

# Подземные горизонты

*Underground Horizons*

Июль

№2

2014

[www.techinform-press.ru](http://www.techinform-press.ru)



## МЕТРОСТРОЙ — в основании Санкт-Петербурга





БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ,  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, СТАБИЛЬНОСТЬ, ЭКОНОМИЧНОСТЬ,  
ИНЪЕКТИРОВАНИЕ, УКРЕПЛЕНИЕ СВБРА, ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ,  
КОНСОЛИДИРОВАНИЕ ГРУНТОВ, УДОБСТВО ТРАНСПОРТИРОВКИ,  
МИНИМАЛЬНЫЙ ОТСКОК, БОСТАНОВКА ВОЗДУШНОСТРОЙСТВА,  
ПРОЧНОСТЬ, ГЕРМЕТИЗАЦИЯ, АТМОСФЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ  
СТАБИЛИЗАЦИОННОЕ ГРУНТОВ, ЗАКРЕПЛЕНИЕ  
КОНСОЛИДИРОВАНИЕ ГРУНТОВ, ЗАКРЕПЛЕНИЕ



## Безопасность и эффективность работ в тоннелестроении

Безопасность и долговечность являются одними из основных приоритетов BASF в тоннелестроении. Для их обеспечения необходима профессиональная техническая поддержка, применение инновационных технологий при строительстве тоннелей. BASF и его новый бренд Master Builders Solutions предоставляют полный пакет решений, отвечающих всем необходимым требованиям. Наш накопленный опыт и обширные знания в области тоннелестроения и горнодобывающей промышленности помогут Вам рационально организовать безопасное проведение работ. Специалисты службы технической поддержки BASF всегда готовы дать профессиональную консультацию и помочь в решении поставленной задачи.

Более подробная информация на сайте [www.master-builders-solutions.basf.ru](http://www.master-builders-solutions.basf.ru)  
Тел.: +7 495 225 6436

 **BASF**

The Chemical Company





### Уважаемые читатели!

БАМу — 40! В конце 1970-х, только-только став комсомольцем, я по настоящему завидовал смелости парней и девочек, рискнувших отправиться в далекие края. Впрочем, о риске и бытовой неустроенности, злых комарах и трескучих морозах тогда если и говорили, то не с тревогой, а с задором: «Мы все можем, все преодолеем — не на курорт же едем!» И ехали — за туманом и запахом тайги, за мечтами и надеждами с целью проверить себя на крепость духа. Искренность и чистота устремлений — вот, что в первую очередь отличало первопроходцев магистрали.

Конечно, с высоты сегодняшнего псевдокапиталистического дня можно долго и упорно рассуждать о целесообразности этой фактически последней масштабной комсомольской кампании, об экономической состоятельности самой стройки века, неразвитости социальной инфраструктуры магистрали, взвешивать все за и против... Но все эти дискуссии способен остановить один железобетонный аргумент: БАМ нужен современной России! Дальнейший процесс ломоносовского «прирасстания Сибири» просто невозможен без надежного функционирования магистрали, без ее поступательного развития. А значит, далеко не напрасен был самоотверженный труд тысяч комсомольцев-добровольцев, не напрасны и человеческие жертвы, которыми, к великому сожалению, отмечена поистине героическая история БАМа. В первую очередь, те десятки жизней, что унесла трагедия на Северомуйском тоннеле. Самом «крепком орешке» магистрали, который все же удалось «расколоть»...

«Тоннели строят настоящие мужчины» — такой, как сейчас модно говорить, слоган отображен на одной из прилегающих к магистрали возвышенностей.

В эти юбилейные июльские дни хочется пожелать всем ветеранам бамовского тоннелестроения здоровья и крепости духа, оптимизма и стойкости, уверенности и веры в себя!

С искренним уважением ко всем труженикам сферы подземного строительства,

**Валерий Чекалин,**  
главный редактор журнала «Подземные горизонты»,  
и весь творческий коллектив

## «ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ»

№ 2 июль/2014

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 «ТехИнформ»**

Генеральный директор  
**Регина Фомина**

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

Офис-менеджер  
**Елена Кириллова** (office@techinform-press.ru)

### РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор  
**Валерий Чекалин** (redactor@techinform-press.ru)

Редактор отдела копирайта  
**Людмила Алексеева** (roads@techinform-press.ru)

Дизайнер, билд-редактор  
**Лидия Шундалова** (art@techinform-press.ru)

Корректор  
**Галина Матвеева**

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

Руководитель отдела подписки  
**Валентина Наумова** (post@techinform-press.ru)

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

**Ирина Шельгина** (post@techinform-press.ru)

Перевод:  
**Тамара Невлева**

### ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

**А.И. Брейдбурд,**  
президент МАС ГНБ

**А.П. Ледаев,**  
д.т.н., профессор, первый проректор ПГУПС, зав. кафедрой «Тоннели и метрополитены»

**М.Е. Рыжевский,**  
к.т.н., генеральный директор ООО «ПЛАТО Инжиниринг»

**В.М. Улицкий,**  
к.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: 192102, Санкт-Петербург, Волковский пр., 6  
Тел./факс: (812) 490-56-51, (812) 490-47-65, (812) 943-15-31  
office@techinform-press.ru, www.techinform-press.ru

Установочный тираж 8 тыс. экз. Цена свободная.

Подписано в печать: 12.07.2014

Заказ № 845

Отпечатано: ООО «Акцент-Групп», 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.

Подписку на журнал можно оформить по телефону

**(812) 490-56-51**

# ООО "НПП СК МОСТ"



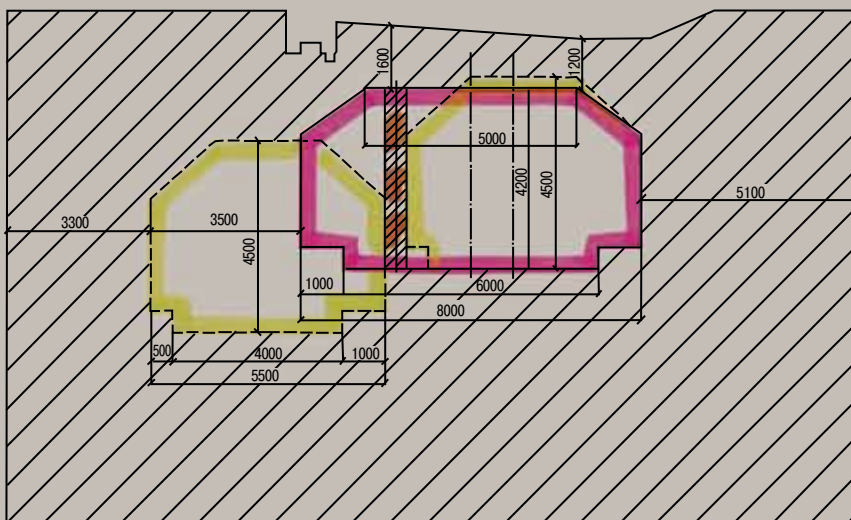
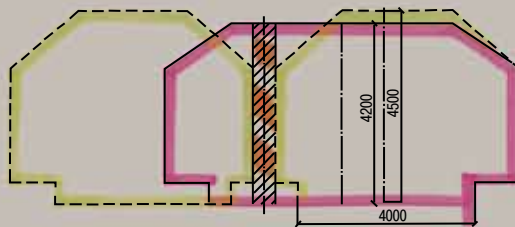
О новом  
способе  
уширения тоннеля  
читайте  
на стр. 48



# УВЕЛИЧЕНИЕ ТОННЕЛЬНОГО ГАБАРИТА



Тоннель под шлюзом,  
г. Дубна, Московская область







## Содержание / Contents



Стр. 6–8  
Р. 9–11



Стр. 16–20  
Р. 21–25

### Экспертное мнение / Expert Opinion

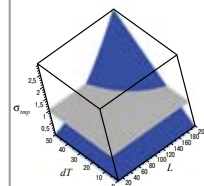
- 6 Марат Хуснуллин: «Главный строительный капитал — это люди»
- 9 Marat Khusnullin: “Construction sector key priority is human capital”
- 12 Валерий Меркин о прогрессе, интересе, регламентах и самодостаточности (ОАО «Мосинжпроект») Valery Merkin on progress, interests, regulations and self-sufficiency
- 16 И невозможное возможно... (интервью с Кшиштофом Поморски)
- 21 The impossible becomes possible... (interview with Krzysztof Pomorski)

### С места событий / Field Coverage

- 26 В прицеле — инновации Innovations as a target in the sight
- 28 Российско-датский диалог: продолжение следует



Стр. 28–30  
Р. 32–33



Стр. 44–47

- 31 Russian-Danish dialogue: to be continued
- 34 Тоннели — дело общее Building tunnels is a common cause

### Исследования / Research works

- 36 *Е.А. Ломакин, Д.И. Прокопчук.* Современные информационные технологии — инструмент повышения качества изысканий, или средство презентации его результатов *E.A. Lomakin, D.I. Prokopchuk.* Modern information technologies as a tool to improve the quality of survey or to present its results
- 44 *М.Е. Рыжевский, Д.А. Семенов.* Расчетное обоснование расстояния между температурными швами в монолитных железобетонных тоннелях *M.Ye. Ryzhevsky, D.A. Semenov* Design calculation of distance between expansion joints in monolithic reinforced concrete tunnels





Стр. 52-53



Стр. 54-57



Стр. 58-63  
Р. 64-67



Стр. 76-81

### **Строительный практикум / Workshop for building**

- 48 Новый способ уширения тоннеля
- 50 A new tunnel widening method
- 52 Нестандартные «головоломки» для компании «СУ №299»  
Challenging “brain-twisters” for “SU-299”
- 54 *Г.А. Матвеевко, В.А. Лукин, Е.П. Комаров.* Опыт устройства подземных сооружений в различных грунтовых условиях  
*V.A. Matveyenko, E.P. Lukin, Ye.P. Komarov.* Practices of underground construction in different types of soils

### **Исторические экскурсы / Historical essays**

- 58 *Ричард Луннисс, Джонатан Бабер.* Погружные тоннели: два столетия технологического развития
- 64 *Richard Lunniss, Jonathan Baber.* Immersed tunnel: two centuries of technological advance
- 68 Крепкий орешек БАМа  
A tougher nut to crack for BAM
- 72 Северомуйские сюрпризы (интервью с С.И. Миллерманом)  
Surprises of Severomuyisk (interview with S.I. Millerman)

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

- 76 *М.Е. Рыжевский.* Первое метро в Дубае: взгляд со стороны и изнутри  
*M.E. Ryzhevsky.* The first metro in Dubai: a view from outside and from inside



Стр. 82-85



Стр. 86-88



Стр. 92-95



Стр. 102-103

- 82 Легкое метро для канадской столицы  
Light-rail transit subway for the Canadian capital

### **Метро / Subway**

- 86 Первый. Глубокий. Двухпутный (ОАО «Метрострой»)  
First. Deep. Double Track
- 89 Прогулка под Невой (интервью с Б.М. Синичкиным)  
A walk under the Neva (interview with Sinichkin V.M.)
- 92 *Ю.С. Фролов.* Петербургский «размыв»: анализ рисков вариантов консервации затопленных тоннелей  
*Yu.S. Frolov.* The Petersburg “washout”: risk analysis of various options for flooded tunnels conservation
- 96 *В. А. Гарбер.* Московский метрополитен: Нештатные ситуации  
*V.A. Garber.* Moscow Metro: contingency events

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

- 100 *А.И. Меньлюк, А.Ф. Петровский, А.А. Борисов.* Новые направления использования ГНБ  
*A.I. Meneulyuk, A.F. Petrovsky, A.A. Borisov.* New ways of using HDD
- 102 *П.П. Пермьяков, Г.Г. Попов.* Микротоннелирование канализационного коллектора в условиях многолетней мерзлоты  
*P.P. Permyakov, G.G. Popov, T.I. Konstantinova, V.S. Kapitonova, A.V. Prokopyev.* Sewage collector in permafrost built using microtunneling methods



# МАРАТ ХУСНУЛЛИН: «ГЛАВНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ КАПИТАЛ — ЭТО ЛЮДИ»



Подготовил  
Сергей ЛОМАКИН

*Темпы роста объемов строительства объектов транспортной инфраструктуры в Москве демонстрируют в последнее время поистине рекордную динамику, свидетельствующую о твердом желании столичных властей кардинально улучшить ситуацию на дорогах мегаполиса. Однако столь стремительное ускорение не могло не обойтись без появления целого ряда кадровых, технических и организационных проблем, от решения которых зависит успех всего комплекса мероприятий по транспортному оздоровлению столичной агломерации. О том, как удастся находить выход из самых сложных ситуаций, рассказывает заместитель мэра Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства Марат Хуснуллин.*



— Специфика мегаполиса накладывает определенные требования к возводимым сооружениям, которые необходимо учитывать еще на стадии проектирования. Что вы можете сказать по поводу применяемых столичными проектировщиками нормативов и возникают ли трудности при прохождении экспертизы?

— В России действуют единые стандарты строительства и проектирования — Техрегламент по безопасности зданий и сооружений, СНиПы и другие нормативные документы. Они регулируют все стадии строительства от этапа проектирования и проведения изысканий до возведения объектов и обеспечивают безопасность и качество строящихся объектов. От московского правительства разработкой и корректировкой норм и стандартов строительства занимается Департамент градостроительной политики Москвы. Он корректирует и предлагает федеральным органам власти изменения для последующего внесения в федеральные законодательные акты, регулирующие сферу строительства. Что касается системы ценообразования, то в столице действует своя территориальная сметно-нормативная база, в соответствии с которой рассчитывается стоимость строительства объектов горзаказа. Она находится в ведении Москомэкспертизы, входящей в состав нашего стройкомплекса. Не так давно появился и институт негосударственной экспертизы, но у меня к нему по ряду причин очень настороженное отношение. Убежден, что с теми рисками, которые задает такой мегаполис, как Москва, мы должны делать упор именно на институте государственной экспертизы.

— Марат Шакирзянович, ранее вы говорили, что на проектирование и строительство развязки по старым нормам отводилось 48 месяцев. Что-то изменилось?

— Мы серьезно изменили сроки проектирования и строительства различных объектов. К примеру, в дорожно-строительной сфере они сократились примерно в 2 раза, по другим направлениям — где-то на 50%. За счет чего это произошло? Прежде всего, мы интенсифицировали трудовой процесс — практически все дорожно-транспортные объекты строятся в круглосуточном режиме. Это не только экономически целесообразно, но и повышает уровень транспортной безопасности в целом, так как ускоряет темпы развития улично-дорожной сети.

— А как обстоят дела с метростроением?

— Активными темпами ведется строительство новых станций метрополитена. Для этого мы сконцентрировали все силы, которые были не только в столице, но и в России, странах СНГ, привлекаем даже кадровые ресурсы из дальнего зарубежья. В настоящее время, к примеру, у нас работают 250 испанских проектировщиков, которые занимались организацией строительства метро в Мадриде. У них хороший опыт — за несколько лет было построено более 120 км. Вот мы всю эту команду и пригласили работать к нам. Проектом производства работ предусмотрено задействовать одновременно порядка 20 тоннелепроходческих щитов — подобного еще никогда в Москве не было!



Строительство станции метро «Расказовка» Калининско-Солнцевской линии

При этом за счет реализации целого комплекса мер нам удастся существенно снизить стоимость строительства. В частности, мы изменили часть градостроительных решений: как «посажена» станция, сколько у нее выходов, какова ее протяженность, глубина залегания (очень важный стоимостный фактор). Было решено, где это возможно, отказаться от станций глубокого залегания. Новые станции мелкого залегания на 60% дешевле, а на отдельных объектах этот показатель достигает 80%. К примеру, глубина некоторых станций не превышает и 14 м, поэтому можно отказаться от эскалаторов. В результате экономия составляет порядка 3–4%.

Второе решение — мы серьезно пересмотрели подход к технологии проектирования, сделав акцент на западные методики. Строим станции по типовым про-





Строящаяся станция метро «Спартак»

ектам (по отработанной технологии строить и быстрее, и дешевле), но, подчеркну, с нестандартными видами отделки. Необычные дизайнерские решения делают каждую станцию индивидуально привлекательной, придают ей оригинальный облик.

Совершенствование эксплуатационных технологий позволило нам отказаться от большого количества станционных подсобных помещений. Значительно сократили мы и стоимость закупки материалов — она снизилась на 10–40%. За счет чего? Предложили поставщикам обеспечить нас материалами по сниженной цене на весь пятилетний срок действия программы строительства метро. Конечно, они пошли на это. К примеру, ценовое снижение по кабельной продукции составило 30%. Ну и, наконец, увеличение скорости строительства тоже привело к сокращению накладных расходов.

Благодаря всем этим мерам нам удалось снизить среднюю стоимость строительства метро без потери качества примерно на 30%. При этом серьезно поднять уровень строительства позволила созданная на базе Мосгосстройнадзора мощная испытательная лаборатория, располагающая самым современным оборудованием, позволяющим производить сложнейшие исследования образцов и проб.

#### — Какое тоннелепроходческое оборудование вы применяете?

— Это механизированные тоннелепроходческие комплексы (щиты), каждый из которых представляет собой небольшой подземный завод, обслуживаемый коллективом более 80 человек. На наших объектах ведутся работы с помощью тоннелепроходческих щитов всемирно известной компании Herrenknecht AG, также закуплены тоннелепроходческие комплексы американского производителя Robbins. Задействованы и щиты японской фирмы Hitachi. И хотя все эти комплексы принадлежат

разным подрядчикам, график строительства составлен таким образом, что, несмотря на то, какая компания ведет проходку, щиты по мере загрузки перебрасываются с одного участка на другой.

#### — В настоящее время достаточно широко обсуждается тема гармонизации отечественных и международных стандартов. Ваше отношение к этому вопросу?

— Не отношу себя к ярким сторонникам еврокодов, однако считаю, что наши отечественные нормы, в том числе в области ценообразования и проектирования, к сожалению, во многом устарели. И в связи с тем, что эти стандарты все еще действуют (пусть даже и в актуализированном виде), продолжается процесс колоссальной потери денег. А так как мы несем ответственность за бюджетные деньги, за их экономию, то четко понимаем, что нормы и правила необходимо менять. Во всем мире это прекрасно работает, то почему бы не применить и у нас?

Приведу пример. Строительство железнодорожных переездов (что особенно актуально для Москвы, на территории которой расположено 44 таких объекта). Если электрички начнут ходить с частотой 3–5 минут, то надо понимать, что в часы пик переезды попросту не будут функционировать. Поэтому в настоящее время мы в форсированном порядке осуществляем проект реконструкции переездов. Когда попытались применить федеральные нормы, то столкнулись с тем, что в них прописан ряд требований (по ширине полосы, углу подъема перехода, скорости проезда), разработанных еще в 1960–70-х годах. Если проектировать в соответствии с ними, то стоимость переезда достигает одного миллиарда рублей. А если по евро нормам (испанским, немецким), то получается 600 миллионов. Разница — 40%. Только за эти проценты экономии есть прямой смысл менять нормативную базу.

#### — Вы уже говорили о привлечении к строительству метро иногородних и даже иностранных специалистов. А как в целом решается кадровый вопрос?

— Стройка — это люди, которые и являются ее главным капиталом. Хочу сказать, что в Москве, к счастью, и раньше существовал и по-прежнему действует свой мощный строительный комплекс. И базовые строители у нас в городе были всегда. Но поскольку темпы строительства метро значительно выросли, мы привлекли со стороны не только проходчиков, но и тех, кто умеет обустраивать тоннели. Самая дефицитная специальность — это так называемые пускатчи — те, кто создают окончательный вид станции. На сегодняшний день таких специалистов нам не хватает.

Всего на метростроительных работах сегодня у нас задействовано порядка 30–35 тысяч человек.

Теперь о дорожных объектах. До последнего времени здесь по большей части справлялись собственными силами, но когда увеличился объем работ, подтянули кадры и из регионов. Например, на сегодняшний день освободились строители олимпийских объектов Сочи, и в последние полгода вижу большой приток дорожников именно оттуда.

В целом считаю, что у нас достаточно строителей для реализации поставленных задач.



# MARAT KHUSNULLIN: “CONSTRUCTION SECTOR KEY PRIORITY IS HUMAN CAPITAL”



***Rate of growth in transport infrastructure construction in Moscow is really fantastic. This attests to the City of Moscow commitment to radically improve the traffic situation in the megacity. However, this rapid acceleration could not but caused a number of problems of various kinds, and among them human, technical and organizational issues that are crucial for the success of the whole matter, that is of the range of actions required for transport rehabilitation in the Moscow conurbation.***

***Marat Khusnullin. Deputy Mayor for urban policy and construction tells us how city authorities manage to meet most challenging situations.***

Interviewed  
by Sergey Lomakin





— **Explicit specificity of megacities imposes certain requirements for the structures constructed on their territories; these specific features need to be taken into account at the design stage. What can you say about norms and standards applied by Moscow-based designer contractors and whether it is easy to undergo a State examination?**

— There is a number of uniform standards currently in force and mandatory for all construction sector companies in Russia: Technical Regulations on safety of buildings and structures, building codes and other ordinances. They regulate all construction stages starting from design and surveys and finishing with construction procedures. Their main purpose is to guarantee safety and quality of the finished structures. The Moscow government body responsible for norms and standards adjustment is Urban Policy Department of Moscow. It makes necessary amendments to current norms and provides for appropriate changes to federal acts that regulate the construction industry. As for costing standards, the rule is that all estimates regarding municipal orders should follow Moscow regulatory framework that operates under the jurisdiction of “Moscomexpertisa” that makes part of our Building Complex. Some time ago a non-state examination institute entered the scene, but for several reasons I myself personally have a very cautious attitude towards it. I am convinced that in view of risks set by a megacity like Moscow we should really focus on state examination institution.

— **Marat Shakirzyanovich, as you’ve said it before, the time allowed for design and construction of a road**

**junction was about 48 months. Has something been changed?**

— We have changed drastically the terms of design and construction. An example: in road construction sector they were reduced by about 2 times, in other areas — by about some 50%. You’ll probably ask how did we manage to do it? First of all, we intensified labor processes; now almost all construction works are performed 24 hours a day, 7 days a week. It is not only economically viable, it also increases road safety in general, as this schedule accelerates the road network development in general.

— **And what progress has been made on subway construction?**

— The construction of new metro stations is getting in high gear. To do this, we have concentrated all forces we could find not only here, in the capital. We searched in the whole Russia, in the CIS countries, and we have even brought experts from abroad. At the moment we employ 250 Spanish designers who were engaged in metro construction in Madrid. Their experience is impressive as in a few years they managed to build more than 120 km of subway lines. So we invited the whole team here. The project envisages 20 TBMs working simultaneously that has never happened in Moscow before! An essential point here is the fact that due to a series of measures we have managed to decrease construction costs. In particular, we have modified some urban planning decisions regarding a number of factors, i.e. in which way is the station “implanted”, how many exits does it have, what is its length, its depth (a very important cost factor). It was agreed to abandon deep stations where



possible. The new — shallow — stations are 60% cheaper, and in some sites this figure can reach 80%. For example, the depth of some stations does not exceed 14 meters, so you can cancel escalators. It saves us about 3-4%. The second solution was to seriously reconsider approach to design technology; now we focus on Western techniques. The stations will be built basing on standard or pattern projects (to build on mature technologies is faster and cheaper), but — and I wish to underline it — all finishing works of the stations will be far from being standard. Unusual designer solutions make each station individually attractive, and give it an original look. Improved operational technology has allowed us to give up a large number of station outbuildings. We have significantly reduced costs of procurement and materials: it has decreased by 10–40%. You will ask at what expense? Our proposal to suppliers was to sign a 5-year discount contract. Of course, they accepted it, and we will be supplied with construction materials at a lower price for the whole five-year period of the subway construction program. One example: as a result, the price of cable products decreased by 30%. And finally, by minimizing construction time we reduce overheads. Due to all these developments we managed to reduce the average cost of subway construction by about 30% with no impact on quality. A crucial role here plays a powerful testing laboratory created on the basis of Mosgosstroyadzor, It is equipped with most modern plants and analytical instrument facilities ready to run sophisticated tests on various samples.

— **What kind of tunnelling equipment you use?**

— We use Tunnel Boring Machines (TBMs) or shields; each of them is a small underground factory serviced by a team of more than 80 people. At our sites we use tunnel boring machines produced by a world-known company Herrenknecht AG. We purchased some TBS also from the U.S. manufacturer Robbins. A certain number of shields used on our sites are from Japanese origin, and these are produced by Hitachi group. Although these complexes belong to different contractors, the construction schedule is made in such a way that the TBMs can be drawn from one site to another when needed.

— **Nowadays a widely discussed topic is harmonization between national regulations and international standards. What is your stand on it?**

— I am not an ardent supporter of Eurocodes, but nevertheless I consider that our domestic norms and standards, pricing and design included, unfortunately are largely outdated. And as these standards are still operative (even in its actual slightly revised version), we continue to lose money. And since we are responsible for the budget money and for cost savings, we clearly understand that the standards and regulations should be changed. If it works just fine worldwide, why shouldn't we follow? I'd like to take just one example, and it is the construction of railway crossings (which is especially important for Moscow where there are 44 of them). If a scheduled interval between trains reaches 3–5 minutes, then we should understand that during peak hours level crossings will simply cease to function. Therefore, we are implementing the crossing modernization project in a boost mode. Our federal standards state a number of requirements (width of lane, grade, speed) introduced in



1960s–70s. With these norms the cost of crossing will reach one billion rubles. With Eurocode (Spanish, German) you will never go over 600 million. The difference is 40%. Only for the reasons of these essential savings the regulatory framework should be ungraded.

— **You've already talked about inviting experts from other towns and even other states for subway construction. And did you manage to find a general solution to staffing issues as a whole?**

— Construction means people, and human capital is its main value. I must say that — most fortunately — building capacities in Moscow still exist like they existed before, and a powerful building complex is still operative. The same for builders. But the pace of subway construction has increased significantly, and we are forced to invite not only tunneling peoples, but also those who are able set up tunnels. The most undermanned skill is the so-called “barring men”, i.e. those who create a final look of the station. These skills we certainly lack today.

Currently about 30–35 thousand people are working in the subway construction sector. If we move to the road construction sector, then I must note that until recently we managed to cope on our own, but with the increased volume of work, we pulled together workforce from regions. For instance, the builders who were involved in Olympic projects in Sochi now are free, and in the last six months there has been a large influx of road workers from there.

Taking the situation as a whole, I can conclude that we have enough builders to meet the current challenges of implementing grand building projects.



*The ambitious program “Metro 2020” in Moscow is in full swing. The construction program includes 160 km of tracks, 79 stations and 9 depots. All subway construction activities are governed by the engineering company “Mosinzhproekt.” Promotion of effective innovative-based technical policies is the responsibility of the Underground Space Research and Engineering Center. Read our interview with Professor Valery Merkin, Doctor of Engineering and the RDE leader and coordinator.*



НА ПРАВАХ РЕКЛАМЫ

# ВАЛЕРИЙ МЕРКИН

## О ПРОГРЕССЕ, ИНТЕРЕСЕ, РЕГЛАМЕНТАХ И САМОДОСТАТОЧНОСТИ

*Уникальная ситуация: начиная с 2006 года, стоимость строительства 1 км московского метро снизилась в среднем с 6,8 до 4,5 млрд рублей. Для оптимизации финансовых параметров, а также обеспечения значительного роста объемов работ и сокращения сроков строительства, столичные власти предприняли целый ряд глобальных мер. В первую очередь, управление всеми процессами реализации масштабной программы «Метро-2020» было сконцентрировано в рамках инжиниринговой компании «Мосинжпроект», коллектив которой занимается реализацией проектов под ключ, начиная с изысканий и заканчивая вводом объектов в эксплуатацию.*

*Одним из основных факторов, позитивно влияющих на стоимостные, временные и качественные показатели, является эффективная техническая политика, основанная на планомерном внедрении в практику метростроения современных инновационных разработок.*

*Ее продвижением в «Мосинжпроекте» занимается Научно-инженерный центр освоения подземного пространства (НИЦ ОПП) под руководством доктора технических наук, профессора Валерия Меркина, интервью с которым журнал «Подземные горизонты» предлагает вниманию своих читателей.*

**МОСИНЖПРОЕКТ**  
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
101990, Москва, Сверчков пер., д. 4/1. Тел.: (495) 623 49 91

**ОАО «Мосинжпроект»**  
101990, г. Москва,  
Сверчков пер., д. 4/1  
Тел.: (495) 225-19-40  
E-mail: info@mosinzhproekt.ru  
www.mosinzhproekt.ru





— **Какие технические концепции, реализуемые сейчас в столичном метростроении, являются, на ваш взгляд, наиболее эффективными?**

— Что касается объемно-планировочных решений, то здесь в первую очередь следует отметить переход в строительстве новых линий метро с глубокого заложения преимущественно на неглубокое с применением тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) на базе щитов с активным пригрузом забоя, а также открытого способа работ на станциях. Нашими строителями уже успешно освоены технологии, позволяющие строить метро на участках с высокой плотностью застройки без ущерба для расположенных там сооружений.

Говоря о применении новых материалов, нельзя не отметить определенный прогресс, которого удалось достичь в решении вопросов гидроизоляции сооружений. Взамен традиционных битумных и битумно-полимерных материалов все шире применяются синтетические мембраны. После удачного опыта строительства станции «Лесопарковая» усилился интерес и к напыляемым мастикам, применение которых при соответствующем качестве работ позволяет существенно сэкономить трудовые и временные затраты.

— **Валерий Евсеевич, судя по всему, на пути совершенствования комплекса процессов метростроения, поиска вариантов их оптимизации сделаны далеко не последние шаги...**

— Приведу один характерный пример. Сейчас при открытом способе работ строительство станции ведется методами, унаследованными еще с советских времен. Возводится «стена в грунте», выполняющая роль ограждения. С отступлением от нее примерно на 1,5 м соору-



Вид на строительную площадку станции метро «Румянцево»

жаются постоянные конструкции станции, а возникающий зазор засыпается грунтом. Ширина котлована при этом получается примерно на 3 м больше, чем требуется для самой станции, тем самым весьма непроизводительно затрачивается масса труда и времени.

Мы же (и не только мы) предлагаем сделать «стену в грунте» несущей конструкцией. Специалисты НИЦ ОПП уже провели необходимые расчеты, на основе которых подобрали определенный состав бетона, рассчитанный на весь период эксплуатации метрополитена (не менее 150 лет), предложили более эффективный способ устройства гидроизоляции.





Благодаря этому решению можно не только уменьшить площадь застройки, но и не менее чем на 15% сократить расход материалов и почти на полгода — время возведения станции.

Еще один вариант более рационального использования подземного пространства — размещение некоторых объектов городской инфраструктуры в надстанционном пространстве. При строительстве метро открытым способом дно котлована, как правило, располагается на глубине около 20 м от поверхности земли, а высота станции составляет не более 10 м. После возведения перекрытий станции вся остальная «отвоёванная» над ней территория просто засыпается. В условиях плотной городской застройки и повышенной автомобилизации города это просто нерационально, ведь в этом пространстве можно разместить служебно-технические помещения метрополитена, парковки, торговые помещения, кинотеатры, таможенные терминалы, архивы и т. д. Понятно, что здесь есть вопросы, связанные с законодательством, поскольку метрополитен — объект не только социального, но и стратегического значения. В данном случае должны быть четко отработаны и система противопожарной безопасности, антитеррористической защищенности. Но это вопрос уже юридического взаимодействия метрополитена и других структур города.

**— Существенное наращивание объемов метро-строения невозможно без увеличения скорости проходки. Какие резервы здесь существуют? Какие инновационные возможности еще только предстоит использовать в полной мере?**

— Если говорить о технологиях, помимо использования современной тоннелепроходческой техники, можно привести в качестве одного из примеров использование фибронабрызг-бетона.

Уже имеется успешный опыт применения данной технологии в Москве: фибронабрызг-бетон использовали в сочетании с комбайновой разработкой грунта при строительстве одного из тоннелей Люблинско-

Эскиз станции «Рижская»  
Третьего пересадочного  
контура метро

Программа  
«Метро-2020»:  
строительство

160  
км путей

79  
станций

реконструкция

7  
и строительство

9  
электродепо

Дмитровской линии. По сравнению с предусмотренной в проекте проходкой буровзрывным способом с чугунной обделкой, помимо существенной экономии на материалах, скорость проходки была увеличена почти в 2 раза. Эффективность метода была подтверждена компетентной комиссией, и теперь эту технологию планируется применять и на других участках.

**— За счет чего удается достичь столь впечатляющих результатов?**

— Технология крепления выработки фибронабрызг-бетоном (ее также называют методом безопалубочного бетонирования) основана на том, что бетонная смесь с добавлением в нее коротких волокон из стальных или синтетических нитей (фибры) под давлением сжатого воздуха в несколько слоев наносится на свод, стены и основание выработки (при необходимости к ним крепится армированная сетка). Такая технология эффективна для сравнительно устойчивых, малообводненных грунтов, где обделка из набрызг-бетона, армированная фиброй, вполне способна заменить конструкции из железобетона и чугунных тубингов.

Для того чтобы свежая бетонная смесь не стекала с поверхности выработки, в нее вводятся добавки — ускорители схватывания, которые способствуют затвердеванию смеси в течение нескольких минут. После твердения обделка из фибронабрызг-бетона не уступает по прочности на сжатие обычному бетону, а на растяжение и вовсе превосходит его. Используя эту технологию, мы можем сократить на 8–10% объем выработки грунта, до 25% — расход материала и на 10% — время производства работ на крепление.

Преимущество податливой набрызг-бетонной крепи заключается также и в том, что, контактируя с грунтом по всему периметру выработки, она деформируется вместе с горным массивом, как бы «подстраиваясь» под него. В результате нагрузка от горного давления на конструкцию снижается. В нашей стране данный способ бетонирования, например, применялся ранее на строительстве тоннелей БАМа, подземного комплекса АН СССР в Протвино, при проходке тоннеля между станциями метро «Киевская» и «Парк Победы» в Москве, в гидротехническом строительстве. Обделка из набрызг-бетона на Меградзорском железнодорожном тоннеле в Армении без единой трещины выдержала 10-балльное землетрясение в Спитаке в 1986 году.

**— Использование этой технологии возможно, как вы уже отметили, далеко не во всех грунтах? Каким образом определяются зоны его применения?**

— Толщина фибронабрызг-бетона, его несущая способность, необходимость усиления арками или анкерами определяется геотехническими расчетами для каждого конкретного участка.

Естественно, все тоннельные обделки, которые сегодня используются в Москве, должны быть сертифицированы, а сертификация предполагает испытания на соответствие требованиям, которые заложены в технических условиях.

Фактически «Мосинжпроект» сегодня формирует современную техническую политику в области метро- и



тоннелестроения. Наши специалисты разрабатывают технические условия на все виды применяемых конструкций, программы сертификационных испытаний и участвуют в их проведении. В последние несколько лет НИЦ ОПП с участием ЦНИИСа, ВНИИПО, «Ленметрогипротранса», «Минскметропроект» и других организаций подготовлен ряд нормативных документов в виде стандартов «Мосинжпроект» и «Национального объединения строителей» (НОСТРОЙ), а также технологических регламентов, в том числе — по сооружению городских и подводных транспортных тоннелей, применению набрызг-бетона, по комплексному освоению подземного пространства, сооружению подземных пешеходных переходов и т. п.

**— На одной из линий метро в Санкт-Петербурге сейчас сооружается первый в России двухпутный тоннель глубокого заложения. Насколько широко этот метод (называемый еще испанским), независимо от глубины проходки, может быть применен в Москве?**

— Существенную эффективность он имеет при строительстве конечных станций с относительно небольшим пассажиропотоком и короткими перегонами. А на сильно загруженных линиях малые боковые платформы будут лишь способствовать уплотнению потока пассажиров. Двухпутные тоннели также хорошо подходят для сквозной проходки участка, когда необходимо, например, пропустить еще не введенную в эксплуатацию станцию.

Кроме того, расположение путей разных направлений в одном тоннеле позволяет отказаться от обязательных при строительстве двух однопутных тоннелей и станций с островными платформами специальных соединительных тоннелей — камер съездов. В связи с тем, что эти камеры сооружаются горным способом с обоих торцов станции в протяженных выработках переменного сечения, отказ от них даст существенную экономию трудовых и материальных ресурсов.

**— В какой мере, на ваш взгляд, действующая нормативно-техническая база соответствует современным отраслевым потребностям? Не является ли она подчас своеобразным тормозом для метроостроения?**

— Каких-либо принципиальных препятствий, серьезно осложняющих работу проектировщиков, я сейчас не вижу. Проблемы возникают в основном при внедрении новых, не предусмотренных нормами и правилами разработок, а также в части оперативной замены устаревших требований. А поскольку нормы разрабатываются и утверждаются в течение нескольких лет, то к моменту выхода некоторые из них уже требуют поправок.

**— До сих пор речь шла в основном о различных технологических аспектах. Несколько слов о применении оборудования. Как известно, в большинстве своем оно импортное...**

— Действительно, слабым местом отрасли отечественного метроостроения сегодня является отсутствие собственного производства тоннелепроходческих комплексов и другого оборудования для подземного строительства. Казалось бы, в условиях глобализации это не



Пульт управления  
ТПМК

Стоимость  
строительства

**1** км  
московского метро:

2006 год —

**6,8**

млрд руб.,

2014 год —

**4,5**

млрд руб.

должно сильно влиять на процессы метроостроения. Есть зарубежные производители, хорошо зарекомендовавшие себя на российском рынке, у которых можно купить практически любое оборудование. Но в то же время Россия — государство, которое должно стремиться к самодостаточности.

Признавая высокую техническую эффективность зарубежных щитов, необходимо заметить, что, закупая их, мы практически полностью утратили отрасль отечественного щитового машиностроения (научные и конструкторские кадры, заводы). Многие специалисты полагают, что еще есть возможность восстановить производство отдельных образцов тоннельной техники, например на базе сохранившегося Скуратовского опытно-экспериментального завода. Начать можно было бы с совместного производства оборудования с западными компаниями.

**— Серьезные инвестиции в производство оборудования для метроостроения требуют определенных предпосылок для развития самой отрасли. Существуют ли они сейчас в России?**

— Развитие комплекса подземной транспортной инфраструктуры — это то направление строительства, которое никогда себя не исчерпает. Для повышения эффективности принятой в Москве программы «Метро-2020» необходимо совершенствовать технологии как открытого, так и закрытого способов производства работ, используя для этого также и собственные разработки.

А для этого необходимо принять городскую целевую научно-техническую программу, ориентированную на внедрение ее результатов, начиная с 2015 года. В нашем инженерном центре уже подготовлено к опытной проверке более 10 предложений по конструкциям и методам их расчета, материалам, способам укрепления грунтов и проходки. Реализация этой программы должна не только обеспечить создание комфортной транспортной сети в столице, но и стать отправной точкой для совершенствования отрасли отечественного метроостроения во всех ее аспектах.



# И НЕВОЗМОЖНОЕ ВОЗМОЖНО...



*Наверное, многие из жителей Санкт-Петербурга хотя бы раз задумывались о том, какой станет Северная столица через 50, 100 лет. Конечно, футуристические представления у каждого свои, но все же возьму на себя смелость описать общие черты города мечты.*

*Мегаполис будущего — это здания, утопающие в зелени садов и парков, многофункциональные спортивные комплексы и культурные центры, словом, максимальная концентрация возможностей для всестороннего развития личности. Сутолока большого города с многоуровневыми развязками, шумными магистралями, торговыми центрами уходит под землю, где кипит жизнь, ощущается свой неповторимый стремительный ритм. Наверху же царят несколько ленивая идиллия, спокойствие и умиротворение.*

*«К чему пустые мечтания? — скажете вы, — тут бы после работы до дома добраться без нервных потрясений, вызванных бесконечными транспортными заторами». Но что ни говори, концепция «города для людей» пусть и не столь стремительно, но все же завоевывает мир.*

Беседовала  
Мария ВАСИЛЬЕВА



**С тезисом о том, что самые смелые и, на первый взгляд, нереализуемые замыслы вполне реально воплотить в жизнь в обозримом будущем, согласны и авторитетные эксперты в области проектирования и строительства. Один из них — Кшиштоф Поморски, технический директор ОАО «КБ высотных и подземных сооружений», — любезно согласился ответить на вопросы журнала «Подземные горизонты».**

— Каковы, на ваш взгляд, основные причины недостаточного освоения подземного пространства в Санкт-Петербурге, которое, по сути, ограничивается сейчас лишь строительством метро? Что уж тут говорить о других российских регионах...

— На все есть свои объективные и субъективные причины. Если представить сейчас геологическую карту мира с указанием классов пригодности грунтов для подземного строительства, то территория России почти полностью попадает под 4-й класс — самый неблагоприятный для подземных работ. Это в основном осадочные породы, в которых возводить что-либо довольно проблематично. Исключения есть, например Кавказский регион и, в частности, Сочи, но таких областей в России не так много.

Сразу скажу, Санкт-Петербург — не лучшее место для подземного строительства. Это не стоящий на скальном грунте Сингапур, ставший площадкой для реализации крупных инфраструктурных проектов под землей, в частности научно-производственного центра по разработке и производству чипов.

— Тем не менее в 70–80-х годах прошлого века была разработана генеральная схема планировочной организации и использования подземного пространства Ленинграда. Насколько велика была вероятность ее реализации?

— Главная причина того, что этот план был положен в долгий ящик, — глубокий экономический кризис, развившийся в стране в 1990-х годах и продолжавшийся вплоть до 2002 года. И только в наши дни Россия постепенно выходит на показатели, соответствующие уровню советских времен.

Не секрет, что подземное строительство всегда было делом затратным, требующим больших капиталовложений. Кроме того, в этой сфере невозможно решать сиюминутные проблемы, получая чуть ли не моментальную коммерческую выгоду, — здесь необходимо мыслить категориями будущего, будучи готовым к тому, что прибыльным тот или иной проект станет лишь через достаточно длительный период времени.



Самой схемой в течение 30 лет предусматривалось создание подземных сооружений различного назначения площадью около 70 кв. км. В то время этот документ был в своем роде уникальным и единственным в мире. Уже тогда руководство страны понимало, что будущее за подземным строительством, хотя в те годы и не существовало еще соответствующих технологий. В плане так и сказано, что часть объектов на данный момент не может быть построена, но в ближайшем будущем методы их возведения должны быть найдены и отработаны. Поэтому при благоприятном стечении обстоятельств этот долгосрочный проект на данный момент вполне мог быть частично реализован.

Первоочередная задача самого ближайшего времени — разработка нового плана подземного строительства, но на более длительный период — примерно на 100 лет. У городов — другой календарь, соизмеримый с «продолжительностью жизни» зданий. Столетие для последних — не такой уж и большой срок. Осваивать





подземное пространство следует по мере появления средств и возникновения необходимости. При этом в градостроительных планах нужно заранее учитывать, какие ключевые участки могут в дальнейшем понадобиться для подземного строительства, и резервировать их.

Второе, что следует сделать, — определение экономической целесообразности строительства подземных проектов. Возьмем для примера коллектор для прокладки инженерных сетей. На первый взгляд, удовольствие не из дешевых. Но если учесть затраты на ремонт разного рода коммуникаций, которые были просто закопаны в землю, то экономический эффект от вышеназванного сооружения будет получен максимум через 25 лет. Кроме того, наши потомки получат «цивилизованную сеть» коллекторов с находящимися под постоянным контролем инженерными коммуникациями, где, в случае должной профилактики, аварийные ситуации практически исключены.

**Многоуровневая развязка и культурно-досуговый центр на Гамбургской площади**

Похожее положение вещей и со строительством других подземных сооружений. Пройдет время — и их возведение окупится с лихвой. Когда город «уходит» под землю, высвобождаются площади на поверхности. Так, в случае реализации ленинградской схемы должно было освободиться свыше 4 тыс. га в центре города. Подсчитайте, какова их рыночная цена и стоимость построенных на них зданий. И строительство автомобильных тоннелей в конечном счете окупится, дав такой бонус, как автомобильное движение без заторов.

Во всех крупных городах мира сейчас идет освоение подземного пространства. Пекин намерен полностью ликвидировать наземный транспорт. Да, эпоха тотального автомобилизма многим привила любовь к высоким скоростям и комфорту. Но все же постепенно приходит осознание того, что человек важнее автомобиля. Не мы для него, а он для нас. Земля — тоже для нас. Может, лучше парки разбить вместо автострад? Все большее количество людей утвердительно отвечают на этот вопрос. Так уже делается в Сеуле, Париже, множестве других городов.

**— Что необходимо предпринять для того, чтобы в России стали придерживаться, хотя бы в стратегических направлениях, общемировых тенденций освоения подземного пространства?**

— Государство, как известно, начинается с законодательства, которое в области строительства необходимо соответствующим образом доработать как на российском, так и на региональных уровнях.

Закон Санкт-Петербурга о зеленых насаждениях прекрасно демонстрирует всю абсурдность возникающих проблем. Представим себе газон в центре города. Под ним запрещается, к примеру, устроить паркинг, даже несмотря на то, что после окончания работ и газон будет



воссоздан, да и само подземное сооружение, расположенное на определенной глубине, никак не может помешать росту травы. Но закон непреклонен — нельзя.

Однако мало отменить устаревшие, не отвечающие духу времени правила. Для совершенствования законодательства крайне необходимо сделать еще один шаг — создать 3D-кадастр. Перевод кадастрового учета в трехмерный вид позволит «увидеть» все подземные коммуникации и раз и навсегда выяснить, что кому принадлежит.

Ведь как сейчас получается: можно построить дом, не зная, что под ним, например, пролегает метро. С другой стороны, любая компания может купить участок земли, и на будущей трассе подземки возвести небоскреб на 60-метровых сваях, перекрыв тем самым возможность будущего строительства подземной трассы.

Введение 3D-кадастра позволит четко структурировать подземные объекты и предотвратить нежелательные варианты развития ситуации.

Еще одна задача — разработать и внедрить новые нормы и стандарты. Например, крайне необходимо изменить стандарт на строительство паркингов, которые на сегодняшний день не могут иметь более 5 уровней.

**— В настоящее время практически ни одно современное здание или сооружение не обходится без подземных паркингов. Как известно, проект «Мариинка-2» также имел значительную подземную составляющую. В какой мере удалось воплотить эту идею в жизнь?**

— Мы сделали небольшой паркинг-автомат на 93 машино-места, удовлетворяющий частично нужды сотрудников театра. Здесь следует подчеркнуть, что внутри театров, особенно музыкальных, обычных автомобильных парковок в принципе быть не должно. Они — источник звука, шума и повышенной опасности. Чтобы избежать негативных влияний, мы применили новые технологии, современную звукоизоляцию.

Изначально губернатором города было заявлено о планах строительства нескольких паркингов, услугами которых могли бы воспользоваться посетители не только Мариинки, но и Консерватории, других культурных заведений, расположенных в районе Театральной площади. По требованиям и расчетам на этих паркингах должно было разместиться около 800 машин. Мы предложили несколько вариантов, решение по которым должен принять город. Технически все это можно осуществить.

**— Какая концепция подземных паркингов, по вашему мнению, наиболее приемлема для Санкт-Петербурга?**

— Отмечу сразу, устройство паркинга под водой всегда дешевле, чем под землей. Отсюда и решения, подобные тем, что мы предложили на Крюковом канале. Плюсов много. Прежде всего это касается вывоза и складирования земли. Кроме того, водную преграду пересекает минимум коммуникаций, что облегчает проблему выноса и перекладки инженерных сетей. Третье преимущество — появляется возможность очистки дна водоемов.



ТПУ «Тропарево»

Мы также предложили идею, касающуюся Обводного канала. В этом месте расположена промышленная зона, которую планируют вынести за город. Вслед за этим можно было бы избавиться от наземной магистрали, именуемой набережной Обводного канала. Каким образом? Из канала следует спустить воду, опуститься еще на 10 метров, построить тоннель, проложить в нем автостраду и все необходимые сети, кроме того, устроить большое количество парковок. Затем сверху засыпать, сформировать дно, пустить воду. А на освободившихся вдоль канала территориях создать парковую зону, рядом с которой построить жилые кварталы. И только на стоимости жилья, построенного в центре, в зеленой зоне и на берегах очищенного канала, мы «отобьем» деньги, потраченные на подземное строительство. Но если мы будем считать только чистую стоимость такого проекта, сумма, естественно, будет казаться неподъемной.

**— Одним из направлений современного развития мегаполисов является создание транспортных пересадочных узлов. Расскажите об участии ОАО «КБ ВиПС» в подобных проектах. Возможна ли, к примеру, реализация в ближайшее время ваших предложений по ТПУ «Тропарево» в Москве?**

— По моему мнению, сейчас формируется несколько однобокий подход к созданию таких объектов. Ведь как многие считают, они нужны для того, чтобы пересадить направляющихся в центр города граждан с личного транспорта на общественный. А посему подобные узлы должны содержать только перехватывающие парковки, выходы из метро и остановки автобусов, трамваев, троллейбусов.

