

## Учредители журнала

Тоннельная ассоциация России  
Московский метрополитен  
Московский метрострой  
Мосинжстрой  
Трансинжстрой

## Редакционный совет

### Председатель совета

Г. Я. Штерн

### Заместитель председателя

В. М. Абрамсон

### Члены совета:

В. П. Абрамчук, В. Н. Александров,  
В. А. Гарюгин, В. В. Гридасов,  
С. Г. Елгаев, А. М. Земельман,  
Б. А. Картозия, М. М. Рахимов,  
Г. И. Рязанцев

## Редакционная коллегия:

С. А. Алпатов, А. А. Гончаров,  
А. В. Ершов, М. Г. Зерцалов,  
Н. И. Кулагин, Е. Н. Курбацкий,  
Г. Н. Матюхин, В. Е. Меркин,  
А. Ю. Педчик, Г. Н. Полянкин,  
П. В. Пуголов, А. Ю. Старков,  
Б. И. Федунец, Ш. К. Эфендиев

## Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172  
факс: (495) 607-3276  
www.tar-rus.ru  
e-mail: rus-tunnel@mail.ru

## Издатель

### ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71  
127521, Москва,  
ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,  
оф. 4206  
e-mail: metrotunnels@gmail.com

### Генеральный директор

О. С. Власов

### Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

### Фотограф

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов  
журнала только с письменного  
разрешения издательства  
© ООО «Метро и тоннели», 2013

## № 6 2013

### Подводя итоги

Задачи отрасли метротоннелестроения на 2014 год 2

Г. Я. Штерн

Панорама 4

### 35 лет ФГУП УС-30

Основные итоги деятельности ФГУП «Управление  
строительства № 30» в подземном строительстве 6

В. П. Абрамчук, А. Ю. Педчик, В. В. Костенко

Сотрудничество науки и производства –  
залог эффективного и безопасного строительства  
подземных сооружений 10

Н. Н. Мельников, Ю. А. Епимахов,

Н. Н. Абрамов, Е. В. Кабеев

Отработка параметров буровзрывных работ  
при проходке железнодорожного тоннеля 14

В. А. Фокин

Проблемы категорирования горных пород  
по трудности их разрабатывания 20

В. П. Абрамчук, А. Ю. Педчик,

В. В. Костенко, Ф. Г. Меденков, С. В. Чмыхалова

Обоснование оптимальных взрывчатых характеристик  
эмульсионных взрывчатых веществ для проходки  
горных выработок на подземных рудниках ОАО «Апатит» 23

С. А. Козырев, А. А. Браунштейн, М. Н. Оверченко

### Новые станции

Киевский метрополитен: станция «Теремки» 26

А. К. Охотников

### Специальные способы работ

Применение микротоннелирования  
для строительства тоннелей большого сечения 28

А. М. Слизкий

Натурные и теоретические исследования  
взаимодействия головной секции  
и грунтового массива при производстве работ  
по продавливанию тоннелей 33

Г. В. Мосолов

### Управление рисками

Управление геотехническими рисками  
в подземном строительстве 36

В. Е. Меркин, М. Г. Зерцалов, Д. С. Конюхов

# СОДЕРЖАНИЕ



## ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Механизированная опалубка  
для возведения постоянной  
крепии тоннеля донного водо-  
выпуска – водосброса Юма-  
гузинского гидроузла

# ЗАДАЧИ ОТРАСЛИ МЕТРОТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ НА 2014 ГОД



**Г. Я. Штерн,**  
председатель правления  
Тоннельной ассоциации России

**Б**лизится к завершению 2013 год – весьма результативный для отрасли метротоннелестроения. Тоннельная ассоциация России с удовлетворением отмечает, что практически все задачи, стоящие перед метростроителями России и стран СНГ в уходящем году, успешно выполнены. Одним из наиболее весомых результатов является завершение строительства Олимпийских объектов в г. Сочи. Все тоннели, запланированные к строительству и реконструкции в целях обеспечения решения транспортных проблем зимней Олимпиады, уже введены в строй и ждут своих дорогих гостей.

При строительстве совмещенной (автомобильной и железной) дороги Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис», предназначенной для доставки зрителей и участников соревнований на горные стадионы Красной Поляны, особое внимание было уделено вопросам экологической безопасности и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Данная дорога включает целый ряд автодорожных, железнодорожных тоннелей и сервисно-эвакуационных штолен общей протяженностью свыше 32 км.

Значительная программа тоннельного строительства реализована в рамках создания дублера Курортного проспекта г. Сочи и других транспортных артерий региона. Весь этот огромный объем подземного строительства освоен в беспрецедентно короткие сроки.

Таким образом – нашим Олимпийцам еще только предстоит побить самые высокие мировые рекорды, а тоннельщики свой рекорд уже установили.

Значительные успехи достигнуты и в строительстве тоннелей и сооружений метрополитена в городах России. Наиболее грандиозная стройка развернулась в столице нашей Родины Москве.

В рамках реализации стратегической программы правительства Москвы по развитию Московского метрополитена, за период 2011–2020 гг. должно быть построено более 160 км линий метро и 70 станций. В настоящее время в завершающей стадии находится строительство по участкам ст. «Деловой центр» – ст. «Парк Победы» Калининско-Солнцевской линии, ст. «Улица Старокачаловская» – ст. «Битцевский парк» Бутовской линии, введены в эксплуатацию станции «Лермонтовский проспект» и «Жулебино» Таганско-Краснопресненской линии. В 2014 г. планируется сдать в эксплуатацию станцию «Котельники» этой же линии, а также участки ст. «Марьино» –

ст. «Петровско-Разумовская» – ст. «Селигерская» Люблинско-Дмитровской линии, ст. «Юго-Западная» – ст. «Тропарево» – ст. «Румянцево» – ст. «Саларьево» Сокольнической линии, станции «Спартак» Таганско-Краснопресненской линии, «Технопарк» Замоскворецкой линии, второй вестибюль станции «Международная» Филевской линии. Одновременно в работе находится ряд участков, подлежащих сдаче в 2015 г. и далее. Всего задействовано свыше 20 тоннелепроходческих механизированных комплексов, что также является рекордом для любого мегаполиса мира.

Необходимо отметить, что подготовка России к проведению зимних Олимпийских игр 2014 г. и реализация перспективных программ развития транспортной инфраструктуры страны создали уникальные условия для технического перевооружения одной из самых трудоемких и сложных в инженерном отношении отраслей строительства – сооружение тоннелей и метрополитенов.

Современный уровень тоннелестроения характеризуется широким внедрением новых методов расчета и проектирования конструкций, применением эффективных материалов, высокопроизводительных машин, механизмов, оборудования. Естественно, что эти процессы не могли ограничиться только строительством на территории Российской Федерации, но и активно происходят в деятельности строительных организаций стран СНГ – ассоциированных членов Тоннельной ассоциации.

Значительное развитие теория и практика тоннелестроения получили в АО «Алматыметрокурлыс» (Казахстан), АО «Азертуннельметротикинти» (Азербайджан), ОАО «Минскметрострой» (Белоруссия) и др. Пользуясь случаем, хочется поздравить белорусских метростроителей с вводом в эксплуатацию станций «Грушевка», «Михалово» и «Петровщина» с участком протяженностью более 5 км.

Нет необходимости лишний раз доказывать, какое огромное значение имеет всесторонний обмен опытом и знаниями между специалистами разных стран самого различного профиля: строителями, проектировщиками, научными работниками, разработчиками и производителями оборудования, конструкций и материалов, организаторами строительного производства. Одним из инструментов для такого обмена опытом и знаниями является проведение научно-технических конференций, семинаров и прочих форумов по актуальным проблемам нашей отрасли, которое широко используется в практике работы Тоннельной ассоциации.

Велик вклад в наше общее дело учебных заведений, которые готовят кадры специалистов для работы в научных, проектных, строительных и производственных организациях, обеспечивающих сооружение тоннелей и метрополитенов.

Не следует забывать и о регулярном повышении квалификации инженерно-технических работников, уже окончивших учебные заведения в предыдущие годы и трудящихся в настоящее время в нашей отрасли. Для этих целей в конце 2013 г. в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ) создана кафедра транспортные тоннели и метрополитены, функционирующая при Тоннельной ассоциации России. Занятия на кафедре проводятся силами ведущих ученых и специалистов, привлекаемых Тоннельной ассоциацией.

Имеется еще много задумок и планов, которые необходимо реализовать в 2014 г. и в последующие годы. Наша отрасль находится на подъеме и готова к выполнению самых сложных задач в сфере своей деятельности.

Поздравляя строителей метро и тоннелей с Новым, 2014 годом, хочу пожелать им, их родным и близким крепкого здоровья, большого счастья в жизни, дальнейших успехов и достижений в нашем общем труде на благо Отечества.



# МОСМЕТРОСТРОЙ НАЧАЛ ПРОХОДКУ НОВОГО ПЕРЕГОННОГО ТОННЕЛЯ

18 ноября 2013 г. Мосметрострой начал сооружение правого перегонного тоннеля от ст. «Селигерская» до ст. «Верхние Лихоборы» на участке продления Люблинско-Дмитровской линии метро. Тоннелепроходческий комплекс (ТПМК) Lovat-238 SE, названный «Абигайль», стартовал на глубине 20 м. Ему предстоит пройти 1200 м под Дмитровским шоссе под уклоном 0,044 и завершить проходку тоннеля на глубине 40 м, примкнув к будущей станции «Верхние Лихоборы».

Данный комплекс будет вести проходку параллельно ТПМК Lovat-242SE «Клавдия», который стартовал 10 октября 2013 г. Принципиальная схема применяемых на этом объекте щитов диаметром 6 м основана на технологии, предусматривающей для проходки систему активного грунтопригруза и использования водонепроницаемой сборной железобетонной обделки из высокоточных блоков с уплотнительными упругими прокладками в стыках. Принятая технология включает современные компьютерные навигационную и управляющую системы. Высокий уровень механизации и час-

точной автоматизации производственных процессов обеспечивает значительную эффективность и безопасность подземных работ.

На вооружении коллектива Мосметростроя «Абигайль» уже не первый год. В 2009 г. она участвовала в сооружении двух перегонных тоннелей метрополитена (длиной 1324 м) в Нижнем Новгороде между ст. «Московская» и «Горьковская». Они пересекают тесно застроенную историческую зону центра города и расположены в сложных рельефных и инженерно-геологических условиях, представленных толщей водонасыщенных песков и глинистых отложений, частично переслоенных полускальными и скальными грунтами при высоком гидростатическом давлении.

Следующей дистанцией для «Абигайль» стал в 2012 г. участок перегонного тоннеля длиной 700 м от ст. «Красногвардейская» до «Алма-Атинской» Замоскворецкой линии Московского метро.

В котловане рядом с будущей станцией «Селигерская» опытный коллектив метростроевцев в ускоренном темпе произвел



ТПМК «Ловат-238» в стартовом котловане. Три звезды означают пройденные тоннелепроходческим комплексом тоннели

монтаж ТПМК, и теперь будет обеспечивать круглосуточную проходку тоннеля, чтобы прийти к финишу в намеченные сроки — летом 2014 г. На продлении Люблинско-Дмитровской линии работают одновременно пять механизированных тоннелепроходческих комплекса: четыре сооружают перегонные тоннели, один — вентиляционные шахты глубиной 60 м. Впервые в истории российского метростроения на проекте продления линии задействовано такое количество механизированных проходческих машин.

ОАО «Мосметрострой» ведет строительство северного участка Люблинско-Дмитровской линии от ст. «Марьино Роща» до ст. «Селигерская» протяженностью 10,6 км. К работам приступили в 2011 г., необходимо построить шесть станций: «Бутырская», «Фонвизинская», «Петровско-Разумовская» (с пересадкой на Серпуховско-Тимирязевскую линию), «Окружная», «Верхние Лихоборы» и «Селигерская». Интенсивные работы ведутся одновременно на всех площадках радиуса.

Материал подготовлен пресс-службой Московского метростроя

## НОВАЯ СИСТЕМА АСДУ ДЛЯ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

На строительстве Московского метрополитена задействовано около 35 тыс. специалистов, работы ведутся на 150 площадках, а это девять линий и 28 станций. В 2014 г. планируется запустить 35 км метро, девять станций и пять депо. В ближайших планах строителей — ввод в эксплуатацию участка продления Люблинско-Дмитровской линии от ст. «Петровско-Разумовская» до ст. «Селигерская». Это важнейший участок, так как с открытием ст. «Селигерская» будет решена проблема транспортной доступности в крупных жилых массивах севера Москвы, которые до сих пор не обеспечены метрополитеном. Сегодня станция «Петровско-Разумовская» испытывает колоссальные нагрузки в связи с постоянно возрастающим пассажиропотоком. Активное участие в проектировании нового участка от «Петровско-Разумовской» до «Селигерской» принимает ОАО «Транс-ИТ».

Область проектирования — разделы АТДП (автоматика и телемеханика движения поездов) и АСДУ (автоматизированная система диспетчерского управления).

В системе АТДП в качестве основной задействована автоматическая локомотивная сигнализация с автоматическим регулированием скорости и предупредительной сигнализацией (АЛС-АРС-ПС), а в качестве резервной — автоматическая блокировка (АБ) без автоостопов.

Управление и контроль стрелками и сигналами осуществляется с автоматизированных рабочих мест дежурного по посту централизации и электромеханика.

В проекте предусмотрено использование надежных технических решений, хорошо зарекомендовавших себя в опытной эксплуатации.

Система АСДУ является инновационной и вводится на Московском метрополитене поэтапно с



2013 г., в соответствии с новыми общими техническими требованиями к автоматизированным системам управления, благодаря которым меняется сама структура системы диспетчерского управления. Отмечая особенности этой новой системы, стоит упомянуть, что она приходит на смену устаревшей, которая решала задачи на уровне

АСУТП (автоматизированная система управления технологическими процессами). Новая система АСДУ — это система уровня МЭС, которая позволяет решать задачи более высокого уровня, чем АСУТП, и иерархически стоит над ней.

АСДУ решает следующие задачи:

- контроль состояния и распределения ресурсов, а именно:

оборудования, персонала, материалов, технических средств;

- составление производственного расписания;
- управление документами – схемами, инструкциями и т. п.;
- управление персоналом – рапорты, задания, наряды, учет рабочего времени;
- информационная поддержка принятия решений;
- анализ эффективности производственных процессов.

Иными словами, новая система АСДУ должна минимизировать негативное влияние человеческого фактора на диспетчерское управление в Московском метрополитене.

Новая система АСДУ делится на три подсистемы в соответствии с их назначением:

- АСДУ Э – автоматизированная система диспетчерского управления электроснабжением;

• АСДУ ЭМС – автоматизированная система диспетчерского управления электромеханической службой;

• АСДУ ЭС – автоматизированная система диспетчерского управления эскалаторной службой.

В состав их систем входит комплекс технических средств сопряжения с объектами управления и мониторинга, так называемые шкафы УСО, разработанные компанией ОАО «Транс-ИТ». В них применяется передовое оборудование признанных мировых производителей. Например, для реализации всех требований служб эксплуатации Московского метрополитена в качестве контроллеров автоматики и телемеханики используются ПЛК австрийской компании «Bernecker+Rainer Industrie-Elektronik Ges.m.b.H», в качестве серверного оборудования – Hewlett-Packard (США), обо-

рудование передачи данных – Hirschmann Electronic (Германия). Они полностью соответствуют строгим требованиям метрополитена к надежности, функциональности, исполнению. Прошли все испытания на специальном полигоне Московского метрополитена, получили положительные отзывы по результатам испытаний и рекомендованы к применению.

Собственно говоря, обе системы, проектируемые ОАО «Транс-ИТ», так или иначе решают одну задачу – повышение качества пассажироперевозок. Система АСДУ делает это опосредованно – через повышение уровня управления производством и технологическими процессами, система АТДП решает эту задачу напрямую – через повышение уровня безопасности движения поездного состава.



## НОВЫЙ МЕТРОПОЕЗД ДЛЯ МОСКВЫ

Проект нового метropоезда для Москвы, совместно разработанный корпорацией УВЗ и Bombardier Transportation (Канада), представили на выставке «Транспорт России» в Москве.

В размещенном на стенде корпорации центре принятия решений на основе виртуальной реальности гости смогли в полном размере 3D формате оценить внешний вид метровагона, его конструктивные и технические особенности. Также были продемонстрированы отличительные особенности вагонов, например, сидения-трансформеры, которые в час пик можно складывать.

Система позволяет производителю и заказчику в режиме реального времени пройтись по всему составу метropоезда и, находясь в салоне, оценить, насколько комфортно в нем пассажирам, какие условия созданы для людей с ограниченными возможностями. Таким образом, можно сразу вносить уточнения в конструкцию вагона, в соответствии с пожеланиями муниципалитета-заказчика.

«Уралвагонзавод создает новую уникальную продукцию, не имеющую аналогов в мире – вагоны, созданные полностью из композиционных материалов. В



этом году корпорация представила сразу семь новых моделей подвижного состава с кардинально улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками», – подчеркнул Олег Сиенко, генеральный директор корпорации УВЗ.



В Красноярске на содержание законсервированных станций метро потратят 202 млн рублей. Эти средства будут освоены за три года.

Деньги пойдут на обязательные осмотры, откачку грунтовых вод и проветривание. В 2014 и 2016 годах на задачи по сохранению законсервированной подземки потратят по 76,1 млн рублей, в 2015 – 50 млн, сообщает газета «Городские новости».

В краевом Минтрансе отмечают, что на строительство метро требуются куда большие суммы. Так, только для запуска одной ветки от улицы Высотной до железнодорожного вокзала необходимо около 40 млрд рублей.

Ряд громких заявлений сделал 5 декабря член Совета Федерации от Омской области Андрей Голушко. По мнению сенатора, в ближайшие 20 лет омичам не стоит ждать ни окончания строительства аэропорта «Федоровка», ни метрополитена, если подход к проектам не изменится.

Так, например, сенатор не видит необходимости выносить аэропорт за пределы города. Это, по мнению Голушко, может негативно сказаться на логистическом преимуществе Омска, сообщает ГТРК «Омск». А проект метро и вовсе устарел, ему необходима трансформация, как раз сейчас этот вопрос обсуждается в правительстве региона. Только после этого стоит ждать финансовой поддержки федерального центра.



**Мосметрострой**



**Метростроевец**

Издается с 6 августа 1932 года

### Уважаемые друзья!

Еще не поздно оформить подписку на первое полугодие 2014 г. на одну из старейших в России газет о метростроении «Метростроевец».

«Метростроевец» – газета «Московского Метростроя». Издаётся с 1932 г.

С июля 2013 г. издание выходит еженедельно, а значит более оперативно и широко освещает текущую деятельность Мосметростроя.

Еженедельно на четырех полосах – все о сооружении метрополитенов, транспортных тоннелей и развязок, технике и технологиях подземного строительства в России и за рубежом, об истории компании и метростроевцах.

Издание будет интересно специалистам, студентам профильных отделений вузов. Индекс газеты – 24264.

Стоимость подписки в месяц за 4 номера с доставкой на дом составит – 71 руб. 71 коп. (за полгода и 24 номера – 430 руб. 26 коп.), до квартиры – 76 руб. 24 коп (457 руб. 44 коп.), до востребования – 70 руб. 57 коп (423 руб. 42 коп.), льготный – для ветеранов и пенсионеров, оформляющих подписку самостоятельно – 69 руб. 36 коп (416 руб. 16 коп.).

Подписывайтесь на газету «Метростроевец» и будьте в курсе всех событий, текущей деятельности и достижений крупнейшей в России группы компаний по строительству метро и тоннелей!

## СМУ-4 МОСМЕТРОСТРОЯ ИСПОЛНИЛОСЬ 80 ЛЕТ



**В. П. Хрусь,**  
генеральный директор  
СМУ-4 Мосметростроя

В октябре 2013 г. СМУ-4 Мосметростроя исполнилось 80 лет. За это время организация прошла славный и не совсем простой путь. Приказом, подписанным П. П. Ротером, первым начальником и главным инженером Московского метростроя, в октябре 1933 г. на базе ЦЭММ (Центральные электромеханические мастерские) создан завод ЭМЗ-2.

Параллельно с вновь созданным заводом существовали уже Механический завод № 1, изготовлявший конструкции для проходческих работ и проводящий их монтаж на объектах, а также МЧС («Метрострой строительная

часть»), специализирующаяся на монтаже сантехники и электрики.

В 1936 г. эти три организации слились, а почти 25 лет спустя к ним присоединилась КМЭ (контора монтажа эскалаторов). Так сложилось СМУ-4 Мосметростроя и существовало до начала 2000-х, когда организация пополнила список выполняемых работ монтажом слаботочных устройств.

Все эти годы организация была и остаётся единственной на Московском метрострое, выполняющей весь комплекс механомонтажных работ.

«Мы чувствуем себя преемниками московских метро-

строевцев прежних лет, чья трудовая доблесть неоспорима, она является для нас примером. Я, например, директор 23 года, а в целом работаю в СМУ-4 почти 30 лет. Я застал многих выдающихся людей: Николай Павлович Гостеев, Лев Маркович Симак, Василий Васильевич Суровяткин, Леонид Борисович Патрики, Татьяна Константиновна Орехова. К сожалению, многих с нами уже нет. А всех тех, кто работает сегодня, я могу назвать не менее достойными продолжателями. Я горжусь теми, кто работал и работает в СМУ-4 и тем, что и я с ними», – говорит генеральный директор СМУ-4 В. П. Хрусь.



## МЕТРОСТРОЕВЦЫ УКРАИНЫ ПОЛУЧИЛИ ГОСУДАРСТВЕННУЮ ПРЕМИЮ

В 2013 г. Государственной премией Украины по науке и технике была награждена работа «Разработка и внедрение новых ресурсосберегающих и техногенно-безопасных технологий строительства метрополитенов и тоннелей в Украине» – результат многолетнего труда авторского коллектива в составе В. И. Петренко, С. Н. Лихмана, В. В. Яникина, Ю. Н. Айвазова, А. К. Охотникова, В. И. Ярмоленко, Л. А. Михайлюка, С. М. Крашнева, Н. В. Билоуса, А. Л. Тютюкина.

Благодаря проведенным теоретическим исследованиям поведения выработок большого сечения в скальных породах установлено, что основными несущими элементами являются сам скальный массив при оптимальной форме выработок и крепления, которые здесь применяются.

В работе теоретическим путем определена стойкость «стен в грунте», которая широко используется при строительстве станций мелкого заложения, как например: «Житомирская», «Бориспольская», «Васильковская», «Голосеевская», «Демеевская», «Выставочный центр», «Ипподром», «Теремки». Кроме этого, обоснованы методы крепления стен с помощью анкеров и способ применения струйной цементации по системе jet-grouting слабых оснований ряда станций.

Показано, что при продавлировании в грунтовый массив с разнородными пластами и водонасыщенными образованиями на сборные конструкции крепления ствола интенсив-

ность бокового давления по высоте имеет нелинейный или кусочно-линейный характер, а максимальное напряжение давления и сгибающие моменты в сечении обделки возникают в пределах нижних водонасыщенных и плотных сухих грунтах.

По результатам экспериментально-теоретических исследований впервые разработана методология оценки обеспечения надежности и долговечности несущих железобетонных конструкций подземных сооружений в условиях действия агрессивной среды, что позволяет учитывать физико-химические закономерности кинетики коррозии бетона и арматуры и их влияние на напряженно-деформированное состояние конструкций.

Научная значимость этой работы состоит в решении задач сооружения и реконструкции тоннелей различного назначения, изучении теоретическими и экспериментальными методами напряженно-деформированного состояния «крепление – грунтовый массив» с целью

выбора наиболее рациональных, с точки зрения безопасности и экономической эффективности, строительных конструкций.

Практическая значимость этой работы подтверждается разработками и широким внедрением новых высокоэффективных техногенно-безопасных технологий строительства и реконструкции метрополитенов, коммунальных и гидротехнических тоннелей, а также сооружением многих надземных и подземных комплексов.

Выполненные научные исследования имеют фундаментальный характер теоретического обоснования взаимодействия грунтовых массивов с различными строительными конструкциями, в том числе тоннельными обделками из чугуна, железобетона, а также сборными элементами подземных конструкций. О мировом уровне работы свидетельствует соответствие разработок требованиям межгосударственных стандартов и реализация таких технологий в самых развитых странах мира.



# ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФГУП «УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА № 30» В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ



**В. П. Абрамчук**, начальник ФГУП «УС-30»

**А. Ю. Педчик**, первый зам. начальника

**В. В. Костенко**, главный инженер

**История становления, общие и текущие итоги деятельности предприятия за прошедший период регулярно освещались в средствах массовой информации, на страницах специализированных печатных изданий, различной справочной литературы, в том числе и на страницах данного журнала. Это позволяет нам в данной публикации не заострять особого внимания на уже известных фактах и обстоятельствах производственной деятельности предприятия, сосредоточившись лишь на изложении результатов последнего 5-летнего периода.**

**В** январе 2014 г. Федеральному государственному унитарному предприятию «Управление строительства № 30» исполняется 35 лет с момента начала им своей производственной деятельности.

Среди завершенных объектов строительства этого периода необходимо выделить, прежде всего, Юкспорский (железнодорожный) тоннель № 2, возведение которого было завершено в июле 2013 г. для ОАО «Апатит» (г. Кировск, Мурманской области).

К характерным особенностям инженерно-геологических условий данного строительства следует отнести высокий уровень параметров напряженно-деформированного состояния горных пород вмещающего массива, недостаточную детальность результатов инженерно-геологических изысканий, что обусловлено гористым рельефом дневной поверхности, а также неоднозначностью проектного решения в вопросе конструкции выходного портала тоннеля, которое было определено уже на заключительной стадии работ.



**Вид на припортальный участок тоннеля с монолитной железобетонной обделкой**

В конечном итоге выходной портал тоннеля был состыкован не с обгонным тоннелем, входящим в комплекс подземных сооружений ранее построенного Юкспорско-

го тоннеля № 1, как это было запланировано по первоначальному варианту проекта, а непосредственно с его входным порталом, в результате чего общая протяженность тон-



Вид на ущелье Кикусвумчорр, Мурманская область

неля составила 1944 м. Несмотря на достаточно значительный рост общих объемов работ (четыре стыковочных узла вместо одного, увеличение протяженности тоннеля на 317 м), существенного увеличения сроков строительства, тем не менее, не произошло, что обусловлено высокой скоростью и хорошим качеством ведения работ в целом.

Вследствие расчлененности массива многочисленными так называемыми зонами шпреуштейнизации или окисленных пород, по своим физико-механическим свойствам близким к геологическим разломам, проходка тоннеля сопровождалась частой сменой типов его поперечных сечений и видов постоянной обделки. Основным ее видом являлась насыщенная базальтовой фиброй набрызг-бетонная крепь толщиной 200 мм по двойной дорожной сетке, закрепленной на сталеполимерных анкерах, при площади поперечного сечения в свету 49,4 м<sup>2</sup>.

