



# ПОДЗЕМНЫЕ РИЗОНТЫ

*Underground Horizons*

Сентябрь

№24

2020

www.techninform-press.ru



С НАМИ СТРОИТЬ  
ЛЕГКО!



- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО**  
 подземных частей технически сложных  
 и уникальных объектов:  
 подземные автостоянки;  
 транспортные развязки;  
 гидротехнические сооружения
- ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНОВ**
- ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ**
- УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ**
- ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ**  
 на памятниках истории и архитектуры



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

ИЖЕВСК : (3412) 56-62-11	МОСКВА : (495) 643-78-54
КРАСНОДАР : (861) 240-90-82	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ : (812) 923-48-15
КРАСНОЯРСК : (391) 208-17-15	ТЮМЕНЬ : (3452) 74-49-75
КАЗАНЬ : (843) 296-66-61	УФА : (917) 378-07-48
РОСТОВ-НА-ДОНУ : (863) 311-36-36	ЧЕЛЯБИНСК : (351) 223-24-53



АО «НЬЮ ГРАУНД»  
[www.new-ground.ru](http://www.new-ground.ru)  
[info@new-ground.ru](mailto:info@new-ground.ru)



# СИСТЕМА ТИТАН

## АНКЕРА ТИТАН

применение в качестве буроинъекционной анкерной сваи в соответствии с ГОСТ Р 57342-2016 для крепления опорных стен, котлованов и причальных сооружений.



## НАГЕЛЯ ТИТАН

Применение в качестве грунтовых нагелей в соответствии с EN 14490 для крепления склонов и армирования нестабильных грунтовыми массами.



## СВАИ ТИТАН

применение в качестве буроинъекционных микросвай в соответствии с ГОСТ Р 57342-2016 для фундаментов зданий, инженерных сооружений и линейных объектов.



ООО «Ишебек Титан»  
г. Москва, тупик Магистральный 1-й,  
дом 5А, эт. 7, ком. 1  
тел.: 8(495)764-92-85  
[www.ischebeck.ru](http://www.ischebeck.ru)

ISCHEBECK®  
TITAN

Международная  
научно-практическая конференция

# DigTechIMC-2020

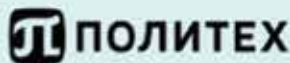
«Цифровые технологии и инновационные материалы  
в дорожном и мостовом строительстве.  
Направления развития»

## 24-25 сентября

Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого

# Будущее уже сегодня!

Организаторы



Политехническая 29, 195251, Санкт-Петербург, Россия,  
Большой конференц-зал Научно-исследовательского корпуса (НИК)

☎ 8 (800) 707 31 85

🌐 digtechimc.spbstu.ru

☎ 8 (904) 334 26 64

✉ digtechimc@spbstu.ru

## Журнал «ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ»

Официальный информационный партнер:

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

№24 сентябрь/2020

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

Учредитель **Регина Фомина**

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

Генеральный директор **Регина Фомина**

### РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор:

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

Выпускающий редактор:

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

Дизайнер, бильд-редактор

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

Руководитель отдела подписки

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

Ответственный секретарь

**Ирина Вишневецкая**

Корректор:

**Инна Спиридонова**

### ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

**В.Н. Александров**, Почетный гражданин Санкт-Петербурга

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

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

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

**В. А. Гарбер**, д.т.н., главный научный сотрудник НИЦ «Тоннели  
и метрополитены» АО «ЦНИИС»

**С.В. Кидяев**, первый вице-президент АО «Объединение «ИНГЕОКОМ»

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

**К. Н. Матвеев**, председатель правления Общероссийской общественной  
организации «Тоннельная ассоциация России» (ТАР), первый заместитель  
генерального директора АО «Мосинжпроект»

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

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

**А.Г. Шашкин**, генеральный директор ООО «ПИ «Геореконструкция», доктор  
геолого-минералогических наук, член президиума РОМГГиФ, член Совета по  
сохранению и развитию территорий исторического центра Санкт-Петербурга,  
координатор Санкт-Петербургской комиссии по основаниям, фундаментам и  
подземным сооружениям

Адрес редакции: 192283, ул. Купчинская, д.30, к.1, кв.34  
Тел.: (812) 905-94-36, +7-931-256-95-77, +7-921-973-76-44  
office@techinform-press.ru  
www.techinform-press.ru

Установочный тираж 8 тыс. экз. Цена свободная.

Подписано в печать: 7.09.2020. Заказ №

Отпечатано в «Премиум Пресс», г. Санкт-Петербург,

ул. Оптиков, д. 4

www.premium-press.ru

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Сертификаты и лицензии на рекламируемую продукцию

и услуги обеспечиваются рекламодателем. Любое использование

опубликованных материалов допускается только с разрешения редакции.

Информационное сотрудничество: Интернет-портал [undergroundexpert.info](http://undergroundexpert.info)

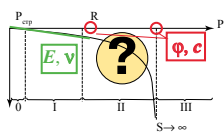
Подписку на журнал можно оформить по телефону

**+7 (931)-256-95-77** и на сайте [www.techinform-press.ru](http://www.techinform-press.ru)



## Содержание

### ИССЛЕДОВАНИЯ



СТР. 4–8

- 4 *А. Ю. Мирный.*  
Применение численных методов для обеспечения безопасности геотехнического проектирования



СТР. 9–11

- 9 *В. А. Гарбер.*  
О нормировании временных крепей тоннелей и метрополитенов



СТР. 12–14

### МЕТРОПОЛИТЕНЫ

- 12 Николай Шумаков:  
«Лично я больше всего люблю работать с горбылем»
- 16 *Т. В. Чистякова.* Решения китайских архитекторов для Московского метро
- 20 Владимир Марков о петербургских технологиях, востребованных в Москве



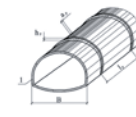
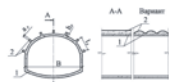
СТР. 16–19



СТР. 20–21



СТР. 22–25



СТР. 26–28

### ТОННЕЛИ

- 22 Лев Маковский о дорожных тоннелях в стране и мире
- 26 *Л. В. Маковский, В. В. Кравченко.*  
Рациональные конструкции обделок с наружными ребрами жесткости



СТР. 30–35

### СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

- 30 *О. А. Маковецкий, Д. К. Серебрянникова.*  
Перспективы и технологии развития подземного пространства мегаполисов (АО «Нью Граунд»)
- 36 Особенности подземного строительства в историческом центре Петербурга



СТР. 36–37



II ФОРУМ И ВЫСТАВКА

# ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В РОССИИ

## МОСТЫ И ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

**2-3 НОЯБРЯ 2020**  
МОСКВА, AZIMUT

[innodor.ru](http://innodor.ru)

8 495 766 51 65

[office@jcomm.ru](mailto:office@jcomm.ru)

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

При поддержке

Генеральные информационные партнёры

Организатор



# ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А. Ю. МИРНЫЙ

к. т. н., старший научный сотрудник геологического факультета  
МГУ им. М. В. Ломоносова

*В СТАТЬЕ ПРИВОДИТСЯ СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДОВ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, РЕАЛИЗОВАННЫХ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ И В EN 1997 «ЕВРОКОД». ПУБЛИКАЦИЯ ОСНОВАНА НА МАТЕРИАЛАХ, НАКОПЛЕННЫХ АВТОРОМ В ХОДЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ, А ТАКЖЕ НА АНАЛИЗЕ ПРИНЦИПОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЕКТА.*

Показано, что в отечественной практике проектирования постоянно используются четыре коэффициента надежности, в отличие от зарубежной системы, где количество коэффициентов определяется выбранным «подходом к проектированию» (Design Approach). Обосновано, что использование численных методов не отменяет требований к обеспечению безопасности в рамках принятого в РФ метода предельных состояний, однако требует дополнительного нормативного обоснования выбора параметров, их статистической обработки и последующего расчета предельных состояний.

## МЕТОД ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Система строительного проектирования, принятая в любой стране, в качестве основной цели ставит обеспечение безопасности проекта на этапе его реализации и в период расчетного срока эксплуатации. В ходе развития инженерной мысли методы обеспечения безопасности постоянно эволюционировали.

Примитивный метод допустимых напряжений был вполне достаточен для расчетов единичных конструк-

ций, однако уже не мог дать ответа на вопрос о поведении комбинации различных конструкций — всего сооружения. Дополнительно требовалось учитывать риски, связанные с назначением сооружения, возможными социокультурными последствиями аварии. Все это привело к разработке в нашей стране под руководством Н. С. Стрелецкого метода, известного как метод предельных состояний.

Данный метод позволяет вести проектирование с учетом возможных отклонений расчетных параметров от их ожидаемых значений и, фактически, представляет собой систему управления рисками. Изначально разработанный для применения в проектировании металлоконструкций, в дальнейшем он распространился на все области строительного проектирования, включая геотехническое. Это объясняется возможностью удобной оптимизации метода под конкретные задачи: путем выбора индивидуальных значений частных коэффициентов надежности для различных материалов, конструкций и воздействий можно не только обеспечить надежность и безопасность эксплуатации, но и снизить экономические затраты.

Основная сущность метода заключается в вероятностном подходе к обеспечению безопасности. На основании

математической статистики производится вычисление среднего, нормативного и расчетного значений действующего фактора  $S$  (например, некоторой нагрузки на конструкцию). Далее, с использованием принятой теории определения результатов воздействий, вычисляется возникающее в конструкции усилие. С другой стороны, производится вычисление нормативного и расчетного предельного фактора  $R$ , то есть сопротивления воздействию — с учетом возможных отклонений свойств материалов и размеров сечений. Сопоставление двух полученных расчетных значений ( $S \leq R$ ) и дает условие обеспечения надежности с заданным уровнем обеспеченности.

Если рассматривать применение метода к геотехническим расчетам, то для расчетов первого и второго предельного состояний используются значения параметров с разной обеспеченностью (чаще всего 0,85 для второго и 0,95 для первого, но допускаются отклонения). Таким образом, обеспечивается различный запас надежности для различных предельных состояний. При этом для расчета деформаций оснований с заданным уровнем обеспеченности принимаются только значения параметров прочности ( $\varphi$ ,  $c$ ,  $c_v$ ,  $R_c$ ), а расчетные значения параметров деформируемости (например, модуля деформации) принимаются равными нормативным (средним) значениям.

В Российской Федерации метод проектирования закреплен в таких нормативных документах, как ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований», СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» и СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».

## ЧЕТЫРЕ МЕТОДА ЕВРОКОДА

Система нормативных документов «Еврокод» (Eurocode) и, в частности, EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical design также начала внедрять применение метода предельных состояний, но в ней он не является единственным возможным. Вместо одного расчетного метода проектировщику предоставляется выбор между четырьмя:

- с использованием расчета (проектирование по методу предельных состояний);
- с применением «предписанных» значений (типовые конструкции);
- с применением экспериментальных моделей (опытных конструкций);
- с применением метода наблюдений (постоянный мониторинг).

Прежде, чем продолжить разговор о методе предельных состояний, следует коротко остановиться на аль-

тернативных методах. Проектирование по назначенным значениям может применяться, когда сравнительный опыт делает расчет необязательным, то есть в данных грунтовых условиях для данного типа конструкций накоплен такой опыт проектирования, что повторный расчет не приведет к принципиально отличающемуся результату. Очевидно, что данный метод допустим только для наименее ответственных и сложных сооружений.

В случае, если геотехническое поведение трудно-предсказуемо, может быть применен так называемый «метод наблюдений», в котором за проектом ведется наблюдение в процессе возведения. Действительно, многофакторность геотехнических задач часто не позволяет выполнить расчет до начала работ. В таких случаях целесообразнее предварительно установить допустимые пределы изменения параметров объекта и разработать программу мониторинга, а уже в ходе возведения объекта корректировать проектные решения на основании прямых наблюдений за поведением конструкции. Данный метод применяется для особо сложных сооружений, таких как тоннели или высотные здания, и в настоящее время постепенно приобретает нормативное обоснование и в Российской Федерации.

Третий альтернативный метод предполагает использование результатов испытаний конструкций нагрузкой или модельных испытаний. В данном случае обязателен учет масштабных эффектов, как физических, так и временных. В некотором смысле такой метод тоже применяется в нашей стране, например, при продувке макетов сооружений в аэродинамической трубе для оценки ветровой нагрузки или в грунтовых лотках для моделирования взаимодействия фундамента с основанием. Тем не менее, служить единственным обоснованием проектного решения подобный эксперимент не может.

В реализации метода предельных состояний в Еврокоде есть несколько принципиальных отличий от привычной для отечественного проектировщика системы. Первое из них заключается в выборе нормативных значений параметров. Согласно ГОСТ 27751-2014, п. 7.7, в качестве нормативных значений параметров материалов и грунтов принимаются значения, равные их математическим ожиданиям по результатам обработки серии испытаний. ГОСТ 20522-2012, определяющий правила статистической обработки, в п. 4.7 указывает, что нормативные значения равняются осредненным частным значениям. В случае нормального распределения, обычно принимаемого при испытаниях (хотя с этим тоже можно спорить), величины среднего арифметического и математического ожидания совпадают.

В системе «Еврокод» само понятие нормативного значения параметра уже включает в себя некоторую стати-

стическую обработку. Для конструкционных материалов, таких как сталь и бетон, в качестве нормативного значения принимается 5% квантиль, то есть 95% результатов испытаний окажутся выше данного значения. Для грунтов, где не всегда применимо нормальное распределение, рекомендуется экспертная оценка значений параметров на основании не только прямых испытаний, но и накопленного опыта и архивных данных. Таким образом, даже использование нормативных значений в качестве расчетных (как это делается в РФ при расчете осадок) уже содержит в себе запас надежности.

Второе, значительно более существенное отличие заключается в способе применения частных коэффициентов. В отечественной системе нормативных документов во всех случаях, независимо от конструкции и материала, применяются частные коэффициенты четырех категорий:

- коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma_u$  учитывают возможные отклонения действующих нагрузок от расчетных значений в течение срока эксплуатации; для второй группы предельных состояний они принимаются равными единице, в остальных случаях указываются для различных видов нагрузок исходя из их статистической изменчивости;

- коэффициенты надежности по материалу  $\gamma_m$  учитывают возможные отклонения параметров свойств материалов от определенных в испытаниях; рассчитываются на основании коэффициентов вариации в серии испытаний образцов-близнецов;

- коэффициенты условий работы  $\gamma_w$ , учитывающие отличия расчетной схемы от фактической конструкции и несовершенство методов расчета;

- коэффициенты надежности по ответственности сооружений  $\gamma_r$ , учитывающие класс сооружения.

В Еврокоде при расчете первой группы предельных состояний проектировщику предоставляется на выбор три различных способа введения частных коэффициентов. На

практике выбор обычно определяется в Национальном приложении каждой страны, принявшей систему «Еврокод».