На самом деле, ТПУ — это локальный центр городской инфраструктуры, главная задача которого —





ТПУ на Сенной площади

оттянуть людей от центра города, чтобы они отказались от планов следовать куда бы то ни было и остались в этом месте. Привлечь потенциальных посетителей могут разные «вкусные» факторы, такие как крупные торговые центры, кинотеатры, катки, детские площадки, кафе и рестораны. Само собой, должны быть здесь и парковки, и крытые пересадочные узлы, но не они играют главную роль. Правильно сконструированный ТПУ — это город в городе, обеспечивающий соответствующую комплексную инфраструктуру для близлежащего района.

То, что подобные сооружения нужны, нет никаких сомнений. Мы провели анализ движения на трассе, соединяющей Мурманское шоссе на востоке и Петергофское шоссе на западе города. Это Ленинский проспект — проспект Славы — Ивановская улица — станция метро «Ломоносовская» — Володарский мост — Народная улица — Кудрово. Трасса очень загружена и в будние, и в выходные дни. Количество ДТП на ней бьет все мыслимые и немыслимые рекорды. В будни здесь много грузового транспорта. В выходные дни, редко балующие нас хорошей погодой, петербуржцы направляются в тот же магазин «МЕГА», не только сделать покупки, но и сходить в кино, погулять, покататься на крытом катке. Дорога имеет массу «узких» мест, сложных перекрестков. Мы предложили сделать на одном из них, на Гамбургской площади, многоуровневую транспортную развязку для обеспечения бесветофорного движения транспорта, совместив ее с подземными паркингами, деловым и культурно-досуговым центром. Подобные узлы создают своеобразные «ядра кристаллизации», уменьшая часть «броуновского движения», занимающего дорожную сеть.

Что же касается ТПУ «Тропарево», то на его решение повлиял, на мой взгляд, неверный подход к его функционалу. Мы разработали несколько вариантов этого объекта разной площади. Один из них (230 тыс. м<sup>2</sup>) был представлен правительством Москвы на фестивале недвижимости MIPIM 2014 в Каннах. Этот объект содержал

все необходимые элементы ТПУ и, кроме того, в его состав входил новый офисный центр, гостиничный комплекс, торговые площади и много чего еще. Проект меньшей площади (75 тыс. м<sup>2</sup>) тоже содержал много интересного. Но в настоящее время проектируемый ТПУ превращен просто в пространство, на котором расположены остановки транспорта и разворотные площадки для автобусов. Перспективную идею фактически свели к нулю. Хочется думать, что это всего лишь единичное недоразумение, поэтому надеемся на изменение ситуации, в результате чего ТПУ будут создаваться для реальных градостроительных целей, а не для того чтобы в его пределах можно было лишь пересечь с одного автобуса на другой.

В данный момент мы проектируем 5 узлов в Москве. В Петербурге также принято решение о целесообразности строительства ТПУ, но до практических шагов дело пока не дошло.

### — Какова судьба вашей концепции по освоению подземного пространства Сенной площади?

— Ее основная идея — показать, что даже в исторической зоне города-памятника, каковым является Санкт-Петербург, можно создать ТПУ XXI века.

В первую очередь планировалось организовать под Сенной множество парковок, чтобы в радиусе 800 м убрать все машины с поверхности земли. Второе — осуществить строительство многоярусной развязки, чтобы с поверхности убрать транспорт и создать на площади большую пешеходную зону. Подземное пространство должно было быть достаточно большим, чтобы вместить в себя парковки, автобусные и трамвайные остановки, торговые площади. Кроме того, предполагалось объединить все это со станциями метро.

Эту концепцию можно назвать нашей маленькой провокацией. Многие сейчас задаются вопросом: как улучшить транспортную ситуацию в городе, охраняемом ЮНЕСКО, где никоим образом нельзя вторгаться в архитектурную среду его центральной части?

Мы же сумели показать, что, не разрушая всей этой красоты, можно сохранить исторический вид объекта, убрать автомобили с дорог и тротуаров, вернув городу первозданный облик.

### — Каковы дальнейшие планы вашей компании по освоению подземного пространства?

— Планов много. Мы осваиваем новое, учимся. Для того чтобы, как говорится, набить руку в области проектирования подземного пространства, делаем сами для себя проекты, разрабатываем концепции. Мы постоянно исследуем различные варианты возведения подземных сооружений, за счет чего не только повышаем квалификацию, но и наглядно демонстрируем, что и невозможное порой возможно, подталкивая тем самым заинтересованных лиц к практическим действиям.

Активизация процесса освоения подземного пространства мегаполисов невозможна без соответствующего государственного подхода. Экономическую целесообразность проектов следует рассматривать в комплексе, принимая во внимание все мелочи и нюансы, все плюсы и минусы. И только тогда мечты о «городе для людей» станут реальностью.



# THE IMPOSSIBLE BECOMES POSSIBLE...

*Perhaps many of the Saint-Petersburg inhabitants at least once in their life wondered what will the Northern capital look like in, say, 50 or 100 years. It is clear that futuristic views are individual enough, nevertheless, I will take courage to outline a city of dreams. A megacity of the future means buildings deeply sunk into green, environment-friendly surroundings, such as gardens, parks, full-featured sport forums, cultural heritage centers, in a word, into a big cluster of possibilities for all-round and harmonious development of the individual. Hustle and bustle of a big city with its elevated highways, multi-level traffic exchanges, buzzing roads, will descend underground which is seethed and teemed with life, and where you can feel the inimitable daily rush of urban life. On the surface instead you see a somewhat lazy idyllic lifestyle reigning in tranquility and placidity. You might say that there's no use of wishful thinking when the point is to get home after work without nervous breakdown caused by traffic stress, to avoid getting stuck in endless traffic jams. But say what you will, the idea "cities for people" starts to win the world even if not on a large scale. Anyway, the idea that the most daring and seemingly unrealizable schemes can be implemented in the foreseeable future is shared by Krzysztof Pomorski, Chief Technology Officer of the Highrise and Underground Works Design Engineering office Ltd, who kindly assented to respond to the "Underground Horizons" queries.*



— What in your opinion are the main reasons for the underdevelopment of underground space in Saint-Petersburg; in fact there are no other underground projects except for metro construction here, to say nothing of other Russian regions?

— Every cause has its objective and subjective reasons. If you open a world geological map that ranks subsoils according to their acceptability for underground construction, you will see that almost entire territory of Russia is rated 4th class in the underground construction acceptability, and this is the lowest possible score. Our soils are mostly sedimentary, and to construct on sedimentary rock is rather a challenging task. There are exceptions to the rule, i.e. the Caucasus region, and Sochi in particular, but there are not so many regions of that kind in Russia.

We shall admit that Saint-Petersburg is not the best place for underground construction. It is not built on rock as Singapore that due to its subsoil parameters has become a test area for big infrastructural underground projects; one example is a R&D chip technology center constructed there.

— However, in the 70s–80s of the last century in the city then called Leningrad a general underground space development scheme was proposed for consideration and implementation. To what extent was it realistic?

— The main reason of its being shelved was a severe economic crisis combusted in the 1990-s in Russia and

Interviewed  
by Maria Vasilieva



continued up to the 2002. Only today Russia is recouping its Soviet-era standards.

It is a common knowledge that the underground construction projects were always rather expensive and required high upfront investment. More than that, this sector does not offer immediate commercial feedback, it requires a forward-thinking capacity and needs actors who are used to think globally and are ready to accept the fact that the project will bring profit only with a relatively long lag. The above said soviet scheme provided for 70sq.km underground structures of different functions. In these times the document was unique in its kind. We see that long ago the country leadership was able to see the underground future of big megacities notwithstanding the fact that appropriate technologies did not exist. The plan straightforwardly said that a major part of structures could not be constructed, but identified the challenge to find and develop relevant methods and tools in the nearest future. Under right set of conditions this long-term project could be partially implemented.

Nowadays, an immediate priority is a new underground construction plan covering a longer period, say of approximately 100 years. Cities calendar differs from ours, it is commensurable with the buildings "life expectancy". One hundred years is not quite a long period for them.

The underground space shall be developed progressively as resources become available and as necessity arises. Urban development schemes should proactively plan for those key plots that will be possibly needed for future underground projects, and keep them protected.

The second task to be performed is to determine economic feasibility of underground construction. Take

for instance sewer conduits. At first sight it is not a cheap deal. But if you consider maintenance and repair expenses for various utility lines that were simply dug-in, then a simple calculation will show that economic effect will be reached in 25 years. Besides, our descendants will have a more effective and "civilized" collection system and utility lines put under constant control. With due preventive and maintenance measures, accident situations will be practically excluded.

A similar situation happened to other underground construction projects. But expenditure evens itself out over time. The "descend" of the city underground will vacate large surface spaces. With the Leningrad scheme implemented, over 4000 hectares in the downtown areas would be available for new construction. Calculate their market price and the cost of structures built on them. The construction of road tunnels will also amortise itself in the long run as it will give the city a bonus of no traffic congestion.

All modern cities worldwide develop their underground spaces. Beijing undertakes to totally eliminate surface carrier. Yes, the total motoring era stimulated and created a love for high speed and comfort in many people's mind. But nevertheless these are gradually being replaced by the understanding that human beings are more important than cars. It is not that we exist for cars, just on the contrary, the cars exist for us. The Earth is also for human beings. Would it not be better to lay out parks instead of highways? More and more people answer this question positively. This is already being done in Seoul, in Paris and in many other cities.

**— What efforts should be made to get Russia to adopt world underground development trends at least as a strategic vision?**

— As is well known, any state starts with legislation; the law that regulates construction activities should be further developed both at federal and regional levels.

The Saint-Petersburg Law on Green Spaces demonstrates total absurdness of emerging challenges. Let us imagine a lawn in a downtown area. Parkings under lawns are prohibited by law, even if the lawn will be reinstalled on work completion. Besides, underground structures located at a certain depth in no way impede the growth of grasses. But the law is unrelenting — forbidden means that it cannot be done.

But it is not enough to repeal obsolete laws. In order to improve legislation it is crucial to take a further step forward, and to establish and implement a 3D cadaster. Converting cadastral register from 2D to 3D version will make all underground communications "visible", and once and for all define who owns what.

Just one example, nowadays one can build a house not knowing that there is a subway line beneath. On the other hand, every company can buy a plot of land and to build a sky scraper on 60-meers long piles over a future underground line thus blocking the construction of it.

The 3D cadaster will make underground works register well-structured and clear enough, and to prevent unwanted development of events.

A further challenge is to modify current standards for the design and construction of parkings; those currently





valid do not allow to realize parking lots with more than 5 levels.

— **Nowadays almost every modern building has its own underground parking system. As is well known, also the “Maryinka” project had an important underground component. To what extent was the idea put in practice?**

— We built an automatic parking system for 93 spots to partially meet the needs of the theatre artists and personnel. It is worth mentioning that inside theatre buildings, and it is especially important in case of musical theatres, there should be no parkings at all. Parkings are sources of sounds, noise and special dangers. To avoid these negative effects we proposed innovative technologies and modern acoustic insulation systems.

The initial objective declared by the city governor was to build several parking lots that could be used not only by the “Maryinka” visitors, but also by those theatre goers who attend the Conservatoire and other cultural institutions located in the Teatralnaya Ploshad area. Estimates showed that not less than 800 car spots are needed in order to meet parking requirements in this area. We have proposed several options, and are waiting for the authority’s decision. The project is technically realizable.

— **What kind of car parkings is to your mind the most applicable for the Saint-Petersburg area?**

— Let me say immediately that an underwater parking is always cheaper than its underground alternative. Technical solutions similar to those that we proposed for the Kryukov channel are based on this consideration. There are many “pros”, especially in relation to earth removal and stockpiling. Another benefit is that a water

barrier is crossed by minimum communication lines, and this makes the task of network relocation much easier. The third advantage is that the method gives you the opportunity to clear out washbasins.

We also proposed an idea concerning the Obvodny Channel. The channel passes an industrial zone that will be transferred outside the city. Once it will be done, the city will be able to liberate itself from the ground road called Obvodny Channel Embankment. In which way? Releasing water from the channel, descending at another 10 meters, building a highway, all necessary communication lines, and a big number of parking lots. After that the site will be filled from above to shape the channel bottom, and then it will be filled with water. Large territories along the channel that were vacated with the project implementation can further be used for parks and green zones; clean banks of the channel would provide a nice space for a new residential area built on it. And the price of new housing located in a now green city center, will break even on the underground construction investment. Of course, if we avoid all the above considerations and limit ourselves with net project costs, the needed sum would for certain seem daunting.

— **One of visible development trends in megacities is the intention to build transfer transport junctions (TTJ). Could you please tell us about you company interest in similar projects? As an example, do you believe that your proposals regarding the “Troparyovo” junction in Moscow would be accepted and realized?**

— To my opinion, we are witnessing a somewhat lopsided approach to these projects. Indeed, the TTJ idea is widely viewed as a commuting program, as a means to reduce the overall demand for the use of personal



vehicles by furthering public transport. Accordingly, the TTJs are seen as sets of intercepting parking lots, underground exits and bus, tramway and trolleybus stops.

In actual practice TTJ is a local center of urban infrastructure, and its main function is to draw people back from city centers, to make them change their plans so that instead of going somewhere downtown they would prefer to stay where they are. In order to attract visitors some “tasty” factors should be used, and among them large shopping centers, multiplexes, skating-rinks, children’s playgrounds, coffee-rooms and restaurants. Needless to say that parkings and TTJ’s are essential, but a key role here is not theirs. Correctly designed and constructed TTJ becomes “a city within a city” that provides an appropriate complex and comprehensive infrastructure for a neighborhood.

There can be no doubt that such structures are needed. We have conducted a comprehensive traffic analysis on the corridor linking the Murmansk highway in the east and the Petergof highway on the west of the city. The link is Leiniskiy prospect — prospect Slavy — Ivanovskaya street — “Lomonosovskaya” metro station — Volodarskiy bridge — Narodnaya street — Kudrovo. Traffic on the highway is always heavy both during the week and at weekends. The number of accidents here beats all conceivable records. On weekdays there are always a lot of trucks. A good weather is a rare phenomenon here, and at weekends Peterburgers go to the “Mega” mall not only for shopping, but also just to spend their free time there: they go to cinemas, take a walk, skate on the indoor ice rink. The area is full of bottlenecks and complex crossings. Our proposal was to build a multi-level road junction on one of those complex crossings, on Gamburskaya square in order to make the road non-stop and to connect it with underground parking lots and with business and leisure centers. These “nodes” can be seen as “nucleuses of condensation (crystallization)” that partly decrease the “brownian motion” on a road network.

As for the TTJ “Troparyovo” solution, I explain it with a wrong approach to its functionality. We have developed several options of the project that differed by square. One of it (230 000 m<sup>2</sup>) was presented by Moscow Government in the International Real Estate Show MIPIM-2014 in Cannes. The project contained all necessary TTJ elements; apart from these it had an office center, a hotel center, shopping areas and plenty other things. Another project smaller in space (75 000m<sup>2</sup>) also contained a lot of interesting points. But the TTJ project currently under design has been turned into a simple square with public transport stops and turning circles. A promising idea was brought to zero. Hopefully, it was a sporadic misunderstanding, We believe that the situation will change, and the TTJ will be built for real urban needs, and not just for changing from one bus to another.

Meanwhile, we are engaged in the design of 5 TTJs to be built in Moscow. A decision was taken in Saint Petersburg to promote construction of TTJs, but up to now no practical action has been taken.

— **And what happened to your concept of the Sennaya Square underground space development?**

— The basic idea was to show that even in a historical district of the monument-city, the one like St. Petersburg, you can create a XXIth century TTJ.

The project’s primarily objective was to build a number of underground parking lots in order to remove all cars from the surface within a 800 m radius. The second objective was to realize a multi-level traffic exchange to remove all cars from the surface and to create a large pedestrian zone. The underground space had to be large enough to accommodate parkings, bus and tram stops, shopping areas. All these had to be connected with metro stations. This concept can be considered our little provocation. Many are now wondering how to improve the traffic situation in the city protected by UNESCO, where invasion to the architecture of its central part is absolutely forbidden.

We managed to show that, cars can be removed from the roads and sidewalks, and the original appearance returned to the city without destroying its beauty and historical image.

— **What are your company’s future plans with regard to underground space development?**

— We have a lot of them. Now we are studying and acquiring new concepts. In order to, as they say, become a skilled hand in the design of underground space, we are making projects for ourselves thus developing new visions. We are constantly analyzing various underground construction options, and this allows us not only upgrade but also clearly demonstrate that sometimes the impossible becomes possible, thus encouraging stakeholders to action.

To advance the underground space development in megacities would be impossible without involvement of state bodies. Economic viability of the projects should be looked at comprehensively, with due account of all the details and nuances, of all pros and cons. And only then the dreams of “city for people” will become true.





# ДОРОГА

5-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА-ФОРУМ

**13-15 октября  
2014 года**

**МВЦ “Крокус Экспо”  
1 павильон, залы 3 и 4**

## ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ

Инновации;  
Интеллектуальные транспортные системы (ИТС);  
Безопасность дорожного движения, дорожный сервис;  
Мосты и тоннели (проектирование, строительство, эксплуатация);  
Дорожно-строительная техника и лизинг.

Организатор:

 **Крокус Экспо**  
Международный выставочный центр



**Министерство  
транспорта РФ**



Официальная поддержка:

 **РОСАВТОСТРАН**

 **АВТОДОР**  
Специализированный оператор

Соорганизатор  
деловой программы:

 **praum**  
Специализированный оператор

ДИРЕКЦИЯ ВЫСТАВКИ: +7 (495) 983-06-78, WWW.DOROGAEXPO.RU  
МВЦ КРОКУС ЭКСПО: М. "МЯКИНИНО", 65-66 КМ МКАД (ПЕРЕСЕЧЕНИЕ МКАД И ВОЛОКОЛАМСКОГО ШОССЕ)

**12+**

С 14 по 16 мая в Москве на новой для экспонентов площадке Всероссийского выставочного центра (ВВЦ) состоялись важнейшие мероприятия дорожной отрасли: VI специализированная выставка по проектированию и строительству транспортных объектов: автомобильных и железных дорог, мостов, портов и аэропортов TransCon, VI Международная специализированная выставка по проектированию, строительству и эксплуатации тоннелей Intertunnel, II Международная специализированная выставка по организации дорожного движения Exprotraffic. Мероприятия прошли при активной поддержке Государственной думы, Министерства транспорта РФ, правительства Москвы, Тоннельной ассоциации России и Международной академии транспорта.

*From 14 to 16 May, Moscow's all-Russian Exhibition Center, a site new for exhibitors, hosted road sector essential activities. The article concentrates on one of them: VI Transport Congress. It presents the range of themes and ways to address them*

Людмила АЛЕКСЕЕВА

## В ПРИЦЕЛЕ – ИННОВАЦИИ



**Б**езусловно, главным событием деловой программы стало проведение VI Транспортного конгресса. В рамках этого форума происходил обмен опытом в реализации инфраструктурных проектов в областях железнодорожного транспорта, тоннельного хозяйства, технологий транспортного строительства, рассматривались вопросы использования специальных материалов и оборудования, повышения инвестиционной привлекательности транспортного строительства.

На пленарном заседании обсуждались текущее состояние дел и перспективы развития дорожно-транспортной инфраструктуры России, реализация стратегии развития транс-

портных систем городов и агломераций. Все это дало хороший импульс участникам конгресса для продолжения работы на заседаниях тематических круглых столов, один из которых — «Транспортные тоннели будущих скоростных магистралей» — затрагивал тему подземного строительства.

Его модератор Георгий Будницкий сразу обозначил ключевые вопросы последующих дискуссий, среди них:

- основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных мегаполисов;
- строительство автодорожных тоннелей в сложных горно-геологических условиях;



- развитие и совершенствование сети метрополитенов в мегаполисах;
- повышение уровня безопасности при строительстве тоннелей и метрополитенов на современном этапе;
- пути реализации крупных проектов транспортного строительства, объединяющих экономические пространства двух или нескольких стран;
- пути реализации перспективного плана развития метрополитена в Москве на 2012–2020 годы.

Первую часть заседания открыл Михаил Лебедев, заведующий лабораторией научно-исследовательского отдела ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», выступил с докладом о проекте горно-экологического мониторинга транспортных тоннелей. Он отметил, что при строительстве должен проводиться мониторинг подземных сооружений, коммуникаций грунтового массива, наземных объектов, попадающих в зону строительства, экологический мониторинг. При эксплуатации приоритетными становятся сейсмомониторинг, оценка геодинамической активности системы «тоннель — массив», бесконтактный метод регистрации электромагнитной эмиссии, определение напряженно-деформированного состояния крепей и обделок (СМИК), контроль схода лавин и землетрясений, параметров воздушной среды и ее загрязнений ядовитыми и отравляющими веществами (атмомониторинг).

Точкой зрения на проблему актуализации инженерно-геологических изысканий при строительстве Московского метрополитена поделился профессор кафедры инженерной геологии РГГРУ Евгений Пашкин. Он заявил, что «актуализация — это переход события из состояния возможного в состояние действительного». По его словам, нынешнее время следует считать «революционным в деле строительства тоннелей различного назначения, поскольку используются ультрасовременные технологии (ТПМК)». Тем не менее докладчик обратил внимание на то, что информация, получаемая по результатам проведения инженерно-геологических изысканий, недостаточна и не может удовлетворить запросы проектировщиков.

Евгений Меркурьевич считает важным восстановить некогда утраченную инженерно-геологическую документацию, полученную при строительстве подземных сооружений Москвы до середины XX века. Он подчеркнул, что необходимо, во-первых, создать условия для фондирования материалов и, во-вторых, изменить характер изысканий в процессе строительства, чтобы иметь возможность получать данные для создания типизированных грунтовых массивов, участков и т. д.



Об инновационных решениях, применяемых при креплении тоннелей, рассказал представитель итальянской компании «Элас Геотехника» (ООО «Габियोны Маккаферри СНГ») Кристиано Бономи. На примере объекта, расположенного в провинции Пале (Италия), докладчик показал преимущества применения системы V. Zero Tondo вместо традиционной арочной крепи, использующей двутавровые профили. Новое решение включает в себя крепление трубчатыми арками и набрызг-бетонирование со стальной сеткой и/или стальной фиброй.

Еще один представитель Италии, руководитель проектов компании Rocksoil SPA, главный инженер проекта тоннеля №8 Дублера Курортного проспекта в Сочи Андреа Боллоккьо, поделился результатами применения инновационной для России технологии проходки по методу «Адеко» на примере вышеуказанного объекта.

Тему инноваций продолжил Игорь Харченко, заместитель начальника НИЦ по освоению подземного пространства ОАО «Мосинжпроект». При строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки одна из чрезвычайно актуальных проблем — устранение сверхнормативных осадочных деформаций зданий и сооружений. По мнению специалистов компании, метод компенсационного нагнетания наиболее перспективен для решения этой задачи. Суть его заключается в том, что в основании здания создается специальный грунтовой массив, в объеме которого формируется избыточное давление с заданными параметрами, в результате получается некое подобие гидравлического домкрата, способного «приподнять» здание.

Московский метрополитен стремительно расширяется и, естественно, жители

близлежащих домов ощущают все «преlestи» стройки на себе. Для минимизации ущерба, наносимого людям, научное сообщество занято поиском новых методов борьбы с вибрацией. О некоторых разработках в этой области рассказал Евгений Курбацкий, профессор кафедры «Мосты и тоннели» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ). По его словам, хорошо зарекомендовало себя применение гранулированного материала, состоящего из измельченной резины автомобильных покрышек, перемешанной с песком. Продукт засыпается между тоннельной обделкой и боковыми стенками, и таким образом уменьшает уровень вибрации от работающего оборудования и техники.

Следующая задача, рассмотренная в рамках круглого стола, — нахождение способов уменьшения сроков строительства новых станций Московского метрополитена. Для решения этой стратегической цели Тоннельная ассоциация России намечает возможные пути повышения скорости возведения тоннелей. Сергей Мазеин, руководитель отдела технического регулирования этой организации, в своем выступлении заострил внимание слушателей на объемах геоизысканий и времени фактического строительства метрополитена с помощью ТПКМ. Провел анализ парка ТПКМ, применяемых в Москве, и показал, как следует модернизировать работу щитов.

Подводя краткий итог, можно сказать, что Транспортный конгресс подтвердил свой статус эффективной площадки для диалога и обмена мнениями между властью, наукой и бизнесом в целях решения актуальных вопросов отрасли.

# РОССИЙСКО-ДАТСКИЙ ДИАЛОГ: ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ



*В сознании большей части россиян укоренилось мнение, что передовые технологии могут быть разработаны лишь в западных странах. Но при детальном рассмотрении вопроса данный тезис не выдерживает критики — зарубежным специалистам зачастую есть чему поучиться и у российских инженеров. Подтверждение этому — двухдневный визит в Санкт-Петербург делегации Датского общества тоннелестроения и подземных работ во главе с президентом Международной тоннельной ассоциации (ИТА) Сореном Эскесеном, состоявшийся в конце мая 2014 года. В рамках рабочей поездки зарубежные специалисты познакомились с опытом строительства метрополитена в Северной столице, а также обсудили вопросы освоения подземного пространства и перспектив российско-датского сотрудничества.*

Илья БЕЗРУЧКО



— **Н**ас заинтересовал проект строительства первого в России двухпутного тоннеля глубокого заложения на Фрунзенском радиусе, — отметил Сорен Эскессен. — С докладом на эту тему осенью прошлого года в рамках очередной встречи участников Nordic Forum в Копенгагене выступал генеральный директор Объединения подземных строителей и проектировщиков Сергей Алпатов. Он любезно пригласил нас лично ознакомиться с ходом строительства.

Несмотря на небольшую продолжительность поездки, программа, подготовленная для делегации датских тоннельщиков, получилась более чем насыщенной. Для гостей провели экскурсию по действующему метрополитену. Также они побывали на строительных площадках станций метро «Спортивная-2» и «Южная». А в офисе Объединения подземных строителей и проектировщиков состоялась рабочая встреча с петербургскими специалистами, в которой приняли участие заместитель генерального директора — главный инженер ОАО «Метрострой» Алексей Старков, заместитель генерального директора ОАО «Ленметрогипротранс» Владимир Марков и генеральный директор ООО «НПФ «Водные ресурсы» Евгений Ломакин.

### Глина, известняк и... исторические здания

В рамках рабочей встречи российские инженеры рассказали об особенностях метростроения в Санкт-Петербурге и, в частности, о сложных геологических условиях, в которых приходится работать. Грунты, более или менее пригодные для строительства — твердые сухие глины, — расположены ниже уровня 40 м. Таким образом, средняя глубина заложения тоннелей составляет 50–70 м, что делает Петербургский метрополитен одним из самых глубоких в мире. Осложняет ситуацию наличие палеодолин, а также плотная застройка центральной части города, где особое внимание уделяется сохранности исторических зданий.

В такой ситуации российским инженерам приходится разрабатывать эксклюзивные технологии, а также модернизировать широко применяемые в других странах методики, адаптируя их к специфическим условиям работы. В качестве примера можно привести механизированную проходку наклонных ходов под углом 30 градусов, которую впервые в мире успешно осуществил «Метрострой» при строительстве станций «Адмиралтейская», «Обводный канал» и «Спасская».

С передовыми технологиями, применяемыми на объектах петербургского метрополитена, датские инженеры познакомились во время технических экскурсий на строительные площадки станций «Спортивная-2» и «Южная». В двухпутном тоннеле они обратили внимание на высокое качество отделки, выпускаемой «Метробетоном», одним из самых современных в Европе заводов. Особый интерес члены делегации проявили к проходческому щиту производства немецкой компании Herrenknecht AG, в конструкцию которого инженеры «Метростроя» внесли порядка трехсот изменений.

Датские специалисты отметили сложность решаемых в Северной столице задач и уникальность представлен-



ных российскими инженерами технологий. В свою очередь, они вкратце рассказали о специфике строительства метро в Копенгагене. Часть проблем — наличие палеодолин, ограничения, связанные с сохранностью исторических зданий, — совпадает. Однако в Дании нет необходимости сооружать глубокие тоннели. Неблагоприятные тиксотропные грунты, оставшиеся после таяния ледника, залегают на глубине до 20 м, затем начинается так называемый копенгагенский известняк. Такой грунт достаточно устойчив, но с ним не всегда легко работать — он довольно пористый, к тому же на пути датских метростроителей встречаются твердые породы, что увеличивает время проходки тоннелей.



## Комфорт и безопасность

Датчане отметили не только технические особенности, но и эргономику петербургского метрополитена.

— Нам понравились ваши станции. Они очень просторные, здесь чувствуешь себя комфортно и безопасно, — поделился впечатлениями один из членов делегации. — При проектировании метрополитена в Копенгагене мы обращались к опыту других стран, чтобы добиться аналогичного результата.

Однако удобные станции — это важная, но лишь небольшая часть масштабного транспортного комплекса. Во время беседы с датскими коллегами Сергей Алпатов отметил, что, в отличие от Тоннельной ассоциации России, возглавляемое им объединение в первую очередь заинтересовано в комплексном освоении подземного пространства.

— Для нас очень важно изучение международного опыта, поэтому мы заинтересованы в дальнейшем развитии сотрудничества как с ИТА, так и с Датским обществом тоннелестроения, — заявил Сергей Николаевич. — Многие возникающие вопросы легче решать совместными усилиями. Со своей стороны, мы готовы принимать активное участие в работе международной ассоциации, подключая к ней представителей научных и учебных заведений, проектных институтов и строительных компаний. Необходимо также наладить эффективный информационный обмен. Важным элементом в этом процессе является наш сайт, в рамках которого мы готовы широко представлять передовой международный опыт для специалистов всего постсоветского пространства.

## Широкие перспективы

В свою очередь, Сорен Эскессен отметил важность вступления России в организацию Nordic Forum, объ-

единяющую страны Северной Европы. На ее регулярных (два раза в год) заседаниях проходит плодотворный обмен опытом в сфере освоения подземного пространства. В октябре прошлого года гостей принимала Дания. А в мае 2014 года такая встреча состоялась в рамках Международного тоннельного конгресса в Бразилии.

— В очередной раз участники Nordic Forum соберутся вместе осенью, это мероприятие вошло в деловую программу Международной конференции Vancouver TAC 2014, организуемой Тоннельной ассоциацией Канады. Мы заинтересованы в том, чтобы на этой встрече были представлены российские доклады, для нас очень важен ваш взгляд на подземную проблематику, — заявил Сорен Эскессен.

Президент ИТА рассказал, что для более эффективного распространения идей освоения подземного пространства при Международной тоннельной ассоциации был создан Комитет по подземному пространству (ITACUS), который уже приступил к активной работе в рамках программы ООН «Устойчивый город» (Resilient City).

Для популяризации данной темы мы выпускаем специальные документы, так называемые «Белые бумаги» (White paper), в которых подробно излагается позиция ассоциации и основные цели и задачи на долгосрочную перспективу. В текущем году подписаны контракты с представителями СМИ Великобритании и Франции, направленные на широкое освещение подземной проблематики. Также функционирует веб-сайт ИТА, состоящий из двух основных частей. Первая — «Почему мы должны строить под землей?» — включает большой объем общих сведений для широкого круга лиц. Вторая, предназначенная для членов ИТА, содержит узкоспециализированную информацию.

— В настоящее время продолжается наше тесное сотрудничество с Объединением исследовательских центров подземного пространства мегаполисов (ACUUS), — отметил Сергей Алпатов. — В 2012 году мы проводили в Санкт-Петербурге конференцию ACUUS, одно из самых масштабных мероприятий, посвященных комплексному освоению подземного пространства урбанизированных территорий. Мы вышли с предложением вновь провести конференцию в нашем городе в 2016 году, эту инициативу уже поддержал совет директоров ACUUS.

Сергей Алпатов пригласил президента ИТА принять участие в этом мероприятии, а также предложил рекомендовать представителей Международной тоннельной ассоциации в состав оргкомитета конференции. Глава датской делегации, в свою очередь, заявил о готовности поддержать российских коллег и оказать всю необходимую помощь при подготовке столь масштабного форума.

— Этот визит открывает широкие перспективы для нашего дальнейшего сотрудничества, — подвел итог встречи Сорен Эскессен. — Мы многое увидели, обменялись информацией и в итоге остались довольны достигнутым результатом. Я уверен, что нашим специалистам было бы интересно участвовать в российских проектах. Как с точки зрения бизнеса, так и в плане изучения оригинальных технических решений.





## RUSSIAN-DANISH DIALOGUE: TO BE CONTINUED

*The idea that advanced technologies come into being only in Western countries is deeply rooted in the minds of most Russians. But on a closer scrutiny this thesis does not hold water — foreign experts often have something to learn from Russian engineers. One clear example is a two-day visit of Danish Tunneling Society delegation to St. Petersburg held at the end of May 2014. The delegation was headed by the President of the International Tunneling and Underground space Association (ITA) Soren Eskesen. During the visit foreign experts familiarized themselves with the Northern capital subway construction practices, discussed underground space development and Russian-Danish cooperation prospects.*

— **O**ur interest was attracted by the project of first double-track tunnel in Russia, — said Soren Eskesen. — Last fall in Copenhagen we heard Sergey Alpatov, General director of Underground Builders and Designers Association who made a presentation on this subject. He kindly invited us to come to Russia to learn more about it, and to see the construction works in progress.

Despite the shortness of the trip, the trip agenda prepared for the Danish subway delegation appeared quite heavy. The guests made a tour on operating underground lines. They saw construction sites of metro stations "Sportivnaya-2" and "Yuzhnaya." Then a task meeting with the St. Petersburg experts was held in the office of

Underground Builders and Designers Association. On the Russian side the meeting was attended by Alexei Starkov, Deputy General Director and Chief Engineer of JSC "Metrostroy"; Vladimir Markov, Deputy General Director of JSC "LenMetroGiproTrans"; and Eugene Lomakin, CEO of "NPF "Water Resources".

### Clay, limestone and... historic buildings

At the task meeting Russian engineers spoke about special aspects of subway construction in St. Petersburg, and about difficult geological conditions in the St. Petersburg area in particular. The soils more or less suitable for the construction are solid dry clays lying at a

Ilya BEZRUCHKO



depth of 40 meters. Thus, the average depth of the tunnels is 50--70 m, and this makes the St. Petersburg Metro one of the deepest in the world. The situation is aggravated by restrained urban conditions of the downtown area where particular attention is given to historic urban landscapes protection.

Under these conditions the Russian engineers have to design original technical solutions, and to modernize techniques widely used in other countries in order to adapt them to the specific local requirements. One example is mechanized tunneling at an angle of 30 degrees, which was successfully implemented by "Metrostroy" for the first time in world practice during the construction of "Admiralteyskaya", "Obvodniy Canal" and "Spasskaya" stations.

Danish engineers were exposed to advanced technologies used on St. Petersburg metro facilities when they visited construction sites of "Sportivnaya-2" and "Yuzhnaya" stations. At the site of the double-track tunnel their attention was attracted by top quality lining produced in the "Metrobeton"-owned manufacturing unit that is considered to be one of the most modern manufacturing units in Europe. Danish colleagues showed particularly keen interest in a TBM produced by German company Herrenknecht AG; the machine was modified by "Metrostroy" engineers who introduced about three hundred changes in its design.

Danish experts recognized the complexity of tasks facing the Northern capital engineers, and the uniqueness of technologies presented by Russian engineers. In turn, they

spoke briefly about specific features of Metro construction in Copenhagen. One part of Copenhagen problems such as limitations imposed by historic buildings protection laws is the same as in Saint Petersburg. However, there is no need of deep tunnels in Denmark despite paleovalleys of the area. Adverse thixotropic soils left by glacier are found up to 20 m depths, and lower lies the so-called "Copenhagen limestone." The material is stable enough, but it's not always easy to work with, as it is quite porous; besides, the Danish subway builders encounter hard rocks on their way, and it increases the construction timescale.

### Comfort and safety

Danish subway builders made a point not only of technical features, but also of ergonomics of the St. Petersburg Metro design.

— We really liked your stations. They are very spacious, and one feels comfortable and safe here, — shared his impressions one of the delegation members. — When designing subway in Copenhagen we turned to other countries practices to achieve similar results.

And yet, comfortable stations are important, but make small part of large-scale transport complexes. During a conversation with Danish colleagues Sergei Alpatov emphasized that the Association he heads is primarily aimed at comprehensive development of underground space. Therefore the Association of Underground Builders and Designers joined the Committee on Underground Space (ITACUS). ITACUS was launched by International





Tunnelling Association to share more effectively knowledge and diffuse as widely as possible underground space development ideas. The Committee has already started to actively implement the UN program “Resilient City”.

— International experience is very important for us, so we are keen to develop cooperation with both ITA and Danish Tunneling Society, — states Sergey Alpatov. — Many emerging issues can be solved easier through collective efforts. On our part, we are ready to work actively in the international association involving to cooperation Russian science and studies institutions, design and construction companies. It is also necessary to establish effective exchange of information. An important part of this process is our website [undergroundexpert.info](http://undergroundexpert.info), where we can present best international practices to the attention of professionals of all post-Soviet space.

### Diverse perspectives

In turn, Soren Eskesen emphasized the importance of Russia’s accession to the Nordic Forum organization, which brings countries of northern Europe together. Their regular meetings (held twice a year) provide a good opportunity for fruitful exchange of experience in the underground space development. Denmark hosted the meeting last year in October. In May 2014 the meeting was held at the International Tunneling Congress in Brazil.

— Nordic Forum participants will gather again this fall, the event was included in the business program of the International Conference Vancouver TAC 2014 organized

by Tunnelling Association of Canada. We are interested to hear Russian presentations at this meeting, your opinion on the underground perspective is very important for us— said Soren Eskesen.

Sergei Alpatov, in turn, invited ITA President to participate in the international conference that will be held in St. Petersburg in 2016.

— We continue close cooperation with the Associated research Center for the Urban Underground Space (ACUUS), — said Sergey Alpatov. — We have proposed to hold a conference in our city in 2016, this initiative has been already supported by the ACUUS board.

He also proposed to include the International Tunnelling Association representatives to participate in the conference organizing committee. Head of Danish delegation, in turn, has declared his readiness to support the Russian colleagues and to provide all necessary assistance in preparation of a such a large-scale forum.

— This visit opens up broad prospects for our future cooperation, — Soren Eskesen summed up the results of discussions and meeting. — We saw a lot, exchanged knowledge and looked at the Russian underground construction achievements in a different way. As a result, we are satisfied with the outcome and I am sure that our team would be interested in participating in local projects, be it business or original technical solutions. I believe that the ACUUS 2016 conference in St. Petersburg will open a great opportunity for Russian companies to assert themselves in the world professional community.

# ТОННЕЛИ — ДЕЛО ОБЩЕЕ



**Санкции Европейского союза и США против России, принятые в связи с украинскими событиями, — тема, которую горячо обсуждает весь мир. Но как мы все прекрасно знаем — одно дело политика, и совсем другое — реальная жизнь. Существует множество вопросов, эффективное решение которых возможно лишь при объединении усилий всех ведущих мировых специалистов. И здесь наша страна занимает далеко не последнее место. В частности, Европа заинтересована сотрудничать с Россией в вопросах освоения подземного пространства. Очередным подтверждением этому стал визит в Санкт-Петербург руководителя комитета по технике и оборудованию Французской ассоциации тоннелей и подземного пространства (Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain, AFTES) Франсуа Валина.**

**Р**абочая встреча, в которой также приняли участие глава Объединения подземных строителей Сергей Алпатов, главный инженер ОАО «Метрострой» Алексей Старков и специалисты проектно-изыскательского института «Ленметрогипротранс», состоялась 2 июля 2014 года. На мероприятие был приглашен и представитель журнала «Подземные горизонты».

В ходе встречи Франсуа Валин сделал короткое сообщение, в котором представил свою ассоциацию и себя лично. Он сообщил, что возглавляемый им комитет специализируется на тоннельном оборудовании, причем речь идет не только о строительных машинах, а о целом комплексе технического оснащения, который находит применение при проходке тоннелей, многие из которых знакомы ему не понаслышке. Так, г-н Валин принимал участие в ряде крупнейших проектов по всему миру, в том числе участвовал в строительстве тоннеля, соединяющего европейский континент с Великобританией, и создании первой линии метрополитена в Шанхае.

Г-н Валин акцентировал внимание на том, что его визит в Петербург носит некоммерческий характер и что в первую очередь он заинтересован в обмене опытом и информацией между французскими и российскими специалистами. В ходе беседы Франсуа Валин рас-

сказал о структуре AFTES, технических особенностях строительства тоннеля под Ла-Маншем, проблемах подземных сооружений на высокоскоростных железнодорожных магистралях, а также высказал свое мнение относительно строительства транспортного перехода через Керченский пролив.

## Комитеты готовы сотрудничать

По словам г-на Валина, французская ассоциация тоннелей и подземного пространства объединяет заказчиков работ и подрядные организации, причем членами AFTES являются не только французские специалисты, но и представители других стран.

В структуре ассоциации функционирует ряд профильных комитетов. Технический комитет разрабатывает рекомендации по выбору технологий и оборудования. Вопросы развития подземного строительства и сопровождения таких глобальных проектов, как подземные города, курирует комитет подземного пространства. Отдельный комитет возлагается задачи проведения конгрессов, посвященных освоению подземного пространства. Подобные мероприятия проводятся каждые три года в разных городах Франции. Ближайшая встреча состоится в середине октября

Илья БЕЗРУЧКО



2014 года в Лионе. Еще один комитет занимается вопросами образования. В прошлом году магистратуру по специальности «подземное строительство» успешно закончили 13 студентов из 10 стран. Эксперты комитета, который возглавляет г-н Валин, занимаются вопросами применения материалов и техники при строительстве под землей. В частности, они участвуют в конструировании тоннелепроходческих механизированных комплексов.

Франсуа Валин отметил, что члены ассоциации открыты для сотрудничества и готовы обмениваться информацией.

## Самый скоростной в Европе

Одна из главных тем, которую обсуждали на прошедшей встрече, — строительство тоннелей на высокоскоростных магистралях (ВСМ). Например, такое искусственное сооружение в настоящее время строится в районе французского города Саверн на высокоскоростной железнодорожной линии Париж — Страсбург. Коммерческая скорость поездов на этом направлении будет составлять 320 км/час (для сравнения: максимальная скорость в других тоннелях не превышает 210–250 км/час).

— Это будет единственный в Европе тоннель со столь высокой скоростью движения, — рассказал Франсуа Валин. — Сооружение представляет собой два параллельных тоннеля, проходка которых будет проводиться с помощью ТПМК диаметром 14 метров. Непосредственно строительство подземного сооружения не вызывает сложностей, несмотря на некоторые особенности местной геологии. Основные трудности связаны с высокими аэродинамическими нагрузками, которые возникают во время движения поезда на большой скорости. Чтобы решить эту проблему, инженеры разработали специальные сбойки, которые позволят компенсировать воздействие аэродинамических сил.

Рассказывая о строительстве тоннеля под Ла-Маншем, г-н Валин отметил, что там инженеры применили другое техническое решение. Для снижения давления воздуха в тоннеле было решено увеличить его сечение. Однако при реализации этого проекта строители столкнулись с другими проблемами, негативно повлиявшими на стоимость и сроки сдачи тоннеля. В частности, не было разработано единого комплексного проекта, каждый этап проектировался отдельно. Также больших временных затрат потребовало использование рельсовых откаточных путей для отгрузки грунта. Чтобы демонтировать рельсы, заново провести инженерные сети и приступить к внутренней отделке, было потрачено около года (!). В результате всего этого конечная стоимость объекта вдвое превысила первоначально заявленную и составила порядка 15 млрд евро.

### «Конечно тоннель!»

В рамках встречи российские инженеры поинтересовались мнением французского коллеги по поводу строительства Керченского перехода: какой — мо-

стовой или тоннельный вариант он считает наиболее эффективным?

— Конечно, я за тоннель, — улыбаясь, прокомментировал Франсуа Валин. — Естественно, для ответа на этот вопрос необходимо ознакомиться с результатами изысканий. Много зависит от геологии, ведь строительство моста предполагает устройство очень глубоких свай. К тому же необходимо учитывать ветровую нагрузку на сооружение. При реализации проекта перехода через Ла-Манш нам пришлось выбирать из пяти предложенных вариантов, три из которых предполагали



строительство мостов, и еще один, комбинированный, включал мост и тоннель. Но для их реализации требовалась отсыпка островов, что создавало бы помехи судоходству. В итоге мы остановились на строительстве железнодорожного тоннеля. В перспективе планируется строительство второго, автодорожного. Рано или поздно он будет построен, но окончательное решение на этот счет еще не принято.

Российские подземщики рассказали коллеге и о дополнительных сложностях, связанных со строительством Керченского перехода: необходимости строительства высокого пролетного строения с подмостовым габаритом не менее 70 метров, и сложных сейсмических условиях (Керченский пролив расположен в 9-балльной зоне). Франсуа Валин согласился, что тоннельный вариант при таких условиях имеет ряд преимуществ. Он дал согласие принять участие в защите тоннельного варианта и попросил выслать ему материалы проекта, чтобы с ними ознакомились специалисты ассоциации и дали свою экспертную оценку.

Также в рамках встречи Сергей Алпатов вручил Франсуа Валину проект рамочного соглашения об информационном партнерстве между AFTES и Объединением подземных строителей и проектировщиков. Г-н Валин отметил, что подписание этого соглашения состоится в ближайшее время. Ассоциация уже имеет тесные контакты с российскими вузами и готова и дальше развивать деловые связи с российским профессиональным сообществом.



Е.А. ЛОМАКИН,  
к. геол.-мин. наук,  
генеральный директор;



Д.И. ПРОКОПЧУК, м.н.с.  
ООО «НПФ «Водные  
ресурсы»

***The key tool for resolving urban planning problems is comprehensive informational rationale and support. Such materials as well as information support of construction projects should necessarily include the data received in the course of geotechnical survey of underground space performed on the basis of comprehensive multilevel models that contain substantive description of underground and surface structures. The article discusses some special issues of new information technologies aimed at survey, design and construction support (IT-RPB).***

# СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ — ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗЫСКАНИЙ ИЛИ СРЕДСТВО ПРЕЗЕНТАЦИИ ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

*Почти 20 лет назад, когда наша компания только начинала использовать современные информационные технологии для планирования, интерпретации и представления проектировщикам результатов изысканий, один из трех специалистов, стоявших у истоков наших разработок, ввел едкий в своей точности термин: «веселые картинки». Что означало сокрытие недостатков изысканий за ширмой наглядного презентационного материала. Понимая его скепсис, базирующийся более чем на тридцатилетнем опыте строительства подземных объектов, последующие годы мы практически не занимались презентационными технологиями, сосредоточив все свое внимание на переходе от уровня «веселых картинок» к методу, востребованному инвесторами, проектировщиками и строителями, то есть лицами, принимающими решения (ЛПР). Так была построена информационная технология сопровождения изысканий, проектирования и строительства (IT-RPB). Прежде чем ответить на вопрос, вынесенный в название работы, определим сферу эффективного применения IT-RPB, аккумулировав для этого естественные запросы ЛПР.*

**В**ходе парламентских слушаний 15 мая 2014 года было подчеркнуто, что основным инструментом разрешения проблем градостроительного планирования является его комплексное информационное обоснование и сопровождение. Согласно ГрК РФ градостроительное проектирование должно опираться на соответствующие обосновывающие материалы. С практической точки зрения крайне важно, чтобы такие материалы, а также информационное обеспечение конкретных строительных проектов включали в себя этап выявления геотехнического строения подземного пространства (ПП) на основе информационно-полных многоуровневых (территориальное планирование — ТП, планирование территорий — ПТ проектирование — ПР) моделей (5D-МИМ), содержащих предметные (инженерная геология, геотехника, социология, технико-экономические расчеты) BIM — описания подземных и наземных объектов (ПНС), реализуемого в рамках единой информационно-технологической

платформы (ИТП). Это позволит на всех этапах строительно-инвестиционного цикла (СИЦ), в режиме реального времени разрабатывать и сопровождать выполнение многоуровневых решений (MR) по освоению ПП. Первым необходимым шагом является разработка единой ИТП, а также предметных моделей (инженерно-геологических, геотехнических и социально-экономических), работающих под их управлением (предметные модели — ПМ).

Построение подобных моделей проводится в рамках пошаговой стратегии. Основные принципы работы трехуровневых (ТП, ПТ, ПР) многомерных ((1-5)D) информационных моделей (МИМ) приведены в табл. 1. Главной задачей является создание семейства информационных моделей, позволяющих за счет многократного, многоуровневого использования информации, создать инвестиционно-привлекательный, в рамках СИЦ, продукт. Отсюда — основное внимание на бережную работу с исходной, промежуточной и расчетной информацией.



