можно даже до глубины 30–32 м. Мы углубляли низ свай в кембрийские глины, и получалась практически идеальная конструкция — и как ограждающая стена, и как гидроизоляция. А если во всех случаях применять еще и струйную цементацию, то результаты будут еще лучше. Кроме того, мы начали делать не съёмные, а так называемые тераемые отсечки — железобетонные конструкции с применением уплотняющих материалов, изготовленные заранее, которые устанавливаются между стенами и впоследствии вытаскиваются из котлована. Это и уплотнение, и гидроизоляция. Очень показателен удачный опыт на станции «Адмиралтейская», в районе густой

исторической застройки. Там проводился мониторинг осадок дневной поверхности. Результаты замеров при начале строительства котлована методом «бурсекущих свай» и при его окончании показали, что их практически нет. Осадки составили лишь 2–3 мм, что соответствует пределам точности измерения приборов маркшейдеров.

**Олег Маковецкий:**

— Любой вертикальный геотехнический барьер, выполняемый по этой технологии, рассчитывается на воздействие давления не только от окружающего грунта и подземной воды, но и расположенных в непосредственной близости зданий и сооружений. Правильно запроектированный и выполненный, он обеспечивает общую устойчивость бортов котлована и допустимые величины абсолютных осадок и разности осадок окружающей застройки. Эти величины в каждом случае определяются в зависимости от конструктивных особенностей и технического состояния зданий. В случае с памятниками архитектуры дополнительные деформации совсем не допустимы, в других случаях их величина требует выполнения прогнозного расчета с учетом развития деформаций во времени.

Таким образом, приближение стены в грунте к существующим конструкциям определяется только габаритами оборудования и квалификацией персонала, ведущего контроль геотехнической ситуации.

**Какова стоимость 1 м<sup>3</sup> стены в грунте? Какова стоимость компенсационных мероприятий в том случае, если стена в грунте выполнена с отверстиями (нарушена сплошность — имеются включения грунта)?**

**Игорь Харченко:**

— Цена определяется сметным расчетом, а не экспертной оценкой, зависит от множества факторов и на сегодняшний день колеблется от 15 до 25 тыс. рублей за 1 м<sup>3</sup>. Стоимость ликвидации брака и при устройстве стены в грунте, и в дальнейшем при устранении его последствий может существенно превышать стоимость самой конструкции. С целью экономии на таких возможных затратах необходимо на стадии проектирования формировать карту рисков с разработкой мероприятий по их минимизации и т. д. Однако проблема в том, что на стадии экспертизы проекта такие предложения не принимаются. Стандартный аргумент эксперта: «Не допускайте брака, и все будет хорошо». Что такое строительный риск, зачастую просто не понимают. Впрочем, качество проектирования и экспертизы — это отдельная тема, требующая детального освещения.

**Алексей Архипов:**

— Стоимость устройства стены в грунте зависит от технологии, размеров и других факторов. Стоимость ликвидации дефектов весьма высока и производится за счет подрядчика, поэтому внедрение метода контроля сплошности панелей и стыков методом прозвучивания из закладных трубок представляется актуальной задачей для тех, кто считает деньги и правильно оценивает риски.

**Дмитрий Конохов:**

— Не буду называть конкретных цифр, однако ликвидация последствий некачественного производства работ — это мероприятие само по себе очень дорогостоящее. Оно может, в зависимости от степени и масштабов ущерба, в десятки раз превышать сметную стоимость СМР. Очень важным моментом, особенно при применении сложных технологий, а также для зданий и сооружений III геотехнической категории, в том числе технически сложных, особо опасных и уникальных, является научное сопровождение строительства. Привлечение соответствующих специалистов к геотехнической экспертизе проектной документации, мониторингу, контролю качества строительных работ и другим составляющим процесса позволит, при незначительных материальных затратах (0,3–0,8% от стоимости СМР), избежать большинства нештатных ситуаций.

**Алексей Шашкин:**

— О стоимости стены в грунте лучше рассказали бы подрядчики. А вот стоимость компенсационных мероприятий при браке может быть колоссальной — сотни миллионов рублей, вплоть до потери застройщиком пятна строительства.

**Валерий Кузнецов:**

— Судя по нашему опыту, стоимость компенсационных мероприятий практически равна величине затрат на Jet-grouting, или струйную цементацию. В принципе, этим способом можно устранить любые проявления протечек.

А стоимость кубометра стены в грунте не есть величина постоянная. Цена зависит от горно-геологических условий, глубины сооружения, сложности и важности строящегося объекта, производительности труда, расстояний поставки материалов, требований, предъявляемых к проектной документации и качеству работ, а также огромного количества других факторов. Например, если задействована дорогая машина, то и ее амортизация обойдется дороже.

Хотелось бы также отметить, что сейчас, в условиях кризиса, заказчики занижают цену. Скажем, 6 лет назад кубометр стены в грунте под ключ мог стоить 50, даже 60 тыс. рублей. Цена падает катастрофически, до минимума, и в каждом случае складывается как договоренность между заказчиком и подрядчиком. Но предприятие не может работать без прибыли. Сейчас, насколько мне известно, существенно уменьшилось количество объектов, на которых применяется эта технология. ■

# ООО «ГЕОДИАГНОСТИКА»

[www.geodiagnosics.ru](http://www.geodiagnosics.ru)

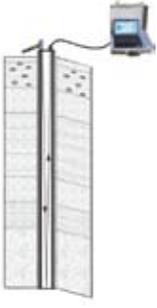
**Контроль сплошности, размеров и прочности бетонных, грунтоцементных, ледогрунтовых свай, стен в грунте, противодиффузионных завес в подземном пространстве**

**Мы единственные, кто знает, чем заполнен верхний погребенный тоннель в районе площади Мужества в Санкт-Петербурге**

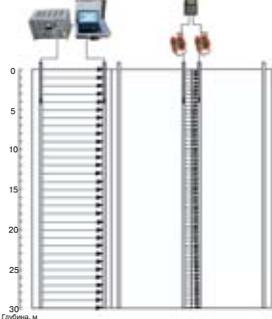
**Прозвучивание бетона в трубах экрана крепи тоннеля**



**Сейсмоакустическое зондирование свай**

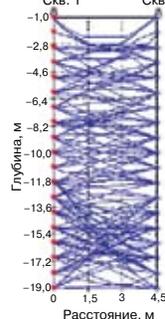


**Прозвучивание стыков и панелей стены в грунте**

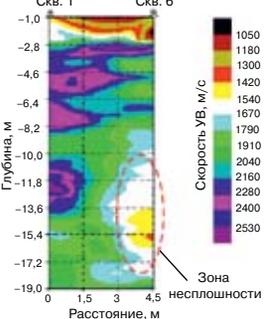


**Межскважинная томография**

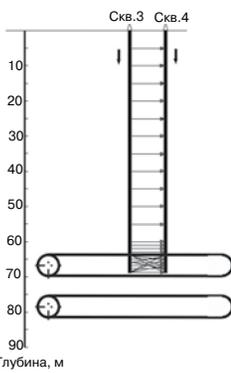
Схема лучевых траекторий



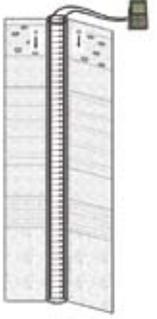
Скоростная модель межскважинного пространства



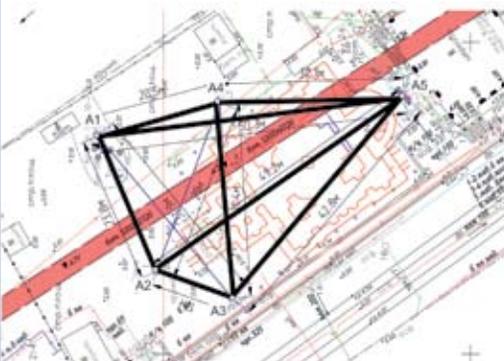
**Прозвучивание внутреннего пространства тоннелей**



**Ультразвуковое прозвучивание свай**



**Поиск тоннелей в подземном пространстве**



**Сейсмоакустическое зондирование панелей стены в грунте**



**Тел.: +7(911)158-27-96**  
**E-mail: arhipov8@mail.ru**

**Генеральный директор д.т.н. А.Г. Архипов**

# РЫНОК ГНБ В РОССИИ

Название компании, контактные данные	Виды выполняемых работ	Используемое оборудование	Конкурентные преимущества
1	2	3	4
<b>Вис-Мос, СП, ООО</b> г. Ульяновск	Горизонтальное направленное бурение; бурение наклонно-направленных скважин		
<b>ГЕОИЗОЛ, ГК</b> г. Санкт-Петербург	Комплексные услуги в сфере проектирования, реставрации и строительства подземных сооружений		
<b>Гидрофоб ГНБ, НПК, ООО</b> Ростовская обл., г. Волгодонск	Производство оборудования для горизонтального направленного бурения		
<b>Инженерный проект.Ру, ООО</b>  142451, Московская обл., Ногинский р-н, п/о Бисерово, пос. «Рыбхоз» Тел.: +7 (495) 702-95-71, +7-965-173-73-00 E-mail: info@ingprojekt.ru www.ingprojekt.ru	Горизонтальное направленное бурение	Установки ГНБ Vermeer Navigator D40x40 (тяговое усилие 18 т); Vermeer Navigator D80x100 (тяговое усилие 36 т); Prime Drilling PD75/50 (тяговое усилие 93 т); Vermeer Navigator D750x900 (тяговое усилие 350 т)	Отличное техническое состояние буровой техники и ее оперативная мобилизация; гибкие коммерческие условия; полный комплекс работ по ГНБ
<b>Костроматоннельстрой, ООО</b>  156002, г.Кострома, пер. Малый, д.10 Тел.: +7-903-896-09-96, +7 (4942) 47-23-52 E-mail: tonnel@bk.ru http://tonnel44.ru/	Прокладка инженерных сетей, водопровода, газопровода, канализации под ключ, футляров различного диаметра; строительство заглубленных сооружений; бестраншейная санация трубопроводов	Установки ГНБ класса Mini для работы в стесненных условиях городской застройки; УГНБ FDP-32; Impact Drilling-15; высокоточные системы локации	Индивидуальный подход к клиентам; поддержка на всех этапах реализации проекта; антикризисное ценообразование; сезонные и накопительные скидки
<b>КСУМ (Клинцовское специализированное управление механизации), ООО</b> Брянская обл., г. Клинцы	Аренда спецтехники		
<b>Металлургремонт СУ №5, ЗАО</b> г. Липецк	Прокладка подземных коммуникаций с применением бестраншейных технологий строительства, в том числе ГНБ		

1	2	3	4
<p><b>ПЕТЕР-ГИБ, геотехническое инженерное бюро, ООО</b></p>  <p>197198, Санкт-Петербург, просп. Добролюбова, д. 1/79, лит. Б Тел.: +7 (812) 405-71-05 E-mail: petergib@yandex.ru</p>	<p>Проектирование строительных конструкций, включая фундаменты всех типов, подземные гаражи под зданиями, подпорные стены и др.; обследование конструкций, выполнение мониторинга</p>	<p>Компьютерная сеть на 10 р/м, множительное оборудование; геодезические приборы для проведения высотной съемки; оборудование для испытания грунтов в шурфах и др.</p>	<p>Опыт работы с 1985 года; не менее 50 реализованных проектов, среди которых Сенат (Конституционный суд), Синод, дом Лобанова-Ростовского, левое крыло Главного штаба, Новый Эрмитаж, Зимний дворец, Смольный, большое число построенных жилых домов с подземными гаражами и др.</p>
<p><b>ПИК (ПодземИнжКом), ООО</b> г. Санкт-Петербург</p>	<p>Прокладка подземных коммуникаций методом ГНБ</p>		
<p><b>Предприятие «Микротоннель», ООО</b></p>  <p>350018, г. Краснодар, ул. Сормовская, д. 9 Тел./факс: +7(900)258-58-00 E-mail: pmkt@mikrotonnel.com www.mikrotonnel.com</p>	<p>Наклонно-направленное бурение; микротоннелирование; горизонтальное направленное бурение; шнековое бурение; санация трубопроводов</p>	<p>Установки ННБ DrillRig HDD 300.1, Herrenknecht HK150C, Vermeer Navigator 130x150, Vermeer Navigator 80x120, Vermeer Navigator 24x40; микротоннелепроходческие комплексы AVN800TC, AVN1200TC, AVN1500TC, AVN2000TC; установка бурошнековая Vermeer MCL 54/60; установки для бестраншейной замены и прокладки труб Vermeer Hydrburs THB 80, ACP-240</p>	<p>Высокое качество выполняемых работ и соблюдение сроков их производства; большой опыт работы; большой парк собственного оборудования и техники; собственная логистика плюс мобильность, что позволяет проводить работы в любом регионе РФ</p>
<p><b>ПриСС, ЗАО</b> г. Санкт-Петербург</p>	<p>Горизонтальное направленное бурение; микротоннелирование; санация труб бестраншейными методами</p>		
<p><b>СвязьСтройМонтаж, ГК, ООО</b></p>  <p>443532, Самарская обл., Волжский р-н, п. Верхняя Подстепновка Тел.: +7 (846) 377-33-88, 377-33-99, 377-55-51 E-mail: ssm@samtel.ru www.ssm-samara.ru</p>	<p>Строительство объектов связи под ключ; бестраншейная прокладка трубопроводов различного диаметра; монтаж проложенных сетей; поставка бентонитов и полимеров компании Vaulux Group; продажа запасных частей и бурового инструмента к буровым установкам Goodeng; консультационные услуги</p>	<p>Установки ГНБ Goodeng GD 180 A-L 18 т, Hanlyma HL 518 B 18 т для работы в стесненных условиях городской застройки; Goodeng GD 280A-L 32 т, Goodeng GD 380A-L 40/74 т, Goodeng GD 90 – 16 B 62/92 т для работы в обычных условиях; Goodeng GD 800A-L 70/140 т для прокладки трубопровода большого диаметра; высокоточные системы локации SNS-200, F-2</p>	<p>Индивидуальный подход к клиентам; поддержка на всех этапах реализации проекта; антикризисное ценообразование; сезонные и накопительные скидки</p>
<p><b>Содружество-строй, ООО</b> г. Псков</p>	<p>Прокладка инженерных коммуникаций (водопровод, канализация), в том числе методом ГНБ</p>		
<p><b>Спецподземстрой, ЗАО</b> г. Екатеринбург</p>	<p>Горизонтальное направленное бурение</p>		

1	2	3	4
<p><b>Строительная компания «Преста», ООО</b></p>  <p>347922, Ростовская обл., г. Таганрог, пер. Гарибальди, д. 70 Тел.: +7-928-229-49-96, +7 (8634) 43-10-13 E-mail: office@sk-presta.ru www.sk-presta.ru, http://крым-гнб.рф</p>	<p>Устройство трубопроводов и футляров методом ГНБ под естественными и искусственными преградами; устройство трубопроводов методом горизонтального направленного прокола (ГНП) в максимально стесненных условиях; продавливание стальных футляров до 1400 мм; строительство внешних инженерных сетей водоснабжения, водоотведения открытым, закрытым и комбинированным способами; работы по стыковой и электромуфтовой сварке полимерных трубопроводов и деталей к ним</p>	<p>Установки ГНБ FDP-32, XCMG XZ-180</p>	<p>Большой опыт выполненных работ и профессиональная инженерная подготовка; применение буровой техники различных классов позволяет значительно увеличить скорость строительства; наличие мобильного и модульного оборудования для производства буровых работ в стесненных условиях плотной городской застройки; современные программные комплексы для формирования пакета проектной и исполнительной документации; оптимальное ценообразование и индивидуальный подход к заказчику</p>
<p><b>ПромТехСтройСервис, ООО</b></p>  <p>429500, Чувашская Республика, Чебоксарский р-н, пос. Кугеси, Монтажный пр-д, д. 1 Тел.: +7 (83540) 2-49-32, +7-906-386-88-48 www.ptss.ru</p>	<p>Бестраншейная прокладка газо- и водопроводов, канализации, кабелей методом горизонтального направленного бурения</p>		<p>Весь спектр услуг по строительству и ремонту подземных коммуникаций; транспортные услуги (землеройная техника, автокран, трейлер, ямобур)</p>
<p><b>СЕНСЕ ГНБ, ООО</b></p>  <p>432028, г. Ульяновск, ул. Октябрьская, д. 22, стр. 14 Тел./факс: + 7 (8422) 45-72-00 www.sense-inc.ru</p>	<p>Производство систем локации для горизонтального направленного бурения, таких как: система азимутальной навигации (кабельная) – SNS 100 система беспроводной подземной локации – SNS 200 PROn (одночастотная) система беспроводной подземной локации – SNS 300 (3-частотная) система беспроводной подземной локации – SNS 300t (7-частотная)</p>		<p>Оперативность поставок; мобильность и гибкость работы с каждым клиентом; быстрое реагирование на возникающие проблемы; онлайн-консультации и решение в течение 24 часов; гарантийное и постгарантийное обслуживание; бесплатное обучение; выезды на объекты с сопровождением бурения.</p>
<p><b>Технопрок, ООО</b></p>  <p>346400, Ростовская обл., г. Новочеркасск, Баклановский просп., д. 119В Тел. +7-903-433-74-03 E-mail: info@tehnoprok.com www.tehnoprok.com</p>	<p>Изготовление инструмента для ГНБ, горизонтально-шнекового бурения, наклонно-направленного бурения, вертикального бурения</p>		<p>Цена отечественного производителя; качество и высокие эксплуатационные характеристики инструмента</p>

Продолжение следует



КОМПАНИЯ «ГЛОБАЛ ТРЕЙД» – ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ДИЛЕР DIGITAL CONTROL INC. В РОССИИ

## Обновите свою локацию до технологии DIGITRAK FALCON!!!



- ЗОНД ПОДДЕРЖИВАЕТ ТЫСЯЧИ ЧАСТОТ
- РАБОТА НА ГЛУБИНЕ ДО 38,1 м
- ОФИЦИАЛЬНЫЙ СЕРВИС В РОССИИ. ГАРАНТИЯ ДО 5 ЛЕТ\* НА ЗОНДЫ

Стандартная гарантия на зонды Falcon 15" и 19" при регистрации: 3 года/ 500 часов.  
Расширенная гарантия: 5 лет/ 750 часов работы, в зависимости от того, что наступит раньше.

Тел.: +7(499) 348-14-84,  
+7(928) 279-66-45

Skype: gt\_machine  
sales@gtmachine.ru  
<http://www.digitrak.info>

Спецпредложение на обновление локационных систем для читателей журнала



## ООО «ПромТехСтройСервис»



### БЕСТРАНШЕЙНОЕ ПРОКЛАДЫВАНИЕ

газо-, водопроводов  
канализации  
кабелей

методом горизонтального  
направленного бурения



### ТРАНСПОРТНЫЕ УСЛУГИ

землеройной техники,  
автокрана, трейлера  
ямобура

СПО №107 4-2009-2116495029-С от 05.05.2011г.



429500, Чувашская Республика,  
Чебоксарский р-н,  
пос. Кугеси, Монтажный пр-д, д. 1

Тел.: (83540) 2-49-32  
8 (906) 386-88-48  
[www.ptss.ru](http://www.ptss.ru)

**Прошедший год, мягко говоря, не был легким для российской экономики. Особенно уязвимыми оказались те ее высокотехнологичные сегменты, которые зависят, с одной стороны, от импорта, а с другой — от возможности не экономить на качестве там, где лучше не экономить. В статье президента Международной ассоциации специалистов горизонтального направленного бурения Александра Брейдбурда, опубликованной в нашем журнале минувшем летом, речь шла о том, что рынок ГНБ в России, помимо общего для страны кризиса, переживает еще и собственные трудные времена, связанные со спецификой его развития. Сейчас общеэкономическая ситуация вроде бы начинает постепенно улучшаться. Как на этом фоне работает отраслевая ассоциация, объединяющая специалистов ГНБ? Мы обратились к Александру Брейдбурду с просьбой прокомментировать итоги года и перспективы.**

*Last summer in our journal Alexander Braydburg, the President of the International Association of horizontal directional drilling specialists, was talking about the fact that the horizontal directional drilling market in Russia, apart from the general crisis in the country, is going through hard times associated with the specifics of its development. Now the whole economic situation is gradually improving. How does the industry association that unites horizontal directional drilling specialists work against this background? Now the journal has addressed to Alexander Braydburg with a request to comment on the results of the past year and possible prospects.*

Интервью  
подготовлено  
при содействии  
пресс-центра МАС ГНБ



## О ФОРМИРОВАНИИ ЦИВИЛИЗОВАННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО РЫНКА

**— Александр Исаакович, какими видятся вам отраслевые итоги минувшего года? Ситуация развивалась только по сценарию негативных прогнозов? Или, быть может, уже появились какие-либо позитивные сдвиги?**

— За всю 22-летнюю историю российского рынка ГНБ 2016 год был, безусловно, самым трудным и сложным. Его доминанты — это, во-первых, резкое снижение количества финансово обеспеченных заказов, сокращение объемов проектирования бестраншейного строительства трубопроводов различного назначения по технологии ГНБ во всех, без исключения, отраслях-заказчиках, включая ЖКХ, промышленность и гражданское строительство, транспорт нефти, газа и продуктов их переработки, электроэнергетику, телекоммуникации. Во-вторых, беспрецедентно низкий уровень расценок на наши работы.

В-третьих, сворачивание деятельности на территории РФ представительств ряда крупных компаний-производителей техники, расходных материалов и бурового инструмента, следствием чего стали еще больший рост цен на импортную продукцию и увеличение сроков ее поставки.

Это способствовало тому, что дополнительно усилился демпинг на рынке ГНБ, еще более укрепился ценовой диктат заказчика, а заодно драматически упала платежная дисциплина при расчетах за завершенные строительством объекты.

На создавшемся негативном фоне положительными явлениями можно считать, во-первых, уход с рынка большого числа непрофессиональных участников — основного «источника» и демпинга цен, и аварийных ситуаций, а во-вторых — рост числа российских предприятий, производящих буровой

инструмент и компоненты буровых растворов, причем с ощутимым улучшением качества выпускаемой продукции.

**— Следующий вопрос — исключительно о хорошем. Осенью прошлого года впервые отмечался Всемирный день бестраншейных технологий. Это связано с возрастанием их роли в глобальном масштабе? И, кстати, как новый профессиональный праздник отмечали в России?**

— Действительно, 22 сентября 2016 года предприятия и организации, ассоциации и союзы, занятые в нашей сфере подземного строительства, впервые в мировой истории отмечали свой профессиональный праздник — Всемирный день бестраншейных технологий. Инициатива редакции американского журнала Trenchless Technology была активно поддержана во многих странах на всех континентах.

Сам факт возможности реализации столь масштабного мероприятия является ярким свидетельством признания возрастающей год от года роли бестраншейных технологий в современном подземном строительстве.

Среди нескольких целей организации такого события, безусловно, главным является привлечение внимания населения, заказчиков, властей различного уровня к растущим возможностям бестраншейных технологий в целом и ГНБ в частности, как доминирующей компоненты этого комплекса, в обеспечении комфортных условий жизнедеятельности, сохранении экологии, развитии экономики.

К профессиональному празднику МАС ГНБ организовала всероссийский семинар-совещание в Москве на базе АО ЦНИИС по обсуждению проекта первой редакции свода правил «Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением». Состоялось детальное рассмотрение содержания документа, согласование и утверждение текста. Были также конструктивно проработаны организационные вопросы функционирования центра оценки квалификации (ЦОК) «Бестраншейные технологии», созданного на базе нашей ассоциации, обсуждены проекты профессиональных стандартов, проанализированы некоторые результаты разработки Федеральной системы ценообразования бестраншейного строительства подземных коммуникаций по технологии ГНБ.

Ряд интересных и содержательных мероприятий в рамках праздника прошел во многих городах России.

**— А какие события и достижения стали главными в прошлом году непосредственно в деятельности МАС ГНБ?**



Несмотря на объективные трудности, 2016 год стал едва ли не самым результативным за всю 16-летнюю историю деятельности по формированию цивилизованного рынка ГНБ в России.