В зависимости от накопленного регионального опыта каждая страна, принимающая в качестве основы Еврокод, может выбрать свои значения коэффициентов надежности для каждого подхода к проектированию (DA), и таким образом упростить использование системы стандартов.

## О ПРОБЛЕМАХ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ

Аналитические методы расчета, регламентированные нормативными документами, предполагают, что первое предельное состояние проверяется на основании теории предельного равновесия с использованием исключительно параметров прочности (сопротивления сдвигу). Второе предельное состояние, эксплуатационная пригодность, проверяется расчетом деформаций основания исходя из параметров деформируемости. Но параметры прочности также используются, для определения предела применимости методов расчета осадок – предела условно-линейного деформирования. Однако, так как превышение этой границы (расчетного сопротивления) далеко не всегда ведет к моментальной аварийной ситуации, в этом случае применяется меньший уровень обеспеченности.

Данный подход вполне соответствовал требованиям к обеспечению безопасности до недавнего времени, когда в практике геотехнического проектирования закрепились численные методы. Математическое моделирование дало возможность учитывать нелинейную работу грунтов оснований, преобладание пластических деформаций, упрочнение и разупрочнение, в результате чего граница между первым и вторым предельным состоянием начала размываться.

Таблица 1.

**Принципы применения частных коэффициентов в системе «Еврокод»**

Подход к проектированию (Design Approach)			
DA 1		DA 2	DA 3
Сочетание 1	Сочетание 2		
Воздействия	Свойства материала	Воздействия, их результаты и сопротивления	Усилия в конструкциях и свойства материалов
<b>A1 + M1 + R1</b>	<u>A2</u> + M2 + R1	<b>A1 + M1 + R2</b>	<b>A1/A2 + M2 + R3</b>
<p>Жирным шрифтом выделены основные коэффициенты, их значения <math>\gg 1,0</math>.                      Подчеркнуты второстепенные коэффициенты, их значения <math>&gt; 1,0</math>.                      A1–A2 = воздействия; M1–M2 = свойства материалов; R1–R3 = сопротивления</p>			



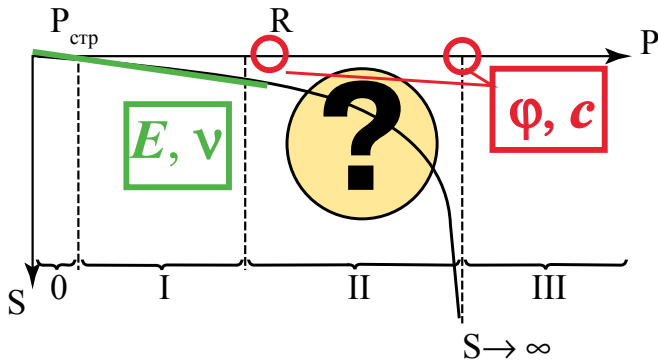


Рис. 1. Области применения параметров жесткости и прочности в расчете осадки основания

Логика специалистов в области моделирования довольно проста. Современные механические модели, реализованные в численных расчетных комплексах, способны выполнять расчет нелинейного деформирования с учетом пластических деформаций вплоть до предела текучести. Это означает, что оба предельных состояния перекрываются одним расчетом. Следовательно, нет необходимости использовать два различных набора параметров с различным уровнем обеспеченности — достаточно задать нормативные (средние) значения и получить результат.

Очевидно, что такой подход нарушает основной принцип метода предельных состояний — управление рисками должно осуществляться на основании вероятностного подхода для различных возможных исходов. Это означает, что даже при условии использования теории, позволяющей проводить расчет осадок вплоть до разрушения, нельзя использовать для расчета параметры с одинаковой обеспеченностью.

Можно привести простой пример. Допустим, в некотором программном комплексе выполняется расчет ограждения котлована. Свойства материала — грунта основания — вводятся в модель из сводной таблицы механических свойств по данным инженерно-геологических изысканий. Выполняется два последовательных расчета, в первом определяется общая устойчивость сооружения, во втором — фактические усилия в конструкциях и перемещения ограждения и основания.

В абсолютном большинстве случаев в обоих расчетах будет использован один набор параметров, лишь некоторые программные комплексы предлагают пользователю применить для второго расчета другой частный коэффициент. В результате общая устойчивость будет обеспечена при условии обеспеченности параметров прочности 0,85, а не 0,95, что вполне может привести к аварии. Конечно, не каждый оператор расчетного комплекса совершит такую ошибку. Но при недостатке опыта, понимания

принципов метода предельных состояний, в условиях сжатых сроков подобная ошибка вполне возможна.

Использование многопараметрических упругопластических моделей еще более усложняет ситуацию, так как параметры жесткости и прочности связаны между собой. Например, популярная в последнее десятилетия группа моделей с гиперболическим деформированием использует для описания сдвиговой жесткости гиперболическую функцию. Закон деформирования определяется тремя параметрами: секущим модулем деформации  $E_{50}$ , расчетным пределом прочности  $q_f$  и коэффициентом  $R_f$ . Расчетный предел прочности определяется на основании закона Мора-Кулона:

$$q_f = (c \operatorname{ctg} \varphi + \sigma'_3) \cdot \frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

С использованием коэффициента  $R_f$  определяется асимптотическое значение девиатора, к которому стремится кривая деформирования для бесконечно прочного материала:

$$q_a = \frac{q_f}{R_f}$$

Искомый параметр жесткости — секущий модуль  $E_{50}$  — определяется в точке 50% прочности, рассчитанной на основании значения  $q_f$ :

$$E_{50} = \frac{q_f}{2\varepsilon_{1,50}}$$

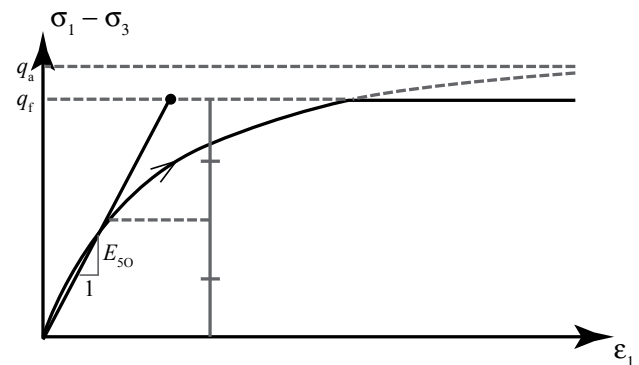


Рис. 2. Параметры гиперболической кривой деформирования

Из вышесказанного следует, что параметр жесткости данной модели не может быть определен до тех пор, пока не известны расчетные значения параметров прочности, так как именно величина  $q_f$  ограничивает область деформирования и указывает на разрушение. Соответственно, модуль  $E_{50}$  определяется только после обработ-

Таблица 2.

Порядок выполнения оптимизации параметров для многопараметрических моделей

Частные значения параметра (единичные определения)	О П Т И М И З А Ц И Я	Частные оптимизированные значения параметра (единичные определения)	Статистическая обработка	Нормативное значение	Коэффициент надежности	Расчетное значение
$E_1, E_2, \dots, E_i$		$E_1, E_2, \dots, E_i$	Вычисление среднего значения	$E_n$	$\gamma_g (= 1)$	$E$
$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i$ $c_1, c_2, \dots, c_i$		$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i$ $c_1, c_2, \dots, c_i$	Построение линии наилучшего приближения	$\varphi_n$ $c_n$	$\gamma_g < 1$	$\varphi$ $c$

ки совокупности всех частных опытов, причем диапазон определения для каждого повторения опыта окажется одинаковым, независимо от фактического разрушения отдельного образца. Очевидно также, что изменение параметров прочности приведет к изменению диапазона определения модуля деформации  $E_{50}$  — значения будут разными для разных уровней обеспеченности параметров прочности.

Для упрощения работы с многопараметрическими моделями разработчики численных комплексов начали внедрять модули оптимизации, позволяющие определять параметры путем загрузки частных экспериментальных кривых. При этом допускается загрузка сразу нескольких кривых — в ходе оптимизации программа подбирает комплект параметров, наилучшим образом описывающий всю выборку. Но использование такого комплекта в расчете недопустимо — ведь это средние (нормативные) параметры! По полученным единичным значениям невозможно определить коэффициент вариации, а следовательно, и рассчитать коэффициент надежности по материалу.

Вместо этого следует выполнять оптимизацию для каждой частной кривой. На основании данной процедуры определяются частные значения параметров модели. Далее уже эти значения подвергаются статистической обработке, вычисляется коэффициент вариации, частный коэффициент надежности по материалу и расчетные значения параметров.

Отметим, что нормативные технические документы требуют, чтобы расчетные параметры грунтов определялись исключительно в ходе инженерно-геологических изысканий. Это означает, что всю ответственность за их значения принимает на себя инженер-геолог, а изменение их значений относительно указанных в отчете об инженерно-геологических изысканиях недопустимо. В связи с этим и процедура оптимизации с юридической точки зрения должна выполняться изыскательской ор-

ганизацией, а не в ходе проектирования. На практике такой принцип сейчас изредка реализуется следующим образом: изыскательская организация в рабочем порядке передает результаты испытаний обладателю расчетного комплекса (проектной организации или стороннему специалисту), там выполняется оптимизация параметров, и в отчете указываются уже оптимизированные значения с учетом статистической обработки. Безусловно, такое взаимодействие требует постоянного диалога между изыскателем и проектировщиком на всех этапах работ.

К сожалению, численное моделирование — это только инженерный калькулятор, результат расчета в котором зависит от исходных данных. Многие организации, выполняющие такие расчеты, неосознанно пренебрегают необходимостью обеспечить безопасность эксплуатации на протяжении всего срока службы. В свою очередь слепая вера в численное моделирование как в решение всех проблем проектировщика приводит к тому, что некорректные расчеты становятся основанием проектных решений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Вместо эволюционного внедрения численных методов в систему нормативных документов наблюдается революционное: современные методы идеализируются, а «ручное» проектирование на основе метода предельных состояний вызывает пренебрежение, как архаизм. Между тем метод предельных состояний — это больше чем способ определить оптимальное сечение конструкции или размер фундамента. Это система управления рисками, которая вполне может применяться с любыми методами расчета, включая численное моделирование. Для достижения данных целей требуется только перестать игнорировать широкое применение численных методов при разработке и актуализации нормативных документов. ■**

# О НОРМИРОВАНИИ ВРЕМЕННЫХ КРЕПЕЙ ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ

В. А. ГАРБЕР,

Д. Т. Н.

(НИЦ «Тоннели и метрополитены» АО «ЦНИИС»)

**ВРЕМЕННОЕ КРЕПЛЕНИЕ ЯВЛЯЕТСЯ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ КОМПОНЕНТОЙ ПРИ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ ЗАКРЫТЫМ СПОСОБОМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДО ВОЗВЕДЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ОБДЕЛКИ. ПРИ ЭТОМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОДОЛЖАЮТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ВЫПУЩЕННЫЕ В 1990 ГОДУ ВСН 126-90. ОНИ СУЩЕСТВЕННО УСТАРЕЛИ, ПОСКОЛЬКУ ПОЯВИЛИСЬ БОЛЕЕ СОВЕРШЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КОНСТРУКЦИИ И ОБОРУДОВАНИЕ.**

## ВВЕДЕНИЕ

Помимо указанных ВСН 126-90 «Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ» Минтрансстроя СССР, до 1992 года были выпущены следующие документы, регламентирующие устройство временной крепи:

- ВСН 126-78 «Инструкция по применению анкеров и набрызг-бетона в качестве временной крепи выработок транспортных тоннелей» (1978);

- «Временное руководство по применению анкеров на пластах для крепления выработок транспортных тоннелей» (1979);

- «Методические рекомендации по расчету временной крепи тоннельных выработок» (1984);

- «Рекомендации по проектированию и строительству тоннелей с применением арочно-бетонной крепи, учитываемой в составе постоянной обделки» (1992).

В данной работе обосновывается необходимость разработки современного нормативного документа по использованию временных крепей при сооружении тоннелей и метрополитенов.

Выпущенный в 2015 году СТО НОСТРОЙ 2.27.128-2013 недостаточно подобно и систематизировано осветил

проблему использования анкерного крепления в строительстве. Кроме того, в документ включены ссылки на устаревший ВСН 126-90.

Предлагаемая вашему вниманию публикация, не претендуя на научную уникальность, содержит в концентрированной форме всю актуальную информацию о технологиях, конструкциях и механизации работ по устройству временных крепей при строительстве тоннелей и метрополитенов закрытым способом.

## НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ: ПОСЛЕ ВСН 126-90

Одной из причин необходимости современного нормативного документа является то, что за прошедшие после принятия ВСН-126-90 30 лет в практике строительства тоннелей и метрополитенов появились новые способы производства работ, виды временных крепей и типы анкеров.

Несомненно, самым значительным явлением в этой сфере явилась разработка и внедрение во всем мире Ново-Австрийского горного способа строительства, когда проходка осуществляется с использованием буровзрывных работ (БВР) или комбайном избирательного действия.

Таблица 1.  
Ориентировочные рекомендации по выбору крепи

Вид крепи	Категория грунта по устойчивости				
	I	II	III	IV	V
Отдельные анкеры и набрызг- бетон местами					
Анкеры с сеткой					
Арочная					
Набрызг-бетон как самостоятельная крепь					
Набрызг-бетон с анкерами					
Набрызг-бетон с арками					
Арочная с анкерами и сеткой					
Арочная со сплошной затяжкой					

«Принципиальное отличие этого способа работ заключается в максимальном использовании несущей способности окружающего массива пород и вовлечение его в работу в качестве защитной конструкции, предотвращающей тоннель от обрушения. Для этого приконтурный слой породы закрепляют временной крепью из анкеров, набрызг-бетона или податливой арочной крепью. Эта крепь превращает приконтурный слой в грузонесущую конструкцию, воспринимающую значительную часть внешней нагрузки. Остальная часть нагрузки передается на постоянную обделку, материалоемкость которой значительно ниже, чем при других способах», — отмечается в публикации «Проходка туннелей в слабых породах новоавстрийским способом» (Students-library.com. 2019).

Обязательное условие применения Ново-Австрийского способа — измерение в течение всего периода строительства тоннеля деформаций, перемещений и напряжений как в обделке, так и в породе.

В указанный выше 30-летний период были разработаны и получили широкое внедрение следующие новые виды временной крепи:

- экраны из труб;
- опережающая бетонная крепь (ОБК);
- стабилизированный грунт (опережающая крепь);
- опережающая забойная крепь (фибергласовые нагели);
- арочно-бетонная крепь, учитываемая в составе постоянной обделки.

Эти виды временной крепи не могли быть отражены в ВСН 126-90.

Также разработаны и внедрены в практику строительства новые типы анкеров:

- канатные анкеры (стальные тросы и анкеры фрикционного закрепления);
- анкеры системы «свелекс» (стальная трубка, свернутая по оси для получения меньшего диаметра, и запа-

янная по концам; через боковое отверстие подается под давлением вода, и происходит развальцовывание анкера в шпуре).