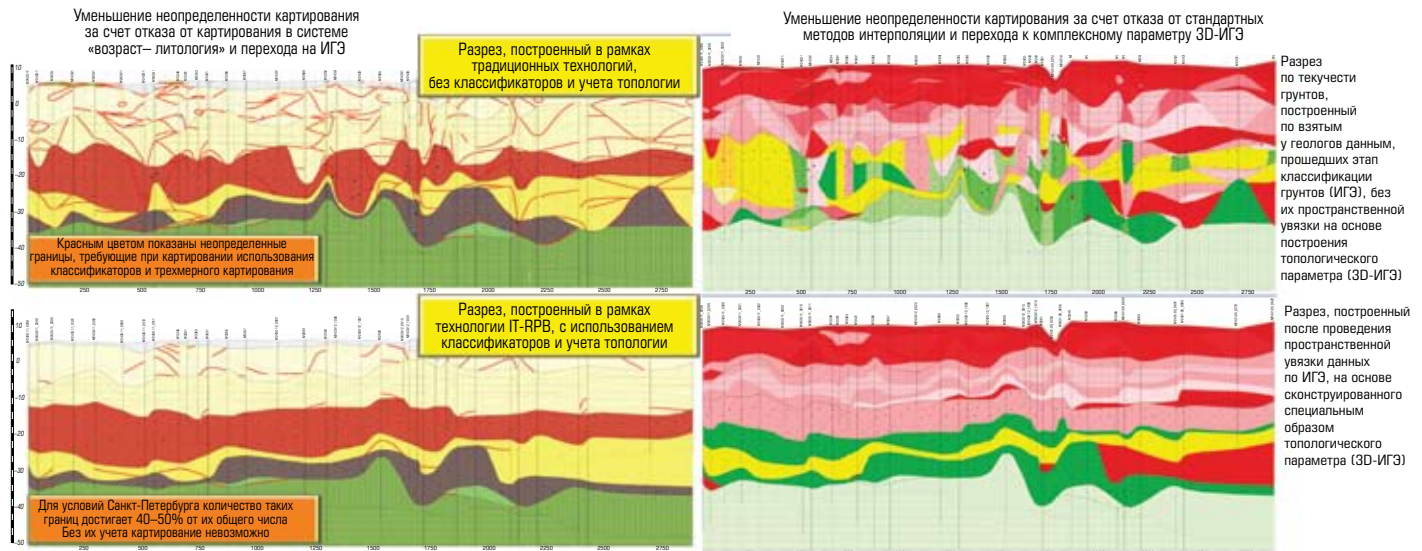


Иллюстрация тезиса о невозможности картирования подземного пространства без использования классификаторов и пространственной увязки функции 3D-ИГЭ

**1D-МИМ.** Архивная информация об инженерно-геологическом строении территории, а также о данных текущих изысканий. Социально-экономические оценки выполнения проектов строительства подземных и наземных сооружений. Для Санкт-Петербурга объем архивной инженерно-геологической информации представлен в табл. 2.

**Характеристика информации.** Отсутствие связности информации (классификаторов) на внешнем (между ПМ) и внутреннем (в рамках конкретных ПМ) уровнях. Предметные базы данных (ПБД)

**Преобразование информации.** Оцифровка и накопление архивных данных в рамках ПБД.

**Использование информации.** Справочный уровень без детализации в зависимости от уровня принятия решений и взаимовлияния между ПБД. Предварительный анализ качества архивной информации.

**Принципиальная позиция.** Отсутствие внешних и внутренних классификаторов не позволяет использовать архивную информацию для принятия многоуровневых решений. Данное ограничение является ключевым (см. рисунок). С другой стороны, объемы этой информации (см. табл. 2) таковы, что введение ее в промышленный оборот является первоочередной задачей.

**2D-МИМ.** Фондовая информация об инженерно-геологическом строении территории. Построена на основе архивной информации после проведения этапов ее унификации и на пространственной «сбивке» (стандартизации). **Характеристика информации и знаний.** Ассимилированная в ИТП архивная информация ПБД. Классификаторы информации в пределах конкретных ПБД.

**Таблица 1**  
Основные принципы работы трехуровневых (ТП, ПТ, ПР) многомерных ((1-5)D) информационных моделей (МИМ)

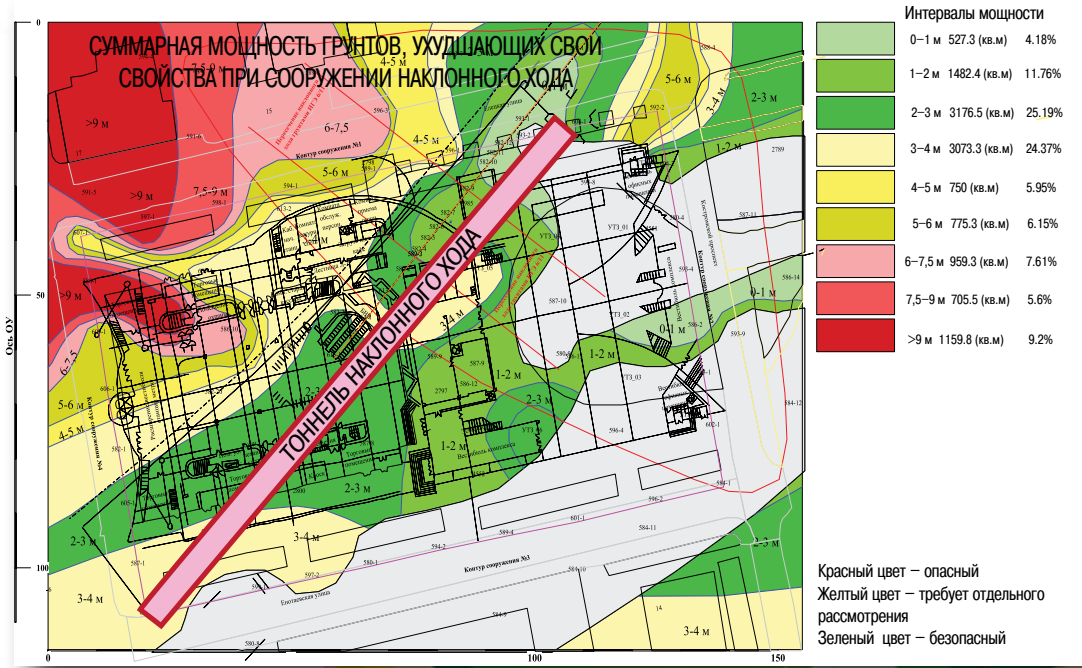


**Классификатор инженерно-геологической информации.** Его назначение — построение инженерно-геологических элементов (ИГЭ), являющихся предметно-ориентированной основой для формирования комплексной целевой функции (3D-ИГЭ), относительно которой строятся геотехнические модели:

$$3D — ИГЭ = \{(Г.С/К.Р). РС.О\} Т.Л.$$

В фигурные скобки заключен уникальный индекс ИГЭ, формируемый на основе МС ГОСТ 20522-2011. «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний». После скобок расположен топологический классификатор, предназначенный

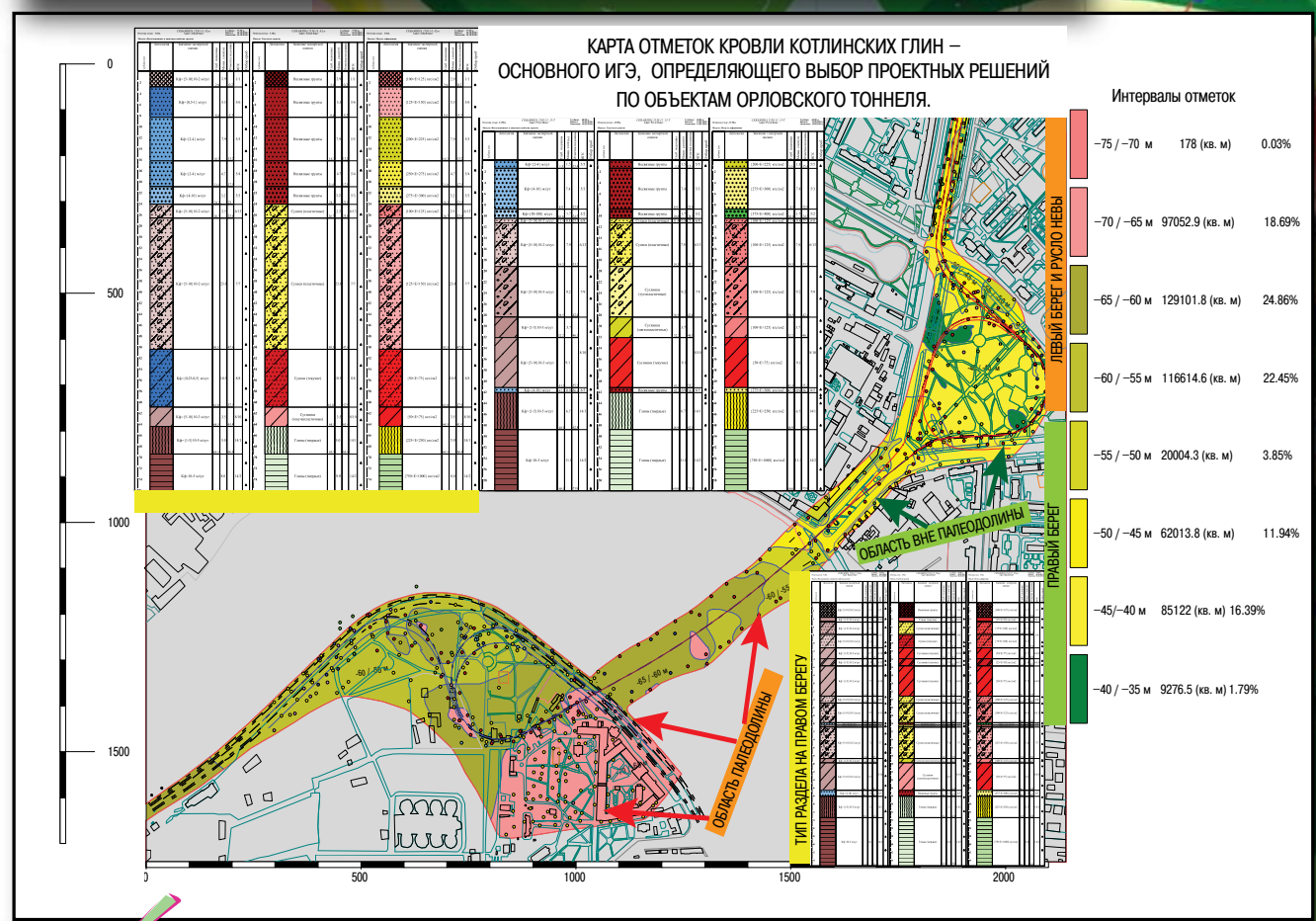
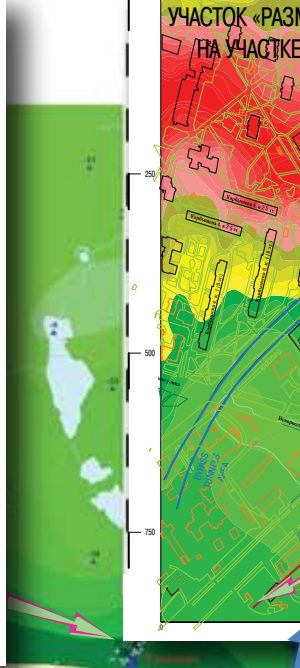
**КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПО УСЛОВИЯМ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ**



Оттенки зеленого цвета – простые условия (отметки котлинских глин до -40 м)

Оттенки желтого цвета – условия средней сложности (отметки котлинских глин до -65 м)

Оттенки красного цвета – сложные условия (отметки котлинских глин более -65 м)



**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ГИДРО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ**



ЮГО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ НЕГЛУБОКИМ ЗАЛЕГАНИЕМ «КОРЕННЫХ» ГЛИН, ЧТО БЛАГОПРИЯТСТВУЕТ ОСВОЕНИЮ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА И СООРУЖЕНИЮ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ. СЛОЖНОСТЬ МОЖЕТ БЫТЬ ВЫЗВАНА НАЛИЧИЕМ НЕГЛУБОКИХ ЛОКАЛЬНЫХ ПАЛЕОДОЛИН.

ОТТЕНКИ СИНЕГО – ВОДОНОСНЫЕ ГОРИЗОНТЫ

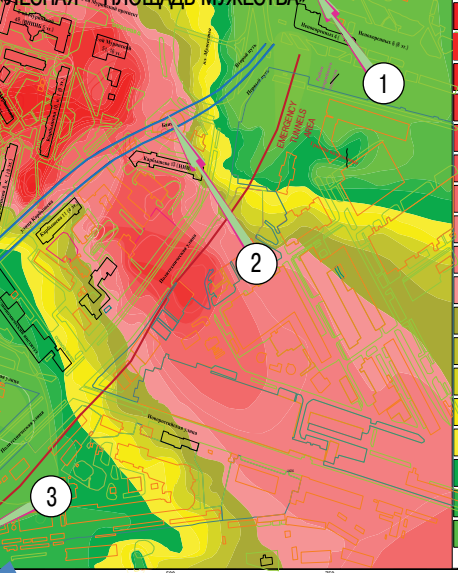
Глубина (м)	Объем (кв. м)	Процент
75 < E < 100	12.5	10.5
75 < E < 100	23.2	10.7
750 < E < 1000	36.2	13.0
750 < E < 1000	52.8	16.6

КОТЛИНСКИЕ ГЛИНЫ

Котлинские глины с глубины

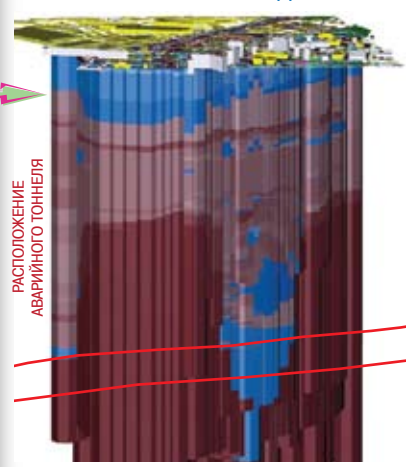


ВЫВ. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ  
ДЕСЯТКА ПЛОЩАДЬ МУЖЕСТВА



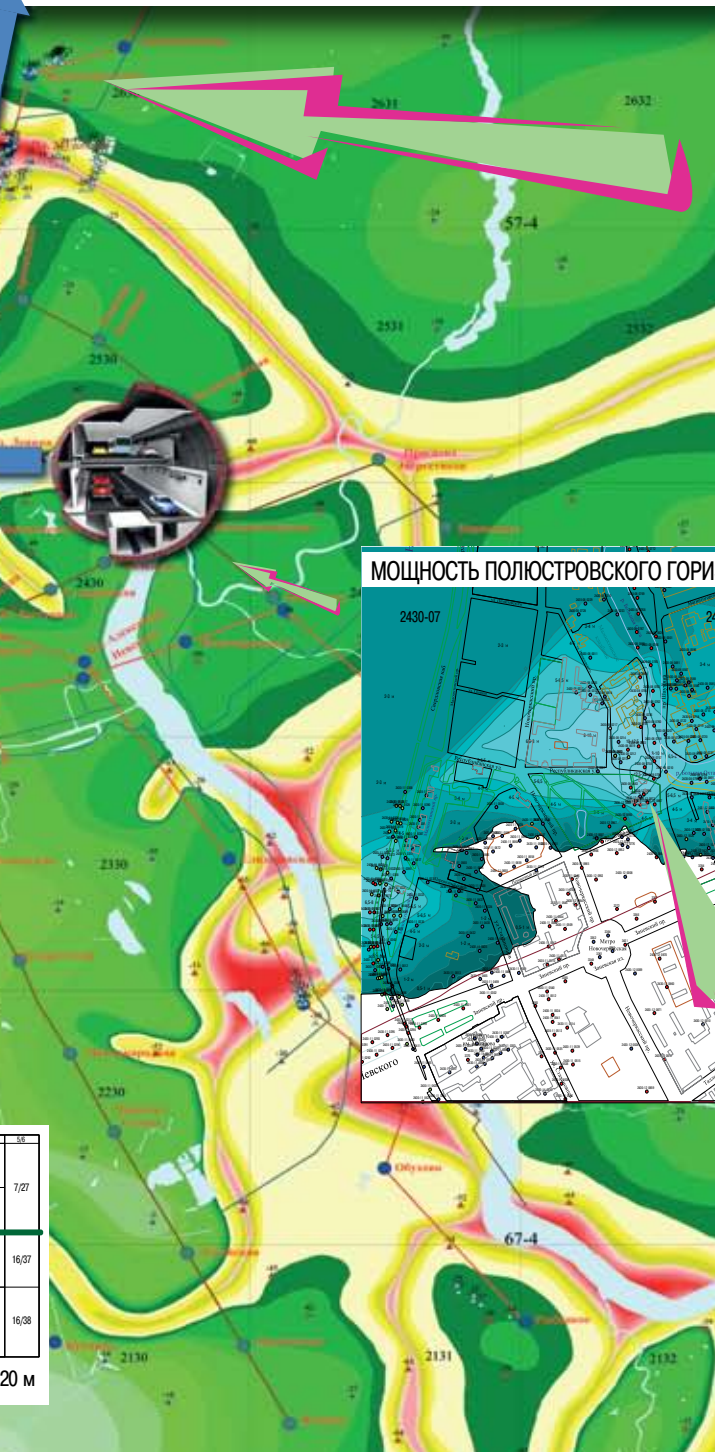
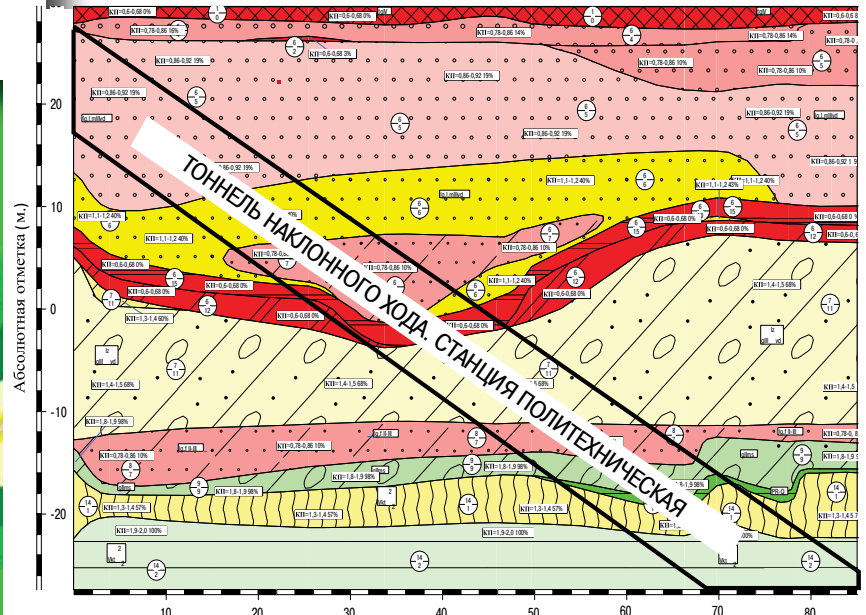
-125 / -120 м	165 (кв. м.)	0.02%
-120 / -115 м	7353.9 (кв. м.)	0.83%
-115 / -110 м	4130.1 (кв. м.)	0.47%
-110 / -105 м	10764.6 (кв. м.)	1.21%
-105 / -100 м	9103.1 (кв. м.)	1.03%
-100 / -95 м	18053.5 (кв. м.)	2.03%
-95 / -90 м	28372.1 (кв. м.)	3.2%
-90 / -85 м	47653.4 (кв. м.)	5.37%
-85 / -80 м	45912.4 (кв. м.)	5.17%
-80 / -75 м	45813.4 (кв. м.)	5.16%
-75 / -70 м	102737.3 (кв.м.)	11.58%
-70 / -65 м	55961.6 (кв. м.)	6.31%
-65 / -60 м	52209.6 (кв. м.)	5.88%
-60 / -55 м	34369.1 (кв. м.)	3.87%
-55 / -50 м	32405.4 (кв. м.)	3.65%
-50 / -45 м	34158 (кв. м.)	3.85%
-45 / -40 м	27538.3 (кв. м.)	3.1%
-40 / -35 м	46833.4 (кв. м.)	5.28%
-35 / -30 м	76390.5 (кв. м.)	8.61%
-30 / -25 м	93258.1 (кв. м.)	10.51%

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ГИДРО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

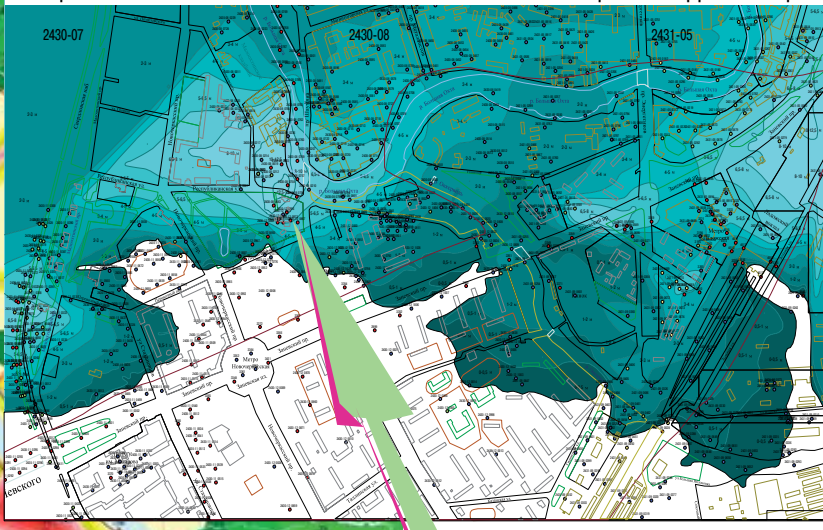


2 <math>K_5 < 4</math>	11.0	9.0	6/5
0.5 <math>K_5 < 1</math>	18.5	7.5	6/6
0.1 <math>K_5 < 0.25</math>	25.0	6.5	6/11
$10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	27.0	2.0	6/22
$5 \cdot 10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	30.0	3.0	6/22
$5 \cdot 10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	40.0	10.0	7/27
$10^{-2} < K_5 < 5 \cdot 10^{-2}</math>$	45.0	5.0	7/27
$K_5 < 10^{-2}</math>$	60.0	1.0	16/38
$K_5 < 10^{-2}</math>$	73.0	23.5	16/38

ОПАСНЫЕ ЗОНЫ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЕЙ НАКЛОННОГО ХОДА



МОЩНОСТЬ ПОЛУСТРОВСКОГО ГОРИЗОНТА. УВЕЛИЧЕНИЕ МОЩНОСТИ – ДЕСАТУРАЦИЯ



0-0.5 м	2 <math>K_5 < 4</math>	6.0	5.0	6/5
0.5-1 м	0.1 <math>K_5 < 0.25</math>	21.8	15.8	6/11
1-2 м	0.5 <math>K_5 < 1</math>	25.1	3.3	6/6
2-3 м	$5 \cdot 10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	32.1	7.0	7/27
3-4 м	$10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	41.7	9.7	7/27
4-5 м	$2 < K_5 < 4</math>$	46.1	4.3	8/5
5-6.5 м	$10^{-2} < K_5 < 5 \cdot 10^{-2}</math>$	50.5	4.4	10/27
6.5-8 м	$10^{-2} < K_5 < 5 \cdot 10^{-2}</math>$	75.4	24.9	11/21
8-10 м	0.5 <math>K_5 < 1</math>	89.0	13.6	11/6
10-12.5 м	$10 < K_5 < 50</math>$	93.9	4.9	11/4
10-12.5 м	$100 < K_5 < 1000</math>$	100.4	4.4	11/1
12.5-15 м	$50 < K_5 < 100</math>$	112.5	12.1	11/3
	$100 < K_5 < 1000</math>$	120.4	7.9	11/1
	$K_5 < 10^{-2}</math>$	20.4	16/38	

0.1 <math>K_5 < 0.25</math>	4.2	4.2	1/3
0.5 <math>K_5 < 1</math>	10.7	5.3	5/6
$5 \cdot 10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	17.5	6.8	6/22
$10^{-2} < K_5 < 5 \cdot 10^{-2}</math>$	20.0	2.5	6/22
$5 \cdot 10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	26.3	2.6	7/17
$5 \cdot 10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	29.0	4.7	7/17
$5 \cdot 10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	31.9	2.9	8/22
$1 < K_5 < 2</math>$	40.0	8.1	8/6
$100 < K_5 < 1000</math>$	43.7	3.7	8/1
$5 \cdot 10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	46.0	2.3	9/7
$10^{-2} < K_5 < 5 \cdot 10^{-2}</math>$	50.5	4.5	16/38
$K_5 < 10^{-2}</math>$	58.5	8.0	16/38

$10 < K_5 < 50</math>$	6.1	4.1	6/4
2 <math>K_5 < 4</math>	14	13	16
0.5 <math>K_5 < 1</math>	11.6	3.2	6/6
0.1 <math>K_5 < 0.25</math>	16.7	5.1	6/11
0.5 <math>K_5 < 1</math>	28.1	11.4	6/6
$5 \cdot 10^{-2} < K_5 < 10^{-1}</math>$	36.6	7.5	7/27
$10^{-2} < K_5 < 5 \cdot 10^{-2}</math>$	38.6	3.0	
$10^{-2} < K_5 < 5 \cdot 10^{-2}</math>$	50.2	10.5	10/27
$10^{-2} < K_5 < 5 \cdot 10^{-2}</math>$	53.3	3.1	16/38
$K_5 < 10^{-2}</math>$	75.0	21.7	16/38

16	
7/27	
16/37	
16/38	

20 М

Таблица 2

Классификация моделей по уровню информационного обеспечения обоснования многоуровневых решений и стоимость используемой для этого информации

СКВАЖИНЫ, ВСКРЫВШИЕ КОТЛИНСКИЕ ГЛИНЫ					СКВАЖИНЫ, ВСКРЫВШИЕ ГРУНТЫ ЛУЖСКОЙ МОРЕНЫ					ВСЕ СКВАЖИНЫ ГЛУБИНОЙ БОЛЕЕ 5 МЕТРОВ				
УРОВЕНЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ					УРОВЕНЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ					УРОВЕНЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЕ				
МЕЛКОМАСШТАБНЫЕ МОДЕЛИ М (1:25 000-1:10 000)					СРЕДНЕМАСШТАБНЫЕ МОДЕЛИ М (1:5 000-1:2 000)					КРУПНОМАСШТАБНЫЕ МОДЕЛИ (1:500-1:200)				
5D-МИМ-ПТ					5D-МИМ-ПТ					М 5D-МИМ-ПТ				
Число скважин и расстояние между ними		Количество погонных метров		Стоимость (руб.)	Число скважин и расстояние между ними		Количество погонных метров		Стоимость (руб.)	Число скважин и расстояние между ними		Количество погонных метров		Стоимость (руб.)
На 1 км <sup>2</sup>	Расстояние (м)	На 1 скв.	На 1 км <sup>2</sup>		На 1 км <sup>2</sup>	Расстояние (м)	На 1 скв.	На 1 км <sup>2</sup>		На 1 км <sup>2</sup>	Расстояние (м)	На 1 скв.	На 1 км <sup>2</sup>	
90	105,4	37,17	3 334	9 000	386	50,9	28,5	11 018	38 600	653	39,1	19,32	12 616	65 300
С учетом использования скважин моделей более высокого уровня (руб.)					296	58,1	26,0	7 684	29 600	267	61,2	5,98	1 598	26 700
С учетом использования скважин моделей более высокого уровня (%)					23,3	-14,2	9,0	30,3	23,3	59,1	-56,4	69,0	87,3	59,1

Таблица 3

Формирование целевой функции (3D-ИГЭ) – картируемого элемента геотехнических моделей

№	Инд	Назначение
1.	Г.С	Стратиграфический классификатор, отстраиваемый на основе стратиграфического кодекса России (2006) в рамках концепции «единство стратиграфии»
1.1.	Г	Код группы стратона
1.2.	С	Код слоя стратона
2.	К.Р.	Литологический классификатор, отстраиваемый на основе МС ГОСТ 25100-2011. «Грунты. Классификация»
2.1.	К	Код класса (группы) грунтов
2.2.	Р	Код разновидности грунтов
3.	РС.О	Классификатор инженерно-геологических элементов, отстраиваемый на основе МС ГОСТ 20522-2011. «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний»
3.1.	РС	Код основного свойства грунта, зависящий от класса (типа) грунтов
3.2.	О	Код индекса, описывающего разные совокупности физико-механических свойств грунтов, принадлежащих одному основному свойству
4.	Т.Л	Топологический классификатор, отстраиваемый в рамках ИТ-RPB. Уникальный номер, описывающий многосвязность ИГЭ в пределах площади построения модели
4.1.	Т	Уникальный код, описывающий многосвязность ИГЭ в пределах площади построения модели
4.2.	Л	Код, описывающий положение геологических объектов вблизи границ типа «линза». Для всех других типов границ код «по умолчанию» равен 1. Для «линз» 1 и 2

для идентификации и пространственного описания неопределенных, в рамках плоских моделей, границ.

**Формирование целевой функции (3D-ИГЭ) – картируемого элемента геотехнических моделей** (табл. 3)

**Преобразование информации.** Стандартизация информации ПБД. Построение трехуровневых инженерно-геологических паспортов территорий (ИГ-ПТ). Построение классификаторов связи между ПБД. Ассимиляция построенных данных и знаний в ИТП.

1. **Унификация результатов инженерно-геологических изысканий** (архивных и текущих) в виде трехуровневых паспортов территорий

(ИГ-ПТ), связывающих ИГЭ с интервалами изменения физико-механических и геофильтрационных характеристик грунтов, контролируемых плотностью исходной информации (масштаб) и уровнем ее использования.

2. **Пространственная «увязка» унифицированной информации**, имеющая своей конечной целью снятие предметных и топологических неопределенностей в описании распределения ИГЭ и последующему построению 3D-МИМ в пределах конкретных объектов.

**Использование информации.** Построение разноуровневых схем по условиям освоения подземного пространства (СОПП).

Ассимиляция СОПП в ИТП. Передача СОПП для использования заинтересованным лицам и организациям.

**Принципиальная позиция.** Подчеркнем тот факт, что при отсутствии классификаторов становится невозможным применение BIM-технологий, изначально требующее проведение этапа унификации всех информационных потоков по направлениям и приведение их к единому знаменателю при обосновании конкретных МР. В противном случае эти потоки выпадают из единого информационного поля и практически не используются.

**3D-МИМ. Трехуровневые, пространственные геотехнические модели (инженерно-геологические модели, совмещенные с цифровыми моделями местности (ЦММ) и ПНС), построенные на основе стандартизированной (фондовой) информации.** Построение моделей происходит в рамках информационной технологии сопровождения изысканий, проектирования и строительства (ИТ-RPB) с использованием всей исходной информации (см. табл. 2). Целевая функция 3D-ИГЭ отстраивается на основе электронных таблиц и ИГ-ПТ. Социально-экономические модели отстраиваются на основе межпредметных классификаторов и геотехнических оценок.

**Исходная информация и знания.** Составляет из трех обязательных блоков. Стандартизированная социально-экономическая и инженерно-геологическая информация, включая пространственные модели ПНС и ЦММ. Трехуровневые ИГ-ПТ и СОПП.

**Преобразование информации.** Осуществляется на основе технологии пространственного картирования (ИТ-RPB) комплексного параметра 3D-ИГЭ. Ассимиляция трехуровневых геотехнических моделей в ИТП.



**Использование информации.** Оценка достоверности и полноты стандартизированной информации ПБД, предназначенной для решения конкретных многоуровневых задач; наглядное представление проверенной информации для качественного обоснования решений, связанных с региональной оценкой условий освоения ПП (уровень ТП), оценки размеров зон риска при освоении ПП (уровень ПТ) и конкретных проектных решений (ПР).

**Принципиальная позиция** — если модель строят не геологи в рамках специализированных технологий, то модель неверна и не является геологическим объектом, рекомендуемым для использования в геотехнических расчетах и моделях более высокого уровня.

**4D-МИМ. Численное описание совместной «работы» ПНС и геологической среды.** Построение моделей происходит на основе 3D-МИМ в рамках эффективного программного обеспечения (например, FEM models, ГК «Георекострукция»),

**Исходная информация и знания.** Состоит из трех обязательных блоков: трехуровневые геотехнические модели, отстроенные по 3D-ИГЭ. Правила автоматического перехода к характеристикам грунтов на основе ИГ-ПТ. Система интерактивной схематизации (СИС) геотехнических условий.

**Преобразование информации.** Предварительная трехуровневая схематизация геотехнических условий на основе СИС. Создание на основе ИГ-ПТ типовых имитационных моделей (ТИМ), предназначенных для проведения второго этапа схематизации геотехнических условий. Эпигнозное моделирование в рамках третьего этапа схематизации геотехнических условий. Ассимиляция модельных решений в ИТП.

**Использование информации.** Оценка достоверности и полноты геотехнических моделей, предназначенных для решения конкретных многоуровневых задач; наглядное представление результатов моделирования для количественного обоснования решений, связанных с региональной оценкой условий освоения ПП (уровень ТП), оценки размеров зон риска при освоении ПП (уровень ПТ) и конкретных проектных решений (ПР).

**Принципиальная позиция** — если геологи не участвуют в схематизации численных моделей и отстранены от анализа их результатов, то к полученным на основе подобного моделирования выводам необходимо относиться по меньшей мере с настороженностью и не использовать в моделях более высокого уровня.

**5D-МИМ. Формирование и контроль технических и управленческих решений.** Построение моделей происходит на основе 4D-МИМ в рамках многомерных предметных и социально-экономических моделей, наглядно

описывающих взаимодействие разнообразных стратегий освоения подземного пространства и последствий принятия конкретных МР.

**Исходная информация и знания.** Обязательные блоки: трехуровневая фондовая информация, представленная в виде ИГ-ПТ, СОПП и (или) пространственных геотехнических моделей (качественный уровень обоснования и контроля выполнения МР) и (или) численных геотехнических моделей (количественный уровень обоснования и контроля выполнения МР).

**Преобразование информации.** Необходима трехуровневая фильтрация информации ПБД для обеспечения прикладных моделей (ПМ), предназначенных для обоснования и сопровождения комплексных решений (ПМ-КР) по освоению ПП, ассимиляция ПМ-КР в ИТП.

**Использование информации.** Необходимо трехуровневое использование ПМ-КР для обоснования и интерактивного сопровождения — стратегических решений по освоению ПП (уровень ТП), решений по конкретным территориям (уровень ПТ) и решений по реализации конкретных проектов освоения ПП (уровень ПР), информационно-технологическое обеспечение взаимодействия ПБД.

**Принципиальная позиция** — если специалисты разных прикладных направлений, интегрированные в рамках 5D-МИМ, не имеют технологического доступа к (2–4) D-МИМ моделям, равно как и наоборот, то разработанные на их основе решения по меньшей мере не оптимальны и не готовы к реализации в качестве базовых и прикладных стратегий освоения ПП.

**Принцип взаимодействия многомерных моделей:**

1. Специализированные построения и расчеты осуществляются в рамках разработанных для этих целей прикладных технологий.

2. Их интеграция (увеличение эффективности информационных моделей, формирование и контроль разноуровневых решений) осуществляется в пределах единой ИТП.

3. В основе принятия МР лежат геотехнические модели, контролирующие выбор эффективных социально-экономических подходов.

**Преимущества предлагаемого подхода.** Реализуются лишь при «сквозном» многократном, многофункциональном использовании разноуровневых 5D-МИМ в рамках СИЦ, начиная с принятия градостроительных и планировочных решений и заканчивая информационно-технологическим сопровождением строительства и эксплуатации конкретного объекта.

Инструмент достижения цели — информационные модели, отстраиваемые в рамках идей BIM-технологий, используемые ЛПР

при непосредственном участии чиновника, инвестора, изыскателя, геотехника, проектировщика, строителя.

Эффективность использования информационных моделей достигается за счет качественного продвижения по трем основным направлениям:

1. *Инвестиционная привлекательность.* Многократное, многоуровневое использование непрерывно пополняемых прикладных баз данных и знаний.

2. *Информационная привлекательность.* Непрерывное пополнение, как самих прикладных баз данных и знаний, так и классификаторов их взаимодействия, с использованием технологии актуализации архивных данных и получения информации по строительству новых объектов.

3. *Технологическая привлекательность.* Акцентированное, за счет использования принципа обратной связи, использование информационных технологий для наглядного — качественного и (или) исчерпывающего — количественного представления многоуровневой информации.

Использование моделей в рамках конкретного региона (Санкт-Петербург) дает возможность создать развивающуюся, за счет привлечения новых данных по конкретным объектам информационную среду 5D-МИМ-ТП (ПТ, ПР), позволяющую комплексно решать проблемы освоения и охраны подземного пространства.

Основными инструментами реализации мелко- и среднемасштабных моделей являются:

1. *Гидрогеомеханическое моделирование.* Используется для оценки интенсивности взаимовлияния строительства и эксплуатации проектируемых объектов и близлежащих ПНС, а также других природных и техногенных факторов с передачей этих результатов на уровень 5D-МИМ.

2. *Специализированное картирование.* Используется для представления модельной информации в виде комплексных, наглядных плоских и пространственных карт (схем), описывающих условия изучения и освоения подземного пространства с учетом геотехнических, социальных и технико-экономических оценок.

3. *Имитационное моделирование.* Используется для обоснования условий применения современных технологий изучения и освоения ПП на основе многовариантного, многофакторного (геотехническое, социальное и технико-экономическое) рассмотрения конкретных предложений без ущерба для социума и при минимизации технико-экономических оценок.

**Оценка существующей ситуации.** На сегодняшний день для создания

информационно-технологической основы решения перечисленных задач заказчикам и исполнителям этих работ могут быть представлены только растровые, в лучшем случае цифровые копии не унифицированных разрезов скважин и результаты физико-механического опробования грунтов. Естественно, эти данные не сведены воедино и поэтому не могут быть представлены в виде геотехнических моделей, а следовательно, служить основой многомерных моделей. Существуют две причины консервации этой ситуации.

*Первая очевидна.* Кто должен заниматься предварительным созданием мелко- и среднемасштабных моделей в рамках инвестиционно привлекательных проектов? Если ориентироваться на затраты, необходимые для создания мелко- и среднемасштабных моделей, то ответ очевиден: «Никто!» Зачем это инвесторам и строителям для выполне-

## СПРАВКА

*Стоимость построения 3D-МИМ-ТП (ПТ) для одного квадратного километра составляет почти 8 млн рублей. Для площади, охваченной ОАО «Ленметро-гипротранс» под перспективную схему развития метрополитена — 600 км<sup>2</sup>, построение подобной модели обойдется уже более чем в 5 млрд рублей.*

ния их разовых работ? Правительству города для градостроительной деятельности такие модели нужны в долгосрочной перспективе, но у него нет ни денег, ни специалистов, ни, на настоящий момент, понимания необходимости их создания.

*Вторая банальна.* В пределах действующей нормативной базы изыскатель за-

## СПРАВКА

*Цена метра бурения с опробованием грунта составляет 4 тыс. рублей, а стоимость использования архивной информации на порядок меньше — 500–600 рублей на один погонный метр. При этом все сметы на изыскания рассчитываются от объемов бурения.*

интересован в бурении все новых и новых скважин. Таким образом, это невыгодно и изыскателям.

**Качественное изменение инвестиционно привлекательности.** Ситуация принципиально меняется, если не позиционировать 3D-МИМ в качестве важного, но конечного продукта, а рассматривать геотехнические модели как первый шаг для многофакторного обоснования оптимальных градостроитель-

ных и планировочных решений на основе 5D-МИМ. Для практической реализации такой возможности необходимо создание специальной структуры (ЦЕНТР), главной задачей которой является построение информационных моделей, с последующим представле-

## СПРАВКА

*Использование разработанной нами ИТ-РРВ в рамках ЦЕНТРа позволяет многократно снизить первоначальные затраты на создание 3D-МИМ-ГР с 1,4 млрд до 25 млн рублей, 3D-МИМ-ПР, — с 4,7 млрд до 50 млн рублей. И все это при сокращении сроков разработки с 15–20 лет до 2 лет.*

нием результатов комитетам правительства, отвечающих за принятие градостроительных и природоохранных решений, а также ЛПР для реализации конкретных проектов освоения ПП. Получаемая при этом новая информация ассимилируется ЦЕНТРОм, способствуя повышению эффективности дальнейшего использования построенных моделей. При этом удается:

1) за счет многократного, многоцелевого использования созданных моделей сделать этап их построения инвестиционно привлекательным;

2) за счет непрерывного накопления новых данных и детализации моделей многократно снизить стоимость решения конкретных задач при одновременном увеличении качества предоставляемых услуг, что делает инвестиционно привлекательным уже само использование комплексных моделей.

**МИМ-ПР. Основной принцип.** Изыскания на конкретном объекте начинаются не на пустом месте и не заканчиваются его вводом в эксплуатацию. В основе проекта изысканий лежат геотехнические модели, технико-экономические наработки по основным схемам изысканий, проектирования и строительства, а также оценки социальных последствий реализации аналогичных проектов. Полученные на данном этапе новые, многомерные исходные данные актуализируются в рамках мелко- и среднемасштабных моделей. При этом не только увеличивается эффективность решения задач градостроительного и планировочного уровня, но и создается информационно-технологический базис для перевода на новый качественный уровень реализацию последующих проектных решений.

Крупномасштабные модели — инструмент многофакторного (геотехнического, технико-экономического, социального — именно в таком порядке по значимости) обоснования проектов изысканий и мониторинговых исследований. Последующего оператив-

ного контроля качества их выполнения и представления материалов для сквозного проектирования, с учетом взаимовлияния строительства и эксплуатации объекта с «ближайшими» ПНС, оптимизации затрат и негативных социальных последствий. Они используются в пяти основных направлениях:

1. *Обоснование изысканий, социальных и технико-экономических исследований (расширенные изыскания — РИ) по конкретным объектам.* РИ планируются не с «чистого листа», как это сейчас происходит, а на основе мелко- и среднемасштабных моде-

## ЧТО СЕЙЧАС?

*Отсутствие многомерных, разномасштабных моделей приводит к тому, что РИ оказываются слабо увязанными как с архивной информацией по району и ее многомерным модельным представлением, так и с необходимостью выявления потенциально опасных геотехнических, технико-экономических и социальных факторов. Факторов, определяющих собой, еще до стадии РИ, выбор принципиальных управленческих и инженерных решений по оптимальному, комплексному использованию и охране подземного пространства.*

лей, дающих возможность количественно оценить их площадь, глубину, детальность и направленность (технико-экономическую и социальную), представив эти материалы ЛПР в виде многофакторных карт изученности применительно к условиям строительства и эксплуатации конкретного объекта.

2. *Проведение, интерпретация и представление результатов РИ. Модели предназначены для оперативного контроля качества РИ, с учетом возможного взаимовлияния строительства и эксплуатации объекта с «ближайшими» ПНС.* Внесения, если это окажется необходимым, корректив в их проведение, направленных на детализацию ранее ассимилированных в многомерных моделях и вновь выявленных в процессе РИ осложняющих геотехнических факторов, а также негативных технико-экономических и социальных тенденций.

3. *Сопровождение работ на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации объектов (СПСЭ).* Основная задача: минимизация возможных потерь за счет проявления геотехнических, технико-экономических и социальных факторов, недостаточно изученных на стадиях стандартных изысканий, но количественно детализируемых затем в рамках РИ и СПСЭ, проведение которых возможно только на основе постоянно обновляемых многомерных моделей.



4. Информационно-технологическое обеспечение экспертиз. Основная задача: оперативно представить количественные и наглядные

## ЧТО СЕЙЧАС?

Эксперты оказываются «оторванными» от оперативно представленной 5D-МИМ многоуровневой информации по объекту (проекту), что вынуждает их либо обратиться к своему опыту и действовать по аналогии, либо, затребовав необходимую информацию, инициировать дорогостоящие дополнительные исследования. Как первое, так и второе увеличивает время и снижает качество Института экспертиз.

## МЕЖДУ ТЕМ

По оценкам НОИЗа, представленным в Правительство РФ, рынок экспертизы в изысканиях достигает 80 млрд рублей в год. Потери от некондиционности используемой при этом информационно-технологической базы как минимум не меньше, а с учетом отсутствия технико-экономических и социальных оценок и значительно больше этой цифры.

интерпретации многомерных моделей, существенно уменьшая время их последующего рассмотрения. Факт, что реализация многих проектов задерживается на длительные сроки только из-за невозможности оперативного получения заключений требуемого качества. При этом потери инвестора многократно превышают все расходы на построение многомерных моделей.

5. Информационно-технологическое обеспечение базовых для региона средне- и мелкомасштабных моделей. Непрерывная ассимиляция информации моделей этого

## ЧТО СЕЙЧАС?

Результаты изысканий проходят проверку в контролирующем органе и передаются в фонды территориальных изысканий. Наши оценки показывают, что лишь 15–20% этой информации было использовано в дальнейшем, причем более 95% лишь в качестве справочной информации, без обобщения в виде комплексных моделей подземного пространства. Если помнить, что это порядка 90 скважин на 1 км<sup>2</sup>, вскрывших котлинские (кембрийские) глины, и почти 400 скважин — грунты лужской морены, подобная «рассточительность» неуместна. В данные рассуждения не включены социальные модели и технико-экономические оценки, сдвигающие приведенные выше выводы в сторону их ухудшения.

уровня, РИ и СПСЭ в 5D-МИМ-ПР, имеет своей целью как увеличение эффективности их предметного использования для решения

задач проектного уровня на конкретном объекте, так и стимулирование роста информационной насыщенности базовых для региона 5D-МИМ-ТП (ПТ) — за счет ассимиляции в них данных 5D-МИМ-ПР. Последнее является необходимым условием создания систем разноуровневых, многомерных моделей, предназначенных для непрерывного информационно-технологического обоснования освоения и охраны подземного пространства конкретного региона.

Многомерные модели, последовательно генерируемые на основе IT-RPB в 5D-МИМ-ТП (ПТ, ПР), используются в четырех основных направлениях:

1. Оценка условий освоения подземного пространства. Достигается за счет наглядной трехмерной визуализации моделей, позволяющей представить ЛПР принципиальную (качественную) оценку геотехнических условий освоения подземного пространства. Наглядные визуализации позволяют «отсечь» нереализуемые предложения, сосредоточив ресурсы на продвижение тех, которые «вписываются» в наглядно представленную ЛПР геотехническую ситуацию.

**Форма представления.** Построенные в рамках IT-RPB комплексные 3D-МИМ передаются в среду моделирования, используемую геотехниками. После проведения прогнозных и имитационных расчетов их результаты конвертируются в ИТП.

2. Социальная и экономическая оценка условий освоения подземного пространства. В рамках этого направления в 5D-МИМ, ассимилируется среда непрерывной генерации социальных и технико-экономических оценок. Их наглядная визуализация в режиме реального времени позволяет добавить к специальным оценкам эффективности выбранных решений, социально-экономические показатели, принципиально улучшая для ЛПР условия сопоставления альтернативных вариантов.

**Форма представления.** Построенные 5D-МИМ «усиливаются» технико-экономическими оценками, непосредственное использование производится ЛПР в ИТП.

3. Оценка условий внедрения современных технологий изучения, проектирования и строительства. Достигается за счет построения на основе 4D-МИМ и последующего использования имитационных моделей (ИМ) — наглядного инструмента численной, многовариантной качественной и количественной оценки условий применения современных технологий изучения, проектирования и строительства, заменяющего дорогостоящие, единомоментные натурные эксперименты.

**Форма представления.** Построенные в рамках IT-RPB и конвертированные в конкрет-

ную среду имитационного моделирования, комплексные 3D-МИМ, по существу, являются единым механизмом предметной (4D-МИМ) и социально-экономической (5D-МИМ) оценки альтернативных изыскательских, проектных и строительных решений в рамках конкретной геотехнической ситуации. Это позволяет ЛПР многофакторно просчитать последствия того или иного действия, выбрав наилучшее из них не «вообще», а применительно к конкретным условиям, выявленным по результатам изысканий и данным их социального и технико-экономического анализа.

4. Комплексная оценка качества изысканий, проектирования и строительства. Достигается за счет использования 5D-МИМ в качестве информационно-технологического паспорта объекта, сравнение с которым результатов по большому числу независимых предметных, социальных и экономических критериев позволяет оценить их эффективность для решения конкретных задач.

**Форма представления.** Построенные в рамках IT-RPB и конвертированные в конкретные среды имитационного моделирования комплексные 4D-МИМ являются инструментом проверки на достоверность, полноту и непротиворечивость результатов изысканий, проектирования и строительства. Проверки не в «принципе», а применительно к возможности решения на их основе конкретных задач, в условиях выявленной по результатам изысканий, геотехнической ситуации и полученных по ним социальных и технико-экономических оценок.