На участках распространения окисленных зон обделка тоннеля представляла собой монолитную железобетонную крепь, также армированную базальтовой фиброй, толщиной 300–600 мм в зависимости от свойств и состояния окисленных зон и соответствующей площади поперечного сечения тоннеля в черне. На одном из участков тоннеля, вблизи входного портала, при мощности окисленной зоны порядка 25 м, с учетом ее косо секущего положения, дополнительно в кровле тоннеля возводился металлический экран, выполненный из перфорированных труб диаметром 159 мм и заполненный под давлением песчано-цементной смесью. Протя-



Узел стыковки с обгонным тоннелем Юкспорского тоннеля № 1

женность участков тоннеля с монолитной железобетонной крепью составила 658 м общим числом порядка 12, не считая участка входного (при строительстве) или южного портала и узлов сопряжений с действующими сооружениями входного портала тоннеля № 1, т. е. со стороны комплекса отгрузки рудной массы.

В технологическом отношении на строительстве данного тоннеля предприятием были опробованы такие новые для подземного строительства элементы технологии, как применение водоэмульсионных типов ВВ и механизированный способ их заряжания, ги-

дроизоляция крепи подземных сооружений на основе разработок фирмы BASF-MEYCO, осуществлена адаптация технологии контурного взрывания применительно к условиям проходческих работ в высоконапряженных скальных массивах. Опробованы отдельные элементы технологии инженерно-геологической диагностики породного массива впереди забоя выработки на основе опережающего колонкового бурения скважин малого диаметра. При этом были получены результаты, позволяющие расширить физические представления о горных породах, как в целом, так и о влиянии физико-механических процессов на



Проходка вертикального ствола на Усольском калийном комбинате

состояние устойчивости горных выработок и их крепи в частности.

Сейчас ведется строительство двух вертикальных стволов на Усольском калийном комбинате, выполняемое по заказу ОАО МХК «ЕвроХим». На настоящий момент полностью завершено возведение Клетового ствола (№ 2) в комплексе с входящими в состав проекта другими подземными сооружениями. Таких, например, как камеры для подземной сборки солепроходческих комплексов. В стадии завершения находится строительство выработок и сооружений, входящих в околостоловой подземный комплекс Скипового ствола (№ 1).

Глубина стволов 546 и 473 м при диаметре в свету 8 и 7 м соответственно. Постоянная обделка стволов выполнена из гидроизолирующей двухслойной бетонно-тюбинговой крепи. До глубины 270 м от поверхности проходка осуществлялась под защитой ледопородных ограждений (ЛПО), выполненных компанией «Тиссен Шахтбау ГмбХ» в целях подавления проявлений водопритоков и

прорывов напорных вод и рассолов. Суммарный водоприток оценивался до 600 м<sup>3</sup>/ч, концентрация солей до 240 г/л. Диаметр окружности, на которой расположена система замораживающих скважин – 17 м, расчетная проектная толщина ЛПО – 5,6 м.

В инженерно-геологическом отношении породы представлены переслаивающимися толщами и прослоями известняков, мергелей, песчаников, алевролитов, иногда с тонкими прослоями гипсов. В интервале 287–570 м – соленосной толщей. Коэффициент крепости пород варьирует, в основном, в пределах 1–3, в интервале 12–194 м до 4–5. По трещиноватости породы оцениваются как средне- и сильно-трещиноватые, с наличием многочисленных зон дробления. Газодинамических явлений и выделений свободного газа в процессе бурения контрольно-стволовых скважин и строительства стволов не обнаружено.

Скиповой ствол № 1 проводится горным способом с использованием комплекса механизмов в составе: тампонажного и проходческого полков, разработки и изготовле-

ния ФГУП «УС-30», монтажного кольца для сборки тюбинговой крепи разработки ЗАО «ОГСК», породопроходческого комплекса КС-2у/40 серийной сборки. Монтажная платформа (кольцо) для сборки тюбинговых колец изготовлена на Магнитогорском механическом заводе.

Клетовой ствол № 2 до отметки 198 м в пределах замороженной толщи пород был пройден по технологии проходки Скипового ствола. Ниже этой отметки работы вели с использованием стволопроходческого агрегата АСП-8, также разработки ЗАО «ОГСК», изготовленного на ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный механический завод», г. Тула. В варианте технологии на основе применения стволопроходческого агрегата его платформа используется также в качестве монтажного кольца при сборке тюбинговой колонны крепи ствола.

Реализованная на данном строительстве технология позволила уже на настоящий момент повысить скорость работ более чем на 30 % и избежать аварий и инцидентов, связанных с прорывом рассолов через ЛПО. При этом качество герметизации тюбинговой крепи обеспечивает фактические водопритоки в стволы ниже нормативного – 0,15 м<sup>3</sup>/ч. Ранее при строительстве аналогичных сооружений в условиях ВКМКС (порядка 24 стволов) практически на каждом из них приходилось принимать дополнительные решения по противодействию водопритокам и ликвидации аварий, связанных с затоплением стволов.

На настоящее время предприятием ведутся также работы по возведению наземных комплексов для строительства еще трех стволов: двух, в составе Клетового и Скипового стволов, на Палашерском участке ВКМКС по заказу ОАО «Акрон» и одного ствола для Гремяченского ГОКа по заказу ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий».

На начало рассматриваемого периода приходятся работы по завершению строительства рудника «Чебачий» в составе наземного шахтного комплекса, Скипового и Кле-

Общий вид наземного комплекса в Усолье





Агрегат стволопроходческий АСП-8

тевого стволов диаметром 6 и 5 м соответственно и глубиной 412 м каждый, а также комплекса околоствольных сооружений. Данный проект выполнялся с 2007 г. по заказу ОАО «Верхнеуральская руда».

Начиная с середины 2012 г. и по настоящее время предприятием сооружается наклонный конвейерный ствол для ОАО «Воркутауголь». Особенностью данного строительства являются сложные инженерно-геологические условия. Верхняя толща вмещающих пород в районе строительства НКС, до их контакта с коренными породами, представлена перемежающимися слоями глин, суглинков с водонасыщенными песками и супесями. При возникновении даже незначительного гидростатического градиента грунты приобретают псевдоплывные свойства, что существенно затрудняет проходку. В целях предотвращения неустойчивого поведения грунтов работы ведутся после предварительного их укрепления по технологии Jet Grouting.

Следует напомнить, что за время осуществления своей производственной деятельности ФГУП «Управление строительства № 30» и ранее неоднократно оказывало строительные услуги предприятиям горнодобывающей отрасли. Так, предприятие внесло существенный вклад в строительство подземного рудника для ОАО «Учалинский ГОК», время от времени возобновляя эти контакты по просьбе руководства ГОКа.

В 2009 г. силами ФГУП «Управление строительства № 30» была осуществлена реконструкция скипового ствола для ОАО «Гайский ГОК». В 2007–2008 гг. предприятие возвело наземный комплекс для сооружения скипового ствола для ООО «Бурибаевский ГОК», а также осуществило начальный цикл работ по его строительству, передав в последствие продолжение работ непосредственно заказчику.

Учитывая, что за время политических и экономических кризисов в стране было допущено существенное отставание в подго-

товке сырьевой базы в горнодобывающей отрасли, данный вид работ превратился, по сути дела, в одно из ключевых направлений деятельности предприятия с широкими перспективами на дальнейшее развитие. Достаточно в этой связи отметить, что подготовленные к разработке запасы сырья в калийнодобывающей отрасли в целом по стране оцениваются на настоящий момент 5–6-летними сроками его добычи, что не гарантирует стабильной работы отрасли на случай возникновения форс-мажорных обстоятельств.

Таким образом, за прошедший период Управление строительства № 30, наряду с выполнением работ по основному направлению своей производственной деятельности – крупногабаритному подземному строительству, существенно расширило сферу оказания строительных услуг предприятиям горнодобывающей отрасли страны по развитию ими своих производственных мощностей, что является, по-нашему мнению, достойным вкладом в развитие экономики страны в целом.

Более того, такое сочетание сфер производственной деятельности способствует ускоренному взаимовыгодному обмену производственным опытом и передовыми технологиями, что существенно расширяет технологическую оснащенность отечественного подземного строительства в целом.

В заключение, поздравляя коллектив ФГУП «Управление строительства № 30» с заслуженным юбилеем, выражаем каждому из сотрудников искреннюю благодарность за проделанную работу, желаем всем крепкого здоровья, семейного благополучия, успехов в труде и дальнейшего роста своего профессионального мастерства. Наши совместные усилия, предпринятые в последние годы по наращиванию производственной мощности предприятия, достигнутые результаты служат свидетельством устойчивого его развития и являются хорошим заделом на будущее.



Вид на строительную площадку рудника «Чебачий»



# СОТРУДНИЧЕСТВО НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА — ЗАЛОГ ЭФФЕКТИВНОГО И БЕЗОПАСНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Н. Н. Мельников, Ю. А. Епимахов, Н. Н. Абрамов, Е. В. Кабеев, Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты



В январе 2014 г. Федеральному государственному унитарному предприятию «Управление строительством № 30» (ФГУП УС–30) исполняется 35 лет со дня основания. В настоящее время ФГУП УС–30 по праву занимает одно из ведущих мест в области освоения подземного пространства Российской Федерации. В своей практической деятельности предприятие отличает, прежде всего, гибкость применяемых технологий в зависимости от особенностей конкретных инженерно–геологических условий строительства, требующих применения специально разработанных или адаптированных известных методов ведения работ, а также широкое использование накопленного опыта строительства как у нас в стране, так и за рубежом. Поэтому огромное значение предприятие уделяет вопросам научного сопровождения строительства подземных сооружений. Все это время основным партнером ФГУП УС–30 в части научного сопровождения строительства объектов является Горный институт КНЦ РАН, который имеет высококвалифицированные научные кадры и значительный опыт ведения научных исследований в области разработки полезных ископаемых.

В июле 2010 г. ФГУП УС–30 по заказу ОАО «Апатит» приступило к строительству Юкспорского тоннеля № 2 протяженностью 1944 м. Максимальная глубина заложения – 454 м. Напряженно-деформированное состояние массива осложнено наличием тектонической составляющей, оцениваемой в 20–40 МПа. Мощность отдельных окисленных нарушенных зон достигала 6–18 м. Участок проходки по геомеханическим условиям отнесен к «склонному» по горным ударам.

В настоящей статье на примере строительства данного тоннеля показана эффективность научного сопровождения проходки, выразившаяся в практических результатах применяемых технических и технологических решений в процессе строительства.

Комплексность научных исследований была направлена на получение ключевых характеристик состояния массива пород, включая контроль нарушения приконтурных зон тоннеля, оценку физико-механических свойств вмещающих пород, струк-

туры и напряженно-деформированного состояния массива. Методологически, научное сопровождение включало: опережающую сейсмотомографическую разведку по трассе тоннеля на стадии инженерных изысканий, оценку физико-механических свойств пород в лабораторных условиях по керну опережающих скважин, контроль параметров электромагнитной эмиссии в тоннеле, деформационный и реометрический контроль состояния приконтурного массива, оценку качества проходческих работ по величинам законтурных «переборов» породы.

Основной задачей сейсмотомографической разведки являлось районирование массива пород по категориям нарушения. Разработанная авторами методика [2] сейсмической пространственно-временной томографии массива с оценкой геофизических критериев нарушения пород массива  $B_c = f(V_p)$  и  $K = f(V_s/V_p)$ , где  $V_p$ ,  $V_s$  – продольная и поперечная скорости сейсмической волны в массиве, реализована при сей-

смопрофилировании на прямых волнах по трассе тоннеля из параллельной выработки. При этом использован комплект сейсмоаппаратуры «Эллис-3» и сейсмотомографический пакет «Х-Томо». Фрагмент сейсмотограммы распределения показателя нарушения  $B_c$  по трассе тоннеля, представленный на рис. 1, наглядно иллюстрирует реализацию районирования массива по категориям его нарушения. Полученные данные использованы на стадии проектирования горных работ а, впоследствии, и для выбора участков деформационного контроля (УДК) массива и крепи тоннеля в процессе проходки.

Как известно, индикатором геодинамической активности массива являются структурные нарушения и разломы, секущие трассу тоннеля. Методика измерений деформаций по их берегам осуществлена с помощью струнного дистометра JSETH (Швейцария) на базах от 5 до 20 м. Точность шкалы измерения длин – 10–3 мм. Точность измерений

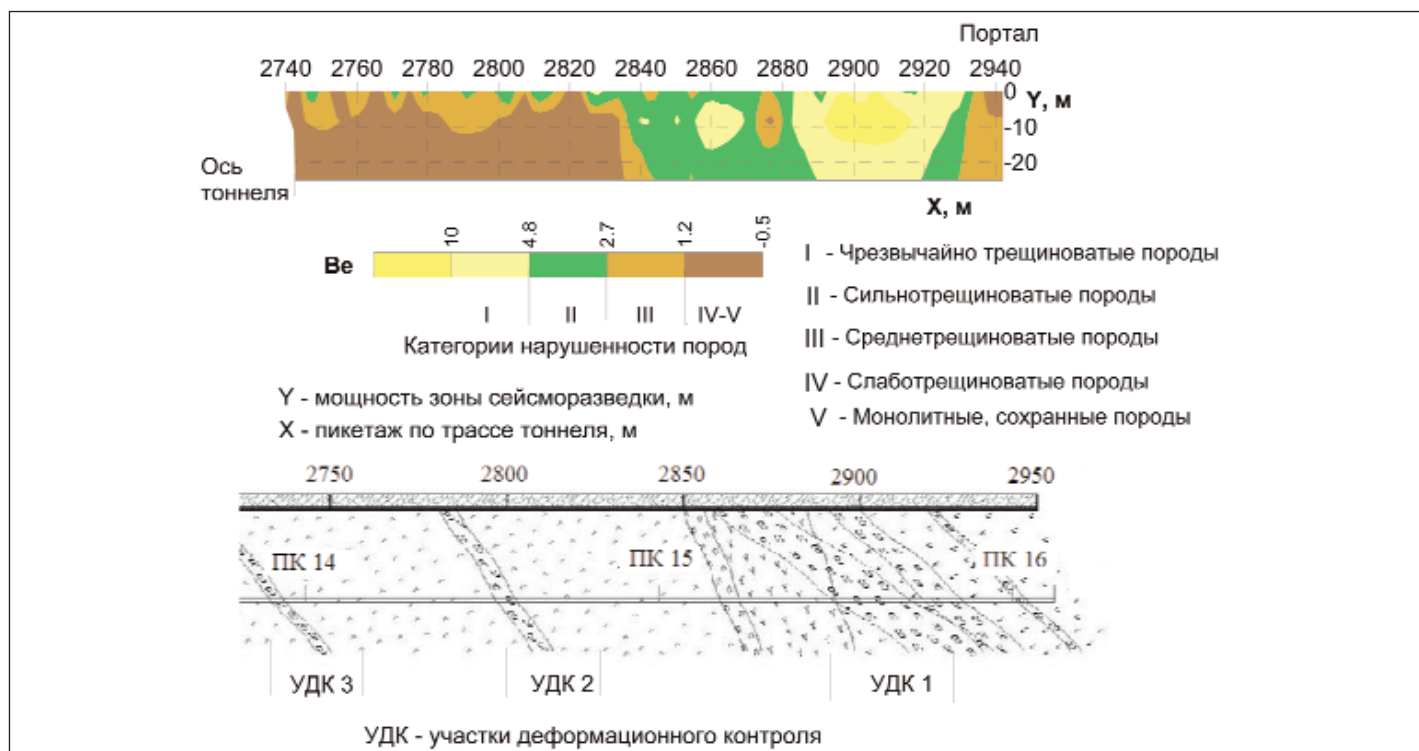


Рис. 1. Категорирование массива по нарушенности по трассе тоннеля по данным сейсмотомографической разведки

с проволокой длиной до 20 м составляет  $\pm(2 \cdot 10^{-2})$  мм. Деформационные наблюдения выполнялись по реперам, размещенным в стенках вдоль трассы тоннеля на четырех участках, вмещающих зоны окисленных пород, участки тектонических разломов и зоны повышенной трещиноватости. Первый участок – реперы 1–5, которые были размещены в припортальной части тоннеля. Второй участок – реперы 6–8 по берегам зоны трещиноватых пород, и, наиболее неоднородная и протяженная в геологическом отношении зона третьего и четвертого участков реперы 9–14. На рис. 2 приведены результаты измерений относительных деформаций за девять месяцев наблюдений.

Как видно из приведенных данных, за время наблюдений знакопеременный характер изменений деформаций зафиксирован в припортальной области тоннеля, реперы 1–5, где в большей мере сказывается преобладающее влияние на массив естественных природных процессов, имеющих знакопеременный характер. По мере роста глубины заложения от свободной поверхности при продвижении забоя, на деформационные процессы в большей мере начинают влиять геомеханические факторы при взаимодействии выработки и естественного поля напряжений. На неоднородностях массива происходит постепенная релаксация напряжений, которой предшествует появление сжимающих деформаций (полигоны 2–4). В целом, динамика деформаций в период наблюдений носит затухающий характер. По результатам наблюдений суммарная деформация массива с учетом величин периметра тоннеля, равного 32 м, составила 8,16 мм, что, согласно рекомендациям СНиП [3], позволило отнести участок Юкспорского тоннеля к вполне устойчивому (I категории устойчивости).

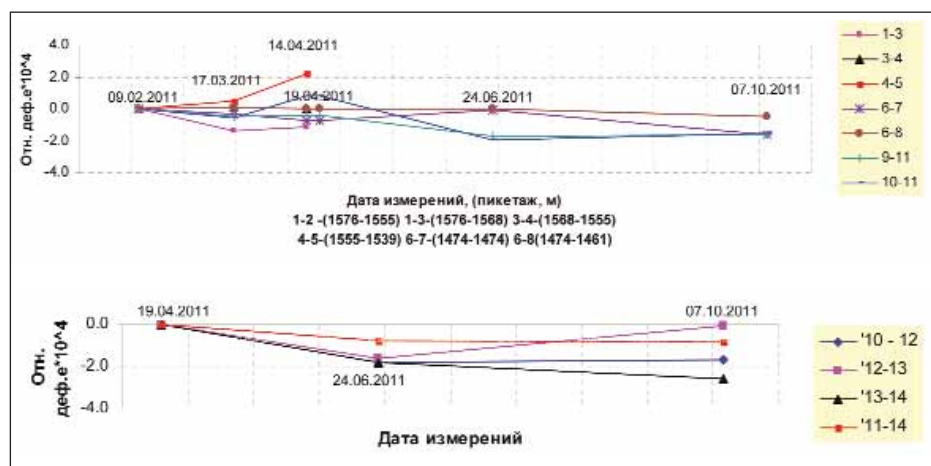


Рис. 2. Результаты контроля деформаций на измерительных полигонах Юкспорского тоннеля

нея к вполне устойчивому (I категории устойчивости).

Опасность динамических форм проявления горного давления прогнозировалась на структурно неоднородных участках проходки, тектонических нарушениях. Достаточно эффективно и оперативно мониторинг таких участков выполнялся с использованием методики вариационного контроля фона электромагнитной эмиссии пород (ЭМИ) [4]. Контроль ЭМИ массива в процессе проходки тоннеля осуществлялся радиоволновым регистратором напряженно-деформированного состояния РВИНДС. В процессе исследований было установлено, что минимизация влияния техногенных помех при регистрации импульсов ЭМИ в тоннеле обеспечивается совмещением диаграммы направленности антенны регистратора с волноводом электромагнитных импульсов полезного сигнала.

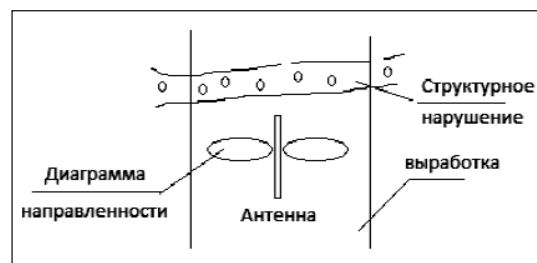


Рис. 3. Схема регистрации ЭМИ от структурного нарушения регистратором РДВИНДС

Таим волноводом является само нарушение, соответственно максимальный эффект достигался при размещении антенны регистратора РВИНДСа вдоль оси тоннеля (рис. 3). При этом были введены понятия: интенсивность излучения электромагнитных импульсов в источнике (аномалии) – количество импульсов в единицу времени  $N_0$  и затухание (рассеяние)  $b$  процесса излучения, объединенных функцией вида [4]:

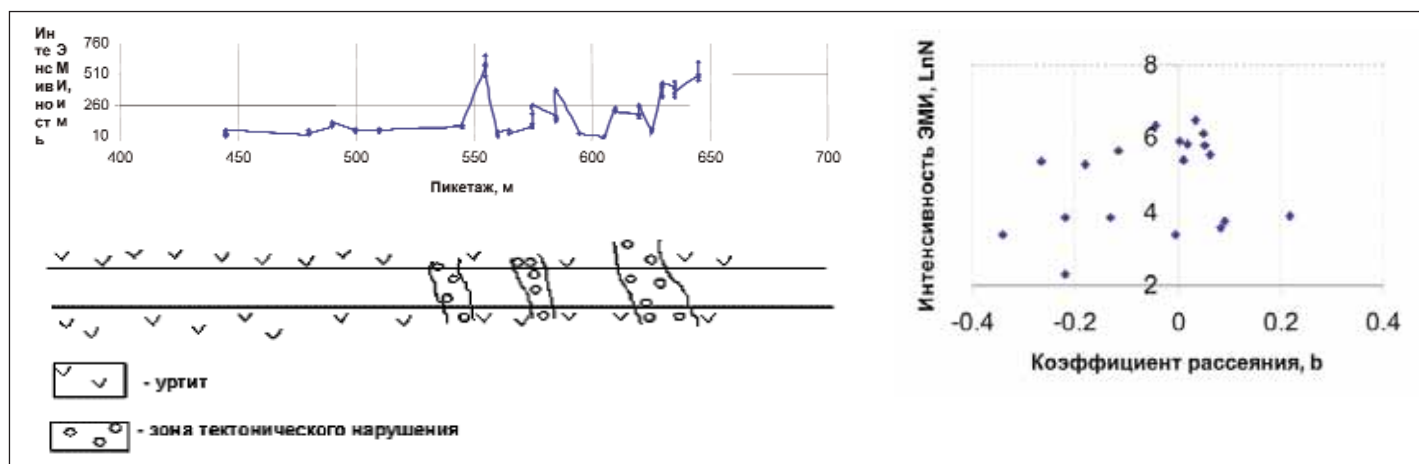


Рис. 4. Результаты контроля параметров ЭМИ на участке тектонического нарушения

$$N = N_0 e^{bt}$$

где  $N$  – интенсивность ЭМИ в момент времени замера;

$N_0$  – характеристика источника (при  $t = 0$ ) излучения;

$b$  – коэффициент рассеяния, характеризующий динамику процесса.

При отсутствии динамики процесса, интенсивность в источнике  $N_0 = \text{const}$ ,  $b = 0$ . Нестационарность процесса излучения ЭМИ пород, выражающаяся в резкой изменчивости показателя  $b$ , на фоне роста интенсивности ЭМИ  $N_0$  в источнике, является прогнозируемым признаком накопления энергии массивом, провоцирующим динамическое разрушение массива. Известна эмпирическая номограмма прогноза динамического разрушения массива [4] по этим параметрам с качественной оценкой «маловероятно-вероятно». Таким образом, данный метод можно считать лишь индикатором возможной динамической активизации массива. Но, несмотря на это, целесообразность его приме-

нения не вызывает сомнений. По результатам контроля параметров ЭМИ при проходке Юкспорского тоннеля достаточно уверенно прогнозировались участки массива с повышенным электромагнитным фоном. В основном, эти области были приурочены к участкам пересечения трассой тоннеля отдельных структурных неоднородностей. Например, на рис. 4 приведены вариации фона интенсивности ЭМИ  $N_0$  и  $b$  на участке проходки тектонического нарушения.

Однако даже на аномальных участках массива интенсивность фиксируемого излучения ЭМИ была невелика, и, согласно накопленному опыту контроля параметров ЭМИ в различных горно-геологических условиях проходки, не позволяла прогнозировать сколько-нибудь значимых проявлений горного давления в динамических формах. Практический опыт проходки подтвердил сделанные выводы по результатам мониторинга. Лишь на незначительных участках отмечалось отслоение и шелушение породы на контуре выработок.

Важной технологической задачей геомеханического мониторинга состояния массива является оценка качества буровзрывных работ в процессе проходки тоннеля. Для этого была разработана трехуровневая шкала оценки – «удовлетворительно», «хорошо», «отлично» на основе анализа величин фактических переборов вокруг выработки с учетом требований СНиП [2] по предельным значениям переборов породы для тоннелей с учетом крепости пород по М. М. Протодяконову и технических возможностей современных проходческих установок. Для современных гидроперфораторов величина предельного «перебора» не может быть меньше  $X \approx 0,1$  м по всему периметру выработки. Она и определяет оценку «отлично». С оценкой «хорошо» принимаются требования СНиП [6] по предельным величинам переборов породы для тоннелей и с учетом крепости пород по М. М. Протодяконову ( $f = 12-20$ )  $X = 0,2$  м. Обычно вся совокупность переборов характеризуется неоднородностью ее членов, выражающаяся в причинах ее воз-

Таблица

Статистический анализ распределения величин переборов породы

| Выборка, м | Размер выборки | Среднее значение, м | Стандарт отклонения $\sigma$ , м | Доверительный интервал, м | $(X_{\min} - X_{\max})$ , м |
|------------|----------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 0–0,34     | 172            | 0,142               | 0,0595                           | $\pm 0,011$               | 0,131–0,153                 |

Рис. 5. Гистограмма распределения величин переборов Юкспорского тоннеля

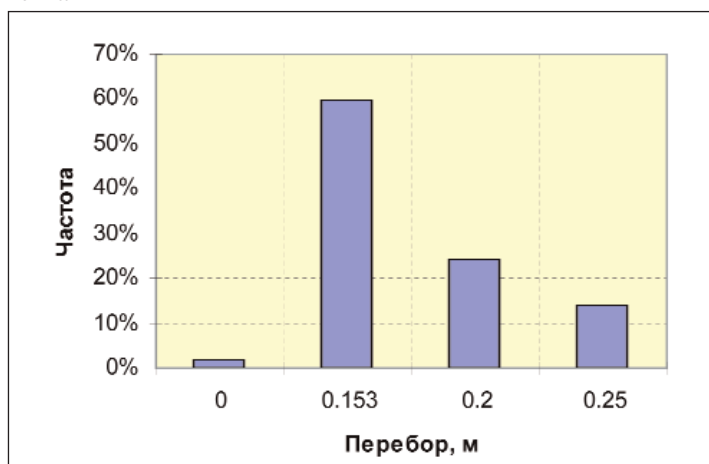
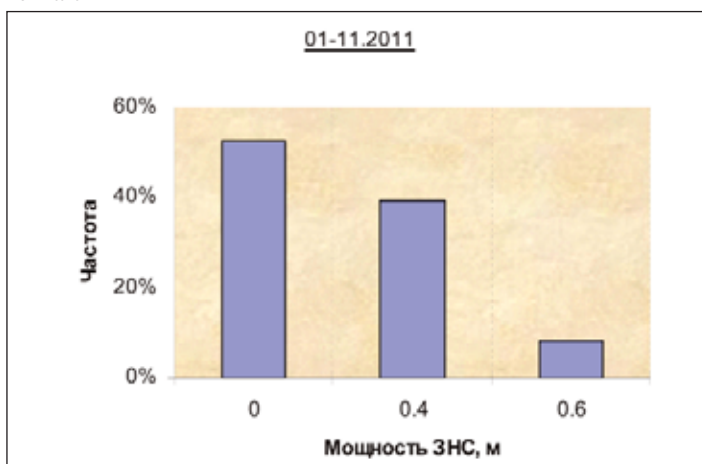
Рис. 6. Результаты реометрических наблюдений величины  $h$  в Юкспорском тоннеле



Рис. 7. Праздничный митинг, посвященный сдаче объекта заказчику – ОАО «Апатит» (ленточку перерезают генеральный директор ОАО «Апатит» К. В. Никитин, первый заместитель начальника ФГУП УС-30 А. Ю. Педчик и глава муниципального образования г. Кировск М. В. Горбачев)

никновения, которых две: непосредственно техногенные и перебои, возникающие вследствие структурной неоднородности массива пород, приводящей к возникновению отдельных вывалов. Влияние последней определяется величинами, превышающими доверительный интервал выборки.