Все эти новшества необходимо отразить в обновленном нормативном документе.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ТИПА ВРЕМЕННОЙ КРЕПИ

Выбор вида временной крепи для различных условий проходки следует производить в два этапа: на первом, предварительном, ориентировочно выбирают виды крепи, возможные при данной степени устойчивости горных пород, на втором — по совокупности инженерно-технических факторов уточняют номенклатуру конкурирующих конструкций крепи.

Основным горно-техническим фактором, определяющим выбор конструкции и технологии временного крепления, считается устойчивость горного массива, окружающего тоннельную выработку.

Это свойство горных пород сохранять форму и размеры обнажений, образуемых при проходке. Возможны три формы потери устойчивости: вывалообразование, разрушение в зонах концентрации напряжений и чрезмерные смещения поверхности выработки вследствие пластических деформаций.

Порядок определения степени устойчивости горных пород приведен в разделе 4 данной работы.

Ориентировочный выбор крепи производят по табл. 1, в которой цветом отмечены виды крепи, возможные для применения в данных условиях.

Определение в конкретных условиях конкурентоспособных видов временной крепи производится по табл. 2. Выбор оптимального варианта должен осуществляться на основе технико-экономического сравнения.

Таблица 2.

Определение видов временной крепи в конкретных условиях (зеленым цветом отмечены предпочтительные виды, серым — допустимые, в зависимости от крепости, трещиноватости, обводненности и выветриваемости горных пород)

Вид крепи		Характеристика грунта															
		Коэффициент крепости $f$					Относительный коэффициент трещиноватости $n$					Обводненность $k_w$		Заполнение трещин $k_a$		Выветриваемость	
		10	8–10	5–8	3–5	3	60	60–25	25–12	12–6	6	1–0.8	0.5	5	5	нет	да
Без крепи																	
Отдельные анкеры или набрызг-бетонные места																	
Набрызг-бетон	Самостоятельная крепь																
	С анкерами																
	С арками																
Анкеры	Точечные																
	Распределенные																
	С подхватами																
Арки	Без затяжки																
	С затяжкой																
	С анкерами																
Сетка																	

С целью оптимизации процесса из всех параметров крепи, обеспечивающих устойчивое состояние выработки, следует выбрать такое их сочетание, при котором себестоимость и трудозатраты являются минимальными.

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АНКЕРОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Известны 11 типов анкеров, охватывающих практически весь спектр горно-геологических условий (кроме зоны вечной мерзлоты), в которых сооружаются транспортные тоннели и метрополитены.

Для слабоустойчивых горных пород возможно применение следующих типов анкеров:

- анкеры на пластрах;
- корневые сталеполимерные анкеры;
- армирующие фиброгласовые элементы для закрепления неустойчивого массива перед забоем тоннеля;
- цельномонолитные анкеры типа «Перфо»;
- плунжерные анкеры корневого типа;
- нагнетаемые корневые многорядовые анкеры (преднапрягаемые);

- канатные анкеры.
- Для устойчивых горных пород:
- клинощелевые анкеры;
  - предварительно напряженные анкеры (ПНА);
  - набивные железобетонные анкеры;
  - распорные анкеры (СКШ).

Для широкого спектра горных пород:

- набивные железобетонные анкеры;
- канатные анкеры;
- трубчатые анкеры системы «Свеллекс».

При сооружении тоннелей Ново-Австрийским методом (НАТМ) применяются:

- трубчатые анкеры системы «Свеллекс»;
- омоноличиваемые преднапряженные анкеры;
- фиброгласовые анкеры;
- канатные анкеры;
- клинощелевые анкеры.

В технической литературе также описаны другие различные типы анкерных изделий для строительной отрасли, которые, однако, в горном деле не применяются.

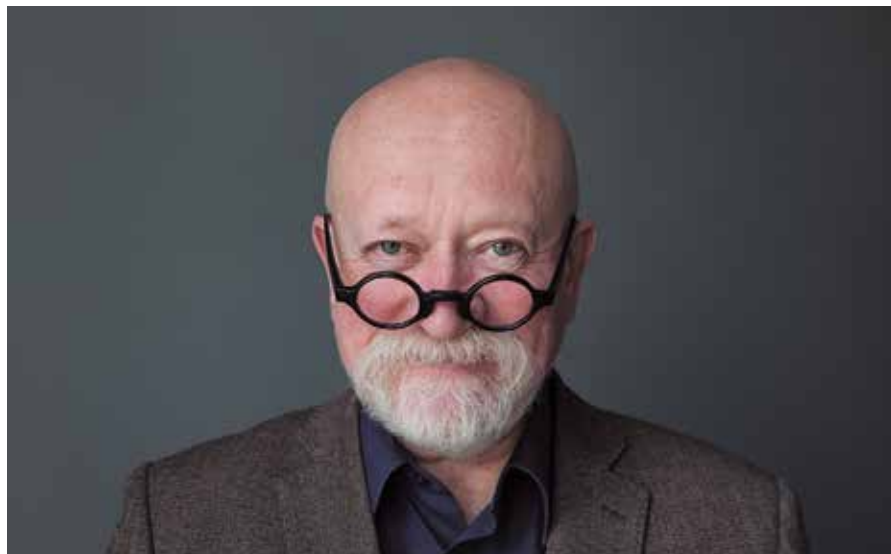
(Продолжение следует...)

# НИКОЛАЙ ШУМАКОВ:

## «ЛИЧНО Я БОЛЬШЕ ВСЕГО ЛЮБЛЮ РАБОТАТЬ С ГОРБЫЛЕМ»

Беседовала Наталья АЛХИМОВА

ПОД РУКОВОДСТВОМ НИКОЛАЯ ШУМАКОВА ИДЕТ РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ АРХИТЕКТУРЫ СТАНЦИЙ ПОДЗЕМКИ И ИНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ, В КОТОРЫХ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ РАЗЛИЧНЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ И ТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ЭТОЙ ОБЛАСТИ И СТАЛИ ОСНОВНОЙ ТЕМОЙ НАШЕЙ БЕСЕДЫ.



### ВИЗИТКА СОБЕСЕДНИКА

Николай Шумаков — главный архитектор АО «Метрогипротранс». Заслуженный архитектор РФ, академик Российской академии художеств, академик Международной академии архитектуры, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, член союзов архитекторов и художников. Президент Союза московских архитекторов, президент Союза архитекторов России, член совета при Президенте РФ по культуре и искусству, член Архитектурного и Художественного советов Москвы, член Общественного и Архитектурного советов Московской области, профессор МАРХИ. Автор проектов более 20 станций Московского метрополитена, монорельсовой транспортной системы в Москве и первого в Москве вантового моста (Живописный мост), аэровокзального комплекса (аэропорт «Внуково») и Западного речного порта (Москва), строящихся линий Омского и Челябинского метрополитена и др.

— Николай Иванович, в Вашем послужном списке — разработка более 40 станций метро в Москве, Челябинске и Омске. Существуют ли какие-то типовые архитектурные решения именно для объектов подземного пространства, или в каждом конкретном случае это индивидуальная творческая задача архитектора?

— Правила, связанные с архитектурными решениями станций метрополитена, сложились 85 лет назад, когда начали проектировать метро в Москве. Они сформулированы четко и ясно, в трех словах: «Дворец для народа». Это пожелание, высказанное в свое время Лазарем Моисеевичем Кагановичем — наркомом путей сообщения, непосредственно курировавшего строительство метро, — стало постулатом для метростроителей. Были у нас, конечно, и перегибы в ту или иную сторону, но этот принцип актуален по сей день.

Собственно, к архитектурным решениям станций первой линии приступили в 1935 году, когда основные вопросы, связанные с технологиями и техникой для строительства метрополитена, были решены. «Дворец для народа» с архитектурной точки зрения — это развитые большие пространства, насыщенные светом, цветом, монументально-декоративным искусством с великолепной



отделкой природным камнем. По этим правилам мы и работаем, причем в особенности это касается последних 20 лет, когда метростроители, что называется, повернулись лицом к пассажирам и стали думать об их комфорте.

**— Не надо быть специалистом, чтобы понимать, что архитектурные решения современных станций метрополитена отличаются от тех, которые строились в советское время. Расскажите о новых подходах и формах для подземного строительства.**

— Все виды искусства, в том числе и архитектура, претерпевают развитие. Это естественно. И подземная архитектура развивается по тем же законам, что и наземная, со всеми стилями и их нюансами.

Когда складывалась архитектура московской подземки, «на земле» господствовал стиль, который очень условно можно назвать «сталинский ампир» — конструктивизм менялся на классику. В решении станций первого пускового комплекса метрополитена (от «Сокольников» до «Парка Культуры») очень четко прочитывается наличие и того, и другого стиля. Ладовский (Николай Александрович Ладовский (1881—1941) — была ведущей фигурой направления архитектурного рационализма. С его именем связана реформа архитектурно-художественного образования в Московском Вхутемасе и разработка градостроительной концепции — прим. ред.) и Фомин (Иван Александрович Фомин (1872-1936 гг.) — русский и советский архитектор, преподаватель, историк архитектуры — прим. ред.) сосуществовали в одном объекте, и при этом один из них был приверженцем классической архитектуры, другой — конструктивизма.

Вторая, третья и четвертая (кольцевая) линии Московского метро — это, конечно, сталинский ампир с повышенным декором. Этот стиль господствовал в столичной подземке вплоть до конца 1955 года, когда в ноябре вышло Постановление № 1871 ЦК КПСС и СМ

СССР «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве», которое одновременно завершило эпоху советского монументального классицизма. На смену этому архитектурному стилю пришла функциональная типовая архитектура, которая, с теми или иными изменениями, господствовала до конца существования советского государства.

В новейшее время мы попытались, с большим или меньшим успехом, встроиться в общемировую канву развития архитектуры.

**— Можно ли сказать, что архитектурные тенденции в современном российском подземном строительстве соответствуют мировым?**

— Именно в подземном строительстве мы являемся законодателями моды. И я думаю, что мы еще многие годы продержимся на верхней ступени рейтинга мировой архитектуры. Но взаимопроникновение идет и с той, и с другой стороны, и это процесс обоюдный. В распоряжении зарубежных коллег — более высокие технологии, у нас — оригинальные решения. Например, с французами мы общались, когда они строили в Париже 14-ю линию (открыта 15 октября 1998 года, по степени загруженности в настоящее время находится на 12-м месте, пересекает Париж по диагонали с северо-запада на юго-восток), которая у них создана, что называется, по нашим лекалам — помпезно, красиво и торжественно. Здесь имеются подземные сады с натуральными растениями, в оформлении много предметов декоративно-прикладного искусства. Кроме того, это самая современная линия, там осуществляется движение поездов без машинистов, то есть, реализован абсолютно новый подход ко всем технологиям метрополитена. Это первая полностью автоматизированная линия в Парижском регионе. Мы планировали этот же принцип реализовать на Калининско-Солнцевской линии, но, по ряду причин это не удалось. Более того, скажу, что перспективное проектирование Московского метро запущено по традиционному принципу и предполагает пилотируемые поезда.

**— В одном из интервью Вы сказали: «Я пытаюсь делать парадоксальные вещи. В любом объекте должны быть острота, парадокс и юмор». Каким образом этот принцип реализуется в объектах подземной инфраструктуры?**

— Любая архитектура должна в хорошем смысле возбуждать человека, а не пассивно относиться к нему. Любое пространство, тем более, такое как метрополитен, где очень много материалоемких, дорогих и даже уникальных сооружений, должно вызывать у пассажи-

ра положительные эмоции. В этом смысле по архитектуре во многом определяется качество объекта. Поэтому архитектору нужно в каждый объект привнести то, что не оставит окружающих равнодушными. Тем более, что в метро люди находятся малый промежуток времени, и из-за этого задача становится еще более сложной — мы должны подарить человеку сверхобъект, который ему понравится сразу и без изъятий. Этих принципов мы, собственно, и придерживаемся, все последние станции, которые мы проектировали, будь то Люблинско-Дмитровская, Калининско-Солнцевская линии или Третий пересадочный контур (Большая кольцевая линия) — везде присутствует резкий, мощный импульс, направленный на пассажира. Пока это получается.

При этом, конечно, архитектурное решение станции должно в большей или в меньшей степени корреспондироваться с наземными объектами, пусть не напрямую, опосредованно, но обязательно. Это один из наших постулатов, которому мы стараемся следовать.

#### — Сохранятся ли эти тенденции в дальнейшем?

— Конечно, по крайней мере, при действующем мэре Москвы Сергее Семеновиче Собянине, которого нам удалось убедить в убогости идеи типового строительства. По его инициативе сегодня мы реализуем поистине грандиозную программу строительства метро в столице, на каждый год запланирован ввод огромного количества станций. Я думаю, что ему за это благодарны все москвичи.

#### — Есть ли станция, которая вам особенно нравится?

— Весь комплекс станций Московского метро как мощный, цельный организм является показателем хорошей, качественной архитектуры. Причем, многие станции связаны тоннелями — сооружениями, которые безупречны с точки зрения архитектуры. В последнее время я пытаюсь реализовать в новых линиях тот принцип, чтобы они задумывались и строились как некий комплекс в соответствии с основным постулатом, о котором шла речь выше. Хочу отметить, что все станции, которые проектирует АО «Метрогипротранс», являются образцами качественной архитектуры.

#### — Существуют ли архитектурные решения, которые требуют своего воплощения только в металле либо только в камне?

— Конечно. Традиционно в Московском метрополитене используется природный камень, он оказался очень красивым и технологичным, практически незаменимым материалом. В остальном же вполне возможно объект выстраивать под какой-то материал — нержавейку, кера-

мику, металлокерамику, алюминий, черный металл, и пр. Все, что принимает метрополитен, можно использовать.

#### — Есть ли материалы, которые дают архитектору больше возможностей?

— Вот, например, раньше мы в станциях глубокого заложения водозащитные зонты делали из пластика, было несколько изготовителей. Но по своим эстетическим характеристикам они нас не удовлетворяли, там было много проблем, хотя материал достаточно пластичен, не горюч. Но с точки зрения эстетики материал не дотягивал до нашего понимания качественного покрытия.

Поэтому мы перешли на алюминий с сотовым заполнением — строительный «сэндвич», внутрь которого вставлены алюминиевые соты, а снаружи могут быть листы из других материалов. Эта композиционная структура удовлетворила наши эстетические потребности в большей степени. Из него мы сделали замечательные «зонты» на Люблинско-Дмитровской линии: станциях Бутырская, Фонвизинская, Петровско-Разумовская. Сейчас мы проектируем такие «зонты» и в Москве, и в Санкт-Петербурге. У этого материала очень хорошие не только эстетические характеристики, но и высокая способность водоотведения, потому что он с обратной стороны покрывается специальным гидросоставом, который вообще не позволяет пропускать влагу.