**Что нужно сделать, чтобы все это заработало?** Ответ прост: все то, что изыскатели, проектировщики и строители делали ранее в своей практической деятельности. Единственное, все это нужно классифицировать по направлениям, описать в виде модельных представлений, конвертировав их в конкретные среды проектирования, моделирования, социальных и технико-экономических расчетов, создав комфортные условия для совместной работы изыскателей, геотехников и ЛПР. При этом надо четко понимать, для того чтобы что-то строить, необходимо как минимум классифицировать исходную информацию. Нельзя просто «взять» у геологов данные, «отрисовать» «модели подземного пространства» и либо «построить» на их основе конкретные ПНС, либо «обосновать концепцию» освоения подземного пространства. Если коротко — построенные таким образом «модели», не имеют никакого отношения к моделям геологических объектов. При таком подходе мы неумолимо перейдем к «веселым картинкам», когда форма представления результатов призвана скрыть неустранимые недостатки изысканий и их интерпретации.

М.Е. РЫЖЕВСКИЙ,  
к.т.н., лауреат премии  
Ленинского комсомола  
в области науки и техники,  
заслуженный  
изобретатель СССР,  
генеральный  
директор;  
Д.А. СЕМЕНОВ,  
ООО «ПЛАТО Инжиниринг»,  
Санкт-Петербург, Россия

# РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ ШВАМИ В МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТОННЕЛЯХ

*Most of tunnels both existing and those under construction are exposed to groundwater impact, so any of design required joints can cause water penetration, affect constructability and increase construction time. Minimizing the number of joints until their complete elimination remains a relevant problem to be solved by engineering community. The paper presents a simple analytical model that allows to define and calculate a required distance between expansion joints of underground tunnel sections.*

*Швы в монолитных железобетонных конструкциях тоннелей по своему функциональному назначению делятся на рабочие, температурные и усадочные. В ходе производства работ по бетонированию конструкции непрерывно укладывать бетонную смесь крайне затруднительно, потому для возможности остановки процесса и последующего его возобновления требуется организация рабочих швов. Вследствие неравномерной усадки бетона или изменяющегося температурного воздействия железобетонная конструкция тоннеля подвергается стесненным объемным деформациям, в результате чего в ней возникают дополнительные внутренние напряжения, которые могут быть учтены в расчете либо уменьшены посредством устройства температурно-усадочного шва. Большинство существующих и строящихся тоннелей подвергаются воздействию грунтовых вод, поэтому любой шов в конструкции является потенциальным источником водопроницаемости, снижает технологичность производства работ и увеличивает сроки строительства. Минимизация количества швов в тоннелях вплоть до полной их ликвидации представляет собой актуальную проблему, стоящую перед инженерным сообществом. В этой статье представлена простая аналитическая модель, позволяющая расчетным путем определять требуемое расстояние между температурными швами подземных частей монолитных железобетонных тоннелей.*

## Состояние вопроса

В современных российских строительных нормах по расчету железобетонных конструкций закреплено требование разделения зданий и сооружений температурно-усадочными швами, расстояния между которыми назначаются в зависимости от климатических условий, конструктивных особенностей сооружения, последовательности производства работ и т. д., но при этом нормативный метод расчета не определен.

В СНиП 32-04-97 «Тоннели железнодорожные и автодорожные» заданы верхние пределы расстояний между температурно-осадочными деформационными швами: 20 м для монолитного бетона и 40 м для монолитного железобетона.

Методика расчета требуемого расстояния между швами приведена в п. 5.21.7 «Руководства по проектированию коммуникационных тоннелей и каналов» (М.: ЦНИИпромзданий, 1979. — 58 с.), однако область применения ограничивается водимыми открытым способом коммуника-



ционными, транспортными и пешеходными тоннелями на территориях промышленных предприятий.

Критерием необходимости устройства температурно-усадочного деформационного шва является выполнение условия:

$$\sigma_b > R_{bt}, \quad (1)$$

где  $\sigma_b$  — максимальные температурно-усадочные напряжения в бетоне тоннеля при отсутствии швов;  $R_{bt}$  — предел прочности бетона при осевом растяжении. Величина  $\sigma_b$  определяется по формуле:

$$\sigma_b = \frac{(\alpha_{bt} \cdot \Delta t + \epsilon_y) \cdot E_b}{c_b}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{bt}$  — коэффициент линейной температурной деформации бетона;  $\Delta t$  — расчетное изменение средних температур конструкций тоннеля в холодное время года;  $\epsilon_y$  — относительные усадочные деформации бетона;  $E_b$  — начальный модуль деформации бетона;  $c_b$  — коэффициент, учитывающий влияние ползучести бетона (принимается 1,5 при средней относительной влажности воздуха выше 40%).

При невыполнении условия (1) температурно-усадочные швы в тоннеле не требуются, если критерий соблюден, то расстояния между швами неармированных тоннелей, а также между рабочими швами бетонирования монолитных конструкций определяется по формуле:

$$L = \frac{2 \cdot R_{bt} \cdot A_b}{r \cdot f_t}, \quad (3)$$

где  $A_b$  — площадь бетонной части сечения тоннеля;  $r$  — давление грунта на днище тоннеля от постоянных расчетных нагрузок на погонный метр, кН/м;  $f_t$  — максимальный коэффициент трения бетона по грунту, принимаемый по табл. 14 руководства.

### Описание расчетной модели

Температурное воздействие на конструкцию тоннеля создает в нем температурное поле, которое можно представить в виде суммы двух составляющих: средней температуры  $t$ , равномерно распределенной по сечению, создающей общее удлинение/укорочение элемента, и температуры, изменяющейся по толщине конструкции, приводящей к изгибу элемента (рис. 1).

Пренебрегая вызывающей изгиб составляющей, будем полагать, что температурное воздействие приводит только к общему удлинению/укорочению элемента.

Аппроксимируем конструкцию тоннеля стержнем подобающей жесткости с соответствующими площадью боковой по-

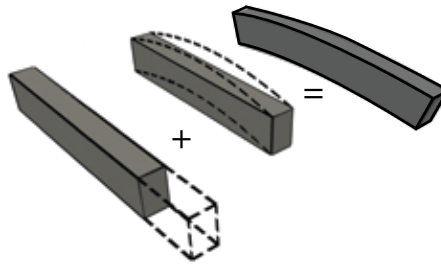


Рис. 1. Деформации стержня, вызванные нагревом

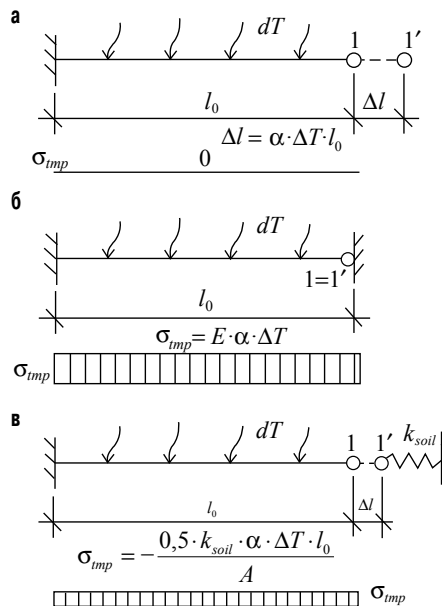


Рис. 2. Температурные напряжения в зависимости от условий закрепления стержня: а — свободное деформирование; б и в — стесненное деформирование, жесткая заделка и упругая связь соответственно

верхности и внешним периметром. При температурном воздействии первоначальная длина стержня изменится, при этом если его деформирование ничем не сдерживается, то внутренние сечения элемента будут свободны от температурных напряжений (рис. 2 а), которые возникают лишь в случае стесненной деформации (рис. 2 б, в). Работа грунта по боковой поверхности тоннеля моделируется с помощью упругой связи жесткостью  $k_{soil}$ , определяемой по формуле:

$$k_{soil} = \frac{F_d}{S}, \quad (4)$$

где  $F_d$  — осевая сила, воспринимаемая боковой поверхностью тоннеля за счет трения о грунт;  $S$  — перемещение кон-

струкции тоннеля, вызываемое силой  $F_d$ . Определим величину температурных напряжений  $\sigma_{imp}$  в тоннеле в соответствии с принятой расчетной схемой. Используем метод сечений, рассмотрим равновесие отсеченной части стержня (рис. 3).

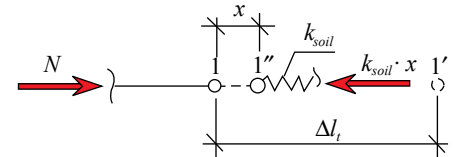


Рис. 3. Рассмотрение равновесия отсеченной части стержня: 1 — конечная точка стержня; 1' — положение точки 1 при свободном деформировании; 1'' — положение точки 1 с учетом упругой связи

Положительному изменению температуры  $dT = T_2 - T_1 > 0$  (нагреву) соответствуют сжимающие температурные напряжения  $\sigma_{imp} < 0$  в стержне, охлаждению ( $dT < 0$ ) — растягивающие,  $\sigma_{imp} > 0$ , (рис. 2 в).

Прочность бетона при осевом растяжении значительно (примерно в 10 раз) меньше прочности при осевом сжатии, потому охлаждение конструкции  $dT < 0$  является наиболее опасным с точки зрения обеспечения прочности.

При свободной температурной деформации конечная точка стержня (.) 1 перемещается в (.) 1' на величину  $\Delta l_i$ , которая может быть определена как  $\Delta l_i = \alpha \cdot \Delta T \cdot l_0$ . Однако свободной деформации препятствует упругая связь жесткостью  $k_{soil}$ , потому (.) 1 займет промежуточное положение — (.) 1'', фактически переместившись на расстояние  $x$  и создавая усилие в пружине  $k_{soil} \cdot x$ . С другой стороны, чтобы занять положение (.) 1'' из (.) 1', необходимо приложить усилие к пружине, равное  $k_{soil} \cdot (\Delta l_i - x)$ . Приравняв усилия в пружине и стержне, получим уравнение, откуда найдем значение  $x$ :

$$k_{soil} \cdot x = k_{soil} \cdot (\Delta l_i - x). \quad (5)$$

Температурные напряжения в стержне с учетом (4) определяются по формуле:

$$\sigma_{imp} = - \frac{0,5 \cdot k_{soil} \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot l_0}{A}, \quad (6)$$

где  $k_{soil}$  — жесткость упругой связи, моделирующей трение грунта по боковой поверхности тоннеля, определяется по формуле (3);  $\alpha$  — коэффициент линейной температурной деформации бетона;  $\Delta T$  — расчетный перепад температур;  $A$  — площадь поперечного сечения тоннеля;

$l_0$  — первоначальная длина стержня. Критерием необходимости температурного шва в тоннеле заданной длины  $l_0$  при охлаждении на  $\Delta T$  является выполнение условия:

$$\sigma_{tmp} > R_{bt}, \quad (7)$$

где  $\sigma_t$  — температурные напряжения, вычисленные по формуле (6);  $R_{bt}$  — предел прочности бетона на осевое растяжение.

Из симметрии относительно срединного сечения расчетной схемы следует, что макси-

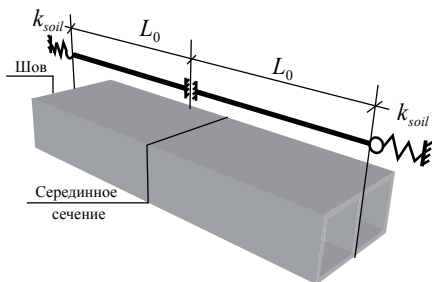


Рис. 4. К определению расчетного расстояния между температурными швами,  $L$

мальное расстояние между температурными швами  $L$  (рис. 4) равно удвоенной длине  $l_0$  и может быть выражено из (6):

$$L = \frac{4 \cdot R_{bt} \cdot A}{k_{soil} \cdot \alpha \cdot \Delta T} \quad (8)$$

Расчет необходимо выполнять для двух этапов: строительства и эксплуатации. Во время строительства тоннеля бетон не набирает свою расчетную прочность на осевое растяжение  $R_{bt}$ , величина фактической прочности в первую очередь зависит от срока твердения. При отсутствии данных зависимости  $R_{bt}(t)$ , прочность бетона в момент времени  $t$  можно определить по линейной интерполяции, где в начальный момент времени  $t = 0$  и  $R_{bt}(0) = 0$ , а при  $t = 28$  сут.,  $R(28) = R_{bt}$ .

На этапе эксплуатации принимается, что бетон достиг расчетного предела прочности на осевое растяжение.

Как видно из формулы (6), температурные напряжения  $\sigma_{tmp}$  являются функцией от перепада температур  $\Delta T$  и половины расстояния между швами  $l_0$ , тем самым условие (7) может быть представлено в графическом виде (рис. 5 а, б).

### Пример расчета

В качестве примера для различных перепадов температур  $dT$  выполнен расчет тре-

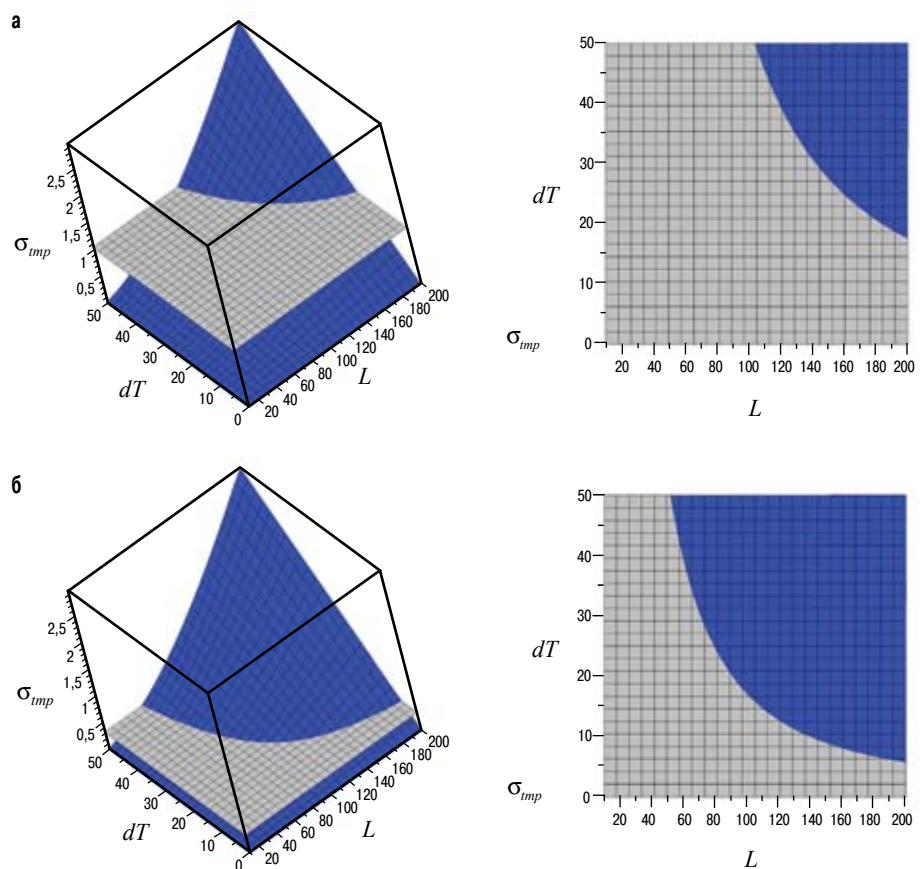


Рис. 5. Результаты расчета: а — стадия эксплуатации; б — стадия строительства

#### Расстояние между температурными швами тоннеля

$dT$	$L_{cmp}, t = 9 \text{ сут.}$	$L_{exp}$
град.	м	м
-5 ... -10	210 ... 140	500 ... 290
-10 ... -15	140 ... 110	290 ... 220
-15 ... -20	110 ... 90	220 ... 185
-20 ... -25	90 ... 80	185 ... 155
-25 ... -30	80 ... 70	155 ... 140

буемого расстояния между температурными швами  $L$  тоннеля прямоугольного сечения  $6 \times 12$  м, толщина обделки 0,5 м, глубина заложения от поверхности 5 м, объект расположен в тугопластичных суглинках с  $E = 10$  МПа. Результаты расчетов приведены в таблице и на рис. 5, а, б.

### Выводы

Авторами предложена простая аналитическая модель силового сопротивления конструкций тоннеля вынужденным перемещениям, вызванным температурным воздействием, позволяющая обосновывать

требуемое расстояние между температурными швами.

Достоверность получаемых результатов должна быть проверена сопоставлением с натурными данными.

По результатам расчетного примера можно заключить:

- требуемое расстояние между температурными швами на стадии эксплуатации значительно больше, чем на стадии строительства, что объясняется набором прочности бетона;

- если обеспечить отсутствие охлаждения конструкций более чем на  $dT = -5$  °C на стадии строительства, то можно обосновать расстояние между температурными швами, превышающее максимальное, регламентируемое нормами;

- в подземной части тоннеля перепад температур незначителен, поскольку среднегодовая температура грунта практически постоянна, потому количество температурных швов может быть значительно уменьшено.

Для распространения результатов расчетного примера на другие тоннели необходимо произвести параметрический анализ модели, с помощью варьирования исходных параметров в используемых на практике диапазонах.





Все для проектирования, строительства  
и эксплуатации транспортных объектов

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

# ДОРОГИ. МОСТЫ. ТОННЕЛИ

24–26 сентября 2014

Санкт-Петербург, Михайловский манеж,  
Манежная пл., 2, м. "Гостиный Двор"

[www.mostdor.com](http://www.mostdor.com)

## ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ:

- Проектирование и строительство дорог, мостов и тоннелей
- Дорожная техника и оборудование
- Оборудование и технологии бестраншейной прокладки коммуникаций
- Материалы и конструкции для строительства и ремонта дорог, мостов, тоннелей
- Системы управления движением, дорожные знаки и разметка
- Системы и технические средства безопасности работ на дорогах
- Программное обеспечение и связь
- Диагностика и контроль качества дорожных работ
- Инвестиции и страхование объектов дорожного строительства, техники, оборудования

СПЕЦРАЗДЕЛ: Геосинтетические материалы в дорожном строительстве

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА: форум «Мир мостов»

При поддержке



Организатор:

ВЫСТАВОЧНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ  
**РЕСТЭК**

Тел.: (812) 320-8094

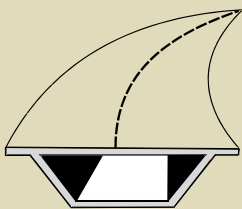
E-mail: [transport2@restec.ru](mailto:transport2@restec.ru)



В.Ю. КАЗАРЯН,  
генеральный директор



И.Д. САХАРОВА, к.т.н.,  
заместитель генерального  
директора  
«ООО НПП СК МОСТ»



ООО «НПП СК МОСТ»

143956, Московская  
область, г. Балашиха,  
мкр. Никольско-Архангельский,  
8-я линия, вл. 10.  
Тел.: (495) 663-68-80,  
663-68-81  
E-mail: nppskmost@yandex.ru,  
www.nppskmost.ru

# НОВЫЙ СПОСОБ УШИРЕНИЯ ТОННЕЛЯ

*Повышение скорости транспортных средств, а также изменившиеся стандарты безопасности требуют расширения поперечных сечений тоннелей. Поиском новых способов проведения подобных работ заняты ведущие специалисты мирового тоннелестроения. В государственном реестре изобретений Российской Федерации 18 февраля 2014 года зарегистрирован патент на изобретение №2513501, в котором дано описание нового способа уширения тоннеля с использованием алмазно-абразивной резки. Авторы изобретения Инна Сахарова и Вильгельм Казарян предложили вариант, существенно повышающий производительность и безопасность работ (особенно в сейсмически неустойчивых зонах) и сохраняющий при этом прочность сооружения.*

Традиционно уширение тоннеля проводится несколькими способами. Например, с помощью бурения шпуров по проектному контуру, закладкой в них взрывчатых веществ, локальными взрывами и циклической отбойкой пород до проектного сечения, кроме того, в ряде случаев используется тяжелый буровой инструмент, срезающий породу ударным способом.

Известен патент на изобретение США №4206947, МПК E21C 27/02 «Ударный резак». Его авторы предлагают использовать удлиненный буровой инструмент с жестким наконечником, при этом сила удара уравнивается. Ударное бурение включает в себя несколько этапов:

- бурение инструментом с тупым углом атаки;
- перемещение бурового инструмента (по дуге с изменением угла атаки);
- возвращение бурового инструмента в исходное положение.

Наиболее близкой к изобретению Сахаровой и Казаряна является заявка EP 0066156, МПК E21D 9/10 «Способ вырезания тоннеля в твердой породе с использованием механизма для бурения». В этом случае используется машина, состоящая из жесткого инструмента для бурения, механизма для передачи ударов на него и поворотного устройства. Порода выбирается с внутренней стороны тоннеля, путем вырезания полос глубиной от 0 до 30 мм в виде полуцилиндров с помощью вращения и ударов жестким инструментом. Если расстояние между полосами равно диаметру инструмента, инструмент для формирования следующей полосы перемещают на определенный шаг. В противном случае хребет, образующийся между полосами, разрушают с помощью другого устройства. Каждый последующий вырубленный слой определяет внутреннюю поверхность тоннеля.

Основной недостаток данного способа — значительные трудозатраты и продолжительные

сроки выполнения работ. Кроме того, существует опасность возникновения трещин и обрушений как в самом сооружении, так и на поверхности, из-за воздействия ударным инструментом на породу или стены тоннеля.

Изобретение Сахаровой и Казаряна позволяет при минимальной энергоемкости сохранить прочность тоннеля, повысить производительность и безопасность выполняемых работ. Еще одно преимущество предложенного варианта — он не требует дополнительного изготовления и доработки оборудования. Все используемые механизмы хорошо известны и успешно применяются в горном деле.

Суть предложенного способа (рис. 1–12) состоит в том, что в существующей внутренней стене 13 уширяемого тоннеля 1 пробуривают шпур 2 по проектному контуру 8. Между ними вырезают полосы 3 алмазным канатом 5. Последний состоит из звеньев, соединенных между собой шарнирно, например с помощью кардана. Процесс резки представляет собой трение о стену тоннеля алмазного каната, намотанного спирально, что способствует его лучшему натяжению. Вращательный инструмент располагается на противоположной от роликов стороне. Последние закрепляют в пробуренных шпурах, для чего используются трубки 10, имеющие меньший, чем у шпура, диаметр. Они удерживают ролики внутри шпура посредством распорки 11, расположенной на стороне ролика. На противоположной от ролика стороне трубку снаружи закрепляют на рейке 12, которая, в свою очередь, удерживается на внутренней стене тоннеля с помощью анкерного крепления 14 с клинощелевым замком 15.

Вращательный инструмент для повышения эффективности работы может фиксироваться полиспастом на каретках 16 с подвижными и неподвижными обоймами блоков 10. Каретки,



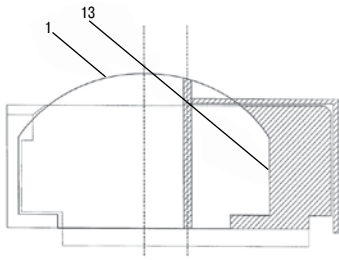


Рис. 1. Сечение тоннеля

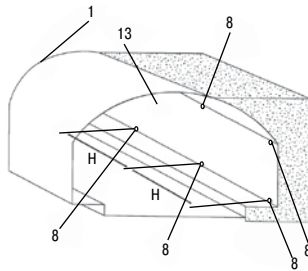


Рис. 2. Тоннель с нанесенным на внутреннюю стену проектным контуром

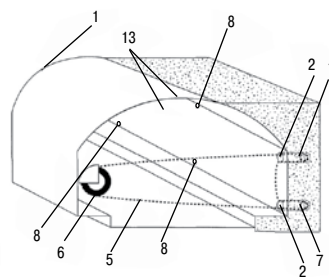


Рис. 3. Тоннель с проектным контуром, двумя вырубленными шпурами, расположенными в перпендикулярной плоскости, и вращательным инструментом

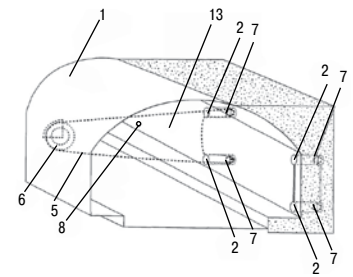


Рис. 4. Тоннель с проектным контуром, четырьмя вырубленными шпурами, вырезанной полосой, расположенной в перпендикулярной плоскости, и вращательным инструментом

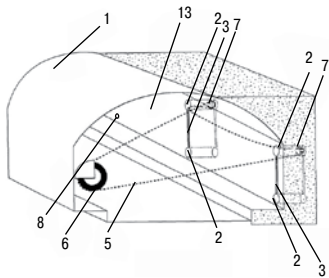


Рис. 5. Тоннель с проектным контуром, четырьмя вырубленными шпурами, двумя параллельными вырезанными полосами, расположенными в перпендикулярной плоскости, и вращательным инструментом

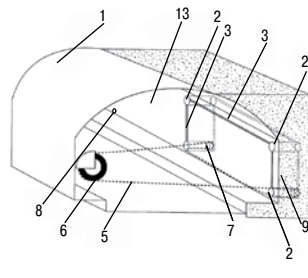


Рис. 6. Тоннель с проектным контуром, четырьмя вырубленными шпурами, двумя параллельными вырезанными полосами, расположенными в перпендикулярной плоскости, одной вырезанной полосой, расположенной в параллельной плоскости, и вращательным инструментом

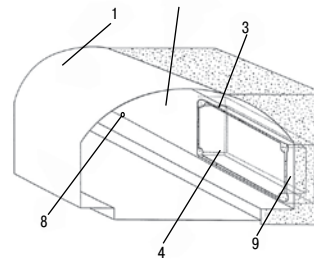


Рис. 7. Тоннель с четырьмя вырезанными полосами, образующими проем по периметру вырезанных полос

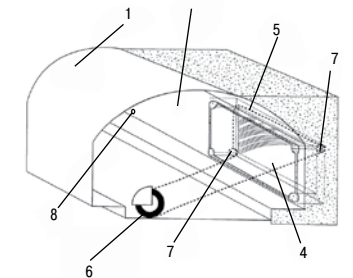


Рис. 8. Тоннель с расположением роликов и алмазного каната для срезания части хребта

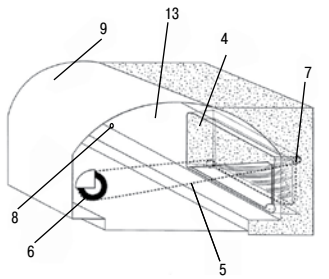


Рис. 9. Тоннель с расположением роликов и алмазного каната для срезания оставшейся части хребта

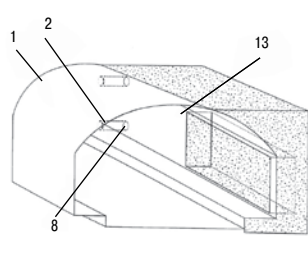


Рис. 10. Тоннель с вырезанным хребтом

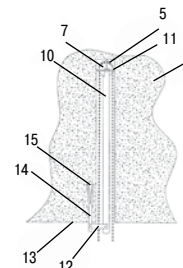


Рис. 11. Крепление ролика в шпуре

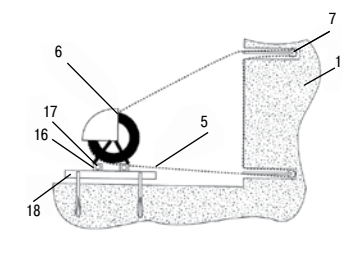


Рис. 12. Рейка с каретками и вращательным инструментом

1 – тоннель; 2 – шпур; 3 – полоса; 4 – хребет; 5 – алмазный канат; 6 – вращательный инструмент; 7 – ролик; 8 – проектный контур; 9 – проем по периметру вырезанных полос; 10 – трубка; 11 – распорка; 12 – рейка; 13 – внутренняя стена тоннеля; 14 – анкерное крепление; 15 – клинощелевой замок; 16 – каретка; 17 – обоймы блоков; 18 – рейка; Н – шаг смещения точек по проектному контуру

в свою очередь, закреплены на рейке 18 и осуществляют поступательное линейное перемещение по ней для натяжения алмазного каната. Рейку размещают на дне либо на стене тоннеля.

Для вырезания полос вдоль стены тоннеля ролики с надетым на них алмазным канатом закрепляют в двух шпурах, расположенных в параллельной плоскости. Для формирования поперечных полос один из роликов фиксируют в шпуре, находящемся в перпендикулярной относительно предыдущего шпура плоскости, и т. д. Вырезанные полосы создают по периметру прямоугольный проем 9, при этом внутри него образуется объемный

хребет, по форме напоминающий параллелепипед.

После этого ролики закрепляют в шпурах, расположенных диагонально, на разных уровнях по отношению друг к другу, при этом алмазный канат гнется один из углов хребта внутри проема 9. Для обеспечения правильного направления натяжения алмазного каната вращательный инструмент располагают на противоположной стороне со смещением вправо или влево на определенный расчетный шаг относительно шпуров с закрепленными роликами. В процессе движения алмазного каната начинает срезать хребет с угла, свободно от ролика. После срезания части объема 4

примерно до диагонали параллелепипеда без смены расположения роликов, алмазный канат располагают так, чтобы он внутри вырезанных полос 3 гнул угол, противоположный срезанному. При этом вращательный инструмент для обеспечения правильного направления натяжения алмазного каната переносят на определенное расчетное расстояние в противоположную сторону, после чего срезается оставшаяся часть хребта.

По завершении данной операции ролики закрепляют в следующих шпурах, пробуренных в соответствии с проектным контуром. Затем повторяются все вышеописанные операции способа уширения тоннеля.

# A NEW TUNNEL WIDENING METHOD



**Increased traffic speed and changes to safety standards make it necessary to widen tunnel cross-sections. World leading tunneling experts are searching for new ways to meet these needs. The invention patent № 2513501, registered 18 February 2014 in the Russian Federation State Invention Register describes a new way of widening the tunnel using diamond abrasive cutting. The inventors Inna Sakharova and Wilhelm Kazarian proposed a method that significantly increases production rates and safety (especially in seismic areas) while preserving the strength of the structure.**

**T**here are several traditional ways of tunnel widening. It can be done for instance by drilling boreholes along the tunnel design profile and filling them with explosives; then a series of local blasts and cycle rock breaking are performed in order to reach the design section. In some cases a heavy drilling tool that performs rock cutting by percussion drilling is used.

The U.S patent № 4206947, IPC E21C 27/02 is an invention patent for "Percussive slot cutter". The authors propose the use of a long drilling tool with a hard tip, while the weight of blow is balanced. Percussion drilling includes several steps:

- Drilling performed at obtuse angle to the base of the slot in the direction of advance;
- Moving the drilling tool (along an arc-path) and varying the angle;
- The return of the drilling tool to the initial position.

The closest prior art to the invention of Sakharova and Kazarian is the application for EP 0066156, IPC E21D 9/10 "Method of cutting a tunnel in rock by means of rock drilling machine" The invention concerns a method for cutting a tunnel in rock by means of a rock drill, comprising a rigid drilling tool, a striking device for delivering strokes on the tool, and a rotating device for rotating the tool. The rock is excavated from the tunnel interior as semi-cylindrical strips of 0–30 mm depth by rotating and striking the rigid tool. If the distance between the stripes is equal to the diameter of the tool, a tool for forming the next stripe is moved at a certain step. Otherwise, the ridge formed between the stripes

is broken by another device. Each subsequent excavated layer defines the inner surface of the tunnel.

The main drawbacks of this method are high labor costs and extended construction times. In addition, there is the risk of cracks and of collapse both at the construction site and on the surface due to the impact of striking tool on the rock and on tunnel walls.

The invention of Sakharova and Kazarian allows to preserve the strength of the tunnel and to improve production rates and work safety at minimum level of energy consumption. Another advantage of the proposed method is that it does not require additional equipment manufactured and refined. All the machinery used is well known and successfully used in mining.

The principle of the proposed method (Fig. 1–12) is that the boreholes 2 are drilled along the design profile 8 in the existing inner wall 13 of the tunnel 1. Between them the strips 3 are cut with the diamond wire saw 5. The latter consists of hinge links which are pivotally connected, for example by universal joint. The cutting process of the tunnel is performed by dragging the diamond wire saw, which is helically wound to provide better tension. The rotation tool is located on the side opposite to where the rollers are. The latter are fixed in the drilled boreholes by tubes 10 that have smaller diameter than that of a hole. They hold the rollers inside the hole by spacer 11 fixed on one side of the roller. On the side opposite to the roller the tube is fixed on plank 12 which in turn is fixed on an inner wall of a tunnel by rock anchor 14 with slot and wedge bolt 15.



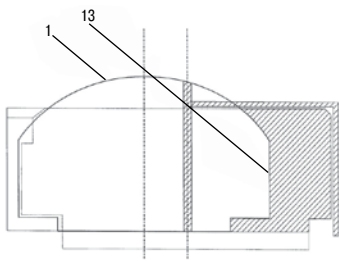


Fig. 1. Tunnel cross section

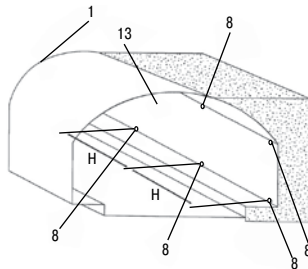


Fig. 2. Tunnel and the design profile mapped on the inner wall

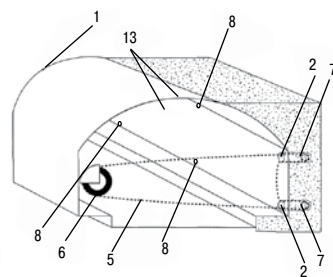


Fig. 3. Tunnel of the design profile, two boreholes cut at the perpendicular plane, and the rotation tool

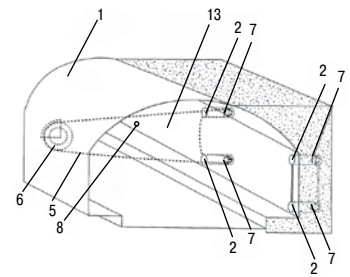


Fig. 4. Tunnel of the design profile, four boreholes cut at the perpendicular plane, and the strip cut in the perpendicular plane, and the rotation tool

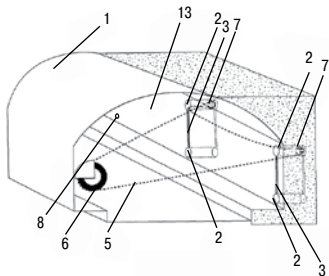


Fig. 5. Tunnel of the design profile, four boreholes and two parallel strips cut in the perpendicular plane, and the rotation tool

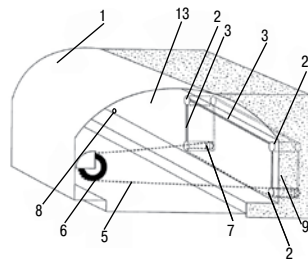


Fig. 6. Tunnel of the design profile, four boreholes, two parallel strips cut in the perpendicular plane, one strip cut in the parallel plane and the rotation tool

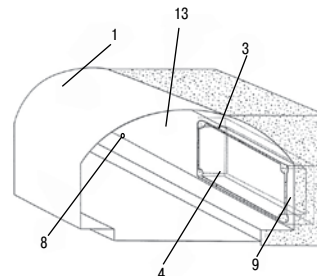


Fig. 7. Tunnel with four cut strips forming an opening along their perimeter

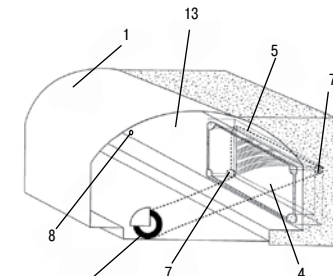


Fig. 8. Tunnel with rollers and diamond wire saw to cut the ridge

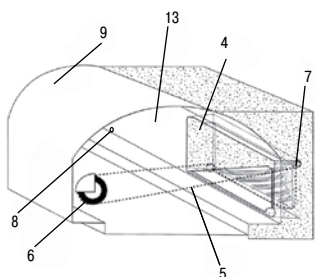


Fig. 9. Tunnel with rollers and diamond wire saw to cut the remainder of the ridge

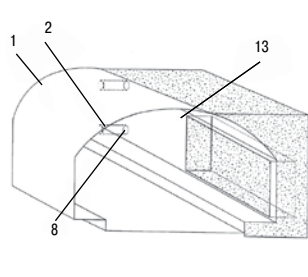


Fig. 10. Tunnel with cut ridge

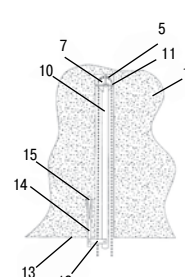


Fig. 11. Fixing the roller in the hole

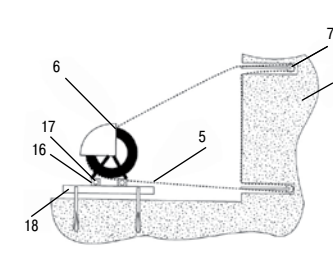


Fig. 12. Rail with carriages and rotation tool

List of items: 1 – tunnel; 2 – borehole; 3 – strip; 4 – ridge; 5 – diamond wire saw; 6 – rotation tool; 7 – roller; 8 – design profile; 9 – opening along the perimeter of the strips; 10 – tube; 11 – spacer bar; 12 – plank; 13 – the inner wall of the tunnel; 14 – rock anchor; 15 – slot-and-wedge bolt; 16 – carriage; 17 – pulley block; 18 – rail; H – shift step for points in the design profile

For higher efficiency, the rotation tool can be fixed by blocks on the carriages 16 with travelling or fixed pulley blocks 17. Carriages, in turn, fixed on the rail 18 and perform translational linear movement to ensure the diamond wire saw tension. The rail is placed at the bottom or wall of the tunnel.

To cut strips along the tunnel walls the rollers with the diamond wire on them are fixed inside two boreholes located in the parallel plane. For forming transverse strips one of the rollers is fixed in the hole located in a plane perpendicular to that of the previous hole, etc. The strips constitute the perimeter of rectangular opening 9, the volume inside it forms the parallelepiped – shaped ridge.

After this, the rollers are fixed in boreholes located diagonally on different levels relative to each other, while the diamond wire saw rounds one of the corners of the ridge

inside the opening 9. To ensure the correct alignment of the diamond wire saw the rotary tool is placed on the opposite side, shifted to the right or left to the fixed roller boreholes at a certain step. As the diamond wire saw is moving it cuts the ridge starting from the corner with no roller. After a part of the volume 4 is cut to about the parallelepiped diagonal the rollers stay unchanged but the diamond wire is positioned inside strip cuts 3 so that it rounds the corner opposite to the one that has already been cut. At the same time the rotation tool is moved to a certain distance in the opposite direction to ensure correct direction for diamond wire saw tension, then the remaining part of the ridge is cut.

Upon completion of this operation, the rollers are fixed in the next boreholes, drilled in accordance with the design profile. Then all of the above steps of the tunnel widening method are repeated.

# НЕСТАНДАРТНЫЕ «ГОЛОВОЛОМКИ» ДЛЯ КОМПАНИИ «СУ №299»

*Освоение подземного пространства нельзя представить без инженерно-геологических изысканий. Только так можно понять, что буквально находится у нас под ногами, получить необходимую информацию о структуре грунтов, определить химический состав и агрессивность грунтовых вод — все эти данные и становятся отправной точкой для создания новых проектов. Проведение именно таких исследований является одной из областей компетенции Санкт-Петербургского ООО «Строительное управление №299». Компания выполнила инженерно-геологические изыскания на таких значимых объектах Северной столицы, как КАД и ЗСД, ОДЦ «Охта», ОДЦ «Лакhta», главный канализационный коллектор, кроме того, проводились изыскания для Орловского тоннеля, линий метрополитена. Не будет преувеличением сказать, что ни один крупный строительный проект в Санкт-Петербурге и Ленинградской области не обходится без участия ООО «СУ №299».*



**199155, Санкт-Петербург,  
пер. Декабристов, д. 7  
Тел.: (812) 337-51-55,  
(812) 337-51-57  
E-mail: info@su299.ru  
www.su299.ru**



«Уникальные задачи тем и хороши, что требуют творческого подхода», — так характеризуют свою работу специалисты компании. Нестандартными «головоломками» пришлось заниматься буквально с первых шагов образования предприятия.

Костяк коллектива сложился в 1990-е годы, когда на базе кафедры бурения Санкт-Петербургского горного института было образовано ТОО «Блок». Первое серьезное испытание не заставило себя ждать — в 1995 году были начаты работы по обследованию аварийного участка метрополитена между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» для проектирования обходного тоннеля. Символично, но уже в наши дни ООО «СУ №299» получило заказ на обследование и экспериментально-опытные работы по заполнению аварийного тоннеля. Дело в том, что проектировщики предложили окончательно законсервировать аварийные участки, заполнив их двухкомпонентной полимерной смесью. Предстояло выяснить, насколько она пригодна для данных целей.

— Мы вскрыли двумя скважинами кровлю тоннеля на глубине 70 м, — рассказывает директор по развитию «СУ №299» Владимир Климов. — Попадание было 100%-ным: на поверхность была извлечена в виде керна верхняя часть кровли тубинговой крепи. Определили, что тоннель заполнен водой,

а не песчаной супесью, как первоначально предполагалось, были отмечены лишь незначительные сторонние примеси из-за дренирования. Процесс работ заключался в том, что в одну скважину запускалась быстротвердеющая смесь, а через другую отслеживалось ее поведение. В настоящее время проект приостановлен. Скорее всего, для заполнения будет предложен иной материал.

Хотя инженерно-геологические изыскания и являются визитной карточкой ООО «СУ №299», сфера деятельности компании этим не ограничивается. К примеру, ее специалисты уже давно стали настоящими мастерами по сооружению свайных оснований, «стены в грунте», противофильтрационных завес, но самое серьезное задание ждало их на Светлинской ГЭС, предназначенной для энергоснабжения алмазодобывающих предприятий Якутии. Строительство станции на реке Вилюй пришлось на переломное для страны время. Подготовительные работы начались в 1979 году, в апреле 1983 года был закончен строительный канал, через который чуть позже возвели мост. В нестабильные 1990-е проект был заморожен. Возобновились работы лишь в 1999 году. В сентябре 2004-го был введен в эксплуатацию первый гидроагрегат, в декабре 2005-го — второй, в феврале 2008 года —



третий. Следует отметить, что и основные сооружения ГЭС, и сама плотина построены не на скальных, а на талых грунтах, которые необходимо постоянно поддерживать в замороженном состоянии. Для этого соорудили специальный тоннель, который зимой естественным образом продувается холодным воздухом, а летом наглухо закрывается, что и обеспечивает термостатический эффект.

Второй не менее важный момент — дно отводящего канала выложено железобетонными плитами толщиной 1,6–1,9 м, решение необычное, в какой-то степени даже уникальное. Именно здесь и стали возникать проблемы, что неслучайно, так как с момента постройки канала прошло значительное время. Грунт под железобетонным основанием начал размываться, часть плит стала разрушаться и уноситься течением.

Дело дошло до того, что эти обломки разворачивались в обратную сторону под плотину и попадали под лопасти турбин. Все это грозило серьезной аварией. Специалисты ОАО «Гидропроект» предложили вариант, способный предотвратить катастрофическое развитие ситуации. Необходимо было возвести металлический «забор» из трубного шпунта на всю ширину канала с заглублением в подплитные русловые грунты на 10,5 м.

Эта задача была возложена на ООО «СУ №299». Правда, предложенная проектной институтом технология производства работ на практике оказалась трудновыполнимой.

Под водой, на глубине 8 м, строителям требовалось проштрабить железобетонные плиты, затем через выполненную штрабу погрузить в подстилающие грунты трубошпунт, забетонировать внутреннюю полость трубы и зазор. Основная проблема состояла в том, что промежуток между этими работами должен быть минимальным. Закрепить трубошпунт и бетонные плиты сложно, так как плиты на дне связаны швами и, учитывая бурное течение реки Вилюй, существовала реальная опасность их последующего разрушения. Методика лидерного бурения с последующим погружением трубошпунта здесь явно не подходила.

— Мы предложили технологию одновременного бурения и погружения шпунта через штрабу в бетонных плитах, выполненную путем подводного алмазного бурения, — поясняет Владимир Климов. — Впоследствии оказалось, что никто в мире такого не делал. Нежданно-негаданно для себя мы оказались первопроходцами. Работы выполнялись захватками. Сначала делали одну из них, погружали трубошпунт и сразу же бетонировали.

Из всех вариантов специалисты компании выбрали наиболее оптимальный —



с применением станков алмазного бурения BRAUN производства австрийской фирмы Braun Maschinenfabric Ges. m.b.H. u. Co. KG. Диаметр алмазной коронки составил 1 м, длина — 2 м. Для устойчивости системы была разработана специальная утяжеленная металлическая рама с донной направляющей. С помощью крана буровой станок, оборудованный системами видеонаблюдения и освещения, опускался на дно, где водолаз контролировал его положение. Информация с видеокамеры поступала на баржу, на которой оператор, управляя гидравлической частью, создавал заданное усилие на коронку и поддерживал требуемую частоту вращения.

Существовала еще одна проблема: по первоначальному проекту скважины имели больший, нежели шпунтовые трубы, диа-



метр. Проектировщики предложили заполнить зазор между грунтом и создаваемой стеной материалом GeoFlex, но специалисты ООО «СУ №299» убедили их в нецелесообразности такого варианта.

— У нас уже был опыт — подобные скважины мы делали для водоснабжения

компрессорной станции «Северного потока», на аварийном участке метро «Площадь Мужества» — «Лесная», — комментирует ситуацию Владимир Климов. — Существующие при пневмоударном бурении вибрации заставляют окружающий грунт плотно обжимать трубу, зазор практически не остается. Получается, мы одной операцией решаем три задачи: осуществляем бурение, установку трубы и обжатие грунтом этой самой трубы. Мы вышли с данным предложением в проектную организацию, где с нами согласились, внесли изменения в проект и отказались от инъецирования смолами.

Таким образом, технология, предложенная ООО «СУ №299», получила заслуженное признание, о чем свидетельствует ряд публикаций в зарубежной прессе.

В прошлом году специалисты компании выполнили первую часть строительных работ на Светлинской ГЭС, подтвердивших эффективность использования новой методики.

Впереди у «СУ-299» — новые планы, новые надежды. Подкрепленные накопленным опытом, высоким кадровым и техническим потенциалом.

— Мы планируем участвовать в тендере на выполнение работ по строительству морского пункта пропуска «Брусничное» в качестве генподрядчика. В свое время наша компания выполняла здесь инженерно-геологические изыскания, — рассказывает Владимир Климов. — Одна из изюминок этого проекта — использование свай-оболочек для строительства подъездной эстакады. В скальный грунт, состоящий в основном из гранитов, должна быть погружена стальная труба на глубину не менее, чем три ее диаметра. Подобный опыт работы у нас уже был, причем весьма успешный.

Г.А. МАТВЕЕНКО,  
В.А. ЛУКИН,  
Е.П. КОМАРОВ

ООО «Подземстройреконструкция»

# ОПЫТ УСТРОЙСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ

*Underground construction in highly dense urban area in megacities is gradually gaining increased attention. Shopping malls, parking lots, etc. will become underground as the necessity of extensive use of space under central urban areas comply with up-to-date development requirements. Some time will pass, and today's multi-storey buildings with no underground structures may become anachronisms. Russian construction company "Podzemstroyrekonstruktsiya" (St. Petersburg) has gained a certain experience in building underground, and presents it in this article.*



Кафе «Пирамида» в Петрозаводске

**В настоящее время в условиях плотной городской застройки все более актуальной становится проблема строительства подземных сооружений, предназначенных для размещения торговых комплексов, автостоянок и т. п. Необходимость полного использования подземного пространства центральных районов городов является современным требованием развития мегаполисов. Пройдет еще немного времени, и проектируемые многоэтажные здания без подземных сооружений станут анахронизмами. Строительная компания «Подземстройреконструкция» накопила определенный опыт устройства заглубленных объектов.**



Один из подобных примеров — двухэтажное подземное предприятие общественного назначения размером 39 × 31 м (рис. 1), сооруженное в центральной части Петрозаводска.

**Таблица 1**  
**Физико-механические характеристики**

Плотность, т/м <sup>3</sup>	Влажность, %	Коэффициент пористости	Показатель текучести	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град.	Модуль деформации, МПа
2,21	17,3	0,44	0,09	47	26	34

Инженерно-геологические условия участка строительства представлены техногенными (1–2 м) и нижневалдайскими однородными моренными (10–11 м) отложениями. Полутвердый суглинок однородный (его характеристики приведены в табл. 1) содержит до 20% гравия и гальки, а также до 5% валунов.

Неблагоприятными особенностями суглинков следует считать разжижение морены под действием напорных вод при повышении естественной влажности всего на 2–3% и переход морены в пльвунное состояние.