— Несмотря на объективные трудности, отмеченные мною выше, 2016 год стал едва ли не самым результативным за всю 16-летнюю историю деятельности ассоциации по формированию цивилизованного рынка ГНБ. Мы реализовали давнюю мечту специалистов нашего направления и, совместно с филиалом АО ЦНИИС «Научно-исследовательский центр «Тоннели и метрополитены», завершили работу над уже упомянутым Сводом правил «Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением».

В настоящее время вторая редакция направлена в ФАУ «ФЦЦС» и Минстрой России для окончательного утверждения и официального издания после экспертизы в Техническом комитете 465 «Строительство» и устранения замечаний разработчиком до 1 июня 2017 года.

Другим важнейшим результатом нашей напряженной работы в 2016 году стала разработка 17 федеральных расценок на бестраншейное строительство подземных коммуникаций различного назначения по технологии ГНБ, изготовленных из стали, и 12 расценок на полиэтиленовые трубы. Всеми этими вопросами в комплексе совместно занимались Федеральный центр ценообразования в строительстве и промышленности

строительных материалов (ФАУ «ФЦЦС») и петербургский Научно-исследовательский и проектный институт ценообразования строительных материалов и технологий (ООО «НИПИ «ЦСМТ») при непосредственном участии МАС ГНБ. Разработка расценок проводилась во исполнение поручения Президента РФ от 21 января 2015 года №Пр-89, в соответствии с планом мероприятий по совершенствованию системы ценообразования и сметного нормирования в строительной отрасли от 20 февраля 2016 года №ДК-П9-1116, утвержденным заместителем Председателя Правительства РФ Дмитрием Козаком.

Результаты этой колоссальной по объему и сложности решенных задач работы утверждены Приказом №41/пр Минстроя России от 24 января 2017 года «О внесении изменений в федеральный реестр сметных нормативов».

Приложения №1 и №4 к данному документу отражают совершенствование сметно-нормативной базы по вопросам горизонтального направленного бурения, а в приложениях №8 вошли федеральные сметные расценки на эксплуатацию комплексов ГНБ четырех основных групп: «мини», «миди», «макси» и «мега».

Таким образом, усилиями руководителей и лучших специалистов-практиков широкого



круга ведущих предприятий страны, осуществляющих функции заказчика, проектировщика, генерального подрядчика, фактически завершено создание прочного фундамента динамического развития нашей подотрасли строительного комплекса в обозримой перспективе.

Мы в ассоциации, однако, прекрасно осознаем, что впереди сложная работа по внедрению новых документов в практику. Но, безусловно, общими усилиями справимся и с этим. Во-первых, у нас есть большой положительный практический опыт решения подобных масштабных отраслевых задач. Во-вторых, мы уже долго работаем единой слаженной командой с Комитетом по освоению подземного пространства Национального объединения строителей (НОСТРОЙ), НП «Объединение строителей подземных сооружений, промышленных и гражданских объектов», Российским обществом по внедрению бестраншейных технологий (НП «РОБТ»). И, в конце концов, дорогу осилит идущий...

**— Можно подробнее о вашем участии в разработке нормативно-технической базы?**

— МАС ГНБ является заказчиком разработки СП «Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением», которой занимался московский филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены». Это делалось в соответствии с приказом министра строительства и ЖКХ РФ №128/пр от 3 марта 2016 года «Об утверждении Плана разработки и утверждения Сводов правил и актуализации ранее утвержденных строительных норм и правил, Сводов правил на 2016 год и плановый период до 2017 года» (позиция №99). В прошлом году мною также

был издан приказ «Об организации работ по разработке СП «Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением». Во исполнение его, для обеспечения высокого качества нового документа и требуемого для этих целей учета технического и технологического практического опыта, в рамках МАС ГНБ мы создали 6 рабочих и отраслевых экспертных групп по основным разделам свода правил.

Организовано широкое обсуждение в профессиональной среде первой и второй редакций СП. В результате получено 552 замечания от более чем 50 предприятий. В рамках деятельности рабочих групп к этому процессу было привлечено более 100 специалистов-практиков с большим опытом проектирования и строительства переходов ГНБ разной степени сложности в различных горно-геологических и природно-климатических условиях.

В итоге можно утверждать, что в разрабатываемом документе удалось максимально полно обобщить и учесть мнения, пожелания, замечания специалистов.

**— Что станет главным в работе МАС ГНБ в 2017 году? В частности, будет ли сохранен — и, быть может, расширен — план традиционных мероприятий ассоциации?**

— Доминантой нашей деятельности в 2017 году станет работа по окончательному согласованию и официальной публикации СП «Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением», а также качественное, в сжатые сроки, проведение завершающего этапа утверждения и публикации соответствующих сборников цен.

План мероприятий МАС ГНБ в 2017 году традиционно напряженный. Как обычно, цикл

открыла зимняя образовательная программа на базе санатория «Васильевский», включающая в себя учебные семинары операторов комплекса ГНБ, семинар по повышению квалификации ИТР в области ГНБ, семинар-совещание по новой федеральной системе ценообразования работ по технологии ГНБ. Традиционная ежегодная конференция предприятий-членов МАС ГНБ пройдет в столице Удмуртской Республики, в Ижевске, 22–23 марта. Помимо этого, ежеквартально мы будем собирать учебные семинары операторов комплексов ГНБ. Проведем ряд практических семинаров по новой системе ценообразования для заказчиков, подрядчиков и проектировщиков. Организуем также семинар для генеральных подрядчиков и проектировщиков по СП «Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением».

Работы предстоит много — но, как всегда, мы с этим справимся, я уверен.

**— Ваша юбилейная конференция в прошлом году стала самой масштабной за историю этого мероприятия. В чем особенностью программы 16-й конференции?**

— Основной тематикой докладов и обсуждений, опять же, станет планирование предстоящей большой работы по внедрению в практику проектирования и строительства новых документов федерального уровня, СП «Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением» и соответствующей системы ценообразования.

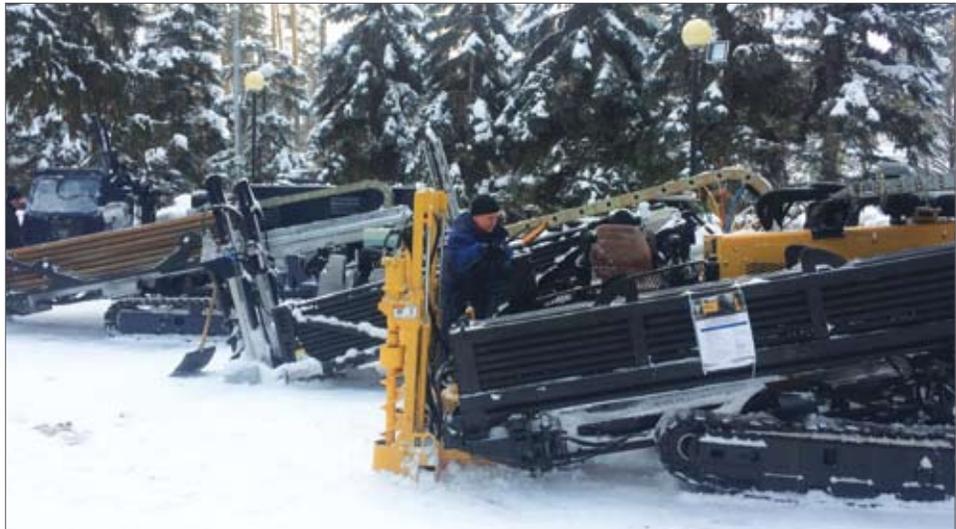
**— Что на сегодняшний день вообще можно считать главным условием для того, чтобы рынок ГНБ в России смотрел в будущее с оптимизмом?**

— Вся работа нашей ассоциации, совместно с Министерством строительства РФ и ведущими предприятиями отрасли, в 2016 году была направлена именно на эту цель. Что я имею в виду? Наведение порядка в сфере ГНБ в современных сложных экономических условиях может базироваться только на совершенно четких правилах в строительстве, проектировании, ценообразовании. Прочный фундамент этого заложен нашей совместной работой в 2016 году. Мы совершенно уверены, что, решив столь сложные задачи, в ближайшие годы сумеем решить и не менее масштабные задачи по внедрению новых документов в практику работы российского строительного комплекса. На этом фундаменте мы надеемся в обозримой перспективе создать или возродить все компоненты цивилизованного и динамичного развития рынка ГНБ в России. ■

А. И. БРЕЙДБУРД,  
президент Международной  
ассоциации специалистов  
горизонтального направленного  
бурения (МАС ГНБ)

**На специализированном семинаре-совещании «Ценообразование бестраншейного строительства подземных коммуникаций по технологии ГНБ», прошедшем в феврале, с ключевым докладом выступил президент Международной ассоциации специалистов горизонтального направленного бурения Александр Брейдбурд. Сначала заострив внимание на кризисных явлениях и проблемах, эксперт подробно рассказал о мерах, принимаемых по формированию цивилизованного рынка ГНБ в России.**

*2015-2016 turned out to be the worst on the entire set of main aspects that characterize the state of the horizontal directional drilling market in Russia. At the same time, the gigantic work on the standardization and pricing was carried out, which is extremely relevant for further dynamic development of the horizontal directional drilling market, as well as the whole modern underground construction in Russia.*



## ГНБ В РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

**В** декабре 2014 года фактически остановилось развитие рынка ГНБ в России.

2015–2016 гг. оказались, несомненно, худшими по всему комплексу основных показателей, характеризующих состояние этого важного инновационного сегмента российского строительного комплекса. Вместе с тем в данное время была проделана колоссальная работа по стандартизации и ценообразованию, чрезвычайно актуальная для дальнейшего динамичного развития рынка ГНБ, а также всего современного подземного строительства в РФ.

### Кризисные явления и нерешенные проблемы

Для начала более детально рассмотрим деструктивные процессы.

В 2015–2016 гг. последовательно и практически до нуля сократился импорт комплексов ГНБ ведущих мировых производителей в Россию.

Рельефно этот факт демонстрируют результаты аналитического исследования Discovery Research Group «Анализ рынка ГНБ в России». Данные приведены на конец 2016 года (рис. 1).

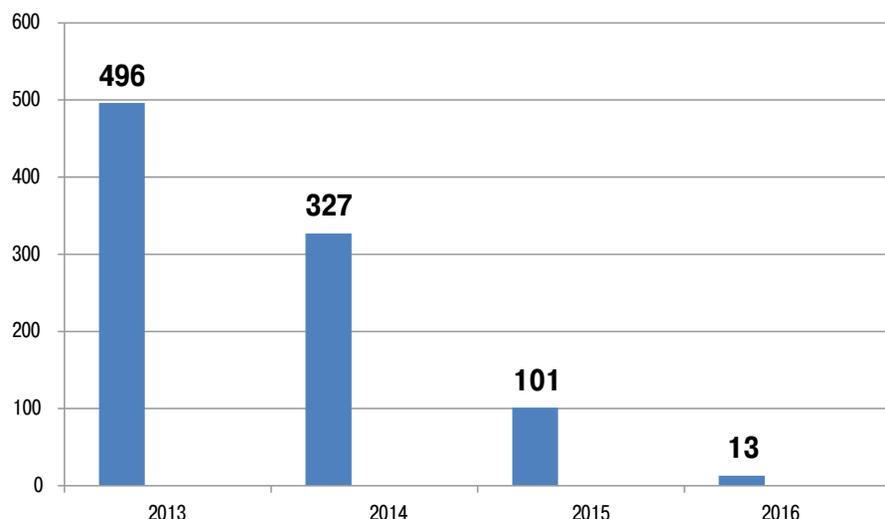


Рис. 1. Формирование парка эксплуатируемой техники ГНБ в РФ согласно таможенной статистике

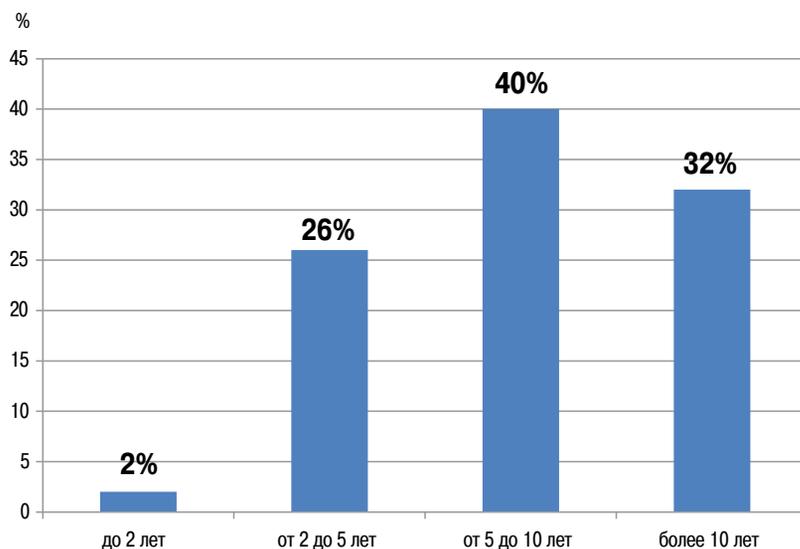


Рис. 2. Распределение эксплуатируемых комплексов ГНБ в зависимости от года их выпуска в 2015 году

Российский рынок ГНБ более 20 лет жил в абсолютном правовом вакууме: без федеральной системы ценообразования, без нормативно-технической документации федерального уровня и обязательного применения.

В 2015 году российский рынок пополнился только 101 комплексом ГНБ, что в три раза меньше, чем в 2014 году. В 2016 году падение этого показателя, относительно 2015 года, составило 776%, а парк эксплуатируемой техники вырос лишь на 13 единиц по всей стране.

Отечественное производство комплексов ГНБ в течение многих лет никак не может выйти из зачаточного состояния. А с учетом их частого несоответствия техническим и технологическим требованиям, предъявляемым к эксплуатации в экстремальных условиях, и ценам, которые зачастую выше, чем на соответствующие модели импортных (например, китайских) установок, можно с большой долей вероятности утверждать, что ситуация продлится еще довольно долго.

Рассмотрим также вопросы возраста эксплуатируемой техники ГНБ. Очевидно, что это один из стержневых факторов, определяющих способность реализовывать бестраншейным строительством тот или иной проект, а в итоге — возможности и перспективы динамичного развития нашей подотрасли в среднесрочной перспективе.

Согласно данным ежегодного аналитиче-

ского исследования постсоветского рынка ГНБ по итогам производственной деятельности подрядчиков, ситуация в 2015 году выглядит следующим образом (рис. 2).

С учетом приведенных данных и по итогам исследования МАС ГНБ совершенно очевидно, что нас ожидает абсолютно драматическая ситуация по «возрастному» параметру парка техники ГНБ в РФ. Но и это еще не все.

Вернемся к исследованию Discovery Research Group, а именно — к структуре российского рынка комплексов ГНБ по их производителям. Тройка ведущих американских предприятий — Vermeer, Ditch Witch и Universal HDD — на конец 2016 года занимала в этом сегменте всего лишь 43,7% рынка. При этом доля техники Vermeer сократилась с 30,5% в 2008 году до 13,7%. Однако стало значительно больше установок производства стран Юго-Восточной Азии: с 5,7% в 2008 году до 45,3%.

Порядка 80% техники из этого азиатского региона относится к классу «мини». Складывающаяся в результате ситуация нам хорошо известна: мизерные расценки на бестраншейное строительство, катастрофический ценовой демпинг, низкоквалифицированные

(как правило) исполнители, пресыщение рынка большим количеством установок ГНБ этого типа и т. п. Кроме того, по известным экономическим причинам, именно такая техника на сегодняшний день преобладает в стратегических возрастных сегментах: «до двух лет» и «от двух до пяти».

Здесь и возникает ключевой вопрос современного российского рынка ГНБ. Что делать, когда все деньги, нормальные заказчики, перспективные и интересные объекты оказались сосредоточены в бестраншейном строительстве трубопроводов средних и больших длин и диаметров в экстремальных, сложных, нестандартных природно-климатических и горно-геологических условиях? Ведь реализация таких проектов требует самой надежной и современной техники ГНБ, а подавляющее большинство из действующих подрядчиков эксплуатируют физически и морально устаревший «металлолом», в основном относящийся к самому маломощному классу установок — «мини», причем не самых лучших производителей с зачастую недостаточно квалифицированным в вопросах ГНБ персоналом на всех уровнях технологического процесса бестраншейного строительства.

Казалось бы, решение вопроса очевидно — приобретайте современную технику ведущих мировых производителей, модернизируйте буровой инструмент и вспомогательное оборудование, применяйте наиболее эффективные компоненты для приготовления буровых растворов — а дальше, образно говоря, генерируйте свою добавленную стоимость и радуйтесь жизни.

Однако, к большому сожалению, в современных финансово-экономических условиях это практически невозможно. Прежде всего, из-за «драконовской» банковской политики: высоких, попросту неподъемных для большинства подрядчиков ГНБ ставок кредитования, а также «зашкаливающих» требований по оборотам, прибылям будущего заемщика и т. п. Следствием стала и практическая невозможность приобретения техники ГНБ по договорам лизинга.

Красноречивым дополнением к вышесказанному является тот факт, что ввиду иностранного происхождения 99,9% комплексов ГНБ, 70–80% локационного оборудования, бурового инструмента, вспомогательного оборудования, запасных частей, компонентов для приготовления буровых растворов с декабря 2014 года техника и материалы стали для российских подрядчиков, из-за известных валютных потрясений, ровно в два раза дороже.

Это, безусловно, печально, но в нашем случае — это отнюдь не конечный список проблем.

Российский рынок ГНБ более 20 лет жил в абсолютном правовом вакууме: без федеральной системы ценообразования, без нормативно-технической документации федерального уровня обязательного применения.

Следствием этого является полный диктат заказчика во всех аспектах:

- минимизация, вплоть до абсурда, цен на производство работ;
- заключение договоров подряда на условиях, выгодных только заказчику, без учета интересов подрядчика;
- беспрецедентно жесткие финансовые условия: отсутствие аванса и поэтапного закрытия выполненных работ, большие отсрочки оплаты;
- контроль хода работ и их приемка по субъективным условиям заказчиками, зачастую абсолютно несведущими в специфических вопросах эксплуатации техники и технологии ГНБ.

Это, в свою очередь, приводит к беспрецедентному ценовому демпингу со стороны непрофессиональных участников рынка. По понятным причинам, они могут браться за выполнение работ на пределе их фактической себестоимости или даже ниже ее.

В частности, из данных мониторинга цен, проводимого МАС ГНБ в рамках своих ежегодных аналитических исследований рынка с 2005 года, следует, что средняя стоимость прокладки (без учета НДС) 1 пог. м полиэтиленового трубопровода диаметром 110 мм в суглинках на глубине до 3 м по итогам работы в 2015 году составила 2233 рубля, будучи максимальной в 2008-м — 2914, минимальной в 2013-м — 2149.

При этом разброс цен на производство работ среди предприятий ассоциации в 2015 году составлял от 932 до 5 000 рублей — 537%. Минимальным он являлся в 2005 году: от 1 900 до 4 100 рублей (215%), максимальным — в 2014-м: от 850 до 5 200 рублей (612%).

Обозначенные процессы, опять же, происходят при резком снижении количества финансово обеспеченных заказов и сокращении объемов проектирования, беспрецедентно низком уровне расценок на наши работы, сворачивании деятельности на территории РФ представительств ряда крупных производителей техники и материалов для ГНБ, следствием чего стало еще большее подорожание импортной продукции.

На этом фоне к тому же драматически упала платежная дисциплина заказчиков и генеральных подрядчиков при расчетах, вплоть до утраты даже внешних приличий. Многие просто не оплачивают выполненные работы. Профессиональные участники рынка

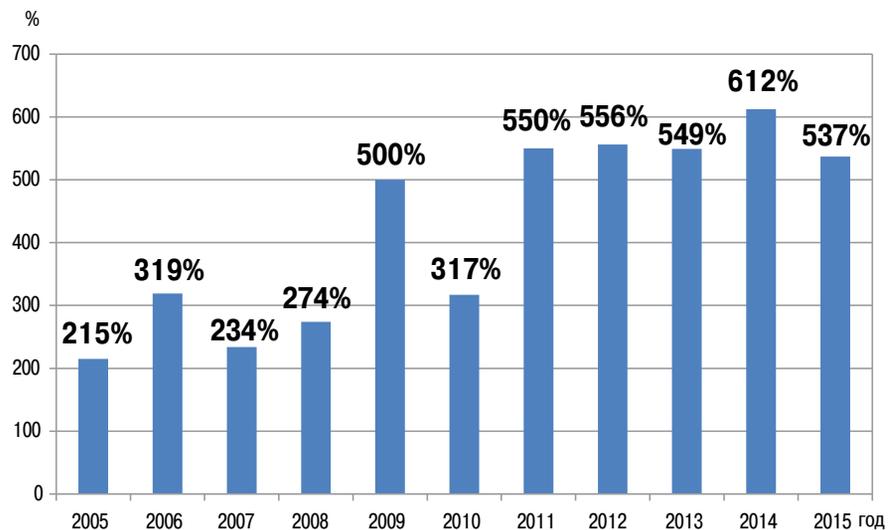


Рис. 3. Разница цен на производство работ среди предприятий ГНБ

ГНБ оценивают финансовую дисциплину расчетов в 2,3 балла по 5-балльной шкале.

Следующая проблема — отсутствие нормативно-технической документации федерального уровня и обязательного применения, регламентирующей вопросы сферы ГНБ, результатом чего является устойчиво низкое качество проектирования. При этом за годы работы в таких условиях выработалось многократно подтвержденное практикой правило: чем сложнее объект, тем хуже проект.

Отсутствие или неполное проведение изысканий фактически является негласной нормой современного проектирования ГНБ. Результаты этого — отсутствие достоверных данных о грунтовых условиях места производства работ. Финансовые последствия: дополнительные затраты на подбор правильного бурового раствора, существенные потери рабочего времени, дополнительная эксплуатация машин и механизмов, необходимость подбора правильного бурового инструмента, повышенные риски аварийных ситуаций и многое другое, вплоть до практической невозможности реализации проекта. Эти прямые затраты не предусмотрены ни в одной смете на ГНБ. Все они целиком и полностью ложатся на плечи подрядчика.

Совершенно очевидно, что без мощного воздействия профессионального сообщества подземных строителей дальнейшее развитие событий на фоне целого комплекса вышеназванных негативных факторов, объективного и субъективного характера, приведет к неминуемой стагнации нашей подотрасли строительного комплекса.

Допустить это нельзя. Именно поэтому нами, в МАС ГНБ, в 2015–2016 гг. были предприняты — и оказались чрезвычайно

эффективными — комплексные меры по завершению многолетней работы по формированию надежного фундамента для создания в обозримой перспективе цивилизованного российского рынка ГНБ.

## Стандартизация, кадровая политика, ценообразование

### 1. Разработка нормативно-технической документации

1.1. Разработана и прошла широкое обсуждение среди специалистов-практиков по проектированию и бестраншейному строительству трубопроводов различного назначения вторая актуализированная редакция Стандарта Национального объединения строителей СТО НОСТРОЙ 2.27.17-2011 «Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом ГНБ». Первая редакция была утверждена в декабре 2011 года, согласована с Национальным объединением проектировщиков и за последующие 5 лет принята для обязательного применения большинством СРО по всей территории России. Будучи первым системным документом по ГНБ федерального уровня, стандарт, помимо своей основной функции, стал настольной книгой, методическим пособием, учебником ГНБ для тысяч специалистов не только в РФ, но и в странах бывшего СССР.

1.2. Несмотря на объективные трудности, в 2016 году мы совместно с филиалом АО «ЦНИИС» НИЦ «Тоннели и метрополитены» (г. Москва) завершили работу над Сводом правил «Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением». В настоящее время вторая редакция направлена в ФАУ «ФЦЦС» и Минстрой России для окончательного

Усилиями лучших специалистов, широкого круга ведущих предприятий страны практически завершено создание прочного фундамента динамичного развития российского рынка ГНБ в обозримой перспективе.

утверждения и официального издания после экспертизы в Техническом комитете 465 «Строительство» и устранения замечаний разработчиком.

Надеемся на решение данного вопроса до 1 апреля 2017 года и, со своей стороны, прилагаем для этого все возможные усилия.