Для решения задачи оценки качества проходки Юкспорского тоннеля статистическому анализу фактических значений величин перебоев, предоставленных маркшейдерской службой предприятия СМУ-680, было подвергнуто 172 сечения с шагом «уходки» равным 3 м, в интервале пикетов ПК 1270–665 м. Численные значения величин средних отклонений от проектного контура изменялись в диапазоне от –0,165 до 0,34 м, из которых при статистической обработке были исключены случаи (три случая) «недоборов». Результаты статистического анализа представлены в таблице. Расчеты выполнены для уровня значимости  $\alpha = 0,01$ , что соответствует доверительной вероятности 99 %.

Таким образом, как показали результаты обработки, можно считать, что «перебои», превышающие величины  $X_{\max} = 0,153$  м, обусловлены структурой массива.

На рис. 5 представлена гистограмма распределения величин «перебоев» с учетом выполненного статистического анализа.

Тогда с оценкой «отлично» принимаются результаты проходки по величинам «перебоев», попадающие в расчетный доверительный интервал, т. е. 0,131–0,153 м. С оценкой «хорошо» при значениях перебоев в интервале  $0,153 < X \leq 0,20$  м. С оценкой «удовлетворительно»  $0,2 < X \leq 0,34$  м. Верхняя граница последнего интервала принята исходя из анализа накопленного опыта в условиях проходки выработок с использованием контурных зарядов ЗКВК 26 ОАО «Апатит» и объектов строительства предприятия ФГУП УС-30 [3,4].

По результатам выполненного анализа качества БВР по величинам законтурных перебоев, можно заключить, что проходка выполнена с оценкой «отлично» для 62 % трассы тоннеля, с оценкой «хорошо» – 24 % и с оценкой «удовлетворительно» – 14 % трассы тоннеля.

При оценке качества БВР при проходке тоннеля с позиций его устойчивости необходимо учитывать и параметры нарушенной зоны приконтурного массива, образованной в процессе проходки.

К числу наиболее простых и доступных инженерных методов контроля параметров нарушенной зоны приконтурного массива относится реометрический метод. В нем используются закономерности изменения параметров фильтрации сжатого воздуха через трещины в нарушенных массивах пород.

С помощью данного метода решаются задачи контроля устойчивости выработок при их проходке в сложных горно-геологических условиях. Результаты многочисленных наблюдений позволили обосновать количественный критерий устойчивости выработок в массивах скальных пород – мощность нарушенной зоны от контура выработки вглубь массива не должна превышать 0,4 м. Этот критерий можно распространить и на оценку качества БВР с отметкой «отлично». Как показывает многолетний опыт ведения реометрического мониторинга при проходке выработок, образование нарушенной зоны с мощностью превышающей 0,4–0,6 м от контура выработки, как правило, связано в большей степени со структурой массива и наблюдается на участках повышенно трещиноватых пород, участках тектонических нарушений, в окисленных зонах. Получаемые данные о мощности нарушенной зоны, таким образом, позволяют более адекватно выполнить оценку качества БВР на участках структурно нарушенных пород.

На рис. 6 представлены результаты обработки данных измерений реометрическим методом в виде гистограммы распределения  $h$  на 35 наблюдательных станциях.

Как видно из приведенных гистограмм, приконтурный массив Юкспорского тоннеля характеризуется наличием нарушенной зоны, мощность которой от контура выработки в 92 % случаев не превышает величину 0,4 м, что характеризует массив в целом как вполне устойчивый. Совместный анализ варьирования мощности нарушенной зоны приконтурного массива по трассе тоннеля, величин законтурных перебоев и геологии по трассе тоннеля показал, что для участков по качеству проходки, оцененных как «удовлетворительно» ( $X > 0,2$  м), характерны повышенные значения величин  $h$ . Судя по полученным результатам совместной корреляции, становятся очевидны причины такой оценки – структурные нарушения массива, секущие трассу выработки.

Таким образом, реализованная концепция научного сопровождения строительства Юкспорского тоннеля № 2 с внедрением комплексного геомеханического мониторинга состояния массива позволила завершить проходку тоннеля с высокими темпами (до 90 м в месяц) и значительно повысить эффективность и безопасность горнопроходческих работ в сложных горно-геологических условиях Хибинского массива.

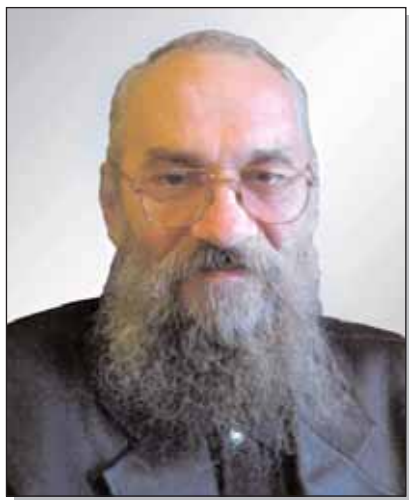
На рис. 7 показан фрагмент праздничного митинга, посвященного сдаче объекта заказчику – ОАО «Апатит». Коллектив Горного института КНЦ РАН сердечно поздравляет Федеральное государственное унитарное предприятие «Управление строительством № 30» с Юбилейной датой и желает дальнейших производственных успехов, здоровья и благополучия.

### Литература

1. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатит-нефелиновые месторождения), Апатиты-Кировск, 2010, 116 с.
2. Мельников Н. Н., Епимахов Ю. А., Абрамов Н. Н. Научные основы интенсификации возведения большепролетных подземных сооружений в скальном массиве, – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008, 226 с.
3. СНиП 11-94-80 – Подземные горные выработки, М., 1980.
4. Абрамов Н. Н., Сайков С. А., Ардашкин В. А. Методические аспекты диагностики состояния массива вокруг подземных выработок комплексом геофизических методов. Сб.: Контроль состояния скального массива при долговременной эксплуатации крупногабаритных подземных сооружений. Апатиты, 1993, с. 30–41.
5. Епимахов Ю. А., Фокин В. А., Абрамчук В. П. Особенности оценки и управления качеством контурного взрывания при проходке большепролетных выработок в скальных породах. Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций, Информационно-издательский центр «ТИМР», № 4, 1998, с. 3–6.
6. СНиП III-44-77 – Тоннели железнодорожные, автодорожные и гидротехнические. Метрополитены. М., 1977.

# ОТРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОХОДКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ

**В. А. Фокин**, д. т. н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный институт Кольского научного центра РАН



Отработка параметров буровзрывных работ при проходке специалистами УС-30 железнодорожного тоннеля № 2 (Юкспорский рудника ОАО «Апатит») выполнялась с целью выявления наиболее эффективного режима организации и проведения буровзрывных работ и обеспечения проектного сечения выработки.

После ознакомления с геолого-структурными условиями предстоящей проходки, имеющимся на участке буровым оборудованием, ассортиментом взрывчатых веществ и средств инициирования были проанализи-

рованы наиболее существенные факторы, влияющие на качество выполнения взрывных работ, в результате чего было принято совместное со специалистами УС-30 решение о поэтапной отработке наиболее эффективных схем размещения и взрывания шпуровых зарядов в забое выработки.

Как показал осмотр забоя выработки до и после каждого очередного взрыва, выполненного по типовому паспорту на начальном этапе проходки, взрывные работы выполнялись в сложных геолого-структурных условиях: наличие явно выраженной пластовой структуры пород с открытыми межпластовыми трещинами преимущественно субвертикального падения и практически поперечного тоннелю простирания приводило к тому, что на участках заходки формировались отдельные зоны значительных перебо- ров, а также наблюдалось неполное взрывание контурных зарядов.

Исходя из условий и возможностей, на первом этапе выполнения совместных работ была выполнена оценка эффективности метода предварительного щелеобразования, но пока только в пределах вертикального участка правой стенки выработки (на высоту 3,5–4,0 м). Конструкция контурных зарядов – с обратным инициированием (один боевик), без применения ДШ и забойки. Расстояние между соседними контурными шпурами

0,30–0,35 м. Инициирование – одновременно с центральным врубовым шпуром (25 мс) или со вспомогательными врубовыми шпурами (250 мс). Предконтурные шпуры были отодвинуты от контурного ряда на расстояние 0,70–0,75 м для исключения их преждевременного повреждения при взрыве контурных зарядов (в случае успешного щелеобразования по контуру стенки, этого расстояния было бы достаточно для разрушения предконтурного породного слоя).

При выполнении первого опытного взрыва было принято решение выполнить замер интенсивности сейсмического воздействия на стенку соседней выработки (вентиляционного тоннеля, расположенного параллельно тоннелю на расстоянии 21 м от него), что позволило бы оценить общий уровень динамической нагрузки от взрыва на законтурный массив, а заодно и посмотреть, насколько точно срабатывают капсулы относительно своего номинала.

Результаты первого опытного взрыва показали, что в целом качество оконтуривания по правой стенке (рис. 1–3) было удовлетворительным, несмотря на некоторые сложности при бурении контурных шпуров. Уменьшение номинала до 250 мс позволило обеспечить достаточную одновременность взрывания контурных зарядов до приемлемого уровня.

Рис. 1. Профиль по пикету 15+70 (грудь забоя до взрыва)

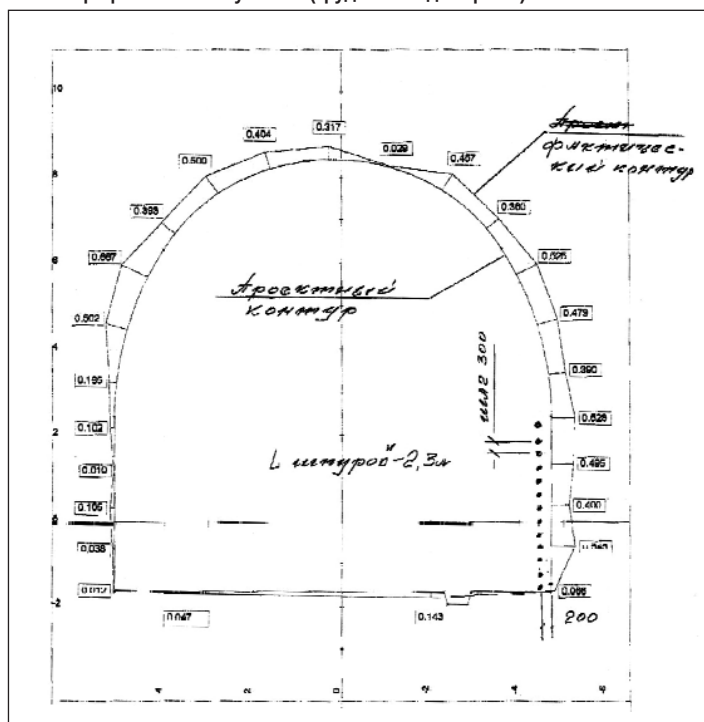
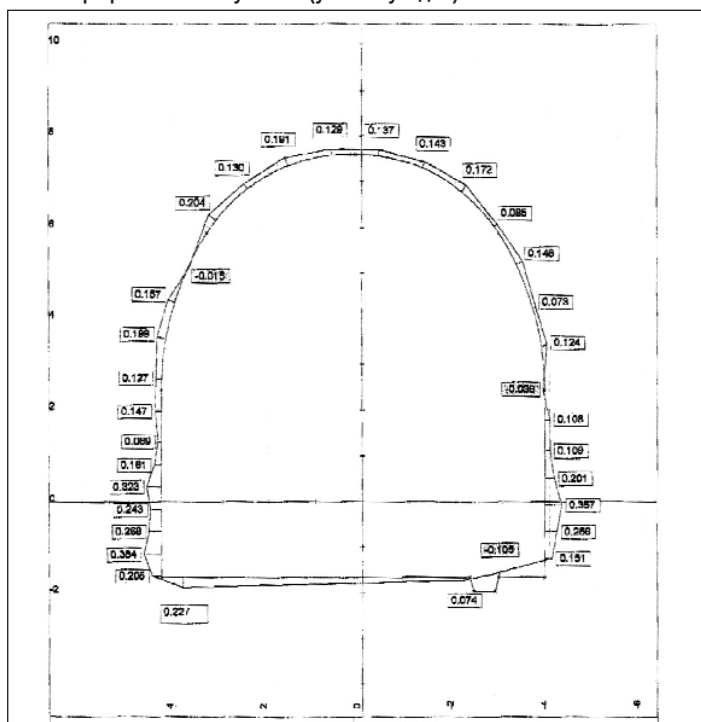


Рис. 2. Профиль по пикету 15+69 (участок уходки)



Сейсмометры при первом опытном взрыве проводились с использованием комплекта сертифицированной аппаратуры фирмы «Instantel» (Канада), включающего 8-канальный сейсмоизмеритель «Minimate Plus» (серия III), стандартные трехкомпонентные сейсмоприемники (ISEE версия, рабочий диапазон частот 2–250 Гц) и соединительные кабели, а также специализированное программное обеспечение «Blast ware advanced module», позволяющее выполнять анализ полученных сейсмограмм.

При замерах использовались два трёхкомпонентных сейсмоматчика, расположенных на левой стене вентиляционного тоннеля: датчик № 1 – на пикете 15+70, датчик № 2 – на пикете 15+60. Для каждого сейсмоматчика тангенциальная компонента ( $T$ ) была направлена вдоль стенки, продольная компонента ( $L$ ) – по нормали к стенке и вертикальная компонента ( $V$ ) – по вертикали.

Результаты сейсмометра представлены в табл. 1. Сейсмограммы векторной скорости смещения для датчика № 1 и для датчика № 2 показаны на рис. 4 и 5. Как видим, для всех

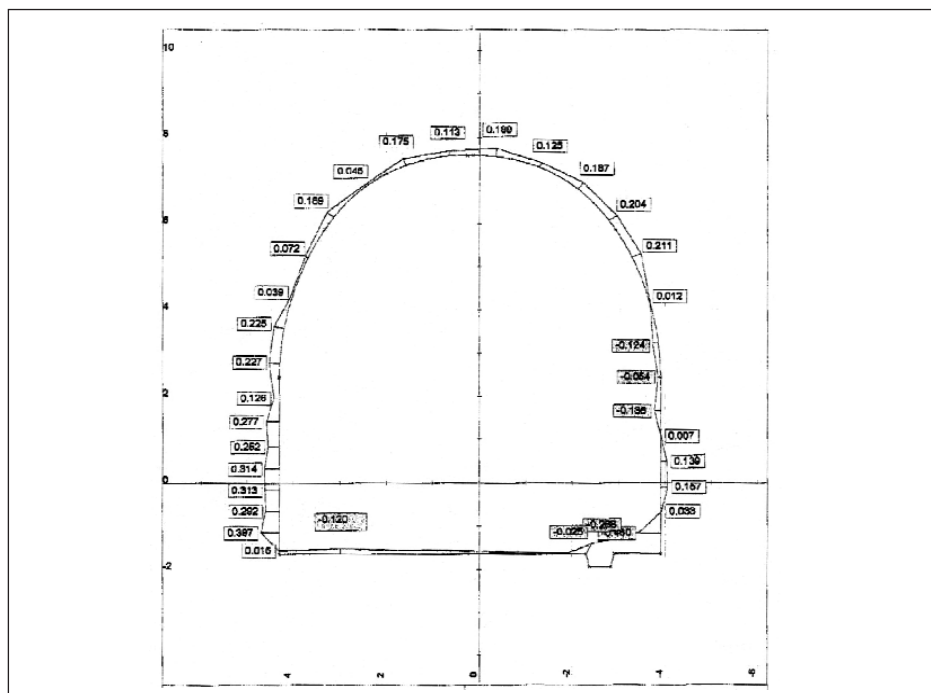


Рис. 3. Профиль по пикету 15+68 (участок уходки)

Таблица 1

Результаты сейсмометра при первом опытном взрыве

| Параметр                    | $T$            | $V$            | $L$             | $\Sigma$        |
|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Датчик № 1                  |                |                |                 |                 |
| Ускорение, м/с <sup>2</sup> | 6,079 (0,620g) | 3,803 (0,388g) | 4,175 (0,426g)  | 6,166 (0,629g)  |
| Скорость, мм/с              | 10,645         | 4,227          | 5,057           | 10,701          |
| Смещение, мм                | 0,030          | 0,013          | 0,025           | 0,030           |
| Датчик № 2                  |                |                |                 |                 |
| Ускорение, м/с <sup>2</sup> | 6,724 (0,685g) | 5,228 (0,533g) | 19,505 (1,988g) | 20,366 (2,076g) |
| Скорость, мм/с              | 7,472          | 5,597          | 23,827          | 24,699          |
| Смещение, мм                | 0,050          | 0,015          | 0,066           | 0,068           |

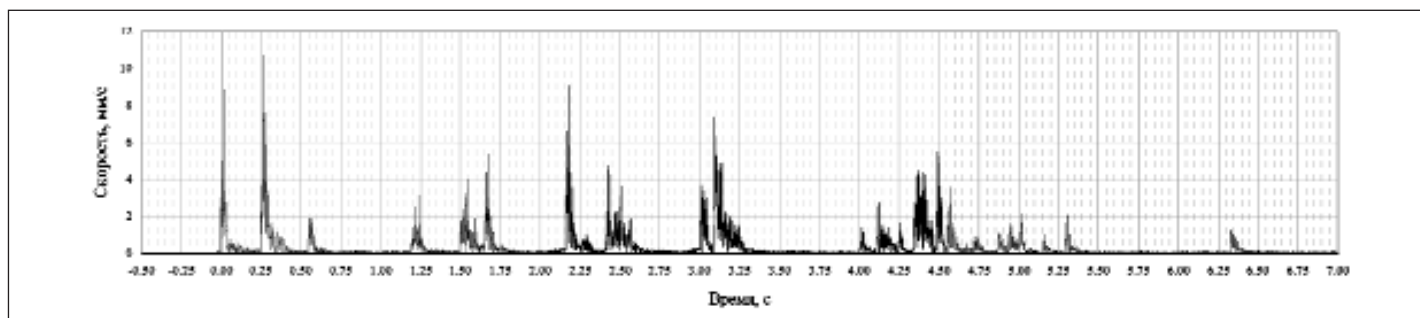
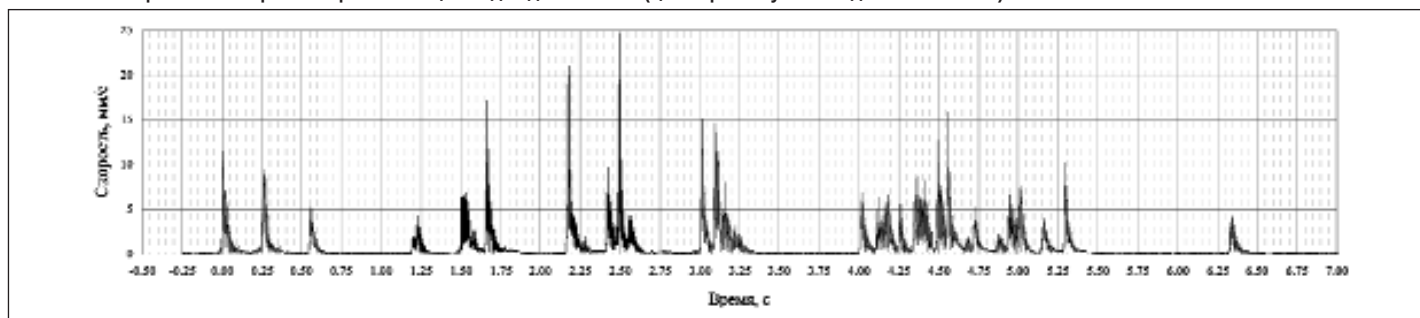


Рис. 4. Сейсмограмма векторной скорости смещения для датчика № 1 (цена промежуточных делений – 50 мс)

Рис. 5. Сейсмограмма векторной скорости смещения для датчика № 2 (цена промежуточных делений – 50 мс)



импульсов нагрузки, начиная с момента времени 0,5 с (т. е. после взрыва контурных шпуров правой стенки с номиналом 0,25 с), амплитудные значения этих параметров, зарегистрированные датчиком № 2, существенно выше значений, зарегистрированных датчиком № 1. Это может объясняться тем, что щель предварительного откола, сформированная по правой стенке, послужила защитным экраном на пути распространения в законтурный массив импульсной нагрузки от взрыва основного комплекта шпуровых зарядов.

Ещё один вывод заключается в следующем.

Согласно паспорту БВР, при взрыве комплекта шпуровых зарядов были использованы следующие номиналы замедлений: 25 мс, 250 мс, 500 мс, 1,0 с, 1,5 с, 2,0 с, 2,5 с, 3,0 с, 3,5 с, 4,0 с, 4,5 с, 5,0 с и 6,0 с. Вместе с тем, как видно из рис. 4 (наиболее близкий к месту взрыва датчик № 1), на «секундных» замедлениях

имеет место весьма существенный и несистемный разброс фактического времени срабатывания, достигающий 200 и более миллисекунд. Это всегда надо иметь в виду при оценке качества последующего оконтуривания: контурные заряды, взрывающиеся с «секундными» номиналами, не могут обеспечить чёткого взаимодействия и качественно оконтуривания, поскольку указанный разброс не обеспечивает их синхронного (одновременного) взрыва.

В результате дальнейших совместных работ были разработаны и опробованы несколько вариантов паспорта со щелевым врубом глубиной 4,5 м (глубина бурения основного комплекта шпуров 4,3 м) и глубиной 3,5 м (глубина бурения основного комплекта шпуров 3,3 м).

Вместе с тем, неоднозначность в принятии окончательного решения по наиболее эффективной глубине обустройства забоя с

учётом особенностей организации работ привела к необходимости выполнения анализа эффективности уходов различной глубины.

Исходные данные для выполнения такого анализа представлены в табл. 2 в хронологическом порядке (сентябрь — октябрь 2010 г.).

Для выявления эффективности уходов при различной глубине вруба на основе данных табл. 1 были сформированы две отдельные выборки — для взрывов с врубом глубиной 3,5 м (табл. 3) и для взрывов с врубом глубиной 4,5 м (табл. 4).

Результаты статистической обработки этих выборок (исходные выборки) показали, что при врубе глубиной 3,5 м среднее значение коэффициента использования шпуров (КИШ) составило 0,909, а при врубе глубиной 4,5 м — 0,786. Как видим, разница в эффективности взрывания весьма ощутимая.