При откопке котлована на глубину около 8 м в зону влияния строительства попадали шестиэтажный жилой дом по улице Кирова (расположен на расстоянии 11,6 м), шестиэтажный жилой дом по улице Ленина (16,8 м), одноэтажное здание ресторана «Максим» с подвалом (6,8 м), проезжая часть улицы Кирова (9 м) и улицы Ленина (8,3 м). Здания выполнены на ленточных железобетонных фундаментах глубиной заложения около 1,8 м.

Разработка грунта котлована была выполнена под защитой шпунтовой стены из касательных буронабивных свай диаметром 350 мм и длиной 8,5 м (рис. 2), объединенных монолитным железобетонным ростверком. Анкерная свая была выполнена буроинъекционными сваями Titan длиной 8 м. На первом этапе был разработан «пионерный» котлован глубиной около 2,5 м. Откопка основного котлована и устройство подземного сооружения была выполнена тремя захватками (рис. 3).

При разработке грунта вдоль улицы Кирова вблизи водонесущих коммуникаций был обнаружен участок пльвуна. Буронабивные сваи шпунтового ограждения на этом участке выполнялись под защитой неизвлекаемых обсадных труб.

В настоящее время строительство этого подземного сооружения уже завершено. Дополнительных осадок примыкающих зданий, по данным профессора Петрозаводского государственного университета В.Г. Симагина, не наблюдалось.

В Санкт-Петербурге (Невский проспект, 104) было выполнено строительство многоэтажного здания с подземным этажом. Грунтовые условия площадки типичны для центральной части города. В геологическом строении участка до глубины 40 м принимают участие современные морские, верхнечетвертичные озерно-ледниковые и лед-

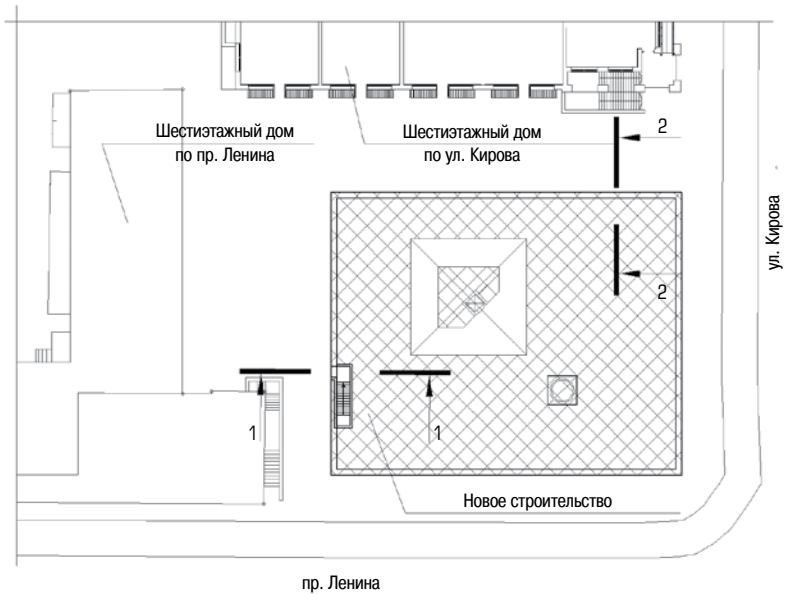


Рис. 1. Схема расположения подземного сооружения в Петрозаводске

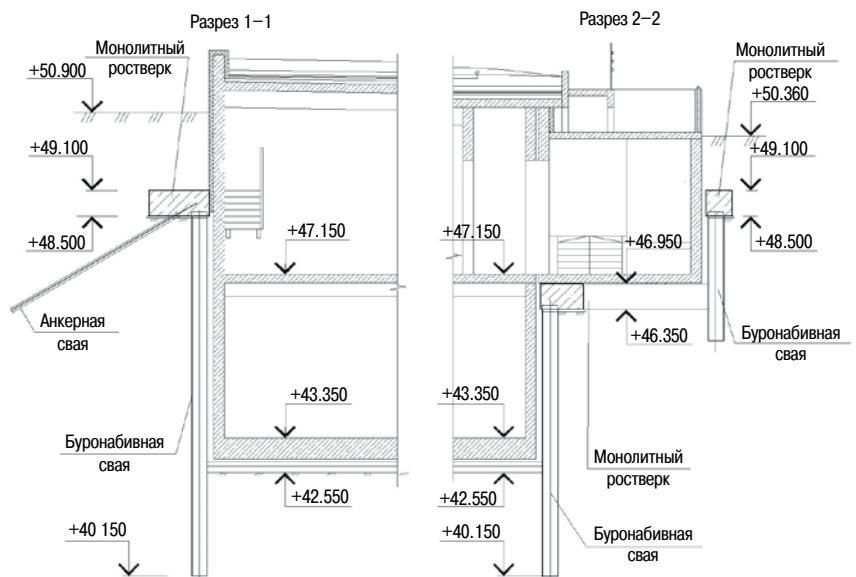


Рис. 2. Разрезы здания



Рис. 3. Устройство подземного сооружения в Петрозаводске

Таблица 2  
Нормативные / расчетные показатели грунтов

№ ИГЭ	Грунт	Отметка кровли, м	Плотность, кН/м <sup>3</sup>	φ, град.	с кПа	Е, МПа	Консистенция, I <sub>L</sub>
1	Насыпной	6,2	18,4/19,4	16/18	6/9	7	—
2	Песок пылеватый	3,0	18,4/19,4	24/26	1/2	11	0,750
3	Заторфованный грунт	-0,9	10,5/10,9	10/12	6/9	3	3,146
4	Супесь текучая	-1,8	19,1/19,3	16/18	6/9	7	1,22
5	Суглинок текучепластичный	-2,7	18,1/18,2	10/12	8/12	8	0,76
6	Суглинок мягкопластичный	-7,7	19,5/19,7	16/18	15/22	10	0,64
7	Супесь пластичная	-13,6	20,5/20,6	23/26	10/15	11	0,53
8	Супесь твердая	-25,8	21,6/21,7	26/30	14/21	17	-0,20

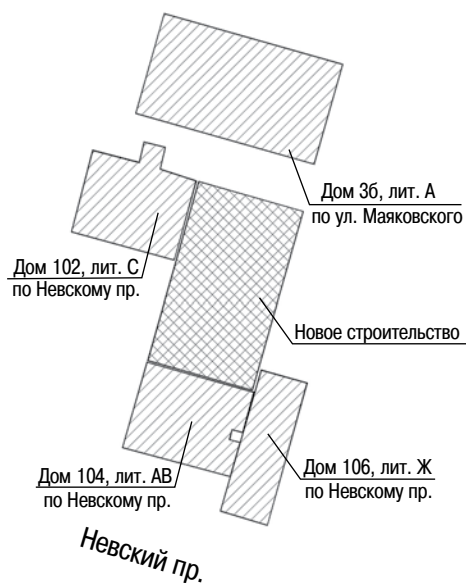


Рис. 4. Схема расположения нового строительства на Невском проспекте



Рис. 5. Устройство подземного этажа открытым способом



Рис. 6. Устройство подземного этажа способом top-down

никовые отложения. Нормативные и расчетные показатели грунтов приведены в табл. 2.

В зоне влияния строящегося здания на Невском проспекте оказались дома с номерами 106, лит. Ж (1 м), 104, лит. А8 (1 м), 102, лит. М (от 1 м), а также расположенные на расстоянии 8–10 м: 108, лит. Б по Невскому проспекту, 6, корп. 5 и 6, корп. 5, лит. А, по улице Восстания (рис. 4). Вплотную примыкающие здания были усилены сваями Titan длиной 20 м.

Котлован глубиной около 4 м откапывался под защитой вдавливаемого шпунта Arcelor 18 длиной 12 м. Три четверти котлована были разработаны открытым способом под защитой распорок и обвязочных балок (рис. 5). Оставшаяся часть, вплотную примыкающая к зданиям, была выполнена закрытым способом top-down (рис. 6).

Фундаменты здания выполнены на буронабивных сваях (диаметр — 450 мм, длина — 22 м от поверхности грунта) и объединены фундаментной плитой толщиной 800 мм.

По результатам наблюдений ООО «Центр геотехнического мониторинга», максимальные осадки дома 106, лит. Ж, по Невскому проспекту составили 13 мм при средней величине 7 мм. Для дома 104, лит. А8, максимум достиг 8 мм (в среднем — 4 мм). Для дома 102, лит. М, — 14 мм (6 мм). Максимальные осадки дома 6, корпус 5, по ул. Восстания составили 6 мм, дома 108, лит. Б, по Невскому проспекту — 3 мм, корпуса 5, дома 6, лит. А, по улице Восстания — 2 мм.

Как видно из результатов наблюдений, принятые конструктивные решения и защитные мероприятия при устройстве подземных сооружений оказались вполне достаточными для обеспечения устойчивости окружающей застройки. Дополнительные осадки, накопленные за весь период строительства, оказались существенно меньше предельных величин.





# Дороги Содружества Независимых Государств



**Официальный печатный орган дорожников стран СНГ и дальнего зарубежья на русском языке – международный информационно-аналитический, научно-технический журнал**

#### Содержание:

- компетентная информация о достижениях и проблемах развития в автодорожной отрасли стран СНГ и дальнего зарубежья;
- деловая информация из первых рук от министров транспорта и руководителей дорожных администраций и компаний России и стран СНГ;
- отраслевые и региональные обзоры, аналитические статьи отечественных и зарубежных ученых и специалистов по проблемам развития отрасли;
- новые законы и нормативные документы, регламентирующие деятельность дорожного хозяйства, комментарии к ним разработчиков;
- анализ опыта работы конкретных предприятий и организаций всех форм собственности в странах СНГ и дальнего зарубежья;
- информация о выставках, конкурсах, тендерах, услугах, новой технике и технологиях;
- история развития автодорожного хозяйства в странах СНГ и дальнего зарубежья;
- отраслевые и региональные спецвыпуски, в т.ч. «журнал в журнале»

#### Аудитория:

- министры транспорта и руководители дорожных администраций стран СНГ и дальнего зарубежья;
- руководители предприятий дорожной отрасли, транспорта, промышленности, строительства стран СНГ и дальнего зарубежья,
- ученые НИИ, преподаватели вузов, автодорожники;
- участники совещаний, конференций, профильных выставок в странах СНГ и дальнего зарубежья

#### Распространение:

- исполком СНГ, администрация президентов, правительств и посольств;
- министерства транспорта и коммуникаций, дорожные администрации стран СНГ;
- торгово-промышленные палаты, выставочные комплексы, зарубежные торговцы;
- крупнейшие проектные, строительные и эксплуатационные компании дорожной отрасли стран СНГ и дальнего зарубежья;
- международные и региональные съезды и конференции, выставки и ярмарки в странах СНГ и дальнего зарубежья

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) от 09 февраля 2011 г. (ПИ № ФС 77-43761)

Учредители: Секретариат МСД, СРО НП МОД «СОЮЗДОРСТРОЙ», ООО «Интрансдорнаука»

Издатель: ООО «Интрансдорнаука»

125310, г. Москва, Ленинградский пр-т, д.64, офис 107-а, т.ф. (499) 155-04-76,

e-mail: oooitdn@gmail.com



Ричард ЛУННИСС,  
Джонатан БАБЕР

# ПОГРУЖНЫЕ ТОННЕЛИ: ДВА СТОЛЕТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

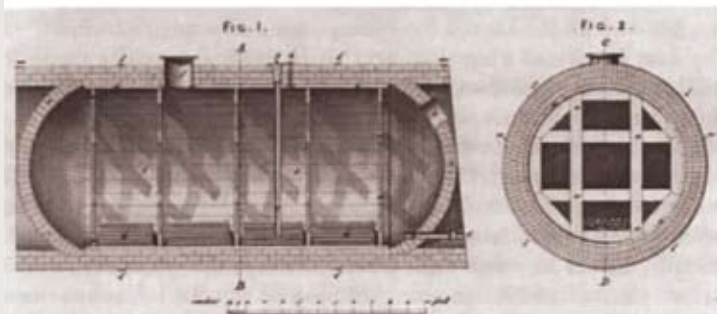
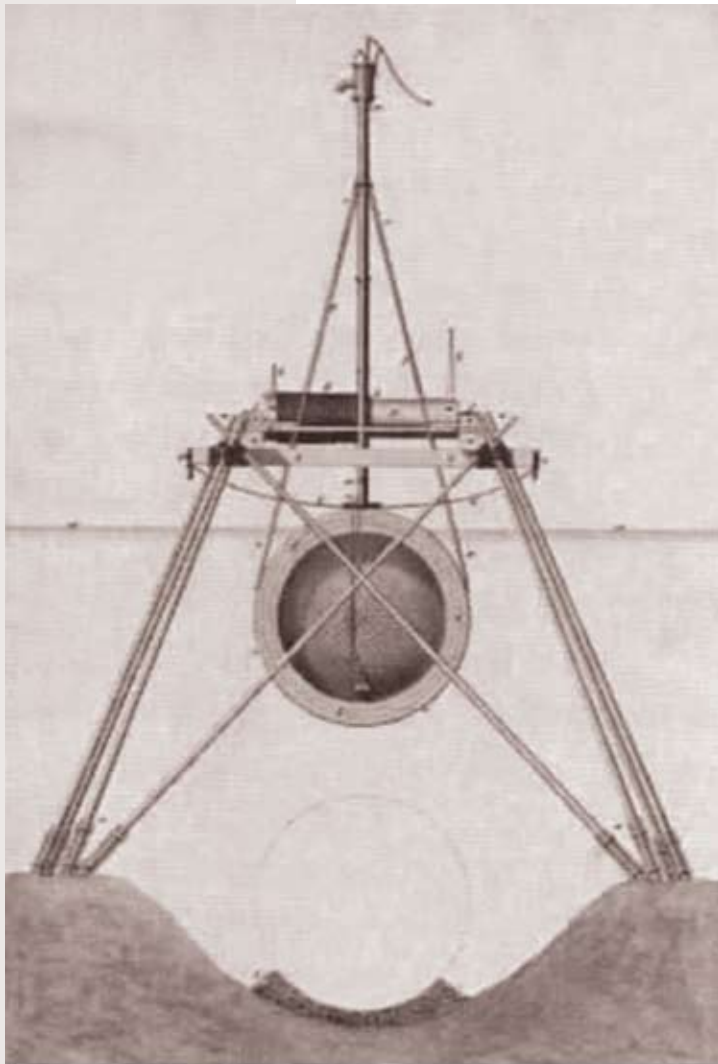


Рис. 1. Погружной тоннель Чарльза Уайетта

*Идея сооружения погружных тоннелей появилась задолго до того, как был реализован первый подобный проект. Основные принципы были сформулированы в начале XIX века в Англии, тогда, когда Исамбард Кингдом Брюнель еще только приступал к строительству знаменитого тоннеля под Темзой (Thames Tunnel) с помощью изобретенного им незадолго до этого проходческого щита. На воплощение в жизнь погружных разработок ушло гораздо больше времени.*

## Первая попытка

В 1803 году английский инженер Генри Тессье дю Моттрей предложил связать Англию и Францию погружным тоннелем из чугунных элементов, уложенных на дно Ла-Манша. В то время это было одно из многочисленных предложений подобного рода, однако надвигающаяся опасность вторжения Наполеона не позволила воплотиться ни одному из них. В 1808 году еще один английский инженер, Ричард Тревитик, в качестве решения для перехода через Темзу предложил метод строительства секций погружного тоннеля внутри сухих коффердамов (кессонов), установленных на деревянных сваях. Готовые кирпичные секции должны были засыпаться грунтом до первоначальной отметки дна, сам же коффердам предполагалось сдвинуть (разобрать и построить на другом месте) на расстояние 50 футов по направлению вперед вдоль трассы тоннеля. Таким постепенным продвижением коффердама и предполагалось построить весь объект. Хотя по сути это был все тот же открытый способ строительства, но все же в него был включен ряд элементов современной технологии погружных тоннелей, так что он стал важным шагом в развитии технологии сооружения подобных конструкций.

Первый вариант тоннеля должен был быть кирпичным, но позже Тревитик решил заменить кирпич



чугуном. Он передал свои предложения в компанию Thames Archway Company, взявшуюся построить первый тоннель под Темзой, но они не были приняты. В 1809 году эта компания объявила конкурс проектов, на который было подано 54 заявки. В 1810 году решение было принято в пользу проекта погружного тоннеля Чарльза Уайетта. Его идея состояла в том, чтобы проложить по дну траншею и погружать в нее кирпичные цилиндры длиной 50 футов. Торцы цилиндров (для обеспечения их водонепроницаемости и способности держаться на плаву) должны были быть перекрыты временными сферическими кирпичными переборками. Каждый цилиндр снабжался простым балластным устройством, чтобы его можно было при необходимости затопить.

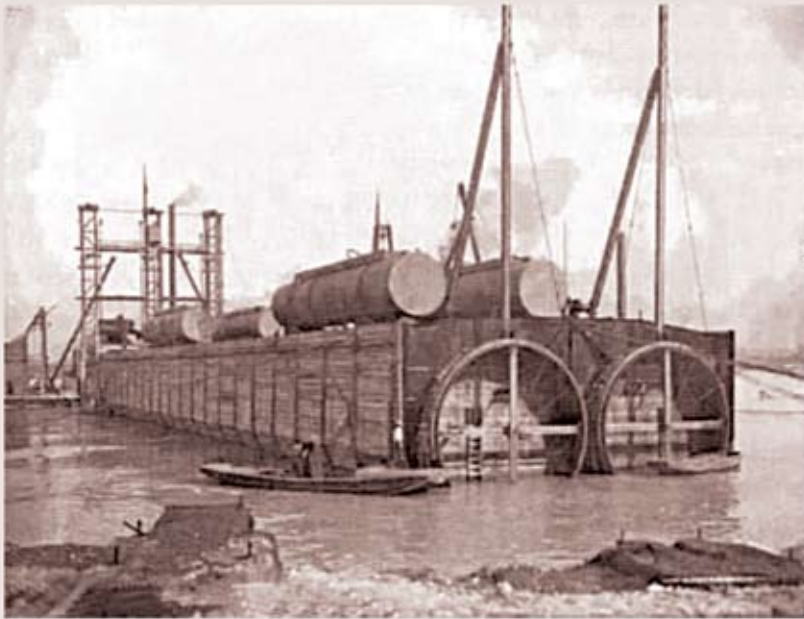
С инженерной точки зрения схема Уайетта была неплохо продумана. Например, чтобы защитить тоннель от возможного повреждения якорями проходящих над ним судов, траншею предполагалось сделать достаточно глубокой (не менее чем 6 футов). В Thames Archway Company решили провести ряд испытаний, чтобы проверить жизнеспособность новой технологии. Был исследован ряд параметров, в частности герметичность перегородок между секциями, прочность самих цилиндров, точность, которую можно было достигнуть при монтаже тоннеля. Необходимо было также выяснить, какие потенциальные помехи движению речного транспорта может создать тоннель. Джону Айзеку Хокинсу было поручено построить два цилиндра длиной 25 футов каждый с внутренним диаметром 9 футов. Испытание было проведено в условиях мелководья, в самом цилиндре был оставлен проход для его осмотра изнутри. Каждый цилиндр с толщиной стен 13,5 дюйма весил 52 тонны и требовал 8–10 тонн балласта для погружения. Цилиндры изготавливались на затапливаемых баржах, для их опускания в реку были построены специальные леса. Движение по реке было весьма интенсивным, поэтому леса приходилось постоянно ремонтировать из-за многочисленных повреждений. При транспортировке цилиндры закреплялись вдоль баржи. После расположения исследуемых объектов под лесами обозначались их оси и устанавливались мачты для контроля их положения. Погруженный в воду цилиндр закреплялся на месте с помощью гравийной засыпки, выполняемой вручную. Схема Хокинса представлена на рис. 1.

После установки второго элемента по шву между ним и первым элементом наносилась глиногравийная смесь, затем из тоннеля удалялась вода. Шов иногда пропускал воду, но это не считалось препятствием, так как предполагалось заделывать швы глинобетонной смесью. Хотя это предложение казалось технически осуществимым, было понятно, что существующий прием заделки швов в настоящем тоннеле может вызвать проблемы, поэтому данная операция требовала доработки. К сожалению, проведенные испытания оказались очень дорогостоящими, и в 1811 году Thames Archway Company решила прекратить работу над проектом. Тем не менее разработка Чарльза Уайетта — это первый полномасштабный проект погружного тоннеля, ставший, безусловно, технологическим прорывом для своего времени.

В середине XIX века уже существовало немало проектов, в которых использовалась идея погружных тоннелей. Среди них были предложения французских инженеров по строительству тоннеля под Ла-Маншем, но от них отказались из соображений национальной безопасности. Известен также ряд предложений по строительству погружных тоннелей на железнодорожных линиях западноевропейских стран.

Подобные идеи продолжали занимать умы британских инженеров вплоть до середины XIX века. В 1845 году инженер Джон де ла Хэй опубликовал в The Mechanics Magazine, Museum, Register, Journal and Gazette большую статью о возможностях применения и способах строительства погружных тоннелей. В ней рассматривались варианты использования чугунных опускающих секций для строительства ряда тоннелей в Великобритании, а также для перехода Дувр — Кале во Франции. Автор предложил использовать систему наружного балласта и провел детальный анализ преимуществ погружных тоннелей по цене и безопасности по сравнению с новой технологией щитовой проходки, примененной в то время для строительства тоннеля под Темзой.

В середине XIX века уже существовало немало проектов, в которых использовалась идея погружных тоннелей. Среди них были предложения французских инженеров по строительству тоннеля под Ла-Маншем, но от них отказались из соображений национальной безопасности. Известен также ряд предложений по строительству погружных тоннелей на железнодорожных линиях западноевропейских стран. В то же время эти идеи стали проникать и на территорию Соединенных Штатов. Однако следующую практическую попытку подобного рода предприняли опять же в Великобритании, где в 1865 году был предложен проект подводного тоннеля под Темзой для пневматической железной дороги Ватерлоо — Уайтхолл. В то время Томас Вебстер Раммелл учредил в Лондоне компанию по строительству данной железнодорожной сети, и вышеназванная линия должна была стать первым ее участком, пересекающим Темзу в районе вокзала Ватерлоо. В 1868 году проект был остановлен из-за банковского кризиса, разразившегося двумя годами ранее. Однако часть работ все же успели выполнить: был прокопан участок траншеи и устроен фрагмент основания тоннеля. Одна из секций была построена полностью, и еще две — частично. Хотя сооружение было разобрано, его можно считать первой настоящей попыткой строительства погружного



**Рис. 2. Плавающая платформа, с помощью которой велось строительство погружного тоннеля в Детройте**

тоннеля. Его конструкция отличалась от тоннеля Уайетта: секции сооружались из  $\frac{3}{4}$ -дюймового толстолистового железа, снаружи и изнутри которого устанавливалась кирпичная футеровка. Цилиндры также были более длинными — 235 футов каждый, с внутренним диаметром, равным 10 футам.

### Технические возможности

Набирала обороты идея строительства опускных тоннелей и в Соединенных Штатах Америки. Особую активность проявил в этом направлении инженер Жозеф де Сендзимир, предложивший в 1857 году соединить Нижний Манхэттен и Бруклин погружным тоннелем под Ист-Ривер. Секции предполагалось изготавливать из листов котельного железа, соединяемых болтами. Идея по пятам за Раммеллом, Сендзимир подумывал также и о создании пневматической железной дороги, соединяющей Манхэттен, Бруклин и Нью-Джерси, намереваясь использовать для ее строительства погружные чугунные трубы. Однако ни один из этих замыслов так и не был воплощен в жизнь.

Первый реализованный проект погружного тоннеля появился в США в 1893 году. Это был напорный участок трубопровода (дюкер) под морским заливом шириной 60 метров, предназначенный для транспортировки сточных вод из Бостона на очистную станцию.

Первый реализованный проект погружного тоннеля появился в США в 1893 году. Это был напорный участок трубопровода (дюкер) под морским заливом шириной 60 метров, предназначенный для транспортировки сточных вод из Бостона на очистную станцию. Тоннель длиной 100 м и диаметром 2,7 м был построен из кирпича и бетона. На конце каждой секции были установлены деревянные перегородки, соединенные болтами с помощью наружных стальных фланцев.

Ввод в эксплуатацию этого сооружения дал старт строительству погружных тоннелей, за первым реализованным проектом практически сразу последовали другие. В том же году и по той же технологии в Париже под Сеней был проложен двойной канализационный тоннель длиной 200 м, а еще через 7 лет, в 1900 году, в Дании построили водопропускной и канализационный тоннели протяженностью 185 и 43 м соответственно.

Все это дало толчок развитию технологий, которые вскоре достигли уровня, достаточного для строительства транспортных тоннелей. Первым из них стал железнодорожный тоннель под рекой Сент-Клэр в Детройте, открытый в 1910 году. Автор проекта — американский инженер В.Дж. Вилгус предложил уложить две водонепроницаемые конструкции в траншею, которую затем со всех сторон следовало залить бетоном. Тоннель состоял из 10 секций длиной по 80 м и одного завершающего фрагмента (20 м). На рис. 2 изображена плавающая платформа, с помощью которой велось его строительство.

Судостроительная промышленность США на тот момент была уже достаточно высокоразвитой, поэтому имело смысл использовать ее опыт для производства тоннельных конструкций. Элементы тоннеля под рекой Сент-Клэр были изготовлены детройтской компанией Great Lakes Engineering Works, имевшей опыт строительства грузовых судов, поэтому для решения новой задачи она использовала уже апробированные методы. Два тоннеля (в каждом из них предполагалась прокладка одного железнодорожного пути) диаметром 23 фута 4 дюйма изготавливались из стальных листов толщиной  $\frac{3}{8}$  дюйма, соединенных накладными клепанными швами (как и при производстве судовых котлов). Они укреплялись кольцевыми уголками с ребрами жесткости ( $4 \times 3 \times \frac{3}{8}$  дюймов), прикрепленными к внутренней стороне листов через каждые 12 футов. Для дополнительной поддержки на время монтажа на каждом ребре жесткости устанавливались временные стальные стойки, наподобие велосипедных спиц. Трубы тоннеля снаружи также через каждые 12 футов имели стальные диафрагмы, на которых удерживалась деревянная опалубка в виде открытого ящика. Она предназначалась для балластного бетона, который заливался сразу после установки труб в траншею. Минимальная толщина бетона вокруг труб составляла 3 фута. Концы секций закрывались деревянными перегородками, для гидроизоляции швов использовались резиновые уплотнители. Все конструкции тоннеля были изготовлены в течение 20 месяцев.

Траншея была выкопана грейферным земснарядом. Глубина и ширина проверялись волочением стальной балки вдоль вырытой траншеи (тралением жестким тралом). После этого в места соединений труб для их



поддержки в момент установки на дно траншеи были уложены стальные сетки. Они были достаточно длинными и доходили до концевых диафрагм каждой трубы, необходимый уровень достигался с помощью прокладок. Это был интересный, хотя, видимо, и достаточно дорогостоящий способ борьбы с известной проблемой обеспечения правильного вертикального положения торцов соседних тоннельных секций, что непросто сделать и сейчас, несмотря на все современные методы.

Для преодоления положительной плавучести элементов воду впускали через торцевые переборки, на каждой из них имелся клапан, который можно было открыть снаружи. Внутри сегменты были разделены двумя внутренними перегородками на три секции; сверху были установлены внешние пневмоцилиндры длиной 60 футов, также разделенные на три отсека. Данные приспособления позволяли с высокой долей точности контролировать дифферент сегментов в процессе их установки. Вес каждого сегмента в погруженном состоянии составлял около 500 т. Операция погружения выполнялась примерно по той же схеме, что и сейчас. Для этого использовались большие заанкеренные плавучие баржи с деррик-краном, на каждое погружение уходило около двух часов. Затем водолазы соединяли элементы тоннеля фланцами с креплением на болтах.

Бетон в открытый ящик вокруг стального кожуха укладывался методом восходящей трубы. В то время не было опыта бетонирования столь большого объема под водой, поэтому подрядчику пришлось провести серию опытов, прежде чем удалось определиться с подходящей смесью и способом ее укладки. Процесс укладки контролировался водолазами, которые следили за тем, чтобы бетон плотно окружал оболочки и обеспечивал достаточную толщину верхнего слоя. Затем траншею засыпали, сначала почти до половины зернистым грунтом, а остальную часть — глиной, вырытой из траншеи. Воду из секций выкачивали с помощью заранее смонтированных установок. Это позволило продолжить работать внутри секций — были удалены деревянные переборки и выполнена внутренняя железобетонная обмуровка.

Успешное завершение строительства в 1910 году наглядно продемонстрировало технические возможности сооружения крупных погружных тоннелей. Были найдены практические решения ряда непростых проблем. Многие из примененных тогда технических приемов были затем усовершенствованы и применены в последующие десятилетия.

## Стальные оболочки

Успех детройтского проекта привел к тому, что стальные погружные тоннели как метод строительства подводных объектов получили в США дальнейшее развитие. Почти сразу же были осуществлены два железнодорожных проекта. В 1912 году был открыт тоннель на улице Лассаль в Чикаго. Он представлял собой первую в своем роде конструкцию с одинарной оболочкой. На рис. 3. показан процесс сооружения тоннеля в сухом доке. Вскоре, в 1914 году, был введен в строй железнодорожный тоннель под Гарлем-Ривер в Нью-Йорке (Harlem River Tunnel). Первый в мире автодорожный по-

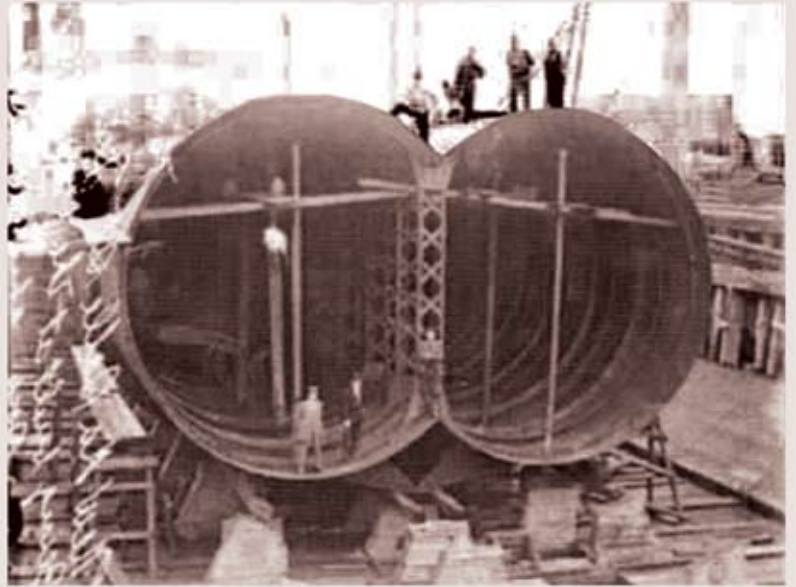


Рис. 3. Тоннель на ул. Лассаль в Чикаго

гружной тоннель — Posey Street Tunnel в Калифорнии. Строительство этого железобетонного сооружения цилиндрической формы завершилось в 1928 году.

Три вышеназванных тоннеля хоть и немного, но отличались друг от друга технологиями строительства, но затем строительство погружных тоннелей в США стало развиваться по двум четко обозначенным направлениям:

- тоннели с двойной стальной оболочкой;
- тоннели с одинарной стальной оболочкой.

Речной тоннель в Детройте является гибридом, его можно отнести к обоим типам. Располагая только одной стальной оболочкой, он был построен по технологии, которую затем использовали для тоннелей с двойной оболочкой. Единственная разница в том, что для устройства внешней оболочки в Детройте использовалась деревянная опалубка. Первый тоннель с настоящей двойной оболочкой (где внешняя выполнена из стали) — это Harlem River Tunnel. На рис. 4 представлена одна из его опускных секций, расположенная на плоскодонных баржах, на рис. 5 — процесс транспортировки по реке.

В 1912 году открыт тоннель на улице Лассаль в Чикаго. В 1914 году введен в строй железнодорожный тоннель под Гарлем-Ривер в Нью-Йорке (Harlem River Tunnel). Строительство первого в мире автодорожного погружного тоннеля — Posey Street Tunnel в Калифорнии — завершилось в 1928 году.

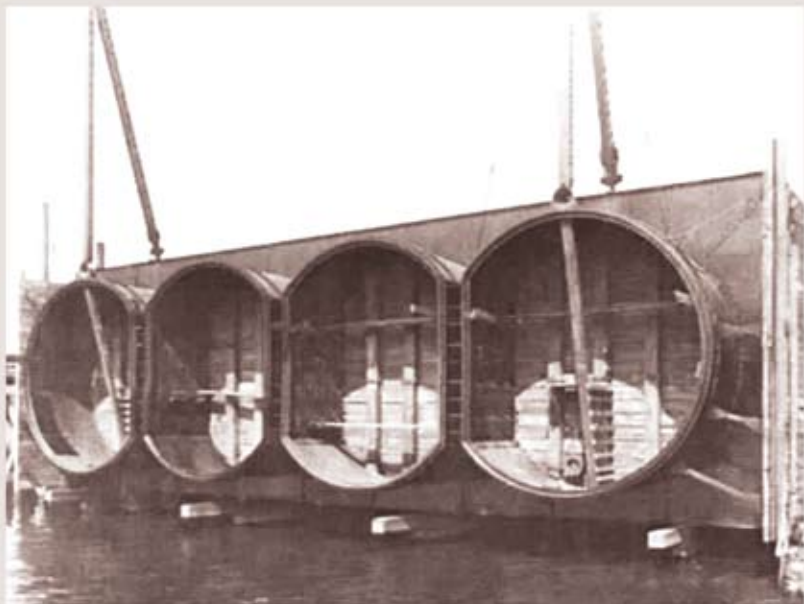


Рис. 4. Опускная секция Harlem River Tunnel



Рис. 5. Транспортировка опускной секции Harlem River Tunnel

В 1930 году завершилось строительство второго тоннеля на реке Детройт (Detroit-Windsor Tunnel). Проектом было предусмотрено шестигранное внешнее сечение тоннеля с двойной оболочкой, данное решение впоследствии было принято в США за образец. На рис. 6 показана схема, за основу которой взят проект Second Hampton Roads Tunnel (открыт в 1976 году). Была изготовлена жесткая цилиндрическая стальная

оболочка, покрывающая всю длину секции тоннеля. К внешним диафрагмам, расположенным с определенным шагом вдоль секции, прикреплялась внешняя стальная оболочка (наружная обшивка). Пространство между оболочками заливалось бетоном, который защищал от коррозии, а также выступал в качестве основного балласта, предотвращающего всплытие. Внутри цилиндрической стальной оболочки устанавливалась внутренняя железобетонная облицовка, и эта облицовка вместе с цилиндрической стальной оболочкой обеспечивала основную конструктивную прочность тоннеля.

Технология строительства тоннелей с одинарной стальной оболочкой также прошла в США определенные процессы своего развития. Как правило, толщина наружной оболочки составляет  $1/2$  дюйма. Внутреннюю жесткость, как в продольном, так и в поперечном направлении, ей обеспечивает непрерывное ребро жесткости по всей длине элемента. Внутри стальной оболочки выполняется железобетонная облицовка. Проект не предусматривает подводного бетонирования — в качестве балласта обычно используется наполненный камнями контейнер, расположенный сверху сооружения. В этом варианте стальная оболочка как часть конструкции остается снаружи и подвергается воздействию переувлажненного грунта. Поэтому ей требуется внешняя защита от коррозии, например электрохимическая. Типичный пример проекта с одинарной оболочкой показан на рис. 7, он был реализован на линии скоростных электропоездов Bay Area Rapid Transit (BART) в зоне залива Сан-Франциско.

Для сооружения тоннелей обоих типов используются технологии судостроения. Во-первых, стальные оболочки здесь также выпускаются в виде секций предварительной сборки. Затем некоторые из них соединяются с помощью сварки, в результате чего получается цельный укрупненный узел тоннеля. В большинстве случаев это делается непосредственно на slips, расположенных на водных путях. Для снижения напряжений и деформаций применяется поперечный спуск секций на воду, но при необходимости можно использовать и технологию продольного спуска. Перед этим в секциях устанавливается облицовочная арматура и другое внутреннее оборудование, позволяющее обеспечить достаточную осадку и устойчивость на плаву. Концевые элементы конструкций герметизируются водонепроницаемыми переборками, в итоге секция спускается на воду таким же образом, как и корабль со стапелей.

Затем опускающую секцию перемещают на специально оборудованный причал, где осуществляют ее внутреннее бетонирование. Такой причал может находиться на довольно значительном расстоянии от стапеля, поэтому конструкции обычно транспортируются на полупогружных баржах. На рис. 8 показан пример заполнения стальных секций тоннеля Ted Williams бетоном. Порядок выполнения данной операции строго регламентирован, нельзя допустить превышения допустимой нагрузки на металлическую оболочку. При проектировании необходимо учесть эти временные нагрузки и сформулировать требования, обязательные для подрядчика.

Стальные оболочки обычно устанавливаются на основание из гравия, которое предварительно вы-



Конструкции тоннелей со стальными оболочками не потеряли своей популярности в США, где они преимущественно используются в двойном варианте, однако другие страны отдали предпочтение бетонным тоннелям. Произошло это не из-за отсутствия судостроительных технологий и оборудования, а, скорее, по причинам экономического характера.

равнивается до нужного уровня специальной решеткой или отвалом.

Преимущество применения стальной оболочки состоит в том, что стоимость оборудования для ее производства сравнительно невысока, оно есть в целом ряде стран, занимающихся судостроением. Следует учитывать и небольшую массу стальных оболочек, а также осадку, не превышающую двух футов, что позволяет перемещать конструкции по воде на большие расстояния даже в условиях малых глубин. Например, опускные секции тоннеля на 63-й улице Нью-Йорка были изготовлены в городе Порт-Депозит (штат Мэриленд) и отбуксированы на расстояние 300 км в Норфолк (Вирджиния), где они были облицованы бетоном, после чего их и доставили до места назначения (еще 480 км пути). Есть примеры и более протяженных маршрутов транспортировки стальных оболочек на полупогружных баржах. К примеру, секции тоннеля Ted Williams были перемещены вдоль побережья Атлантики из Балтимора в Бостон на расстояние 960 км. Теоретически здесь нет пределов по километражу, что значительно расширяет возможности изготовления таких конструкций. Данный фактор необходимо обязательно учитывать на этапе проектирования.

Некоторые проекты тоннелей со стальными оболочками отличаются от описанных выше, но базовый принцип остается тем же. В целом такие конструкции не потеряли своей популярности в США, где они преимущественно используются в своем двойном варианте, однако другие страны отдали предпочтение бетонным тоннелям. Были здесь и исключения, например тоннель Cross-Harbor Tunnel в Гонконге, но в Европе такие объекты строились все же исключительно из бетона. Произошло это не из-за отсутствия судостроительных технологий и оборудования, а, скорее, по причинам экономического характера.

(Продолжение следует)

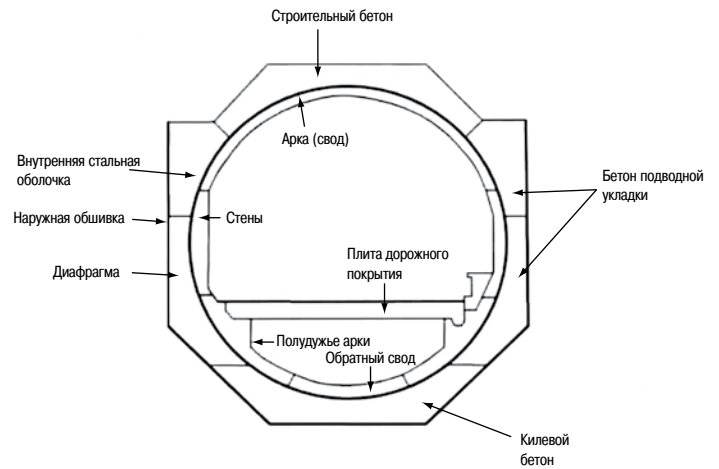


Рис. 6. Second Hampton Roads Tunnel (двойная стальная оболочка)

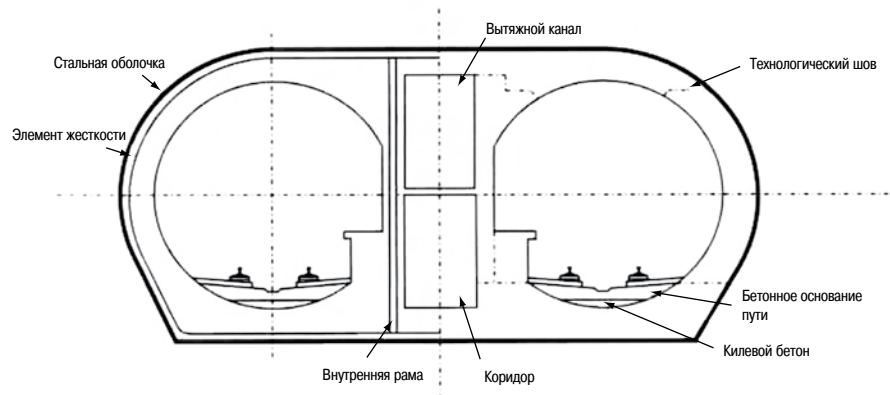


Рис. 7. Тоннель BART (одинарная стальная оболочка)

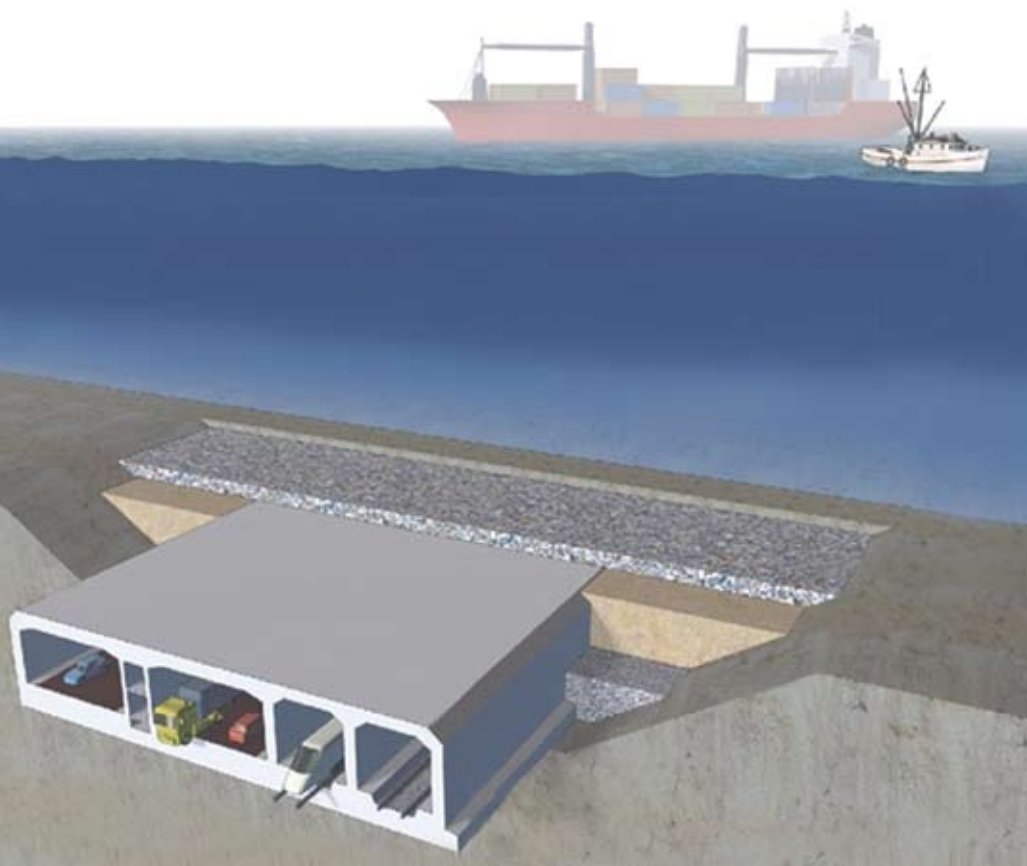


Рис. 8. Тоннель Ted Williams на причале (идет процесс бетонирования)

Richard LUNNISS,  
Jonathan BABER

# IMMERSED TUNNEL: TWO CENTURIES OF TECHNOLOGICAL ADVANCE

*The idea of the immersed tunnel arrived some time before a project was actually realized. The first concepts were developed in England in the early 1800s, at the time Brunel was starting out on his Thames Tunnel in London. The birth of immersed tubes and shield-driven tunnels therefore occurred at around the same time, even though immersed tubes were much slower to be implemented.*



## First attempt

In 1803, a British engineer, Henry Tessier du Mottray, proposed linking England and France by an immersed tunnel constructed from cast iron tunnel elements laid on the bed of the English Channel. This was one of a number of similar schemes proposed at the time, but the imminent threat of a French invasion by Napoleon meant that none of these ever progressed. In 1808, another British engineer, Richard Trevithick, proposed a method of construction for a crossing of the river Thames that involved building sections of tunnel within dewatered cofferdams formed of timber piles. Once completed, the brick tunnel sections would be backfilled to the original riverbed level, and the cofferdam removed and reconstructed 50 ft further along the tunnel alignment. By progressing the cofferdam across the river, the tunnel would be formed. Although this was essentially a cut and cover method of construction, it featured many elements of the techniques now employed for immersed tunnels and was an important stepping stone toward the development of the first ideas for building them.

The tunnel was proposed to be of brick construction, although he later suggested the



tunnel sections could be cast iron. Trevithick's proposals were submitted to the Thames Archway Company, which was trying to build the first tunnel under the Thames, but were not adopted, and in 1809, the company launched a competition for a new crossing of the Thames. They received 54 proposals, and in 1810, accepted the one from Charles Wyatt. This was to become the first true immersed tunnel concept. Wyatt's idea was to excavate a trench and immerse 50 ft long brick cylinders into it. The ends of the cylinders would be sealed with temporary spherical brickwork bulkheads to enable them to be watertight and to float. Each would have a simple ballasting arrangement for sinking.

Wyatt's scheme was well engineered; for example, he had considered the possible impact of ships' anchors damaging the tunnel and ensured the trench would be deep enough so that once placed and backfilled, there would be 6 ft of earth covering the tunnel. The Thames Archway Company decided to trial the new technology to test the methods and outcomes, in particular, the method of forming the tunnel joints, the strength of the cylinders, the accuracy of placement that could be achieved, and the disruption to river traffic that would be caused. John Isaac Hawkins was appointed to construct two 25 ft long cylinders with an internal diameter of 9 ft. The trial was carried out in shallow water so that the tops of the cylinders could be inspected at low water, and manhole access was provided to enable internal inspections. The wall thickness of the tubes was  $13\frac{1}{2}$  in and each cylinder weighed 52 t, requiring 8–10 t of water ballast for immersion. The cylinders were built on submersible barges and scaffolding was constructed in the river to lower and position the cylinders. Because of the heavy river traffic, there was a frequent need to repair the scaffold following numerous collisions. The cylinders were transported by tying them alongside a barge. Once they were maneuvered into the scaffolding, lowering lines were attached to the cylinders along with masts to control positioning. After immersion, gravel backfill was placed manually around the cylinder to lock it in position.

When the second element was placed, a mixture of mud and gravel was placed around the joint and the tunnel dewatered. Although some leakage of the joint occurred, it was considered that it would be possible to seal the joints with puddled clay. Although the concept was considered technically feasible, undoubtedly the methods of sealing the joints may have proved problematic in the full tunnel construction and would have needed some further engineering development. Sadly, because of the cost of the trials in

1811, the Thames Archway Company decided to abandon the project, but it was the first full-scale use of the technique and was groundbreaking engineering for its time.

The development of ideas continued in the United Kingdom after this, through to the mid-nineteenth century, by engineers such as John de la Haye, who published extensive discourse on the possible applications and construction methods for submerged tunnels in *The Mechanics' Magazine, Museum, Register, Journal, and Gazette* in 1845. He considered the use of cast iron submerged elements to construct tunnels in a number of locations around the United Kingdom and for a Dover to Calais crossing to France. He proposed external ballasting methods and looked closely at the safety benefits and cost benefits the technique would have compared to the new shield tunneling techniques being used beneath the Thames. In fact, a number of new projects were proposed in the mid-nineteenth century that used the immersed tunnel idea. These included further proposals for crossing the English Channel by French engineers, but they were not progressed due to continued national security concerns. There were also a number of immersed tunnels proposed on railway projects in various western European countries. At the same time, ideas were beginning to emerge in the United States. However, the next attempt at construction was back in the United Kingdom, when a new immersed tunnel beneath the Thames in London was proposed in 1865 for the Waterloo and Whitehall Pneumatic Railway. Thomas Webster Rammell had formed a company that envisaged a network of pneumatic subways in London, and the Waterloo-Whitehall line was to be the first section to be built, crossing the river Thames at Waterloo station. This project was abandoned in 1868 following a banking crisis in 1866. Work had progressed to the extent that parts of the riverbed had been dredged and some foundation works had been constructed. One of the tunnel elements had been completed and two more partly constructed. This was, therefore, the first true attempt at building an immersed tunnel, but the works were eventually dismantled. The type of construction was different from Wyatt's earlier tunnel; the tunnel elements were constructed from  $\frac{3}{4}$  in thick iron boiler plate and had an internal and external brickwork lining. They were also much longer cylinders, each 235 ft long, with an internal diameter of 10 ft.