## **2. Повышение производительности труда. Подготовка высококвалифицированных кадров. Легализация профессий на всех уровнях производственного процесса ГНБ**

Известно, что производительность труда определяется как отношение добавленной стоимости (выручки) к числу работающих. Другими словами, применительно к современным реалиям это звучит так: «произвести конкурентоспособный продукт в нужное время и с меньшими затратами».

Адаптируем этот постулат к рынку ГНБ.

Эксплуатируя, как правило, старую технику и в условиях минимальных расценок, мы должны в современных рыночных условиях максимально минимизировать время производства работ при строгом соблюдении технологической дисциплины и требований проекта, а также затраты на каждый конкретный объект. Как же это реализовать на практике?

Мы уже рассматривали ранее различные факторы финансово-экономического характера, блокирующие в обозримой перспективе экстенсивное решение этого вопроса:

Технология ГНБ, естественно, не упрощается. Применение некачественных буровых растворов, неподходящего оборудования и бурового инструмента не позволят соблюсти технологическую дисциплину, если не приведут к полной невозможности реализации проекта.

Выход один — повышение производительности труда на каждом этапе работ, на каждом рабочем месте, на всех уровнях — от генерального директора до оператора ГНБ 1-го разряда.

Достичь этого в современных условиях возможно только путем обучения, подготовки

и повышения квалификации специалистов. Последние 15 лет мы в МАС ГНБ занимаемся решением данного вопроса через наш учебный центр.

В 2016 году проделана большая работа по достижению нового, качественно более высокого уровня в этом направлении. Разработанный специалистами МАС ГНБ и введенный в действие в 2015 году профессиональный стандарт «Оператор комплекса горизонтального направленного бурения в строительстве» не только легализовал на федеральном уровне профессию «оператор ГНБ», но и стал основой создания на базе ассоциации Центра оценки квалификации (ЦОК) «Бестраншейные технологии»: во исполнение решения Национального совета при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям (протокол №10 от 20.05.2015) и Совета по профессиональным квалификациям в строительстве (Протокол №14 от 29.07.2016).

Центр будет осуществлять свою деятельность по независимой оценке квалификации специалистов в области строительства и проектирования инженерных подземных коммуникаций с применением бестраншейных технологий. Сформирован состав экспертов квалификационной комиссии. Разработан комплект оценочных средств (КОС) для теоретического и практического экзамена, подготовлена соответствующая материально-техническая база. Оценка квалификации специалистов будет осуществляться в Казани (базовая), Санкт-Петербурге, Москве.

В настоящее время она проводится на основе профессионального стандарта «Оператор комплекса горизонтального направленного бурения в строительстве», в дальнейшем будут использоваться и разрабатываемые профстандарты «Специалист по строительству подземных инженерных коммуникаций с применением бестраншейных технологий» и «Специалист по проектированию подземных инженерных коммуникаций с применением бестраншейных технологий».

В связи с повышением требований и постоянным обновлением компетенций возникает необходимость усовершенствования

подходов к оценке квалификации. Полученные в рамках непрерывного образования, в том числе на производстве, компетенции работников требуют подтверждения, которое имело бы универсальное признание. Для решения обозначенных задач и был создан ЦОК.

Основные функции Центра:

- предоставление соискателям необходимой информации о правилах и процедурах независимой оценки квалификации;

- организация и проведение в соответствии с руководящими и методическими документами советом по профессиональным квалификациям (СПК) независимой оценки квалификаций на соответствие требованиям профессиональных стандартов;

- формирование сведений о результатах оценки квалификаций и передача их в совет по профессиональным квалификациям (СПК) для обработки, экспертизы, анализа и внесения в Федеральный реестр и осуществления мониторинга деятельности ЦОК;

- оформление и выдача соискателю заключения квалификационной комиссии и, в случае успешного прохождения оценки, свидетельства о профессиональной квалификации.

## **3. Ценообразование ГНБ**

Многолетняя целенаправленная работа ассоциации по созданию федеральной системы ценообразования по бестраншейному строительству подземных коммуникаций различного назначения наконец-то, в 2016 году, вышла на финишную прямую и обрела свои законченные форму и содержание.

За 16 лет созидательной деятельности по формированию в своем направлении цивилизованного российского рынка МАС ГНБ не только стала крупнейшим по численности профессиональным сообществом профильных предприятий на постсоветском пространстве, но и заслуженно завоевала общепризнанный авторитет, как среди коллег, так и среди руководителей строительного комплекса, в том числе федерального уровня.

Рельефным доказательством этого стало определение ассоциации в качестве соисполнителя и приглашение ведущих специалистов предприятий-членов МАС ГНБ и других отраслеобразующих компаний (СП «ВИС-МОС», г. Ульяновск) в качестве ведущих экспертов по актуализации действующих государственных сметных нормативов, приведению к единым методическим принципам устаревших сметных нормативов и ресурсов, обоснованию разработки новых государственных элементных сметных



Участники семинара «Ценообразование бестраншейного строительства подземных коммуникаций по технологии ГНБ» в Казани

норм и единичных расценок в соответствии с применяемыми современными технологиями.

Весь комплекс работ по вопросам ценообразования в области бестраншейного строительства трубопроводов различного назначения с использованием для этих целей техники и технологии ГНБ осуществлялся Федеральным центром ценообразования в строительстве и промышленности строительных материалов (ФАУ «ФЦЦС») совместно с Научно-исследовательским и проектным институтом ценообразования строительных материалов и технологий (ООО «НИПИ «ЦСМТ», г. Санкт-Петербург) при методическом и организационно-техническом руководстве Самарского центра ценообразования в строительстве и при непосредственном участии МАС ГНБ во исполнение поручения Президента Российской Федерации от 21.01.2015 №Пр-89, в соответствии с планом мероприятий по совершенствованию системы ценообразования и сметного нормирования в строительной отрасли от 20.02.2016 №ДК-П9-1116.

В результате поистине титанической работы в сжатые сроки были разработаны государственные элементные сметные нормы и федеральные единичные расценки на устройство закрытого подземного перехода методом ГНБ с поэтапным расширением скважины для стальных и полиэтиленовых труб. Результаты утверждены Приказом №41/пр Минстроя России от 24.01.2017 «О внесении изменений в федеральный реестр

сметных нормативов». Приложения №1 и №4 к этому документу отражают нововведения в сметно-нормативную базу по вопросам горизонтального направленного бурения, а в приложение №8 вошли федеральные сметные расценки на эксплуатацию комплексов ГНБ четырех основных групп: «мини», «миди», «макси» и «мега».

Таким образом, усилиями лучших специалистов, широкого круга ведущих предприятий страны, осуществляющих функции заказчика, проектировщика, генерального подрядчика в вопросах эксплуатации техники и технологии ГНБ для бестраншейного строительства и ремонта современной подземной инфраструктуры, практически завершено создание прочного фундамента динамичного развития нашей подотрасли строительного комплекса в обозримой перспективе.

Работа предприятий-подрядчиков и МАС ГНБ по формированию цивилизованного рынка ГНБ с принятием федеральных расценок, однако, ни в коем случае не завершается. Создан всего лишь необходимый фундамент.

Важным и, в свою очередь, фундаментальным документом в направлении внедрения расценок в повседневную практику является Градостроительный кодекс РФ с изменениями ФЗ №369 от 03.07.2016. Обратимся к тексту главы 2.1, ст. 8.3 Градкодекса, действующей в настоящее время. Эта статья однозначно требует обязательного применения сметных нормативов, внесенных в федеральный реестр, при финансировании объектов капитального строительства с при-

влечением средств бюджетной системы РФ, а также юридических лиц, созданных РФ, субъектами РФ, муниципальными образованиями, а также юридических лиц, доля в уставных (складочных) капиталах которых РФ, субъектов РФ, муниципальных образований составляет более 50%.

Положения этой статьи в отношении объектов, строительство или реконструкция которых осуществляется без привлечения средств бюджетной системы РФ, применяются с даты, по состоянию на которую обеспечивается одновременное выполнение следующих условий:

- включение сметных нормативов на эти работы в установленном порядке в федеральный реестр;
- введение в действие указанных сметных нормативов;
- размещение в федеральной государственной информационной системе ценообразования в строительстве сметных цен строительных ресурсов, определенных соответствующим уполномоченным федеральным органом по результатам мониторинга цен строительных ресурсов.

Подводя итог, подчеркну, что теперь предстоит завершающий этап и напряженная разъяснительная, образовательная и практическая работа с заказчиками, проектировщиками, генеральными подрядчиками и подрядчиками ГНБ по внедрению новых расценок в практику современного строительного комплекса на всей территории Российской Федерации. ■

М. А. ЗУЕВ,  
В. И. ЖУКОВ  
(ООО «ЦентрТехФорм»)

*An integral part of the technology of pipelining by horizontal directional drilling method, for sure, is welding and methods of welding equipment selection. Modern Transpilot due to full automation and caterpillar track allows to butt-weld polyethylene pipes qualitatively and safely with a maximum performance.*

# ОБОРУДОВАНИЕ ФИРМЫ SAURON ДЛЯ СВАРКИ ТРУБ ИЗ ТЕРМОПЛАСТОВ ВСТЫК НАГРЕТЫМ ИНСТРУМЕНТОМ



Рис. 1. Строительство ПЭ наружного водопровода с использованием сварочного аппарата SAURON для сварки встык нагретым инструментом

**Применение полиэтиленовых труб быстро растет во всем мире уже на протяжении не одного десятка лет. Так же быстро развивается техника для их соединения и монтажа. Неотъемлемой частью прокладки трубопроводов методом ГНБ является сварка плети полимерных труб перед протяжкой. Для предотвращения случаев брака важно правильно подобрать соответствующее сварочное оборудование.**

**В** настоящее время на российском рынке присутствует продукция нескольких десятков как отечественных, так и зарубежных производителей. При этом оборудование импортного производства, занимая большую долю рынка, отличается разнообразием моделей и широким ценовым диапазоном.

С 1992 года присутствуют на российском рынке сварочные аппараты французской фирмы Sauron.

Особенностями стыкового сварочного оборудования фирмы Sauron, зарекомендовавшего себя в российских условиях как надежное и безотказное, являются:

- повышенная жесткость станины центратора;
  - увеличенное сечение гидроцилиндров;
  - особая укладка спирали в нагревателе.
- Увеличенное сечение гидроцилиндров, в частности, позволяет работать при более

ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ №12. Март/2017



**ООО «ЦентрТехФорм»**  
**127282, Москва,**  
**Чермянский пр-д, д. 7, стр. 1**  
**Тел.: +7 (495) 727 1015**  
**e-mail: sales@ctf-m.ru**  
**www.ctf-russia.ru**



Рис. 2. «TRANSPILOT 630»

низких давлениях в гидравлической системе, создает существенный запас по давлению перемещения, расширяет возможности аппарата по диапазону свариваемых труб, снижает износ элементов гидравлики.

Одна из последних разработок Sauron — сварочный комплекс «TRANSPILOT» («Транспилот»). Благодаря полной автоматизации и установке на гусеничном шасси он сваривает встык полиэтиленовые трубы качественно и с максимальной производительностью. Гидравлический привод нагревательного инструмента, торцевателя, верхних зажимов и поддерживающих роликов снижает потребность в грузоподъемных механизмах при сварке труб большого диаметра.

Этому аппарату не нужен внешний источник электропитания, так как генератор установлен на его шасси. Для проведения работ в темное время суток сварочный комплекс оснащен прожектором на раздвижной штанге. Гусеничное шасси обладает превосходной маневренностью, что облегчает работу в тесненных условиях.

На сегодняшний день «TRANSPILOT» производится в трех вариантах:

- «TRANSPILOT 250» (для сварки труб Ø 63-250 мм)
- «TRANSPILOT 315» (для сварки труб Ø 90-315 мм)
- «TRANSPILOT 630» (для сварки труб Ø 315-630 мм)

ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ №12. Март/2017



Электротепловой сварочный аппарат Barbara compact

Развитая сеть авторизованных сервисных пунктов Sauron более чем в 10 городах России позволяет свести к минимуму перемены в работе строительных организаций, связанные с необходимостью ежегодного технического обслуживания оборудования. На них до сих пор обслуживается сварочное оборудование Sauron, поставленное в Россию еще в 1990-е годы.

Сварочное оборудование Sauron, сертифицированное на соответствие требованиям безопасности и стандартов на сварочное оборудование, рассчитано на удовлетворение запросов строительных и эксплуатационных организаций разного

уровня и специализации, в том числе сооружающих или обслуживающих трубопроводы систем газоснабжения, водоснабжения и других.

Sauron предлагает широкий спектр оборудования для сварки встык полимерных труб диаметром от 63 до 1600 мм с разной степенью автоматизации: от ручного управления до высокой степени автоматизации.

Наши специалисты имеют многолетний опыт работы в области сварки полимерных труб и всегда готовы помочь определиться с выбором наиболее подходящего сварочного оборудования для решения конкретных задач заказчика. ■

Научно-производственный институт «СЕНСЕ» стал в 1994 году одним из первых отечественных предприятий, начавших разработку и производство систем азимутальной навигации для горизонтального направленного бурения. Недавно компания запустила в производство много-частотную систему локации, позволяющую контролировать положение зонда при строительстве скважины методом ГНБ относительно существующей скважины с проложенной в ней пластиковой трубой. Новинка обладает рядом преимуществ и выделяется среди существующих зарубежных аналогов.

*In 1994 the Scientific and Production Institute "SENSE" became one of the first enterprises of the Russian Federation that started the development and production of azimuth navigation systems for horizontal directional drilling. Recently, the company launched a multi-frequency steering system that allows monitoring the probe position during well construction by horizontal directional drilling method against an existing well with a plastic pipe laid in it. The novelty has a number of advantages and stands out among existing analogues.*



432028, г. Ульяновск,  
ул. Октябрьская, д. 22, стр. 14  
Тел.: (8422) 45-72-00,  
45-80-79,  
+7-917-629-8888,  
+7-9510-980-888  
E-mail: info@sense-inc.ru  
www.sense-inc.ru

## ООО «СЕНСЕ ГНБ»: РОССИЙСКИЕ ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ГНБ



Предлагаемое новое техническое решение позволяет производить строительство параллельных скважин, а также контролировать прохождение бурового инструмента вблизи существующего трубопровода с целью предотвращения его повреждений.

Работа системы основана на идее приема сигнала зонда не только приемником системы локации СНС-300Т, которая сопровождает процесс бурения (рекомендуется применять проводной зонд), но и приемником, помещенным в существующую (например, резервную) пластиковую трубу, проложенную вблизи строящегося трубопровода. Старая скважина при этом может быть расположена как параллельно новой, так и под углом к ней.

Для решения обозначенной задачи применяется специальный погружной приемник сигналов, разработанный компанией «СЕНСЕ ГНБ». Это аналог приемника системы СНС-300Т, конструктивно выполненный в виде цилиндра.

Для свободного перемещения в трубе он оборудован специальными роликами, а само движение обеспечивается двумя лебедками, расположенными у торцов трубы. Лебедки соединены с приемником каротажным кабелем, который служит как для его перемещения, так и для передачи информации на наземное устройство обработки сигналов.

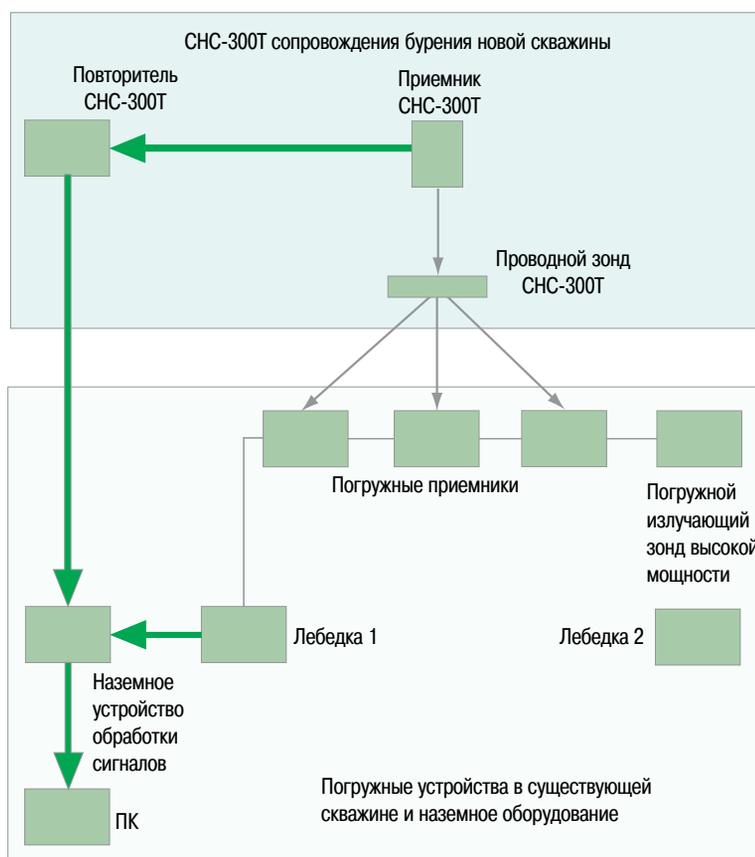
Количество погружных приемников может быть увеличено до трех, они соединяются последовательно с помощью того же каротажного кабеля. В этом случае расстояние между ними устанавливается до нескольких десятков метров. Такое наращивание позволяет производить прием сигнала из разных удаленных точек одновременно, что значительно увеличивает точность определения расположения зонда, повышает вероятность его обнаружения. Для уточнения параметров позиционирования погружных приемников они снабжены инклинометрами, а лебедки — счетчиками метража.

В последовательную цепочку приемников может быть включен и погружной излучающий зонд высокой мощности. Его применение обеспечивает точное позиционирование всей цепочки, позволяет контролировать ее с поверхности при помощи приемника системы локации СНС-300Т. Наземное устройство обработки сигналов осуществляет:

- управление режимами работы всех погружных устройств и прием информации от них;
- прием информации от системы локации СНС-300Т, которая сопровождает непосредственно процесс бурения;
- передачу массива данных в ПК.

В компьютере устанавливается специальное программное обеспечение СЕНСЕ, позволяющее по получаемым массивам данных вычислять взаимное расположение погружных приемников и бурового инструмента. Результаты представляются в наглядном виде и оперативно корректируются по ходу бурения (см. рисунок).

Компания «СЕНСЕ ГНБ» ведет постоянную работу над совершенствованием выпускаемой продукции и повышением ее качества, благодаря чему входит в число лидеров мирового рынка локационного оборудования для ГНБ. ■



Упрощенная структура системы контроля положения зонда при строительстве скважины методом ГНБ

## Российская система локации для ГНБ

# SNS 300 t

### 7 частот

- 7 частот: 2; 8; 12; 18; 24; 30; 41 кГц;
- замер помех для выбора оптимальной частоты;
- 3 режима мощности зонда;
- только 1 беспроводной зонд;
- рабочая глубина при максимальной мощности до 35 м;
- переключение на ЛЮБУЮ из 7 частот во время бурения;
- бурение на цель



432028, г. Ульяновск,  
ул. Октябрьская, д. 22, стр. 14  
Тел.: (8422) 45-72-00, 45-80-79  
+7-917-629-8888, +7-9510-980-888  
E-mail: info@sense-inc.ru  
www.sense-inc.ru

HDD LOCATING SYSTEMS  
**Sense**

Осенью 2016 года подрядная организация PPI Chrobok S.A. по новой методике осуществила прокладку двух участков газопровода на территории Польши для национальной газораспределительной компании Gaz-System S.A. Трасса проходила в сложной и неоднородной геологии вдоль действующего газопровода. Прокладка участков длиной 700 и 464 м стала первым в стране проектом, выполненным по инновационной технологии Direct Pipe от компании Herrenknecht.

*In autumn 2016, PPI Chrobok S.A. contracting organization laid two sections of gas pipeline in Poland according to a new methodology for Gaz-System S.A. national company. The route was laid in a complex and heterogeneous geology along the existing gas pipeline. Laying of sections of 700 and 464 m long was the first project in the country implemented according to the innovative technology of Direct Pipe from Herrenknecht company.*

ООО «Херренкнехт  
тоннельсервис»  
Россия, 115432, Москва,  
пр. Андропова, д. 18,  
корп. 6, этаж 5, офис 5–19



[www.herrenknecht.com/ru/](http://www.herrenknecht.com/ru/)

## ПЕРВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА DIRECT PIPE ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ГАЗОПРОВОДА В ПОЛЬШЕ



**В** связи с возрастающей внутренней потребностью в газе Польша занялась расширением газораспределительной системы, частью которого стал проект газопровода Czeszów-Wierchowice Gas Pipeline на юго-западе страны. До недавнего времени для сооружения бестраншейных подземных переходов под реками и дорогами применялся только метод ГНБ. Используемый на протяжении многих лет, он доказал свои преимущества при относительно стабильной геологии, но плохо зарекомендовал себя с технической и экономической точек зрения в неоднородных и нестабильных грунтах.

Предварительные геологические изыскания по трассе планируемого строительства показали нестабильный глиняно-песчаный грунт с пропластками гальки. Помимо этого, переходы предстояло проложить в непосредственной близости к действующему газопроводу, тем самым необходимо было обеспечить высочайшую точность проходки, что недостижимо при традиционном ГНБ.

В свете данных обстоятельств генеральный подрядчик PGNiG Technologies S.A. совместно с подрядной организацией PPI Chrobok S.A. обратились в компанию Herrenknecht для оценки применимости метода Direct Pipe. Этот способ производства работ совмещает в себе лучшие качества двух технологий, микротоннелирования и горизонтально-направленного бурения, — быстрая и безопасная бестраншейная разработка скважины и прокладка заранее подготовленного и изолированного трубопровода проходят в один непрерывный этап.

Благодаря сверхточной гироскопической навигационной системе, которая позво-

### СПРАВКА

**Herrenknecht — единственная компания, которая в мировом масштабе производит и поставляет тоннелепроходческое оборудование для всех типов грунтов и диаметров (от 10 см до 19 м). Портфолио фирмы содержит в себе не только специальные проходческие комплексы для сооружения транспортных, коммунальных и инженерных тоннелей и прокладку трубопроводов, но и дополнительное оборудование, запчасти и сервисные услуги. Herrenknecht также производит буровое оборудование для вертикального и наклонно-направленного бурения, буровые станки глубокого бурения.**

**В 2015 году оборот группы компаний Herrenknecht составил 1,3 млрд евро. Имея в своем составе 76 офисов и дочерних предприятий по всему миру с численностью персонала около 5 тыс. человек, Herrenknecht предоставляет быстрый и качественный сервис именно там, где это требуется заказчиком.**

ляет постоянно контролировать положение проходческой установки, персонал на стройплощадке смог проложить оба участка газопровода диаметром 1 047 мм всего за 13 и 16 дней соответственно. Часть проходки выполнялась под особо охраняемой природной зоной. Связный липкий грунт, который часто вызывает сложности при горизонтально-направленном бурении, был легко преодолен



**Образцовая прокладка трубопровода в один этап**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ
Тип оборудования: Direct Pipe (установка AVN800 + доталкиватель труб НК500РТ)
Режущий диаметр: 1 140 мм
Макс. крутящий момент: 90 кНм
Макс. усилие доталкивателя труб: 500 т
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЕКТА
Длины проходок: 464 и 700 м
Внешний диаметр рабочей трубы: 1 047 мм
Материал рабочей трубы: стальная труба с тремя слоями полипропиленовой и стеклопластиковой изоляции
Геология: песок, связная глина, гравий



12 октября 2016 года установка AVN800 успешно завершает второй из участков газопровода в городе Чешув, Польша. Благодаря методу Direct Pipe разработка скважины и одновременная прокладка 700-метрового трубопровода в неоднородном и нестабильном грунте были осуществлены всего за 13 дней

по методу Direct Pipe. Усилия продавливания в 500 т, сообщаемого доталкивателем труб, даже в условиях высокого трения стенок трубного става о грунт оказалось более чем достаточно для успешной прокладки трубы. При этом, несмотря на малый размер разработанного затрубного пространства (несколько сантиметров), после проходки не было обнаружено ни единого повреждения изоляции газопровода.