Таблица 2

Линейные показатели проходки тоннеля

| Дата взрыва    | Уходка      |       |       | КИШ  | Примечание       |
|----------------|-------------|-------|-------|------|------------------|
|                | по паспорту |       | факт  |      |                  |
|                | вруб        | забой | забой |      |                  |
| 25.09.2010     | 3,5         | 3,3   | 3,2   | 0,97 | скв. вруб 76 мм  |
| 26.09.2010     | 4,5         | 4,3   | 3,0   | 0,70 | скв. вруб 130 мм |
| 27.09.2010     | 4,5         | 4,3   | 3,2   | 0,74 | скв. вруб 130 мм |
| 28.09.2010     | 4,5         | 4,3   | 4,0   | 0,93 | скв. вруб 130 мм |
| 29.09.2010     | 4,5         | 4,3   | 2,6   | 0,60 | скв. вруб 130 мм |
| 30.09.2010     | 4,5         | 4,3   | 2,1   | 0,49 | скв. вруб 130 мм |
| 01.10.2010     | 3,5         | 3,3   | 2,2   | 0,67 | скв. вруб 76 мм  |
| 02.10.2010     | 4,5         | 4,3   | 3,8   | 0,88 | скв. вруб 130 мм |
| 03.10.2010     | 3,5         | 3,3   | 3,2   | 0,97 | скв. вруб 76 мм  |
| 04.10.2010     | —           | —     | —     | —    | —                |
| 03.10.2010     | 4,5         | 4,3   | 3,6   | 0,84 | скв. вруб 130 мм |
| 06.10.2010     | 4,5         | 4,3   | 3,6   | 0,84 | скв. вруб 130 мм |
| 07.10.2010     | —           | —     | —     | —    | —                |
| 08.10.2010     | 3,5         | 3,3   | 3,5   | 1,06 | скв. вруб 76 мм  |
| 09.10.2010     | 4,5         | 4,3   | 4,0   | 0,93 | скв. вруб 130 мм |
| 10.10.2010     | 4,5         | 4,3   | 3,7   | 0,86 | скв. вруб 130 мм |
| 11.10.2010     | 4,5         | 4,3   | 2,3   | 0,53 | скв. вруб 130 мм |
| 12.10.2010     | 3,5         | 3,3   | 3,0   | 0,91 | скв. вруб 76 мм  |
| 13.10.2010     | 4,5         | 4,3   | 4,0   | 0,93 | скв. вруб 130 мм |
| 14.10.2010     | —           | —     | —     | —    | —                |
| 15.10.2010     | 4,5         | 4,3   | 3,5   | 0,81 | скв. вруб 130 мм |
| 16.10.2010     | 4,5         | 4,3   | 3,9   | 0,91 | скв. вруб 130 мм |
| 17.10.2010     | 3,5         | 3,3   | 3,0   | 0,91 | скв. вруб 76 мм  |
| 18.10.2010*    | 3,5         | 3,3   | 3,0   | 0,91 | скв. вруб 76 мм  |
| 19.10.2010* ** | 4,0         | 3,5   | 3,7   | 1,06 | скв. вруб 76 мм  |
| 20.10.2010*    | 3,5         | 3,3   | 3,1   | 0,94 | скв. вруб 76 мм  |
| 21.10.2010     | —           | —     | —     | —    | —                |
| 22.10.2010*    | 3,5         | 3,3   | 2,8   | 0,85 | скв. вруб 76 мм  |

\* С детонирующим шнуром в щелевых и наклонных шпурах

\*\* Пробный взрыв с увеличенной глубиной вруба

Таблица 3

### Результаты статистического анализа (вруб 3,5 м)

| Дата взрыва                                                      | Уходка      |       |              | КИШ          | Примечание      |
|------------------------------------------------------------------|-------------|-------|--------------|--------------|-----------------|
|                                                                  | по паспорту |       | факт         |              |                 |
|                                                                  | вруб        | забой | забой        |              |                 |
| 25.09.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,2          | 0,970        | скв. вруб 76 мм |
| 01.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 2,2          | 0,667        | скв. вруб 76 мм |
| 03.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,2          | 0,970        | скв. вруб 76 мм |
| 08.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,5          | 1,061        | скв. вруб 76 мм |
| 12.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,0          | 0,909        | скв. вруб 76 мм |
| 17.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,0          | 0,909        | скв. вруб 76 мм |
| 18.10.2010*                                                      | 3,5         | 3,3   | 3,0          | 0,909        | скв. вруб 76 мм |
| 20.10.2010*                                                      | 3,5         | 3,3   | 3,1          | 0,939        | скв. вруб 76 мм |
| 22.10.2010*                                                      | 3,5         | 3,3   | 2,8          | 0,848        | скв. вруб 76 мм |
| Результаты статистической обработки                              |             |       |              |              |                 |
| Минимум ( $X_{\min}$ )                                           |             |       | 2,200        | 0,667        |                 |
| Максимум ( $X_{\max}$ )                                          |             |       | 3,500        | 1,061        |                 |
| Среднее арифметическое ( $X_{\text{ср}}$ )                       |             |       | <b>3,014</b> | <b>0,909</b> |                 |
| Стандартное отклонение ( $\sigma$ )                              |             |       | 0,402        | 0,108        |                 |
| Нижняя граница диапазона изменения ( $X_{\text{ср}} - \sigma$ )  |             |       | 2,613        | 0,801        |                 |
| Верхняя граница диапазона изменения ( $X_{\text{ср}} + \sigma$ ) |             |       | 3,416        | 1,017        |                 |

\* С детонирующим шнуром в щелевых и наклонных шпурах

Таблица 4

### Результаты статистического анализа (вруб 4,5 м)

| Дата взрыва                                                      | Уходка      |       |              | КИШ          | Примечание       |
|------------------------------------------------------------------|-------------|-------|--------------|--------------|------------------|
|                                                                  | по паспорту |       | факт         |              |                  |
|                                                                  | вруб        | забой | забой        |              |                  |
| 26.09.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,0          | 0,698        | скв. вруб 130 мм |
| 27.09.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,2          | 0,744        | скв. вруб 130 мм |
| 28.09.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 4,0          | 0,930        | скв. вруб 130 мм |
| 29.09.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 2,6          | 0,605        | скв. вруб 130 мм |
| 30.09.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 2,1          | 0,488        | скв. вруб 130 мм |
| 02.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,8          | 0,884        | скв. вруб 130 мм |
| 03.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,6          | 0,837        | скв. вруб 130 мм |
| 06.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,6          | 0,837        | скв. вруб 130 мм |
| 09.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 4,0          | 0,930        | скв. вруб 130 мм |
| 10.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,7          | 0,860        | скв. вруб 130 мм |
| 11.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 2,3          | 0,535        | скв. вруб 130 мм |
| 14.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 4,0          | 0,930        | скв. вруб 130 мм |
| 15.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,5          | 0,814        | скв. вруб 130 мм |
| 16.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,9          | 0,907        | скв. вруб 130 мм |
| Результаты статистической обработки                              |             |       |              |              |                  |
| Минимум ( $X_{\min}$ )                                           |             |       | 2,100        | 0,488        |                  |
| Максимум ( $X_{\max}$ )                                          |             |       | 4,000        | 0,930        |                  |
| Среднее арифметическое ( $X_{\text{ср}}$ )                       |             |       | <b>3,379</b> | <b>0,786</b> |                  |
| Стандартное отклонение ( $\sigma$ )                              |             |       | 0,645        | 0,150        |                  |
| Нижняя граница диапазона изменения ( $X_{\text{ср}} - \sigma$ )  |             |       | 2,734        | 0,636        |                  |
| Верхняя граница диапазона изменения ( $X_{\text{ср}} + \sigma$ ) |             |       | 4,023        | 0,936        |                  |

Вместе с тем, с точки зрения корректности и достоверности статистического анализа из исходных выборок необходимо исключить случайные значения, появление кото-

рых обусловлено случайными факторами. Такое исключение производится на основе учёта нижней и верхней границы диапазона изменения достоверных значений выборки.

Используя данные по нижней и верхней границам диапазона изменения достоверных значений выборок (две последние строчки в табл. 3 и 4), были сформированы две уточнённых

Таблица 5

## Результаты уточнённого статистического анализа (вруб 3,5 м)

| Дата взрыва                                                      | Уходка      |       |              | КИШ          | Примечание      |
|------------------------------------------------------------------|-------------|-------|--------------|--------------|-----------------|
|                                                                  | по паспорту |       | факт         |              |                 |
|                                                                  | вруб        | забой | забой        |              |                 |
| 25.09.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,2          | 0,970        | скв. вруб 76 мм |
| 03.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,2          | 0,970        | скв. вруб 76 мм |
| 12.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,0          | 0,909        | скв. вруб 76 мм |
| 17.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,0          | 0,909        | скв. вруб 76 мм |
| 18.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,0          | 0,909        | скв. вруб 76 мм |
| 20.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 3,1          | 0,939        | скв. вруб 76 мм |
| 22.10.2010                                                       | 3,5         | 3,3   | 2,8          | 0,848        | скв. вруб 76 мм |
| Результаты статистической обработки                              |             |       |              |              |                 |
| Минимум ( $X_{\min}$ )                                           |             |       | 2,800        | 0,848        |                 |
| Максимум ( $X_{\max}$ )                                          |             |       | 3,200        | 0,970        |                 |
| Среднее арифметическое ( $X_{\text{ср}}$ )                       |             |       | <b>3,043</b> | <b>0,922</b> |                 |
| Стандартное отклонение ( $\sigma$ )                              |             |       | 0,140        | 0,042        |                 |
| Нижняя граница диапазона изменения ( $X_{\text{ср}} - \sigma$ )  |             |       | 2,903        | 0,880        |                 |
| Верхняя граница диапазона изменения ( $X_{\text{ср}} + \sigma$ ) |             |       | 3,183        | 0,964        |                 |

Таблица 6

## Результаты уточнённого статистического анализа (вруб 4,5 м)

| Дата взрыва                                                      | Уходка      |       |              | КИШ          | Примечание       |
|------------------------------------------------------------------|-------------|-------|--------------|--------------|------------------|
|                                                                  | по паспорту |       | факт         |              |                  |
|                                                                  | вруб        | забой | забой        |              |                  |
| 26.09.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,0          | 0,698        | скв. вруб 130 мм |
| 27.09.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,2          | 0,744        | скв. вруб 130 мм |
| 28.09.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 4,0          | 0,930        | скв. вруб 130 мм |
| 02.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,8          | 0,884        | скв. вруб 130 мм |
| 03.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,6          | 0,837        | скв. вруб 130 мм |
| 06.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,6          | 0,837        | скв. вруб 130 мм |
| 09.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 4,0          | 0,930        | скв. вруб 130 мм |
| 10.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,7          | 0,860        | скв. вруб 130 мм |
| 14.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 4,0          | 0,930        | скв. вруб 130 мм |
| 15.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,5          | 0,814        | скв. вруб 130 мм |
| 16.10.2010                                                       | 4,5         | 4,3   | 3,9          | 0,907        | скв. вруб 130 мм |
| Результаты статистической обработки                              |             |       |              |              |                  |
| Минимум ( $X_{\min}$ )                                           |             |       | 3,000        | 0,698        |                  |
| Максимум ( $X_{\max}$ )                                          |             |       | 4,000        | 0,930        |                  |
| Среднее арифметическое ( $X_{\text{ср}}$ )                       |             |       | <b>3,664</b> | <b>0,852</b> |                  |
| Стандартное отклонение ( $\sigma$ )                              |             |       | 0,332        | 0,077        |                  |
| Нижняя граница диапазона изменения ( $X_{\text{ср}} - \sigma$ )  |             |       | 3,331        | 0,775        |                  |
| Верхняя граница диапазона изменения ( $X_{\text{ср}} + \sigma$ ) |             |       | 3,996        | 0,929        |                  |

ные выборки (табл. 5 и 6), не имеющие случайных значений. Результаты статистической обработки этих выборок показали, что при врубе глубиной 3,5 м среднее значение КИШ составило 0,922, а при врубе глубиной 4,5 м – 0,852. Имевшая место существенная разница между этими показателями сократилась, однако по-прежнему достаточно существенная.

При этом прирост уходки при использовании врубов глубиной 4,5 м составляет:  $3,3 \times 0,922 = 3,043$  м;  $4,3 \times 0,852 = 3,664$  м;  $3,664 - 3,043 = 0,621$  м, т. е. 0,621 м при увеличении глубины обуривания забоя на 1 м. Иными словами, эффективность уходок с врубом глубиной 4,5 м по сравнению с уходками с врубом глубиной 3,5 м составляет 62,1 %.

Рассмотрим ещё один технологический параметр – скорость подвигания забоя за цикл.

Согласно предоставленной информации продолжительность цикла при использовании врубов глубиной 3,5 м и обуривании забоя на 3,3 м составляет 24 часа, при использовании врубов глубиной 4,5 м и обуривании забоя на 4,3 м – 29 часов. Соответственно получаем:  $3,043/24 = 0,12679$  м/ч;  $3,664/29 = 0,12634$  м/ч. Как видим, линейная скорость подвигания забоя в обоих случаях практически одинакова.

Однако есть ещё один существенный технологический параметр – удобство организации работ: при продолжительности цикла 24 часа график работ получается «суточным», обеспечивающим нормальное взаимодействие со сторонними партнёрами (бетонный завод, склад ВВ и т. п.); при продолжительности цикла 29 часов график работ получается «рваным», создающим затруднения при таком взаимодействии, что мешает ритмичной организации работ. Исходя из этого, для дальнейшей проходки тоннеля был принят (с учётом имеющихся возможностей участка) наиболее эффективный вариант – вруб глубиной 3,5 м при обуривании забоя на 3,3 м (суточный цикл).

## Выводы

Таким образом, выполнение совместных с УС-30 опытно-промышленных работ позволило обосновать наиболее оптимальные параметры паспорта БВР с организацией суточного цикла проходки и подтвердить возможность реализации и эффективность метода предварительного щелеобразования как способа снижения законтурных перебо- ров и законтурных нарушений.





## ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

Коллектив Федерального государственного бюджетного учреждения науки Горного института Кольского научного центра Российской академии наук сердечно поздравляет ФГУП «Управление строительством № 30» с замечательным юбилеем – 35-летием со дня основания.

Более чем 30-летний период сотрудничества между Горным институтом и ФГУП «Управление строительством № 30» показал, что только в тесном взаимодействии производства и науки возможно обеспечить высокие технико-экономические показатели и безопасность горно-строительных работ. Ярким примером такого взаимодействия может служить высокоэффективное и безопасное завершение в 2013 г. строительства Юкспорского тоннеля № 2 ОАО «Апатит» в сложных горно-геологических условиях Хибинского массива.

Сотрудничество между наукой и производством обеспечивает взаимное обогащение и позволяет решать не только практические вопросы, но и широко освещать свой совместный опыт и накопленные знания в научно-технической литературе. За прошедшие 35 лет совместно опубликовано более 60 научных трудов, в том числе 15 монографий.

***Желаем Вам, дорогие друзья, крепкого здоровья, успехов в области строительства подземных сооружений и надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество на благо горно-строительного дела и нашего Отечества!***

*Директор Горного института  
КНЦ РАН, академик*

Н. Н. Мельников

# ПРОБЛЕМЫ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРУДНОСТИ ИХ РАЗРАБАТЫВАНИЯ

**В. П. Абрамчук**, начальник ФГУП «УС-30»

**А. Ю. Педчик**, первый зам. начальника ФГУП «УС-30»

**В. В. Костенко**, гл. инженер, ФГУП «УС-30»

**Ф. Г. Меденков**, гл. спец. по ГИО, ФГУП «УС-30»

**С. В. Чмыхалова**, профессор МГГУ

**Н**а настоящий момент времени в основе отечественной практики нормативно-го категорирования горных пород по трудности их разрабатывания используется 20 балльная шкала крепости горных пород, предложенная профессором М. М. Протоdjаконовым еще более 100 лет тому назад. Численные значения этой шкалы принято называть коэффициентом крепости горных пород, в отношении которого до сих пор не выработано удовлетворительной ясности физических представлений, позволяющих выразить их в каком-либо конкретном, общепризнанном способе его определения. Не исключено, что такое положение сложилось в силу тщетности поиска обобщающих представлений, позволяющих на единой методологической основе охарактеризовать разнообразные способы техногенного воздействия на горные породы в широком диапазоне их физико-механических свойств. Так, например, для процесса бурения скважин применяется индивидуальная шкала категорирования горных пород, так называемая шкала ЦНТБ.

В своей первооснове шкала проф. М. М. Протоdjаконова базировалась на качественных представлениях о трудности разрушения горных пород исходя из их петрографического описания и практического опыта ведения горных работ. Предпринятые в последующем попытки совершенствования этих представлений, главным образом в отношении количественного описания коэффициента крепости горных пород, особым успехом не увенчались, о чем свидетельствует многочисленность таких попыток.

Самим проф. М. М. Протоdjаконовым в качестве инструментального экспресс-метода определения коэффициента крепости горных пород был предложен способ, основанный на изучении прочности образцов горных пород на одноосное сжатие по формуле:

$$f_{кр} = \sigma_{ск}/10, \quad (1)$$

где  $f_{кр}$  – коэффициент крепости горных пород,

$\sigma_{ск}$  – их прочность на одноосное сжатие в МПа, определяемая по стандартной методике.

В последующем в отечественной практике подземного строительства закрепился подход к данной проблеме, положенный в основу СНиП-IV-2-82, отмененного позже в поль-

зу усовершенствованного ГОСТа 21153.1-75, в настоящее время также отмененного.

Среди других подходов к данной проблеме следует отметить представления, сформулированные Л. И. Бароном и академиком В. В. Ржевским, нередко упоминаемые в технической литературе. Из последних работ заслуживают внимания представления, изложенные в работе В. Н. Опарина и А. С. Танайно «Каноническая шкала иерархических представлений в горном породоведении» (Новосибирск, 2011), в которой сделан довольно подробный сопоставительный анализ отмеченных выше подходов, что позволяет в данной работе не останавливаться на изложении их сути. Тем не менее, и эта работа не лишена определенных недостатков, главным из которых является то, что авторам не удалось выйти за рамки устоявшихся представлений.

В целом у рассматриваемой проблемы есть несколько аспектов, которые условно можно подразделить на физические, технические и нормативные. Причем в отношении ни одного из них современные представления не могут рассматриваться как удовлетворительные или достаточные для применения их на практике без дальнейшего усовершенствования, особенно в свете установившихся в отечественной экономике рыночных механизмов хозяйствования.

Если во времена существования единой формы собственности и источника финансирования работ, возникающие время от времени разночтения по данному вопросу имели в своей основе достаточный ресурс для своего урегулирования, то сейчас эти противоречия приобрели более выраженный, зачастую конфликтный характер, что существенно осложняет современные взаимоотношения между хозяйствующими субъектами.

Прежде всего, необходимо отметить, что причины для возможных разногласий заложены собственно в ныне действующих нормативных документах, недостаточно четко регламентирующих данный вопрос в техническом отношении и допускающих отличие в подходах к его решению для предприятий различных форм собственности. Это является дополнительным источником для возможных разногласий и, по своей сути, в очередной раз

констатирует факт нерешенности вопроса на принципиальном, научном или, по-другому, физическом уровне.

Для предприятий государственной формы собственности в настоящее время существуют перечни нормативных документов, которыми они должны руководствоваться либо на обязательной, либо добровольной основе на период до полной регламентации процесса строительства в свете принятого в 2002 г. закона «О техническом регулировании» № 184-ФЗ и в которых упомянутые выше нормативные документы не значатся.

Вместе с тем, работы по строительству, например, подземных сооружений тоннельного типа, дополнительно регламентируются Государственными элементными сметными нормами (ГЭСН) и Федеральными едиными расценками (ФЕР), в которых группы грунтов по СНиП приняты по шкале проф. М. М. Протоdjаконова на основе сопоставительной таблицы 5 «Нормативного справочника по БВР». – М.: Недра, 1986, с той лишь разницей, что в их изданиях 2010 г. устранены промежутки в числовых значениях коэффициента крепости горных пород, ранее существовавшие между группами. То есть, можно было бы предположить, что в качестве способа определения коэффициента крепости горных пород, по сути дела, регламентируется выражение (1), однако четких указаний на этот счет нет.

Не вносит ясности и ссылка на выражение (1) в п. 2.17 СНиПа II-94-80 (Нормы проектирования, ч. 2, Подземные горные выработки, гл. 94), допускающая его применение при анализе проектной документации, т. е. лишь обратного действия.

Если исходить из того, что независимо от многообразия приводящих факторов породам одной группы грунтов по СНиП должны соответствовать равные значения тех или иных технологических параметров, последние, в принципе, можно использовать в качестве обратной, корректирующей связи. Однако это не устраняет трудностей их нормативной регламентации, а главное – сильной зависимости от множества субъективных факторов, прежде всего производственно-технологического характера.

Тем не менее, анализ этих данных свидетельствует, что в физическом отноше-

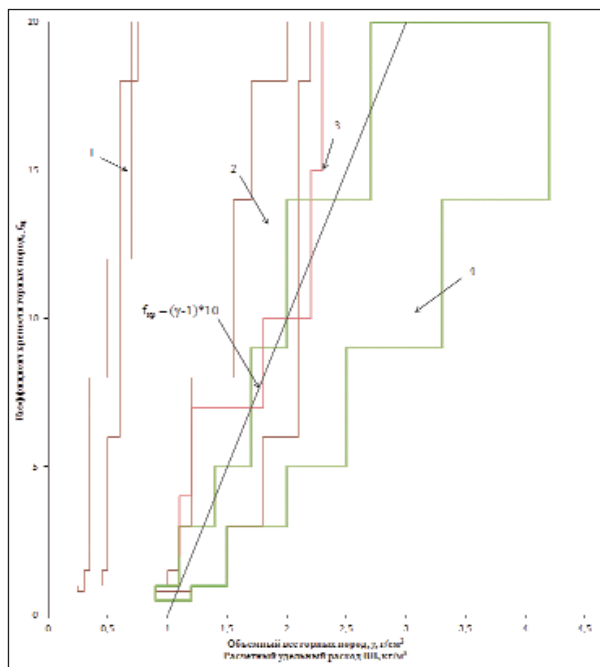


Рис. 1. Вариант категорирования горных пород по справочным данным (пояснения по тексту)

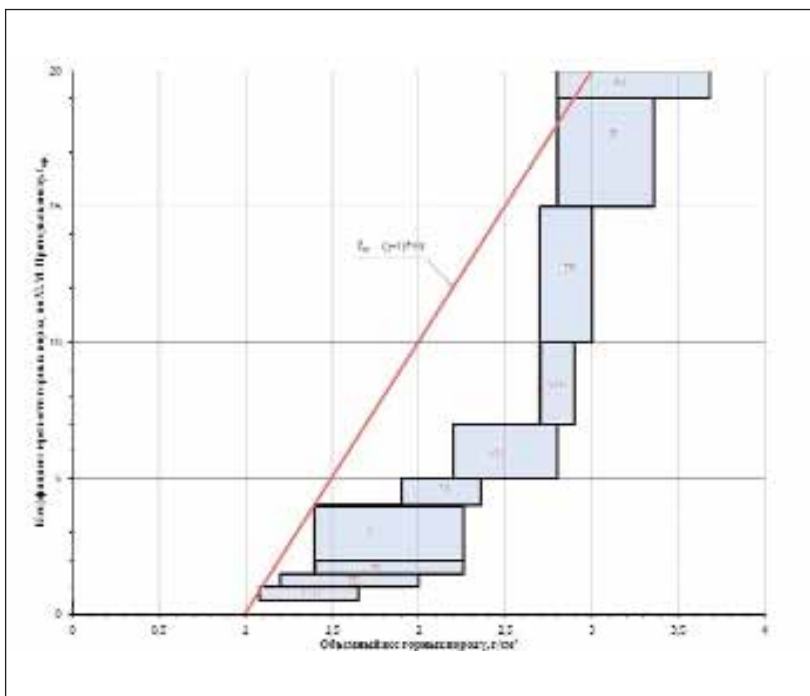


Рис. 2. Категорирование горных пород по величине их объемного веса

нии оптимальное решение проблемы должно ассоциироваться максимум с двумя какими-либо физическими параметрами, одним из которых должен быть коэффициент крепости горных пород безотносительно к пониманию его физической природы.

В качестве иллюстрации данного утверждения на рис. 1 представлен один из вариантов такого анализа, заимствованный из «Справочника взрывника» под общей редакцией Б. Н. Кутузова (М.: Недра, 1988), где в качестве технологического параметра рассматривается расчетный удельный расход ВВ на горных работах, в том числе и при проходке горных выработок общего назначения. При этом графики 1, 2 соответствуют расчетным удельным расходам ВВ на открытых горных работах при производстве взрывных работ на рыхление и выброс соответственно, график 4 соответствует диапазону расчетных удельных расходов ВВ при проходке горных выработок при разной степени дробления породной массы, график 3 – фактический (нормативный) удельный расход ВВ при строительстве подземных сооружений тоннельного типа, регламентированный ГЭСН (табл. 71).

Зависимость  $f_{кр} = 10(\gamma - 1)$ , где  $\gamma$  – объемный вес горных пород в г/см³, служит маркером при сопоставительном анализе данных рис. 1 и рис. 2, на котором изображены представления о предполагаемой связи между коэффициентом крепости горных пород, их объемным весом и группой грунтов по СНИП, также заимствованные из выше упомянутого справочника.

Из сопоставления рис. 1 и 2 следует, что как по величине расчетного удельного расхода ВВ, так и величине объемного веса гор-

ных пород началу X категории по СНИП вполне может соответствовать коэффициент их крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова, равный 4–6 (VI группа грунтов по СНИП) при варьировании объемного веса в пределах 2,4–3,4 г/см³, характерном для подавляющего числа петрографических разновидностей горных пород, относящихся к категории скальных.

При этом необходимо иметь в виду, что все эти данные имеют довольно условный характер вследствие методологической сложности сопоставления результатов применения даже однородных взрывных технологий.

Если на открытых горных работах XI категория по СНИП имеет свое проявление, то по результатам проходки горных выработок, как по справочным данным, так и по данным ГЭСН, такое проявление отсутствует. В физическом отношении это может быть объяснено определяющим, большим по своему воздействию на крепость горных пород, влиянием так называемого фактора «зажима» горных пород в условиях их естественного залегания. Иными словами фактора напряженно-деформированного состояния горных пород в массиве (НДС). О существенности влияния этого фактора свидетельствуют, например, результаты испытаний образцов горных пород в условиях всестороннего сжатия. Впрочем, могут быть и иные объяснения.

Необходимо при этом иметь в виду, что фактические значения удельных расходов ВВ автоматически соответствуют параметрам НДС породных массивов вне зависимости от физических представлений о крепости горных пород. При установлении расчетных удельных расходов ВВ влияние данного фактора не учитывается уже на стадии определения коэффициента

крепости горных пород, поскольку во всех без исключения подходах к его определению игнорируется, в том числе и задекларированное в нормативных документах, требование определения входящих параметров применительно к условиям *естественного залегания* последних. По всей видимости, именно этим обстоятельством обусловлен тот факт, что на практике фактические удельные расходы ВВ часто выше расчетных.

О важности влияния на коэффициент крепости горных пород и трудность их разрушения фактора естественного состояния или НДС породных массивов свидетельствует хотя бы тот факт, что при выбуривании керна горных пород нередко случаи полной его дезинтеграции. Вполне естественно полагать, что и в случае, когда керна горных пород из буровых скважин отбирается в консолидированном состоянии, процессы дезинтеграции также способны существенно повлиять на значения характеристик, получаемых при его испытании в лабораторных условиях.

Физический аспект проблемы, таким образом, заключается в том, что, несмотря на длительный период изучения данного вопроса, реального развития в знании существа проблемы так и не достигнуто. И ярким тому примером является устоявшееся мнение о том, что определяемые на образцах горных пород те или иные характеристики представляют собой некий императив, т. е. свойства, к тому же отождествляемые с аналогичными характеристиками горных пород в условиях их естественного залегания. При этом считается, что наблюдаемая вариативность этих характеристик носит случайный, статистический характер, а сам фактор случайности возведен в ранг фундаментального свойства горных пород.

В то же время, если сравнивать объемы горных пород, подвергнутые испытаниям в лабораторных условиях, с объемами на которые впоследствии распространяются результаты этих испытаний, так называемая репрезентативность, нетрудно установить, что они находятся в явном противоречии с законами статистической физики. При этом необходимо четко представлять, что какой бы степенью упорядоченности ни обладала изучаемая геологическая среда, дискретность и труднодоступность ее опробования способны существенно исказить представления о характере этой упорядоченности.

В физическом отношении единственным фундаментальным свойством горных пород является их удельный вес, определяемый вещественным составом или петрографической принадлежностью. Все остальные характеристики – суть производные по времени (не обязательно геологическому), пространству и, что весьма важно, способу и объему горных пород, вовлекаемых в процесс инструментального опробования или технологического воздействия. То есть *без соотнесения этих характеристик с перечисленными выше факторами, в том числе и с параметрами естественного состояния горных пород в массиве (НДС), теряется всякий практический смысл в их дальнейшем использовании.*

Необходимо таким образом констатировать, что современные знания в области физики и механики горных пород не располагают научно обоснованными представлениями, позволяющими оценить на количественном уровне степень влияния дезинтеграционных процессов на физико-механические характеристики горных пород и, прежде всего, прочностные.

Степень влияния НДС породных массивов на плотностные характеристики горных пород, как это представлено в работе «Кольская сверхглубокая». Научные результаты и опыт исследований», под редакцией В. П. Орлова и Н. П. Лаврова, (М., Мин. прир. ресурсов, 1998), носит частный и, по всей видимости, недостаточно обоснованный в количественном отношении характер, поскольку на гораздо меньших глубинах диапазон варьирования плотностных характеристик вследствие изменчивости НДС породных массивов наблюдается в существенно большем диапазоне. Однако ценность этой работы состоит в самом факте признания участия в формировании физико-механических свойств горных пород дезинтеграционных процессов, связанных с их извлечением из естественных условий залегания.