### Technical capacity

In the United States, momentum was gathering to build transportation tunnels with

the method. An engineer named Joseph de Sendzimir was particularly active in this and proposed links between Lower Manhattan and Brooklyn crossing the East River with submerged tunnel elements fabricated from bolted iron boiler plate. This work was published in 1857. He also looked into building a pneumatic railway, following in Rammell's footsteps in 1866, using submerged iron tubes to connect Manhattan with Brooklyn and New Jersey. There were a number of similar ideas across the United States, but as with the United Kingdom, none ever came to fruition.

The first immersed tunnel project to be built eventually came in the United States right at the end of the century in 1893. It was a rather unglamorous scheme, a siphon beneath a 60 m wide tidal sea inlet called Shirley Gut, which conducted sewage from Boston to Deer Island station. The tunnel was constructed from brick and concrete; it was 100 m long and 2.7 m in diameter. Wooden bulkheads were installed at the end of each tunnel element, and external steel flanges at the ends of the elements enabled them to be bolted together after placing. Its opening marked the birth of immersed tunnels and it was quickly followed by others. In the same year, a twin-tube 200 m sewer scheme was constructed in Paris beneath the river Seine using the same technique, and 7 years later in 1900, a 185 m long culvert and a 43 m long sewer were constructed in Denmark. From these humble beginnings, the construction technique was able to be developed and applied to larger-scale transportation tunnels. The first of these to be constructed was the Detroit River Tunnel that opened in 1910. This was a border crossing railway tunnel built under the St. Clair river between Detroit, Michigan, in the United States and Windsor in Canada, for the Michigan Central Railway. The tunnel was designed by the American engineer W.J. Wilgus and comprised twin watertight steel tubes placed in a dredged trench, which were then surrounded by concrete. The tunnel was made up of 10 elements, each 80 m long with one shorter closure element of 20 m.

There was a considerable steel shipbuilding industry in the United States, and it made sense to make use of that expertise in the construction of the prefabricated units that formed the tunnel. The tubes were built by the Great Lakes Engineering Works in Detroit. They were used to building freighters for the Great Lakes and so they used a form of construction that was familiar to them. The tubes were constructed in pairs and each tube was designed to carry one railway track. The tubes were circular, 23 ft 4 in in diameter, and built from  $\frac{3}{8}$  in steel plate riveted together



Sinking Tubular Sections, Detroit River Tunnel

with lap joints that were caulked similar to boiler construction. They were strengthened by circumferential stiffener angles ( $4 \times 3 \times \frac{3}{8}$  in) riveted to the inside of the plate at 12 ft centers. To provide additional temporary support during the placing operation, internal steel rods, similar to bicycle wheel spokes, were placed at each stiffener. The tubes were fitted with external steel diaphragms, again at 12 ft centers, which in turn supported wooden shuttering on the vertical sides that formed an open box around the tubes. This external box contained the permanent ballast concrete that was poured around the tubes once they had been placed in position in the trench. The minimum thickness of concrete around the steel tube was 3 ft. The ends of the tubes were sealed with wooden bulkheads, and rubber gaskets were used to seal the joints between the elements. All the tube sections were built within 20 months.

The trench was dredged across the river using a clamshell dredger. The material

excavated was clay with layers of sand and gravel and the water depth varied between 20 and 50 ft. The bottom of the trench was checked for depth and width by dragging a steel beam along it. Once the trench had been excavated, a steel grillage was placed on the bottom under each joint between tubes to provide support when they were placed. The grillages placed under the joints were large enough to engage with the end diaphragms of each tube and shims were placed to achieve the required levels. This was an interesting, it perhaps expensive, method of overcoming the problem of obtaining the correct relative vertical position of adjacent tunnel elements, which is still a challenge using modern techniques.

To overcome the negative buoyancy of the tubes, water was introduced through the bulkheads with each of the end bulkheads being fitted with a valve that could be opened from the outside. The inside of the tubes

were compartmentalized into three sections by two interior bulkheads, and 60 ft long air cylinders were placed on top of the elements. These external air cylinders were also divided into three compartments. This arrangement enabled the trim of the element to be controlled very accurately during the placing operation. The submerged weight of the whole element during placing was about 500 t. The sinking operation itself was very similar to those of today. Large anchored floating barges fitted with derricks were used, and the time taken to submerge an element was approximately 2 hours. The elements were joined together using bolted flanges at the end of each unit, and these connections were made by divers.

Concrete was then tremied into the open box around the steel shells. At the time, there was no experience of placing such large volumes of concrete underwater and the contractor had to undertake numerous



experiments to develop a successful concrete mix and a method of placing it. Tins operation was controlled by divers who ensured that the concrete surrounded the shells and provided sufficient cover to the top. The trench was then backfilled, first with granular material to about half the tunnel height and then the remainder was filled with clay that had been excavated from the trench. The water in the elements was then pumped out through the previously placed units. This enabled work to continue inside the elements with the removal of the wooden bulkheads and the placing of the inner reinforced concrete lining. The successful completion of the tunnel in 1910 demonstrated the feasibility of large-scale immersed tunnel construction and found practical solutions to the technical challenges it presented. The steel shell immersed tunnel had been born, and many of the techniques used for this first tunnel were carried forward, reused, and developed for the many tunnels that were to follow in the next decades.

## Steel shell tunnels

Following the success of the Detroit River Tunnel, steel shell immersed tunnels became an established method of building tunnels under waterways in the United States. Two more rail tunnels were to follow in quick succession. The LaSalle Street rail tunnel in Chicago was opened in 1912, although this was only one element long. This was a single-shell tunnel and the first of its kind. Shortly after this, the Harlem River railway tunnel in New York opened in 1914. The first road tunnel in the world was the Posey Street Tunnel between Oakland and Alameda in California, which was completed in 1928, although this was, in fact, a cylindrical reinforced concrete tunnel.

The first three tunnels were all slightly different in how they were constructed, but from thereon, designs for steel tunnels in the United States developed subsequently into two clear types:

- Double steel shell
- Single steel shell

The original Detroit River Tunnel has been described as being both of these. In fact, it was a kind of hybrid. It only featured one steel shell, but it used the construction methodology that would come to be used for the double-shell tunnel and, in fact, the tunnel is closest to this form. The only difference was that timber shuttering was used to form the outer shell. The first true double-shell tunnel with a steel outer shell was the Harlem River Tunnel.

In 1930, the second tunnel beneath the Detroit River, the Detroit-Windsor Tunnel,

was completed. The design of this second tunnel developed the hexagonal external shaped double shell section that became the most popular shape for tunnels in the United States. The stiffened circular steel shell is fabricated for the whole length of the element. External diaphragms are added at intervals along the length, to which the external steel shell, also known as a form plate, is fitted. Concrete is placed around the outside of the shell between it and the external form plates. This concrete provides the main ballast to prevent uplift and also acts as corrosion protection for the circular structural steel plate. Inside the circular steel shell, an internal reinforced concrete lining is placed, and this in conjunction with the circular steel shell provides the primary structural strength of the tunnel.

The single steel section also developed in the United States. This also has a stiffened outer steel shell that is normally about  $1\frac{1}{2}$  in thick. It is stiffened internally both transversely and longitudinally with the longitudinal stiffening being continuous over the full length of the element. Inside the steel shell, a reinforced concrete lining is placed, which acts compositely with the steel. This design does not use the tremie concrete as ballast but typically uses a ballast container on the roof that is filled with stone. In this type of design, the structural steel shell remains on the outside and exposed to the waterlogged ground. It is therefore necessary to provide some form of external corrosion protection such as a cathodic protection system.

A similar method of construction is used for both forms of steel shells, and they both make use of shipyard production techniques. First, the steel shells are fabricated as a series of regular modular subassemblies. Then, several of these subassemblies are welded together to form the continuous element. This is often done directly on a slipway adjacent to the waterway, to facilitate launching the element. The elements are preferably launched sideways to minimize the stresses imposed, but they can be designed for end launching if required. Before launching, the reinforcement for the inner concrete lining is placed together with other internal equipment and a certain amount of keel concrete is also placed to increase the draft of the element and to give it stability while afloat. The ends of the tubes are sealed with watertight bulkheads and the element launched similar to a ship launching.

It is then towed to an outfitting jetty where the internal concrete is placed while the element is afloat. The outfitting jetty can be some considerable distance from the shipyard and some steel shells have been transported

on semisubmersible barges. The concreting sequence is carefully programmed so that the steel shell is not overstressed during the operation and also to keep the trim of the element under control. The designer has to take these temporary loading conditions into account when designing the unit and set limits for the contractor to adhere to during construction.

The steel shells are generally founded directly onto screeded gravel foundations. The gravel bed is screeded to the correct levels by dragging a screeding grid or blade over the surface. The base of a steel element section is fairly narrow, so the screeding method produces a sufficiently accurate bed to place the element on.

The advantage of the steel shell is that the fabrication facilities required are not extensive and are generally available in countries with a shipbuilding industry. They can be set up in other countries, but if there is no shipbuilding tradition, the materials and fabrication skills may not be available and will have to be imported. The shells are also relatively lightweight with a shallow draught of about 2 ft, so they can easily be towed to the outfitting facility without the need for deep navigation channels. It is also possible to tow them considerable distances. For example, the elements for the 63rd Street Tunnel in New York were fabricated in Port Deposit, Maryland, and towed 300 km to Norfolk, Virginia, where the concrete was placed and then towed a further 480 km to the site in New York. Even longer journeys have been undertaken with the steel shells carried on semisubmersible barges. The Ted Williams Tunnel elements were transported from Baltimore to Boston, a distance of about 960 km along the Atlantic coast. In theory, there is no limit to the distance that a steel shell tunnel can be transported on a semisubmersible vessel, which means that a very wide range of fabrication facilities can be considered during the planning stage of the tunnel.

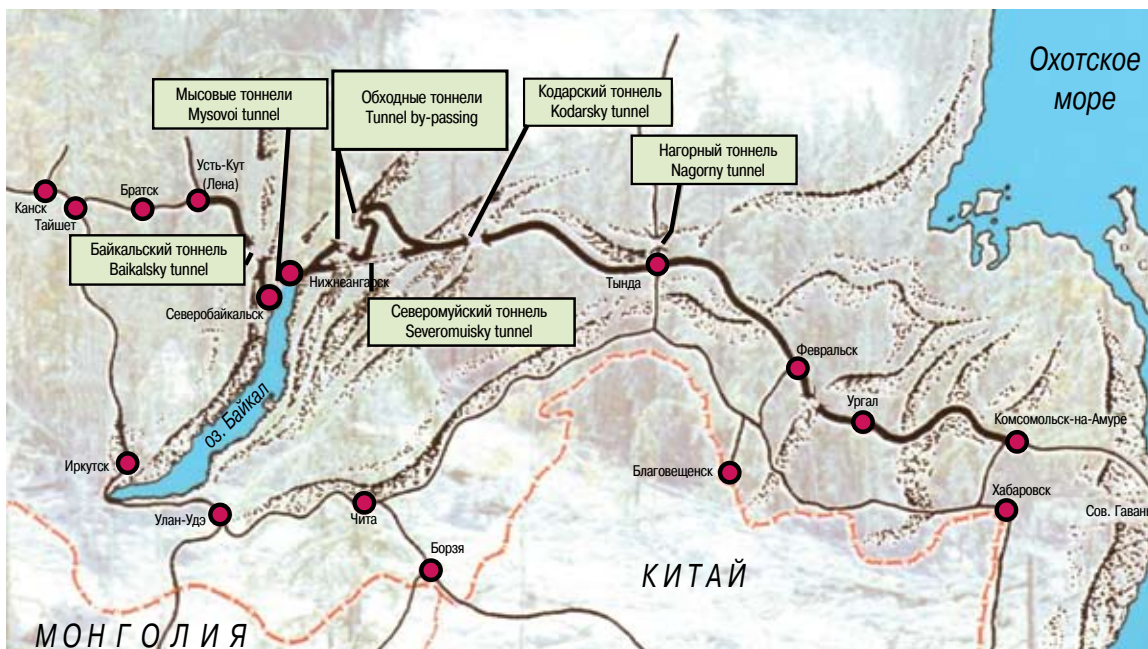
Some steel shell designs have taken slightly different shapes, but the principles remain the same. In general, steel shells have remained popular in the United States, with most being the double shell type, but not so much in other parts of the world, where concrete tunnels have generally been constructed. There have been exceptions, such as the first Cross-Harbor Tunnel in Hong Kong, but in Europe, concrete tunnels have been used exclusively. This is not due to a lack of shipbuilding facilities, but rather different economic drivers.

(To be continued)



КРЕПКИЙ ОРЕШЕК

# БАМА



Мария ВАСИЛЬЕВА

При подготовке публикации использованы материалы, предоставленные ОАО «Ленметрогипротранс»





Третий мысовый тоннель

**Летопись БАМа** — это пожелтые страницы газет, пухлые тома отчетов и технической документации, воспоминания первопроходцев... Начало стройки века принято отсчитывать от постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О строительстве Байкало-Амурской железнодорожной магистрали» от 8 июля 1974 года. Именно эта дата считается днем рождения БАМа. Сама же идея прокладки дороги появилась еще в конце XIX века, к практическому ее воплощению приступили в 1930-х годах заключенные Бамлага, но помешала война. Хотя в современном понимании из-за отсутствия соответствующих технологий магистраль в то время в принципе не могла быть построена. Слишком трудно — чересчур суровые условия. Эти «слишком и чересчур» пришлось преодолеть новому поколению строителей. Тоннели БАМа задали им, пожалуй, самую сложную задачу. Эти сооружения рассредоточены на протяжении более 1 тыс. км. Всего на трассе пять перевальных однопутных тоннелей: Байкальский (длина — 6,7 км), Северомуйский (15,3 км), Кодарский (1,9 км), Дуссе-Алиньский (1,8 км), Нагорный (1,2 км). Кроме того, при прокладке магистрали по берегу Байкала были построены пять мысовых тоннелей в двухпутном исполнении (5,1 км). Если же принимать в расчет подходящие тоннели к трассе, транспортные и вспомогательные штольни, то общая протяженность подземных выработок составит около 70 км, из них более 40 км приходится на самый протяженный железнодорожный тоннель в России — Северомуйский.

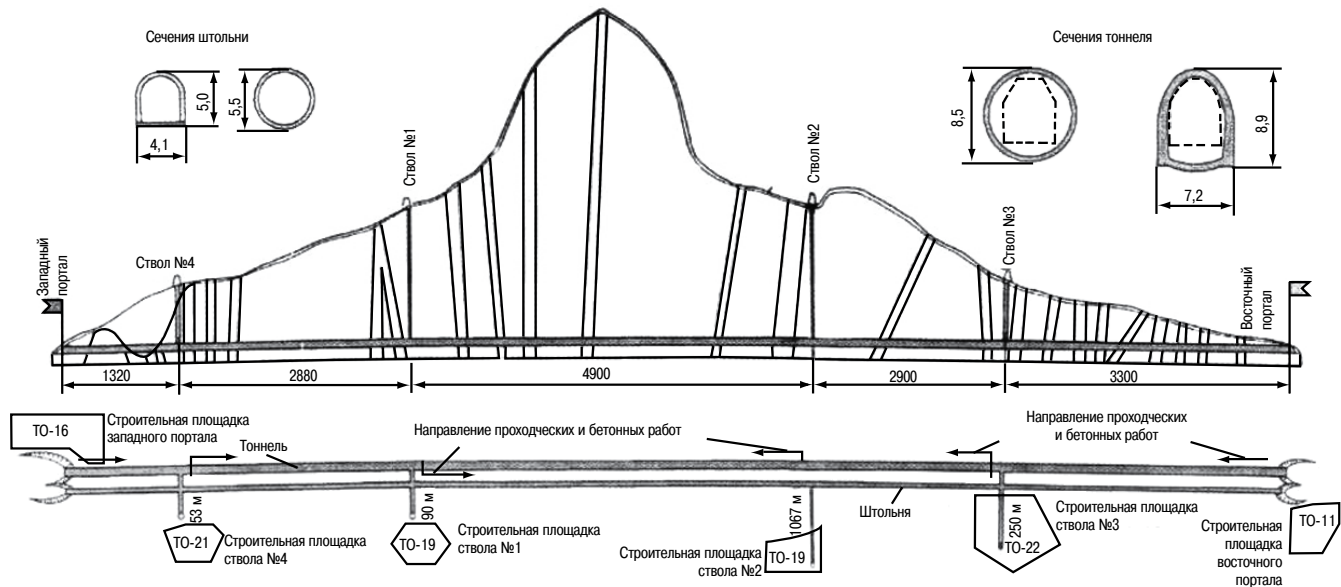
### Такого еще не было

Этот тоннель по всем статьям — уникальное инженерное сооружение. Это 40,5 км горных выработок, 1,5 млн м<sup>3</sup> вынутого грунта, 700 тыс. м<sup>3</sup> монолитного бетона, 55 345 смонтированных чугунных тубингов, 70 тыс. т металлопроката.

В мировой практике встречались тоннели в разы длиннее, но 15-километровый Северомуйский не имеет аналогов по сложности проходки.

### Беглый взгляд и постановка задачи

Северо-Муйский хребет, через который предстояло проложить тоннель, сложен гранитами и кристаллическими сланцами. Его гребни и вершины, достигающие 2,5-километровой высоты, отличаются резкими ледниковыми формами, по периферии имеют плосковершинные гольцы. Статистика свидетельствует, что, начиная с 1725 года, в Забайкалье произошло свыше 20 мощных



землетрясений силой от 9 до 11 баллов. В их числе выделяются цаганское (1862), среднебайкальские (1930, 1959), мондинское (1950), муйское (1957) землетрясения.

Принимая во внимание все эти обстоятельства, проектировщики предвидели большие трудности при строительстве тоннельного перехода. Ряд специалистов предлагали иной вариант прохождения этого участка БАМа: от Усть-Кута по долинам рек Лены и Олекмы с выходом в районе Хани. При этом длина трассы увеличилась более чем на 200 км, но в этом случае не нужно было строить Кодарский и Северомуйский тоннели, а Якутия получила бы свое железнодорожное обеспечение еще 80-е годы XX века. Но дополнительные две сотни километров решили дело не в пользу этого проекта. Строителям все же предстояло проложить Северомуйский тоннель.

### Что делать?

Технический проект был разработан институтом «Ленметрогипротранс», генеральным подрядчиком всего комплекса работ выступило созданное в те годы управление «Бамтоннельстрой».

Изучить местные геологические и гидрологические условия с помощью отечественной техники и существующих на тот момент технологий не представлялось возможным, поэтому было принято единственно возможное решение о проведении разведки одновременно со строительством. С этой целью параллельно тоннелю на расстоянии от 15 до 30 м от его оси начали проходку разведочной транспортно-дренажной штольни сечением 18 м<sup>2</sup>. Ее продвижение в глубь скалы опережало прокладку тоннеля на 200–300 м, что позволяло оперативно уточнять геологические условия работ, отводить воду из горного массива и улучшать вентиляцию всей выработки.

Проходка практически одновременно началась с двух сторон хребта — с восточного и западного порталов, а также в обе стороны от трех вертикальных стволов диаметром 7,5 м, пробитых с вершины хребта (глубиной 302, 334 и 162 м). Трехствольный вариант позволял обеспечить проходку свыше половины длины тоннеля. А четвертый ствол (глубиной 242 м) пришлось орга-

### Схема строительства Северомуйского тоннеля

низовывать между западным порталом и стволом №1 после того, как тоннельщики неожиданно наткнулись на древнее подземное русло.

20 сентября 1979 года на западном участке строители врезались в высоконапорный плавун, питаемый водами реки Ангаракан. В результате землетрясения давление водонасыщенной пульпы грунта взорвало гранитную перемычку и временное крепление транспортно-дренажной штольни. В штольню устремился поток воды, песка, камней под давлением более 14 атмосфер. Стихия унесла человеческие жизни, кроме того было утеряно оборудование для проходки.

Чтобы продолжить работы, следовало убрать давление подземных вод. Был разработан проект комплексного водопонижения на данном участке, который включал в себя создание вертикальных водопонизительных скважин и дренажных выработок ниже уровня тоннеля.

Осуществление проекта позволило продолжить проходку тоннеля и штольни и создать благоприятные условия для эксплуатации железной дороги.

### Обходы

Несмотря ни на что было принято решение о продолжении работ, но с обустройством временных обходных путей.

Первый обход протяженностью 24,6 км строили с августа 1982-го по март 1983-го. Уклон на километр пути достигал 40 м, из-за чего грузовой состав состоял всего из нескольких вагонов, которые тянули тепловозы-

## СПРАВКА

Период строительства тоннеля: 1977 г. — 30 марта 2001 г.

Дата ввода в эксплуатацию: 21 декабря 2003 г.

Протяженность — 15,3 км,

со вспомогательными выработками — 45 км

Сечение тоннеля в проходке — 67 м<sup>2</sup>

Протяженность транспортно-дренажной штольни, параллельной тоннелю, — 15,3 км

Протяженность обходных тоннелей — 1,7 и 0,8 км

На строительстве в разное время были заняты шесть тоннельных отрядов численностью свыше 8 тыс. человек



спарки. Движение пассажирских поездов было запрещено. От Ангаракана до Казанкана через перевал людей доставляли на автобусах-вахтовках.

На протяжении 1985–1989 годов велось строительство еще одного обхода длиной 64 км с уклоном 18%. На этой трассе пришлось пробить два петлевых тоннеля, расположенных с обеих сторон перевала, рельеф местности не позволил сделать изгиб серпантина на склоне.

## И снова в бой

В дальнейшем по трассе тоннеля, благодаря проведению космической съемки, выявили четыре тектонические зоны шириной до 900 м. Строителям пришлось оперативно решать возникающие проблемы, в ускоренном порядке осваивая новейшие для того времени технологии. В том числе такие, как:

- инъекционное закрепление грунтов, основанное на консолидационном уплотнении водонасыщенных дезинтегрированных грунтов в зонах тектонических разломов;
- опережающие экраны (своды) из труб в сильно трещиноватых скальных грунтах;
- комплексное водопонижение в зонах с гидростатическим давлением до 14 атмосфер;
- проходка с помощью порталных буровых высокопроизводительных рам с перегрузом взорванных грунтов;
- низкотемпературное замораживание жидким азотом;
- бесскважинные геофизические методы обнаружения зон нарушений грунтов впереди забоя;
- создана методика и программа расчета сейсмостойких обделок тоннелей.

Использовались передовые сейсмические конструкции обделок. За разработку и внедрение новых технологий строительства и конструкций основной обделки транспортных тоннелей коллектив, состоящий из проектировщиков, научных работников и строителей, был удостоен премии Совета Министров СССР.

На строительстве тоннеля испытывались строительные механизмы и машины из 10 стран мира. Только для обеспечения основных производственных процессов понадобилось свыше 850 единиц оборудования. На стройке века, в частности, работали механизированные тоннелепроходческие комплексы диаметрами 4,5 и 5,6 м фирм Robbins (США) и Wirth (Германия), высокопроизводительные буровые установки компаний Furukawa (Япония) и Tamrock (Финляндия). Возведение железобетонной обделки в тоннелях осуществлялось с помощью механизированной опалубки сечением до 60 м<sup>2</sup> фирмы Saga Kogio (Япония).

Впервые в практике была разработана и внедрена автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) строительства.

Но все это далеко не гарантировало «безоблачную» работу. Аварии случались, пусть и не такие крупные, как в 1979 году. Последняя произошла в 1999-м, когда между проходками западной и восточной частей оставалось всего около 160 м. Обвал породы привел к тому, что в течение нескольких месяцев этот участок тоннеля фактически пришлось восстанавливать заново.



Чугунная обделка Северомуйского тоннеля

## Конец пути?

30 марта 2001 года состоялась сквозная, «золотая», сбойка тоннеля, расхождение осей встречных забоев составило всего 13 мм (при допустимых 317 мм).

Ввод в эксплуатацию Северомуйского тоннеля дал возможность безостановочного проезда по БАМу тяжеловесных грузовых поездов (до его открытия такие составы приходилось расцеплять и перемещать через обход частями). Время в пути на участке сократилось с 2 ч до 25 мин.

Тоннель построен как однопутный, двускатный (уклон от середины к обоим порталам). Величина уклона — 6‰ в одну сторону и 7,5‰ — в другую. Участковая скорость при проходе через тоннель составляет до 48 км/ч, техническая — до 56,8 км/ч.



У БАМа великое прошлое, реальное настоящее и не менее замечательное будущее



*Максим Соколов, министр транспорта РФ*

По сообщению пресс-службы Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД), ОАО «РЖД» до 2017 года инвестирует в развитие Северомуйского тоннеля более 776 млн руб.: «В рамках программы развития тоннеля запланирована реконструкция его дренажной системы, модернизация конструкции пути, систем вентиляции и подогрева воздуха, модернизация системы пожарной сигнализации. Кроме того, будет внедрена система автоматизированного мониторинга геодинамической безопасности пути и тоннеля».

БАМ несомненно будет развиваться. Уже начато проектирование и строительство второго Байкальского тоннеля, расположенного параллельно существующему. Впереди новые планы, осуществлять которые предстоит новому поколению строителей.



*Interview with Semyon Millerman, a person who participated in the construction of one of the most complex segments of the Baikal-Amur Mainline – the Severomuysk tunnel.*

# СЕВЕРОМУЙСКИЕ СЮРПРИЗЫ



**БАМ...** У поколения 70–80-х это короткое, будто выстрел, слово вызывает в памяти песенные строки о зеленом море тайги, о покорении человеком природы, когда ради достижения высокой цели жертвовали собственным комфортом и благополучием. В те годы участие в строительстве Байкало-Амурской магистрали было для многих не столько возможностью хорошего заработка, сколько воплощением мечты о романтике дальних странствий, своеобразным прыжком в неизведанное.

В наши дни, в период празднования 40-летнего юбилея первого комсомольского призыва на стройку века, многие из первопроходцев шутят: «Есть БАМ и есть представления о БАМе». Действительно, новым поколениям трудно понять и принять атмосферу тех лет, пропитанную идеологическим пафосом «Партия сказала: надо! Комсомол ответил: есть!». Но именно это помогло идти к намеченной цели, вопреки всем сложившимся обстоятельствам, проявлять свои лучшие, невостребованные в обыденной жизни качества, формируя тем самым себя как личность, с честью и достоинством преодолевшую все тернии выбранного пути. Семен Миллерман, участвовавший в создании одного из сложнейших участков БАМа — Северомуйского тоннеля, специально для журнала «Подземные горизонты» рассказывает о строительстве, о времени, о себе.

Беседовала  
Мария ВАСИЛЬЕВА



— **Какими судьбами вы оказались на БАМе?**

— Все началось летом 1976 года. Вновь назначенный начальник Главтоннельметростроя, возглавлявший до этого московский Метрострой, Юрий Кошелев посетил БАМ с первой инспекционной проверкой. Вернулся он оттуда, образно говоря, «с квадратными глазами». Стройке шел уже второй год, и положение дел вызывало не просто серьезные опасения, а было катастрофическим. Конечно, подобного объекта в мире на тот момент не существовало, смелая заявка на сооружение почти 4300 км железнодорожного пути в тяжелейших условиях требовала значительных затрат и людских ресурсов.

Кадры, как всегда, решали все, но их-то как раз и не было. Стройка испытывала острую нехватку специалистов. Юрий Анатольевич понимал, что тоннели станут на БАМе ключевыми объектами, более того, практически каждый из них из-за непростых геологических условий автоматически попадал в разряд уникальных. Следовало проложить трассу через Байкальский, Северо-Муйский, Кодарский хребты. Для работавшего в тот момент на БАМе коллектива Тоннельного отряда №11 поставленные задачи оказались просто не по силам. Требовались настоящие мастера своего дела, а так как Кошелев неплохо знал, кто из сотрудников московского Метростроя на что способен, то и остановил свой выбор на лучших из них.

В то время ваш покорный слуга был заместителем главного инженера СМУ-3 Метростроя, и моя кандидатура среди прочих попала в поле зрения Юрия Анатольевича. Так я стал начальником технического отдела «Бамтоннельстроя», создаваемого на базе ТО №11. Стоит отметить, что из нашего управления в эту же структуру были приглашены Владимир Асланбекович Бессолов (в качестве главного инженера) и Рудольф Ильич Касапов — начальником производственного отдела. Кроме того, с самого начала работы одиннадцатого отряда его главным механиком стал еще один выходец из нашего коллектива — Валерий Зиновьевич Коган, в той же должности он остался и в новой структуре.

Вот такая четверка коллег приехала на БАМ. Все мы были примерно одного возраста и одного институтского выпуска — 1962 года.

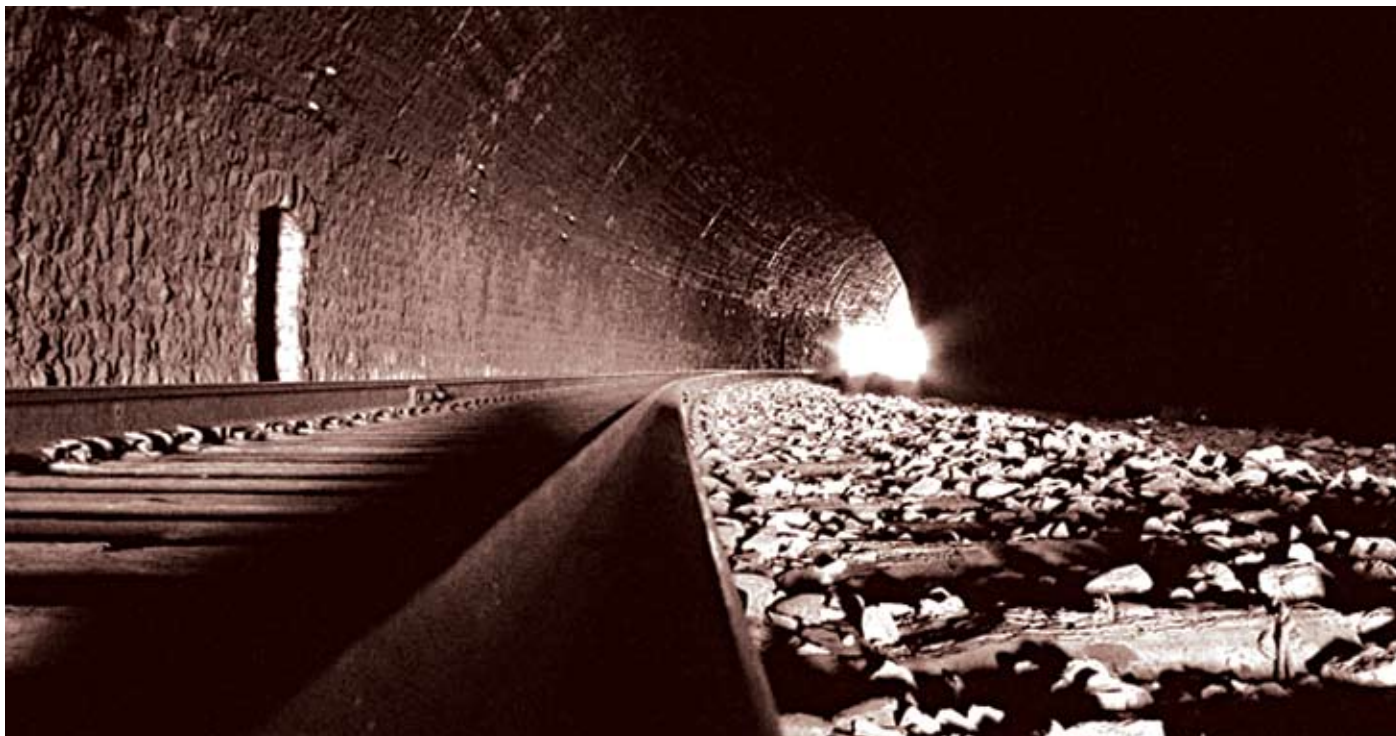
— **Наверное, неспроста выбор пал именно на сотрудников московского Метростроя, и основную роль наверняка сыграло здесь не только знание руководителем главка его кадрового состава...**

— Мы имели богатый опыт работы. Сам я уже прошел путь от начальника смены до заместителя главного инженера. Наше СМУ участвовало в довольно интересных инженерных операциях по прокладке московского метро. Как известно, столичная подземка, если ее сравнивать с подобными объектами в нашей стране, строилась и продолжает строиться в сложных геологических условиях. Например, глубокое заложение станций ленинградского метро позволяет сооружать тоннели в кембрийских глинах, в которых практически отсутствует влага. В Москве же на отдельных участках приток воды доходил до двух тысяч кубов в час, в таких условиях в свое время на Замоскворецкой линии возводилась, например, станция «Павелецкая». Решать непростые задачи приходилось и при сооружении Краснопресненского радиуса в районе



станции «Октябрьская», где возводимый перегон пересекали пути Московской кольцевой железной дороги. Тогда коллектив СМУ-3 обеспечил безосадочную проходку с применением новейшего в те годы химического закрепления грунтов. Есть что вспомнить и о проходке под Сходненским деривационным каналом. Перегон между станциями «Тушинской» и «Сходненской» находился буквально в метре от его дна. Мы собрали две тьюбинговые трубы по 80 метров, погрузили в воду, а затем этот участок канала просто засыпали. Вода продолжала течь по трубам, а проходчики спокойно монтировали под ними тоннели метро.

Так что ситуации были нам не в диковинку. Единственное — большинство из нас слабо представляло себе особенности природы таежного края, и то, с чем на самом деле придется столкнуться.



**— Что же стало для вас самым трудным?**

— Большая часть наших проблем именовалась кратко — быт. Для примера расстояние от столицы Бурятии Улан-Удэ до портала Северомуйского тоннеля — свыше тысячи километров. Все это пространство занято девственной тайгой, пересеченной горными массивами и множеством рек. Красота удивительная, но жить в таких условиях — удовольствие не из приятных. До нашего приезда уже три года велись подготовительные работы: первые отряды добровольцев прорубали просеки, обеспечивали пути подъезда к будущему тоннелю. Проходчики занимались несвойственным своей профессии делом, обустройством

собственного жилья, проводкой центрального отопления. Строители жили в двух поселках — Тоннельном у западного портала и Северомуйске.

В мае 1977 года мы отпраздновали начало строительства. Стартовала врезка восточного портала, и тут же разного рода «геологические сюрпризы» посыпались на нас как из рога изобилия.

Самая серьезная авария произошла в районе западного портала в 1979 году. Было пройдено уже около 150 метров, когда строители неожиданно наткнулись на зону ангараканского размыва, древнее русло реки Ангаракан. Выброс пульпы был такой силы, что породопогрузочную машину весом 25 тонн отнесло на 300 м. К сожалению, не обошлось без человеческих жертв. Продолжать проходку в заданном направлении оказалось невозможным, тоннель был полностью заполнен. Забой пришлось запечатать, забетонировать пустоты (нагнетанием цементного раствора) и начать перепроходку. Последствия аварии ликвидированы лишь к 1981 году.

**— В чем причина подобных случаев? В свое время много говорили о том, что трасса тоннеля была выбрана неверно. Так ли это?**

— Трасса шла практически по прямой в самой низкой части седловины Северо-Муйского хребта. По всем параметрам она была выбрана идеально. Беда в том, что труднодоступность рельефа не позволяла получить полную картину инженерно-геологического строения местности.

Первоначально по ходу тоннеля планировалось пробурить разведочные скважины через каждые 500 метров. Но на деле они были выполнены с шагом 1 километр, и отбор керн не выявил особых геологических проблем. В том, что это далеко не так, нам пришлось убедиться на собственном опыте. В результате были обнаружены четыре тектонических разлома шириной от 5 до 900 метров. Приток воды иногда доходил до нескольких



сотен кубометров в час. К тому же в большинстве случаев она была термальной — из-за сейсмической активности региона. Натыкались и на плывуны в гранитных разломах. В 1983 году НПО «Природа» представило нам результаты космической аэросъемки: хребет выглядел как битая тарелка, все разломы были видны как на ладони. Вердикт специалистов гласил: набор условий такой сложности до строительства Северомуйского тоннеля не встречался нигде в мире.

Усугубляло ситуацию и отсутствие необходимой техники. В тот период отечественные станки разведочного бурения не выдерживали критики. Это уже потом, после аварий, были приобретены шведские фирмы «Диамек», которые позволили выполнить горизонтальную разведку на глубину 250 метров и сделать хоть какой-то мало-мальски правдоподобный прогноз. Но стране в первую очередь нужны были метры, метры, и еще раз метры, несмотря ни на что.

**— Ввод БАМа в строй все время откладывался, сначала он был запланирован на 1984 год, затем на 1986-й, фактически дорога заработала в 1989-м, но полностью была закончена лишь в 2003-м — с введением в эксплуатацию Северомуйского тоннеля. Как можно это объяснить?**

— В конце 1970-х родился лозунг: тоннели — ключи от БАМа. Без первого невозможно второе, так оно в результате и вышло. Практически все тоннели удалось закончить в приемлемые сроки. Кроме Северомуйского. Из-за сложных геологических условий он строился медленно, в отличие от самой железнодорожной магистрали. В результате нам пришлось организовывать обход, из-за которого трасса стала длиннее на 54 км. За три года ускоренными темпами проложили три тоннеля — и движение по БАМу все-таки было открыто в конце 80-х. Но Северомуйский тоннель продолжали строить, чтобы снизить затраты на эксплуатацию. БАМ фактически был завершен в том виде, в каком задумывался, в 2003 году, когда состоялось торжественное открытие нашего объекта. Конечно, на подобное положение дел повлияли события 90-х годов. Оставалось пройти всего лишь 20% от общей длины, и из-за прекращения финансирования работы были заморожены. Вот и получилась стройка длиной в 26 лет — слишком большой срок даже для такого тоннеля.

**— Семен Исаакович, как сложилась ваша дальнейшая судьба?**

— Непосредственно на строительстве Северомуйского тоннеля я проработал 11 лет, в последнее время — в должности первого заместителя начальника УС «Бамтоннельстрой». Затем вернулся в Москву, где продолжал «завершать БАМ», курируя строительство нашего тоннеля. Практически все эти 26 лет моя судьба так или иначе была связана с ним.

**— Можно ли утверждать, что Северомуйский тоннель вошел в мировые отраслевые анналы?**

— Прежде всего, он дал мощный толчок для развития отечественного тоннелестроения. Мы тогда многого не знали, пришлось освоить целый пласт новейших технологий, познакомиться с зарубежными наработками,



техникой и оборудованием и, естественно, привнести во все это что-то свое. Тоннели БАМа строились в условиях вечной мерзлоты, это было впервые в мировой практике. Полномасштабно использовались такие технологические новинки, как химическое закрепление грунта, метод проходки с азотной заморозкой вод.

Северомуйский тоннель — это уникальное творение человеческих рук, его строители достойно справились со всеми природными сюрпризами, получив поистине бесценный опыт. В тяжелых испытаниях здесь родился и окреп «Бамтоннельстрой», который продолжает успешно строить сложные подземные объекты и в наши дни.



М.Е. РЫЖЕВСКИЙ,  
к.т.н., генеральный  
директор  
ООО «ПЛАТО Инжиниринг»,  
лауреат премии  
Ленинского комсомола  
в области науки и техники,  
заслуженный  
изобретатель СССР

*In 2003 Ministry of Transport of UAE initiated a tender for the design and construction of the first metro rail network in the United Arab Emirates. Two years later a concept of metro development framework along with a design and construction management scheme were adopted in the largest city of the UAE. By 2012 the total length of two lines was almost 75 km. Of 47 stations 11 were underground. The author tells us about technical details and implementation peculiarities of this ambitious project.*



# ПЕРВОЕ МЕТРО В ДУБАЕ: ВЗГЛЯД СО СТОРОНЫ И ИЗНУТРИ



Мечтать — пусть обманет мечта.  
...Искать непосильной задачи.



Мигель де Сервантес Сааведра.  
Хитроумный идальго  
Дон Кихот Ламанчский



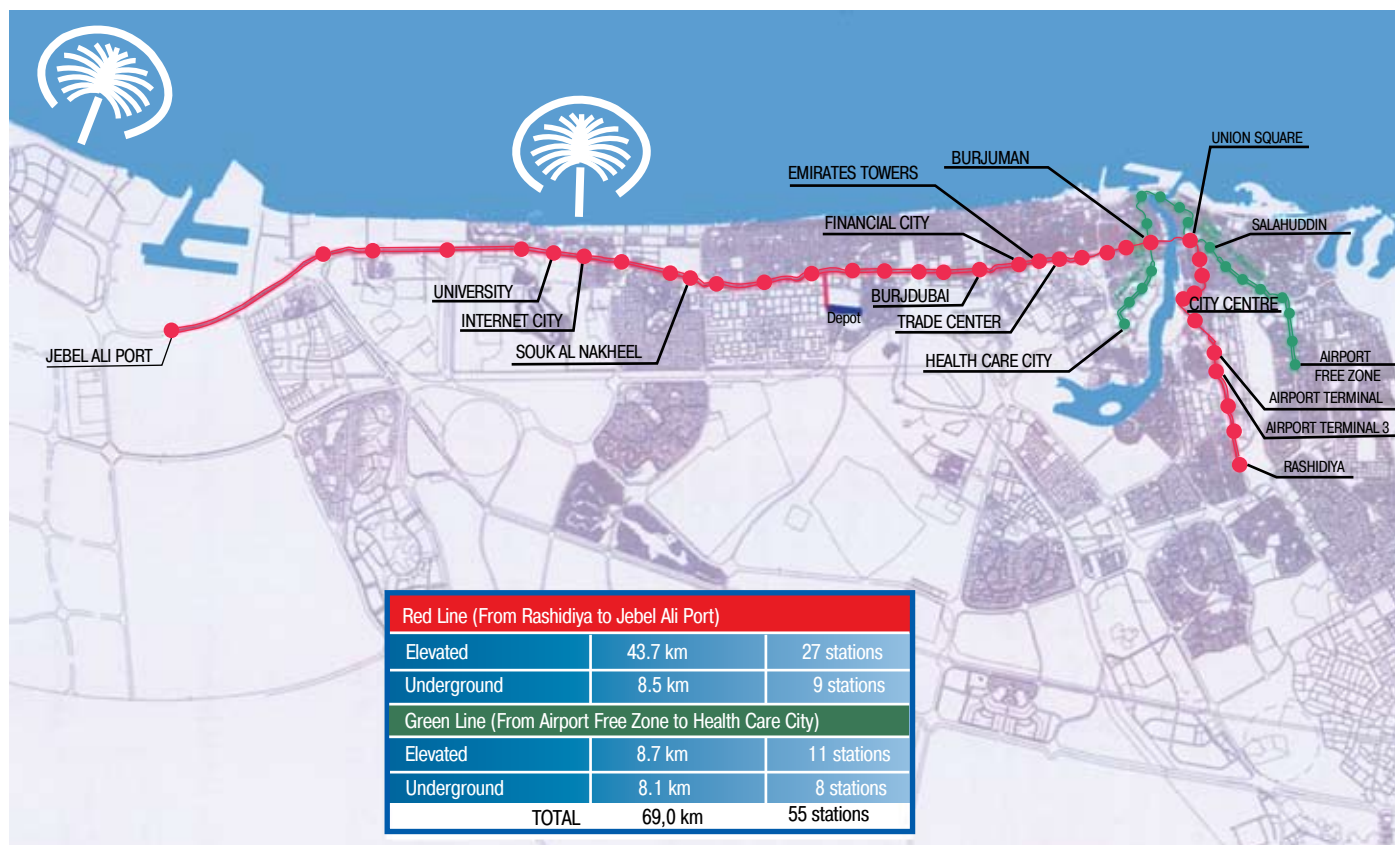


Рис. 1. План-схема первых линий метро в Дубае

**В 2003 году Министерство транспорта ОАЭ с одобрения шейха, правителя эмирата Мухаммеда бен Рашида аль-Мактума, инициировало проведение тендера на проектирование и строительство первого метро в Объединенных Арабских Эмиратах. Его победителем оказалось американо-французское совместное предприятие SYSTRA-Parsons, которое уже к 2005 году разработало концепцию развития и принципы управления проектированием и строительством метро в Дубае.**

## Беспилотный транспорт

На момент принятия решения о создании метро население Дубая уже составляло более 1,5 млн человек. В связи с интенсивным развитием эмирата ожидалось, что к 2020 году эта цифра увеличится до 5 млн человек, включая туристов. Дальнейшее развитие инфраструктуры Дубая более не представлялось возможным без одного из самых надежных и удобных видов городского транспорта — метро. После предварительных проработок предполагаемая стоимость первой очереди

метрополитена составила 22 млрд долларов США. В ее состав должны были войти две линии — красная и зеленая (рис. 1).

К 2020 году к двум уже действующим линиям должны были присоединиться еще две — оранжевая и синяя (рис. 2). Первоначально общая протяженность первых двух должна была составить 69 км, из которых 16,6 км предполагалось выполнить в подземном и полуподземном исполнении и 52 км — в надземном (позднее эти цифры были уточнены). Всего на первом этапе (на двух линиях) предстояло построить 55 станций, 17 из которых — подземные и 38 — надземные. Забегая вперед, следует сказать, что фактически к 2012 году общая протяженность красной и зеленой линий составила почти 75 км, а количество станций уменьшилось до 47, из которых в подземном исполнении было выполнено всего 11. Однако строительство метро в Дубае продолжается. Его особенностью является тот факт, что оно стало полностью автоматизированным, «беспилотным». По сравнению со своими известными аналогами в Турине, Лозанне и др., оно является самой протяженной в мире полностью автоматизированной рельсовой системой.

## Геология

По данным изысканий, грунт в Дубае представлен сильно водонасыщенными мелкими и средней крупности песками, подстилаемыми песчаником, местами — известняком с карстовыми проявлениями.

Среднестатистические расчетные параметры грунта представлены в таблице.