Предварительно подготовленный трубопровод продавливается из стартовой шахты доталкивателем труб НК500РТ (усилие 500 т) компании Herrenknecht. Благодаря отличным результатам на данном проекте, этот метод будет использоваться в будущем на территории Польши при выполнении проходок в непростых геологических условиях

В целом по результатам реализации проекта метод Direct Pipe зарекомендовал себя исключительно с положительной стороны. Учитывая отличную производительность (147 м/сут), представитель компании-заказчика Gaz-System S.A отметил следующее: «Являясь комбинацией методов микротоннелирования и ГНБ, Direct Pipe позволяет вести проходку в самых сложных грунтах, что делает прокладку трубопровода возможной в любых условиях. Это позволит нам в будущем выполнять новые масштабные проекты экономически выгодно, быстро и с минимальным воздействием на местную инфраструктуру и окружающую среду».



Презентация для экспертов: в октябре 2016 года польская подрядная организация PPI Chrobok S.A. организовала день посещения стройплощадки в Чешуве. Заинтересованные клиенты из разных стран имели возможность вживую оценить простоту и скорость метода Direct Pipe и надежность оборудования Herrenknecht



Пьетро ЛУНАРДИ,  
профессор

Памяти сэра Алана Муира Вуда

# УПРАВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЕЙ ЭКСТРУЗИИ ЛБА ЗАБОЯ КАК СРЕДСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ ТОННЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ

Продолжение. Начало в №6, 8, 10, 11

## Теоретический анализ, проведенный методом численного и физического моделирования на физическом макете в уменьшенном масштабе

В сотрудничестве с Политехническим университетом Милана мы приступили к теоретическому обобщению результатов наших исследований и практического опыта, накопленного при строительстве значительного числа тоннелей по методу ADECO. Цель — обосновать выводы, полученные во время исследования и разработать упрощенные, но универсальные вычислительные методы для решения задач подземного строительства. Основным результатом направлен на создание уменьшенной физической модели проходки тоннеля при различных напряженно-деформированных состояниях массива.

Созданию физической модели предшествовал анализ, проведенный с использованием трехмерных численных моделей методом конечных элементов (в программном комплексе MIDAS GTS NX). Стояла задача выделить механические и геометрические параметры, влияющие на поведение тоннелей глубокого заложения, строящихся в однородном глинистом массиве, то есть определить параметры процессов, развивающихся в зоне «лоб — ядро забоя» во время проходки. Результаты приведены ниже; они получены при следующем упрощенном предположении: рассматривается однородная изотропная среда, проявляющая

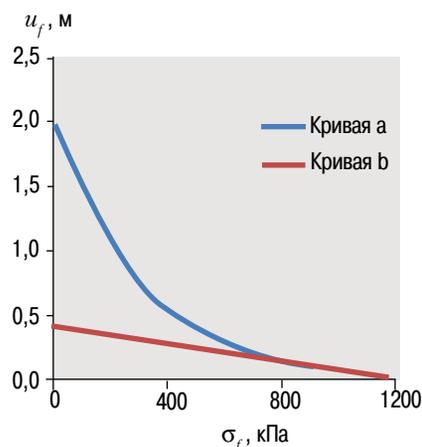


Рис. 13. Характеристическая кривая для случая упруго-пластичного поведения лба забоя (кривая а); результат расчета в упруго-пластическом приближении (кривая б)

идеальное пластично-упругое поведение в недренированных условиях (сцепление  $c$  является единственным параметром, определяющим прочность грунта), и жесткая обделка тоннеля, заканчивающаяся непосредственно у лба забоя. В качестве основного параметра 3D-модели было взято отношение  $H/D$  (где  $H$  — глубина заложения тоннеля,  $D$  — эквивалентный диаметр), не допускающее локального обрушения, захватывающего поверхностные слои. Ради краткости мы здесь опускаем более подробную информацию о самой численной модели, достаточно сказать, что для оценки достоверности ее результатов рассматривались различные размеры модели и варианты дискретизации по пространственным переменным.

Продолжение следует

**Случай естественного (незакрепленного) лба забоя**

Первый шаг состоял в воспроизведении в модели первоначального напряженного состояния, когда действует только сила тяжести. Проходка в этом случае моделировалась для разных режимов функционирования (вариант с управлением движением и с меняющейся нагрузкой), были получены похожие результаты. Характеристические кривые, представленные на рис. 13, показывают развитие экструзии лба забоя  $u_p$  при изменении горизонтального давления  $\sigma_f$  (равного  $\sigma_3$ , действующего на лоб забоя) для случаев упруго-пластичного (кривая а) и чисто упругого поведения (кривая б).

Анализ численных результатов показывает, что постепенное снижение давления удерживания в зоне лба забоя, моделирующее продвижение проходки, вызывает, в данных условиях, пластификацию зоны «ядро — лоб» и возмущение линий потока горизонтального напряжения (рис. 14 а). Это происходит одновременно с постепенным увеличением нормального давления грунта на обделку на расстоянии, примерно равном одному диаметру тоннеля.

Особого внимания заслуживает развитие механизма экструзии в кольце грунта, окружающего часть тоннеля с установленной обделкой, при смещении грунта в сторону лба забоя (рис. 14 и 15). Это явление, при котором пластификация грунта вокруг обделки тоннеля продолжается в продольном направлении позади лба забоя (рис. 14 а–в).

Следует отметить, что на горизонтальные напряжения и пластификацию грунта вокруг тоннеля, показанные на рис. 14, влияет схема построения численной модели, предшествующая созданию физического макета. Проходка моделируется изменением нагрузки при неподвижном лбе забоя. В реальных условиях пластификация грунта, окружающего выработку, является неизбежным фактом, и по мере продвижения она развивается по всей длине тоннеля.

Все эти явления отражаются также на характеристической кривой. Действительно, если характеристическая линия лба забоя (кривая а на рис. 13) нормирована так, что она становится графически независимой от упругого остаточного экструзионного смещения ( $u_{r,el}$ ) и от исходного напряженного состояния ( $\sigma_0$ ), то получается зависимость, изображенная на рис. 16. Эта кривая никогда не пересекает вертикальную асимптоту: ее жесткость постепенно снижается, но никогда не достигает нулевого значения, проявляется упругое поведение с упрочением, которое не объясняется фор-

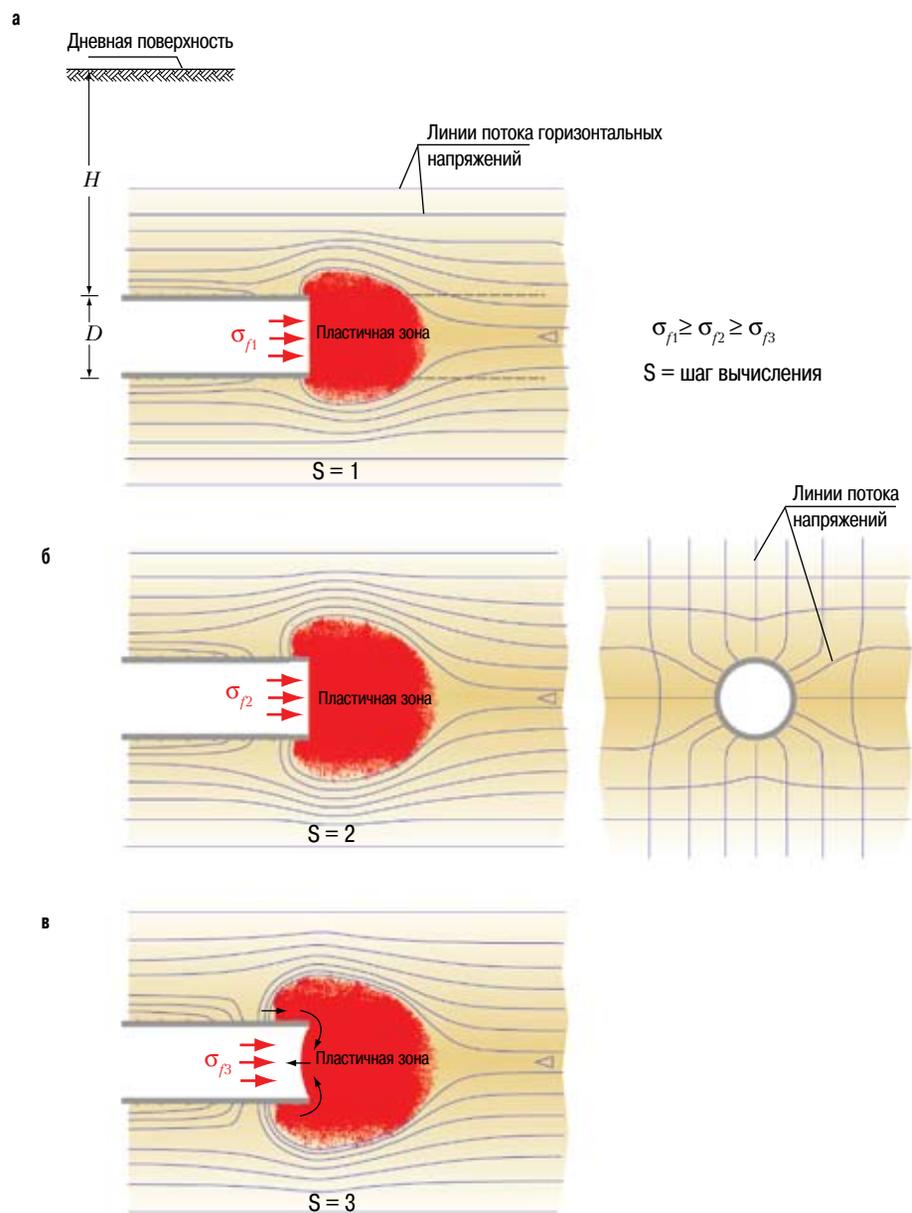


Рис. 14. Пластическая деформация ядра забоя и распространение линий горизонтального напряжения, приводящих к объемному развитию процесса, начинающегося с экструзии, обозначенной черными стрелками

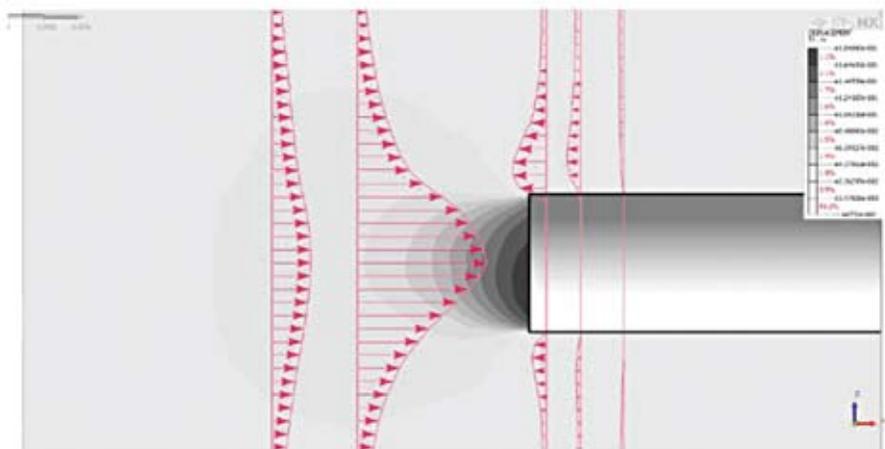


Рис. 15. Схемы горизонтального движения на различных расстояниях от лба забоя

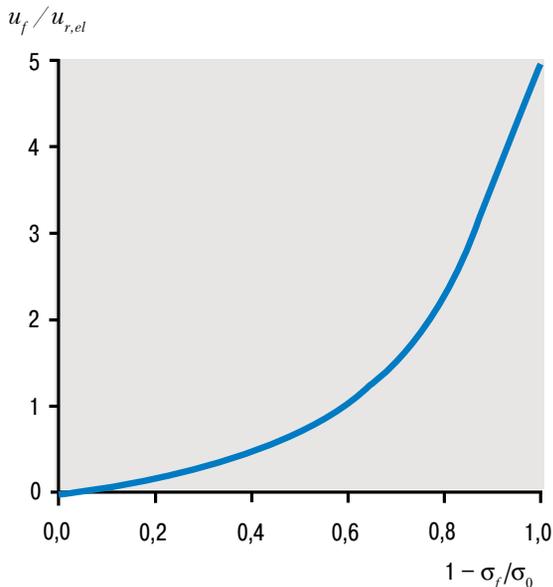


Рис. 16. Нормализация кривой а рис. 13

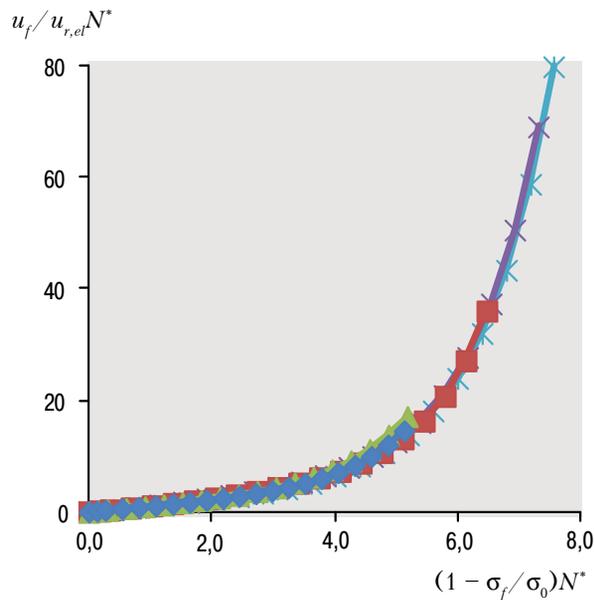


Рис 17. «Материнская кривая» на плоскости  $u_f / u_{r,el} N^* - N^*(1 - \sigma_f / \sigma_0)$

мулой замыкающего соотношения материала, а вызвано объемным распространением пластифицированного кольца.

Обобщая, можно констатировать следующее:

- Трехмерность рассматриваемой системы определяет реакцию «геоструктуры» как с кинематической, так и статической точки зрения (развитие поля смещения и развитие поля напряжения соответственно);

- Стандартный анализ предельных условий не применим для описания реакции системы, так как в нем никогда не достигается условие обрушения.

Если каждая вычисленная характеристическая кривая нормализуется в соответ-

ствии с модифицированным соотношением устойчивости

$$N^* = K_0^a N,$$

где  $N$  [коэффициент устойчивости Бромса и Бенемарка:

$$N = \frac{\gamma \left( H + \frac{D}{2} \right) + q}{c_u}$$

$a = 0,82$ ;  $q$  — избыточная нагрузка;  $K_0$  — коэффициент статического давления грунта, то получается полезный и интересный результат.

Несмотря на значительную дисперсию учитываемых геомеханических и геометри-

ческих параметров, было установлено, что все вычисленные характеристические кривые сводятся к одной и той же «материнской кривой», независимой от значения  $K_0$  и всех остальных параметров (рис. 17). Это важный результат в том смысле, что эта кривая позволяет нам прогнозировать экструзионные процессы, происходящие в зоне «ядро — лоб» тоннеля при изменении значения  $\sigma_f$ . Для этого достаточно знать лишь глубину заложения  $H$ , диаметр тоннеля  $D$ , коэффициент статического давления грунта  $K_0$ , и геомеханические параметры  $\gamma$ ,  $c_u$  и  $E$ . Поэтому проектировщику достаточно оценить  $N^*$ , чтобы вычислить отношение  $u_f / u_{r,el}$  через характеристическую кривую, приведенную на рис. 17.

На основании трехмерного численного анализа можно вычислить  $u_{r,el}$ , что дает возможность определить  $u_f$ . Это позволяет проектировщику прогнозировать экструзию зоны «лоб — ядро» забоя для удерживающих горизонтальных напряжений, отличных от нуля. «Материнскую кривую» на рис. 17 также удобно использовать для оценки эффективности операций, предложенных для закрепления зоны «лоб — ядро»: нужно просто сравнить результаты, полученные при аналогичном анализе закрепленной системы, с вышеупомянутой кривой.

Следует учитывать, что этот результат основан на допущении об отсутствии трения в недренированных условиях, при обделке, значительно более жесткой, чем сам грунт, которая заканчивается у лба забоя. Несмотря на это, установлено, что даже значительные изменения жесткости обделки вызывают незначительные перемены характеристической кривой экструзии при сравнении с материнской кривой (рис. 18). ■

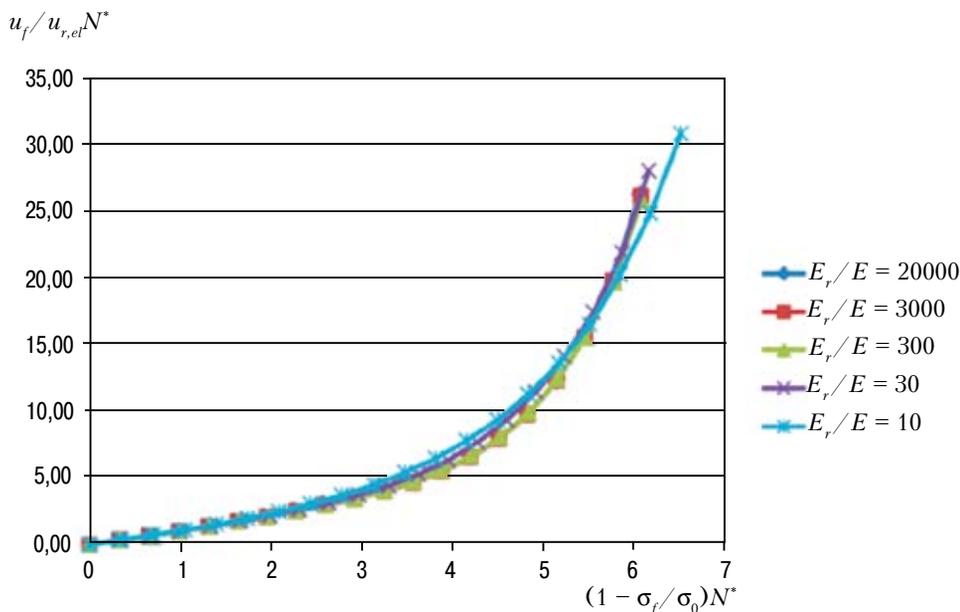


Рис. 18. Нормированные характеристические кривые, вычисленные для обделок различной жесткости

# EXTRUSION CONTROL OF THE GROUND CORE AT THE TUNNEL EXCAVATION FACE AS A STABILISATION INSTRUMENT FOR THE CAVITY

Previous chapter see in “Underground Horizons” #6,8, 10, 11

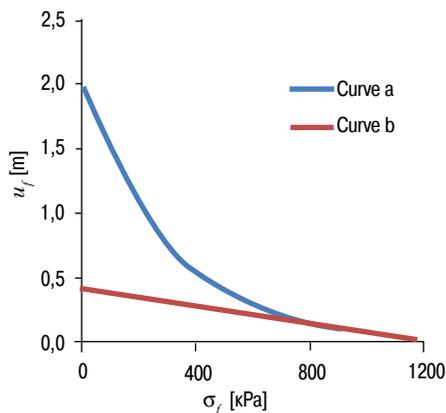


Fig. 14: Characteristic curve of the elastic-plastic face (curve a) and of the elastic analysis (curve b).

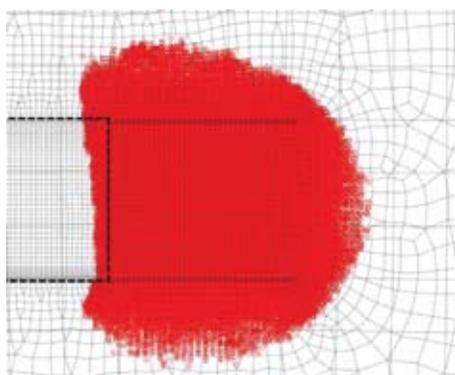


Fig. 15: Lateral view of the model in the proximity of the tunnel face: visualization of the plastified zones

## 5. Theoretical study on numerical and physical models in reduced scale

Recently, a theoretical study on the results of Research and on the experience gathered on many tunnels constructed using the Analysis of Controlled Deformation in Rocks and Soils was launched in collaboration with the Polytechnic University of Milan. Said study aims to better frame the results of the Research as well as to develop simplified but universal calculation procedures, capable of taking into account the three-dimensional problem of underground construction and subsequent factors. The main result of this study will be to create a reduced-scale physical model of a tunnel in advancement in different stress-strain conditions.

Preliminarily to the realization of the physical model, numerical finite element analyses were carried out on three-dimensional models (using the MIDAS GTS NX code), this served to highlight the mechanical and geometrical parameters which condition the response of deep tunnels excavated in homogeneous clay strata, with regard to phenomena developing in the core-face following advancement. The analyses are summarised below, and were based on simplified hypotheses: homogeneous isotropic material with perfectly plastic-elastic behaviour in undrained conditions (the undrained cohesion  $c_u$  is the only constitutive parameter related to the material strength) and rigid lining of the tunnel which ends exactly at the face. The 3D model

was built according to ratio  $H/D$  (where  $H$  is the overburden on the tunnel and  $D$  is the equivalent diameter) which guarantees against local failure mechanisms involving superficial layers. For the sake of brevity, more detailed information on the numerical model has here been omitted, it is enough to say that several dimensions for the model and diverse spatial discretization were taken into account to assess the reliability of the numerical results.

The results of the numerical analyses, taking into account both face, are separately reported below.

### 5.1 Case of the natural core-face (not reinforced)

The first calculation step consisted of bringing the model to its initial stress conditions under the sole force of gravity, excavation was then simulated according to various modalities (both as regards movement control and load control), this garnered similar results: the graphic in figure 14 reports in terms of a characteristic curve — meaning the progress of the medium face extrusion  $u_f$  of varying the medium horizontal pressure  $\sigma_f$  ( $=\sigma_3$ ) which contains it — both the elastic-plastic behaviour (curve a) and the purely elastic behaviour (curve b).

Analysis of the numerical results clearly shows that the progressive reduction of confinement pressure at the face, which simulates the advancement of excavation, causes, in the given conditions, plasticization of the core-face (fig. 15) and channelling of the horizontal stress flowlines (fig. 16a). This

To be continued

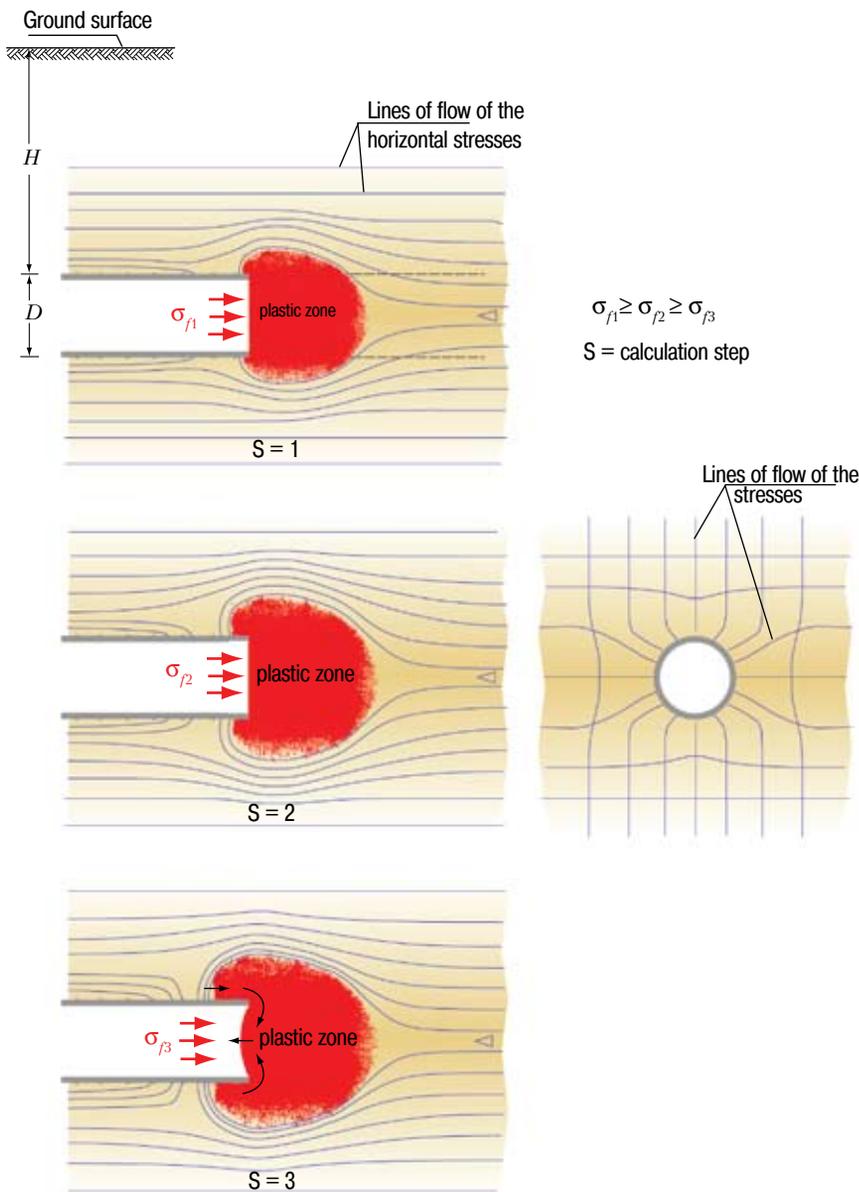


Fig. 16: Plastic deformation of the face core and channelling of the horizontal-stress flowlines which give way to a spatial evolution phenomenon starting from the extrusive mechanism shown by the black arrows.