Исходя из выше изложенного и данных рис. 2, вполне логично предположить, что представления проф. М. М. Протоdjяконова о крепости горных пород и трудности их разрушения распространяются на тот случай, когда влиянием фактора естест-

венной напряженности горных пород на их физико-механические характеристики, получаемые на образцах, можно пренебречь.

Для этого случая, по всей видимости, справедливым будет выражение вида:

$$\sigma_{\text{сж}} = \kappa(\gamma - 1), \quad (2)$$

где  $\sigma_{\text{сж}}$  – прочность горных пород на одноосное сжатие в МПа,

$\gamma$  – объемный вес в г/см<sup>3</sup>,

$\kappa$  – согласующий размерности коэффициент, равный  $\kappa = 100 \text{ МПа} \cdot \text{см}^3/\text{г}$ .

Иными словами, устоявшаяся практика категорирования горных пород по СНИП на основе представлений проф. М. М. Протоdjяконова не отражает всего многообразия факторов, способных оказать влияние на показатели трудности их разрабатывания при осуществлении того или иного вида горных работ. Наличие однозначных границ между категориями, устанавливаемых по единственному показателю, не соответствует реальному поведению технологических параметров и противоречит физической сущности категорирования, иерархически обустroенных сред, к каковым, безусловно, относятся породные массивы. Необходимо, как минимум, выделять положение этих границ на основе минимально и максимально возможных значений входных параметров. Это предполагает взаимное перекрытие границ смежных категорий, и необходимость введения дополнительного решающего правила для осуществления их разграничения в том или ином конкретном случае.

Таким образом, стремление к однозначности оценок и минимуму определяющих параметров при разработке способов категорирования горных пород, как природных, системно организованных сред, находится в явном противоречии со стремлением к адекватному отражению их инженерно-геологических условий по фактору трудности разрабатывания.

В то же время увеличение числа входных параметров, как это, например, предложено в упомянутой выше работе В. Н. Опарина и А. С. Танайно, существенно увеличивает трудоемкость работ и, что немало важно, требует увеличения объема их нормативно-методической базы. Если рассматривать процедуру категорирования горных пород применительно к инженерно-геологическим изысканиям, то при соблюдении условия достаточной их полноты это не является каким-либо сдерживающим фактором. Чаше детализацию инженерно-геологических условий строительства приходится осуществлять непосредственно в ходе самого строительства, а это требует высокой оперативности работ по категорированию массива, которые, к тому же, зачастую возлагаются на организацию, осуществляющую строительство. То есть и в данном отношении процедура категорирования горных пород должна быть минимизирована по

сложности и к тому же иметь достаточно простой инструментарий.

Иными словами, при решении данного вопроса уже на физическом уровне необходимо рассматривать его во всем комплексе возможных проявлений, включая технический и нормативный аспекты, чему до сих пор не уделялось должного внимания. При этом необходимо также учитывать и современные тенденции в развитии подземных строительных технологий, и изменившийся механизм экономического хозяйствования в стране, более жесткие требования к качеству работ и т. д., т. е. процедура категорирования горных пород во всех отношениях должна соответствовать изменившимся требованиям современной практики подземного строительства.

Учитывая сложившуюся ситуацию в области развития представлений о крепости горных пород, а также выводы работы В. Н. Опарина и А. С. Танайно об идентичности применяемых в отечественной практике базовых подходов к данной процедуре, в качестве основы дальнейшего ее развития, по крайней мере до выработки более физически обоснованного решения, целесообразно пользоваться представлениями акад. В. В. Ржевского и предложенным им показателем:

$$P_{\text{тр}} = 0,05(\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{р}} + \sigma_{\text{сдв}}) + 5\gamma, \quad (3)$$

где  $P_{\text{тр}}$  – показатель трудности разрушения горных пород взрывом,

$\sigma_{\text{сж}}$ ,  $\sigma_{\text{р}}$ ,  $\sigma_{\text{сдв}}$  – прочность горных пород на одноосное сжатие, растяжение и сдвиг,

$\gamma$  – их объемный вес.

При этом рост трудоемкости процедуры в связи с необходимостью инструментального определения еще двух прочностных характеристик является кажущимся. На основании тех же самых данных, что были использованы в упомянутой выше работе В. Н. Опарина и А. С. Танайно, легко устанавливается почти функциональная связь вида:

$$\sigma_{\text{р}} + \sigma_{\text{сдв}} = 0,28\sigma_{\text{сж}} \quad (4)$$

Более того, если следовать логике выражения (2), реальная трудоемкость работ может быть еще ниже, поскольку выражение (3) тогда приобретает вид:

$$P_{\text{тр}} = 6,4(1,78\gamma - 1). \quad (5)$$

Возможные следствия из анализа выражения (3) представляются очевидными. Отметим только, что если коэффициент крепости горных пород принимать в соответствии с выражением (1), то все породные разности, показывающие средние значения прочности на одноосное сжатие в образце свыше 140 МПа и объемным весом свыше 2,4 г/см<sup>3</sup>, должны быть отнесены к X категории по СНИП. Для других соотношений этих характеристик, как и для XI категории по СНИП, требуется дополнительная регламентация.

Формат данной публикации не позволяет отразить все нюансы рассматриваемой проблемы, тем не менее, вопрос о настоятельной необходимости разработки принципиально иных научно-технических решений не должен вызывать никаких сомнений.



# ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПРОХОДКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ ОАО «АПАТИТ»

**С. А. Козырев**, зав. лабораторией, д. т. н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный институт КНЦ РАН

**А. А. Браунштейн**, заместитель технического директора – начальник отдела буровзрывных работ ОАО «Апатит»

**М. Н. Оверченко**, технический директор ЗАО «Орика Си Ай Эс»

В последние годы в нашей стране и за рубежом для отбойки горных пород увеличиваются объемы применения эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) ввиду полной механизации их приготовления и заряжания, высокой водоустойчивости, низкой себестоимости и отсутствия в составе опасных и дорогих индивидуальных взрывчатых веществ. Этой тенденции придерживается и ОАО «Апатит», и уже длительное время использует их для отбойки руды на открытых горных работах, а в последние годы и на подземных рудниках [1,2].

В настоящее время при заряжании шпуров в подземных выработках рудников ОАО «Апатит» применяется эмульсионная матрица (ЭМ) «Сабтэк Вэлкро» производства ЗАО «Орика Си Ай Эс», которая предназначена для изготовления ЭВВ «Сабтэк Вэлкро» непосредственно в зарядной полости. ЭМ «Сабтэк Вэлкро» имеет высокую степень диспергирования и большую площадь контакта окислителя и горючего, благодаря чему при оптимальной плотности заряжания достигается высокая скорость детонации в шпуровых зарядах. Критический диаметр открытого заряда ЭВВ «Сабтэк» составляет 32 мм, а в стальной трубе с толщиной стенки 3 мм – 15 мм, что и предопределило возможность их применения при шпуровой отбойке.

В связи с тем, что в технических условиях, предлагаемых к применению составов ВВ, указываются только усредненные параметры или пределы детонационных и взрывчатых характеристик, которые, как правило, не совпадают с оптимальными значениями, потребовалась оценка их взрывчатых свойств для обоснования области их рационального применения.

Известно, что скорость детонации ЭВВ [3–5] и многих других промышленных ВВ, для которых с увеличением плотности происходит рост критического диаметра детонации, представляет экстремальный вид зависимости скорости детонации от плотности ВВ. Для таких ВВ при росте плотности вначале наблюдается линейное увеличение скорости детонации, затем она возрастает медленнее и при некотором значении плотности происходит отказ детонации. Это значение плотности называют критической для данного ВВ и данного диаметра заряда. С увеличением диаметра заряда значения критической плотности возрастают. Из этого следует, что для каждого ВВ, каждого диаметра заряда и каждого условия взрывания (характер оболочки) необходимо определять оптимальное значение плотности ВВ, при котором достигается максимальная скорость детонации (наиболее полное выделение энергии в детонационной волне).

Для придания эмульсионной матрице взрывчатых свойств применяется, в основном, ее химическая сенсibilизация водным раствором нитрита натрия. Основными факторами, влияющими на процесс газификации эмульсионной матрицы, являются показатель pH раствора окислителя, температура эмульсии, количество и марка вводимой газогенерирующей добавки (ГГД), а также горно-геологические условия – температура окружающей среды и обводненность.

Если для ЭВВ, применяемых на открытых горных работах, уже имеются некоторые сведения зависимости скорости детонации от плотности, то для ЭВВ для подземных горных работ, особенно для шпуровых зарядов, такие экспериментальные данные отсутствуют.

Основной задачей исследований по этому направлению было выявление оптимальной плотности взрыва в зависимости от которой достигается максимальное энерговыделение при взрыве зарядов ВВ с целью их использования во врубных и отбойных шпурах при рациональных параметрах БВР, а также изыскание возможности обеспечения минимальной плотности заряжания для контурных шпуров.

Для этих целей в полигонных условиях первоначально были проведены эксперименты по оценке скорости детонации и бризантного действия взрыва в зависимости от плотности заряжания. Разная плотность заряжания достигалась путем введения в эмульсионную матрицу водного раствора нитрита натрия различной концентрации. Скорость детонации оценивалась с помощью оптоволоконного метода измерений, а бризантное действие – по степени расширения и разрушения стального кольца, надетого на трубу [8].

В результате экспериментов установлено, что наилучшие характеристики взрывания обеспечиваются при плотностях заряжания в диапазоне 1,14–1,17 г/см<sup>3</sup>, что соответствует и максимальной скорости детонации, а наименьшим разрушающим действием обладают заряды с плотностью меньше 0,9 г/см<sup>3</sup>. Увеличение плотности заряжания более 1,20 г/см<sup>3</sup> приводит к еще большему снижению скорости детонации (рис. 1 и 2).

Обобщенные данные скорости детонации от плотности заряжания ЭВВ «Сабтэк» приведены на рис. 2.

Как и установлено ранее [3, 4], зависимость скорости детонации также носит немонокотонный характер, а максимум скорос-

Рис. 1. Бризантность ЭВВ «Сабтэк» в зависимости от скорости детонации и плотности заряжания



Таблица

Показатели зарядов ЭВВ «Сабтэк» с различными марками ГГД  
в макетах шпуров и непосредственно в шпурах

| Параметры                                              | ГГД UGS 403 |             |             |             |
|--------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                        | Макет шпура |             | В шпуре     |             |
|                                                        | № 1         | № 2         | № 1         | № 2         |
| Длина шпура, м                                         | 1,6         | 1,55        | 4,4         | 4,5         |
| Диаметр шпура, мм                                      | 36,8        | 37,0        | 43          | 43          |
| Длина заряда, м                                        | 1,60        | 1,55        | 2,5         | 3,85        |
| Начальная плотность заряда, г/см <sup>3</sup>          | 1,28        | 1,28        | 1,28        | 1,28        |
| <b>Плотность заряда через 60 мин, г/см<sup>3</sup></b> | <b>0,97</b> | <b>0,98</b> | <b>1,07</b> | <b>1,07</b> |
| Увеличение длины заряда, %                             | 32          | 31          | 16,7        | 16,3        |
| Скорость детонации, м/с                                |             |             |             | 4900        |

| Параметры                                              | ГГД UGS 703 |             |             |
|--------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                        | Макет шпура |             | В шпуре     |
|                                                        | № 1         | № 2         | № 1         |
| Длина шпура, м                                         | 1,6         | 1,6         | 4,4         |
| Диаметр шпура, мм                                      | 37,0        | 37,0        | 43          |
| Длина заряда, мм                                       | 160         | 160         | 3,8         |
| Начальная плотность заряда, г/см <sup>3</sup>          | 1,28        | 1,32        | 1,32        |
| <b>Плотность заряда через 60 мин, г/см<sup>3</sup></b> | <b>1,08</b> | <b>1,13</b> | <b>1,22</b> |
| Увеличение длины заряда, %                             | 18,5        | 16,8        | 8,2         |
| Скорость детонации, м/с                                |             |             | 3870        |

| Параметры                                              | ГГД UGS 710 |             |             |             |             |             |             |
|--------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                        | Макет шпура |             | В шпуре     |             |             |             |             |
|                                                        | № 1         | № 2         | № 1         | № 2         | № 3         | № 4         | № 5         |
| Длина шпура, м                                         | 1,6         | 1,6         | 4,4         | 4,5         | 4,4         | 4,1         | 4,15        |
| Диаметр шпура, мм                                      | 37,0        | 37,0        | 43          | 43          | 43          | 43          | 43          |
| Длина заряда, м                                        | 1,60        | 1,60        | 2,1         | 3,2         | 3,0         | 2,8         | 2,75        |
| Начальная плотность заряда, г/см <sup>3</sup>          | 1,28        | 1,26        | 1,28        | 1,28        | 1,28        | 1,33        | 1,35        |
| <b>Плотность заряда через 60 мин, г/см<sup>3</sup></b> | <b>0,98</b> | <b>0,94</b> | <b>1,05</b> | <b>1,05</b> | <b>1,05</b> | <b>1,16</b> | <b>1,18</b> |
| Увеличение длины заряда, %                             | 31,0        | 34,0        | 12,5        | 11,1        | 14,3        | 12,5        | 12,7        |
| Скорость детонации, м/с                                |             |             | 5180        |             |             | 5190        |             |

| Параметры                                              | ГГД UGS 733 |             |             |             |             |
|--------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                        | Макет шпура |             |             | В шпуре     |             |
|                                                        | № 1         | № 2         | № 3         | № 1         | № 2         |
| Длина шпура, м                                         | 1,0         | 1,0         | 1,0         |             | 4,4         |
| Диаметр шпура, мм                                      | 40,0        | 40,0        | 40,0        | 43          | 43          |
| Длина заряда, м                                        | 1,0         | 1,0         | 1,0         | 3,5         | 3,8         |
| Начальная плотность заряда, г/см <sup>3</sup>          | 1,29        | 1,28        | 1,30        | 1,30        | 1,28        |
| <b>Плотность заряда через 60 мин, г/см<sup>3</sup></b> | <b>0,86</b> | <b>0,83</b> | <b>0,90</b> | <b>1,09</b> | <b>1,07</b> |
| Увеличение длины заряда, %                             | 34          | 35          | 31          | 16          | 16,5        |
| Скорость детонации, м/с                                | 4220        | 3980        | 4820        |             | 5100        |

тей достигается в диапазоне плотностей 1,05–1,17 г/см<sup>3</sup>.

Для обеспечения оптимальной плотности заряжения «холодных» эмульсий (ниже +40 °С), которые в основном и применяются в подземных условиях, необходимо подобрать соответствующую газогенерирующую добавку (ГГД).

Для этих целей были выбраны ГГД UGS 403, UGS703, 710, которые рекомендованы ЗАО «Орика Си Ай Эс» для заряжения отбойных и врубовых шпуров и UGS 733 для контурных шпуров. (ГГД типа «UGS» 400 серии – раствор: нитрит натрия + вода; ГГД типа «UGS» 700 серии – раствор: нитрит натрия + ускоритель образования микропузырьков + вода).

Для указанных марок ГГД для проходки горных выработок были проведены исследования по изучению процесса газификации ЭМ в макетах шпуров и непосредственно в шпурах.

Результаты исследований представлены в табл.

В результате измерений плотности зарядов в натуральных условиях – в шпурах диаметром 43 мм при одинаковых условиях формирования зарядов, полученные значения плотности непосредственно в шпурах отличаются для каждого типа ГГД и находятся в диапазоне от 1,05 до 1,22 г/см<sup>3</sup>, что значительно выше, чем при газификации в трубах. Поэтому для врубовых и отбойных шпуров наиболее целесообразно применять ГГД UGS 710 и 733 серий, так как заряды, приготовленные на этих ГГД, обладают наибольшей скоростью детонации в шпурах.

Обеспечить необходимую плотность заряжения для контурных шпуров (0,6–0,8 г/см<sup>3</sup>) непосредственно в шпурах не удалось ни при одной из марок ГГД. Поэтому данный вопрос требует дальнейшего рассмотрения, а на сегодняшний день рекомендовано использовать для контурных шпуров ГГД UGS 703 серии, так как ЭВВ, полученное с использованием данной марки ГГД, обладает большей плотностью заряжения (до 1,22 г/см<sup>3</sup>) и меньшей скоростью детонации (3870 м/с), что уменьшает бризантное действие взрыва, а следовательно, и законтурные разрушения.

Не менее важным для достижения оптимальной плотности заряжения является время газификации эмульсионной матрицы в шпурах. Для изучения влияния температуры эмульсии на процесс газификации в натуральных условиях использовалась эмульсия с температурой +11, +22, +28 и +32 °С, которая заряжалась с помощью зарядной машины в модельную скважину – пластиковую трубу длиной 1 м и диаметром 102 мм (рис. 3а).

Температура воздуха в горной выработке составляла +6 °С. Через каждые 30 минут измеряли увеличение высоты колонки заряда, затем, срезав выступающую часть, производили взвешивание заряда. Зависимость изменения плотности заряда во вре-

мени при прохождении газификации представлена на рис. 36.

Из представленных данных следует, что чем выше температура эмульсии, тем быстрее происходит газификация, но завершение процесса газификации и стабилизация плотности при температуре эмульсии выше +20 °С происходит в одном временном интервале – в течение 90 мин, в то время как при меньшей температуре – в течение 130 мин, что не соответствует данным, заявленным в технических условиях.

Этот вывод является очень важным с точки зрения достижения оптимальной плотности заряжения и выбора времени взрывания после заряжения.

Общий характер изменения плотности заряда в макетах и шпурах приведен на рис. 4.

Особо следует отметить, что не следует ориентироваться на конечную плотность, полученную при газификации в мерной емкости. Она всегда получается на 20–30 % ниже, чем непосредственно в шпурах.

На основе полученных данных о взрывчатых характеристиках ЭВВ «Сабтэк» разработана «Методика расчета параметров буровзрывных работ при проведении горных выработок с использованием эмульсионных ВВ» и компьютерная программа Borehole Chart для автоматизированного построения паспортов буровзрывных работ.

Использование на подземных рудниках ОАО «Апатит» при проходке горных выработок эмульсионных ВВ «Сабтэк» по разработанным паспортам БВР позволило обеспечить полную механизацию заряжения шпуров, уменьшить их количество в забое, обеспечить коэффициент использования шпуров до 0,9–0,95 при их глубине 4,5 м.

## Литература

1. Козырев С. А., Звонарь А. Ю. Повышение эффективности и безопасности взрывной отбойки на подземных рудниках Хибинских месторождений при использовании эмульсионных взрывчатых веществ // Взрывное дело. – 2011. – № 106/63. – С. 72–91.
2. Звонарь А. Ю., Браунштейн А. А., Авраменко А. Е., Листопад Г. Г., Едигарев С. А., Оверченко М. Н. Применение эмульсионных взрывчатых веществ на подземных рудниках ОАО «Апатит» // Горный журнал. – 2012. – №1 2. – С.122–128.
3. Lee J., Sandstrom F. W., Craig B. G., Persson P.-A. Detonation and shock initiation properties of emulsion explosives. Proc. 9th Symp. Intern. on Detonation, 1989. P. 263–273.
4. Дерibas А. А., Медведев А. Е., Решетняк А. Ю., Фомин В. М. Детонация эмульсионных взрывчатых веществ с полыми микросферами // ДАН. – 2003. – Т. 389, № 6. – С.163–165.
5. Медведев А. Е., Решетняк А. Ю., Фомин В. М. Детонация эмульсионных взрывчатых веществ. Зависимость от диаметра заряда. [www.vniit.ru/rig/konfer/9zst/s2/2-10.pdf](http://www.vniit.ru/rig/konfer/9zst/s2/2-10.pdf)
6. Ищенко Н. И., Монаков В. Ф., Колтунов О. В. Эмульсионные взрывчатые вещества – опыт практического применения // Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников. – 2012. – № 2. – С. 2–6.
7. Натаров О. В. Совершенствование технологии взрывных работ с применением эмульсионных взрывчатых веществ на карьерах Хибинских месторождений: автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Апатиты, 2006. – 25 с.
8. Власова Е. А., Державец А. С., Козырев С. А., Кутыин Н. Г., Фильчаков А. А. Оценка взрывчатых характеристик и газовой вредности промышленных ВВ // Взрывное дело. – 2008. – № 99/56. – С. 119–136.

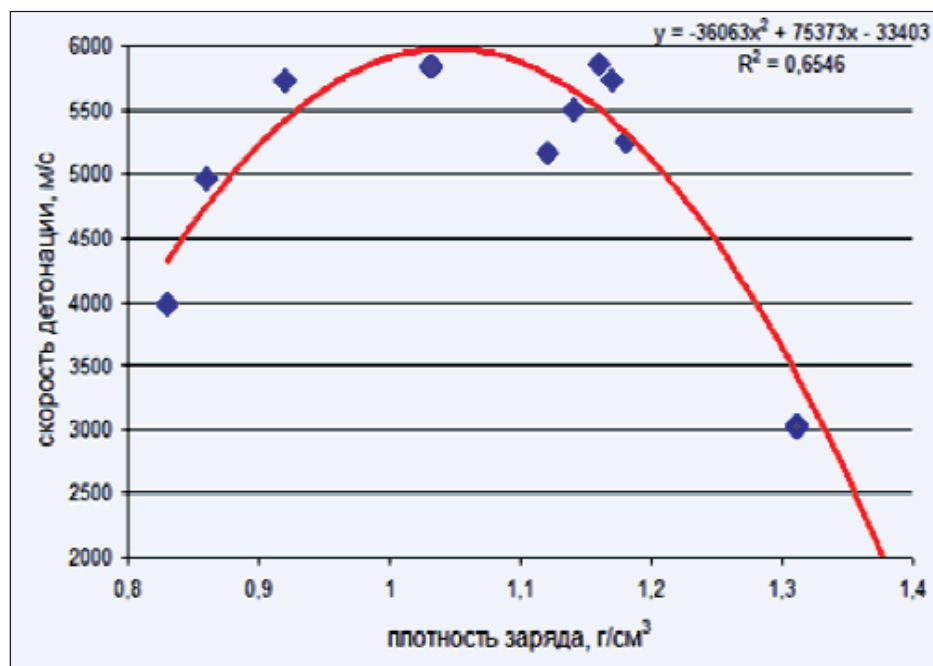


Рис. 2. Зависимость скорости детонации от плотности заряжения ЭВВ «Сабтэк»

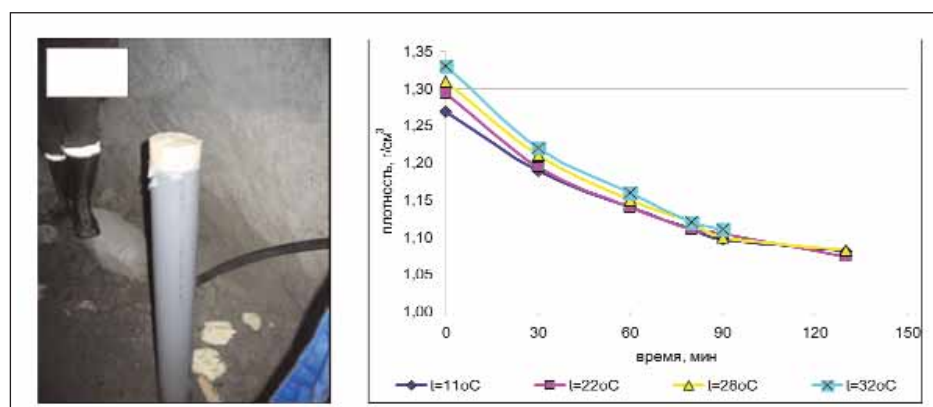


Рис. 3. Изменение плотности заряда во времени при прохождении газификации

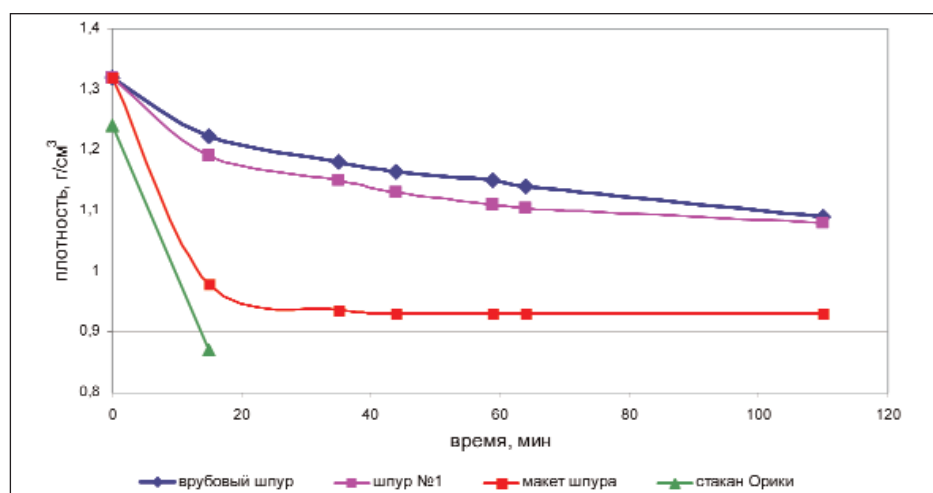


Рис. 4. Изменение плотности заряда ЭВВ «Сабтэк» во времени в шпурах, макете шпура и в измерительной емкости в процессе газификации зарядов

формационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников. – 2012. – № 2. – С. 2–6.

реф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Апатиты, 2006. – 25 с.

# КИЕВСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН: СТАНЦИЯ «ТЕРЕМКИ»



**А. К. Охотников,**  
директор дирекции строительства Киевского метрополитена

6 ноября 2013 г. в Киеве, в торжественной обстановке, при участии Президента Украины В. Януковича, введена в эксплуатацию станция «Теремки» Куреневско–Красноармейской линии метрополитена. Это 52-я станция Киевского метро, 18-я на этой линии и 6-я новая станция за последние четыре года. Станция расположена вдоль проспекта Академика Глушкова в юго-западном направлении, за Кольцевой дорогой. «Теремки» сразу стала популярной у киевлян и гостей столицы Украины. При расчетном пассажиропотоке 12,2 тыс. пассажиров в сутки, станция принимает около 30 тыс. человек благодаря удачному расположению вблизи транспортной развязки на пересечении автотрассы Киев – Одесса с Кольцевой дорогой г. Киева и построенному перехватывающему паркингу. Жители одноименного развивающегося жилищного массива Киева теперь добираться до центра города за 25 мин.

Станция «Теремки» – второй, завершающий этап строительства участка продолжения Куреневско-Красноармейской линии от ст. «Выставочный центр» до Одесской площади. Во время работ, на участке от ст. «Выставочный центр» до ст. «Ипподром», при отсутствии оборотных тупиков, было организовано временное челночное движение поездов метрополитена и перевозки пассажиров с интервалом 5–7 мин, что в условиях суровой и снежной зимы 2012–2013 гг. оказалось эффективнее работы наземных видов транспорта.