#### — Существуют ли у Вас личные предпочтения в части материалов?

— Лично я больше всего люблю работать с горбылем, но в метрополитене он не может использоваться ввиду высокой пожарной опасности. Максимум, что мы можем сделать из дерева — это скамейки. Но я думаю, что главное — заложить в архитектурное решение определенную идею, а какой материал применить — это уже вторично. Хоть золотом облицовывай, хоть бриллиантами, но, если ты не сделаешь архитектурно-пространственное решение, объект не получится. В принципе, любое решение можно выполнить в любом материале.

#### — Существуют ли другие ограничения в применении архитектурных форм и материалов, кроме финансовых и конструкционных?

— Безусловно. Метрополитен — это объект повышенной опасности. И прежде всего на территории объекта должна быть обеспечена максимальная безопасность для пассажиров, начиная от входного тамбура и турникетов до посадки москвичей и гостей столицы в поезд. Кроме того, важны функциональность и удобство в эксплуатации. Поэтому в метро к материалам предъявляются повышенные требования всегда и во всем. ■



# «ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ И МЕТРОПОЛИТЕНЫ»:

## СПРАВОЧНИК В ИЛЛЮСТРАЦИЯХ

В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ЦЕНТРЕ «ТОННЕЛИ И МЕТРОПОЛИТЕНЫ» АО «ЦНИИС» ПРОДОЛЖАЕТСЯ СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОСТИЖЕНИЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ЗА ВСЮ ИСТОРИЮ ОТРАСЛИ В НАШЕЙ СТРАНЕ. ГЛАВНЫЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК НИЦ ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК ВЛАДИМИР ГАРБЕР В 2020 ГОДУ ПОДГОТОВИЛ К ИЗДАНИЮ УНИКАЛЬНЫЙ СПРАВОЧНИК В ИЛЛЮСТРАЦИЯХ «ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ И МЕТРОПОЛИТЕНЫ».

**Ц**ель создания первого подобного справочника — облегчить и упростить работу проектировщиков, а также обучение студентов и аспирантов по специальности «Тоннели и метрополитены».

В справочнике сконцентрированы в графическом виде все основные сведения по подземным транспортным сооружениям, являющиеся содержанием дисциплины «тоннели и метрополитены», в соответствии с актуализированными редакциями СП 120.13330.2012 «Метрополитены» и СП 122.13330.2012 «Тоннели железнодорожные и автодорожные».

Кроме того, в справочнике использованы классические труды по тоннелям и метрополитенам видных ученых и специалистов В. Л. Маковского, М. И. Дандурова, П. А. Часовитина, М. М. Архангельского, Д. И. Джинчарадзе, А. С. Курисько, В. П. Волкова, С. Н. Наумова, А. Н. Пирожковой, Ю. А. Лиманова, Л. В. Маковского, С. Н. Власова, В. Г. Храпова, О. Н. Макарова, В. Е. Меркина, В. А. Гарбера, Н. Ф. Бабушкина, Е. Г. Козина, М. Г. Зерцалова, Д. С. Конюхова (фамилии приведены в хронологической последовательности издания трудов, что указано в разделе «Библиография»). В настоящее время составитель справочника В. А. Гарбер находится в поиске издателя.

### ТЕХНИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ СПРАВОЧНИКА «ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ И МЕТРОПОЛИТЕНЫ» (СОГЛАСНО ОГЛАВЛЕНИЮ):

- «Габариты, внутренние очертания»;
- «Типовые обделки из монолитного бетона»;
- «Бетонные и железобетонные обделки»;
- «Конструкции обделок тоннелей, сооружаемых открытым и полузакрытым способами»;
- «СНиП 2012. Метрополитены. Общая компоновка»;
- «Конструкции станционных и перегонных тоннелей и транспортных тоннелей: перегонные тоннели; колонные и пилонные станции глубокого заложения; односводчатые станции; колонные станции открытого способа работ; компоновка (БСП, вестибюли, камеры); отдельные элементы (тубинги, блоки); отдельные примеры»;
- «Эскалаторы»;
- «Гидроизоляция»;

- «Постоянные нагрузки и воздействия»;
- «Методы сооружения»;
- «Виды временной крепи для различных инженерно-геологических условий»;
- «Щитовой способ проходки немеханизированными щитами и бесщитовые методы»;
- «Механизированные щиты и комплексы»;
- «Геодезическо-маркшейдерское обеспечение проектирования и строительства»;
- «Вентиляция при строительстве транспортных тоннелей. Вентиляция при строительстве метрополитенов»;
- «Водоснабжение, водоотвод, канализация»;
- «Устройство пути и контактный рельс»;
- «Эксплуатация».

# РЕШЕНИЯ КИТАЙСКИХ АРХИТЕКТОРОВ ДЛЯ МОСКОВСКОГО МЕТРО

Т. В. ЧИСТЯКОВА,

главный архитектор Российского филиала Пекинской корпорации проектирования и развития городского строительства

*ИДЕЯ СОЗДАНИЯ БОЛЬШОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЛИНИИ БЫЛА ПРОДИКТОВАНА НЕОБХОДИМОСТЬЮ СНИЗИТЬ ПАССАЖИРСКИЕ НАГРУЗКИ НА ЦЕНТРАЛЬНЫЕ СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА И ДАТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ ПАССАЖИРАМ ВЫБОРА БОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА. ПЕРВЫЕ ИДЕИ СОЗДАНИЯ ВТОРОГО КОЛЬЦА ОТНОСЯТСЯ К 1947 ГОДУ. ПО ГЕНЕРАЛЬНОМУ ПЛАНУ 1971 ГОДА БЫЛО ПРЕДУСМОТРЕНО СТРОИТЕЛЬСТВО ВТОРОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЛИНИИ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА, КОТОРАЯ ДОЛЖНА БЫЛА ВКЛЮЧИТЬ ЧАСТЬ СТАНЦИЙ КАХОВСКОЙ И СОКОЛЬНИЧЕСКОЙ ЛИНИЙ. НАРЯДУ С КОЛЬЦЕВОЙ, РАССМАТРИВАЛИСЬ И ХОРДОВЫЕ СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ. В СЕНТЯБРЕ 2014 ГОДА РЕШЕНИЕ БЫЛО ОКОНЧАТЕЛЬНО ПРИНЯТО В ПОЛЬЗУ КОЛЬЦЕВОГО ДВИЖЕНИЯ, ПОСКОЛЬКУ ОРГАНИЗАЦИЯ ХОРДОВОГО БЫЛА ПРИЗНАНА СЛИШКОМ ЗАТРАТНОЙ КАК С ФИНАНСОВОЙ, ТАК И С ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ».*

**П**роектируемая Большая кольцевая линия Московского метрополитена имеет протяженность 58,8 км. Она соединит существующие и перспективные линии на удалении около 10 км от действующей Кольцевой линии. Предполагается, что пересадочными станциями на новой линии будут пользоваться около миллиона человек в день, а пассажиропоток составит более 400 тысяч человек в час-пик. На линии расположены 28 станционных комплексов, включая старый участок от станции Каховская до станции Каширская.

Специалисты Пекинской корпорации проектирования и развития городского строительства работают на Юго-западном участке Большой кольцевой линии, проектируют и строят станции «Аминьевское шоссе», «Мичуринский проспект» и «Проспект Вернадского». Все они мелкого заложения, сооружаются в открытом котловане под двухпутные тоннели. Общая длина участка с перегонами составляет 4,6 км. Из трех станций пересадочными являются «Мичуринский проспект» и «Проспект Вернадского» (пересадка будет осуществляться на одноименные станции действующих линий метро). Рядом со станцией «Аминьевское шоссе» будет построен транспортно-пересадочный узел на наземный и железнодорожный виды транспорта.

При проектировании станций решалось много интересных задач, связанных с их индивидуальными особенностями. Каждая станция имела свои сложности в проектировании. При работе над проектом станции «Аминьевское шоссе» это были особенности рельефа: станционный комплекс располагается параллельно шоссе и при этом должен иметь пешеходные связи с железнодорожной платформой и через подземный переход — с противоположной стороной Аминьевского шоссе.

Станция «Аминьевское шоссе», согласно проекту, будет иметь глубину заложения 15 м. Конструктивная схема — трех-пролетная с двумя рядами колонн и островной платформой шириной 12 м. Предусмотрены три подземных уровня и съезды к новому депо «Аминьевское», которое будет обслуживать БКЛ.

Основным элементом выразительности интерьера платформы станет потолок в форме «волн-барханов», которые образуются динамически изменяемыми в пространстве металлическими рейками. Хаотично расположенные точечные светильники сконцентрированы в вершинах «волн-барханов». Их живописное расположение контрастирует с регулярным ритмом реек. На расстоянии 0,5 м от края платформы расположатся обособленные



Станция «Прспект Вернадского»



Станция «Аминьевское шоссе»



Станция «Мичуринский проспект»

линейные светильники на жестких подвесах, обеспечивающие местное нормативное освещение. Высота до низа подвесного потолка в центральной части платформы переменная, минимальная — 4,12 м, максимальная — 6,0 м. Темно-коричневые гранитные колонны выразительны на фоне пола, выполненного из серого полированного гранита.

Путевые стены станции закрыты навесной системой шумоглушения, представляющей собой конструкцию из алюминиевых панелей, в декоративной отделке которых нашла свое продолжение тема волны. Модульный шаг рисунка состоит из 15 панелей. На их поверхность нанесен параметрический пиксельный рисунок с изображением волны в оттенках трех холодных цветов.

Фоном служит поверхность шлифованного алюминия. Цоколь путевой стены выполнен из черного гранита. На уровне окон вагонов размещаются панели информации с названием станции.

В вестибюлях применен подвесной металлический реечный потолок. Точечные светильники концентрируются над зонами вестибюля с повышенными требованиями к освещенности поверхности. Темно-коричневые гранитные колонны выделяются на фоне светлых мраморных стен. Пол выполнен из гранита двух серых оттенков.

На станции «Проспект Вернадского» сложно было обеспечить нормативную пересадку на действующую станцию Сокольнической линии. Спроектированная в эпоху массового строительства так называемых хрущевок, она сама несет черты типизации, упрощения и экономии. Итоговое решение было принято с учетом строительства пересадочного комплекса в два этапа: первый осуществляется при строительстве новой станции, второй — при реконструкции северного вестибюля действующей станции Сокольнической линии. «Проспект Вернадского» имеет глубину заложения 17,3 м. Конструктивная схема трехпролетная с двумя рядами колонн на островной платформе шириной 12 м. Имеет четыре подземных уровня. В центральной части платформы располагаются лестницы для пересадки, поэтому подвесной потолок зала не должен иметь вертикальных элементов, нарушающих габарит высоты прохода пассажиров. Для решения этой задачи был выбран «пиксельный» тип потолка со встроенными плоскими светильниками. Потолочные панели выполнены из окрашенного и анодированного алюминия и имеют рельеф в пределах 30 см. На расстоянии 0,5 м от края платформы располагаются дополнительные линии освещения.

Центральная часть платформы обрамлена двумя рядами гранитных колонн, черный цвет которых удачно контрастирует с серыми полутонами потолка и золотистой гаммой путевой стены, отделанной алюминиевыми сотовыми панелями с анодированной поверхностью. Цоколь облицован черным гранитом. Спокойным фоном для этого сочетания служит пол платформы, выполненный из полированного серого камня.

В вестибюлях подвесной потолок представляет собой композицию из элементов пиксельного и реечного потолка. Для введения цветового акцента — стены касс облицовываются оранжевым агломератом, выделяющемся на фоне стен из светлого мрамора и черных гранитных колонн.

Станция «Мичуринский проспект» своей уникальной планировкой обязана участку со сложным рельефом и

надземной пересадкой на недавно построенную станцию «Мичуринский проспект» Калининско-Солнцевской линии. Пересадка осуществляется через надземный вестибюль, примыкающий к надземному пешеходному переходу соседней станции.

При этом она является одной из наиболее глубоких для станций мелкого заложения: имеет глубину 20 м и семь подземных уровней.

Станция «Мичуринский проспект» имеет глубину заложения 19,4 м и семь подземных уровней. Конструктивная схема — трехпролетная с двумя рядами колонн на островной платформе шириной 14 м. Архитектурное решение, реализованное в ней, посвящается российско-китайской дружбе, поэтому в оформлении интерьера присутствуют китайские мотивы. В первую очередь, это потолочные конструкции с декоративными светильниками, половина которых выполнена из светопрозрачного материала с накладкой из тонкого листа нержавеющей стали, в котором лазером вырезаны китайские орнаменты. Белое стекло панелей подсвечивается скрытыми внутри светодиодами. Вторая половина панелей выполнена целиком из шлифованной нержавеющей стали, на поверхность которой нанесен графический рисунок. Подшивной потолок в центральной части платформы отсутствует. Бетонная поверхность перекрытия шлифуется и окрашивается силикатной защитной краской. Декоративная балочная конструкция скрывает электрические коммуникации. В сочетании с потолочными панелями балки образуют своеобразный китайский мотив. Красные колонны выполнены из композитного материала — кварцевого камня и контрастируют с полом из полированного серого гранита.

Путевые стены закрыты навесной системой шумоглушения, представляющую собой сборную конструкцию из алюминиевых разноформатных сотовых панелей. Чередование панелей различной ширины создает на путевой стене строгий линейный ритм. Шлифованная поверхность панелей анодирована под платину. Цоколь выполнен из черного гранита.

Интерьер вестибюлей решен в монохромных тонах с использованием светлого мрамора, серого и темно-серого гранитов. Подвесной потолок выполнен из алюминиевых кассет. Покрытие анодированное, фактура шлифованная. Часть панелей имеет китайский орнамент. Особую роль в решении интерьера играют встроенные светильники, направляющие потоки людей. Детали интерьера, выполненные в красном цвете, являются пространственными ориентирами для пассажиров. Особенностью решения внутреннего пространства надземного вестибюля является использование выразительности панорамного остекления для входящих в вестибюль пассажиров. Создает

ся визуальный контакт между существующей станцией и новым вестибюлем станции БКЛ.

Поиск оптимального образа фасада, его цвета и формы был долгим. Требовалось разработать архитектурное решение, которое бы перекликалось и одновременно контрастировало со станцией Калининско-Солнцевской линии (КСЛ). В этом проекте план вестибюля в виде параллелограмма продолжает общую композицию единого станционного комплекса «Мичуринский проспект». На фоне доминирующего объема станции КСЛ необходимо было создать заметный объем, который бы органично встраивался в общий архитектурный ансамбль.

Ярко-красные панели с цветами и плодами, пятиметровые буквы названия станции КСЛ представляют собой большой цветовой и композиционный акцент. После творческих поисков было принято решение использовать в качестве основного цвета фасада — белый. Это позволило новому вестибюлю выделиться на фоне живописных панелей соседней станции. Цоколь из темно-серого гранита (такой же, как и на КСЛ) объединил решения в общую композицию.