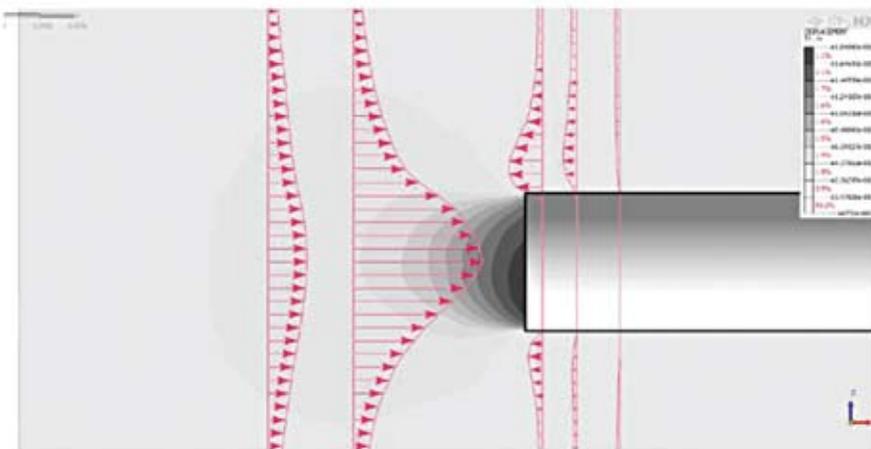


Fig. 17: Diagrams of the horizontal movement at various distances from the excavation face.

coincides with a progressive increase of normal ground pressures on the lining for a length equal to about one diameter of excavation.

Of particular importance is the evolution of the extrusive mechanism where the ground within a band surrounding the lined tunnel flows towards the excavation face (fig. 16 and 17). This is a spatially evolving phenomenon where the plasticization of the ground around the tunnel lining continues to extend in a longitudinal direction behind the face (fig. 16a, 16b, 16c).

It must be mentioned that the representation of the horizontal stress flowlines and plasticization of the ground surrounding the tunnel shown in Fig. 16 is affected by the schematisation of the numerical model that is preparatory to the physical model which will be shown later, in which excavation is simulated in load control with a stationary face. In real life, the plasticisation of the ground surrounding the cavity is an irreversible phenomenon, and as the face advances it affects the entire length of the tunnel.

What is illustrated above is also reflected in terms of characteristic curve. Indeed, if the characteristic curve of the face (curve a of fig. 14) is normalized so as to be graphically independent from the elastic residual extrusive displacement ( $u_{r,el}$ ) and from the initial stress state ( $\sigma_0$ ) the result is the curve in fig. 18, which never reaches a vertical asymptote: its rigidity progressively reduces but never nullifies, showing a ductile behaviour with hardening that is not a consequence of the material constitutive relationship but instead of the hardening caused by the spatial propagation of the plasticisation band.

In summary:

- the system's three-dimensionality governs the response of the "geo-structure" both from a cinematic and static point of view (evolution of the displacement field and evolution of the stress field, respectively);
- the standard limit analysis approach cannot be used to represent the system response in that it never reaches failure conditions.

If every calculated characteristic curve is normalized according to the modified stability ratio  $N^* = K_0^a N$  in which:

$$N = \frac{\gamma \left( H + \frac{D}{2} \right) + q}{c_u}$$

[Broms and Bennermark's stability ratio, 1967]

$a = 0.82$

$q = \text{overload}$

$K_0 = \text{coefficient of earth pressure at rest}$  the final result is useful and interesting.

Despite the great dispersion of geomechanic and geometric parameters

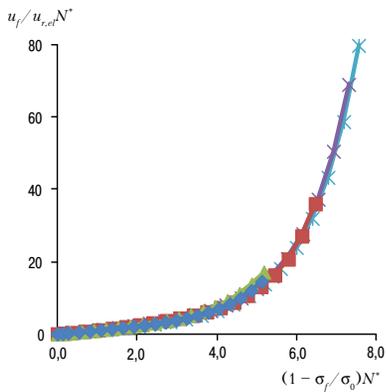


Fig. 18: Normalization of the curve a in fig. 14

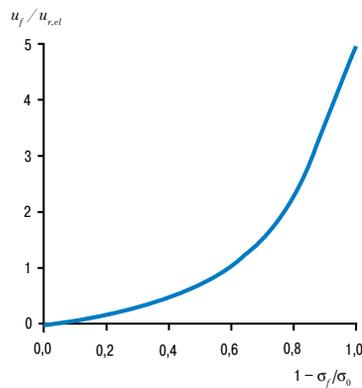


Fig. 19: Characteristic "Mother" curve in the plane  $u_f/u_{r,el}N^* - N^*(1 - \sigma_f/\sigma_0)$

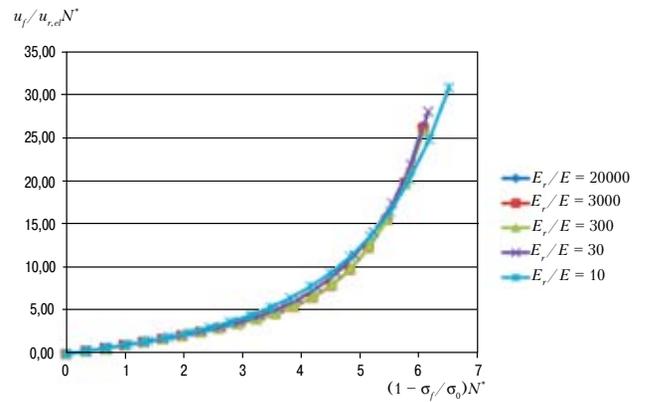


Fig. 20: Normalised characteristic curves calculated for linings of different rigidity.

taken into consideration, it has been found that all calculated characteristic curves belong to the same characteristic curve, called "mother curve", independently from the value of  $K_0$  and all other parameters (fig. 19).

This is an important result in that said curve allows us to predict extrusive phenomena of the core-face of a tunnel as the  $\sigma_f$  value varies only by knowing: the overburden  $H$ , the diameter of the tunnel  $D$ , the coefficient of earth pressure at rest  $K_0$ , and the geomechanic parameters of ground  $\gamma$ ,  $c_p$ , and  $E$ .

The designer therefore needs to evaluate  $N^*$ , in order to calculate the ratio:  $u_f/u_{r,el}$  by means of the characteristic curve of fig. 19.

Using elastic three-dimensional numerical analyses he then calculates  $u_{r,el}$  which lead to the calculation of  $u_f$ . This allows designers to predict the extrusion of the core-face for horizontal confinement pressures  $\sigma_f$  different than zero. The "mother curve" in fig. 19 is also very convenient to determine the effectiveness of the operation designed to reinforce the core-face: simply by comparing

the results garnered from the reinforced system with said curve.

Please keep in mind that the above result is based on a frictionless ground in undrained conditions, with a lining which is much more rigid than the ground itself and which ends at the face. Despite this, it has been observed that even significant variations of the lining's rigidity cause negligible changes in the characteristic curve of extrusion when compared to the mother curve presented above (fig. 20). ■

Connecting Global Competence



Messe München



СТРОИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНИКА  
И ТЕХНОЛОГИИ

Получите билет на сайте  
WWW.CTT-EXPO.RU

РЕКЛАМА

СПЕЦИАЛИСТЫ ЗНАЮТ!

30 мая — 3 июня 2017  
Москва, МВЦ Крокус Экспо

WWW.CTT-EXPO.RU \* входит в состав Баума

**СТТ**  
part of **bauma network**\*

Фан-Лэ ПЭН,  
Чао ЯН;

Исследовательский центр  
подземного пространства,  
кафедра инженерной геологии  
Университета Тунцзи (Китай)

# СТРОИТЕЛЬСТВО ТОННЕЛЕЙ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ В КИТАЕ

**Основная тема статьи — история строительства тоннелей для размещения инженерных коммуникаций в Китае и проблемы, сопровождающие такое строительство. На основе анализа нескольких проектов освещается практический опыт по широкомасштабному развитию этого направления, впервые приводится ряд статистических данных. Рассматриваются особенности принятия решений, планирования и управления процессом, непосредственно проектирования и строительства. Приводится конкретный пример проекта тоннеля для размещения инженерных коммуникаций. Полученный опыт может оказаться полезным для решения аналогичных задач в других странах.**



**Н**а сегодняшний день большинство линий городских инженерных коммуникаций в Китае расположено непосредственно под дорогами. Такой подход свидетельствует об отсутствии долгосрочных программ управления подземным пространством, результатом чего является сгущение городских инженерных сетей, проложенных на небольшой глубине. Кроме того, такие операции, как ремонт, техническое обслуживание, модернизация и вывод из эксплуатации требуют частого проведения земляных работ и последующего восстановления дорог, что серьезно затрудняет транспортное движение.

Следует также отметить, что ущерб, наносимый городской среде и зданиям операциями на инженерных коммуникациях, является потенциальным источником опасности для населения. Аварии на коммунальных сетях (утечки, взрывы и т. п.), часто происходившие в Китае, обусловили большое внимание правительства и общественности к этой проблеме. В сложившейся ситуации инженерные тоннели, идея которых широко обсуждалась и принята на вооружение в различных стра-

нах, становятся альтернативным вариантом размещения городских коммуникаций.

Вслед за тем, как в Шанхае в 1994 году ввели в действие инженерный тоннель, подобные пилотные проекты были реализованы в Пекине, Гуанчжоу, Шэньчжэне и других крупных городах страны. 2015 год ознаменовался рядом стратегических решений правительства КНР, направленных на стимулирование этого направления тоннелестроения и предвещающих его резкий рост в течение ближайших 10 лет.

Китай переживает самый стремительный в мировой истории процесс урбанизации: за 60 лет ее уровень повысился с 10% до более чем 50%. Для достижения такого же показателя Европе понадобилось 150 лет, а Латинской Америке — 210 лет. К 2015 году уровень урбанизации в КНР достиг 56,1%. В городах проживают 770 млн человек, что сопоставимо с общей численностью жителей Европы. Быстрый рост городского населения в Китае вызывает проблемы в области охраны окружающей среды и создает трудности в обеспечении населения ресурсами.

По этим причинам китайское правительство из возможных вариантов урбанизации выбирает наиболее интенсивный и экологичный путь. В частности, эксперты при поддержке власти обратились к идее инженерных тоннелей в качестве альтернативного решения по размещению коммуникаций в контексте программ устойчивого развития городов.

Коммуникационный тоннель может быть определен как «подземная структура с одной или несколькими инженерными сетями, позволяющая осуществлять их техническое обслуживание, ремонт или модернизацию без необходимости проведения земляных работ».

### Ситуация и развитие

Первый инженерный тоннель, построенный в 1994 году в Шанхае в районе Пудун, имеет длину более 11 км, является прямоугольным в сечении, состоит из двух отсеков. В нем размещены четыре вида городских инженерных сетей (электроснабжение, телекоммуникации, водо- и газоснабжение). В настоящее время, после реализации ряда аналогичных проектов, общая протяженность инженерных тоннелей, построенных в крупных городах Китая, составляет уже около 500 км. Однако в пересчете их средней длины на душу населения мы получим всего 0,24 км на 1 тыс. человек, что значительно ниже среднего уровня (рис. 1) в сравнении с развитыми городами мира. Если же взять среднее для них значение 2 км на 1 тыс. человек и на его основе рассчитать потенциал Китая в области сооружения инженерных тоннелей, то получится, что следовало бы построить 27 тыс. км.

Дальнейший анализ (рис. 2) показывает, что масштабы такого тоннелестроения в стране в последнее время растут ускоренными темпами. В 69 городах КНР строятся инженерные тоннели общей протяженностью 1 тыс. км; соответствующие инвестиции составляют порядка 88 млрд юаней. Но если учесть повышенное внимание, проявляемое правительством к этому направлению, а также объем выделяемых финансовых средств, то представляется очевидным, что наблюдаемый впечатляющий рост — это только начало новой быстроразвивающейся фазы. В 2015 году 10 городов (Шэньян, Чангша и др.) были выбраны для реализации пилотных проектов инженерных тоннелей общей протяженностью 389 км. 45% инвестиций предоставляется государством. Кроме того, правительственными решениями был введен в действие ряд документов стратегического характера, правил и инструкций по планированию, финансированию и технологическим аспектам строительства инженерных тоннелей, что выдвигает эту отрасль в разряд приоритетных.

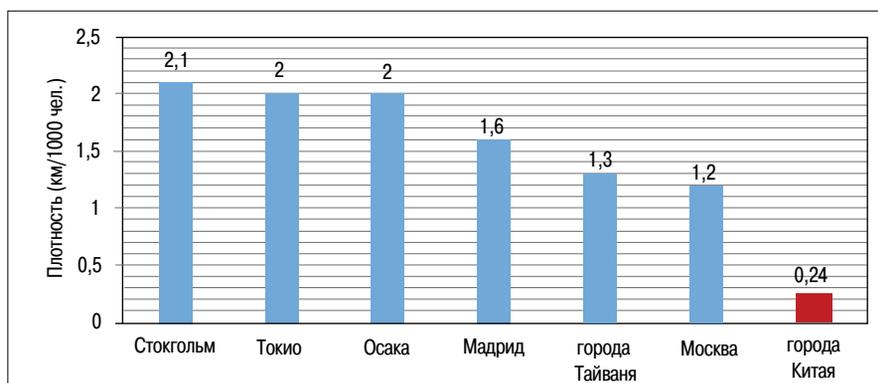


Рис. 1. Длина инженерных тоннелей на тысячу человек в различных городах мира

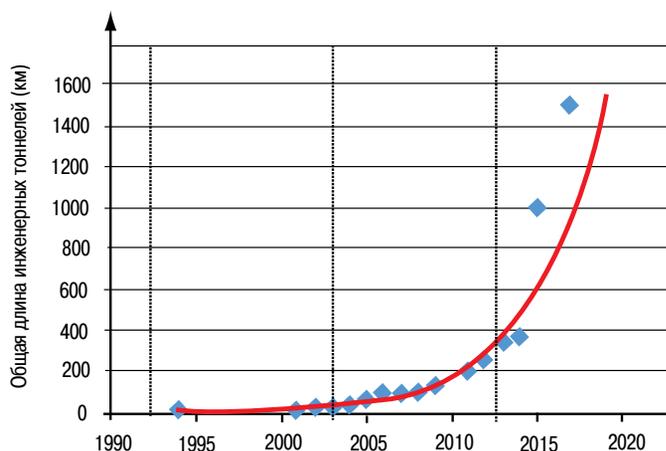


Рис. 2. Кривая роста объема строительства инженерных тоннелей в Китае

### Мотивирующие факторы

Ранее инженерные тоннели в Китае сооружались без учета необходимости комплексного решения городских проблем, без разработки системного плана строительства и оперативного управления, рассчитанных на длительное время. Например, в период развития новой территории Пудун в Шанхае в 1993 году фактически провели эксперимент с «политической» целью, чтобы следовать прогрессивной мировой тенденции, в то время как основная задача, а именно разработка системного подхода и создание плана подземной структуры, осталась невыполненной. Результатом стала низкая эффективность функционирования и высокие эксплуатационные расходы на содержание сооружения. К тому же при отсутствии правовых ограничений многие городские предприятия инженерных сетей самовольно обходили построенный тоннель, что вылилось в пустую трату подземных пространственных ресурсов.

В последние годы часто происходили несчастные случаи, вызванные плохим управлением подземными инженерными коммуникациями. Согласно статистическим данным, в Китае насчитывается более 600 городов,



Рис. 3. Взрыв газа в Циндао

в которых средняя интенсивность утечек из системы водоснабжения превышает 15%, достигая порой 70%, а в 19 крупнейших городах этот показатель составляет почти 17%. Намного выше, чем, например, в Японии. В 2013 году в китайском городе Циндао во время аварийного ремонта также взорвался нефтепровод, и 62 человека погибли (рис. 3).

В задачи правительства входил пересмотр системы управления городскими инженерными сетями, и в целом была осознана важность роли тоннелей для их прокладки.

## Финансовая сторона

Вопрос об экономичности строительства инженерного тоннеля остается спорным. Начальная стоимость сооружения составляет порядка 56–131 млн юаней/км, что намного превышает стоимость прокладки сетей традиционным (открытым) способом, который, на первый взгляд, в этом смысле и представляется более целесообразным. Но ситуация выглядит иначе, когда вопрос о стоимости земляных работ и технического обслуживания рассматривается в долгосрочной перспективе (рис. 4).

Количественный анализ показывает, что средний объем начальных инвестиций в строительство инженерных тоннелей в 1,5–2 раза выше, однако если рассматривать, например, период в 50 лет, в целом объем затрат получится практически равнозначным. Иными словами, экономическая эффективность технического решения зависит от оценки расходов и доходов с учетом всего жизненного цикла объекта. Кстати, есть еще

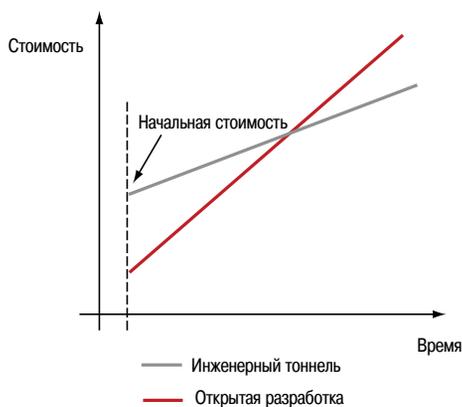


Рис. 4. Кривые стоимости тоннеля, строящегося открытым способом, и инженерного тоннеля

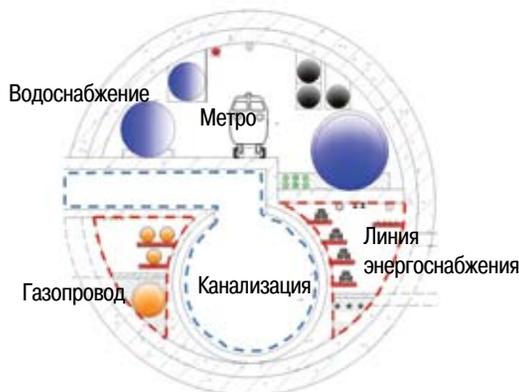


Рис. 5. Разрез инженерного тоннеля в сочетании с системой метрополитена

один важный фактор, который обычно не учитывается и трудно поддается расчетам: речь идет о сопутствующих преимуществах инженерных тоннелей (например, экологический аспект).

## Последовательность строительства

Ввиду того, что создание инженерного тоннеля не является обратимым процессом, очень важно определить оптимальное местоположение объекта и последовательность этапов строительства. К сожалению, этим аспектам в Китае раньше не уделялось достаточного внимания, что с течением времени привело к низкой эффективности функционирования тоннельных сооружений и к возникновению других проблем, связанных с подземными коммуникациями. Так возникла острая необходимость в разработке научно обоснованного плана строительства инженерных тоннелей. Однако отсутствие точных данных по объектам, построенным под землей в период быстрой урбанизации, затрудняет выполнение этой задачи. В результате первый шаг, сделанный китайским правительством, состоит в проведении обследования всех подземных коммуникаций страны с целью сбора подробной информации и создания полной базы данных по городским инженерным сетям. Это позволит избежать их повреждений при проведении земляных работ, а также составить общий план системы инженерных тоннелей с определением основных мест их строительства, среди которых:

- центральные деловые зоны, торговые центры и другие общественные зоны с плотной подземной застройкой;
- зоны прохождения высокоскоростных железных дорог и городских автомагистралей, аэропорты, порты и другие крупные объекты наземной транспортной инфраструктуры;
- зоны с построенными объектами метро, автотранспортными тоннелями;
- районы интенсивно эксплуатируемых подземных коммуникаций.

Для того чтобы создание инженерных тоннелей в этих зонах приобрело устойчивый характер, необходимо очень четко определить сроки и график строительства. Учитывая необходимость обеспечения сохранности имеющихся коммуникаций и защиты окружающей среды, в старых городских районах часто применяются бесстрашнейшие технологии — значительно более затратные, чем традиционный открытый способ. Поэтому для снижения затрат необходимо изучить возможность

строительства инженерных тоннелей одновременно с реализацией других проектов в комплексе, например:

- со строительством новых городских районов и дорог;
- с модернизацией городов, реконструкцией дорог, регулированием речного русла и использованием подземного пространства;
- со строительством метро, автотранспортных тоннелей, системы скоростного автобусного движения и т. д. (рис. 5).

## Рыночный механизм

В течение длительного времени правительство Китая несло ответственность за весь комплекс работ (проектирование, строительство, эксплуатация и т. д.) и за все расходы по инженерным тоннелям. Такой режим оказался большим финансовым и управленческим бременем для местных бюджетов, что тормозило продвижение крупномасштабных проектов, особенно в быстрорастущих городах. Поэтому правительство Китая решило перевести тоннелестроение на рыночные рельсы.

Основными источниками прибыли от работы городского инженерного тоннеля являются разрешение доступа и длительная эксплуатация. Но, в соответствии с действующими тарифами, выручаемые средства далеко не полностью покрывают инвестиции в строительство и эксплуатационные расходы, и срок окупаемости весьма велик. Таким образом, многие эксперты идентифицируют инженерные тоннели как квазикommerческую инфраструктуру. В связи с этим при их строительстве китайское правительство широко использует модель государственно-частного партнерства. В отличие от тех видов частной финансовой инициативы и моделей ГЧП, которые впервые были использованы в Англии для реализации государственных проектов, применяемая в Китае система рассчитана на долгосрочные (например, сроком в 20 лет) партнерские отношения между властью и бизнесом, при котором как риски, так и прибыль являются общими.

Основной принцип модели ГЧП предполагает, что доля государства в начальных инвестициях в строительство инженерного тоннеля низка. Задача правительства в основном состоит в создании институциональной среды и обеспечении законодательных гарантий, таких как механизм предоставления субсидий, механизм контроля, механизм взимания платы за пользование инженерным тоннелем и т. д.

## Законодательные гарантии

Так как бенефициаров в данном случае несколько (администрация, частные инвесторы, различные коммунальные предприятия, банки), то разногласия по вопросам собственности, доходов от инвестиций, механизма оплаты услуг и т. д. должны регулироваться соответствующими законами и правилами, что является необходимой предпосылкой для быстрого развития данного направления.

Как показывает опыт Китая, правовая система, определяющая существование инженерных тоннелей, как правило, состоит из трех компонентов:

- общий закон, регулирующий вопросы управления;
- правила финансовой поддержки;
- местные дополняющие нормативные положения.

При этом необходимо сосредоточиться на следующих ключевых аспектах:

- права собственности на инженерный тоннель, включая землепользование, законодательное обеспечение франшизы и т. д.;
- механизм координации участников проекта;
- совместное участие в начальных инвестициях;
- механизм определения оплаты услуг и распределения доходов.