Станция «Теремки» мелкого заложения, односводчатая, сооружена открытым способом, имеет два вестибюля. Платформа станции шириной 11 м и длиной 104 м соединена с вестибюлями лестничными маршами и специальными лифтами для маломобильных пассажиров в торцах станции. Высота от уровня платформы до середины свода станции составляет 7 м.

Вестибюль № 1 обустроен двумя выходами на поверхность с лестничными маршами и одним специальным лифтом для маломобильных пассажиров. Вестибюль № 2 имеет два выхода на поверхность по лестничным маршам и специальный лифт для маломобильных пассажиров, третий – примыкает к действующему подземному переходу под проспектом Академика Глушкова и оснащен лестничными маршами и пандусом для колясок и маломобильных пассажиров.



Выходы представляют собой парапет, облицованный плиткой «Грес» (керамогранит) в комбинации бежевого и коричневого цвета. Полы выложены гранитными плитами серого и красного цвета, а в существующем подземном переходе – ФЕМами. Перед первой и последней ступеньками лестничных маршей, а



также рядом с краями платформы установлена контрастная «шутц» линия из рельефной плитки для ориентации пассажиров с ограниченным зрением.

Специальные лифты, звуковые информаторы, «шутц» линия, пандусы являются элементами государственной программы «Безбарьерное пространство», разработанной для пассажиров с ограниченными физическими возможностями.

Павильоны – стальной каркас, окрашенный эмалями типа «Металлик» светло-серого цвета, накрытый кровлей со стеклянным фонарем. С боков павильоны защищены витражной конструкцией с заполнением стеклом «триплекс». На входах установлены двери типа «Метро».

Впервые в истории Киевского метрополитена платформа и вестибюли выстроены в единое односводчатое пространство.

Интерьер станции выполнен в современном стиле с учетом передовых технологий отечественного и зарубежного опыта проектирования и строительства объектов метрополитена.

Великолепная роспись свода станции и путевых стен гармонично сочетается с архитектурным освещением: оригинальные четырехэлементные торшеры-светильники с металлоалюминиевыми лампами мощностью 150 Вт укомплектованы вторичными отражателями с поляризационными рефлекторами из анодированного алюминия. Их расположение на опорах по оси платформы, в виде четырех тарелок на каждой, выделяют «Теремки» на фоне других станций Киевского метрополитена. Отличным дополнением являются оригинальные скамейки на платформе, выставленные вокруг опор торшеров.

Для архитектурного оформления станционного комплекса использовались долговечные материалы: гранит и мрамор.

Вестибюли станции освещаются встроенными в потолки современными светильниками прямоугольной и квадратной форм.

Планировка станционного комплекса выполнена с учетом создания максимальных удобств пассажирам и персоналу метрополитена.

Проходка перегонных тоннелей закрытого способа работ в сложных гидрогеологических условиях выполнялась тоннелепроходческими комплексами с грунтовым пригрузом забоя WIRTH TB-628 и Herrenknecht S-402. Обделка тоннелей – железобетонная, сборносекционная с торцевым резиновым уплотнением.

В перегонных тоннелях, которые расположены на расстоянии менее 40 м от жилой застройки, а также в районе путепровода и станции, для уменьшения шумов и вибрации от движения поездов метрополитена выполнена виброзащитная конструкция верхнего строения пути. Для этого использованы блочные опоры системы EBS с изоляцией из полиуретановой смолы Corkelast по технологии фирмы TINES, успешно применяемой в метрополитенах Польши, Голландии и других стран.

Для гидроизоляции железобетонных и бетонных конструкций, перегонных тоннелей и станции применялась водозащитная пленка Multiplan. Преимуществом данной пленки является высокая прочность, водонепроницаемость, простая технология укладки и пр.

Так как станция является временно конечной, за ней для оборота поездов построены шестистрелочные оборотные тупики с перекрестным съездом.

Строительство конструкций станционного комплекса, ВУ, ОВУ и выходов выполнялось в котлованах с креплением стен. В зависимости от гидрогеологических условий, технологических и конструктивных решений, положительного опыта строительства, крепление котлованов выполнялось методом «стена в грунте» с раскреплением расстрелами из труб  $\varnothing 630 \times 10$  и поясками из двух двутавров № 45. Сооружение «стены в грунте» велось с помощью установок B125, B250 KPC фирмы Casagrande. Погружение свай крепления котлованов выходов выполнено вибропогружателем MS-50H.

Для обеспечения удобств и повышения безопасности наземного пассажирского транспорта в районе станции сооружен останочный комплекс с «карманом», а также перехватывающий паркинг по четной стороне проспекта Академика Глушкова.

При строительстве станций этого участка апробирован ряд инновационных решений, разработанных по техническому заданию специалистов Киевского метрополитена. Одно из них – совместная разработка службы сигнализации с немецкой компанией Bening безинерционной системы гарантированного электропитания для устройств микропроцессорной системы управления движением поездов метрополитена, которая обеспечивает безопасность пассажиров и не допускает перерывов в электроснабжении.

Комплектование станции «Теремки» традиционно осуществлено преимущественно оборудованием украинских производителей, изготовленном на базе современных комплектующих, в том числе микропроцессорной техники, ведущих мировых и европейских компаний.

ЗАО «Плутон» (г. Запорожье) изготовлен весь ряд современных комплектных распределительных устройств 10кВ, 825В, 380В, 220В переменного и постоянного тока, выпрямителей на таблеточных диодах для совместных тягово-понижительных подстанций метрополитена, станции управления тоннельными вентиляторами, насосами водоотливных установок с частотными преобразователями. НВП «Желдоравтоматика» разработана и внедрена микропроцессорная система управления движением поездов метрополи-



Схема линий Киевского метрополитена

тена, ООО «Виком-Инкорпорейтед» – система поездной радиосвязи на базе щелевого кабеля, ООО «Донвентилятор» – вентиляторы для систем тоннельной, приточно-вытяжной вентиляции и дымоудаления.

Для повышения защищенности и снижения вероятности поражения пассажиров и персонала метрополитена продуктами сгорания в случае пожара применены кабели с изоляцией из безгалогенных композиций, с пониженным индексом дымообразования при горении, а для отдельных систем жизнеобеспечения – огнестойкие с пределом огнестойкости 15, 30, 60, 90 мин.

Проектная документация разработана генеральным проектировщиком – Государственным предприятием «ПИ Укрметротоннельпроект» совместно с десятью другими проектными организациями Киева и Украины, в том числе институтами «Киеввентилан», «Киевдормостпроект», НВП «Желдоравтоматика», МПО «Элтранс» и др.

Строительство станции «Теремки» осуществил генеральный подрядчик ПАО «Киевметрострой» при активном участии около тридцати специализированных организаций, в том числе ООО «Электрик», ООО «КП Спецавтоматика», ООО «СВ-Телеком», ЗАО «КОТС» и др.

Благодаря применению новейших технологий, современных строительных материалов и оборудования киевским метростроителям удастся поддерживать мировой уровень сооружения метрополитена.

На сегодняшний день в Киевском метро функционируют три линии общей эксплуатационной длиной 67,6 км, 52 станции, три пересадочных узла в центральном районе города, три электродепо, вагоноремонтный завод и другие инфраструктурные объекты.

# ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОТОННЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ

**А. М. Слизкий**, инженер ОАО «Минскметропроект», г. Минск, Республика Беларусь

Применение экранов из труб при строительстве тоннелей в несвязных грунтах малой прочности само по себе не является новинкой. В Минске эта технология используется при строительстве эвакуационных сбоек на тоннелях закрытого способа работ метрополитена. В России с применением экрана из труб по проекту ОАО «Минскметропроект» был построен автодорожный тоннель под действующей железной дорогой Виноградная – Георгиевск (Ставропольский край), рис. 1. Проходка тоннелей под защитой экранов закладывается при проектировании третьей линии Минского метрополитена – сбоек, ходков, участков перегонных тоннелей.

Все эти примеры объединяют некоторые общие особенности – небольшое поперечное сечение и технологическая схема производства работ, при которой установка опорных рам ведется последовательно, по мере разработки лба забоя. Таким образом, одним своим концом трубы экрана опираются на неразработанный массив грунта, другим – на установленную в предыдущей заходке опорную раму (рис. 2). Недостаток данного метода заключается в сложности подведения опорных балок и расжатии рамы, которое позволило бы минимизировать деформацию грунтового массива. Данное

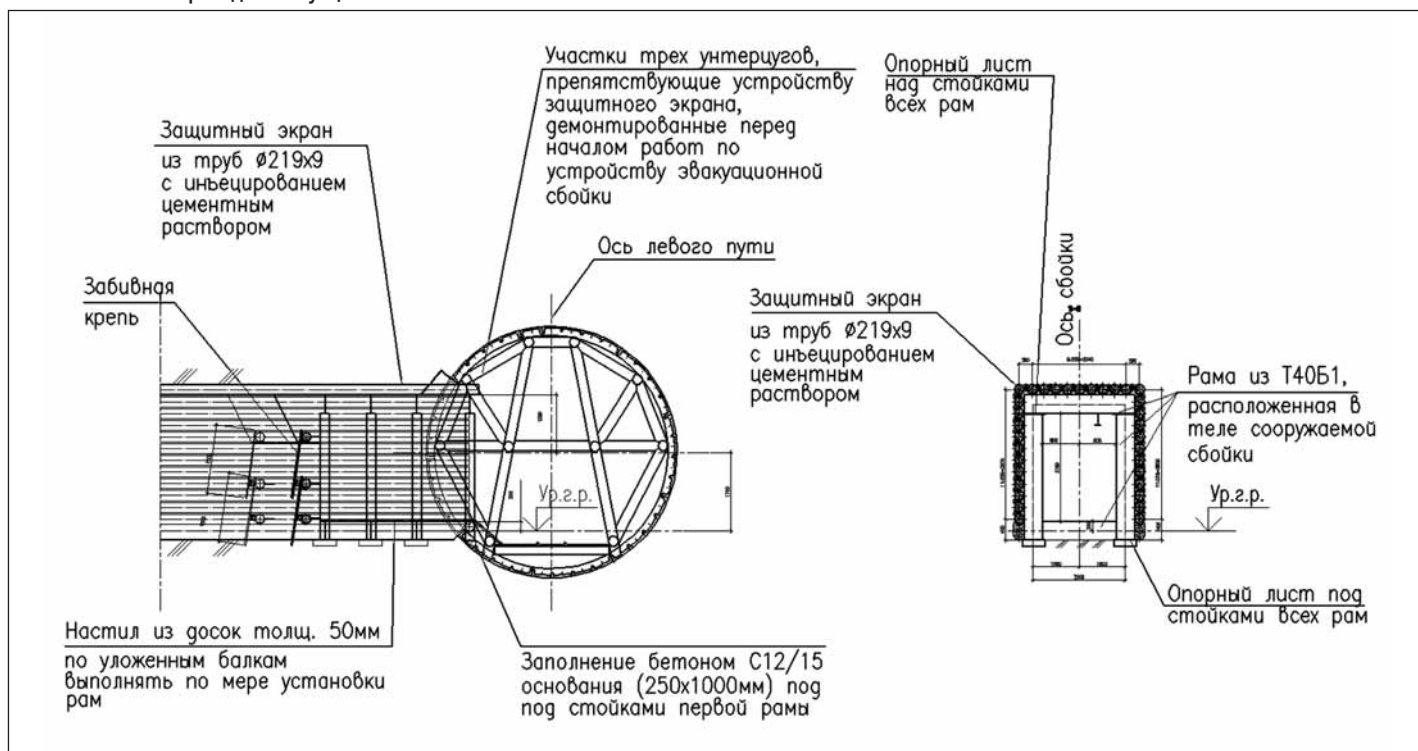


Рис. 1. Строительство тоннеля под железной дорогой Виноградная – Георгиевск

обстоятельство существенно не влияет на строительство тоннелей малого сечения, таких как сбойки, но несет значительные сложности и ограничения при строительстве тоннелей большого сечения.

Расширить область применения данной технологии помог бы пересмотр технологии возведения несущих опор экрана и поиск другой, более эффективной геометрии свода. Решение было найдено итальянскими специалистами.

Рис. 2. Технология проходки эвакуационной сбойки



янским инженером Петро Лунард, который воплотил свои разработки при строительстве станции «Венеция» Миланской транспортной системы в 1990 г. Станция представляет собой тоннель протяженностью 215 м и пролетом около 30 м. Конструктивно он состоит из 35 монолитных железобетонных арок, расположенных с шагом 6 м, несущих экран из железобетонных, заполненных бетоном труб, пройденных методом микротоннелирования. Арки опираются на боковые железобетонные стены, выполненные в заранее пройденных горным способом штольнях. Тоннель строился в несвязных горных породах, частично ниже уровня грунтовых вод. При проходке широко применялось закрепление грунта из штолен и пилотного щитового тоннеля, что позволило оставить поверхность нетронутой и сохранить движение, что является важным в условиях крупных мегаполисов. Одной из отличительных особенностей строительства данного тоннеля явилась последовательность возведения опор экрана из труб и разработки грунта. Столь значительное поперечное сечение вследствие больших нагрузок от горного давления не позволило бы произвести установку опор описанным выше методом, не вызывая существенных просадок дневной поверхности в условиях крайне близкого расположения к фундаментам зданий. Единственным решением было возведение опорных арок до начала разработки грунтового массива.

Первым этапом стало устройство опорных стен в боковых штольнях, которые бы восприняли нагрузку и передали ее на грунтовое основание. Следующим, наиболее характерным этапом стало сооружение самих арок. С этой целью в местах их расположения был произведен частичный демонтаж труб микротоннелей экрана из труб и разработка поперечных, объединяющих их сбоек. В этих сбояках выставлялась опалубка, собирались пространственные арматурные каркасы, после чего производилось их заполнение бетоном, включая трубы экрана. После набора прочности данная конструкция фактически представляла собой окончательную постоянную обделку тоннеля (рис. 3).

Изучив и проанализировав миланский опыт строительства тоннеля с применением экрана из микротоннельных труб, хочется остановиться на рассмотрении других вариантов использования данной технологии при сооружении транспортных тоннелей и станций метрополитена. Применение горного способа при проходке боковых опорных тоннелей влечет за собой ряд ограничений. Основной сложностью является их проходка в слабых и несвязных грунтах. В Милане данный вопрос был решен методом закрепления грунта из пилотного тоннеля, что позволило создать однородный грунтовый массив. Од-

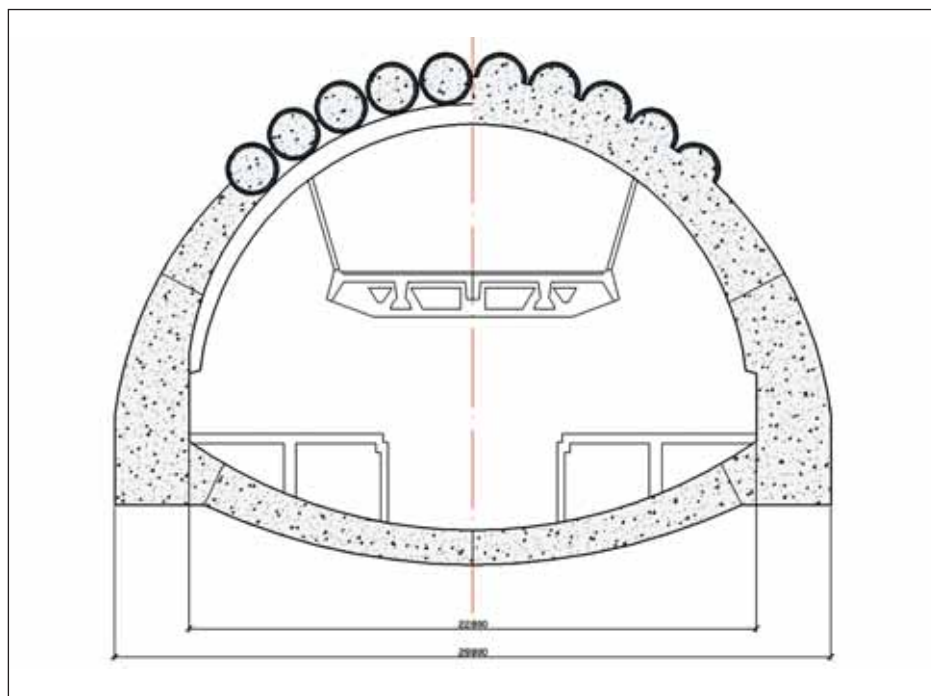


Рис. 3. Конструкция обделки станции «Венеция», Милан

нако применение закрепления в слоистых грунтах, где наблюдается постоянное чередование слоев с различными физико-механическими характеристиками, не способно обеспечить создание прочного массива. Такая картина чередования слоев небольшой мощности повсеместно встречается как в Минске, так и в Москве.

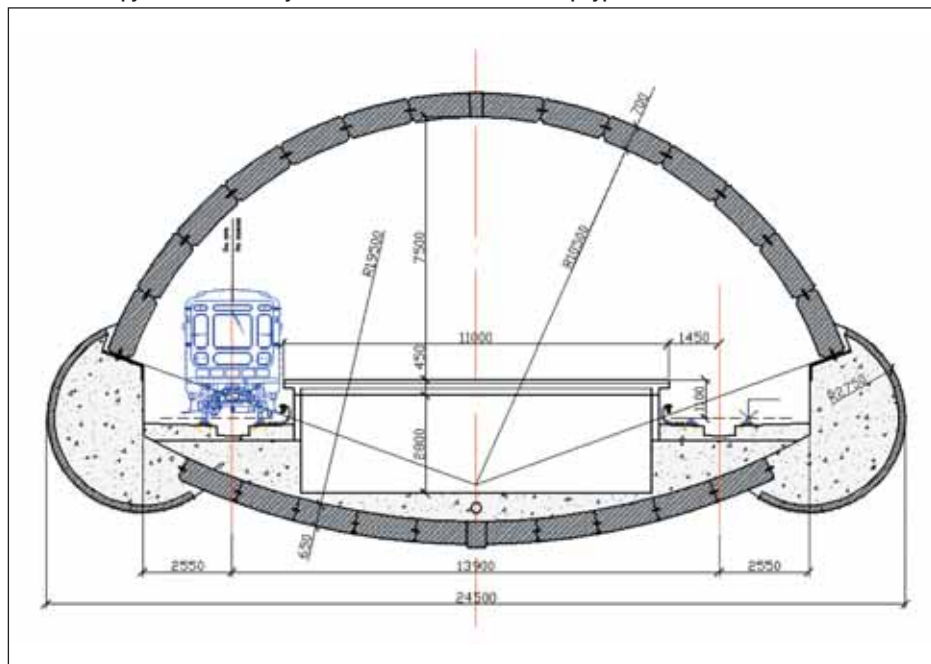
Строительство тоннелей большого сечения с применением боковых опорных тоннелей было реализовано на примере станций ЗСР в Санкт-Петербурге в 1974 г. (рис. 4). Тоннели, пройденные с использованием перегонных щитов, стали основой для сооружения опорных стен, поддерживающих свод из сборного железобетона. Данная технология была разработана для

строительства в слабых скальных и прочных глинистых грунтах, изначально рассчитана на их несущую способность, позволявшую на непродолжительный срок оставлять нераскрепленной поверхность забоя до момента разжатия обделки.

Принимая во внимание обе описанные технологии, в качестве альтернативной может быть предложена технология ячеистой арки, опираемой на стены в щитовых тоннелях.

Применение щитовых тоннелей в рамках данной концепции имеет ряд преимуществ: наряду с высокой степенью механизации проходки и возможностью строительства в сложных инженерно-геологических условиях, оно позволяет свести к ми-

Рис. 4. Конструкция станции глубокого заложения, Санкт-Петербург



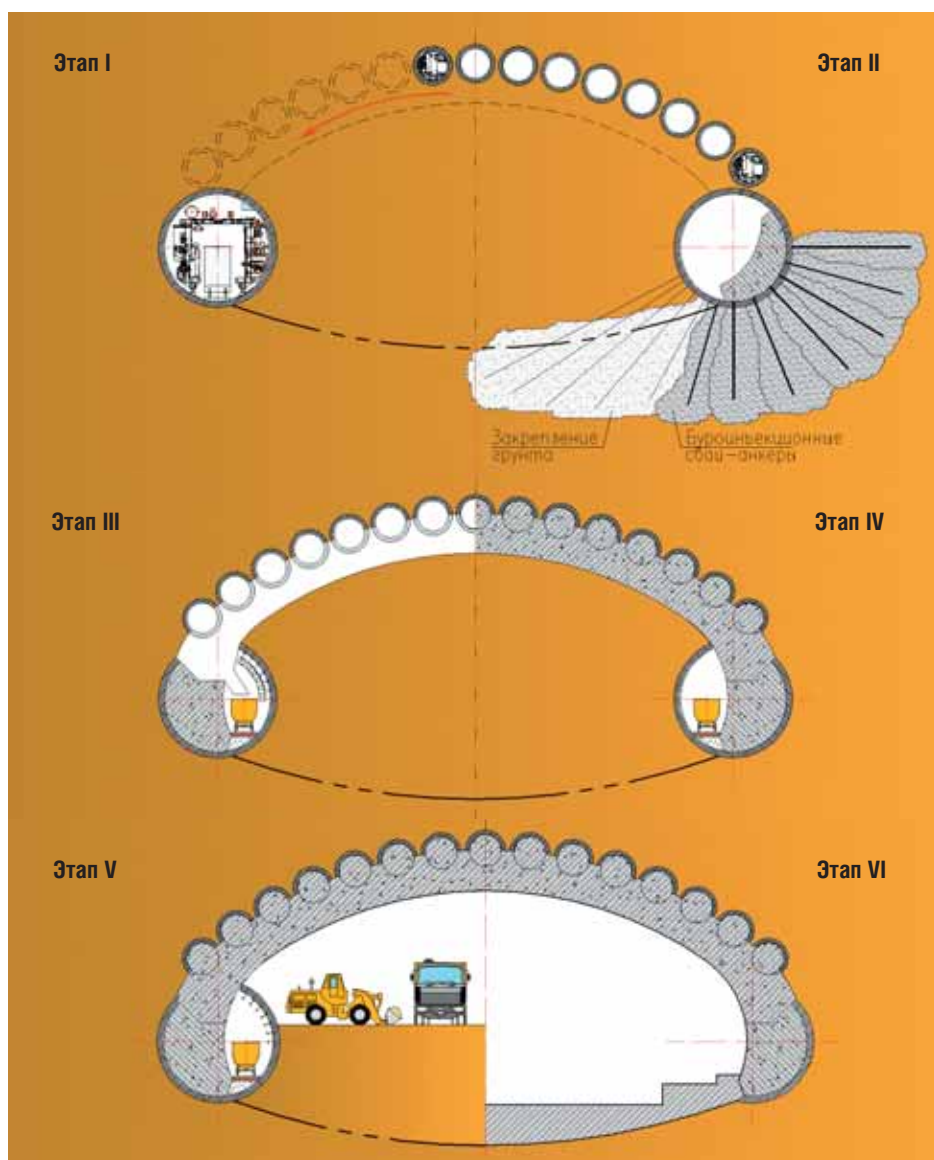
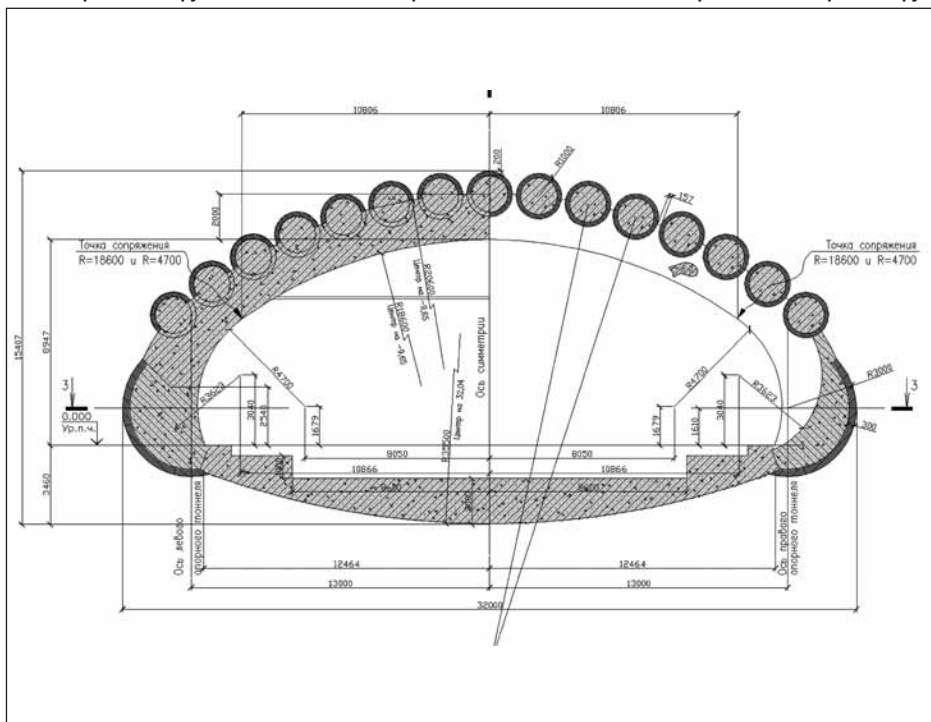


Рис. 5. Этапы строительства тоннеля

Рис. 6. Вариант конструкции 6-полосного автодорожного тоннеля, возводимого с применением экрана из труб



нимому воздействию на окружающий грунтовый массив и максимально сблизить тоннели экрана из труб с опорными тоннелями, обезопасить работы по возведению боковых тоннелей.

Сооружение тоннеля можно разделить на следующие этапы (рис. 5):

I – проходка боковых опорных тоннелей при помощи ТПМК, при необходимости инъекционное закрепление грунтов по контуру будущего тоннеля, устройство буронагнетательных анкеров свай для увеличения несущей способности грунта основания, начало проходки труб экрана методом микротоннелирования, начиная от свода тоннеля;

II – проходка труб экрана методом микротоннелирования с параллельным возведением тоннельных опорных стен;

III – вырубка частей труб экрана для устройства несущих арок, разработка поперечных сбоек с откаткой грунта вагонетками через боковые тоннели;

IV – бетонирование поперечных несущих арок свода, опираемых на боковые тоннельные стены, армирование и заполнение бетоном труб экрана;

V, VI – разработка грунта на полное сечение тоннеля под защитой экрана заходками с последовательным бетонированием обратного свода.

Для обоснования актуальности данной технологии проведем ее сравнение с другими вариантами строительства тоннелей щитовым способом. В качестве примера возьмем шестиполосный автотранспортный тоннель (рис. 6 и 7). Реализация такого транспортного объекта возможна двумя вариантами – с использованием двух тоннелей по три полосы для движения каждый, либо одного тоннеля большого диаметра с двухъярусным расположением проезжей части. Первый вариант реализован на примере Серебряно-Борского (Северо-западного) тоннеля в Москве. Второй же вариант и вовсе представляет собой крайнюю возможность механизированного тоннелестроения в настоящее время.