Фасад наземного вестибюля организуется белой обложкой, которая выделяет главный и второстепенный входы. Она раскрывается углом со стороны главного фасада, образуя открытую галерею. Оболочка на боковом фасаде решена максимально цельно — витражные конструкции закрыты вертикальными ламелями, объединенными с решетками вентиляции. Со стороны Мичуринского проспекта вход устраивается сквозным проходом через пешеходную галерею и лестницу на уровень пересадочного вестибюля. Фасады сочетают в своей облицовке витражные конструкции и сотовые панели. Красный цвет акцентирует входную группу. Отсутствие мелких деталей в отделке, контрастные цветовые сочетания создают запоминающийся силуэт вестибюля.

В перспективе рядом со станцией планируется устройство ТПУ. Окончательное решение по организации рельефа будет принято после завершения общего проекта вертикальной планировки.

Работая над проектами, российские и китайские архитекторы учитывали стилистические особенности Московского метрополитена. ■

## 22–23 СЕНТЯБРЯ / 2020

### III МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

# «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»

Место проведения:  
МОСКВА

Холидей Инн Сущевский  
(Holiday In Suschevsky)  
ул. Сущевский Вал, 74

Организатор конференции



МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Генеральный спонсор



Генеральные информационные партнеры



[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com), [info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com)

тел.: +7 (495) 66-55-014, моб.: +7 916 36-857-36



## ВЛАДИМИР МАРКОВ

### О ПЕТЕРБУРГСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ, ВОСТРЕБОВАННЫХ В МОСКВЕ

Беседовала Лариса ДУБРОВСКАЯ  
(портал «Подземный эксперт»)

РАССКАЗАТЬ О ПЛАНАХ СОТРУДНИЧЕСТВА С ПРАВИТЕЛЬСТВОМ МОСКВЫ И ПОДЕЛИТЬСЯ ОПЫТОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ ЛИНИЙ И СТАНЦИЙ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА МЫ ПОПРОСИЛИ ЗАМЕСТИТЕЛЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА ПО МЕТРОСТРОЕНИЮ ПЕТЕРБУРГСКОГО ОАО «НИПИИ «ЛЕНМЕТРОГИПРОТРАНС» ВЛАДИМИРА МАРКОВА.

— Владимир Андреевич, что проектирует Ленметроги-  
протранс в российской столице?

— Первым опытом стала разработка проектной доку-  
ментации на участок двухпутного тоннеля метрополи-  
тена в составе четырех станций на Кожуховской (Некрасов-  
ской) линии. Технология строительства была отработана  
ранее на сооружении объектов продолжения Невско-Ва-  
силеостровской и Фрунзенско-Приморской линий Петер-  
бургского метрополитена.

Также институт выполнил проекта участка Калининско-  
Солнцевской линии. В настоящий момент продолжают-  
ся работы по проектированию двух участков Большой коль-  
цевой линии (БКЛ), а также есть все шансы получить под-  
ряд на проектирование еще одной линии в составе девяти  
станций.

ПРАВИТЕЛЬСТВОМ МОСКВЫ ПОСТАВЛЕНА ЗАДАЧА ПО  
СНИЖЕНИЮ СТОИМОСТИ И СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА.  
ПОЭТОМУ НА СООРУЖЕНИИ СТАНЦИЙ ПРИМЕНЯЕТСЯ  
В ОСНОВНОМ ОТКРЫТЫЙ СПОСОБ РАБОТ, СТРОЯТСЯ  
ДВУХПУТНЫЕ ТОННЕЛИ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ. ЭТО  
ПОЗВОЛЯЕТ СУЩЕСТВЕННО СНИЗИТЬ ТРУДОЗАТРАТЫ И  
ПОВЫСИТЬ ТЕМПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТРОПОЛИТЕНА  
ПРИМЕРНО В ПОЛТОРА РАЗА.

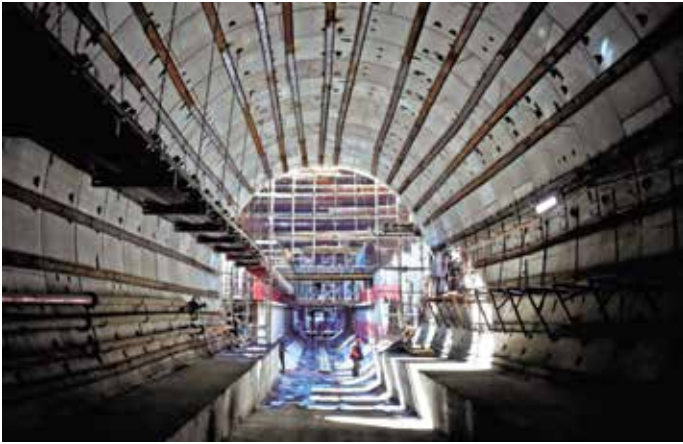


Двухпутный тоннель метро (Санкт-Петербург)

— Какое проектное решение вы считаете наиболее ин-  
тересным?

— Проект станции «Нижегородская» Кожуховской ли-  
нии, располагающейся внутри Московского централь-  
ного кольца (МЦК). Она является классической стан-  
цией открытого способа работ, но только гигантской. В  
одном объеме располагаются две линии метрополи-  
тена — двухпутный и два однопутных тоннеля. Люди мо-  
гут пересеживаться из одного поезда в другой на одной  
платформе.

В том же объеме станции, только выше, находится  
транспортно-пересадочный узел и железнодорожная  
станция МЦК. Похожая идея была реализована ранее  
в Санкт-Петербурге на станции «Спортивная» с един-  
ственной разницей в том, что пути там располагаются



Запуск щита на БКЛ в Москве  
(источник: stroi.mos.ru)

не в одной плоскости, а друг над другом. Станция «Технологический институт» также объединяет две линии метро, но они сооружены в двух объемах.

**— Расскажите, пожалуйста, о технологиях, применяемых на строительстве столичной подземки.**

— Правительством Москвы поставлена задача по снижению стоимости и сроков строительства. Поэтому на сооружении станций применяется в основном открытый способ работ, строятся двухпутные тоннели мелкого заложения. Это позволяет существенно снизить трудозатраты и повысить темпы строительства метрополитена примерно в полтора раза. Участок двухпутного тоннеля в составе четырех станций может быть построен даже за три года, а на сооружение однопутных тоннелей такой же протяженности потребуется не менее пяти лет.

Также при строительстве двухпутных тоннелей не требуется организации строительных площадок на перегонах между станциями, что особенно важно при работе в охранных зонах. Технология настолько актуальна, что за реализацию проекта участка двухпутного тоннеля Кожуховской линии АО «Мосинжпроект» получило Государственную премию.

**— Насколько сложно было приспособиться к новым условиям работы?**

— Сначала было очень тяжело, потому что в Москве действуют совершенно другие требования к проектной документации. Основная проблема в том, что на строительстве Московского метрополитена работает очень мало опытных специалистов. Зачастую там работают люди, которые никогда и метро-то не строили.

Поэтому то, что выражено в одном чертеже и понятно петербургским строителям, многим подрядчикам



Открытие станции «Рассказовка» Калининско-Солнцевской линии метро. (источник: stroi.mos.ru)

**В МОСКВЕ МЕТРО РАЗВИВАЕТСЯ ГИГАНТСКИМИ ТЕМПАМИ БЛАГОДАРЯ ПОЛИТИЧЕСКОЙ ВОЛЕ РУКОВОДСТВА ГОРОДА. ТАМ ДЕЙСТВУЮТ СОБСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ. УСЛОВНО ГОВОРЯ, ЕСЛИ СЕГОДНЯ ПРИНЯТО РЕШЕНИЕ О СООРУЖЕНИИ НОВОЙ ЛИНИИ, ТО СТРОЙПЛОЩАДКА БУДЕТ ОРГАНИЗОВАНА УЖЕ ЗАВТРА.**

приходится разъяснять буквально на пальцах. Во всем остальном работать в Москве комфортно, тем более что финансирование ведется в плановом режиме. Контраст с Петербургом, где даже за выполненную работу стараются не платить, конечно, очевиден.

**— В чем же, на ваш взгляд, залог небывалого роста объемов метростроения в Москве? В финансировании?**

— Метро развивается гигантскими темпами благодаря политической воле руководства города. В Москве действуют собственные строительные нормы. Условно говоря, если сегодня принято решение о сооружении новой линии, то стройплощадка будет организована уже завтра, в кратчайшие сроки будут отведены земельные участки.

Параллельно будет разрабатываться проект и рабочая документация. Во всех прочих российских городах метростроителям годами приходится ждать, пока государственный заказчик урегулирует комплекс юридических и организационных проблемы, и темпы метростроения там соответствующие. ■

Благодарим портал  
«Подземный эксперт» за сотрудничество



# ЛЕВ МАКОВСКИЙ

## О ДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЯХ В СТРАНЕ И МИРЕ

Беседовала Татьяна МИХАЙЛОВА

*В РОССИИ СООРУЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПО-ПРЕЖНЕМУ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕНО В МЕТРОСТРОЕНИИ. ВМЕСТЕ С ТЕМ В МОСКВЕ АКТИВНО РЕАЛИЗУЮТСЯ ПРОЕКТЫ И АВТОТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ. ТАК ИЛИ ИНАЧЕ, В ЭТОМ НАПРАВЛЕНИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ СПЕЦИАЛИСТАМИ НАРАБОТАН СЕРЬЕЗНЫЙ ОПЫТ. ОСОБЕННО В ВОПРОСАХ ТЕОРИИ, О ЧЕМ МЫ И ПОГОВОРИЛИ С ПРОФЕССОРОМ МАДИ, ЧЛЕНОМ-КОРРЕСПОНДЕНТОМ РАЕН ЛЬВОМ МАКОВСКИМ.*

### СПРАВКА

Маковский Лев Вениаминович — член-корреспондент РАЕН, к. т. н., профессор Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

С 2002 по 2017 год возглавлял кафедру «Мосты и транспортные тоннели», на сегодняшний день является заведующим секцией «Мосты и тоннели» совмещенной кафедры «Мосты, тоннели и строительные конструкции».

Почетный транспортный строитель, Почетный строитель России, Почетный дорожник России, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Почетный работник транспорта России.

Автор и соавтор более 300 опубликованных научных трудов, в том числе более 20 отдельных изданий. В их числе такие учебники и учебные пособия, как «Городские подземные транспортные сооружения», «Проектирование автодорожных и городских тоннелей», «Инженерные сооружения в транспортном строительстве», «Подводные транспортные тоннели из опускных секций», «Строительство городских автотранспортных тоннелей в сложных условиях».

— Лев Вениаминович, вы занимаетесь транспортным тоннелестроением более полувека. Какие достижения в этом направлении вы могли бы назвать самыми впечатляющими за минувшее время?

— За минувшее время произошли коренные изменения и в науке, и в технике тоннелестроения. Наряду с тем, что созданы новые конструкции из новых материалов, более экономичных и прочных, долговечных, надежных, разработаны эффективные методы их расчета. В этом смысле произошла революция с внедрением электронно-вычислительной техники. Сейчас уже созданы специализированные программные комплексы PLAXIS-3D Tunnels, MIDAS и другие. Приближенными методами строительной механики, как в первые годы моей работы, уже никто не считает. Разве что это делается для проверки студентов, чтобы они сравнивали возможности.

Произошел огромный прорыв и в технике тоннелестроения. Прежде всего, несколькими странами выпускаются целые серии проходческих механизированных щитов и тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) разных диаметров. Они автоматизированные, герметизированные и обеспечивают высокие скорости проходки тоннелей (до 1 км в месяц). В Москве на строительстве метрополитена работает около 20-25 таких ТПМК одновременно. Первый щит изобрел английский инженер Марк Брюнель еще в 1818 году, но сейчас в сравнении с тем, что было изначально, по





скоростям проходки и другим возможностям мы наблюдаем резкий контраст. А Россия, хотя мы и отстаем от ряда развитых стран по горным и подводным тоннелям, в строительстве метрополитенов остается на высшем техническом уровне.

**— Напомните заодно собственные основные работы?**

— За более чем 50-летнюю деятельность в МАДИ у меня были достаточно разные направления в транспортном тоннелестроении. В основном же моя работа, я полагаю, вылилась в подготовку научных кадров. У меня было 36 аспирантов, из них 19 защитили кандидатские диссертации.

Первое направление наших работ — инновационные конструкции тоннельных обделок. Второе — технологии безосадоочной проходки тоннелей. Когда тоннель строится в городской черте, в сложных градостроительных и инженерно-геологических условиях, то в этом случае очень важно не «упустить поверхность», как говорят специалисты. При проходке возникает оседание грунтовой толщи. А если на ней стоит здание, то может возникнуть чрезвычайная ситуация. Таким образом, задача — осуществить безосадоочную проходку. Сделать это можно, предварительно проведя моделирование. Наши аспиранты проводили разные экспериментальные исследования на моделях. Это так называемое численное моделирование. Они создавали плоские и

объемные (пространственные) модели и на них прогнозировали, что будет, если менять основные параметры (размеры поперечного сечения тоннеля, глубину его заложения, технологию проходки и другие.)

Можно упомянуть еще несколько направлений, но я назвал основные. Подобная работа затем выливалась в отдельные статьи, монографии и учебники.

**— В этом году МАДИ отметит свое 90-летие. К юбилею институт подготовил монографию. Что в этом издании отражено как наиболее важное по деятельности вашей кафедры?**

— Все основное, что кафедра сделала, там отражено. Изложена ее история, кто ее создавал, кто на ней работал, какие имелись достижения. Кафедра мостов у нас образовалась в 1932 году, а возглавил ее известный мостовик и мой учитель Евгений Евгеньевич Гибшман. Именно у него я начал работать в 1966 году. Его школа осталась. С этим, я полагаю, связано и то, что сейчас у нас много талантливой молодежи, которая делает успехи.

**— При сравнительно небольших объемах автодорожного тоннелестроения в России не наблюдается ли у нас отставание теоретической базы от мирового уровня?**

— Строительство тоннелей и теоретическая база напрямую не зависят друг от друга. Есть страны, где те-

оретическая база не очень развита, а тоннели строят один за другим. Например, Китай. Огромное количество тоннелей гигантских размеров. Причем строят их за рекордно короткие сроки.

У нас в основном строятся городские автодорожные тоннели в Москве. Это было и при Лужкове, и активно продолжается при Собянине. Появилось уже довольно-таки большое их количество, более сотни. Из новых и крупных можно отметить Лефортовский, Серебряноборский, Алабяно-Балтийский.

Автодорожные тоннели, как известно, эксплуатируются и строятся и в других крупных городах. Например, в Петербурге, Новосибирске, Казани. Но их пока что немного. Китайских масштабов, конечно, нет. Но и на Западе, где транспортная инфраструктура широко развивалась раньше, сейчас авральными темпами тоннелестроения не наблюдается. Если надо — строят.