## Реализованные проекты

Самым крупным и наиболее комплексным в Китае пока что остается проект, реализованный на острове Хенкин в Чжухае (рис. 6). Создание тоннельной системы длиной 33,4 км потребовало инвестиций в 1,98 млрд юаней. Основная причина строительства подземного объекта заключалась в необходимости сохранения и интенсивного использования земельных ресурсов острова. Изменение способа прокладки с открытого (традиционного) на бестраншейный позволило сохранить около 400 тыс. м<sup>2</sup> земли под застройку.

Различные типы городских инженерных сетей (водоснабжение, электроснабжение, связь, конденсатный трубопровод, вакуумный мусоропровод и т. д.) размещены вместе в одном тоннеле (рис. 7). Помимо пространства для текущих нужд, в нем зарезервировано место для монтажа, технического обслуживания, будущей модернизации инженерных сетей. Кроме того, в управлении сооружением используются интеллектуальные технологии, что снижает стоимость эксплуатации (рис. 8).

Начальные инвестиции в данном случае в основном обеспечивались государствен-



Рис. 6. План подземной системы инженерного тоннеля на острове Хенкин, Чжухай



Рис. 7. Схематичный разрез подземного инженерного тоннеля



Рис. 8. Центр управления инженерным тоннелем

ной строительной компанией по модели Build-Transfer («построй-передай»). В отличие от ГЧП, государство при этом обязуется оплатить полную стоимость объекта в течение короткого периода времени (от 3 до 5 лет). Однако в других городах, таких как Чанша, Шэньян, Сямынь, началось строительство инженерных тоннелей именно по схеме государственно-частного партнерства. В таком случае учреждается специальная компания, несущая ответственность за объ-

ект в течение всего его жизненного цикла, после получения прав держателя франшизы, поддерживаемых государством. Начальные инвестиции покрываются за счет долгосрочного дохода от самого проекта и за счет соответствующей субсидии, предоставленной правительством. В итоге социальный бизнес может получать разумную прибыль через механизм оплаты услуг.

## Выводы

Опыт Китая показывает, что создание системы инженерных тоннелей должно основываться на устойчивой модели развития, включающей в себя комплексное планирование, и опираться на законодательную основу и государственные гарантии, а также на рыночные механизмы. С использованием такого подхода это направление тоннелестроения в КНР вступает в период быстрого роста, масштаб и скорость которого, безусловно, превосходят аналогичные параметры подобных процессов в любых других странах. ■

Chao Yang and Fang-Le Peng  
Research Center for Underground  
Space & Department  
of Geotechnical Engineering, Tongji  
University

# DISCUSSION ON THE DEVELOPMENT OF UNDERGROUND UTILITY TUNNELS IN CHINA



***This paper mainly reviews the history of the construction of the underground utility tunnel in China, and points out the existing problems. Based on the analysis of several construction cases, some practical experience on the large-scale promotion and construction of urban underground utility tunnels in China are given from the decision-making, planning, construction, management and other aspects, which may be helpful to the development of underground utility tunnels in other countries.***



## Introduction

Today, most of urban utilities in China are directly buried under the roads. This approach illustrates a lack of long-term governance of underground space, leading to congestion of the urban utilities installed in the shallow underground level. Allied to this, the operation of urban utilities such as repair, renewal, maintenance, upgrading and decommissioning results in frequent excavation and reinstatement of the roads in our cities, seriously obstructing the traffic. Moreover, damages to the surrounding environment and buildings caused by utility operations are also recognized as potential city security problems. Accidents of utilities like leakage, rupture, explosion, frequently happening in China, have drawn considerable attention of the government and citizens. Under this situation, underground utility tunnel which has widely been discussed and adopted by different countries are becoming an alternative way to solve the problems of urban utility placement. Since the construction of Zhangyang underground utility tunnel in Shanghai (1994), Beijing, Guangzhou, Shenzhen and other major cities in China has carried out a number of pilot projects of urban

underground utility tunnels. Especially in 2015, a series of policies to promote the construction of utility tunnels are issued by the central government, heralding an explosive growth trend in the next 10 years.

With the process of reform opening up, China was going through the world's largest and fastest urbanization process ever in the history, spending only 60 years improving the urbanization rate from 10% to 50%. To achieve the same process, Europe spent 150 years and Latin America spent 210 years. By 2015, the rate of urbanization has reached 56.1%, which means there are 770 million people living in the cities, equal to the population of Europe. The rapid growth of urbanization brings challenges to environmental protection and supply capacity of public resources. Therefore, the Chinese government has always been exploring a more intensive and ecological way of urbanization.

Recent years, backward infrastructural facilities are found to be one of the main limiting factors in improving the quality of urbanization. For a long time, most of China's water supply, electricity, communications, gas, drainage and other urban utilities are directly buried beneath the road, which leads to a number of problems such as frequent street cutting for

utility installation, maintenance, renewal and the associated problems of traffic congestion, noise and damage to other utilities. Moreover, lack of current underground utilities data and the low efficiency of traditional management method often lead to fire, leakage, or even explosion disasters during construction. Consequently, experts and government officials in China turned to promoting the underground utility tunnel as an alternative solution for sustainable utility placement. An underground utility tunnel can be defined as "any system of underground structure containing one or more utility service which permits the placement, renewal, maintenance, repair or revision of the service without the necessity of making excavations". In this paper, statistics and analysis on the development status of urban underground utility tunnel are firstly given. Then, some key points and practical experience for promoting utility tunnels in China's urban areas are discussed. Finally, an example is given to better understand the basic principle for the development of urban underground utility tunnel.

### Development status

In 1994 the first utility tunnel was built at Zhangyang Road, Pudong District, Shanghai. The tunnel was about 11.125 km long, using rectangular cross-section form consisting of two compartments. Four kinds of urban utilities (electricity, telecommunication, water supply and gas line) were combined into the tunnel. After that some cities also carried out a few number of pilot projects of utility tunnels. (Figure 1)

So far, the total length of utility tunnels built in China's major cities is about 500km, close to other cities in the world. However considering average length per capita, the number is only 0.24 km per one thousand people which is far below the average level (Figure 2). On the other hand, if choosing the average number (2km/1000people) of other developed cities to calculate China's potential space for utility tunnels, the total number can be approximately close to 27000km. This suggests that the construction scale of underground utility tunnels in China's major cities is far from enough.

Further analysis on the growth trend (Figure 3) shows that China's construction scale on utility tunnel is increasing at an accelerated rate recently. Using three stages to describe the trend, it can be concluded that China is entering upon a fast-growing phase of constructing underground utility tunnels after Germination and slow-growing phase. Statistics show that about 69 cities in China are building underground utility tunnels with the total length of 1000km and the investment

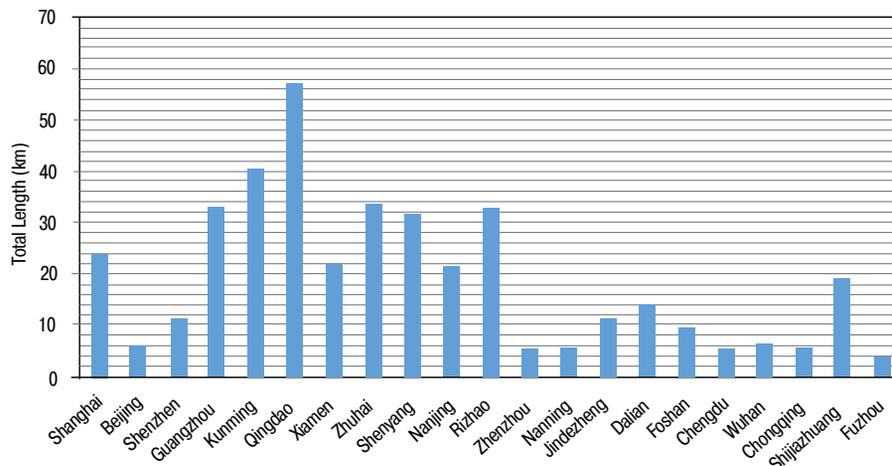


Figure 1. Total length of utility tunnels built in China's major cities by 2015

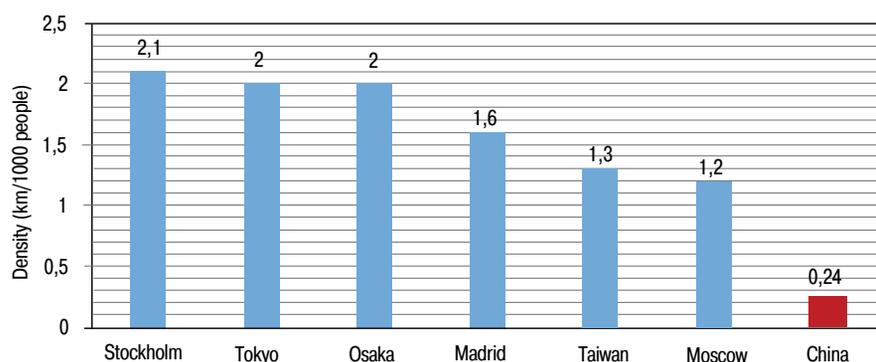


Figure 2. Length of utility tunnels per thousand people in different cities

is about 88 billion (RMB). But considering the governments' high attention and investment on underground utility tunnel in recent years, it is just a start for a new fast-growing phase. In 2015, 10 cities like Shenyang, Changsha et al. were selected to construct pilot projects of underground utility tunnels. The total length of those pilot tunnels is about 389km and 45% of investment comes from the government. Moreover the government had also issued a series of preferential policies and guidelines on the planning, finance and technology problems of constructing utility tunnels.

### Problems and experience

#### Motivation

In the early days, the motivation of constructing underground utility tunnels is not pure for solving urban problems. Instead most of the utility tunnels were built mainly for short-term political goals without consideration of systematic initial plan and operation management in a long time. For example, during the development of Pudong new area, Shanghai in 1993, little attention was paid to the importance of sustainable underground infrastructure. In order to catch up the progress

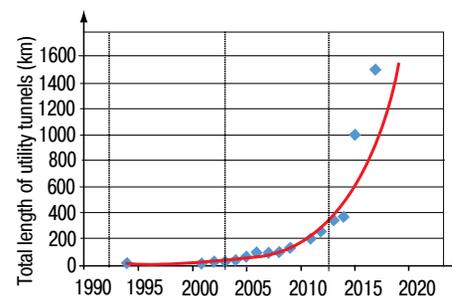


Figure 3. Growth curve of utility tunnels built in China

with political reasons, underground utility tunnels had only been constructed under Zhangyang Road for test instead of planning a network system, which lead to low-efficiency running and high operating expenses of the tunnel. Besides due to the lack of legal restraints, many urban utility companies chose to bypass the tunnel in their will, which was a waste of underground space resources.

Recently, accidents caused by poor management of underground utilities constantly appeared. According to statistics, there are more than 600 cities in China whose average leakage rate of water supply system exceeds 15%, up to more than 70% and the average number of 19 China's major cities is about



Figure 4. Gas line explosion in Qingdao

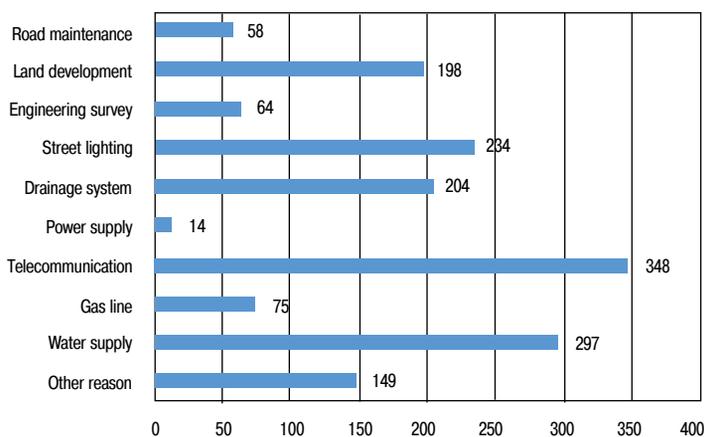


Figure 5. Frequency of street cutting every year in one city

16.96%, far beyond the number of Japan in 1997 which is only 9.1%. In 2013, the oil pipeline exploded during emergency repair and 62 people nearby died in Qingdao, China. Moreover as urban utilities are buried directly underground and are owned by different departments, the installation, maintenance, renewal of each utility need to excavate urban streets with a high frequency (Figure 5).

The government is obliged to rethink about the urgency of improving the management level of urban utilities and the important role of underground utility tunnels has been accepted generally. Sustainable utility placement becomes the main motivation of constructing underground utility tunnels nowadays in China, which requires a governance capacity for public works strategic planning on a long-term basis.

### 3.2 Financial arguments

Whether the construction of underground utility tunnel is economical or not is still controversial. As the initial cost of utility tunnels is

about 56~131 million (RMB)/km far beyond the traditional way, it is wise to use open-cut method for utility placement from a short-term view. But the situation may be different when considering the cost of excavation and maintenance of utility tunnels from a long-term view (Figure 6). Quantitative analysis on the short-term and long-term cost of utility tunnel and traditional method shows that the average initial investment of utility tunnel is 1.5~2.0 times the initial investment of traditional method. But from a long-term view, e.g. 50 years, the total cost between the two method of utility placement is almost equal. By the way, there is another important factor not mentioned is the indirect benefits of constructing underground utility tunnel (e.g. benefits to the environment and travel efficiency), which cannot be quantified easily. Therefore, the economy of underground utility tunnel depends on its assessment of cost and benefits from a perspective of the project's entire life cycle, especially on its immense positive externality in economy.

## Debate on the time sequence for construction

As the construction of underground utility tunnel is not reversible, it is essential to determine the location and the time sequence. Unfortunately, it had not been paid much attention to during the construction of a number of underground utility tunnels built in the early times in China, which resulted in low efficiency of the whole system and other utility problems later. Thus, there is a very urgent need for a scientific overall plan of underground utility tunnel. However, ignorance of the information collection of buried pipelines during rapid urbanization makes it difficult. So the first step taken by Chinese government is to carry out a national survey on the underground utilities to collect the exact information and establish a database of urban utilities, aiming at avoiding utility damage caused by street cutting and providing detailed information of utilities for the overall plan of utility tunnel. Through it, main construction areas of utility tunnels can be determined, which includes:

- CBD area, commercial center and other areas with high density of underground space;
- Areas with high speed railway, airport, port and other major infrastructure;
- Urban roads with high traffic flow or intensive underground utilities;
- Areas where subway, underground road, urban underground complex is constructed;

In order to keep sustainable, the construction of underground utility tunnels in those areas requires a very careful attention to the timing of the construction schedule. Concerned with the existed pipelines and protection of the surrounding environment, trenchless method is often used in old districts, whose cost is much higher than the traditional open-cut method. Therefore, in order to reduce the cost, it is essential to study the feasibility of integrated construction opportunities of underground utility tunnels and other projects for example:

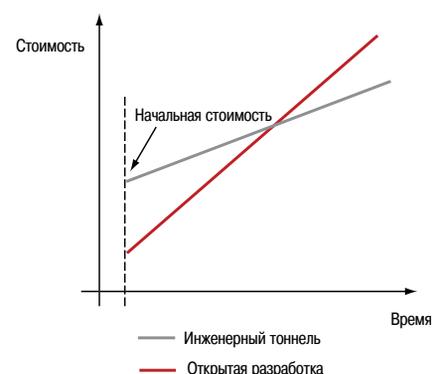


Figure 6. Cost curve of open-cut and utility tunnel

- 1) Combined with the development of new towns and construction of new roads;
- 2) Combined with urban renewal, road reconstruction, river regulation and use of underground space;
- 3) Combined with the construction of subway system, underground road, BRT system, etc.

**Market mechanism**

For a long time, the government in China had been responsible for the entire course (plan and design, construction, operation, etc.) and all the expense of building underground utility tunnels. This construction mode had brought great financial and management pressures on the local government, which hindered the large-scale promotion of utility tunnels especially in rapidly urbanizing cities. Therefore, the market mechanism was introduced into the project by the Chinese government.

The main sources of benefits for urban utility tunnel come from the charge of initial entry permission and long-term operation. But according to the current charging standard, the income level is far from covering construction investment and operating costs and the payback period is very long. Thus, many experts identify the project of underground utility tunnels as a kind of quasi-commercial infrastructure. Therefore, PPP (Public-Private-Partnership) mode is widely adopted by the Chinese government in construction of utility tunnels, which induces the private capital to share the initial investment. Different from the PFI and PPP mode first used in England in public projects, the PPP mode used in China focuses on establishing a long-term(20 years, e.g.) cooperative relationship between the government and social capital in which both risks and benefits of the project are shared. The main process of PPP mode is shown followed (Figure 7)

According to PPP mode's basic designing principles, the government only needs to provide a low percentage of initial investment for constructing utility tunnel. Instead in order to ensure a stable investment returns for the social capital, the government's job mainly focuses on the construction of institution environment and legislation guarantee such as subsidy mechanism, supervision mechanism, payment mechanism of utility tunnel, etc.

**Laws and regulations guarantee**

Being of several beneficiaries (e.g. government, private investors, various utility companies, bank), laws and regulations must be established to settle the disputes on ownership, investment returns, charge mechanism, etc. for constructing underground utility tunnels, which is a premise for rapid growth of the tunnels.

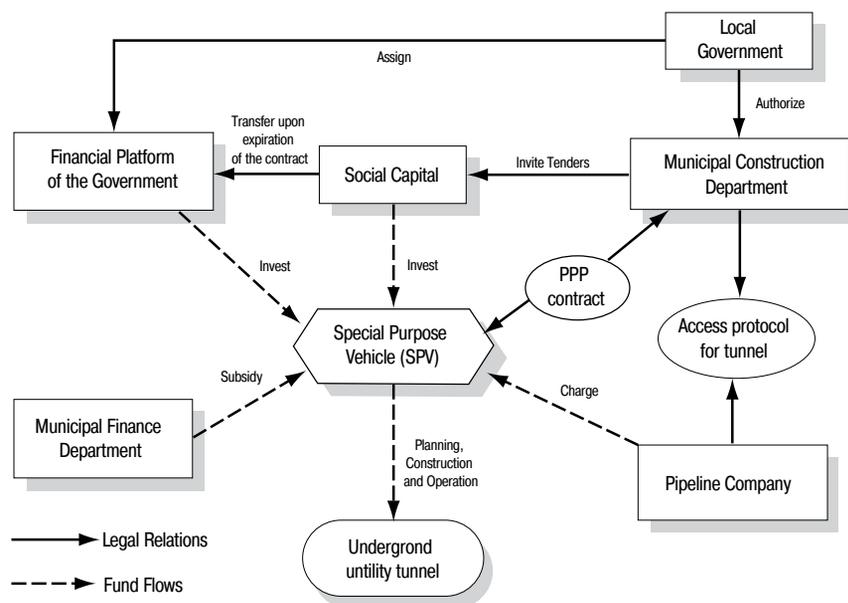


Figure 7. Operation process of PPP mode applied to the construction of utility tunnel

According to China's experience, legal system for underground utility tunnel usually consists of three parts that is comprehensive management law, financial supporting policies and other local supplementary regulations. The following key problems should be included:

- 1) Ownership of utility tunnel, such as ownership of land use rights, property rights, franchise rights, etc.
- 2) Sponsors, participants and the coordination mechanism;
- 3) Sharing mode of the initial investment;
- 4) Charging mechanism and benefit distribution method.

**Construction cases**

Up to now, the largest and most comprehensive system of underground utility tunnel in China is built on the Hengqin Island, Zhuhai. The whole system is arranged around the island with a total length of 33.4km and a total investment of 1.98 billion (RMB). The main motivation for constructing underground utility tunnel is to save and intensively utilize land resources on the island. By changing the way utility placement from traditional method to utility tunnel, about 400 thousand square meters of new construction land has been saved.

Different types of urban utilities (e.g. water pipe, reclaimed-water pipe, power cable, communication cable, condensate pipe, garbage vacuum tube, etc.) are co-located into the tunnel. Beside of space for current need, the tunnel has reserved space for installation, maintenance, renewal of utilities in the future. Meanwhile, intelligent technology is introduced

into the operation management of the tunnel to reduce the operation cost.

The initial investment on the system mainly comes from a state-owned construction company by using BT (Build-transfer) mode. Unlike PPP mode, the government has to pay for the full cost of the tunnel in a short period of time (3~5years) as investment returns, which is not much different from the traditional management model that government (public sector) holds anything. However, other cities like Changsha, Shenyang, and Xiamen has started to use PPP mode for constructing utility tunnels. A special company is established who is responsible for all the work during project's entire life cycle after obtaining the franchisee rights from the government. The initial investment is covered through long-term income from the project itself and appropriate subsidy from the government. Thus, the social capital can get a reasonable return through charging and the government can reduce short-term repayment pressure.

**Conclusions**

China's experience shows that the development of underground utility tunnel should follow a sustainable developing method including overall plan as premise, laws and regulations guarantee, and market mechanism to share the initial costs and charge mechanism to keep a steady and sustainable running of the project itself. Under this mode, the construction of underground utility tunnel in China is gradually entering a rapid-growth period, the scale and speed of which definitely surpass any other countries in the world. ■



# ТРЕТИЙ ПЕРЕСАДОЧНЫЙ КОНТУР:

## НА НИЗКОМ СТАРТЕ

*Moscow City complex is known as one of the most large-scale city planning projects in Russia. Apart from the construction of skyscrapers and formation of a specific city planning environment, a transfer hub is also being built here, which claims to be one of the largest in Europe. An important stage in its formation will be an opening of Business Center metro station of the Third interchange circuit, which will become the second circle line of Moscow Metro.*

**Комплекс «Москва-Сити» хорошо известен как один из самых масштабных градостроительных проектов в стране. Фактически к 2018 году, когда полностью завершатся строительные работы, Московский международный деловой центр (ММДЦ) станет полноценным «городом в городе». Помимо строительства небоскребов и формирования специфической градостроительной среды, здесь также создается транспортно-пересадочный узел (ТПУ), который претендует на статус одного из крупнейших в Европе. Он объединит наземный общественный транспорт, три линии метро, кольцевую железную дорогу (МКЖД), Третье транспортное кольцо, вертолетные площадки и выход к речному транспорту Москвы-реки. Важным этапом в формировании этого ТПУ станет открытие станции метро «Деловой центр» Третьего пересадочного контура, который в горизонте ближайших лет замкнется и станет второй кольцевой линией. По первому участку до станции «Петровский парк» пассажиры смогут проехать уже в этом году.**

Илья БЕЗРУЧКО

**В**сего протяженность Третьего пересадочного контура (ТПК) составит порядка 60 км. Линия будет включать в себя 28 станций, запланировано 17 пересечений с радиальными линиями столичной подземки, 7 пересечений с радиальными линиями железных дорог и 2 пересечения с МКЖД. Первый участок второй кольцевой, строительством которого занимаются специалисты АО «Объединение «Ингеоком», не только обеспечит транспортную доступность комплекса «Москва-Сити». Уже на начальном этапе новая сеть метрополитена позволит разгрузить Таганско-Краснопресненскую, Замоскворецкую и Серпуховско-Тимирязевскую линии. Помимо «Делового центра», на первом участке располагаются еще пять станционных комплексов: «Шелепиха», «Хорошевская», «ЦСКА», «Петровский парк» и «Нижняя Масловка».

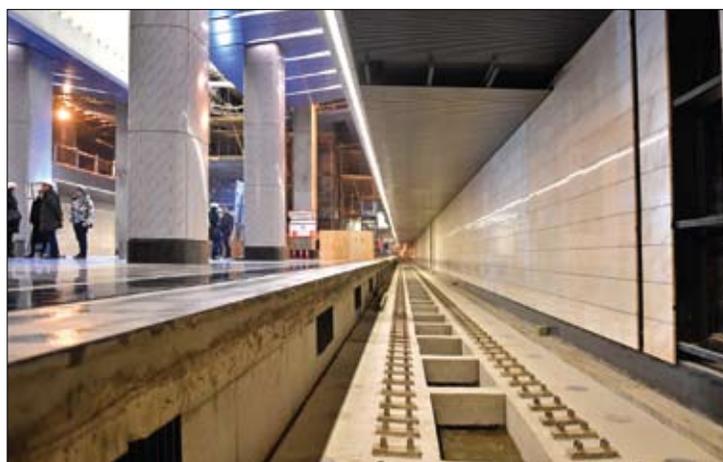


### Подъем с сокращением сроков и затрат

Строительно-монтажные работы на этом участке начались в 2011 году. К этому времени станция «Деловой центр» уже была готова в основных конструкциях, поэтому перед подрядчиком стояла задача пройти тоннели и построить пять новых станционных комплексов. Согласно первому варианту проекта, все они имели глубокое заложение, и их возведение предполагалось на глубине 45–60 м через шахтные стволы диаметром по 6 м. Однако, чтобы сократить сроки и снизить затраты, инженеры Ингеокома совместно с заказчиком приняли решение о подъеме станций до уровня 27–30 м, что давало возможность производить работы открытым способом. Это позволяет значительно быстрее разрабатывать грунт из котлована, упрощает подачу строительных материалов и т. д.