Применение механизированной проходки тоннелей влечет за собой ограничения по их минимальной глубине заложения. Обычно целик грунта принимается по толщине не менее диаметра проходческого комплекса. Таким образом, используя тоннелепроходческие машины сравнительно малого диаметра (микрощит диаметром 2 м и ТПМК диаметром 6 м), можно максимально уменьшить глубину заложения тоннеля, что может быть крайне актуально в условиях городской среды, где необходимо минимизировать длину подходов участков. Варианты же, принятые к сравнению, мало того, что требуют по указанным выше причинам протяженных рамповых участков,

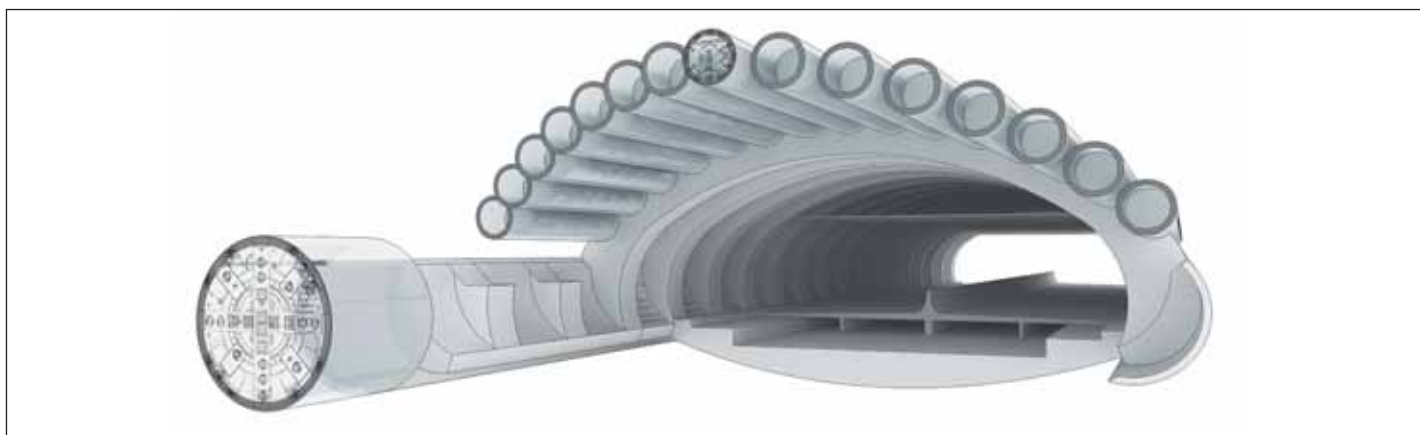


Рис. 7. Модель тоннеля (с учетом этапности возведения)

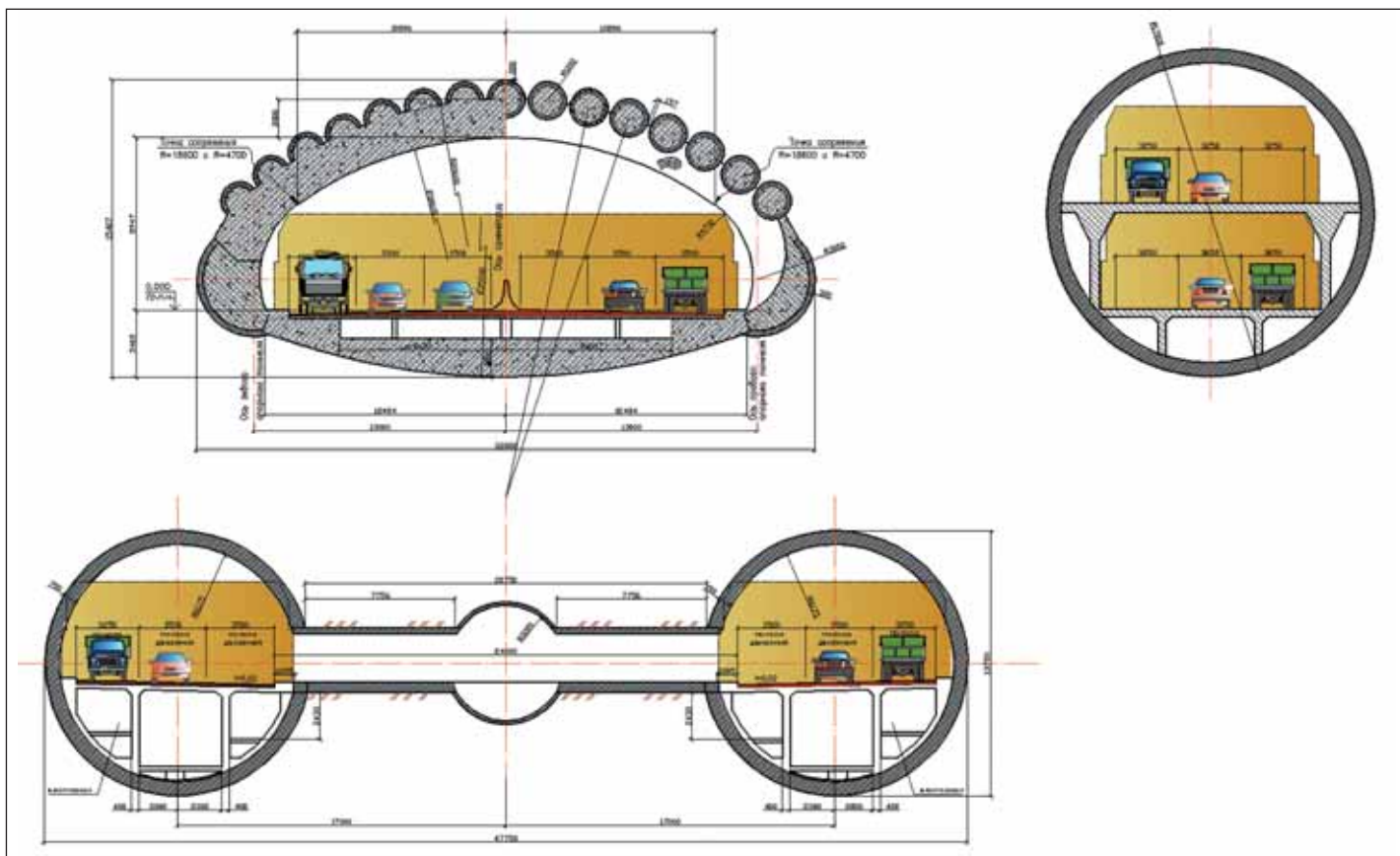


Рис. 8. Сравнение вариантов конструкций обделок автодорожного тоннеля

Технико-экономическое сравнение конструкций обделок автодорожного тоннеля

Таблица

| Параметр сравнения<br>(на 100 м тоннеля)                                | Тоннель<br>с применением<br>экрана | Два тоннеля<br>$d = 13,75$ м<br>(включая сервисный) | Один тоннель<br>$d = 15,5$ м |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|
| Объем щитовой проходки, м <sup>3</sup>                                  | 5654,9                             | 32914,9                                             | 22698,0                      |
| Объем проходки методом<br>микротоннелирования, м <sup>3</sup>           | 4712,4                             | —                                                   | —                            |
| Объем механизированной<br>разработки грунта, м <sup>3</sup>             | 29164                              | —                                                   | —                            |
| Общий объем разработки грунта                                           | 39531                              | 32914,9                                             | 22698,0                      |
| Площадь поперечного сечения<br>тоннеля в свету, м <sup>2</sup>          | 213,5                              | 267,9                                               | 189,9                        |
| % от площади сечения, занимае-<br>мой транспортным габаритом            | 56,4 %                             | 44,3 %                                              | 57,4 %                       |
| Минимальное расстояние от проез-<br>жей части до дневной поверхности, м | 14                                 | 21,53                                               | 25/30,5                      |

так они еще должны обеспечивать разделение транспортных потоков на два тоннеля – в первом варианте, либо на два яруса движения – при втором. В итоге для строительства таких элементов требуется наличие значительной территории и разработка достаточно глубоких котлованов, что не всегда осуществимо в условиях плотной городской застройки.

Применение в строительстве комплекса микротоннелирования и ТПМК для проходки перегонных тоннелей метрополитена делает доступным решение транспортных задач в городах, не обеспеченных таким уникальным и дорогостоящим оборудованием, как щиты большого диаметра, а также позволяет строить станции метрополитена закрытым способом со сквозной проходкой перегонных тоннелей.



# 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  
тел. в Ижевске (3412) 56-62-11  
тел. в Краснодаре (861) 240-90-82  
тел. в Красноярске (391) 208-17-15  
тел. в Казани (843) 296-66-61

тел. в Москве (495) 643-78-54  
тел. в Самаре (846) 922-56-36  
тел. в Санкт-Петербурге (812) 923-48-15  
тел. в Тюмени (3452) 74-49-75  
тел. в Уфе (917) 378-07-48  
тел. в Челябинске (351) 235-97-98

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

# НАТУРНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОЛОВНОЙ СЕКЦИИ И ГРУНТОВОГО МАССИВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ ПО ПРОДАВЛИВАНИЮ ТОННЕЛЕЙ

Г. В. Мосолов, младший научный сотрудник ОАО ЦНИИС

**В статье рассматриваются основные положения методики определения усилий продавливания крупногабаритных секций в пространственной постановке задачи. Проводится сравнительный анализ результатов расчета с измерениями, полученными в натурных условиях.**

При строительстве тоннелей методом продавливания и особенно крупногабаритных секций под защитой экрана из труб всегда встаёт задача определения усилий сопротивления продавливанию, которые необходимы для последующего выбора технологии, механических устройств и их проектирования.

Одним из основных расчётных параметров для метода продавливания является полное усилие продавливания, которое состоит из усилий для преодоления сил трения по наружной поверхности секций и усилий для преодоления лобовых сопротивлений.

Методики определения лобовых сопротивлений внедрению в грунт ножевой части (рис. 1) тоннельных секций можно разделить на два вида: аналоговая и расчётно-теоретическая.

Аналоговая методика расчёта лобового сопротивления базируется на использовании полученного опыта продавливания тоннелей в сходных условиях. Такой подход является сугубо ориентировочным и может приводить к серьёзным просчётам.

Расчётно-теоретическая методика базируется на расчёте по удельным сопротивлениям внедрения в грунт ножевых элементов, полученным на основе опытных работ. В ней имеют место эмпирические данные, игнорирующие многие факторы, влияющие на конечные результаты лобовых сопротивлений. Данная методика описана в рекомендациях по производству работ при сооружении тоннелей метрополитена методом продавливания. Этот подход часто не отвечает реальным ситуациям.

В филиале ОАО ЦНИИС НИЦ ТМ была разработана методика расчета усилий продавливания секций, базирующаяся на теории предельного равновесия грунтовой среды, развитой в окончательном виде В. В. Соколовским. Расчёты по данной методике подтверждаются как обобщёнными теориями механики грунтов, так и широким спектром практического опыта, а также экспериментальными исследованиями поведения грунтов под воздействием внешней нагрузки.

Особенностью процесса внедрения в грунт ножевых элементов головной части продавливаемых секций является прину-



Рис. 1. Вид на ножевую часть продавливаемого тоннеля

дительный сдвиг грунтовых масс, что описывается в механике грунтов пластическим напряженным состоянием (теорией предельного равновесия сыпучей среды). При глубинном сдвиге образуются замкнутые области предельного равновесия, вызывающие местное уплотнение грунтов. В этом случае имеет место упругопластическое напряжённо-деформируемое состояние грунтового массива.

Процесс расчета усилий продавливания условно можно разделить на три отдельные задачи для козырька, лотка и боковых стен ножевой части. Общее усилие находится суммированием полученных значений усилий для каждого отдельного элемента ножевой части. Для всех задач предлагаются одинаковые исходные данные:

- физико-механические характеристики грунта (угол внутреннего трения; сцепление; плотность; угол трения грунта по металлу);

- параметры ножевой части (угол заострения клина для лотка, козырька, боковых стен; толщина клина, длина ножевой час-

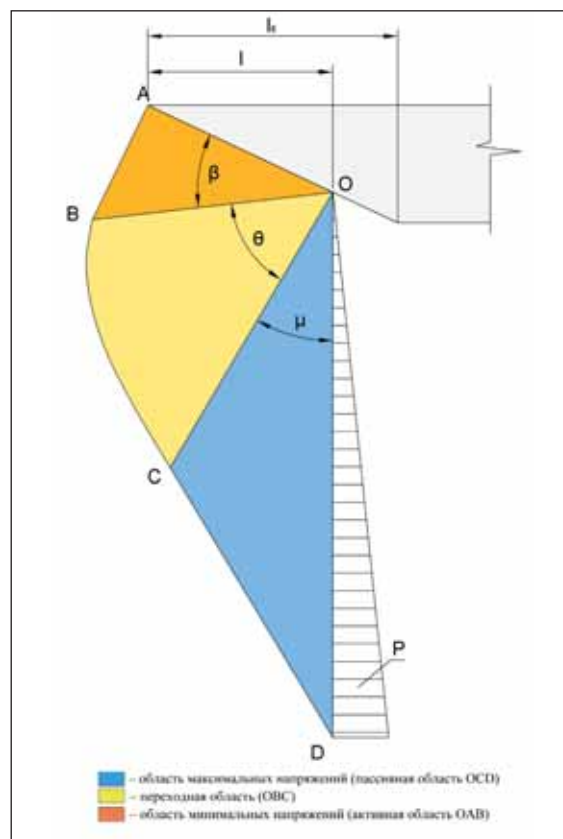


Рис. 2. Расчетная схема для козырька ножевой части:  $l_k$  – длина клина;  $l$  – текущая глубина внедрения клина;  $\mu$  – угол раствора пассивной области;  $\beta$  – угол раствора активной области;  $\theta$  – угол раствора переходной области,  $P$  – пригрузка от откосного забоя

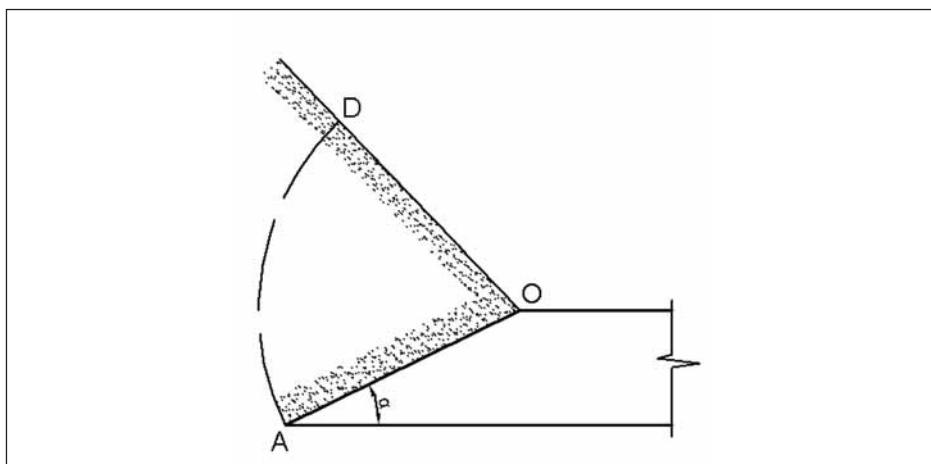


Рис. 3. Расчётная схема области сдвига (AOD) при внедрении лотка секции в грунт:  $\alpha$  – угол заострения клина лоткового элемента ножевой части

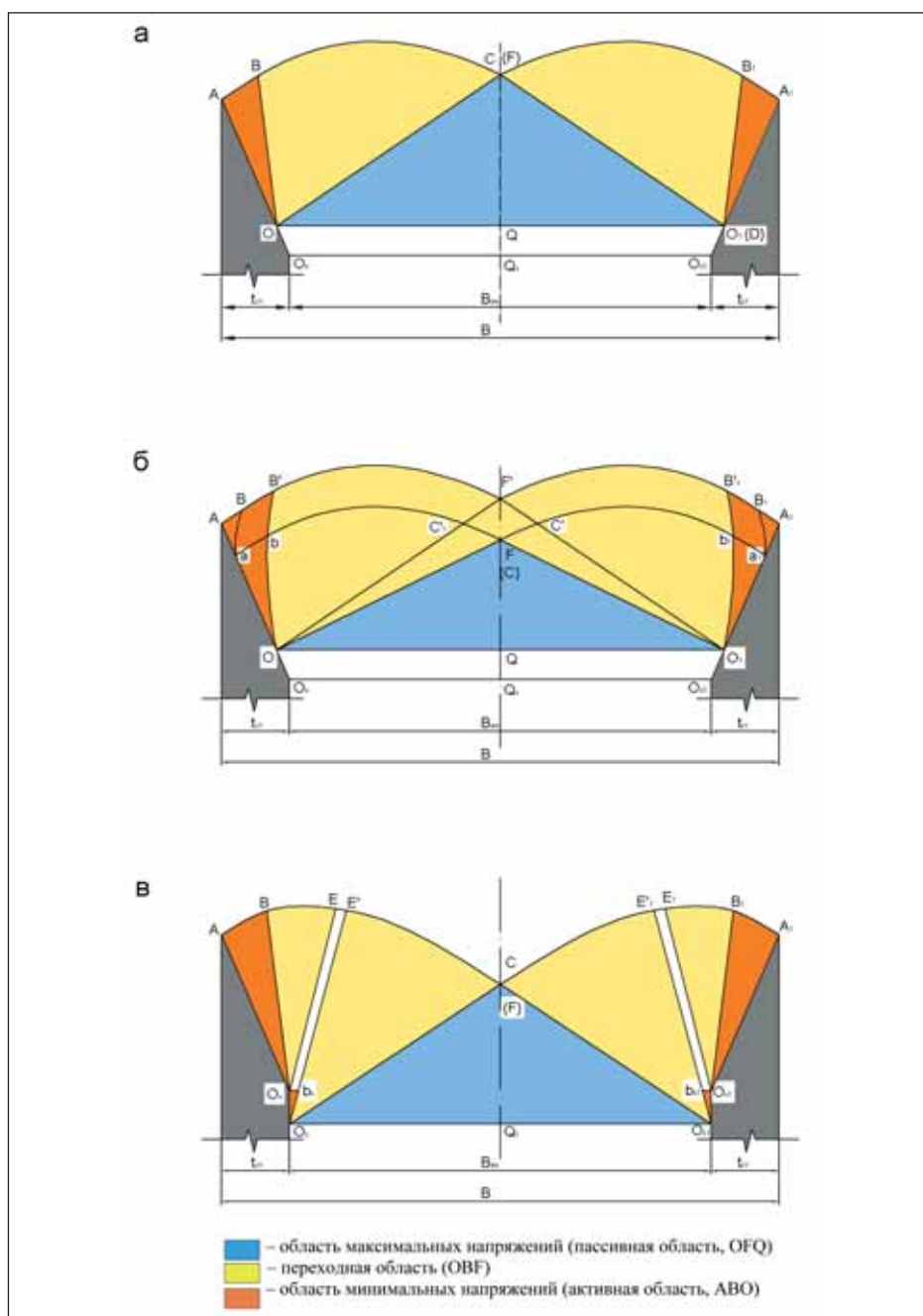


Рис. 4. Три стадии развития предельного напряженного состояния (ПНС) при внедрении боковых стен ножевой части (НЧ) секции в грунт: а – первая стадия ПНС (стандартная модель); б – вторая стадия ПНС; в – третья стадия ПНС

ти, наружная и внутренняя ширина секции, текущая глубина внедрения элемента ножевой части);

- параметры забоя (угол наклона забоя).

При расчете усилия козырька ножевой части применяется плоская задача предельного равновесия. С помощью теории В. В. Соколовского строятся области предельного равновесия грунта – минимальная, максимальная и переходная (рис. 2). Границы области зависят от физико-механических характеристик грунта, от угла заострения козырька и от глубины его внедрения. Откосный забой заменяется распределенным боковым давлением  $P$  (см. рис. 2), нарастающим с увеличением глубины.

Для вычисления усилия продавливания лотка ножевой части, ввиду его малого (около 15 %) влияния на общее усилие, целесообразнее применить метод сдвига грунта по граничной круглоцилиндрической поверхности, широко применяемый в практике проектирования для расчета реальных задач устойчивости сооружений и грунтовых массивов.

Основной компонентой общего усилия продавливания является усилие внедрения вертикальных элементов (боковых стен) ножевой части. Для расчета применяется осесимметричная задача предельного равновесия грунта.

Для её решения откосный забой делится на расчетные слои грунта, в которых рассматриваются только горизонтальные предельные напряжения. Собственный вес учитывается в горизонтальных направлениях в соответствии с удельным сцеплением как элемент касательных напряжений по границе слоев. Это позволяет рассматривать задачу в такой постановке, как для невесомой среды, решение для которой существует.

При разбиении откосного забоя на горизонтальные слои, каждый слой получает свои собственные граничные условия ввиду непрерывного изменения глубины внедрения. Изменение граничных условий в расчетных схемах слоев приводит по всей высоте забоя (от козырька к лотку) к одной из трех стадий (рис. 4) развития зон выпирания грунта (областей предельного напряженного состояния грунта).

На первой стадии для расчета предельного усилия внедрения используется классическая расчетная схема плоской задачи предельного равновесия грунта для решения устойчивости грунтовых оснований подпорных стен, земляных откосов.

В предельном состоянии в грунтовом массиве образуется зона сдвига, состоящая из трех областей ПНС (см. рис. 4). Сдвиг грунта осуществляется от активной области к пассивной при минимальном превышении предельных тангенциальных напряжений со стороны грунтового массива, действующих вдоль граничной линии скольжения.

Для каждой из трех стадий установлен критерий их существования. Для первой стадии это

$$l_B \leq l_{кр},$$

где  $l_B$  – текущая глубина внедрения клина ножевой части;

$l_{кр}$  – критическая глубина внедрения клина.

Для второй стадии:

$$l_K \geq l_B > l_{кр},$$

где  $l_B$  – текущая глубина внедрения клина ножевой части;

$l_{кр}$  – критическая глубина внедрения клина;

$l_K$  – длина клина.

Для третьей:

$$0 < U,$$

где  $U$  – текущее значение захода забоя в секцию.

Критическая глубина внедрения является основным параметром, который определяет возникновение стадии для каждого расчетного слоя грунта. Она находится по формуле:

$$l_{кр} = B \cdot \cos \alpha / 2 \cdot (1 / (\sin 2\mu \cdot \exp(-\theta^{нат} \tan \phi) / \cos \mu \cdot \sin(\pi - 2\mu - \beta)) + \sin \alpha),$$

где  $B$  – ширина секции НЧ;

$\alpha$  – угол заострения клина НЧ;

$\phi$  – угол внутреннего трения грунта;

$\delta$  – угол трения грунта по металлу;

$\mu = \pi/4 - \phi/2$  – угол раствора области минимальных напряжений (область АОВ, см. рис. 4);

$\beta = \pi/2 - \mu - (\arcsin(\sin \delta / \sin \phi) + \delta)/2$  – угол раствора области максимальных напряжений (область ОСО, см. рис. 4);

$\theta = \pi/2 + \alpha - (\pi/4 - \phi/2) - \pi/2 - \mu - (\arcsin(\sin \delta / \sin \phi) + \delta)/2$  – угол раствора переходной области ПНС (область ОВС, см. рис. 4).

В третьей стадии прямолинейная граница забоя совместно с пассивной областью ПНС перемещается от наклонных граней НЧ во внутреннее пространство секции. Оно ограничено параллельными гранями стен. Внутри секции ширина забоя не меняется. Особенностью данной стадии является перелом контактного профиля в активной области ПНС (см. рис. 4в).

Основной задачей расчета предельного напряженного состояния (ПНС) является вычисление максимального значения предельного давления  $q$  на контактной линии активной области ПНС.

Предельное давление  $q$  является функцией от угла раствора переходной области  $\theta$ :  $q = f(\theta)$ , т. е. изменение  $q$  является следствием изменения переходной области ПНС. Получив эпюру распределения напряжений на поверхности клина, определяется полное усилие продавливания для каждого расчетного элемента конструкции ножевой части (лоток, козырек и боковые стены). Суммировав найденные усилия для каждого элемента (для боковых стен предварительно требуется суммировать усилия, найденные для каждого расчетного слоя грунта), найдем искомое полное усилие продавливания ножевой части.

Натурные исследования проводились в 2007 г. на строительстве транспортного тоннеля

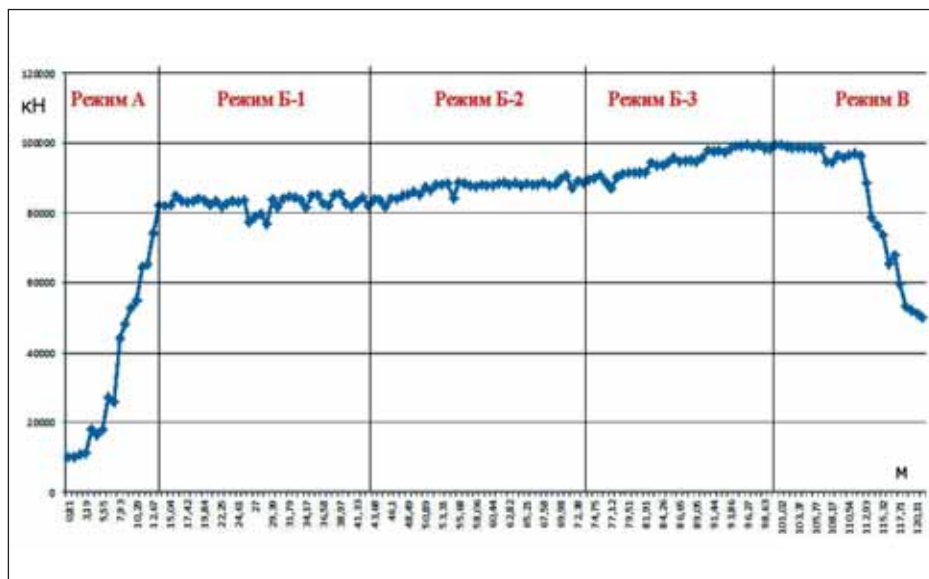


Рис. 5. Общий график изменения полного усилия продавливания: вертикальная ось – зарегистрированные показания усилий, кН; горизонтальная ось – длина пройденного участка тоннеля, м

Таблица

Полученные усилия, рассчитанные по новой уточненной методике

| № участка продавливания | Расчетное усилие по новой методике, т | Натурное усилие, т | Погрешность, % |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------------|
| 1 (режим Б-1)           | 8961                                  | 8542               | 5              |
| 2 (режим Б-2)           | 9768                                  | 9077               | 7              |
| 3 (режим Б-3)           | 10840                                 | 9952               | 9              |

неля под железнодорожными путями Курского направления МЖД, сооружаемого закрытым способом методом продавливания. Тоннель состоит из шести железобетонных секций в виде двух соседних рядов по трем секциям с четырьмя полосами движения по 3,75 м в ряду. Ряды смещены относительно друг друга на примерно половину секции. Таким образом, конструкция подземного автотранспортного перехода представляет собой двухочковый тоннель коробчатого сечения протяженностью от портала до портала 121,74 м (пикеты ПК 132+38,80 и ПК 133+59,67).