В Бостоне на основе автодорожного тоннеля соорудили целый подземный город. А Илон Маск заявил о планах построить 33 уровня подземных автомагистралей под Лос-Анджелесом. Еще недавно такое казалось абсолютной утопией, но сейчас это уже видится приближающимся к реальности. Хотя лично у меня в голове не укладывается, как такое можно осуществить технически.

Вот что, в частности, происходит за рубежом. Но я не вижу там принципиального перевеса ни в науке, ни в технике по сравнению с тем, что есть у нас. Те же самые щиты, те же самые горные способы. Вот тот же Новоавстрийский тоннельный метод — он по-прежнему называется новым, хотя изобрели его еще в 1956 году, в отличие от старого, который появился в позапрошлом веке.

**— При том, что автодорожные тоннели на сегодняшний день наиболее активно строятся в Москве, известны ли вам подобные новые проекты в других регионах страны?**

— Проектов, подобных московским, в других регионах мне не известно. Единственное, когда будет строиться дорога Петербург — Москва — Казань, там может появиться необходимость в строительстве ряда тоннелей.

Некоторые серьезные проекты у нас, к сожалению, не реализовали или отложили в долгий ящик. Подводный тоннель вообще мог бы стать хорошей альтернативой Крымскому мосту, но там были свои соображения, и, насколько я понимаю, преимущественно не технического характера. Он был бы более коротким и защищенным.

Как известно, разрабатывались проекты тоннелей в Петербурге под Невой, в Якутске под Леной. Еще при

Сталине начали было строить тоннель на Сахалин. В проектировании принимал участие мой отец. Но все было заброшено. Вопрос о тоннеле не раз поднимали и в последние годы, но все-таки решили строить мост.

Сейчас при строительстве БАМа-2 можно говорить о железнодорожных объектах, но не дай бог с ними повторится история Северомуйского тоннеля, с долго-строем и авариями.

Стоит добавить, что тоннель, как и мост, нужно правильно эксплуатировать и содержать. Здесь нужен постоянный мониторинг, и пришедшие в последние годы IT-технологии как раз позволяют его производить подробно и достоверно.

**— По-прежнему принято считать, что строительство тоннелей в составе автомобильных дорог является слишком дорогим, в том числе в сравнении с сооружением эстакад. Что вы могли бы сказать в защиту тоннелестроения?**

— Надо рассматривать вопросы стоимости не только строительства, но и эксплуатации. Важны и градостроительные моменты. Вот в Москве на Соколе построили эстакаду — изуродовали весь район. Тоннельные решения к тому же могут быть необходимы с точки зрения освобождения поверхности и создания дорожной сети, которой катастрофически не хватает, например, в нашей столице.

**— Какие технические вопросы обеспечения безопасности движения в автодорожных тоннелях наиболее актуальны? Что делает для их решения отечественная наука?**

— Для нормальной эксплуатации тоннеля нужна целая система мер и комплекс соответствующего оборудования. Они все известны и ничего нового давно не придумывается, кроме разве что IT-технологий, которые позволяют все это объединить, скоординировать, сконцентрировать и более эффективно обеспечить. Я имею в виду системы освещения, вентиляции, водоотведения, пожарной сигнализации, эвакуации.

Например, в тоннеле подвешивают монорельс, и по нему перемещается тележка. Если случилась авария, вы же в тоннель не въедете, автомобиль загорелся — и все встали. А по монорельсу могут подъехать пожарные, а пассажиры — эвакуироваться.

Рядом с достаточно протяженным тоннелем также делают камеру с герметически закрываемым убежищем. Это узел спасения с автономной системой подачи воздуха и воды. И там люди ждут, пока пожар не потушили. Такая камера есть, например, в Лердальском тоннеле длиной 21 км в Норвегии. У нас в

России, однако, нет необходимости строить многокилометровые горные тоннели на автомагистралях. Самый большой — Рокский — имеет протяженность 3,6 км. Сейчас упор делается на городские тоннели.

**— Ведутся ли разработки по комплексному освоению подземного пространства городов в увязке с сооружениями автодорожного профиля?**

— Да, такие работы ведутся. В АО «ЦНИИС» есть научно-исследовательский центр «Тоннели и метрополитены», аналогичный центр имеется в составе Тоннельной ассоциации России. Разрабатывается комплексная система, куда входят все транспортные сооружения. Речь идет в целом о рациональном использовании подземного пространства. Есть много технических условий на этот счет, уже изложенных в ряде публикаций.

Что касается зарубежных достижений, то в Париже, например, есть восьмизурный подземный комплекс. Аналоги есть и в Пекине, Мюнхене и других мегаполисах мира. Я считаю, дальнейшее развитие городов должно идти в направлении создания системы, с одной стороны, метрополитена, с другой — подземных автомагистралей, а в местах пересечений следует создавать многофункциональные подземные комплексы. Это дорогостоящее строительство, но в итоге оно себя оправдывает. В Москве подобные решения начали реализовывать на базе транспортно-пересадочных узлов в увязке с железной дорогой.

**— В целом с чем бы вы связали основные перспективы автодорожного тоннелестроения в России? Можно ли сказать, что оно с каждым годом становится все более актуальным при развитии транспортной инфраструктуры мегаполисов или в горных условиях.**

— И то и другое становится более актуальным — не только в городских условиях, но и в горных тоже. Горы — это препятствия для транспортных связей районов, там мост или эстакаду построишь далеко не везде, а интенсивность автодорожного движения возрастать продолжает. Можно предположить, что по мере необходимости и наличия финансов новые тоннели появятся и при развитии транспортной инфраструктуры, например, Северного Кавказа. Технические возможности для этого у нас в стране есть. ■

*СТРОИТЕЛЬСТВО ТОННЕЛЕЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА НАПРЯМУЮ НЕ ЗАВИСЯТ ДРУГ ОТ ДРУГА. ЕСТЬ СТРАНЫ, ГДЕ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА НЕ ОЧЕНЬ РАЗВИТА, А ТОННЕЛИ СТРОЯТ ОДИН ЗА ДРУГИМ. НАПРИМЕР, КИТАЙ. НО Я НЕ ВИЖУ ЗА РУБЕЖОМ ПРИНЦИПИАЛЬНОГО ПЕРЕВЕСА НИ В НАУКЕ, НИ В ТЕХНИКЕ ПО СРАВНЕНИЮ С ТЕМ, ЧТО ЕСТЬ У НАС.*



**Испытания, натяжение и контроль геотехнических конструкций:**

**Полые гидроцилиндры Jack и гидростанции к ним**  
усилие до 2780 кН

**Датчики анкерной нагрузки**  
до 1000 кН

**Грунтовые анкера Атлант**

+7 342 200-79-00  
info@anker-system.ru  
www.anker-system.ru

 **Сделано в России**

**АНКЕРНЫЕ СИСТЕМЫ**  
MALININ GROUP

Jack 2E

# РАЦИОНАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОБДЕЛОК С НАРУЖНЫМИ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ

Л. В. МАКОВСКИЙ, к. т. н.;

В. В. КРАВЧЕНКО, к. т. н.

(МАДИ, кафедра «Мосты, тоннели и строительные конструкции»)

ПРОАНАЛИЗИРОВАНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННЫХ НА КАФЕДРЕ МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ МАДИ РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ РЕБРИСТЫХ ОБДЕЛОК ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ГРУНТОМ. ОБОЗНАЧЕНЫ ПРИЧИНЫ НЕДОСТАТОЧНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОБДЕЛОК С НАРУЖНЫМИ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.

## ТЕНДЕНЦИЯ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК

Перспективы дальнейшего развития тоннелестроения обуславливают необходимость поиска инновационных конструктивно-технологических решений, направленных на обеспечение совместной работы обделки с окружающим грунтовым массивом.

В последние годы в мировой практике тоннельного строительства наблюдается тенденция замены массивных бетонных и железобетонных обделок более легкими и технологичными, усиленными дополнительными элементами в виде стальных решетчатых арок, анкеров различных конструкций и др.

Среди облегченных обделок из набрызг-бетона особое место занимают конструкции с усиливающими элементами в виде наружных ребер жесткости, забетонированных в разрезах грунтового массива, прилегающих к контуру выработки, причем ребра могут располагаться как вдоль, так и поперек оси тоннеля [1].

Обделка с продольными ребрами состоит из оболочки и ребер толщиной  $a_p = 0,2-0,3$  м, высотой  $h_p = 0,3-0,5$  м и с шагом  $l_p = 1,5-2$  м по всему периметру выработки или только в ее сводовой части (рис. 1а). Возможно устройство ребер одинаковой или разной высоты, причем вдоль оси тоннеля высота ребер может быть как постоянной, так и переменной. Обделка с поперечными ребрами толщиной  $a_p = 0,2-0,3$  м, высотой  $h_p = 0,15-0,2$  м и с шагом  $l_p = 1,2-1,5$  м показана на рис. 1б.

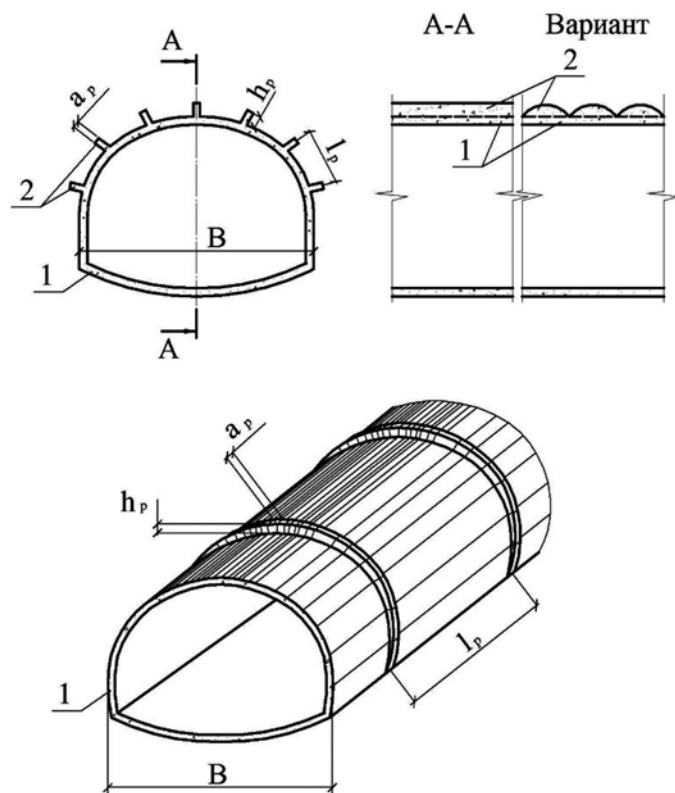


Рис. 1. Конструкция обделки с наружными продольными (а) и поперечными (б) ребрами жесткости: 1 – оболочка из набрызг-бетона; 2 – ребра жесткости

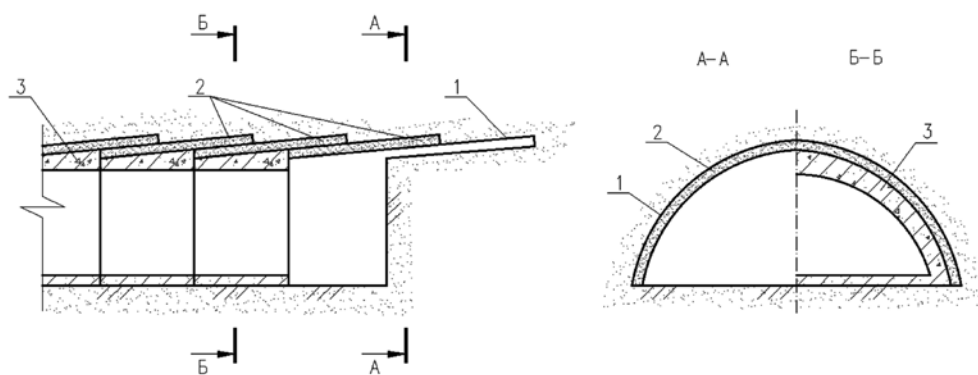


Рис. 2. Строительство тоннелей с применением ОБК: 1 – контурная щель; 2 – бетонное или набрызг-бетонное заполнение; 3 – тоннельная обделка

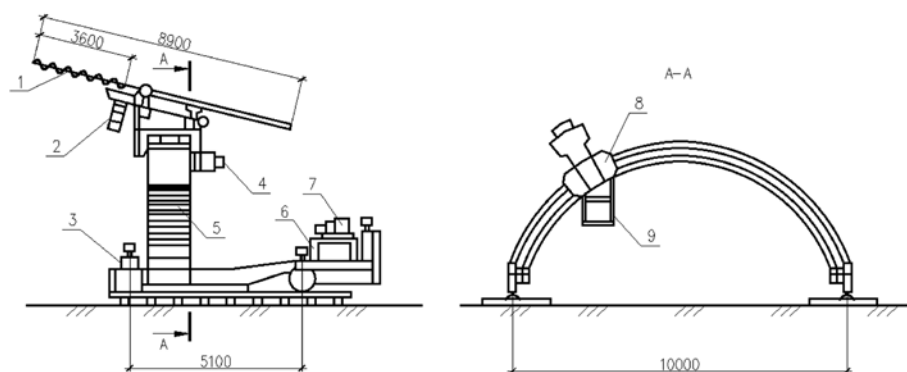


Рис. 3. Конструкция щеленарезной машины («Мицуи Групп», Япония): 1 – бар; 2 – электродвигатель бара; 3 – ходовой электродвигатель; 4 – гидромотор круговой подачи; 5 – порталная рама; 6 – панель управления; 7 – силовой гидравлический блок; 8 – каретка круговой подачи; 9 – кабина машиниста

Ребра придают обделке дополнительную прочность и жесткость, а также закрепляют часть грунтового массива, улучшают совместную с ним работу конструкции. В зависимости от инженерно-геологических условий по трассе тоннеля, типа грунтов, характера их напластования, степени устойчивости и трещиноватости, ребра могут располагаться с разным шагом и иметь постоянную или переменную высоту по периметру поперечного сечения и длине тоннеля.

## ТЕХНОЛОГИЯ: УСТРОЙСТВО И ПРЕИМУЩЕСТВА

Ребра устраивают в грунтовом массиве путем образования прорезей с последующим заполнением их набрызг-бетоном. Для создания прорезей в грунтовом массиве может быть использовано щеленарезное оборудование, аналогичное применяемому за рубежом при возведении опере-

жающей бетонной крепи (ОБК). Ее устраивают путем бетонирования предварительно нарезанной контурной щели в пределах свода или свода и стен выработки (рис. 2) [2, 3].

Щеленарезные машины последнего поколения включают в себя жесткую раму с направляющей дугой, по которой перемещается каретка с буровым рабочим органом (рис. 3). Щели глубиной от 1,5 до 5 м и высотой от 0,1 до 0,4 м заполняют высокопрочным набрызг-бетоном или фибронабрызг-бетоном по «сухой» или «мокрой» технологии робот-методом или подают удобоукладываемую бетонную смесь бетононасосами. Время выстойки бетона в щели до требуемой прочности (8-10 МПа) изменяется от 4-6 до 10-15 ч [3].