— Одна из важных частей работы в рамках перепроектирования в этом случае была связана с организацией дорожного движения на поверхности, а также высвобождением территории для котлована, размеры которого составляют в среднем 250 на 25 м, — рассказывает Дмитрий Иванов, начальник отдела подготовки и сопровождения строительства компании «Ингеоком».

В результате удалось переработать проекты для четырех из пяти станционных комплексов. При этом организовать работы открытым способом все-таки оказалось непросто. Например, на период строительства «Петровского парка» пришлось полностью перекрыть для движения (в том числе и общественного транспорта)



Театральную аллею. Размещение котлованов также потребовало переноса большого числа инженерных сетей. На станции «Хорошевская» даже предполагалось снести офисное здание и ресторан быстрого питания, однако этого удалось избежать. По результатам совещания в столичном Департаменте строительства Мосводоканал пошел навстречу метростроителям и выделил часть своей территории в районе насосной станции, что позволило разметить там стройплощадку и уйти от сноса — и как следствие, сэкономить городу солидную сумму.

### Одна глубокая

«Нижняя Масловка» — единственная станция глубокого заложения на этом участке. Станционный комплекс соседствует с Третьим транспортным кольцом, сооружениями Савеловской эстакады и Бутырской улицей, то есть на поверхности попросту не нашлось места, чтобы разместить площадку для организации работ открытым методом. Поэтому строительство выполнялось согласно первому варианту проекта, через шахтные стволы.

Учитывая неблагоприятные геологические условия, при проходке наклонного хода применялось заморажи-



вание грунта. Такая мера была необходима, чтобы не допустить просадок конструкций эстакады на Бутырской улице. Грунты замораживали по окружности, после чего приступали к разработке наклонного тоннеля. Чтобы избежать дальнейших просадок, после проходки за каждое кольцо чугунной обделки нагнетался цементный раствор, который заполнял все полости.

— Таким методом мы без осадок прошли под многими коллекторами и крупными магистральными инженерными коммуникациями, — комментирует Дмитрий Иванов.

### Самое компактное решение

Проходка тоннелей на линии выполнялась шестью щитами, произведенными во Франции (NFM), Канаде (Lovat) и США (Robbins). Их имена «Виктория», «София», «Юлия», «Натали», «Мария» и «Елена». Поддерживая горное давление в лбе забоя, щиты с грунтопригрузом одолели весь участок, не превысив допустимых просадок поверхности, инженерных сетей, зданий и сооружений.

В 2015 году метростроевцы успешно решили довольно сложную задачу, осуществив проходку всего в 2,5 м под Таганско-Краснопресненской линией полностью без просадок. Для предотвращения возможных аварийных ситуаций на обделку тоннеля действующего метрополитена были установлены маячки, при помощи которых в круглосуточном режиме велся непрерывный мониторинг конструкций.

Сам процесс проходки в основном характеризуется уже привычными и отработанными методами и технологиями, но сначала инженеров ждала необходимость решения непростой «смежной» задачи. Стартовый котлован располагался в непосредственной близости от комплекса «Москва-Сити», и проект предполагал перекрытие Тестовской улицы, что могло бы парализовать движение на территории всего делового центра. Но допустить транспортный коллапс было нельзя, и инженеры предложили уменьшить монтажную камеру до размеров 16 на 25 м, чтобы минимизировать занимаемое место и оставить возможность для проезда автомобилей.

— Мы единственные, кто согласился выполнить этот проект. Работать в столь стесненных условиях было непросто, но нам все удалось, — продолжает Дмитрий Иванов.

Вначале метростроевцы разработали котлован, затем горным способом построили монтажную и техническую камеры, куда поэлементно опустили конструкции проходческого комплекса. После того как был смонтирован ротор, началась проходка тоннеля Калининско-Солнцевской линии в сторону «Парка Победы», и по мере движения к щиту прирачивали не поместившиеся сразу технологические тележки.

Старт проходческому комплексу был дан в 2012 году. Менее чем за год удалось пройти левый и правый тоннели до станции «Парк Победы». Одновременно со строительством перегонов Калининско-Солнцевской линии велась проходка участка Третьего пересадочного контура от станции «Нижняя Масловка» до «Делового центра». Строительство перегонных тоннелей было полностью завершено в октябре 2016 года.

### В окружении небоскребов

Концепция «Москва-Сити», как уточняет Дмитрий Иванов, изначально предполагала три новые станции метро. Платформы «Выставочной» и двух «Деловых центров» возводились в конструкциях во время строительства Центрального ядра ММДЦ в 1999–2004 гг. «Деловой центр» на нижнем ярусе в составе Калининско-Солнцевской линии открыли в 2014 году, а теперь настало время третьей станции в составе ТПК.

Как уже сказано выше, когда подрядчики вышли на строительство второго «Делового центра», станция была готова в основных конструкциях. Строителям предстояло выполнить платформенную часть, служебные помещения и тягово-понижительную подстанцию. Кроме того, необходимо было решить весьма сложную задачу по оценке влияния проводимых работ на небоскребы «Москва-Сити». Сделать это помогли привлеченные специалисты различных научных институтов. На основных конструкциях высоток были установлены маячки, которые регистрировали смещения, и по полученным маркшейдерским показаниям делались соответствующие выводы.

При этом метростроевцы не только уделили внимание периоду строительства, но и озаботились влиянием метрополитена на основания небоскребов во время эксплуатации. Чтобы максимально снизить воздействие вибрационных нагрузок от проезжающих поездов на конструкции, было принято интересное решение по устройству так называемого вибропути, или иначе — виброплит. Технология предполагает укладку в основание верхнего строения пути специальных пружин, которые компенсируют вибрацию, возникающую при прохождении поезда. Такое решение применяется и за рубежом, но в данном случае разработкой этого метода занимались инженеры Метрогипротранса, субгенпроектировщики Мосинжпроекта.

На сегодняшний день станция практически готова: установлены эскалаторы, проложены все инженерные сети, завершена отделка. По состоянию на конец зимы, подрядчики выполняли пуско-наладочные работы. То есть практически все готово к пуску движения. Открытие второго «Делового центра» и участка ТПК до «Петровского парка» запланировано в этом году. ■



СИТИПАЙП  
СИТИРАЙП

**6–8 июня 2017**

МВЛ «Крокус Экспо»  
Москва, Россия

**12-я международная выставка**

«Трубопроводные системы коммунальной инфраструктуры:  
строительство, диагностика, ремонт и эксплуатация»

**СитиПайп-2017**

**ВАШ БЕСПЛАТНЫЙ  
ВХОДНОЙ БИЛЕТ  
НА САЙТЕ  
[WWW.CITYPIPE.RU](http://WWW.CITYPIPE.RU)**

Организатор:

 Reed Exhibitions



*In St. Petersburg, during the preparation of transport infrastructure for FIFA World Cup, the successful construction of the prolongation of Nevsko-Vasileostrovskaya metro line with Novokrestovskaya and Begovaya stations raised concerns. Metro tunnelers faced a number of unforeseen difficulties, in connection with which the tunneling operation was behind the schedule for several months. However, on January 19, 2017, Nadezhda shield was linked to Novokrestovskaya station. The most difficult stage was overcome. Now Metrostroy is catching up on deadlines and the fact that the metro system will be built on time is unquestionable.*



190013, г. Санкт-Петербург,  
Загородный пр., д. 52а  
Тел.: +7 (812) 635-77-55  
Факс: 635-77-47  
E-mail: [mail@metrostroy-spb.ru](mailto:mail@metrostroy-spb.ru)  
[www.metrostroy-spb.ru](http://www.metrostroy-spb.ru)

Илья БЕЗРУЧКО

# МЕТРОСТРОЙ: ВСЕ ИДЕТ ПО ПЛАНУ

*Чемпионат мира по футболу не за горами. Объекты транспортной и спортивной инфраструктуры в Санкт-Петербурге находятся в высокой степени готовности. Летом будет сдан Яхтенный мост, завершается монтаж путепровода на Дунайском проспекте. Сдан в эксплуатацию крупнейший на Северо-Западе стадион «Зенит-Арена». Учитывая сжатые сроки, на каждом объекте велась и продолжает проводиться крайне напряженная работа. Большие опасения вызывало и строительство продолжения Невско-Василеостровской линии метро со станциями «Новокрестовская» и «Беговая» для транспортного обеспечения главного спортивного объекта мундиала. Метростроители столкнулись с рядом непредвиденных сложностей, в связи с чем проходка отставала от графика на несколько месяцев. Однако 19 января 2017 года состоялась долгожданная сбойка первого участка перегонного тоннеля со станцией «Новокрестовская». Один из этапов преодолен. Сейчас проходка успешно продолжается под акваторией Малой Невы в направлении станции «Приморская». ОАО «Метрострой» нагоняет сроки, и то, что строительство будет завершено вовремя, уже практически не вызывает сомнений.*



## Непростая проходка

Проблемы начались на самом первом этапе. Из-за затянувшегося создания искусственной территории на западном берегу Крестовского острова — намыва, на котором должна располагаться станция «Новокрестовская», на строительство метро было выделено всего 2,5 года, вместо оптимальных 5 лет. Трудностей добавила крайне непростая геология района, в котором проходила проходка. На протяжении практически четырехсот колец тянулась зона, наполненная обводненным грунтом и валунами. Скорость проходки в этом месте составляла всего 3–4 кольца в сутки. «Сюрпризы» выдавала не только геология, но и прежние строители — на подходе к «Беговой» пришлось остановиться, выполняя георазведку в поисках «потерянного» шпунта, которого по факту на месте не оказалось...

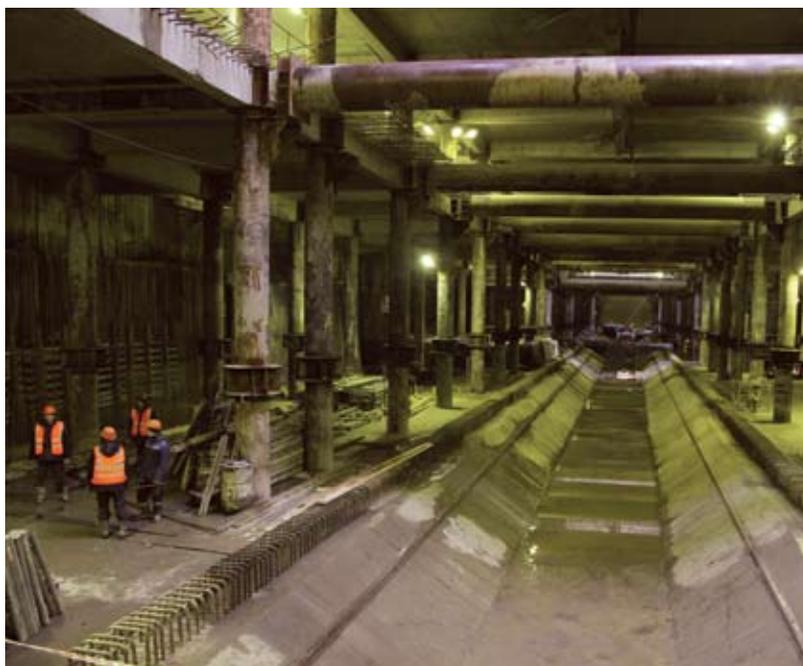
Но больше всего проблем доставил вертикальный конвейер — технология выдачи из котлована грунта, впервые примененная в петербургском метростроении. Из-за большого количества валунов и воды немецкая конструкция не смогла справиться с поставленными задачами. Из-за дополнительных нагрузок конвейер часто ломался, что приводило к постоянным остановкам всей проходки. Однако высокая квалификация и смекалка петербургских инженеров позволили решить и эту проблему.

В итоге щитовой комплекс за год прошел более 3 км тоннеля диаметром 10,3 м от Туристской улицы, через строящуюся станцию «Беговая», под парком 300-летия Санкт-Петербурга, Финским заливом и в конце января вышел на намывную территорию в западной части Крестовского острова.

## Сквозь конструкции

Сбойка с «Новокрестовской» стала важным событием в реализации проекта. Она ознаменовала завершение первого, самого сложного этапа проходки. Как отмечают метростроители, стало ясно, что точка невозврата пройдена. Кроме того, были приняты меры, позволившие компенсировать отставание и выйти на плановый режим работы.

Например, нестандартное решение применено при проходе тоннеля через «Новокрестовскую». Изначально проектом планировался проход щитом сквозь грунт и сооружение полноценного тоннеля. В этом случае проходчикам сначала необходимо было бы установить 120 колец, а затем, откопав тоннель, их демонтировать, чтобы приступить к строительству самой станции. При новой схеме, которую предложили метростроители, в январе тоннелепроходческий комплекс «Надежда» пришел в уже готовые основные конструкции «Новокрестовской». На нижнем ярусе обустроили специальный железобетонный лоток, по которому при помощи домкратов проходческий комплекс протаскивали через всю станцию. Параллельно с этим был выполнен плановый капитальный ремонт щита. Специалисты тщательно проверили работу всех механизмов и узлов «Надежды», а также заменили



выработавший ресурс режущий инструмент. Благо, ко всем узлам имелся свободный доступ.

На все эти операции было потрачено всего 30 дней, а не несколько месяцев, как было запланировано ранее.

## Широким фронтом, эффективными технологиями

Преодоление «Новокрестовской» дало новый импульс для проходки и обустройства уже готового тоннеля и в целом ускорило строительный процесс. Все обслуживающее проходку оборудование за время планового ре-



Мы взяли на себя обязательства пройти более 6 км тоннелей, из которых 5,2 км — большого диаметра, и построить две станции метро практически за два с половиной года, хотя при обычных условиях на это уходит не менее четырех лет. Чтобы выдержать сроки, нам пришлось искать эффективные решения, оптимизировать свою работу, экономить ресурсы — прежде всего временные.

**Вадим Александров,**  
генеральный директор ОАО «Метрострой»

монта щита было перевезено от стартового котлована, расположенного на Туристской улице, на стройплощадку на Крестовском острове. Перенос логистики на «Новокрестовскую» сократил протяженность рабочей трассы, и, соответственно, время, затрачиваемое на доставку элементов обделки тоннеля и выдачу разработанной породы. Эти факторы значительно повлияли на динамику проходки оставшихся 2 км.

Помимо того, стало возможно полностью освободить уже пройденный трехкилометровый участок тоннеля под путевые работы. Его обустройство велось параллельно с проходкой: жесткое основание, верхний вентиляционный канал и даже одну линию верхнего строения пути метростроевцы сооружали буквально

через 250 м вслед за щитом. Теперь путейцы получили возможность вести работы широким фронтом. Они приступили к укладке путевого бетона, рельсошпальной решетки, путевого и контактного рельса, а также к установке оборудования, необходимого для дальнейшей эксплуатации новой линии.

— Мы взяли на себя обязательства пройти более 6 км тоннелей, из которых 5,2 км — большого диаметра, и построить две станции метро практически за два с половиной года, хотя при обычных условиях на это уходит не менее четырех лет, — говорит глава Метростроя Вадим Александров. — Чтобы выдержать сроки, нам пришлось искать эффективные решения, оптимизировать свою работу, экономить ресурсы — прежде всего временные. Сразу за проходкой мы ведем вентиляционный канал, жесткое основание, укладываем рельсы. Этой задаче подчиняются и решения, принятые в отношении «Новокрестовской».

### Уникальные станции

Помимо самой проходки, большой интерес вызывают конструкция и методы строительства станционных комплексов. «Новокрестовская» — станция мелкого заложения с одним вестибюлем, который расположен на верхнем этаже трехэтажного подземного сооружения длиной 220 и глубиной 25 м. Это первая в мире станция, построенная на намывной территории. На возведение основных конструкций было потрачено рекордно короткое время — всего восемь месяцев.

Строители применили метод «топ-даун». Вначале возвели стену в грунте и 124 сваи-колонны, которые вместе с четырьмя плитами перекрытия играют роль несущих конструкций. Когда бетон набрал необходимую крепость, строители разработали грунт и приступили к отделке и обстройке объекта.

Кроме того, станция уникальна своими размерами, так как со временем она станет пересадочной. Всего там располагается более 560 помещений различного назначения. Учитывая соседство с крупным стадионом, максимальный пассажиропоток, предусмотренный проектом, составляет 30 тыс. пассажиров в час на вход и выход.

«Беговая» (проектное название «Улица Савушкина») также является станционным комплексом мелкого заложения, в едином сооружении она совмещает станцию и вестибюль. Такое решение позволит обеспечить максимальные удобства и комфорт для пассажиров, существенно сокращая время доступа с уровня земли к поездам. При этом подземные уровни будут связаны между собой эскалаторами, траволаторами и лифтами.

К осени «Надежда» должна финишировать в демонтажной камере, расположенной в полукилометре от «Приморской». Метростроевцам останется выполнить отделку станций и провести инженерные сети в тоннеле. Учитывая нынешнюю скорость выполнения этих работ, не остается сомнений, что Метрострой сдаст объект вовремя. Пропускная способность нового участка Невско-Василеостровской линии, ведущего в Приморский район города, составит 29 пар поездов в час. ■

# ХРОНИКА БОЛЬШОЙ СТРОЙКИ



*Этой весной 70-летний юбилей отмечает одна из ключевых организаций в структуре ОАО «Метрострой» — его филиал «Управление механизации» (УМ). Предприятие обладает всей самой передовой техникой, которая необходима для строительства тоннелей метрополитена и других сложных объектов. Сотрудники Управления занимаются изготовлением, монтажом, хранением, ремонтом, а также эксплуатацией оборудования и строительством. Именно они стали первыми «пилотами» тоннелепроходческого щита диаметра 10,7 м, проложившего первый в России двухпутный тоннель. Об истории предприятия и наиболее масштабном на сегодняшний день проекте, в реализации которого задействованы специалисты УМа — проходке двухпутного тоннеля на продолжении Невско-Василеостровской линии — нашему корреспонденту рассказал директор Управления механизации Валерий Кузнецов.*

*This spring, a 70-year anniversary is celebrated by one of the key organizations in the structure of OJSC «Metrostroy» – Management of Mechanization branch (MM). The enterprise possesses all the most advanced equipment required for metro tunnel construction. Valery Kuznetsov, the Director of the Mechanization Department, told our correspondent about MM history and the most large-scale project at the moment, in the implementation of which its experts are involved – digging of a double-line tunnel on the prolongation of Nevsko-Vasileostrovskaya line.*



**198095, Санкт-Петербург,  
ул. Маршала Говорова, д.39  
тел.: (812) 252-47-70  
sekretar@ummetrostroy.com**

Беседовала  
Регина ФОМИНА

— Валерий Дмитриевич, в прошлом году Метрострой широко отмечал 75-летний юбилей организации. Вы же празднуете свое 70-летие в этом году. Как так получилось?

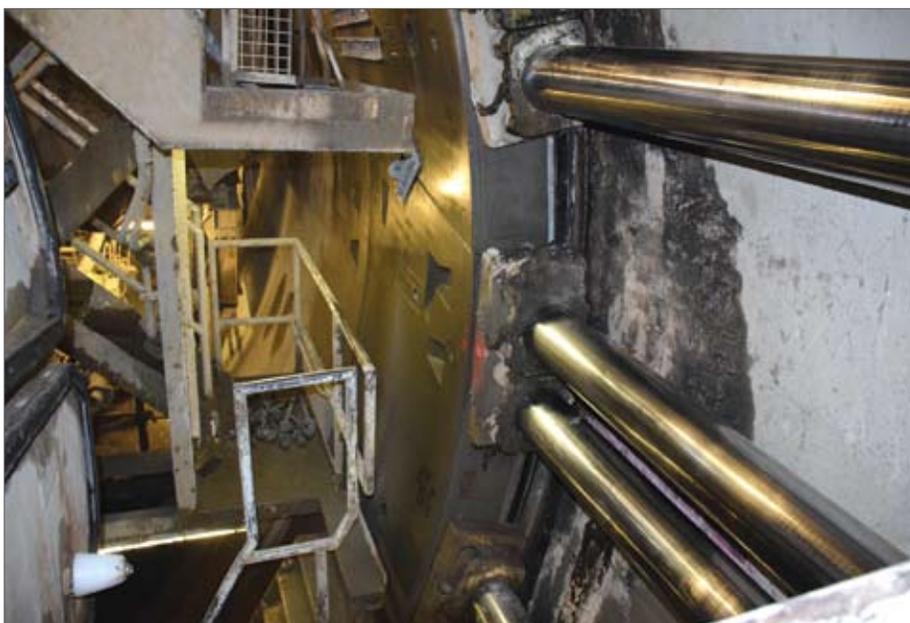
— Дело в том, что для Метростроя первый год существования был посвящен исключительно организационным вопросам. Строительство же Ленинградского метрополитена началось позже, одновременно с этим и была создана наша структура. Приказом от 31 марта 1947 года в том месте, где сейчас находится наше Управление, в результате слияния двух контор образовалась ЭММП — Контора электромеханомонтажных работ. Затем в середине 60-х ее переименовали в Контору эксплуатации проката и ремонта оборудования — КЭПРО. А в 1978 году наше предприятие получило свое современное название. В 90-е годы Управление механизации юридически стало филиалом Метростроя.

Изучая историю, мы выясняем удивительные факты. Например, то, что механические службы Метростроя берут свое начало еще в 40-х годах. Многие люди, стоящие у истоков нашего Управления, воевали, принимали участие в организации танковой переправы в Невской Дубровке, строили «Дорогу жизни». Наши ветераны пронесли эту память через всю жизнь. Мы исследуем архивы, собираем по крупицам информацию. К сожалению, еще не все рассекречено. Но уже сейчас мы понимаем, какая титаническая работа была проделана, какие удивительные люди ее выполняли. Со временем мы посвятим этому периоду отдельную книгу.

— С какими результатами вы приходите к юбилею, каким потенциалом обладает компания?

— Благодаря мудрой политике главы Метростроя Вадима Николаевича Александрова нам удалось в сложные времена сохранить как кадровый потенциал, так и технические ресурсы. В нашем распоряжении обширный парк техники. У нас есть все для проходки тоннелей глубокого заложения: щиты, укладчики и погрузчики, разнообразный подвижной состав, подъемные машины и подвесные устройства для оснащения стволов и т. д. Перечислять можно долго. Причем это техника либо новая, современная, либо с возможностью модернизации, либо очень специфичная.

Но лучшим показателем наших возможностей являются объекты, на которых мы работаем. Нами пройден первый в России двухпутный тоннель, и сейчас наши сотрудники пилотируют щит наружного диаметра 10,7 м на продолжении Невско-Василеостровской линии. Несмотря на все сложности, уже прошли большую часть тоннеля — перегона от Туристской улицы до Беговой и станции «Новокрестовская». Сейчас продолжаем проходку в сторону «Приморской». По состоянию на сегодняшнее утро велась проходка 1917 кольца. Обе станции строятся. 19 января 2017 года мы соединились с «Новокрестовской», за 30 дней отремонтировали щит, провели его через станционный комплекс и приступили к проходке завершающего участка. Главное: не мешаем строить станции. Мы преодолели множество сложных проблем. Теперь, если не будет форс-мажоров, завершим работу в срок.



— Проходка первой части тоннеля протяженностью 3 км заняла год. Насколько хорош этот результат? С какими проблемами вы столкнулись?

— Действительно, проходка велась долго, но все познается в сравнении. Если кто-то сможет повторить наши результаты при равных условиях, то честь им и поклон.