Продавливание производилось поэтапно по принципу червячной передачи усилий, т. е. первая секция отталкивалась с упором во вторую, вторая – в третью, а третья – в упорную стенку. Длина рабочих заходов составила 80 см. Грунт в забое разрабатывался экскаватором «обратная лопата» сверху вниз под углом 45°.

В течение проходки тоннеля было зарегистрировано 152 показания манометра. Для оценки усилий продавливания по всей длине трассы был построен общий график полных усилий продавливания (рис. 5).

Исходя из анализа этого графика, можно выделить два основных режима работы ножевой части:

- режим начального внедрения ножевой части (постепенное внедрение ножевой части в насыпь, режим А на графике);
- режим основной работы ножевой части (циклическое повторение основных этапов работы с величиной усилия продавливания, зависящего от грунтовых условий, режимы Б-1, Б-2, Б-3 на графике).

Полученные максимальные усилия по участкам продавливания приведены в табл.

Проведенные сравнительные расчеты показали, что погрешность результатов, полученных с помощью разработанной методики определения усилий продавливания крупногабаритных секций, не превышает 10 % от натурных и дает близкие к натурным усилия.

Разработанная методика исполнена в виде программы для ПК. Она позволяет с достаточной точностью проводить расчеты полного усилия продавливания. Это поможет ускорить и минимизировать погрешность расчетов как при проектировании ножевой части, так и при строительстве.

# УПРАВЛЕНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИМИ РИСКАМИ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ\*

В. Е. Меркин, НИЦ по освоению подземного пространства ОАО «Мосинжпроект»  
М. Г. Зерцалов, Д. С. Конюхов, МГСУ

**А**нализ аварийных ситуаций и аварий, произошедших за последние 60 лет в различных странах мира в строящихся и построенных тоннелях различного назначения, заставил специалистов подземного строительства, потенциальных инвесторов, а также представителей страховых компаний обратить самое пристальное внимание на изучение рисков их возникновения.

В результате уже в конце 1990-х гг. в ряде стран были разработаны и использовались системы управления рисками, входившие составной частью в большинство проектов строительства подземных сооружений. Раньше принятие мер, направленных на уменьшение степени рисков возникновения аварийных ситуаций, осуществлялось косвенным путём через инженерные решения, принимаемые в процессе проектирования и возведения подземного сооружения. Следует отметить, что подобная практика до сих пор сохраняется в нашей стране.

Вместе с тем, ещё в начале 2000-х гг. были изданы гармонизированные с Еврокодом ГОСТы [1, 2, 3], регулирующие управление рисками технологических систем, которые являются основой для создания аналогичных отраслевых и ведомственных нормативных документов. В эти же годы был опубликован ряд работ, посвящённых исследованию рисков в подземном строительстве и управлению ими. Всё это позволяет констатировать, что в настоящее время у нас имеется необходимая база для создания нормативных документов по управлению рисками возникновения аварийных ситуаций при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений, особенно рисками, обусловленными спецификой подземного строительства (геологическими, гидрологическими, экологическими, топографическими и т. п.). С другой стороны, в создании подобных документов имеется острая необходимость в связи с продолжающимся увеличением объёмов строительства транспортных тоннелей, новых линий метрополитена, а также подземных сооружений различного назначения в крупных городах России, в частности в Москве.

Как показывает практика [4], риски возникновения аварийных ситуаций, обусловленные различными причинами, имеют место на всех этапах строительства и эксплуатации подземных сооружений, особенно тоннелей, протяжённость трасс которых в отдельных случаях достигает десятки километров, вследствие чего условия их проходки и возведения по длине трассы (геологические, гидро-

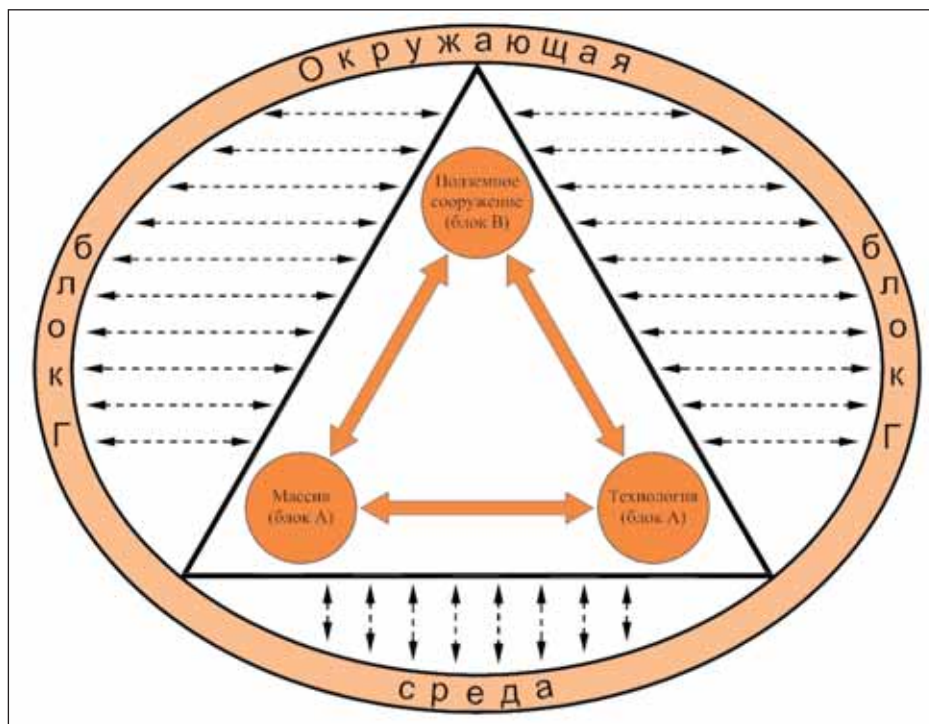


Рис. 1. Схема взаимодействия системы «массив – технология – подземное сооружение – окружающая среда (ПТТС)»

логические, геомеханические, топографические и т. п.) могут существенно изменяться.

Подобное изменение условий строительства и эксплуатации вдоль трассы тоннелей приводит к тому, что различные участки её могут характеризоваться различным проявлением числа, вида и степени рисков возникновения аварийных ситуаций, что значительно усложняет работу проектировщиков и строителей, поскольку существенно влияет на время, качество и стоимость проектных и строительных работ.

Кроме того, в процессе строительства и эксплуатации подземного сооружения возникают различные аварийные ситуации, связанные с ошибками в решениях изыскателей, проектировщиков, строителей и эксплуатационного персонала. Перечисленные особенности строительства и функционирования подземного сооружения значительно усложняют его проектирование, в процессе которого принятие того или иного решения зависит от множества объективных и субъективных условий и факторов, характеризующих взаимодействие подземного сооружения с вмещающим массивом, а через него с окружающей средой. Важнейшую роль при этом играет принятая технология подземного строительства.

Принимая это во внимание, проектирование подземного сооружения следует рассматривать, не как проектирование отдельного подземного объекта, а как проектирование системы элементов, функционирующей в течение всего жизненного цикла подземного сооружения. Такая система названа «природно-технической геосистемой (ПТТС)» [4], составляющими элементами которой являются: подземное сооружение, вмещающий породный массив, строительная технология и окружающая среда (рис. 1).

Наличие тесной взаимосвязи между элементами ПТТС приводит к тому, что риск нарушения функционирования любого ее элемента может привести к нарушению функционирования всей системы.

Возведение подземных сооружений, характеризующееся вероятностью проявления многочисленных видов риска, всегда сопряжено с необходимостью принятия решений по обеспечению экологической, технологической и эксплуатационной безопасности в районе строящегося объекта. Успешное выполнение этих решений определяется эффективностью организации управления рисками, которая во многом зависит от используемой классификации рисков, характерных для подзем-

\*Данная статья была опубликована в нашем журнале в № 1/2013 г. По вине редакции в статью не попали ссылки на первоисточники. Приносим свои извинения авторам и публикуем статью повторно в полном объеме.

ного строительства. Наличие подобной классификации необходимо для создания общей системы рисков, в которой каждому из них отведено своё место. Это, в свою очередь, позволяет разработать эффективные методы управления рисками с учётом их вида и специфических особенностей. В качестве примера можно привести классификацию [5] на рис. 2.

Рассмотрение этой классификации показывает, что одним из основных рисков, который необходимо учитывать в подземном строительстве, является строительный, поскольку влияние ошибок, допущенных при проектировании и в процессе строительства, будет проявляться на всех этапах существования подземного сооружения. В работе [5] показано также, на какие виды подразделяется строительный риск при возведении подземных сооружений. На основе систематизации видов строительного риска предложена соответствующая их классификация (рис. 3).

Вместе с тем, при классификации рисков необходимо учитывать специфические условия, характерные для вмещающего породного массива, которые вносят большую степень неопределённости в принятие проектных и конструктивных решений. Принимая это во внимание, целесообразно при возведении подземных сооружений особо выделять и учитывать геотехнические риски, рассматриваемые как виды строительного риска (рис. 4) [6].

Под геотехническими понимаются те строительные риски, проявление которых обусловлено топографическими, инженерно-геологическими, гидрологическими, геомеханическими и топографическими условиями района строительной площадки. Изменчивость этих условий в пределах района работ, как по площади, так и по глубине, особенно при строительстве сооружений большой протяжённости (например, по трассе тоннеля), существенно влияет на степень неопределённости геотехнических рисков. Эта неопределённость ещё более возрастает, если принять во внимание значительный разброс экспериментальных значений физико-механических характеристик грунтов по сравнению с характеристиками бетона, стали, железобетона и т. д. (рис. 5).

Несмотря на сложность рассматриваемой проблемы, в зарубежной практике подземного строительства уже разработаны и используются методики управления геотехническими рисками, например [6]. Естественно, между этими методиками имеются определённые различия, однако все они объединяются одним общим принципом – ещё на стадии проектирования, до начала реализации любого проекта, необходимо постоянно стремиться к максимальному уменьшению возможности возникновения рискообразующих факторов, для чего следует руководствоваться следующими правилами:

- постоянно помнить, что поскольку инженерно-геологические условия в районе строительства не могут быть изменены, при неблагоприятном геотехническом прогнозе следует перенести месторасположение строительной площадки или запроектировать

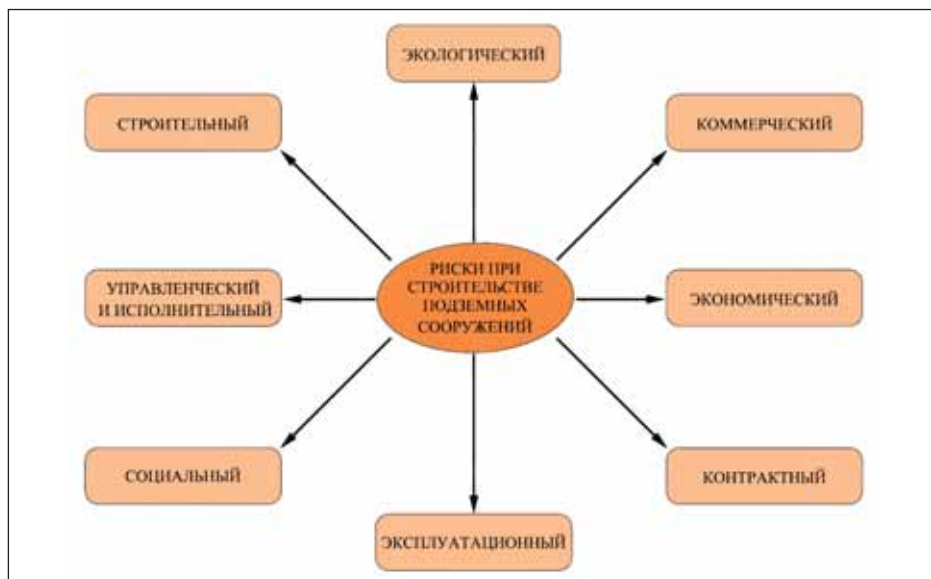


Рис. 2. Классификация рисков при строительстве подземных сооружений



Рис. 3. Виды строительного риска при возведении подземных сооружений

сооружение и выбрать технологию его возведения таким образом, чтобы оно было конструктивно и экологически безопасным и экономически выгодным;

- выполнять такой объём инженерно-геологических, гидрологических и геомеханических изысканий, который позволит с максимальной возможной достоверностью определять геологическое строение породного массива и гидрологическую обстановку в районе строительной площадки, а также физико-механические характеристики слагающих массив грунтов, что позволяет существенно снизить на стадии проектирования неопределённость при выборе конструктивных и технологических решений;

- учитывать крайне сложный механизм взаимодействия подземного сооружения с породным массивом, тщательно выбирая геомеханическую модель поведения массива и назначая на её основе расчётную схему, отражающую наиболее полно взаимодействие системы массив – подземное сооружение;

- не забывать, что качественное выполнение проектных работ является лучшим способом минимизации геотехнических рисков;

- постоянно проводить в процессе строительства мониторинг геотехнических рисков и при необходимости, используя систему управления рисками, снижать их до приемлемого уровня, внося соответствующие изменения в проектные и технологические решения.

Особое внимание следует уделять проведению необходимого объёма инженерных изысканий, включая геомеханические испытания. Исследования показывают, что отношение увеличения общей стоимости строительства к проектной сметной стоимости значительно уменьшается при увеличении расходов на инженерные изыскания в районе строительной площадки (рис. 6) [6].

В системе управления геотехническими рисками установление причин (факторов), обуславливающих появление неблагоприят-

ных рисков событий в районе строительства, является важным этапом, на котором все касающиеся района строительства материалы обобщаются, систематизируются и анализируются, для чего выполняются следующие мероприятия:

- проводятся инженерные изыскания, и осуществляется сбор доступной информации (топографические и геологические карты, книги и журнальные статьи, результаты аэрофотосъёмки и наблюдений со спутников), характеризующей район строительной площадки с точки зрения геологии, гидрологии, топографии, экологии, истории и т. д.;

- на основе полученной информации строятся инженерно-геологические разрезы и геомеханические модели, в которых с наиболее возможной подробностью воспроизводится геологическое строение породного массива, и задаются физико-механические характеристики его структурных элементов;

- образуется группа экспертов, анализирующих инженерно-геологическую обстановку в районе строительной площадки и выявляющих структурные особенности породного массива и его состояния, которые в процессе строительства могут вызвать нежелательные последствия и стать причинами возможных геотехнических рисков;

- экспертами определяется вид рисков и места их возможного проявления, учитывая назначение и тип проектируемого подземного сооружения.

Определение и систематизация причин геотехнических рисков позволяет перейти к их анализу и количественной оценке.

Для этого необходимо:

- составить перечень рисков, возникновение которых возможно в процессе строительства и эксплуатации подземного сооружения;

- установить рейтинг этих рисков с определением ранга каждого по вероятности его проявления и ожидаемому ущербу, который может быть нанесён сооружению, в

виде увеличения сроков и стоимости строительства;

- произвести количественную оценку выявленных геотехнических рисков и внести их в регистрационную ведомость (реестр рисков);

- привязать каждый риск к соответствующей фазе реализации проекта строительства и систематизировать риски по их влиянию на различные этапы строительства;

- определить мероприятия по управлению каждым риском в зависимости от вероятности его возникновения, с указанием предполагаемых конструктивных и технологических способов для реализации этих мероприятий и рассмотрения последовательно вариантов исключения каждого риска, минимизации его или управления им;

- повторно оценить степень проявления каждого риска после проведённых мероприятий и внести новые результаты в регистрационную ведомость;

- проводить регулярную ревизию регистрационной ведомости рисков (реестра рисков), добавляя в неё новые (если они возникают) риски, и исключая из ведомости риски, по управлению которыми были выполнены намеченные мероприятия;

- корректировать, если необходимо, принятые меры по управлению рисками.

Идентификация геотехнических рисков и их количественная оценка позволяют также определить нежелательные последствия и установить ущерб, ожидаемый при строительстве сооружения и его эксплуатации в случае реализации рисков событий.

С целью уменьшения ожидаемого ущерба систему управления геотехническими рисками необходимо использовать как на всех этапах проектирования, так и в процессе строительства сооружения, при обязательном участии квалифицированных инженеров-геологов, геомехаников и специалистов по строительству подземных сооружений.

Следует ещё раз отметить, что при решении практических задач использования

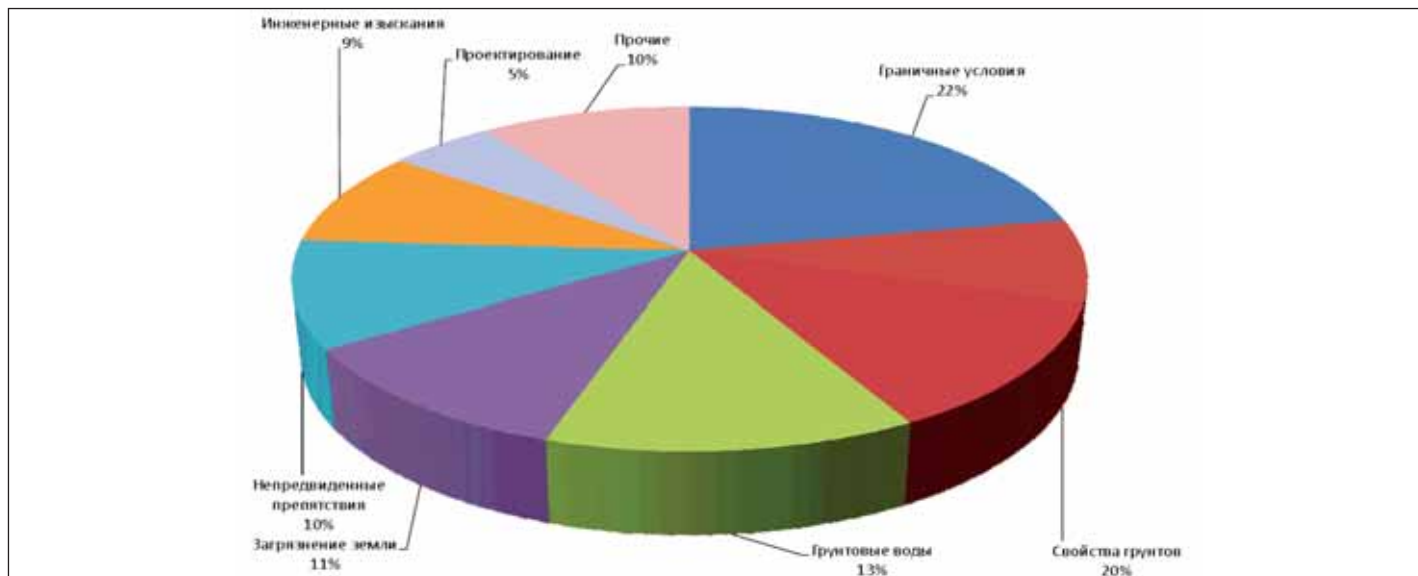


Рис. 4. Распределение геотехнических рисков

подземного пространства управление геотехническими рисками, независимо от существования возможности избежать рисков, постоянно требует их количественной оценки.

Для численного определения величины риска (степени риска) необходимо учитывать как вероятность наступления неблагоприятных событий, так и величину ожидаемых от их наступления нежелательных последствий (математическое ожидание ущерба) [5].

Величину каждого риска рекомендуется определять в виде комбинации вероятности наступления неблагоприятного события и ожидаемого ущерба, нанесённого его наступлением [3].

Математически это выражается следующим образом:

$$R = P \times Y, \quad (1)$$

где  $P$  – вероятность наступления неблагоприятного события;

$Y$  – математическое ожидание ущерба (нежелательного последствия), который повлечёт за собой наступившее неблагоприятное событие.

Сведение двух величин, характеризующих риск, в одну делает оценку риска более простой, поскольку позволяет учитывать одновременно две операции:

- определение вероятностей наступления неблагоприятных событий;
- определение нежелательных последствий, к которым могут привести эти неблагоприятные события.

Оценив числовое значение степени каждого геотехнического риска в процессе проектирования, можно подсчитать суммарную степень риска  $R$ , возможную в конкретных условиях строительства и эксплуатации подземного сооружения, по формуле:

$$R = \sum_{j=1}^{j=m} p_j Y_j \quad (2)$$

где  $p_j$  – вероятность проявления возможных рисков в ситуации,

$j = 1, 2, 3, \dots, m$  – количество вариантов возможных рисков в ситуации,

$Y_j$  – величина математического ожидания ущерба в  $j$ -й рисковой ситуации.

## Выводы

1. Принимая во внимание, что в подземном строительстве число рисков, как правило, велико, а вероятность их проявления очень высока, вопросам, связанным с управлением рисками при использовании подземного пространства, необходимо уделять особое внимание.

2. Учитывая специфические условия и то влияние, которое оказывает вмещающий породный массив на работу подземных сооружений, целесообразно при их возведении выделять в особую группу и количественно оценивать геотехнические риски, которые классифицируются как вид строительного риска.

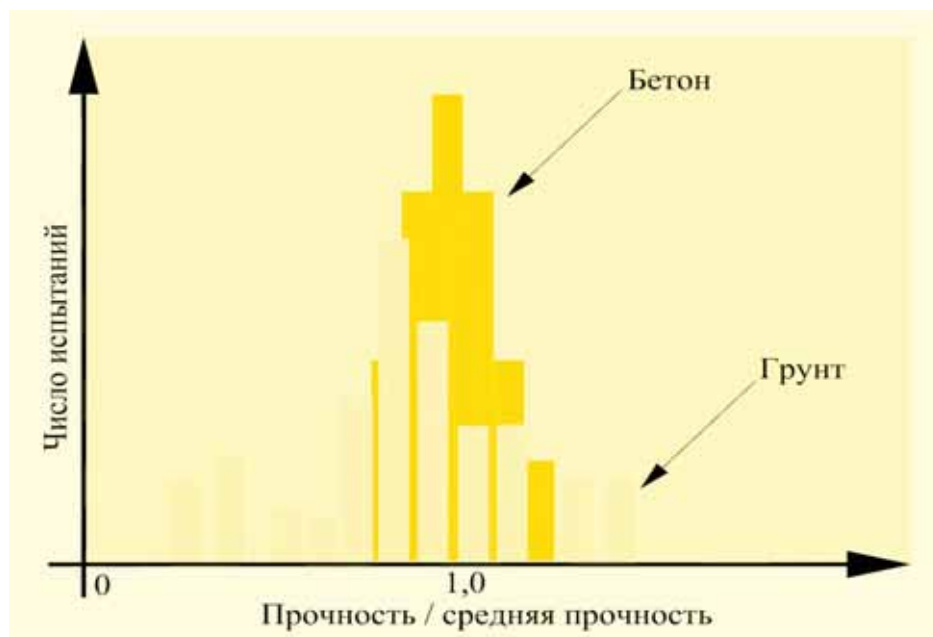


Рис. 5. Вероятность распределения прочности бетона и грунта

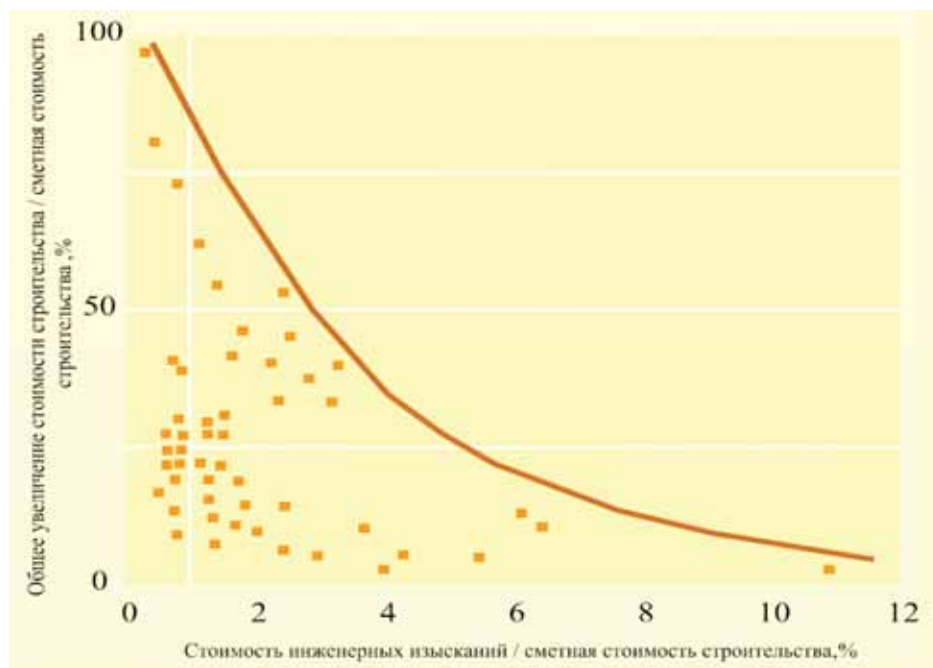


Рис. 6. Увеличение стоимости строительства в зависимости от расходов на инженерные изыскания

3. Управление геотехническими рисками наиболее эффективно на ранних стадиях проектирования. Вместе с тем, с целью уменьшения ожидаемого ущерба систему управления геотехническими рисками необходимо использовать на всех этапах проектирования и строительства подземного сооружения, при обязательном участии квалифицированных инженеров-геологов, геомехаников и специалистов по строительству подземных сооружений.

4. Для уменьшения количества несчастных и аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации подземных сооружений необходимо создание нормативных документов, регулирующих управление рисками в подземном строительстве.

## Литература

1. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения М. Издательство стандартов, 2002.
2. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надёжностью. Анализ риска технологических систем. М. Издательство стандартов, 2002.
3. ГОСТ Р 51901.4-2005. Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании. М. Издательство стандартов, 2005.
4. Корчак А. В. Методология проектирования строительства подземных сооружений. «Недра Коммуникайшенс ЛТД», М., 2001.
5. Куликова Е. Ю., Корчак А. В., Левченко А. Н. Стратегия управления рисками в городском подземном строительстве, из-во МГТУ, 2005.
6. Clayton C. Management Geotechnical Risk, The Institution of Civil Engineers, London, 2001.

(495) 226-18-37  
(342) 219-61-56

info@anker-system.ru  
[www.anker-system.ru](http://www.anker-system.ru)



АНКЕРНЫЕ  
СИСТЕМЫ



# Грунтовые анкера АТЛАНТ

Применение:

- крепление ограждений котлованов;
- крепление подпорных стен, оползневых склонов;
- устройство и усиление фундаментов анкерными сваями.

реклама