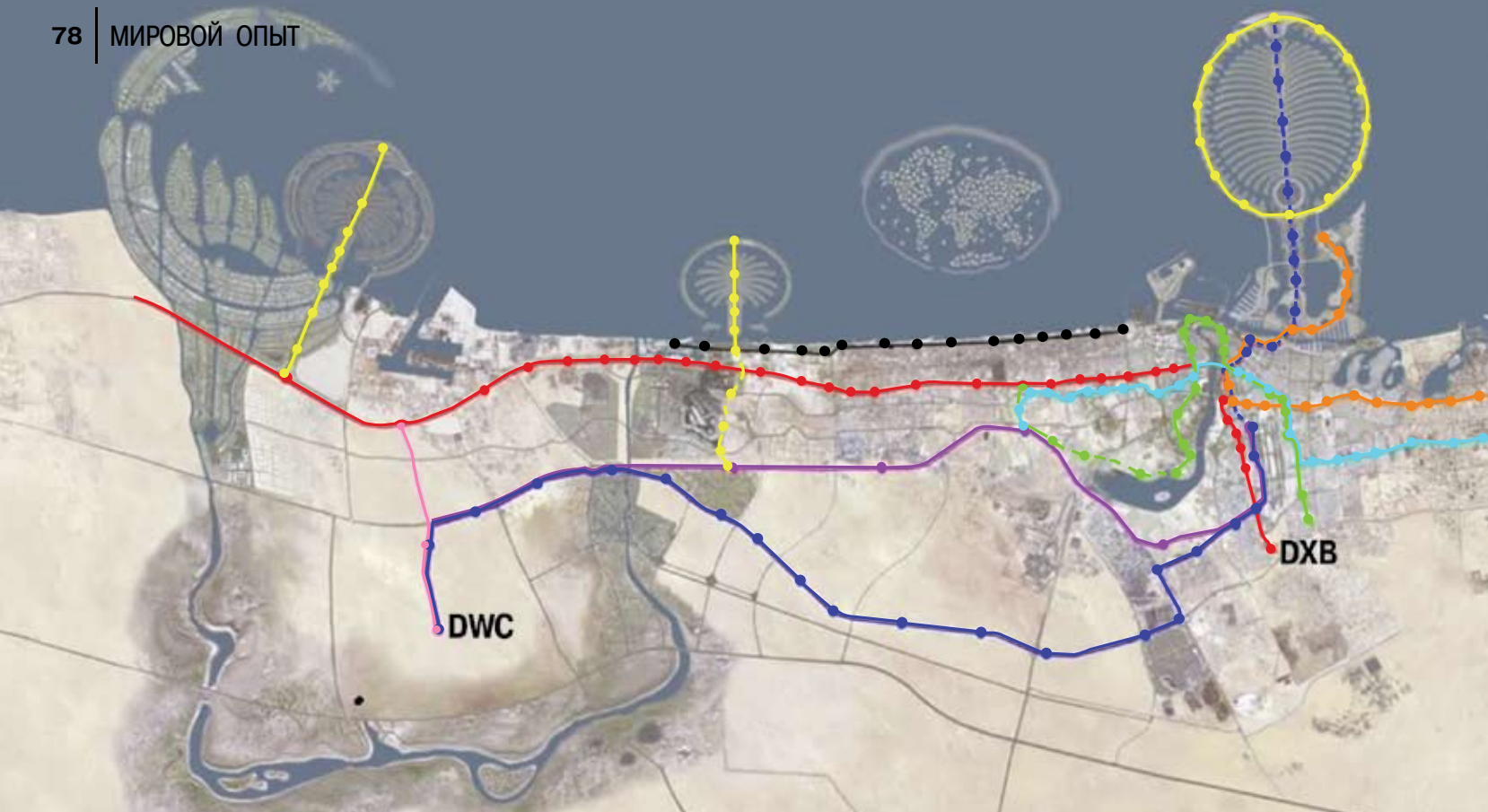


Рис. 2. План-схема дальнейшего развития метро в Дубае до 2020 года

## Среднестатистические расчетные параметры грунта

		$\nu$	$\gamma_b$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	$c$ ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	$\varphi(^{\circ})$	$F_s$ ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	$E_{sv}$ ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	$E_{sh}$ ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
Soil	Unit 1	0,25	1,9	0	30	14	21	15
	Unit 2a (I)	0,25	1,9	5	36	38	69	48
Rock	Unit 2a (II)	0,2	2,0	72	39	270	180	126
	Unit 2b	0,2	2,0	60	39	210	167	117
	Unit 3	0,2	2,0	90	35	275	215	151

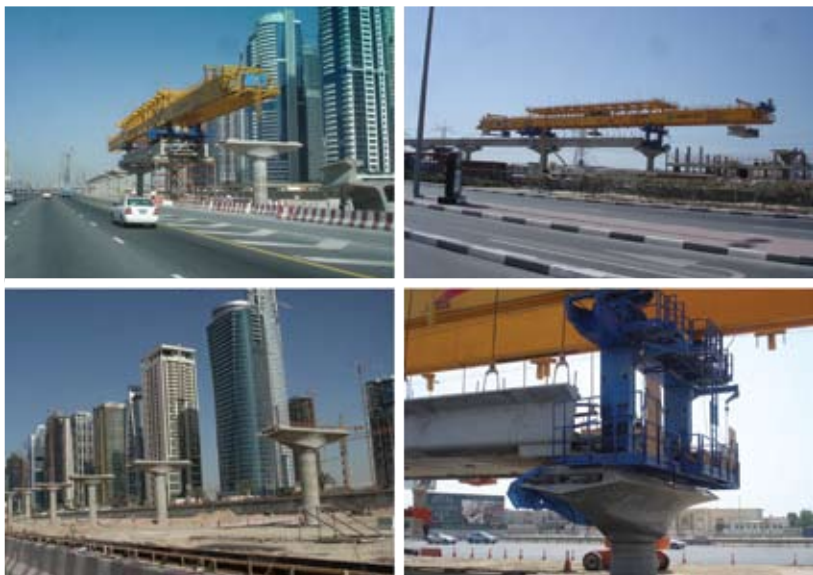


Рис. 3. Сооружение вестибюля надземной станции метро в Дубае

## Красно-зеленое метро

Красная линия проходит с северо-востока на юго-запад от района Rashidiya через международный аэропорт Дубая до конечной станции, расположенной в так называемой свободной зоне, — Jebel Ali. В основном эта линия выполнена в надземном (эстакадном) исполнении и только 8,5 км (9 станций) пройдено подземным и полуподземным способами. Под землей центральной, плотно застроенной и густонаселенной части старого города — районе Deira — находятся перегонные тоннели и станции. Здесь, помимо трех терминалов аэропорта, расположены два крупных торговых центра — Deira City Center и Al Ghurair, множество офисов и магазинов, широко известный (особенно русским туристам) рынок золотых изделий Gold Souk, а также морской порт Port Saeed. В этой части красная линия проходит вдоль главной улицы Al Rigga Street и в ее конце, на площади Union Square, пересекается с зеленой линией. Union Station является на сегодняшний день в метро Дубая единственной пересадочной станцией.

Зеленая линия стартует от Jaddaf zone, проходит Dubai Health Care City, далее пересекает Dubai creek и продолжается до Salahuddin Road — еще одной значимой улицы района Deira — и уходит на восток вдоль улицы Al Nahda Road, в конце которой — в Al Qusaib — и находится метродепо поездов. Данная линия включает около 8 км перегонных тоннелей и 8 подземных станций.

Как уже было сказано выше, различные участки метро сооружались в надземном исполнении, в виде мостовых конструкций, открытым и полуткрытым способами, а также подземным — с использованием



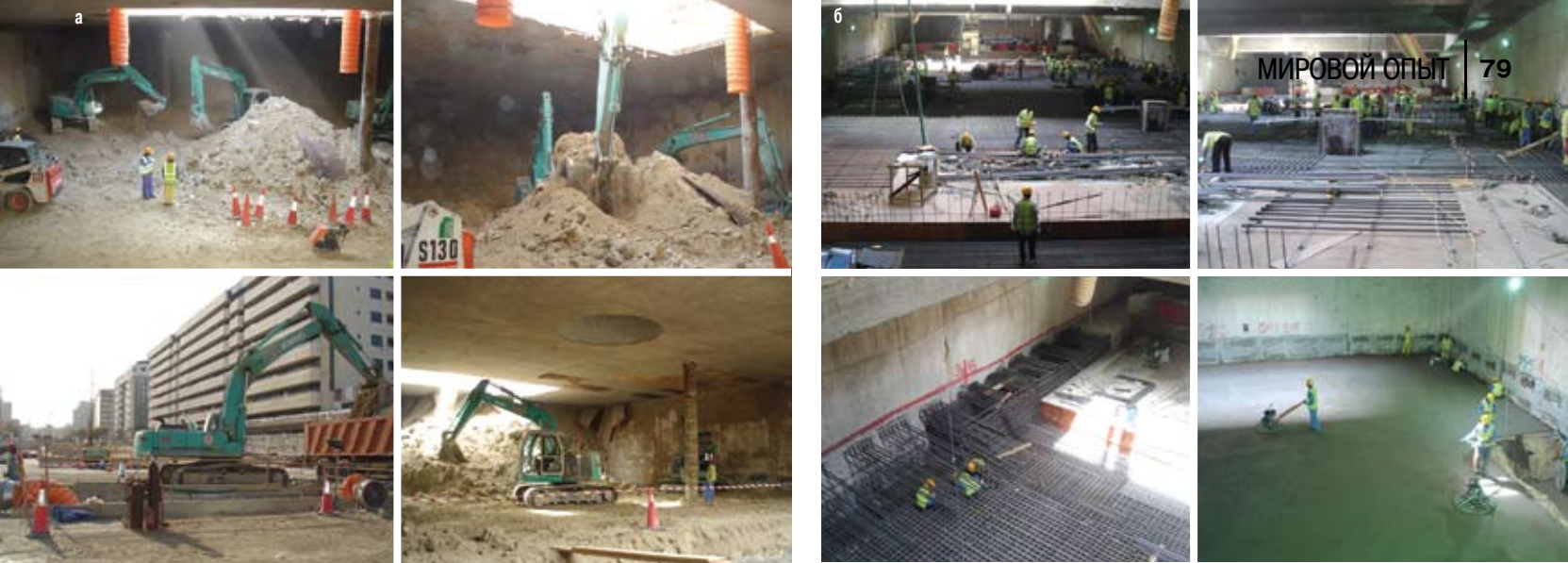


Рис. 4. Строительство станционного тоннеля методом Top-Down: а – разработка породы; б – устройство фундаментной плиты



Рис. 5. Узел соединения стен с плитами перекрытия



Рис. 6. Проходка заглубленных тоннелей открытым способом

тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК).

## Надземные участки

Надземные участки метро в Дубае представляют собой одноопорные мостовые конструкции с пролетами трех типоразмеров:

- с пролетом 32 м (редко 36 м);
- с двойным пролетом от 36 до 44 м;
- с тройным пролетом до 72 м.

В зависимости от инженерно-геологических условий на различных участках линий метро, глубина свай под опоры варьировалась от 20 до 50 м, при этом их диаметр составлял от 1,75 до 2 м, редко (для пролетных строений с тройным пролетом) — от 2,2 до 2,4 м. Для свай и опор мостовых конструкций использовался бетон класса В50. Учитывая высокую коррозионную агрессивность грунта в Дубае, толщина защитного слоя бетона принималась равной 120 мм. Кроме того, стык сопряжения сваи и опоры изолировался путем нанесения слоя эпоксидной мастики. Всего для обеих линий

метро было сооружено 4572 опоры. Пролетные строения монтировались методом навесного бетонирования с использованием мостового крана фирмы VSL (рис. 3). Пролетные строения выполнялись из сборных железобетонных сегментов трех типов: плоских — для пролетов длиной до 36 м, U-образных — для пролетов до 44 м и коробчатого сечения с предварительно напряженной арматурой — для пролетов протяженностью более 44 м. Средняя скорость монтажа — один пролет за два дня. Всего было смонтировано 16 500 сегментов.

## Заглубленная часть (сооружаемая открытым и полукрытым способами)

Практически все подземные станции метро сразу после их строительства использовались в качестве стартовых и приемных котлованов для монтажа и демонтажа ТПМК. В них же, в режиме реального времени, проводился мониторинг процессов врезки щитового комплекса и сбойки. Все подземные станции были построены полукрытым способом, известным





**Рис. 7. Стартовый котлован для монтажа ТПКМ (в последующем здесь расположится станция метро)**

как Top-Down (рис. 4). При этом в качестве временного ограждения котлована использовалась железобетонная диафрагма, сооружаемая методом «стена в грунте». Для ее строительства применялся бетон класса не менее В45. Данную конструкцию возводили с помощью панелей с размерами сечения:  $2,8 \times 1,2$  м (толщина) и глубиной 50 м — для станционных тоннелей;  $2,8 \times 0,8$  м и глубиной 20 м — для выходов.

В основном для разработки породы использовали краны, оснащенные грейфером, и лишь в редких случаях, при обнаружении зон с крепкой скальной породой, использовалась фреза. После завершения сооружения диафрагмы по всему контуру будущей станции проводилось гидравлическое опробование изолированного грунта (pumping test) и, в случае обнаружения значительной фильтрации воды через панели, проводились ремонтные работы еще до начала откопки котлована. Ремонтные работы шли с использованием метода струйной цементации Jet Grouting. Разработка грунта в котловане велась с использованием мини-экскаваторов и машин типа Bobcat (рис. 4а). Откопку проводили поярусно, чередуя ее с устройством очередного бетонного перекрытия.

Для продолжения разработки грунта на более низком ярусе в перекрытиях оставлялись «окна», через которые извлекался грунт с нижнего яруса и подавались строительное оборудование и материалы. «Окна» в перекрытиях бетонировались в последнюю очередь — после завершения всех работ.

Во время вскрытия грунта во многих котлованах обнаруживались дефекты панелей диафрагмы в виде открытых раковин, поперечных холодных швов, течей в стыках. Все они в параллельном режиме устранялись с помощью цементации, химического упрочнения полиуретановыми мастиками и набрызгбетона.

После завершения работ по выемке грунта до проектной отметки проводилась подготовка основания (выравнивание, трамбование, укладка гидроизоляции) для бетонирования фундаментной плиты, которую затем (как и все плиты перекрытий) стыковали по всему контуру со стенами диафрагмы (рис. 5). Для этого в начале всех работ армокаркасы панелей диафрагмы снабжали закладными металлоческими гильзами для их последующего соединения с арматурой плит перекрытий и фундаментной плиты (рис. 4б). Все элементы подземных станций метро (кроме фундаментных плит)





Рис. 8. Надземная линия метро на Sheikh Zaid Road в Дубае

не имеют гидроизоляции. Здесь был использован концепт возможного дренирования, до этого реализованный в метро мегаполисов многих стран, включая Вашингтон и Нью-Йорк. Его суть заключается в том, что в тоннелях допускаются некоторые ограниченные протечки воды в виде капель или мелких струй, которые со стен попадают непосредственно в дренажные лотки, затем самотеком — в насосные станции, откуда откачиваются в канализационную систему. Безусловно, все протечки строго регламентированы и, в случае увеличения их объемов, они периодически тампонируются. По мнению авторов проекта, такой концепт является наиболее экономичным.

На обеих (красной и зеленой) линиях имеются участки перегонных тоннелей, также пройденных с использованием технологии «стена в грунте». После возведения бетонного ограждения и устройства водопонижения разработка грунта на них велась открытым способом с использованием экскаваторов с так называемой удлиненной рукой. Устойчивость бетонной диафрагмы обеспечивалась устройством многоярусных металлических распорок из труб, двутавровых балок или другого профиля (рис. 6).

### Подземная часть (сооружаемая с использованием ТПКМ)

Полностью в подземном исполнении с помощью ТПКМ (TBM Mitsubishi Corporation) были выполнены только перегонные тоннели. При этом было использовано три комплекса с грунтопригрузом, внешним диаметром 9,56 м. Такой тип ТПКМ (рис. 7) был выбран исходя из представленных инженерно-геологических условий.

Средняя скорость проходки составляла около 15 м в день, или 10 колец шириной 1,5 м. Внутренний диаметр кольца — 8,5 м, внешний — 9,3 м. Обделка перегонных тоннелей выполнялась из железобетонных блоков с классом бетона В50.

Все надземные станции выполнены в едином концепте и представляют собой металло-стеклянные конструкции в форме бронтозавра. Надземная красная линия метро проходит с левой стороны (если смотреть от залива в сторону Абу-Даби) от главной городской магистрали, и на всех станциях для удобства пассажиров имеет мостовые переходы на противоположную сторону (рис. 8).

В настоящее время строительство метро в Дубае продолжается, и по планам до 2020 года оно соединит три эмирата — Шаржу, Дубай и Абу-Даби.





*Confederation Line or the project of light-rail transit construction in Canadian capital Ottawa is undoubtedly one of the most prominent infrastructure projects since the time of the Rideau Canal opened in 1832. In order to lay 12.5 km of roads constructors will have to pass the most heavily trafficked highways and to reconstruct several bridges. The line will connect western and eastern parts of Canadian capital; it will run underground for 2.5 km. The paper presents a brief story of challenges faced by metro builders.*

## ЛЕГКОЕ МЕТРО ДЛЯ КАНАДСКОЙ СТОЛИЦЫ

*Строительство линии легкого метро в Оттаве с громким названием Confederation Line в представлении жителей этого канадского города, несомненно, является одним из самых значимых инфраструктурных проектов со времен сооружения канала Ридо, открытого в 1832 году. Для прокладки 12,5 км путей потребуется преодолеть самые загруженные автомагистрали и реконструировать несколько мостов. Впрочем, оптимизма участникам масштабной стройки не занимать, ведь в их распоряжении многомиллионные инвестиции и, конечно же, парк современной высокотехнологичной техники, способной выполнить всю самую сложную и трудоемкую работу.*

Александр  
ГЛАДКОВЗОРОВ





## Эффективное перемещение

Это только в московских реалиях десять с хвостиком километров легкого метро помогут разве что несколько разгрузить утренний поток автомобилей, направляющихся в сторону центра с одного из областных направлений. Канадцы же уверены, что этого достаточно для полного преобразования транспортной инфраструктуры целого города. Что неудивительно: в Оттаве даже с учетом всех пригородов насчитывается немногим больше одного миллиона жителей. Новый проект получил свое название, очевидно, в честь Канадской Конфедерации — процесса, объединившего во второй половине XIX века независимые британские колонии в единое государство.

По информации официального сайта проекта, к 2031 году население Оттавы вырастет примерно на 30%. Городские власти решили подготовиться к этому заранее, наметив торжественное открытие Confederation Line на 2018 год. Главная причина, побудившая администрацию запустить проект новой линии легкого метро, — постоянно растущая нагрузка на существующую маршрутную сеть общественного транспорта, которая вот-вот исчерпает свой проектный ресурс. Элементарно увеличить количество автобусов уже не получится — это приведет к заметному снижению скорости движения транспортного потока. Причем в подобной «полумере» отсутствует инновационная составляющая. «Людей нужно перемещать более эффективно», — гласит сайт проекта. Эта формулировка, помимо всего прочего, предполагает снижение уровня шума и выбросов вредных веществ в атмосферу, создание новых рабочих мест, а также получение прибыли, которую можно направить, к примеру, на сооружение еще одной линии легкого метрополитена (в долгосрочных планах его общая протяженность должна достичь 40 км).

## Кто, где, когда?

Строительство Confederation Line поручено объединению Rideau Transit Group, в которое вошли 15 ведущих канадских и зарубежных компаний. Именно эта структура предложила наиболее убедительный бизнес-план, получивший поддержку инвесторов.

Идея создания легкого метро была утверждена в 2008 году городским советом Оттавы, после чего в течение четырех лет готовилась проектная документация, проводились тендеры на подрядные работы. Сама стройка началась весной 2013 года с расширения шоссе 417. Confederation Line соединит западную и восточную части канадской столицы, при этом два с половиной километра путей пройдут под землей. В большей части новая линия легкого метро будет пролегать вдоль маршрута автобусного Скоростного транзита, обеспечивая максимальную интеграцию с существующей транспортной системой. Преимущества легкого метро выражены в точном графике движения поездов и фиксированном времени в пути от начальной до конечной станции — 24 минуты.

Строительство подземной части метро должно завершиться летом 2017-го — к 150-й годовщине принятия Конституции Канады. Подвижной состав будет закуплен

## ТЯЖЕЛЫЕ КОМБАЙНЫ SANDVIK MT720

отлично справляются с проходкой тоннелей благодаря наличию мощной поперечной фрезы. Телескопическая стрела позволяет проходить сечения до 9,1 м в ширину и 6,6 м в высоту даже в прочных

скальных грунтах. Гидравлическая система регулирует потребление энергии в зависимости от нагрузки, а насос высокого давления отвечает за эффективное пылеудаление и охлаждение режущей части. Самое главное, что одной машиной можно проходить тоннели разных габаритов и форм сечений с резкими поворотами, вентиляционными тоннелями и нишами.

Комбайны серии MT работают от электрогидравлического привода. Это означает полное отсутствие выхлопных газов и возможность эксплуатации в любых условиях, без нанесения вреда окружающей среде. Их выгодно использовать там, где требуется обеспечить низкий уровень вибрации. Геометрически выверенные пропорции стрелы и фрезы MT720 позволяют достичь лучшего соотношения энергопотребления и производительности, а также минимального уровня шума, что играет первостепенную роль при ведении работ в черте города.

Для каждого комбайна предусмотрен набор фрез с различным количеством резов. Располагая результатами геологических изысканий, специалисты Sandvik Construction смогли подобрать для данного проекта оптимальную (по соотношению скорости проходки и расходу резов) фрезу.



у французской компании Alstom, одного из крупнейших производителей железнодорожного транспорта. Причем собираться они будут прямо на месте, в Оттаве. Уже начато строительство центрального депо, где впоследствии будут обслуживаться все 32 поезда. Не обошлось и без вынужденных неудобств: с мая этого года ограничено движение транспорта на некоторых улицах города, однако пешеходам и велосипедистам пока ничего не мешает.

## Отличная альтернатива

Попробуем отвлечься от общих параметров проекта и заглянуть под асфальт, чтобы понаблюдать за самой ответственной частью стройки — проходкой тоннеля, который должен соединить три станции: «Лион», «Парламент» и «Ридо». Под аккуратными газонами и геометрически правильными улицами Оттавы залегают



глинистые почвы с высоким содержанием известняка и доломита, сформированные еще в кембрийский период. В западной части города можно увидеть более древние кварциты, граниты и гнейсы, в то время как на востоке встречаются ледниковые отложения с преобладанием песчаника и глинистого сланца. Таким образом, преимущественно мягкая порода располагает к быстрой проходке, оставляя больше времени на возведение крепей и отделочные работы.

Тоннель, расположенный в наиболее загруженной части города, станет отличной транспортной альтернативой для пассажиров, желающих сэкономить время. Дело в том, что сейчас на надземном отрезке между вышеназванными станциями действует 14 светофоров, и даже использование скоростного транзита не дает гарантий от попадания в пробку. Конечно, времени она украдет несравнимо меньше, чем утренний затор на московской выделенной полосе для общественного транспорта. Но и представления о том, сколько времени позволительно тратить на дорогу от дома до работы, у столичных жителей России и Канады весьма разные.

Благодаря последовательной выемке грунта было достаточно лишь трех точек «входа» в подземное городское пространство. Именно с них и начали работу

### «СКАЛОЖУЙ», «КРОКОЗЯБР» И «ЖЕВАЛО»

*Едва три комбайна приступили к проходке, как находчивые канадские школьники уже присвоили им клички: Chewrocka, Crocodile Rouge и Jawbreaker. Впрочем, сделали они это не случайно (во время перемены между уроками), а вполне осознанно — в рамках общегородского конкурса, организованного местными властями. На торжественной церемонии награждения победителем мэр Оттавы Джим Уотсон выразил благодарность подрастающему поколению, отметив, что «когда строительство легкого метро завершится, те самые четвероклассники, давшие машинам столь замечательные названия, уже пойдут в девятый класс».*

три проходческих комбайна Sandvik MT720, которым подрядчики отдали предпочтение из-за меньшего (чем у оборудования других компаний) уровня шума и вибраций. Большинство работ ведется на глубине от 16 до 24 м.

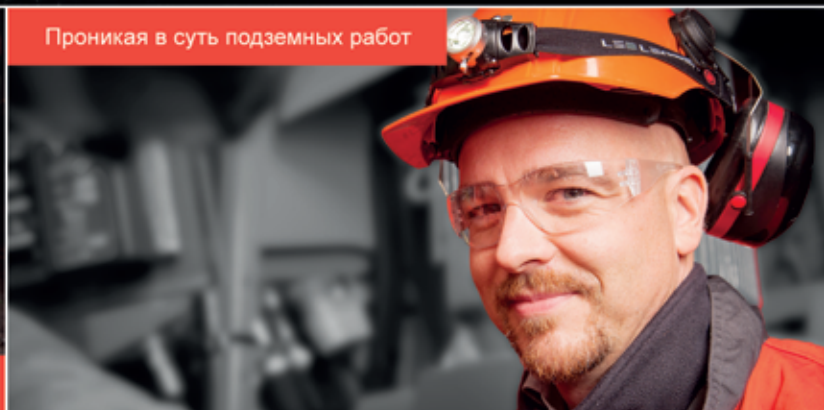
Как пояснил руководитель направлений по тоннельно-оборудованию и гидравлическим молотам российского офиса Sandvik Construction Алексей Зубехин, при работе в крупных городах с плотной застройкой применение буровзрывного метода проходки может быть еще и опасным: «Чтобы избежать обвала свода тоннеля и просадки грунтов на поверхности, необходимо использовать технологии, обеспечивающие относительно небольшой заход за один цикл (до 1–1,5 м) с максимально низким уровнем вибрации. А при работе с комбайнами в подобных условиях как раз и достигается высокая стабильность забоя и свода тоннеля на всех стадиях цикла проходки».

Не стоит забывать и про геологические особенности местности. Известняки хоть и относятся к мягким скальным породам, однако их прочность на одноосное сжатие уже не позволяет проводить эффективную проходку тоннеля с помощью обычной ковшовой техники. Поэтому приходится использовать фрезы или гидромолоты, причем первый вариант гарантирует хорошие результаты даже в условиях больших притоков воды.

Кстати, для того чтобы сторонние наблюдатели не подумали, что техника простаивает без дела, на официальном сайте ведется специальный журнал для любопытной аудитории (<http://www.confederationline.ca/en/the-build/downtown-tunnel/>), где приводятся подробные результаты каждой рабочей недели. Весьма интересный опыт, которым бы неплохо воспользоваться и российским компаниям...

Что ж, будем надеяться на успешное завершение строительства Confederation Line и на то, что ни один комбайн в ходе работ не придет в полную негодность. Они ведь еще пригодятся для реализации будущих проектов.





Проникая в суть подземных работ

Новый перфоратор RD525 - максимум производительности

## Крепкая снаружи Умная внутри

Обновленные буровые установки Sandvik DT821 для проходки туннелей включают в себя целый ряд инновационных технологических решений для достижения максимальной производительности. Электронная система управления TPC561 продлевает срок службы рабочего инструмента. А новый улучшенный перфоратор RD525 увеличивает скорость проникновения почти на 17% и позволяет пробурить на 40%\* больше каждым набором бурового инструмента. Установки DT821 совместимы с приложением для создания паспорта бурения Sandvik iSURE.

Приготовьтесь к новым достижениям!

\* в зависимости от геологических условий и параметров бурения. Результаты подтверждены полевыми испытаниями.

construction.russia@sandvik.com  
www.construction.sandvik.com







# ПЕРВЫЙ. ГЛУБОКИЙ. ДВУХПУТНЫЙ

По материалам  
ОАО «Метрострой»  
и Объединения под-  
земных строителей  
и проектировщиков

*Санкт-Петербургский метрополитен считается одним из самых красивых не только в России, но и во всем мире. Но не менее важной его отличительной чертой является техническая уникальность подземных объектов, связанная с непростыми условиями строительства. Неоднородные грунты, большое количество исторических зданий ставят перед петербургскими метростроевцами задачи, решение которых возможно только с помощью самых современных инновационных технологий и эксклюзивного оборудования.*



Среди последних достижений можно назвать разработку тоннелепроходческого комплекса (ТПМК) с грунтовым пригрузом диаметром 10,7 м, который петербургские специалисты создали совместно с немецкими коллегами из компании Herrenknecht AG для строительства наклонного хода станции метро «Адмиралтейская». На тот момент во всем мире не существовало опыта проходки таких тоннелей под углом 30° с помощью ТПМК.

Однако жизнь идет вперед. Сейчас в Санкт-Петербурге на 5 млн жителей приходится всего 67 станций метро. При этом Северная столица продолжает стремительно развиваться, поэтому необходимость масштабного увеличения сети городского подземного транспорта становится все более актуальной задачей, требующей скорейшего решения.

## Сроки и стоимость

Один из долгожданных проектов — продолжение на юг города пятой ветки метрополитена. В процессе проектирования Фрунзенского радиуса было принято решение применить весьма популярную за рубежом технологию строительства двухпутных тоннелей глубокого заложения. В практике же отечественного метрострое-ния опыт сооружения таких транспортных объектов с использованием ТПМК с грунтопригрузом отсутствует — петербургские метростроители стали здесь перво-проходцами. Для этого проектировщикам пришлось проделать большой объем работ по адаптации данной технологии к российской нормативной базе.

Главная особенность двухпутного участка заключается в оптимизации комплекса постоянных внутренних конструкций. В отличие от стандартного двухтоннельно-го варианта здесь нет необходимости в камерах съездов, эвакуационных сбойках и других выработках, что позволяет сократить сроки и стоимость строительства.

Существенно сокращается и количество дорогостоящего кабеля для эксплуатации различных систем метрополитена.

Станционные комплексы будут представлять собой тоннель с боковым размещением платформ по такому же принципу, как и в действующих наземных станциях. Для размещения тяговых подстанций и подсобных помещений различного назначения там, где это возможно, будет использоваться поверхность станций, а эвакуационные выходы преимущественно разместятся в стволах.

Среди инновационных особенностей следует также отметить современную высокоточную бетонную обделку, изготовленную на запущенной в октябре прошлого года конвейерной автоматизированной линии завода «Метробетон» (производительность — 300 колец в месяц), — она значительно повышает качественные характеристики тоннельной конструкции и, соответственно, увеличивает срок службы объекта.

Кольца обделки (диаметр — 10,3 м, ширина — 1,8 м) состоят из 7 сегментов, включая замковый элемент. Процесс выпуска изделий полностью автоматизирован: от подачи бетона до выемки готового изделия с помощью вакуумного крана. Бетонная смесь, изготовленная в двух миксерах Wiggert объемом 2 м<sup>3</sup> каждый, доставля-



Установка блока обделки

ется на посты с помощью системы адресной подачи производства компании WMW Industrieanlagen GmbH. Набор прочности бетона происходит в пропарочной камере при заданной температуре, благодаря чему значительно сокращается время, затраченное на изготовление блока. Для смазки готового изделия используются материалы BASF, а также Sika на парафиновой основе.

Производство армокаркасов осуществляется на комплексе арматурного оборудования, изготовленном по спецзаказу итальянской компанией AWM. В его состав входят правильно-отрезной станок DuoStraight, сварочная линия Preflex для производства гнутых тяжелых сварных сеток, линия для сварки криволинейных каркасов TNL, автоматическая машина для изготовления замковых сварных сеток EasyNet и гильотина для рубки сетки.

## Старт

Инженерная подготовка территорий под строительство второй очереди Фрунзенского радиуса началась в 2012 году. К работам по сооружению стартового котлована в районе поселка Шушары «Метрострой» приступил в начале 2013 года. На заболоченном участке с глубокозалегающими торфяниками строители выполнили планировку территории, смонтировали систему водоотведения, произвели уплотнение грунта. К стартовому котловану (диаметр — 26 м, глубина — 24 м) примкнул перегонный тоннель протяженностью 371 м, сооруженный открытым способом до будущей станции метро «Южная».

Работники ЗАО «Управление-15 Метрострой» и ЗАО «Метроподземстрой» выполнили расторфовку верхнего слоя на глубину до 4 м на площади 4 тыс. м<sup>2</sup>, устроили гидроизоляционную подушку для дальнейшего бетонирования площадки и укладки усиленных железобетонных плит. Эти действия были необходимы, чтобы обеспечить



Приемка ТПМК на заводе в городе Швану (Германия)

## СПРАВКА

Фрунзенский радиус является южным участком Фрунзенско-Приморской (пятой) линии метрополитена Санкт-Петербурга.

В его состав войдут станции:

«Прспект Славы» (пересечение Бухарестской ул. и Южного шоссе), станция глубокого заложения (около 50 м), пилонная, с двумя эскалаторными тоннелями, двумя подземными вестибюлями, соединенными подземным пешеходным переходом;

«Дунайский проспект» (юго-восточнее пересечения Дунайского пр. и Бухарестской ул.), станция мелкого заложения, с двумя подземными вестибюлями;

«Южная» (Автозаводская ул., западнее пересечения с Софийской ул.), наземная станция; а также электродепо «Южное».

Длина участка — 5,23 км (без учета депо)

Длина двухпутного тоннеля — 3,79 км

Наружный диаметр двухпутного тоннеля — 10,3 м

Пропускная способность участка линии — 40 пар поездов в час

Суточный объем пассажирских перевозок на начальном периоде эксплуатации — 997 тыс. пассажиров

достаточную жесткость основания для передвижения тяжелой техники с многотонным оборудованием (масса некоторых деталей ТПМК — около 250 тонн).

В течение полугода на строительстве стартового котлована и примыкающего к нему перегонного тоннеля было извлечено 65 680 м<sup>3</sup> грунта, сооружено 440 п. м. «стены в грунте» толщиной 90–100 см на глубину 20–22 м,

пробурено 4500 инъекционных скважин, выполнены работы методом струйной цементации (13 665 м<sup>3</sup>); погружено 2 тыс. тонн шпунта Ларсена V; уложено 23 400 м<sup>3</sup> железобетона.

## ТПМК — впереди новые километры

К монтажу ТПМК S-782 метростроители приступили 1 октября 2013 года. Комплекс с грунтовым пригрузом забоя, предназначенный для проходки тоннеля в смешанных грунтах, был заказан у концерна Herrenknecht AG специально для этого проекта. В конце прошлого года специалисты ОАО «Метрострой» вывели тоннелепроходческий комплекс из стартового котлована, и 23 января 2014 года состоялся его запуск. Согласно планам в текущем году метростроевцы должны соорудить с его помощью почти 4 км двухпутного перегонного тоннеля. За прошедшие полгода пройдено около 1000 метров.

По окончании проходки и демонтажа ТПМК в районе станции «Прспект Славы» щит планируется использовать на Приморском радиусе (от станции «Улица Савушкина» до ст. «Новокрестовская»). Данный участок будет сооружаться в рамках подготовки к проведению в Санкт-Петербурге чемпионата мира по футболу 2018 года, и обеспечение доступа на новый стадион, строительство которого завершается сейчас в западной части Крестовского острова. Вестибюль ближайшей к стадиону станции «Новокрестовская» будет расположен на намывной части острова.



# ПРОГУЛКА ПОД НЕВОЙ

**О ходе работ по строительству второго выхода станции метро «Спортивная» в Санкт-Петербурге рассказывает начальник производственно-распорядительного отдела ОАО «Метрострой» Борис Синичкин.**

**— Борис Моисеевич, станция строится в исторической части города, в непосредственной близости от Невы. С какими трудностями пришлось столкнуться при реализации этого проекта?**

— Во-первых, долго выбиралось место расположения вестибюля станции. Высказывался ряд предложений, но в итоге было принято решение разместить объект непосредственно под площадью, образующей перекресток набережной Макарова и Первой линии Васильевского острова с выездом на Троицкий мост.

В ходе строительства пришлось решать ряд непростых задач, что обусловлено высоким уровнем сложности подземных инженерных сооружений как таковых. Приступив к работам, мы обнаружили следы старых сооружений: остатки кирпичных стен, гранитные включения, деревянные сваи крепления набережной. Эти объекты по объективным причинам не были зафиксированы инженерными изысканиями, ведь пробурить скважины на каждом квадратном метре стройплощадки не представляется возможным.

Ряд организационных проблем возник также из-за обязательного требования городских властей по обеспечению непрерывного движения транспорта на площади. В результате мы построили подземный комплекс практически без остановки автомобильного потока. Трамвайное движение было перекрыто всего на 2 месяца — в течение этого времени в дополнение к существующему проекту велись работы по монтажу железобетонной плиты для трамвайной линии. Параллельно под этой плитой продолжались работы по сооружению эскалаторного тоннеля и подземного вестибюля.

Безусловно, озвученные выше проблемы оказали влияние на ход производства работ, которые вместо двух запланированных были разделены на шесть этапов. В основном работы осуществлялись силами ЗАО «СМУ-11 Метрострой», которое полностью справилось с поставленными задачами. Специалистами этой компании было реализовано множество технологических решений по организации и механизации работ, и во многом благодаря их профессионализму сооружение объекта будет успешно завершено.



**— Каковы отличительные особенности «Спортивной-2»?**

— Наклонный ход эскалаторного тоннеля выполнен в монолитной обделке. Основные конструкции вестибюля сооружены с применением технологии «стена в грунте». Подземный вестибюль развернут под всей территорией площади, глубина его залегания составляет около 7 м. Тем не менее входы и выходы в вестибюль оборудуются эскалаторами.

**— В чем особенности технологии монолитной обделки наклонного хода по сравнению с традиционной тубинговой?**

Беседовала  
Лариса ДУБРОВСКАЯ



СМУ-13 готовит основание для установки траволаторов

## СПРАВКА

*Вестибюль станции «Спортивная-2» расположится в подземном переходе под перекрестком 1-й и Кадетской линий и набережной Макарова на Васильевском острове Санкт-Петербурга. На поверхность из него можно будет попасть по четырем эскалаторам длиной 20 м и двум лестницам.*

*С существующим комплексом «Спортивная» новая станция соединена наклонным ходом протяженностью 65 м и 300-метровым тоннелем, проложенным под Невой. Надземный и подземный вестибюли «Спортивной-2» свяжут 40-метровые эскалаторы.*

*В подводном тоннеле впервые в истории Санкт-петербургского метро будут использованы траволаторы (горизонтальные эскалаторы). Всего их будет шесть — две трехниточные очереди длиной по 110 м. Часть пути между ними по причинам технологического характера придется пройти пешком.*

*Все эскалаторное оборудование поставит немецкая компания ThyssenKrupp. Открытие вестибюля «Спортивной-2» намечено на июнь 2015 года, после чего на капитальный ремонт будет закрыта станция «Василеостровская».*

— Технология монолитной обделки ОАО «Метрострой» в настоящее время используется на строительстве наклонных ходов, сравнительно небольших по протяженности тоннелей и подземных выработок. В Санкт-Петербурге число объектов, сооруженных с использованием этой технологии, незначительно, однако на стройках Москвы и Сочи она применяется достаточно широко.

Эскалаторный тоннель станции «Спортивная-2» — единственная конструкция подобного рода на объектах петербургского метрополитена. Монолитная обделка применялась при сооружении эскалаторных тоннелей на станциях «Звенигородская» и «Сенная». Следует учитывать, что данный метод необходимо адаптировать для решения конкретных технических задач, и в этом смысле он уникален для каждого объекта. Это сложная, многокомпонентная работа, требующая наличия специальных навыков и четкого соблюдения технологических рекомендаций.

На сегодняшний день метростроевцы завершили проходку эскалаторного тоннеля станции «Спортивная-2» во временной обделке из торкрет-бетона, выполнили гидроизоляционные работы и постоянную монолитную обделку.

**— На станции «Спортивная-2» будут установлены немецкие эскалаторы. С чем связан такой выбор? Каковы планы «Метростроя» по запуску эскалаторов собственного производства?**

— В соответствии с современными нормативными требованиями, в эскалаторном тоннеле необходимо установить 4 нитки эскалаторов, а не 3, как это было ранее. Традиционно наклонный ход сооружается в диаметре 8,5 м, в мире существует не так много предприятий, способных производить эскалаторы необходимых параметров. По результатам проведенного нами исследования рынка в качестве поставщика был



выбран концерн ThyssenKrupp AG, эскалаторы которого успешно эксплуатируются, в частности, в Москве и Баку. Их большим плюсом являются облегченная конструкция, детально просчитанная и выверенная инженерия, высокотехнологичность и ремонтпригодность. На малых эскалаторах второго выхода станции «Спортивная», к примеру, поручни будут снабжены системой обогрева.

Что касается развития эскалаторного производства на базе ОАО «Метрострой», проект начался с того, что наши инженеры задумались над тем, как сократить сроки ввода объектов в эксплуатацию, которые зачастую затягиваются из-за проблем с поставкой эскалаторов. Поставлена задача по разработке современного оборудования, которое бы смогло прийти на смену эскалаторам отечественных заводов-изготовителей и более компактно разместиться в габаритах наклонного хода.

На базе ЗАО «СМУ-9 Метрострой» уже изготовлен опытный образец. Говорить о конкретных сроках реального производства еще рано, но перспективы, безусловно, есть.

**— Еще одним уникальным объектом, на строительстве которого сейчас задействован «Метрострой», является двухпутный участок Фрунзенского радиуса. Каково положение дел на данном объекте?**

— Строительные и проходческие работы ведутся здесь в плановом режиме. Не скажется на сроках сдачи объекта и майская остановка тоннелепроходческого механизированного комплекса для замены некоторых элементов его режущего органа. Это является неотъемлемой частью выполнения требований технического регламента и происходит фактически на всех этапах строительства, поэтому не стоит придавать данному процессу какое-то особое значение.

Смена проектного института (Санкт-Петербургское ОАО «Ленметрогипротранс» проиграло конкурс на проектирование второй очереди Фрунзенского радиуса московскому ОАО «Метрогипротранс». — Прим. ред.) и, как следствие, непредоставление проектной документации в необходимом объеме в установленные сроки, безусловно, создает для нас соответствующие проблемы как для генподрядной организации. Однако тот объем работ, который производился до смены проектировщика, выполняется и сегодня благодаря имеющемуся заделу по рабочей документации. Другой вопрос, что новые объемы будут осваиваться не так быстро, как хотелось бы.

**— В чем, на ваш взгляд, заключаются основные проблемы метростроения в Санкт-Петербурге?**

— Любые изменения, будь то смена заказчика или проектировщика, влекут за собой определенные сложности. Однако основная проблема петербургского метростроения, в том числе и Фрунзенского радиуса, заключается в отсутствии четко отработанной схемы взаимодействия между всеми участниками данного процесса. Перед тем как приступить к сооружению такого технически сложного объекта, как метрополитен, необходимо подготовить проект в полном объеме, пройти техническую и экономическую экспертизу. Затем объект



СМУ-11 ведет подготовку большого наклонного хода к монтажу эскалаторов



Арматурные работы в котловане

должен быть включен в Адресную инвестиционную программу города. Рабочую документацию как минимум на ближайший год необходимо подготовить заранее, еще до заключения контракта с исполнителем работ. Если бы мы действовали по этой схеме, то, конечно, половины проблем смогли бы избежать.

В общем и целом я не стал бы драматизировать ситуацию, потому что интересы ОАО «Метрострой» как подрядчика, специализирующегося на строительстве метрополитена, и города (как заказчика) совпадают настолько, что к решению большинства проблем мы можем прийти (и в конце концов приходим) исключительно совместными усилиями.

Надеюсь, что объемы метростроения в Петербурге существенно возрастут, хотя, конечно, к столичным темпам, где объем строительно-монтажных работ за год превышает наши в разы, мы вряд ли приблизимся. Однако к этому нужно стремиться.



Ю.С. ФРОЛОВ,  
д.т.н., профессор  
кафедры «Тоннели и метро-  
политены» ПГУПС,  
заслуженный строитель РФ

*December 31, 1975 was the day when yet another segment (between the stations "Lesnaya" and "Ploschad muzhestva") of the Leningrad subway first line was commissioned. After 20 years in operation technical state of tunnels was officially recognized as critical; the situation required an emergency response, and tunnels were flooded. Professor Yuri Frolov analyses various options of water replacement in tunnels. The technological risks analysis was done by Delphi techniques, and provides not only qualitative but also quantitative forecast of the situation.*



# ПЕТЕРБУРГСКИЙ «РАЗМЫВ»: АНАЛИЗ РИСКОВ ВАРИАНТОВ КОНСЕРВАЦИИ ЗАТОПЛЕННЫХ ТОННЕЛЕЙ



**31 декабря 1975 года был сдан в эксплуатацию очередной участок первой линии Ленинградского метрополитена от станции «Лесная» до станции «Площадь Мужества». Через 20 лет эксплуатации уровень технического состояния перегонных тоннелей был признан аварийным, что привело к их затоплению.**



Трасса перегонных тоннелей от станции «Лесная» до станции «Площадь Мужества» была проложена через участок понижения кровли плотных протерозойских глин, представляющий собой каньон, образованный древним руслом Невы. В мировой практике подземного строительства такие аномальные зоны называют «погребенными долинами», в нашей стране — «размывами». Тоннели пересекали эту зону, состоящую из пылеватых и мелких песков, сильно обводненных, перекрытых слабой толщей суглинков лужской и московской морены, на глубине около 90 м. Гидростатическое давление по трассе составляло 7–8 атм.

В процессе сооружения этих тоннелей пришлось решать сложнейшую инженерную задачу. Дело в том, что возможность проходки в слабых обводненных грунтах в их естественном состоянии при сохранении нормального атмосферного давления в рабочем пространстве проходческого комплекса появилась позднее, когда в практику тоннелестроения были внедрены проходческие щиты с активным пригрузом забоя.

Для преодоления зоны размыва был применен способ проходки с предварительным замораживанием грунтов — традиционная технология работ, принятая при строительстве эскалаторных тоннелей. С целью экономии средств при создании замороженного массива тоннели расположили в одной плоскости по вертикали (один над другим). Наружная обделка — чугунные тубинги (СЧ-21-40), внутренняя железобетонная оболочка (армированная кольцевой и продольной арматурой) — с металлической изоляцией по периметру в виде заанкеренного в бетон металлического листа толщиной 8 мм.

С начала эксплуатации участка и до полного размораживания прилегающего грунтового массива постоянно проводились наблюдения за водопритоками и поступлениями грунта в оба перегонных тоннеля в зоне размыва, осуществлялся мониторинг напряженно-деформированного состояния обделки тоннелей, регистрация осадков земной поверхности. Несмотря на проводимые ремонтные работы по ликвидации течей, с февраля 1995 года водоприток в нижний тоннель стал резко возрастать и в ноябре достиг 770 м³/сут. С января 1995 года начался вынос грунта в тоннель (от 0, 15 до 2 м³/сут). Водоприток в верхний тоннель стал увеличиваться в ноябре-декабре 1995 года. Начиная с 16 ноября 1995 года, в связи с резким ростом протекания верхнего тоннеля, стали наблюдаться нарушения металлоизоляции конструкции с увеличивающимся поступлением воды и песка. К 9 декабря приток воды в него достиг 700 м³ в сутки, поступления песка — 40 м³ в

Таблица 1  
Варианты технологических решений по замещению воды в затопленных тоннелях

№ варианта	Конструктивно-технологическое решение
I	Бурение вертикальных скважин с дневной поверхности через обделки верхнего и нижнего тоннелей
II	Бурение с поверхности вертикальных скважин через обделку верхнего тоннеля и наклонных скважин в нижний тоннель
III	Бурение горизонтальных скважин через герметизирующие конструкции из прилегающих участков тоннелей в верхний и нижний тоннели
IV	Комбинированный способ — посредством скважин, пробуренных с дневной поверхности в верхний тоннель, и скважин, пробуренных в теле герметизирующих конструкций из прилегающих участков тоннеля в нижний тоннель
V	Проходка 8 вертикальных стволов вблизи и вдоль тоннелей с последующим бурением скважин в верхний и нижний тоннели
VI	Проходка ствола на береговом участке. Проходка параллельного тоннеля вблизи затопленных с последующим бурением скважин в верхний и нижний тоннели
VII	Бурение скважин из ствола большого диаметра, сооружаемого непосредственно над тоннелями методом предварительного замораживания грунта

сутки. Возникла реальная опасность затопления. В связи с этим было принято решение о закрытии затворов и заполнении водой тоннелей на проблемном участке.

Всего за время эксплуатации в верхний тоннель через обделку поступило 483821 м³ воды, в нижний — 793976 м³, песка в оба тоннеля — 886 м³.

По данным продолжающихся после затопления наблюдений на городской территории, попадающей в зону влияния на старой трассе тоннелей, максимальные осадки с момента развития аварийной ситуации 1995 г. превысили 1100 мм. По результатам комплекса наблюдений за состоянием близлежащего грунтового массива, выполненных ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», отмечается наличие обширных зон разуплотненных грунтов и распространение этих зон в непосредственной близости от обделки. Наблюдается также поступление воды через систему герметизирующих конструкций, устроенных по торцам затопленных тоннелей. Результаты специальных обследований технического состояния герметизирующих конструкций обусловили необходимость проведения мониторинга как обводненности перемычек и примыкающих к ним обделок путевых тоннелей, так и их деформаций. Эти работы, начиная с 2006 года по настоящее время, выполняет кафедра «Тоннели и метрополитены» ПГУПС.

С учетом вышеизложенного, весьма вероятным следует считать сценарий, по которому разрушение обделок тоннелей и заполнение их пльвунной пульпой продолжались в замедленном режиме, охватывая все большее пространство. Заполнение тоннелей водой уравновесило гидростатический напор и замедлило, но не приостановило процесс поступления песчаного грунта. Наличие

гидростатического напора за счет обжатия конструкции снижало действие изгибающих моментов. При его снятии неизбежно меняется характер распределения усилий в конструкции, потеря несущей способности которой на одном незначительном по длине участке повлечет постепенное разрушение смежных с ним колец обделки. При этом в тоннель песок будет поступать во все возрастающем объеме до полного заполнения тоннельного пространства.