Говоря о сложностях, следует начать со сжатых сроков строительства. Как только объявили об участии Петербурга в Чемпионате мира по футболу, было принято решение строить метро к стадиону. Сразу началось планирование, но не исходя из логики строительного процесса, а отталкиваясь от назначенной даты. В итоге работу, на которую обычно тратится четыре года и более, мы должны выполнить за два с половиной. С одной стороны, хорошо — есть загрузка, но с другой — такое ускорение значительно повышает риски. Не хватает времени в полном объеме разведать геологию, выполнить другие инженерные работы. В итоге весь процесс может оказаться на критическом пути, а успешность реализации проекта — оказаться под угрозой срыва.

К этой проходке мы в главном были готовы. На Фрунзенском радиусе отработали методы пилотирования щита большого диаметра, но все-таки не до конца знали, какие сложные геологические условия нас ждут. В Петербурге проходка по верхнему горизонту — на глубине около 20 м — очень сложна в принципе. На пути часто встречаются «сюрпризы», оставленные ледником или человеком.

При этом следует учитывать, что проходка тоннеля — это десятки технологий, объединенные в единый производственно-технический процесс, в котором участвуют множество людей и организаций. Чтобы успешно справиться с такой работой, необходимо иметь отлаженную систему, в которой учтены все нюансы и все работает, как часы. На процесс может негативно повлиять даже небольшая задержка при опускании тубингов в тоннель или слишком низкая температура их поверхности. При проходке же тоннеля на участке Беговая — Новокрестовская самые большие проблемы, замедлявшие скорость работ, были связаны с нестабильной работой вертикального конвейера.

— Можно об этом поподробнее?

— Глубина стартового котлована на Туристской составила 22,7 м, что не позволило организовать стандартную линию конвейерной передачи грунта на поверхность. Поэтому было решено использовать вертикальный конвейер. По нашим данным, такая технология еще не применялась в метростроении. С учетом габаритов площадки, его не удалось установить перпендикулярно относи-



тельно отвалного конвейера, вследствие чего, помимо радиальных нагрузок, конструкция испытывала нагрузки от кручения.

Из-за дополнительной нагрузки постоянно выходили из строя подшипники. Это явилось серьезной проблемой — качественные европейские стоили дорого, китайские оказались ненадежными, на отечественном рынке не нашлось должного качества по приемлемой цене. В итоге после долгих поисков остановились на белорусских поставщиках. Мы поменяли сотни подшипников, но решили задачу, обеспечив их запас.

Вместе с этим под воздействием нестандартных нагрузок начала разрушаться сама лента. Мы ее долго ремонтировали, но так и не смогли сохранить. Параллельно производители изготовили для нас еще одну ленту, которая прослужила около четырех месяцев. В какой-то момент количество простоев достигло критической величины, и нам пришлось искать кардинальное решение проблемы. Ведь при перебоях изъятия грунта останавливается весь процесс проходки. Если бы не эти проблемы, мы могли бы пройти первый участок минимум на четверть быстрее.

#### — Какое же решение по отгрузке грунта было принято?

— В одном из отсеков тоннеля, подходящего к стартовому котловану, мы организовали отделение — своеобразный накопитель грунта. Достроили стенку, подвели направляющие и направили грунт не на вертикальный конвейер, а в это пространство. Сверху разместили установку Bauer MC 64, которую используют для строительства стены в грунте, и оснастили ее специальным грейфером и видеокамерами. С ее помощью поднимали грунт из накопителя и загружали в самосвалы. Производительность при такой схеме ниже на 15–20%, чем при использовании бесконечного транспорта, то есть конвейера, но это решило главную задачу — позволило полноценно продолжать строительство тоннеля.

Сейчас отгрузка грунта осуществляется по стандартной схеме без вертикального конвейера, через вестибюль строящейся станции «Новокрестовская». Она имеет неглубокое заложение, что позволяет выдержать необходимые углы, которые важны для транспортировки породы, при расположении тоннельного и отвалного конвейеров. То есть принципиальная проблема на сегодняшний день снята, и нам осталось дойти до демонтажной камеры. Это сооружение почти готово. Кроме того, встречные тоннели от «Приморской» уже пройдены.

Когда придем в конечную точку — полагаю, это будет в июле, — нам предстоит демонтаж и ремонт щита. К этому моменту при помощи проходческого комплекса в общей сложности будет построено около 9 км тоннелей, то есть его ресурс окажется выработан примерно на 60–70%.

#### — В Москве в настоящее время тоже используют такой же щит. Вы знакомы с этим опытом, как-то контактируете с коллегами?

— Подготовку к проходке москвичи начали с небольшим отставанием от нас. Мы прошли уже 3,7 км Фрунзенского радиуса, затем перевезли щит на Туристскую улицу и построили еще 3 км тоннеля. В Москве щит начал проходку лишь в феврале этого года. Наши коллеги столкнулись с рядом проблем при монтаже, с подготовкой проходки, с созданием котлована и так далее. Напрямую к нам не обращались за консультациями, но опосредованно мы оказали методическую помощь. Надеюсь, у них все получится. Нам нечего скрывать, тем более что на рынке очень мало компаний, которые обладают возможностью такого строительства. Нам очень интересно познакомиться с результатами, которые получают московские метростроители.

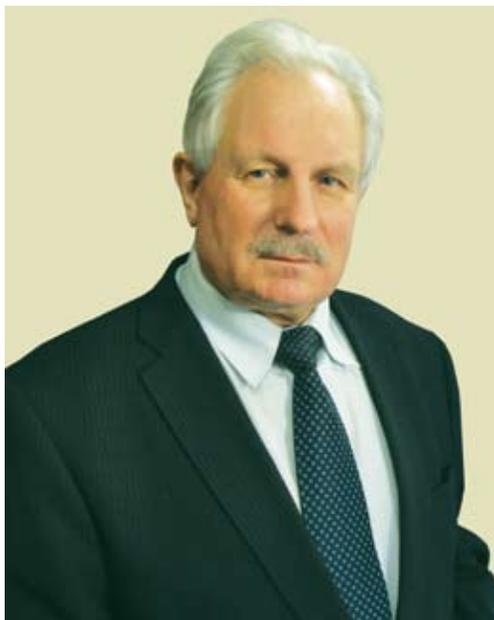
#### — Помимо строительства метро, ваша организация занимается еще и другими объектами. Каков на сегодняшний день портфель заказов компании? Какие планы на перспективу?

— Сейчас мы заканчиваем строить ядерный реактор №1 в Сосновом бору. Там мы выполнили большой комплекс работ по сооружению внутренней и внешней защитных оболочек, комплекс работ с нержавеющей сталью, подкрановые балки и консоли для полярного крана. Заканчиваем работы по монтажу системы ВСЛ — предварительно напряженных канатов в бетоне, которые обеспечивают защиту станции, причем могут выдержать даже падение самолета.

Вместе с этим заканчиваем работы на стадионе «Зенит-Арена». В частности, там мы были заняты на крыше и на выкатном поле. В последнее время обращаем интерес в сторону работ нулевого цикла, практикуем строительство стен в грунте. Кроме того, продолжаем эксплуатировать гидромеханическое оборудование Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений.

Что же касается планов, то впереди строительство участков еще двух линий: Лахтинско-Правобережной и Красносельско-Калининской. Там, естественно, потребуются наше участие по монтажу оборудования. То есть работа есть.

Вместе с этим мы наблюдаем крайне негативные тенденции. Чтобы любая компания просто существовала, я не говорю о каком-то развитии, ей нужно зарабатывать. Но в настоящее время иногда приходится работать и без прибыли, а это, образно говоря, билет в один конец. Складывается впечатление, что в администрации города этого не понимают. Серьезные проблемы возникают из-за того, что в КРТИ нет специалистов по нашему профилю. В этой связи могут приниматься, на наш взгляд, неверные решения, в первую очередь, связанные с финансированием работ. Это разрушает компании, наносит невосполнимый урон метростроению в целом. И все же я очень надеюсь, что такая ситуация — явление кратковременное, и мы это благополучно переживем! ■



*In January, Metrostroy of St. Petersburg completed the most complicated stage of the construction of the section of Nevsko-Vasileostrovskaya line that is being constructed within the preparation for 2018 FIFA World Cup. After more than 3.5 km of a double-line tunnel, the tunnel boring machine reached Novokrestovskaya station. In order to reduce the total construction period, a number of new technological solutions were applied. CJSC "Administration-15 Metrostroy" is an active participant of the project as is highlighted by Nikolay Vlasov, the Director General of the enterprise.*



**192102, Санкт-Петербург,  
ул. Фучика, д. 4, лит. К  
Тел./факс: (812) 640-89-90**

Беседовал  
Игорь ПАВЛОВ

## «УПРАВЛЕНИЕ-15 МЕТРОСТРОЙ»: ТЕХНОЛОГИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОБЕД

**В январе петербургский Метрострой завершил самый сложный этап сооружения участка Невско-Василеостровской линии, строящегося в рамках подготовки к Чемпионату мира по футболу 2018 года. ТПК «Надежда», пройдя более 3,5 км двухпутного тоннеля со стороны станции «Беговая», дошел до станции «Новокрестовская». Для сокращения общего срока строительства в условиях повышенной сложности был применен ряд новых технологических решений. Активным участником реализации проекта является ЗАО «Управление-15 Метрострой», о чем и рассказывает генеральный директор предприятия Николай Власов.**

— Метрострой очередной раз успешно решил поставленную перед ним нестандартную задачу. Губернатор Санкт-Петербурга Георгий Полтавченко по поводу завершения важнейшего этапа строительства участка и знаковой сбойки на «Новокрестовской» отметил: «Этот тоннель — не только упорный труд. Здесь опробовано множество новых технических решений, которые ускорили процесс сложнейшей проходки». Проходка велась в обводненных намывных грунтах. С какими трудностями столкнулись метростроители? Какие технические решения применялись?

— Действительно, гидрогеологические условия оказались сложнейшими. Сразу после первых метров проходки двухпутного перегонного тоннеля на новом участке Невско-Василеостровской линии, принимая во внимание сжатые сроки строительства последнего, стало ясно — необходимо корректировать технологию сооружения как самого тоннеля, так и уникальной станции «Новокрестовская» на намывном грунте. В результате одновременно с проходкой решили возводить внутренние конструкции перегонного тоннеля: жесткое основание, плиту вентиляционного перекрытия, верхнее строение пути с установкой разделяющих металлических колонн, прогонов и кабельных кронштейнов. Для этого при участии АО «Алюмосистем-Монолитстрой» оперативно были разработаны и изготовлены специальные передвижные подмости-тележки и опалубки.



19 января, пройдя более 3,5 км в сложнейших условиях, тоннелепроходческий комплекс (ТПК) фирмы «Херренкнехт» вышел в котлован «Новокрестовской». За время перемещения механического щита по станции и проведения его ремонта метростроевцы переключились на выдачу грунта и спуск обделки непосредственно со строительной площадки «Новокрестовская», оперативно перенесли все оборудование со стартовых котлованов шахты №462.

В настоящий момент механизированным комплексом ведется дальнейшая проходка участка за станцией «Новокрестовская» в сторону демонтажной камеры, расположенной вблизи станции «Приморская», а сам станционный комплекс уже достраивается — ведется сооружение его внутренних



конструкций, скоро начнутся отделочные работы.

На сегодняшний день уже нет сомнений — станция «Новокрестовская» будет сдана в намеченный срок, в начале 2018 года.

**— Какие подразделения Управления-15 участвуют в строительстве продолжения Невско-Василеостровской линии?**

— На сооружении перегонного тоннеля задействованы: от ЗАО «Управление-15 Метрострой» — участок №5 (начальник Юрий Каретников), от АО «Метроподземстрой» — участок №2 (начальник Евгений Кичигин) и специалисты Управления механизации — филиала ОАО «Метрострой» во главе с директором Валерием Кузнецовым и главным инженером Сергеем Чумаковым. За большой личный вклад в строительство продолжения Невско-Василеостровской линии Валерий Дмитриевич Кузнецов отмечен в 2016 году на конкурсе «Инженер года Тоннельной ассоциации России».

На сооружении станции «Новокрестовская» от ЗАО «Управление-15 Метрострой» успешно трудятся коллективы участков №6 (начальник Максим Федоров), №2 (начальник Дмитрий Баден), №3 (начальник Виктор Маскалик), №1 (начальник Алексей Климов) и механического участка (начальник Олег Ставой). Общее руководство строительством тоннеля и станции осуществляет заместитель генерального директора ЗАО «Управление-15 Метрострой» Андрей Шахов и главный инженер Евгений Никитин. Заместителями руководителя проекта проходки перегонного тоннеля от ЗАО «Управление-15 Метрострой» с 2015 года работают горные инженеры Павел Маслен-



ников и Павел Вязанкин, также отмеченный в 2016 году на конкурсе «Инженер года Тоннельной ассоциации России».

**— Как известно, в марте этого года в Москве произошло ЧП при строительстве тоннеля открытым способом. Вероятные причины пока выясняются. Предполагается, что виной тому была спешка и некачественные материалы опалубки. Как вы считаете, насколько возможно осуществлять постоянный эффективный контроль качества строительства метрополитена при сжатых сроках и в сложных условиях проходки?**

— Там, где работают профессионалы, всегда присутствует постоянный и эффективный контроль качества выполняемых СМР. При этом никакими сжатыми

сроками брак, а тем более ЧП, оправдывать не следует.

**— Какими вам видятся дальнейшие перспективы? Прежде всего, что в планах работы на 2017–2018 гг.?**

— Сейчас коллектив ЗАО «Управление-15 Метрострой» нацелен на пуск в срок нового участка Невско-Василеостровской линии метрополитена, сдачу в эксплуатацию вестибюля №2 станции «Проспект Славы» и перегонного двухпутного тоннеля до станции «Южная» на Фрунзенском радиусе.

Также в эти годы будем строить Красносельско-Калининскую линию метро. Не отказались бы и от участия в строительстве других аналогичных объектов, используя опыт проходки двухпутных тоннелей мелкого заложения и сооружения станции «Новокрестовская». ■

Гидроизоляция объектов метрополитена — крайне непростая и ответственная задача, которая требует высококвалифицированного комплексного подхода. Ремонт действующих подземных сооружений является процессом не только дорогостоящим, но и настолько сложным, что в ряде случаев осуществить его практически невозможно. По этой причине применяемые для гидроизоляции материалы обязательно должны быть надежны, долговечны, технологичны и в полной мере соответствовать требованиям действующих нормативных документов, что является ключевым фактором продолжительной безремонтной эксплуатации всего объекта.

*Repair of existing underground facilities of the metro system is a process not only costly, but also so complex that in a number of cases it is practically impossible to implement it. The materials used for waterproofing shall be reliable, durable, workable and fully meet the requirements of regulatory documents, which is a key factor of a continuous maintenance-free operation of the facility.*



<http://innotechs.ru>

## ПРИМЕНЕНИЕ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА «ДОРФЛЕКС®» ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ В МЕТРОПОЛИТЕНЕ



Гидроизоляция тоннелей и станционных комплексов метрополитена работает в экстремальных условиях, подвергаясь воздействию высокого давления грунтовых вод, разной степени агрессивности и значительным динамическим нагрузкам, вызванным регулярным движением подвижных составов. Отсюда и возникают повышенные требования к выбору материалов для выполнения гидроизоляционных работ.

Надежным и эффективным решением для гидроизоляции сложных и ответственных объектов, в том числе объектов метрополитена, является отечественный материал «Дорфлекс®» («Dorflex®»), который производит ООО «Инновационные технологии» (ГК «Иннотех»).

«Дорфлекс®» — напыляемая двухкомпонентная битумно-полимерная эмульсия, предназначенная для устройства бесшовной гидроизоляции горизонтальных и вертикальных поверхностей строительных конструкций.

Сформированная гидроизоляционная мембрана обеспечивает водонепроницаемость, имеет низкое водопоглощение, высокие показатели адгезии с металличе-

«Дорфлекс®» — напыляемая битумно-полимерная эмульсия, предназначенная для гидроизоляции и антикоррозийной защиты мостовых конструкций, эстакад путепроводов, тоннелей (в том числе метрополитена) и других искусственных сооружений во всех климатических зонах.

скими и бетонными элементами конструкции, а отличная эластичность позволяет воспринимать широкий диапазон пластических деформаций. Физико-механические характеристики при этом полностью соответствуют нормативным требованиям СП 122.13330.2012 (СНиП 32-04-97) «Метрополитены», СП 28.13330.2012 (СНиП 2.03.11-85) «Защита строительных конструкций от коррозии».

Напыленная гидроизоляционная мембрана стабилизируется непосредственно на бетонной конструкции — таким образом обеспечивается идеальная адгезия по всей площади. Бесшовность (сплошность) покрытия вместе с прочностью и эластичностью при простоте работы в узлах сопряжений обеспечивают хорошую защиту конструкции от агрессивного воздействия воды. Высокая скорость выполнения работ позволяет в среднем обеспечивать производительность до 1200 м<sup>2</sup> в смену бригадой из трех человек, что даже с учетом технологического периода стабилизации в 4–5 раза превышает производительность при использовании традиционных рулонных материалов. Данная технология особенно эффективна при выполнении гидроизоляции парапетов, примыканий и поверхностей сложной геометрической формы, где возникают проблемы при работе с рулонными материалами и мембранами ПВХ.

Гидроизоляционное покрытие хорошо воспринимает температурные деформации, за счет высокой эластичности может компенсировать незначительные осадочные и усадочные трещины без нарушения сплошности. Со временем не теряет своих первоначальных характеристик, так как входящий в состав эмульсии комплекс полимеров и стабилизирующих добавок препятствует испарению эфирных масел. Срок эксплуатации экологически чистой гидроизоляции на основе битумно-полимерной эмульсии составляет более 60 лет.

«Дорфлекс®» не имеет запаха и летучих токсичных элементов, поэтому его можно наносить в закрытых помещениях, не беспокоясь о защите органов дыхания. Материал соответствует современным требованиям по технике безопасности и охране окружающей среды. Не существует опасности как при его хранении и транс-



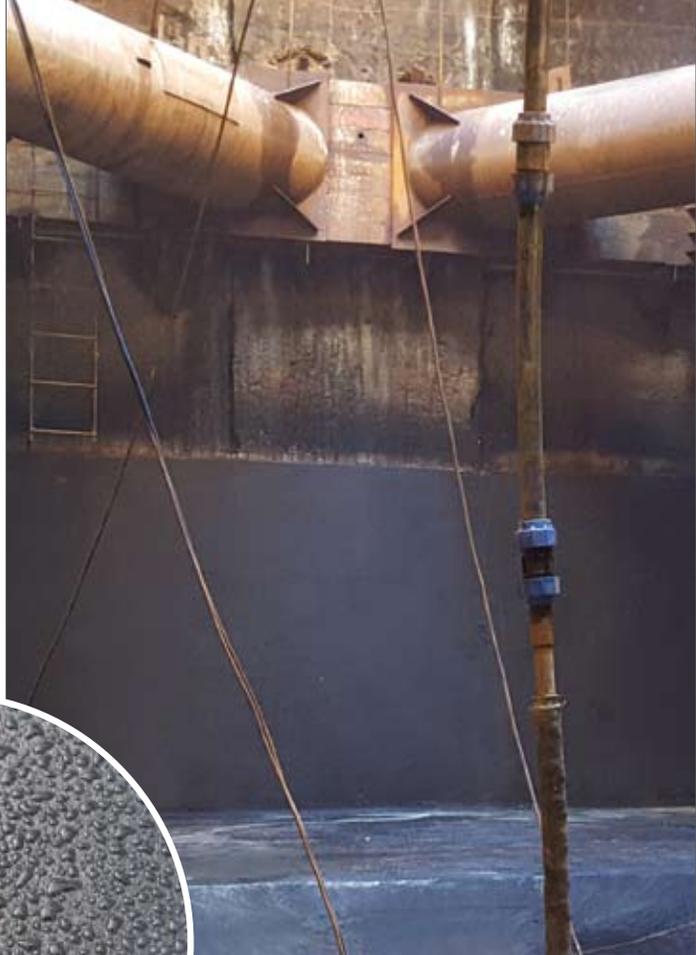
### ПРИЧИНЫ ТЕЧИ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Течи в подземных сооружениях и подземных частях наземных конструкций могут быть вызваны рядом причин, среди которых:

- трещины в конструкциях, статические проблемы несущих частей, взаимные деформационные подвижки отдельных элементов конструкций, движение окружающих конструкций грунтов и т.п.;
- ошибки, допущенные при проектировании и строительстве;
- прерывистый контур подземного сооружения, наличие сложных узлов в нем;
- экстремальные условия эксплуатации (постоянные вибрационные нагрузки, непосредственный контакт с подземными водами, заболоченность территории и пр.);
- ошибки при выборе технологии и материалов для гидроизоляции конструкции;
- некачественный монтаж гидроизоляционных материалов, несоблюдение технического регламента, обустройство изоляции без учета климатических и погодных условий;
- повреждения слоя гидроизоляции;
- неправильная оценка гидрогеологических условий на этапах проектирования и строительства.



Среди преимуществ применения материала «Дорфлекс®» — простота гидроизоляции поверхностей любой геометрической формы, бесшовность и достигаемая гарантированная адгезия в каждой точке покрытия.



портировке, так и после применения, поскольку он состоит из стабильных негорючих компонентов.

Важно отметить, что благодаря своим высоким физико-механическим характеристикам материал рекомендован для гидроизоляционной и антикоррозийной защиты подземных и наземных конструкций при строительстве атомных электростанций.

На сегодняшний день «Дорфлекс®» также хорошо зарекомендовал себя в метростроении. Первым из завершённых объектов стал второй выход станции метро «Спортивная» в Санкт-Петербурге, введенный в эксплуатацию 27 мая 2015 года. Там была выполнена гидроизоляция как самого станционного вестибюля, так и наклонного хода, ведущего к подземному пассажирскому тоннелю.

В 2016 году материал «Дорфлекс®» был включен институтом «Ленметрогипротранс» в несколько проектов строительства станций метрополитена в Санкт-Петербурге и Москве.

В настоящее время проектно-технический отдел ГК «Иннотех» тесно сотрудничает с профильными проектными институтами по всей России с целью повышения качества применения напыляемой гидроизоляции «Дорфлекс®» на новых объектах метростроения. Технические специалисты компании осуществляют постоянный контроль соблюдения технологии при производстве работ на строительной площадке. Совместно с проектировщиками разрабатываются узлы гидроизоляции и оптимизируются технологические процессы индивидуально для каждого строящегося объекта. ■

В соответствии с названием — «Инновационные технологии» — компания постоянно ведет разработку новых продуктов. «Для нас это стремление не только к расширению собственной деятельности, но возможный вклад в развитие науки и промышленности страны», — говорят специалисты ГК «Иннотех».

# МЕТРО МОСТЫ ТОННЕЛИ ТПУ 2017

Союз московских архитекторов проводит с 6 по 8 июня 2017 года в ЦВК «Экспоцентр» вторую международную выставку «Метро, мосты, тоннели. ТПУ». В 2015 году проходила первая выставка «Метро, мосты, тоннели».

Выставка объединит ведущие компании, работающие в сфере проектирования, строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры, продемонстрирует новейшие технологии, разработки, материалы и оборудование.

2017 год ознаменован юбилейной датой: 85 лет Московскому метрострою. Союз московских архитекторов считает значимым и важным, как для профессионалов отрасли, так и для широкой общественности, уделить особое внимание этому знаменательному событию.

Актуальность проведения выставки «Метро, мосты, тоннели. ТПУ» и большой интерес к мероприятию со стороны профессионального сообщества объясняются масштабными перспективами по организации транспортной инфраструктуры, строительству и реконструкции станций метрополитена, мостов и мостовых сооружений, тоннелей, дорожных развязок и эстакад, транспортно-пересадочных узлов.



70  
ЛЕТИ

# УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ — ФИЛИАЛ ОАО «МЕТРОСТРОЙ»

198095, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.39  
Тел.: (812) 252-1384, 252-4770, факс (812) 252-4923  
E-mail: sekretar@ummetrostroy.com  
www.metrostroy-spb.ru