Ребристые обделки целесообразно применять при строительстве тоннелей сводчатого очертания горным способом в породах средней крепости и устойчивости.

Важным достоинством ребристой обделки является ее высокая адаптивность к изменяющимся горно-гео-

логическим условиям за счет изменения параметров ребер: шага, высоты, толщины и места их расположения. Так, ребра могут размещаться по своду и стенам выработки или только в сводовой части.

Расположение ребер внутри породного массива позволяет сократить размеры поперечного сечения выработки и оставить их без изменения на всей длине тоннеля, что существенно сокращает объем разрабатываемого грунта, а также уменьшает трудоемкость и материалоемкость возведения такого типа обделки и, соответственно, ее стоимость.

Приближенный расчет экономической эффективности применения таких обделок показал, что стоимость 1 м двухпутного автодорожного тоннеля с применением ребристой обделки по сравнению с «гладкой» снижается на 20-25%, а по сравнению с обделкой с анкерами — примерно на 3-5%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для установления оптимальных параметров ребристых обделок на кафедре мостов и тоннелей МАДИ аспирантами Э. Саласаром и О. В. Юркиным под научным руководством проф. Л. В. Маковского выполнены теоретические и экспериментальные исследования с использованием математического и физического моделирования [4, 5].

Расчетно-теоретические исследования работы ребристых обделок во взаимодействии с грунтом на статические воздействия выполнялись на конечно-элементных моделях и позволили сделать следующие выводы:

- введение наружных ребер в работу обделок уменьшает уровень напряжений, особенно в местах их расположения, в среднем на 15-30%;
- оптимальная длина ребер составляет  $(0.2...0.3) B$ , где  $B$  — пролет выработки (см. рис. 1), а их влияние уменьшается по мере уменьшения шага между ребрами;
- влияние наружных ребер на работу обделки возрастает по мере уменьшения модуля упругости грунтового массива;
- наружные ребра влияют на работу обделки в большей степени, чем внутренние;

■ ребра уменьшают уровень напряжений в большей степени там, где возникают наибольшие контактные напряжения; поэтому ребра следует располагать в зонах, где в «гладких» обделках возникают наибольшие контактные напряжения.

Расчетно-теоретические исследования работы ребристых обделок во взаимодействии с окружающим грунтовым массивом на сейсмические воздействия с применением спектрального метода позволили констатировать:

- обделки с наружными ребрами представляют собой сейсмостойкие конструкции, работающие совместно с грунтовым массивом;
- включение наружных ребер в работу обделки при воздействии на нее сейсмических нагрузок уменьшает уровень напряжений на 20-40%, причем характер изменения напряжений такой же, как при воздействии статических нагрузок.

Экспериментальные исследования на объемном силовом стенде обделок с наружными ребрами подтвердили основные результаты теоретических исследований. С помощью них выявлены основные закономерности формирования напряженного состояния во всех внутренних и наружных фибрах обделки в зависимости от изменения длины и расположения наружных ребер.

Разработаны практические рекомендации конструктивно-технологического характера, направленные на повышение эффективности ребристых обделок и регламентирующие места расположения и геометрические характеристики ребер, толщины обделки, а также жесткостные характеристики материалов ребер, обделки и грунта. Предложена технологическая схема сооружения тоннелей с ребристыми обделками.

Внедрение обделок с наружными ребрами жесткости при строительстве тоннелей горным способом в нашей стране во многом сдерживается отсутствием специализированного целенарезного оборудования. Однако опыт сооружения участка станционного комплекса «Адмиралтейская» (Петербургский метрополитен) с опережающей бетонной крепью, возводимой с использованием целенарезных агрегатов, открывает возможности применения ребристых обделок в отечественном тоннелестроении. ■

### Литература

1. Авторское свидетельство №1191590 «Тоннельная обделка». Авторы: Маковский Л.В., Маковский И.В., Меркин В.Е., Асратян Д.Р.
2. Маковский Л.В., Кравченко В.В., Сула Н.А. и др. Строительство автодорожных и городских тоннелей. Под ред. Проф. Маковского Л.В. — М.: РИОР: ИНФРА-М, 2014, 397 с.
3. Маковский Л.В., Кравченко В.В. Применение опережающей бетонной крепи в тоннелестроении. Наука и техника в дорожной отрасли, №2. — М., 2020, с.19-21.
4. Саласар Э. Исследование статической работы ребристых тоннельных обделок. «Метро». — М.: 1999, №1. — С. 13-18.
5. Юркин О.В. Расчет конструктивных параметров обделок с наружными ребрами жесткости. Научно-технический альманах «Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций». — 2010, №2. — С. 30-32.

# MiningWorld Russia

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

20–22 октября 2020  
Москва, Крокус Экспо



Получите бесплатный  
билет на сайте  
по промокоду

**mwr20iERER**

[miningworld.ru](http://miningworld.ru)  
[miningrussiasupport@hyve.group](mailto:miningrussiasupport@hyve.group)



# ПЕРСПЕКТИВЫ И ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ

О. А. МАКОВЕЦКИЙ, к. т. н.;  
Д. К. СЕРЕБРЯННИКОВА

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

*ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО — БУДУЩЕЕ РОССИЙСКИХ ГОРОДОВ. БЛИЗКОЕ ИЛИ ДАЛЕКОЕ — ЭТО ЗАВИСИТ ТОЛЬКО ОТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ. С РАЦИОНАЛЬНОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ — ЭТО ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЯТНА ЗАСТРОЙКИ НЕ ТОЛЬКО ВВЕРХ, НО И ВНИЗ, ЧТО ВЕСЬМА ВАЖНО В ОРГАНИЗАЦИИ ОГРАНИЧЕННОГО ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА. А С ИНЖЕНЕРНОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ УСТРОЙСТВО ДВУХ-ТРЕХ ПОДЗЕМНЫХ ЭТАЖЕЙ ЯВЛЯЕТСЯ ВПОЛНЕ РЕАЛИЗУЕМОЙ ЗАДАЧЕЙ.*

## ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Выход городов на новые территории, в том числе, нарушает баланс в подземной геологической среде техногенным воздействием на нее и приводит к преобразованиям, большей частью неблагоприятным для эксплуатации земель, в первую очередь из-за нарушения баланса подземных вод, которые являются основным динамическим фактором.

Подтопление территорий происходит в результате изменения путей поверхностного стока атмосферных вод и путей миграции подземных вод. Но значительная его часть происходит за счет утечек водоведущих коммуникаций. Для крупного города объем таких утечек может достигать до 10 тыс. м<sup>3</sup> в сутки. Во многих городах уровень грунтовых вод за последние 40 лет поднялся в среднем на 8-10 м и располагается уже на глубине 2-4 м от поверхности.

Техногенное подтопление территорий, общий и локальный подъем уровня грунтовых вод является в настоящее время серьезной проблемой для большинства крупных городов, расположенных на надпойменных речных террасах.



Разлив талых весенних вод (г. Пермь)

В России в подтопленном состоянии находится около 800 тыс. га городских территорий. Из 1092 городов подтопление отмечается в 960 (88%), в том числе в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Омске, Ростове-на-Дону, Томске, Хабаровске, Новгороде, Ярославле, Казани. Ущерб от подтопления 1 га городской территории (в зависимости от степени ее застройки капитальными



сооружениями, наличия исторических и архитектурных памятников, разветвленности подземной инфраструктуры) составляет от \$15 до 200 тыс.

Геологическая среда в городах с развитой промышленностью подвергается интенсивному техногенному воздействию, что нередко приводит к развитию процессов и явлений, отрицательно воздействующих на инженерные сооружения. Разработка методики прогноза возникновения и развития негативных процессов представляет собой сложную задачу ввиду необходимости учета большого количества факторов. Методические основы прогноза изменения инженерно-геологических условий городов в целом не разработаны. В связи с этим встает необходимость оценки изменения состояния геологической среды, разработки и обоснования мероприятий по предотвращению развития негативных процессов или защите сооружений от них, а также оценка эффективности этих мероприятий, то есть мониторинг геологической среды.

Для оптимального развития и освоения подземного пространства на территории крупных городов объективно необходимым является поэтапное внедрение элементов геомониторинга, в конечном итоге предполагающего организацию рационального недропользования и разработку мероприятий по охране геологической среды.

## ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В ПРЕДЕЛАХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Что необходимо учитывать при проектировании подземного сооружения в зоне примыкания к существующим сооружениям?

Принцип достаточно старый — «не навреди». Это означает, что при решении вопросов примыкания к существующим зданиям и сооружениям необходимо, прежде всего, собрать максимум данных о существующем состоянии конструкций и геологической среды. Имея полный объем информации, можно достаточно полно смоделировать сценарий внедрения в эту среду нового здания, с оценкой всех этапов возведения и эксплуатации. Современные геотехнические технологии позволяют выполнить процесс строительства с минимизацией воздействий на сложившуюся геотехническую среду. Безусловно, необходимостью является и постоянный геотехнический мониторинг в процессе строительства.

Какие методы рекомендуется использовать и в чем преимущество использования таких технологий в условиях плотной застройки?



Строительство подземной части комплекса в Санкт-Петербурге

Категорически отметить какие либо методы возведения подземной части здания не стоит. При разумном подходе все они позволяют получить ожидаемый результат, главное — правильно ими управлять.

Наиболее критичным воздействием на геотехническую среду является изменение подземного стока путем устройства дренажей. Возникающие при этом колебания уровня подземных вод распространяются на достаточно обширную окружающую территорию и наименее предсказуемы. На наш взгляд, наиболее управляемым в этом случае является процесс устройства вертикальных и горизонтальных противодиффузионных завес вокруг подземной части здания, не вызывающий дополнительных воздействий на основание. Для устройства подобных конструкций наиболее приемлемыми являются методы струйной цементации грунтов Jet-grouting и технология возведения подземных сооружений «стена в грунте».

Технические решения по строительству открытым способом должны быть комплексными и включать в себя технологии крепления котлована, разработки грунта в нем и устройства конструкций сооружения, инженерные мероприятия по защите котлована и самого объекта от подземных вод, инженерные мероприятия по обеспечению сохранности близрасположенной существующей застройки, а также обеспечивать выполнение экологических требований.

Обоснование этих технических решений должно обеспечиваться проектными расчетами напряженно-деформированного состояния ограждающих конструкций и вмещающего массива грунтов вместе с примыкающими к котловану зданиями и сооружениями, гидрогеологического режима подземных вод и фильтрационного притока в котлован.

На выбор технологии возводимого открытым способом подземного сооружения решающее значение оказывают следующие факторы:

- габариты подземного сооружения в плане и по глубине;
- месторасположение подземного сооружения (строительство на свободной территории или в условиях тесной существующей застройки);
- инженерно-геологические и гидрогеологические условия участка строительства;
- необходимость соблюдения экологических требований;
- экономические соображения;
- возможности строительной организации.

Выбранная технология возведения подземного сооружения должна обеспечивать непревышение допустимых дополнительных деформаций эксплуатируемых зданий, попадающих в зону влияния нового строительства, с учетом их технического состояния.

Конструкция и технология устройства ограждения котлована при строительстве подземного сооружения открытым способом должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать устойчивость стен котлована в процессе и после полной разработки грунта;
- воспринимать нагрузку от сооружения, если ограждение входит в состав конструкции подземного сооружения;
- обеспечивать водонепроницаемость, если невозможно или экономически нецелесообразно водопонижение;
- должна быть предусмотрена многократная оборачиваемость элементов крепи, если ограждение является временным;
- крепление не должно загромаздить котлован, мешать выемке и обратной засыпке грунта и монтажу основных конструкций;
- обеспечивать сокращение материалоемкости, трудоемкости и сроков строительства;
- обеспечивать сохранность эксплуатируемых наземных и подземных объектов, попадающих в зону влияния строящегося подземного сооружения.

## ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНОВ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»

Способ «стена в грунте» является одним из наиболее прогрессивных и универсальных для устройства подземных сооружений, возводимых в открытых котлованах.



Устройство подземной части комплекса зданий по технологии «стена в грунте» (г. Тюмень)

По назначению различают три типа стен: несущие, ограждающие и противодиффузионные.

Способ «стена в грунте» позволяет осуществлять строительство:

- в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений;
- при значительной глубине сооружения (до 50 м);
- при больших размерах в плане и сложной форме сооружения;
- при высоком уровне подземных вод.

По грунтовым условиям способ может применяться в любых дисперсных грунтах.

При устройстве больших котлованов, внутри которых возводится здание или сооружение, ограждающие конструкции, выполненные методом «стена в грунте», используют как внешние стены подвальных помещений. В этом случае нагрузка от здания передается на фундаменты, не связанные с ограждающими стенами.

При необходимости ограждающие конструкции, устраиваемые таким методом, могут выполнять двойную функцию: являются и ограждением котлована, и конструктивным элементом, но при этом изменяется конструктивная схема подземной части здания и производится два расчета: на ограждение котлована «стена в грунте» и на боковое давление грунта и расчет «стены» на вертикальную нагрузку.

Современные технологии позволяют устраивать конструкции подземных сооружений разных форм, но традиционными и наиболее часто встречающимися являются конструкции из прямолинейных стенок.

Расстояние между стенками, как правило, принимается до 15–20 м из расчета прочности и устойчивости распорных конструкций. При расстоянии более 20 м устойчивость стен обеспечивается анкерами. Обеспечение устойчивости «стен в грунте» за счет применения наклонных анкеров является наиболее простым и дешевым мероприятием.

При наличии грунтов, содержащих твердые включения природного или техногенного происхождения (крупные валуны, обломки бетонных конструкций, каменной кладки и др.) при проходке траншеи используется техника, оснащенная фрезерным оборудованием (например, фирм «Бауэр», «Касагранде»).

Использование грейферного оборудования, которым извлекаются крупные включения, может привести к деформированию стенки траншеи, падению уровня тиксотропного раствора и деформациям окружающего массива и близрасположенных зданий.

Для надежного уплотнения проблемных стыков между панелями траншейных стен, как показал опыт строительства, успешно может быть применена технология струйной цементации Jet-grouting. При этом цементационные работы могут выполняться как снаружи ограждающих котлован стен, так и изнутри котлована до его разработки. С этой целью в зависимости от прогнозируемой величины раскрытия стыков с глубиной могут быть применены неармируемые или армируемые металлическими трубами грунтоцементные колонны диаметром 60 или 80 см.

Для разработки грунтового ядра внутри подземного сооружения, возводимого способом «стена в грунте», рекомендуется применять технологию, которая предусматривает разработку вначале центральной части грунтового массива внутри сооружения на глубину одного яруса с сохранением по периферии неразработанных участков. Такой прием облегчает работу ограждающей конструкции. Затем монтируются распорные конструкции, и разрабатывается оставшаяся часть грунта.

Новым и прогрессивным является также способ разработки грунта в котловане через перекрытия в многоуровневых подземных сооружениях. В этом случае дополнительная крепь ограждающих стен не применяется.

## ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Технология струйной цементации, или Jet-grouting, заключается в разрушении и перемешивании грунта высоконапорной струей цементного раствора, исхо-

дящего под высоким давлением из монитора, расположенного на нижнем конце буровой колонны. В результате в грунтовой массе формируются сваи диаметром 0,6–1,5 м из нового материала «грунтобетон» с достаточно высокими несущими и противофильтрационными характеристиками.



Устройство грунтобетонных элементов (г. Краснодар)

Устройство свай из грунтобетона выполняется в два этапа: производство прямого (бурение скважины) и обратного хода буровой колонны. В процессе обратного хода производят подъем колонны с одновременным ее вращением. При этом поднимают давление цементного раствора, который поступает в сопла монитора, создающие струю с высокой кинетической энергией.

Сваи, образуемые с использованием струйной технологии, могут быть круглого сечения, а также секционные.

Технология струйной цементации может быть эффективно применена при решении следующих задач подземного строительства:

- сооружение ленточных в плане конструкций типа «стена в грунте»;
- устройство анкерных креплений;
- укрепление грунта вокруг строящихся подземных сооружений;
- создание противофильтрационных завес;
- уплотнение стыков между панелями траншейных «стен в грунте».

К основным преимуществам технологии относятся: высокая производительность, простота, экономичность, возможность работы в стесненных условиях (вблизи существующих зданий, в подвалах), отсутствие негативных ударных воздействий.

Конструкция ограждения котлована может выполняться из одного ряда секущихся грунтоцементных свай (например, диаметром 600 мм с шагом 500 мм) или с расположением свай меньшего диаметра в два ряда в шахматном порядке. Для крепления такого ограждения также могут быть применены грунтоцементные сваи, наклоненные под углом 30–45° к вертикали. Сваи ограждения и крепления объединяются поверху монолитной железобетонной обвязочной балкой.

Для повышения устойчивости стен, выполненных методом струйной цементации, применяют их армирование стальными трубами или прокатными балками.

Оборудование для реализации струйной цементации включает в себя буровую установку и насос с давлением нагнетания цементного раствора 400–500 атм.

Применение Jet-grouting на ряде объектов в сложных инженерно-геологических условиях показало эффективность и перспективность этой технологии, как при новом строительстве, так и при реконструкции зданий в условиях тесной городской застройки.

### СТРОИТЕЛЬСТВО СПОСОБАМИ «СВЕРХУ-ВНИЗ» И «ВВЕРХ-ВНИЗ»

Способы строительства подземных сооружений «сверху-вниз» и «вверх-вниз» позволяют отказаться от крепления ограждения котлована временными распорными конструкциями или анкерными креплениями, так как в качестве распорной системы для ограждения здесь используются междуэтажные перекрытия. При втором из способов, кроме того, существенно сокращаются сроки строительства.

**ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАВИСИТ ОТ МНОГИХ ФАКТОРОВ: ГАБАРИТЫ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ В ПЛАНЕ И ПО ГЛУБИНЕ, МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЕ (НА СВОБОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ ИЛИ В УСЛОВИЯХ ТЕСНОЙ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ), ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА, НЕОБХОДИМОСТЬ СОБЛЮДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ, ВОЗМОЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ.**

Эти методы являются наиболее щадящими по отношению к близлежащей существующей застройке, обеспечивая минимальные, по сравнению с другими способами крепления котлованов, осадки существующих зданий и сооружений.

При способе строительства подземных сооружений «сверху-вниз» (полузакрытый способ) могут быть использованы три основных технологических приема, определяющих порядок возведения монолитных железобетонных перекрытий и поярусной разработки грунта под их защитой.

Первый прием базируется на опережающем возведении перекрытий по отношению к поярусной разработке грунта в котловане, при этом бетонирование перекрытий осуществляется безопалубочным методом непосредственно на подготовленном грунтовом основании.

Второй прием предполагает опережающую поярусную разработку грунта и последующее возведение перекрытий с помощью инвентарной опалубки, опирающейся на подготовленное грунтовое основание.

Третий прием — комбинированный и сочетает в себе как элементы технологии возведения перекрытий безопалубочным методом, так и с опиранием инвентарной опалубки на подготовленное грунтовое основание.

Разработка грунта в котловане под защитой перекрытий производится малогабаритными экскаваторами и обычными бульдозерами, а выдача грунта — с помощью грейферного экскаватора через монтажные отверстия в перекрытиях.

Метод «вверх-вниз» предусматривает строительство зданий с несколькими подземными этажами за счет одновременного сооружения этажей вверх и вниз от уровня поверхности земли с устройством ограждения котлована способом «стена в грунте», которое часто служит стеной подземной части здания. Способ позволяет сократить общие сроки строительства здания в целом до 30%.

Строительство по схеме «вверх-вниз» начинается с устройства траншейных «стен в грунте» по периметру сооружения и промежуточных буровых опор (колонн). Траншейные стены и буровые колонны служат опорами будущих конструкций верхнего строения. Далее начинается открытая разработка грунта на первом подземном ярусе и параллельно захватками возводится перекрытие над первым этажом. При достижении бетоном перекрытия в уровне земли 75% прочности на нем в специально усиленной зоне стационарно устанавливается башенный кран. По достижении 100% прочности начинается возведение кон-

струкций наземных этажей и одновременно ведется строительство второго и последующих подземных этажей по одному из трех технологических приемов, описанных выше.

Выбор технологии строительства зависит от многих факторов: габариты подземного сооружения в плане и по глубине, месторасположение (на свободной территории или в условиях тесной существующей застройки), инженерно-геологические и гидрогеологические условия участка строительства, необходимость соблюдения экологических требований, экономические соображения, возможности строительной организации.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Проблема надежности подземного сооружения, в зависимости от конкретного объекта исследования, носит специфические черты, которые затрудняют создание какого-либо общего руководства по методам оценки и обеспечению безотказной работы. Объектом исследования в узкоспециальном смысле подразумевается строительный объект, который может быть представлен в виде группы зданий, отдельных зданий и сооружений, конструкций, детали, материала или грунта.

Мегасистема включает в себя совокупность зданий или сооружений (строящихся, эксплуатируемых или их сочетания) и инженерно-геологических условий в границах рассматриваемой территории. При оценке надежности мегасистемы требуется учитывать взаимное влияние ее составляющих. Отсутствие такого учета на этапах предпроектных исследований, проектирования и строительства нередко приводит к аварийным ситуациям. Геологическая среда является наиболее значимым фактором в определении надежности мегасистемы.

Технический регламент о безопасности зданий и сооружений собрал в себе весь опыт проектирования и строительства, накопленный за долгие годы. К сожалению, в период 90-х годов прошлого века этот опыт не был передан следующему поколению молодых проектировщиков (по разным причинам, по большей части организационно-экономическим). В настоящее время этот регламент необходим для системного понимания процесса возведения зданий и сооружений, как базовый документ в ранге федерального закона.

С точки зрения геотехники регламент не содержит в себе (да и не должен) быстро изменяющиеся дета-

ли проектирования, которые определяются инструктивными нормативными документами — сводами правил. Они находятся в постоянном развитии и владение ими — обязанность грамотного и подготовленного строителя. Для развития подземного строительства необходим выпуск региональных нормативных документов, учитывающих особенности геотехнического пространства.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, основными принципами развития подземного пространства должны быть:

1. Комплексная оценка геотехнической ситуации мегаполиса, включающая в себя особенности геологической среды: специфические грунты, высокий уровень подземных вод, сейсмическая опасность.

2. Проектирование подземных частей зданий и сооружений с учетом сложившейся градостроительной ситуации.

3. Использование современных геотехнических технологий, обеспечивающих сохранность геотехнической среды города.

4. Разработка и внедрение региональных геотехнических нормативных документов, углубляющих и детализирующих основные положения Технического регламента о безопасности зданий и сооружений, с учетом местного накопленного опыта.

Реализация этих принципов, характерных для многих крупных городов России, позволит в короткие сроки начать комплексное освоение подземного пространства. Соблюдение предложенных принципов также позволяет оптимизировать затраты и обеспечить высокую эксплуатационную надежность и безопасность подземных сооружений.



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

# ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ИСТОРИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ ПЕТЕРБУРГА

*В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА В ЗОНЕ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ОСОБУЮ АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИОБРЕТАЕТ СТРОИТЕЛЬСТВО ПОДЗЕМНЫХ ПАРКИНГОВ. ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТАКИХ ПРОЕКТОВ ВАЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КОТОРЫЕ ОБЕСПЕЧИВАЮТ МИНИМАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОКАЗЫВАЮТ НАИМЕНЬШЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СОСЕДНИЕ ЗДАНИЯ.*

**С**троительство подземных сооружений в исторической части города налагает большую ответственность на подрядную компанию. В процессе выполнения работ, в частности, большое внимание следует уделять постоянному мониторингу окружающей застройки. В качестве примера рассмотрим два проекта по созданию современных подземных паркингов, реализуемых Группой компаний «ГЕОИЗОЛ».

## ДВУХЪЯРУСНЫЙ ПОДЗЕМНЫЙ ПАРКИНГ В БИЗНЕС-КВАРТАЛЕ «НЕВСКАЯ РАТУША»

С конца 2019 года реализуется проект создания «Административного общественно-делового комплекса с подземной автостоянкой по адресу: г. Санкт-Петербург, Дегтярный переулок, д. 7, лит. «А» (2-я очередь «Невской Ратуши»).

Согласно проектной документации, подземный паркинг на 1338 машино-мест будет построен в два этапа, общая площадь застройки — более 20,2 тыс. м<sup>2</sup>. По контракту с ООО «ГЕОИЗОЛ» в рамках первого этапа предусматривается устройство 756 машино-мест, общая площадь застройки — 10,6 тыс. м<sup>2</sup>.

Строительство ведется методом Top-down с применением технологий «стена в грунте», буронабивных свай, шпунтового ограждения.

«Стена в грунте» является одним из самых щадящих методов создания ограждающих конструкций для подземных сооружений глубиной более 4 м. Одно из

преимуществ технологии связано с тем, что она дает возможность устройства глубоких котлованов в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений. Именно благодаря этому «стена в грунте» эффективно применяется в условиях плотной городской застройки, в том числе в исторической части города.

Метод Top-down позволяет одновременно производить работы по устройству подземного пространства и возведению наземной части. Использование данной технологии не только сокращает стоимость и сроки строительства объекта, но и обеспечивает минимальное воздействие на окружающую застройку.

Свайное основание выполнено по технологии Fundex из 939 буронабивных свай, длиной 28,2 м каждая. Затем, согласно проекту, были осуществлены 124 захватки «стены в грунте» на глубину 28,2 м. Ширина каждой из них составляет 2,8 м, а толщина — 800 мм.

После изготовления всех захваток «стены в грунте» по верху конструкции была выполнена обвязочная железобетонная балка 800 на 1100 мм, длиной 366,4 пог. м. Кроме этого, методом безрезонансного вибропогружения устроено шпунтовое ограждение (всего погружено 316 шт. шпунта Ларсена, длиной 27 м и общим весом 948 т). Для обеспечения герметичности мест сопряжения шпунта и конструкции «стены в грунте» была использована технология струйной цементации грунтов — Jet grouting.

После набора прочности конструкций свай и ограждающей конструкции, созданной по технологии «стена в грунте», проводились работы по осушению котлована. Для этого буровой установкой Bauer-BG30 «под обсадной

трубой» были сделаны 23 скважины диаметром 820 мм на глубину 15 м с выемкой грунта. Затем в них опускались перфорированные трубы диаметром 530 мм, с последующей забутовкой гранитным щебнем. В трубы были установлены глубинные поплавковые насосы, которые и обеспечивали осушение котлована.

Все работы ведутся поступательно от корпуса №4 к корпусу №6 будущего бизнес-центра с соблюдением 30-метровых зон.

На данный момент специалисты ООО «ГЕОИЗОЛ» завершили работы по устройству плиты перекрытия минус первого этажа, которая служит распорным диском для ограждения котлована. Ведется выемка грунта из технологических проемов для устройства железобетонной плиты перекрытия минус второго этажа.

Срок окончания работ согласно условиям контракта — май 2021 года.

## УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ ПАВЛОВСКИХ КАЗАРМ

С октября 2018 года с целью приспособления под апартаменты на 198 номеров ООО «ГЕОИЗОЛ» ведет реализацию проекта по усилению существующих фундаментов и организации подземных пространств здания бывших казарм лейб-гвардии Павловского полка (Марсово поле, д. 1, лит А).

Здание относится к памятникам истории и культуры федерального значения, все ремонтно-восстановительные работы согласованы с КГИОПом. В течение всего периода строительства ведется тщательный мониторинг окружающей застройки.

Одна из сложностей реализации проекта состоит в том, что по адресу Марсово поле, д. 1, лит. А расположено не одно здание, а по сути комплекс сооружений, объединенных в один ансамбль и имеющих фундаменты с различной глубиной заложения. Кроме этого, производство работ происходит в стесненных условиях внутридворового пространства с единственным въездом.

На первоначальном этапе специалисты компании выполнили большой объем обследований здания и произвели укрепление тела фундамента и основания под ним для предотвращения возможных осадков, допустимый уровень которых составляет не больше 15 мм. Для этого устроили 2264 буроинъекционных сваи GEOIZOL-MP 52/28 и осуществили инъецирование фундаментов. По несущим стенам было выполнено 2667 пог. м противокapиллярной отсечной гидроизоляции с предварительной расшивкой швов кирпичной кладки и последующим их



заполнением полимерцементным раствором (с целью предотвращения выхода гидрофобизатора наружу при инъецировании).

В настоящее время в рамках первой очереди проекта завершены работы по изготовлению свайного поля, устройству ограждения котлована по технологии «стена в грунте», выполнено укрепление грунтов по технологии Jet grouting, разработан котлован до проектной отметки, залита фундаментная плита. В рамках второй очереди производятся аналогичные операции.

Для предотвращения значительных осадков здания все строительные работы выполняются в четкой последовательности, с жестким соблюдением технологий. Например, при изготовлении ограждающей конструкции по методу «стена в грунте» важно контролировать параметры бентонитового раствора, состав которого должен быть предельно выверен по плотности. В противном случае при разработке захватки могут образоваться вывалы, которые будут оказывать негативное влияние на фундамент здания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**На счету Группы компаний «ГЕОИЗОЛ» множество реализованных проектов, доказавших, что при строгом соблюдении технологий и качественном выполнении работ возможно устройство глубоких котлованов для подземных сооружений даже в условиях большой толщи слабых грунтов Санкт-Петербурга. С использованием метода «стена в грунте» компания реализовала 26 проектов нулевого цикла. Речь идет о возведении жилых, торгово-развлекательных и общественно-деловых зданий с подземными многоуровневыми парковками с заглублением до 20 м.**

*По материалам Группы компаний «ГЕОИЗОЛ»*