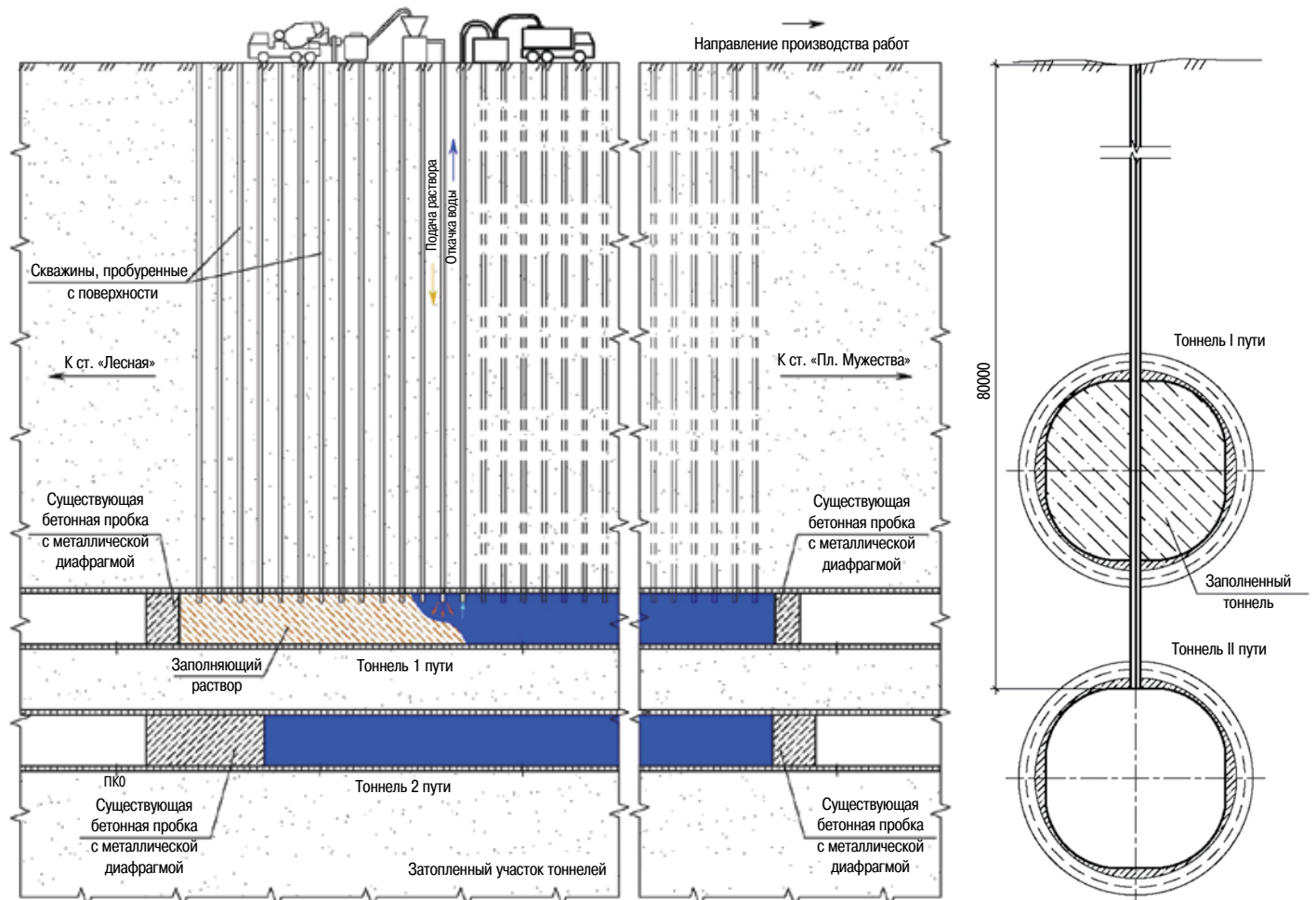
Аналогичная картина сложится и в нижнем тоннеле, который под тяжестью верхнего и под нагрузкой, передаваемой от него через стальные трубы замораживающих колонок, оставленных между тоннелями, может разрушиться за более короткий период, чем верхний.

Продолжительность процесса разрушения обделки по описанному сценарию трудно прогнозировать, но такая ситуация, когда тоннели будут заполнены грунтом с образованием катастрофических осадков земной поверхности, может иметь место с большой степенью вероятности.

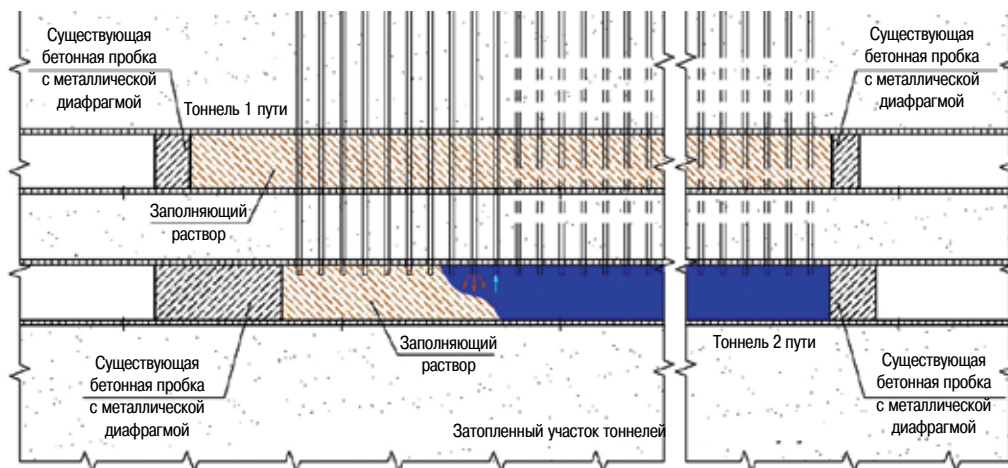
В связи с этим правительством города было принято решение по разработке «Проекта по стабилизации массива пород с целью локализации зоны осадков территории, ограниченной улицами Новороссийская, Карбышева, Политехническая и площадью Мужества». Одним из основных аспектов проблемы является разработка эффективной технологической схемы выполнения работ по замещению воды в затопленных тоннелях на материал, обеспечивающий стабилизацию негативных процессов.

Институт «Ленгипроинжпроект» разработал 7 вариантов технологических решений по замещению воды в затопленных тоннелях (табл. 1). Принимая во внимание техниче-

а



б



Вариант №1 схемы производства работ по замещению воды на специальный материал в верхнем (а) и нижнем (б) тоннелях. (Проектная документация ГУП «Ленгипроинжпроект»)

скую сложность и степень ответственности работ, которые будут выполняться вблизи действующей линии метрополитена, на заседании научно-технического экспертно-консультационного совета Петербургского регионального отделения Тоннельной ассоциации России было принято решение о проведении анализа конструктивно-технологических рисков при реализации предложенных вариантов. Данные исследования были осуществлены двумя независимыми

группами экспертов на кафедрах «Тоннели и метрополитены» ПГУПС и «Строительство горных предприятий и подземных сооружений» Санкт-Петербургского горного института.

Анализ степени конструктивно-технологических рисков был выполнен на кафедре «Тоннели и метрополитены» известным универсальным методом экспертных оценок, позволяющим получить не только качественный, но и количественный прогноз развития ситуации.

Его применение особенно эффективно при разработке неординарных конструктивно-технологических решений в сложных условиях строительства, когда неполнота и недостоверность информации не позволяют использовать статистический или другие методы оценки риска.

Для получения экспертной информации были разработаны анкеты, включающие описание сценариев развития рисков ситуации по каждому из семи рассматриваемых



вариантов. Эксперты по 5-балльной шкале оценивали степень риска в соответствии с точкой зрения о вероятности осуществления того или иного сценария развития ситуации и возникновения возможного ущерба (табл. 2).

**Таблица 2**  
**Оценка степени риска**

Степень риска	Уровень вероятности
1	Крайне низкая
2	Низкая
3	Возможная
4	Высокая
5	Крайне высокая

В результате математической обработки массива экспертных оценок для каждого из вариантов были получены значения статистических частот степени риска, математического ожидания степени риска и дисперсии степени риска, а также границы доверительного интервала, соответствующего доверительной вероятности  $P = 0,95$ . Результаты анализа, полученные по каждому из семи вариантов, были сведены в таблицы. В качестве примера



здесь приведены результаты анализа риска по первому и третьему вариантам (табл. 3).

Полученные данные позволили произвести ранжирование вариантов по степени конструктивно-технологического риска. По мнению экспертов, наиболее предпочтительными оказались варианты №1 и 2, вариант №6 уверенно занял третье место.

Результаты экспертной оценки, выполненной в ПГУПС, удовлетворительно сошлись с результатами аналогичной работы, проведенной в Горном институте. В итоге к дальнейшей проработке был принят первый вариант технологической схемы консервации затопленных тоннелей на участке «Размыв» (см. рисунок).

**Таблица 3**  
**Бурение вертикальных скважин с дневной поверхности через обделку верхнего и нижнего тоннелей (вариант №1)**

Сценарий развития рискованных ситуаций	Статистическая частота степени риска					Математическое ожидание	Дисперсия	Доверительный интервал с вероятностью $P = 0,95$
	1	2	3	4	5			
Локальное разрушение обделки в размерах, превышающих диаметр коронки с проникновением грунта в тоннель	0,11	0,00	0,00	0,66	0,13	3,89	1,38	3,12...4,66
Отклонение забоя скважины из-за наличия валунов и прочих включений. Необходимость повторного бурения	0,00	0,55	0,45	0,00	0,00	2,44	0,35	2,20...2,68
Отклонение забоя скважины, уход коронки по касательной к обделке с неизбежным разрушением чугунных тубингов	0,00	0,11	0,00	0,78	0,11	3,89	0,80	3,41...4,37
Заклинивание бурового става в обделке	0,00	0,55	0,34	0,00	0,11	2,67	1,10	1,98...3,34
Попадание забоя скважины в ребро чугунной обделки, каркас арматуры, в пластины крепления металлического листа анкерами	0,00	0,00	0,00	0,89	0,11	4,11	0,30	3,78...4,47
Заклинивание бурового става при попадании забоя скважины в замораживающие колонки, оставленные в грунтовом массиве, в том числе и между тоннелями, в период строительства	0,55	0,34	0,11	0,00	0,00	1,89	0,55	1,44...2,34
Падение буровых труб при нарушении технологии работ	0,11	0,89	0,00	0,00	0,00	1,89	0,15	1,65...2,13
Затруднение контроля качества заполнения тоннеля материалом	0,00	0,22	0,67	0,00	0,11	3,00	0,75	2,55...3,45
Несоответствие качества отверждающего раствора	0,00	0,55	0,34	0,00	0,11	2,67	1,07	2,05...3,29
Возникновение пробок в буровых ставах при нагнетании материала из-за значительной глубины бурения	0,11	0,67	0,22	0,00	0,00	2,44	1,40	1,60...3,28

В. А. ГАРБЕР,  
д.т.н. НИЦ «Тоннели  
и метрополитены» ЦНИИС

# МОСКОВСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН: НЕШТАТНЫЕ СИТУАЦИИ

*The article analyzes contingency events that happened in Moscow Metro in the course of construction works and during operating hours. The results of the study can be useful to metro builders in view of sharp increase in underground construction volumes and of work engagement of non-resident and foreign organizations that have never worked in geotechnical and urban conditions of the Russian capital.*

*In the last 25 years the topic not only did not lose its relevance; it became even more sensible due to the emergence of new risk factors such as eventual terrorist attacks and destruction of tunnels with piles as a result of construction works performed on the surface.*



**В книге «Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов» (авторы С.Н. Власов, Л.В. Маковский, В.Е. Меркин) описан и проанализирован мировой опыт аварийных ситуаций в транспортном тоннелестроении и метростроении за период 1981–1990 годов. За последние 25 лет эта тема не только не устарела, но стала еще более актуальной в связи с увеличением объема и расширением географии строительства подземных транспортных сооружений и их дальнейшей эксплуатацией. При этом появились и новые факторы, осложняющие эксплуатацию тоннелей и метрополитенов, например террористические акты, разрушение тоннелей сваями при проведении строительных работ на земной поверхности. В данной статье проанализированы нештатные ситуации при строительстве и в ходе эксплуатации Московского метрополитена. Такой анализ может быть полезен в связи с резким ростом объемов строительства Московского метрополитена, привлечением для выполнения работ иногородних и иностранных организаций, ранее не работавших в московских инженерно-геологических и градостроительных условиях.**



**О**братимся к статистике (табл. 1). За период 1977 — начало 2014 года в Москве имели место 9 нештатных ситуаций при строительстве и 50 нештатных ситуаций при эксплуатации метрополитена.

При этом при строительстве зафиксировано: 2 пожара, 3 случая загазованности тоннеля, 3 вывала (обвала) грунта и 1 случай повреждения обделки при ведении БВР.

В процессе эксплуатации имели место: 10 терактов, 16 пожаров и задымлений, 6 случаев столкновения поездов и крушений, 4 случая, связанных с повреждением обделки сваей (сваи пробиты тоннель снаружи), 6 сбоев в движении по техническим причинам, 1 поломка светофора, 1 излом ходового рельса, 1 случай массового отключения электропитания, 1 случай падения дерева на рельсы и забор (открытый участок метро), 2 случая падения людей на рельсы, 2 случая поломки эскалаторов.

Можно заметить, что были и «благополучные» годы, когда нештатных ситуаций в процессе эксплуатации не зафиксировано: 1978, 1983–1986, 1988, 1989, 1992, 1993, 1997, 1999, 2003.

В то же время можно отметить, что период 2009–2014 годов является рекордным по количеству нештатных ситуаций на Московском метрополитене.

Следует также заметить, что аварийные (нештатные) ситуации происходили не на всех линиях метрополитена, а только на семи: Серпуховско-Тимирязевская; Горьковско-Замоскворецкая; Арбатско-Покровская; Калужско-Рижская; Калининская; Кольцевая и Сокольническая.

Наиболее благополучный (безаварийный) период: 1983–1986 годы.

Приведенная статистика свидетельствует о том, что нештатные ситуации в процессе эксплуатации метрополитена происходят значительно чаще, чем при его строительстве. Но означает ли это отсутствие причинно-следственной связи между этими двумя категориями аварий?

Для ответа на поставленный вопрос попробуем разобраться в причинах нештатных ситуаций при строительстве и в ходе эксплуатации метрополитенов.

Как показано в табл. 2, причиной пожаров при строительстве метрополитена являются нарушения эксплуатации электрооборудования и недоработки проекта организации строительства, связанные с недостаточной изученностью особенностей трассы, проходящей в условиях насыщенности грунтового массива нефтепродуктами.

Из табл. 3 видно, что основной причиной пожаров и задымлений при эксплуатации метрополитена являются неисправности в силовом и кабельном оборудовании вагонов и тоннелей.

Таким образом, для исключения в дальнейшем пожаров и возгораний при эксплуатации метрополитена необходимо в проектах электромеханических систем обеспечить мероприятия, исключающие отказы оборудования: короткие замыкания, нарушения электроизоляции кабельных сетей, поломку ходовых частей и электрооборудования подвижного состава.

При проведении горнопроходческих работ следует исключить возможность отказа электрооборудования,

**Таблица 1**  
**Статистика нештатных ситуаций**

Год	Количество случаев		Год	Количество случаев	
	Строительство	Эксплуатация		Строительство	Эксплуатация
1977		1	2000		1
1979		1	2001		1
1981		1	2002		1
1982	3	1	2004		2
1983	1		2005		1
1986	1		2006		1
1987		1	2007		1
1989	2		2008		1
1990		1	2009		1
1991		1	2010		4
1994		4	2011		2
1995		2	2012		3
1996		4	2013	2	6
1998		1	2014 (I квартал)		6

**Таблица 2**  
**Причины пожаров (возгораний) при строительстве метрополитена в 1982 году**

Аварийная (внештатная) ситуация	Причины
На строительстве перегонного тоннеля щитовым способом произошло загорание нефтепродуктов, поступивших из забоя. Проходка велась на участке трассы, где раньше находилась автозаправочная станция	Недостаточные меры (в проекте) при проходке через нефтенасыщенные грунты
Произошел пожар в помещении подземной пневматической мастерской	Грубые нарушения в эксплуатации электромеханического хозяйства, низкий уровень противопожарной подготовленности объекта к ликвидации аварий

**Таблица 3**  
**Причины пожаров (возгораний) при эксплуатации метрополитена**

Год	Аварийная (внештатная) ситуация	Причины
1981	Возник пожар в деревянном ящике с аккумуляторными батареями под вагоном поезда, находившегося на перегоне. Сгорели 4 вагона	Неисправность аккумулятора
1987	В хвостовом вагоне поезда, следовавшего по перегону, произошел пожар	Короткое замыкание в силовой электросхеме вагона
1994	При выходе на линию из электродепо загорелся последний вагон. В составе, оставленном в тоннеле, сгорело 4 вагона	Короткое замыкание в электросхеме вагона
1995 (весна)	Загорелась ходовая часть вагона в перегонном тоннеле	Неисправность ходовой части
1995 (осень)	Загорелся поезд на станции	Неисправность электросистемы поезда
1996 (февраль)	Загорелся поезд на станции	Неисправность электросистемы поезда
1996 (март)	На перегоне загорелся силовой кабель, в результате чего произошло задымление тоннеля и станций	Короткое замыкание
2010	Произошло задымление в перегоне в головном вагоне поезда. Пассажиры двух поездов провели в задымленном тоннеле около 40 минут	Неисправность электрооборудования вагона
2011	Сильное задымление на станции	Неосторожное обращение с огнем при курении
2012 (январь)	На перегоне остановлено движение на 2 часа из-за задымления в тоннеле	Возгорание кабеля
2012 (апрель)	В вагоне на станции произошло задымление	Возгорание кабеля под одним из вагонов
2013 (январь)	Искрение контактного рельса на станции	Падение праздничной мишуры на контактный рельс
2013 (май)	Задымление в тоннеле	Возгорание кабеля
2013 (июль)	Загорелся силовой кабель на перегоне, произошло задымление	Неисправность изоляции силового кабеля

Таблица 4

Причины аварийных (нештатных) ситуаций, связанных с нарушением целостности строящихся и эксплуатируемых конструкций метрополитена

Год	Аварийная (нештатная) ситуация	Причины
1983	При сооружении натяжной камеры станции, строящейся над действующими тоннелями метрополитена, в результате буровзрывных работ была повреждена обделка действующего тоннеля	Несоблюдение требований к производству БВР на участках вблизи действующих подземных сооружений
1986	При сооружении пересадочного узла, при проходке фурнели (вертикальная выработка) снизу вверх в кровле фурнели произошел вывал породы	Несоблюдение проекта крепления выработки (фурнели)
2002, 2006, 2011, 2014	При строительно-монтажных работах на земной поверхности (устройство свайных оснований) сваи пробили находящиеся под ними тоннели метрополитена	Нарушение правил производства работ в технических и охранных зонах метрополитена
2013	При строительстве перегонных тоннелей новой линии метрополитена на участке примыкания к камере съездов произошло разрушение участка построенных тоннелей и затопление этих участков	1. Недостаточная изученность инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительства и, соответственно, изъяны в проекте организации строительства. 2. Недостаточная квалификация строительной организации, которая раньше не строила тоннели метрополитена

Таблица 5

Причины аварийных ситуаций, связанные с крушением и столкновением поездов

Год	Аварийная ситуация	Причины
1979	Произошло крушение поезда в тоннеле перед выходом на метромост	Нарушение верхнего габарита положения порога спецсооружения над уровнем головок ходовых рельсов: вагон задел своим редуктором мощную конструкцию пути. Пять вагонов сошли с рельсов и тележек
1994	Произошло три столкновения поездов: 2 раза следующий поезд «догнал» предыдущий на перегоне; 1 раз следующий поезд «догнал» поезд, стоящий на станции	Отказ системы автоматики, телемеханики и связи
1996	При выезде из депо машинист уснул при управлении поездом. Неуправляемый состав пробил стену депо	Человеческий фактор

при этом должны строго соблюдаться правила техники безопасности и эксплуатации электроприборов и оборудования.

Здесь можно отметить, что причины пожаров при строительстве и эксплуатации метрополитенов одинаковы: изъяны в проектной документации в разделах «Электроснабжение» и «Пожарная безопасность».

Наряду с этими недостатками в проектной документации имеет место недостаточный контроль при монтаже и эксплуатации электрооборудования подвижного состава, станционных и тоннельных сооружений.

Из табл. 2 и 3 видно, что количество пожаров при строительстве тоннелей значительно меньше, чем за период их эксплуатации. Это объясняется тем, что строительство участков метро осуществляется в более короткие сроки, чем их эксплуатация. Так, если линия метрополитена строится от 3 до 5 лет, то эксплуатация этих линий осуществляется десятилетиями.

Рассмотрим нештатные ситуации, связанные с нарушением целостности строящихся и эксплуатируемых конструкций метрополитена. К этой категории относятся обвалы (вывалы) грунта в тоннель и нарушение (повреждение) обделки тоннелей.

Как видно из приведенных в табл. 4 примеров, аварии (нештатные ситуации) при строительстве тоннелей метрополитенов являются следствием недостаточной квалификации строителей, несоблюдением ими требований проекта, в котором, в свою очередь, были недостаточно проработаны мероприятия по недопущению аварийных ситуаций.

Приведенные выше случаи разрушения тоннелей сваями свидетельствуют о недостатках в работе организаций, обязанных осуществлять контроль над работами в охранных и технических зонах метрополитена. При этом особую категорию нештатных ситуаций составляют аварии, явившиеся следствием недостаточной изученности трассы тоннелей в процессе проектирования.

Сюда же, помимо случаев прорыва в тоннели воды и пльвунов, можно отнести и случаи проявления загазованности тоннельных выработок. В частности, в 1989 году при проходке фурнели в забое было обнаружено низкое содержание кислорода (причина — нарушение режима проветривания); при выполнении работ по искусственному замораживанию грунтов из-за нарушения инструкций по безопасности произошла утечка жидкого азота в трубопроводную траншею, где находились люди.

Особняком в этом перечне «стоят» аварии, связанные с крушением и столкновением поездов. Причиной этих аварий является нарушение инструкций по движению и эксплуатации подвижного состава (табл. 5).

Следует упомянуть и о технических сбоях, повлекших за собой серьезные последствия. Так, в 1982 и 2012 годах имели место случаи поломки эскалаторов. В обоих случаях пострадали люди. Причина: неисправность тормозной системы эскалаторных машин.

Серьезная авария произошла в 2005 году: авария городской энергосистемы привела к массовому отключению центров «Мосэнерго», подающих напряжение на линии метрополитена. В результате из работы были исключены 52 из 170 станций. Эта авария явилась следствием общего плохого состояния энергосистемы страны.

Ну и, наконец, о десяти терактах, произошедших в метрополитенах за последние годы.

Этот вид аварий (нештатных ситуаций) невозможно спрогнозировать, но, учитывая обстоятельства этих случаев, следует принять максимальные меры по их предотвращению. Последние по времени четыре теракта



произошли в 2010 году. Очевидно, руководство Москвы и Московского метрополитена сделало соответствующие выводы и приняло меры по их недопущению.

## Выводы

1. За последние десятилетия при строительстве Московского метрополитена наиболее значимые нештатные ситуации (аварии) произошли в 80-х годах прошлого столетия. За период 1990–2010 годов аварий при строительстве метрополитена не было, что возможно, объясняется тем, что в этот период метро в Москве почти не строилось.

С началом активизации строительства Московского метрополитена в 2011 году, когда были выделены значительные средства на развитие сети метрополитена, вновь начались нештатные ситуации, в том числе поломки механизированных щитовых комплексов, что резко снижает темпы строительства.

Самый заметный случай: упомянутая выше авария с затоплением участка построенных перегонных тоннелей, которая «отодвинула» намеченные сроки ввода в эксплуатацию новой линии.

2. При эксплуатации Московского метрополитена несомненными «лидерами» по количеству среди нештатных ситуаций за последние десятилетия являются пожары (задымления) и теракты.

Также следует обратить внимание на случаи столкновения поездов и крушения, которые произошли исключительно по причине недостатков в работе техники и эксплуатационного персонала.

Наконец, можно отметить участвовавшие случаи сбоев в движении поездов по техническим причинам.

Эти, казалось бы, «незначительные» случаи приводят, однако, к ситуациям «коллапса» среди пассажиров метрополитена.

3. Одной из причин возникновения нештатных ситуаций при строительстве и в ходе эксплуатации Московского метрополитена является «дефицит» специалистов-тоннельщиков и метростроителей, образовавшийся за последние 20 лет.

В большой степени все аварии и нештатные ситуации происходят из-за недостаточной квалификации проектировщиков и строителей метрополитена, в этой связи руководству города следует уделить внимание подготовке кадров подземщиков.



Кадр из фильма «Метро» (Россия, 2013 г.)

А.И. МЕНЕЙЛЮК,  
А.Ф. ПЕТРОВСКИЙ,  
А.А. БОРИСОВ,  
Одесская государственная  
академия строительства  
и архитектуры

# НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГНБ

*Как свидетельствует мировой опыт, сфера применения технологий горизонтально-направленного бурения (ГНБ) уже не ограничивается исключительно прокладкой инженерных коммуникаций. Диапазон использования бестраншейного оборудования постоянно расширяется и в настоящее время охватывает такие направления, как дегазация угольных пластов, мелиоративные работы, защита от оползней, сооружение дренажных систем и др.*

*As witnesses the world experience, the scope of horizontal directional drilling technology (HDD) is no longer limited to installation of underground utility lines. The range of use of trenchless equipment is constantly being expanding, and is currently focussing on a number of areas such as degasification of coal seams, reclamation works, protection measures from landslides, construction of drain systems, etc. The paper provides a brief survey of HDD new technological capabilities.*

Первый пример нестандартного применения ГНБ — дегазация угольных пластов. На рис. 1 представлена схема бурения, которую можно использовать для дегазации угля до начала горных работ. Два предназначенных для отработки пласта сначала дегазифицируются с помощью экспериментальной скважины, из которой затем в каждый из

пластов пробуриваются два боковых ствола. После этого проводится бурение еще одной вертикальной скважины, пересекающей боковые стволы. Из вертикальной скважины отводится вода и газ, а экспериментальная, в свою очередь, останавливается или оставляется. Данный опыт был успешно применен в США и Австралии.

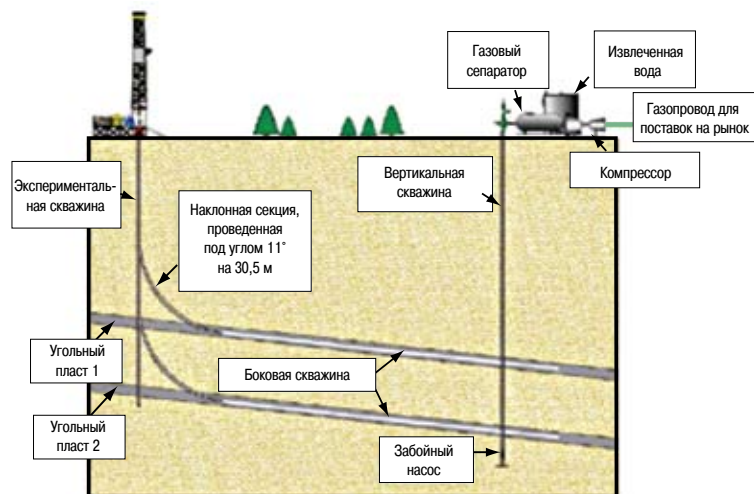


Рис. 1. Схема бурения для дегазации угля до начала горных работ

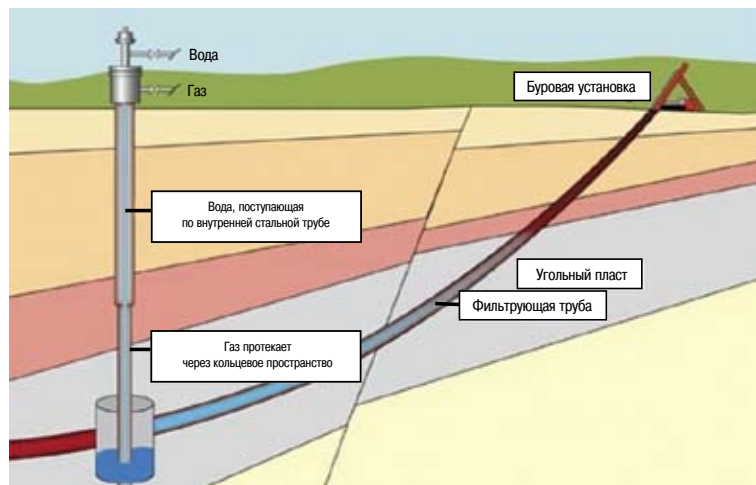


Рис. 2. Схема проведения работ по дегазации угольных пластов



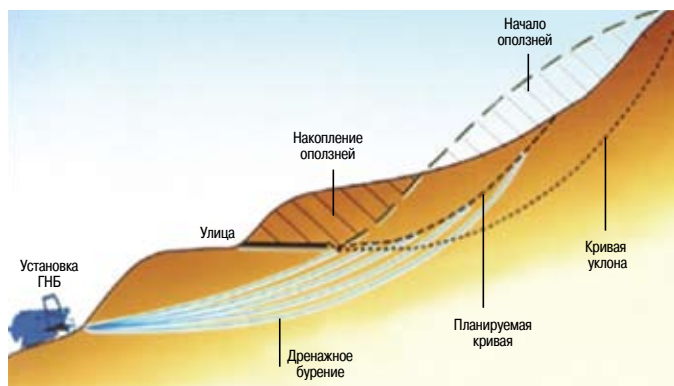


Рис. 3. Осушающее бурение под оползнем

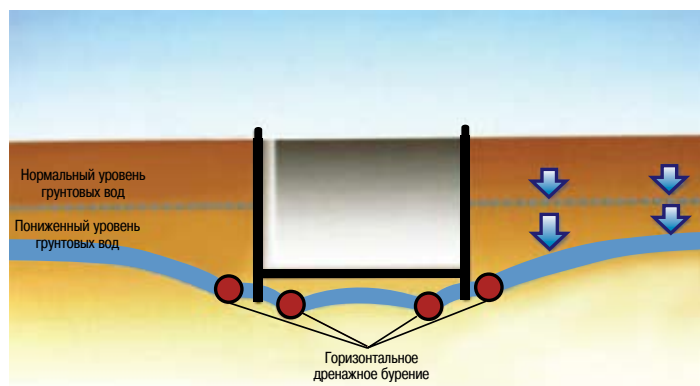


Рис. 4. Понижение уровня грунтовых вод в строительном котловане

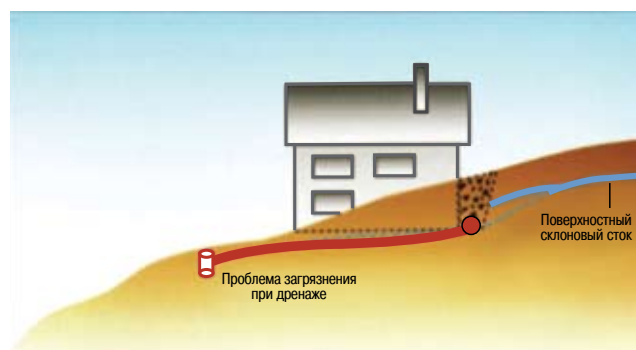


Рис. 5. Дополнительная прокладка систем для дренажа домов

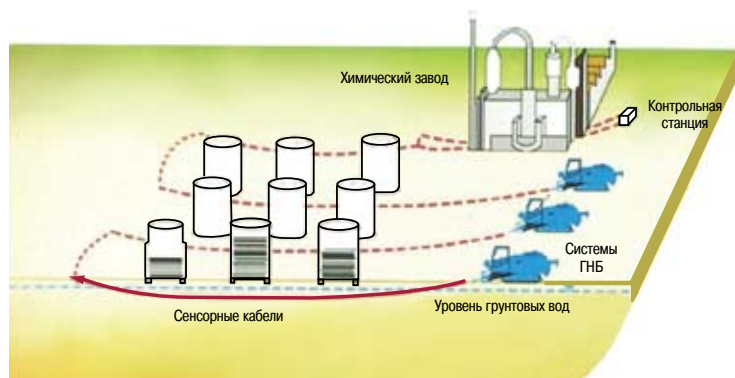


Рис. 6. Прокладка сенсорных линий для защиты от утечек

На рис. 2 представлена схема проведения работ по дегазации угольных пластов длиной до 1800 м и глубиной до 350 м. Для этого были разработаны две буровые установки типа PD-100/80 RPC 45 с максимальной силой тяги 100 тонн. Ранее созданные вертикальные скважины должны быть соединены с горизонтальными. Опыт Австралии, где проводились данные работы, показал, что такое бурение пласта с поверхности земли эффективнее бурения из подземных выработок.

Заслуживает внимания и такая область применения ГНБ, как мелиоративные работы. В некоторых странах с жарким климатом, для того чтобы избежать значительного испарения воды (до 40–45%) с поверхности мелиоративных каналов, оросительные трубопроводы прокладывают бестраншейным способом.

В мире также существует большое количество спортивных полей и площадок, где невозможно использование открытых установок для орошения. В таких случаях целесообразно применять специальные оросительные трубопроводы с капельными отверстиями и подводящие к спринклерной системе подземные трубопроводы, которые прокладывают при помощи оборудования для ГНБ.

Следующей областью применения бестраншейного метода является защита от оползней, предусматривающая их осушение (рис. 3). Особенностью данной технологии является то, что оползни могут осушаться при помощи скважин, пробуренных у подножия склона. Такой способ имеет ряд преимуществ. Во-первых, оползневые массы не подвергаются вибрационной нагрузке, от которой их извлекает прокол, проведенный ниже тела оползня.

Во-вторых, дренажный трубопровод может быть проложен таким образом, что фильтрационный отрезок внедряется в оползневые массы, при этом основной ввод фильтра находится в зоне, направляющей скольжение.

Следующая технология предполагает осуществление различных мероприятий, связанных с защитой от грунтовых вод, а также со строительством дренажных систем.

На рис. 4 показано горизонтальное дренажное бурение для понижения грунтовых вод в строительном котловане. Аналогичные работы можно производить и под другими земляными сооружениями, например траншеями.

Специалисты, занимающиеся эксплуатацией дренажных систем, нередко сталкиваются с проблемой их засорения, вызванной недоста-

точной промывкой. В таком случае под такими объектами (или рядом с ними) прокладываются новые дренажные системы (рис. 5).

Как показывает практика, эффективность эксплуатации автомобильных дорог значительно повышается с помощью современных систем управления движением транспортных средств. Из-за высокой загруженности таких магистралей и невозможности остановки движения целесообразно применение бестраншейной прокладки систем связи и сигнальных систем.

Следующей областью применения оборудования для ГНБ может быть прокладка сенсорных линий с различными датчиками (например, фиксирующими утечки воды или других жидкостей). Устройство таких систем особенно важно для крупных нефтехимических и металлургических предприятий, то есть тех, где в случае аварии возможна повышенная угроза загрязнения окружающей среды (рис. 6).

Крупные магистральные трубопроводы все чаще требуют прокладки (причем на весьма значительные расстояния) параллельного технологического кабеля для управления компрессорными станциями и станциями оповещения. Наиболее успешно подобные задачи реализуются в Европе при помощи технологии ГНБ.

П.П. ПЕРМЯКОВ, Г.Г. ПОПОВ,  
Институт физико-технических  
проблем Севера (ИФТПС) СО РАН  
(Якутск);  
Т.И. КОНСТАНТИНОВА,  
В.С. КАПИТОНОВА,  
Инженерно-технический институт  
Северо-Восточного федерально-  
го университета (ИТИ СВФУ);  
А.В. ПРОКОПЬЕВ,  
Технологический институт СВФУ  
(Якутск)

# МИКРОТОННЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛИЗАЦИОННОГО КОЛЛЕКТОРА В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

*Sewers collectors of Yakutsk are in alert condition and need of reconstruction. Reconstruction of the sewer in the permafrost was conducted by a method of microtunneling. High ice soils include an underground polygonal-wedge ice which were after of engineering development and were formed to the thermokarst voids. Microtunnelling needs to be conducted taking into account so-standing of underground ices.*



*Процессы прокладки и эксплуатации инженерных коммуникаций в условиях Крайнего Севера имеют свои специфические особенности, связанные с мерзлотно-климатическими и экономическими факторами. Сложную инженерную задачу представляет собой и прокладка канализационных сетей в районах вечномерзлых грунтов, в частности в Якутске, где системами водоотведения до сих пор обеспечены не все жилые районы, а существующие коллекторы находятся в аварийном состоянии.*



**С**толица Республики Саха (Якутия) расположена на левом берегу реки Лены в ее среднем течении, на I и II надпойменных террасах долины Туймаада. Расти и благоустраиваться город начал в XX веке. Численность населения к началу 2012 года достигла 304,5 тыс. человек, продолжая ежегодно увеличиваться.

Система канализации в Якутске формировалась в 1959–1968 годах, причем проект коллектора №1 был определен Госпланом РСФСР как «экспериментальный», со сроком действия не более 15 лет. Необходимость его замены назрела уже давно. С течением времени, вследствие износа, в тоннель коллектора в больших количествах стали попадать грунтовые, технические и фекальные воды, из-за аварий на насосных станциях он многократно затоплялся, что привело к растеплению грунтов и, как результат, к образованию пустот и разрушению участков дорог. В 1982 году произошел первый крупный провал, глубина которого достигала 8–11 м, а диаметр — 16 м. Во многом это произошло из-за отсутствия опыта строительства подобных объектов в условиях многолетней мерзлоты.

15 апреля 2010 года омское НПО «Мостовик» приступило к реконструкции канализационного коллектора №1 вдоль улицы Дзержинского на участке от площади Орджоникидзе до Главной насосной станции №1 (ГНС-1) на улице Федора Попова. Протяженность — 1040 м, глубина заложения — от 4,5 до 12,5 м (у насосной станции). Этому предшествовали подготовительные работы, которые велись в течение 3 лет.

Строительство коллектора, учитывая насыщенность трассы инженерными коммуникациями, велось бестраншейным способом прокладки с использованием тоннелепроходческого комплекса (ТПК) AVN-600 немецкой фирмы Herrenknecht, имеющего следующие технические особенности:

- рабочие органы ТПК приспособлены к разработке водонасыщенных грунтов;
- щит имеет закрытый забор;
- наличие уплотнения между железобетонной обделкой и хвостовой оболочкой щита.

Применяемая технология обеспечивает прокладку коллектора из предизолированной полиэтиленовой трубы, протаскиваемой в футляр Ду 800 мм, проложенный бестраншейным методом. Впервые в мире сооружение тоннеля велось методом микротоннелирования в условиях многолетней мерзлоты с применением стальных труб, рассчитанных на компенсацию максимальных нагрузок от давления грунта. В этом случае стыки труб остаются водонепроницаемыми даже при максимально возможном гидростатическом давлении. Канализационный коллектор №1 находится на I надпойменной террасе. Верхняя часть разреза грунта состоит из асфальта (0–10 см), щебня (10–30 см), аллювиального песка различной крупности до коренных пород (0,3–15 м), которые состоят из песчаника, известняка и др. Грунты долины Туймаада включают повторно-жильные льды, расположенные ниже глубины сезонного протаивания (до 5–7 м), шириной 0,2–0,6 м.

Температура грунта на подошве годовых колебаний — от  $-0,1$  до  $-3$  °С. При протаивании подземных льдов вокруг канализационного коллектора образуются



Рис. 1. Естественный вид повторно-жильных льдов

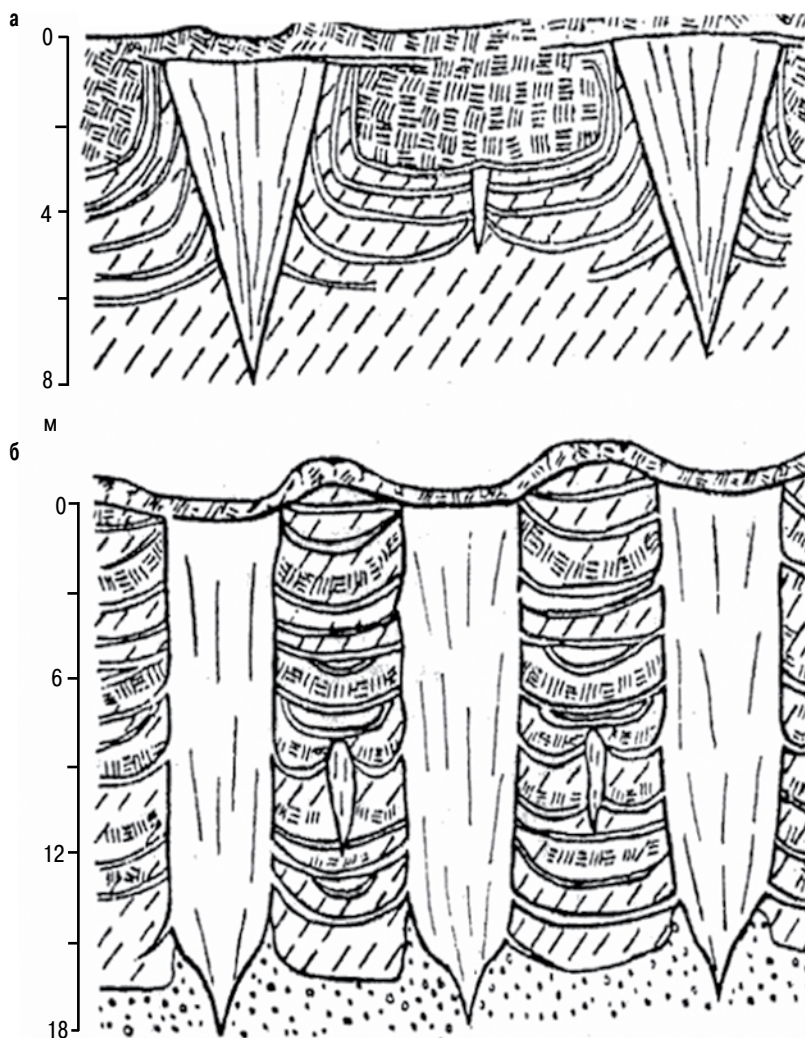


Рис. 2. Строение повторно-жильных льдов: а – эпигенетических; б – сингенетических

ся термокарстовые пустоты, что затрудняло процесс реконструкции. При прокладке методом микротоннелирования комплексом AVN 600 происходила просадка оборудования с потерей ориентации, из-за чего приостанавливался процесс дальнейшего бурения. В связи с этим пришлось уменьшить расстояние между стартовыми и приемными котлованами, что продлило срок строительства и увеличило стоимость объекта.



В данной ситуации определенный интерес представляет процесс образования подземных повторно-жильных льдов. Зимой при низких температурах происходит образование морозобойных трещин, в которые весной попадает талая снеговая вода, где она замерзает, образуя ледяные жилки. Их верхняя часть, расположенная в верхнем слое, летом оттаивает, а в подстилающих многолетнемерзлых породах эти жилки сохраняются. Это возможно при условии, когда глубина проникновения трещины больше глубины сезонного оттаивания пород. Из года в год морозобойное растрескивание повторяется на одном и том же месте, образующиеся трещины каждый раз вновь заполняются водой, которая затем замерзает. По вертикали их размеры составляют от 2 до 60 м, достигая порой 90 м. Так и формируются элементарные ледяные жилки, вложенные одна в другую, что и приводит к их росту в ширину (рис. 1, 2).

В плане эти льды образуют решетку, сеть и полигоны — квадраты (громатные многоугольники) со сторонами длиной 10–12 м (рис. 3).

Структура ледяной жилы отличается вертикальной полосчатостью, вертикально ориентированными пучками воздуха и включениями грунта, по которым и выделяют элементарные жилки. По их числу можно подсчитать, сколько лет «росла» (формировалась) ледяная жила. Как правило, этот период исчисляется тысячами лет. Ширина и вертикальные размеры ледяных жил тем больше, чем глубже проникают морозобойные трещины и чем дольше длится рост ледяной жилы. В соответствии с суровостью климата, чем дальше на север, тем быстрее растут ледяные жилы.

В состав работ по проходке тоннеля вошли следующие операции:

- подготовка элементов трубного става тоннеля к монтажу (подача стальной трубы длиной 6 м к месту монтажа, укладка в трубе необходимых коммуникаций);
- разъединение существующей цепи коммуникаций в котловане;

**Рис. 3. Поверхность грунта при наличии повторно-жильных льдов**

- монтаж элементов трубного става тоннеля (секций стальных труб длиной 6 м и коммуникаций);
- сварка секций стальных труб;
- наращивание коммуникаций в стартовом котловане (системы подачи бентонита и воды, магистраль гидротранспорта грунта, освещение, вентиляция, силовой кабель), контроль положения лазерного целеуказателя;
- проходка тоннеля (при одновременном продавливании трубного става) с транспортировкой грунта по транспортному трубопроводу;
- погрузка из отстойников разработанного грунта в самосвалы и транспортировка в отвал.

Последовательность и время выполнения операций были определены циклограммой, предусмотренной проектом производства работ. Напорные трубы Ду 630 мм из полиэтилена продавливались в стальной футляр канализации последовательно между стартовыми и приемными котлованами, секциями по 6 м.

Их монтаж осуществлялся в следующей циклической последовательности:

- монтаж первой секции полиэтиленовой трубы в стартовый котлован и установка в проектное положение на домкратную станцию;
- продавливание при помощи домкратной станции секции трубы;
- монтаж следующей секции полиэтиленовой трубы;
- стыковка и сварка секций полиэтиленовых труб;
- монтаж опорно-центрирующих колец (шаг установки опорно-центрирующих колец по длине рабочей трубы — 15 м);
- продавливание секций полиэтиленовых труб в заданном направлении по опорно-центрирующим кольцам;
- далее работы производились в аналогичной последовательности.

По окончании продавливания полиэтиленовой трубы в стальной футляр между стартовым и приемным котлованами было проведено испытание трубопровода на герметичность гидравлическим способом, согласно требованиям раздела 7 СНиП 3.05.04-85\*. Предусмотрены два режима работы нового канализационного коллектора — самотечный и напорный.

В результате техногенного воздействия, потепления климата и утечки сточных вод в настоящее время происходит нарушение тепловлажностного режима грунта вокруг старого канализационного коллектора. На основе данных инженерно-геологических изысканий, был осуществлен прогноз тепловлажностного режима грунтов вокруг коллектора при различных режимах эксплуатации. Например, вокруг коллектора, расположенного на глубине 9 м, в результате протаивания повторно-жильных льдов происходит образование талой зоны радиусом 3–4 м, что приводит к появлению термокарстовых пустот и осадков. В связи с этим новый объект был заложен вне зоны температурного влияния старого коллектора.

Опыт реконструкции канализационного коллектора в Якутске показал, что и в условиях многолетней мерзлоты можно успешно использовать методы бестраншейной технологии, но с обязательным учетом состояния подземных льдов.



# РОССИЙСКИЙ САММИТ «ДОРОГИ-МОСТЫ-ТУННЕЛИ»

28-29 августа 2014, Москва, Holiday Inn Suschevsky

## ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Транспортная инфраструктура РФ за последние годы получила значительный импульс для своего развития. В соответствии с Федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России (2012–2019 годы)», только на совершенствование дорожной составляющей страны планируется израсходовать 1,74 трлн. рублей.

За время реализации программы предполагается построить и реконструировать почти 8 тыс. км автодорог федерального значения, включая строительство 1,9 тыс. км платных автомагистралей и скоростных дорог в составе международных транспортных коридоров. На условиях софинансирования из федерального бюджета будут построены и реконструированы 10 тыс. км автодорог регионального и межмуниципального значения.

С ростом городского населения возникает необходимость модернизации и развития пассажирского транспорта в крупных городах. В соответствии с Перечнем объектов перспективного строительства Московского метрополитена за период 2014–2020 гг. будут построены 123 км линий и 57 новых станций метро.

Саммит «Дороги – Мосты – Туннели» соберет на своей площадке международные промышленные объединения, инвесторов, архитекторов, инженеров, конструкторов, консультантов, представителей органов правового регулирования и предприятий – поставщиков для двухдневного целенаправленного взаимодействия по ряду актуальных проблем дорожно-мостового комплекса.

## ВАЖНЕЙШИЕ ВОПРОСЫ, КОТОРЫЕ БУДУТ РАССМОТРЕНЫ НА САММИТЕ 2014:

- Состояние дорог, мостов, туннелей и дорожно-строительного сектора в России в 2014 г.;
- ГЧП и инвестиции;
- Правовые механизмы регулирования строительных проектов;
- Охрана и безопасность;
- Высокотехнологичное туннелирование;
- Оперативные задачи и экономичность;
- Системы сигнального управления;
- Управление проектами;

## ОТЗЫВЫ УЧАСТНИКОВ ПРЕДЫДУЩИХ САММИТОВ:

- *"Очень хорошие и интересные докладчики"* (Stanley Consultants).
- *"Отличная организация и обслуживание на месте от Noppen"* ( Mageba).
- *"Это очень интересно и познавательно услышать тех, кто может поделиться опытом в области строительства мостов и туннелей"* (КНМЕР консультант).
- *"Все было очень хорошо"* (KCEC Co, Ltd)

## ЭКСКЛЮЗИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ:

- Встречи квалифицированных лидеров отрасли;
- Создание новых партнерств и альянсов;
- Повышение узнаваемости бренда в рамках рынка;
- Открытие инвестиционного климата и новых возможностей;
- Развитие отношений с помощью новых сетевых возможностей;

## ORGANIZER:

CORRIDOR OF INSIGHTS  
**Lnoppen**

## ЗА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ ОБРАЩАЙТЕСЬ:

Dennis A. Bridgeforth  
Group Marketing Manager  
DennisB@noppen.com.cn  
+86 21 6085 1000



# ИНЖИНИРИНГОВАЯ КОМПАНИЯ МОСИНЖПРОЕКТ

Инженерное обеспечение  
инвестиционно-строительных проектов

Управляющая компания  
по строительству

**162 км путей** и  
**79 станций**  
московского метрополитена

Управляющая компания  
по строительству

**48 транспортно-  
пересадочных  
узлов** в системе  
московского метрополитена

Генеральный проектировщик  
реконструкции

**12 вылетных  
магистралей**  
Москвы

Управляющая компания  
реконструкции главной  
площадки чемпионата мира  
по футболу-2018 –

**стадиона  
«Лужники»**



Сверчков пер., д. 4/1, Москва, 101990,  
тел: (495) 225-19-40