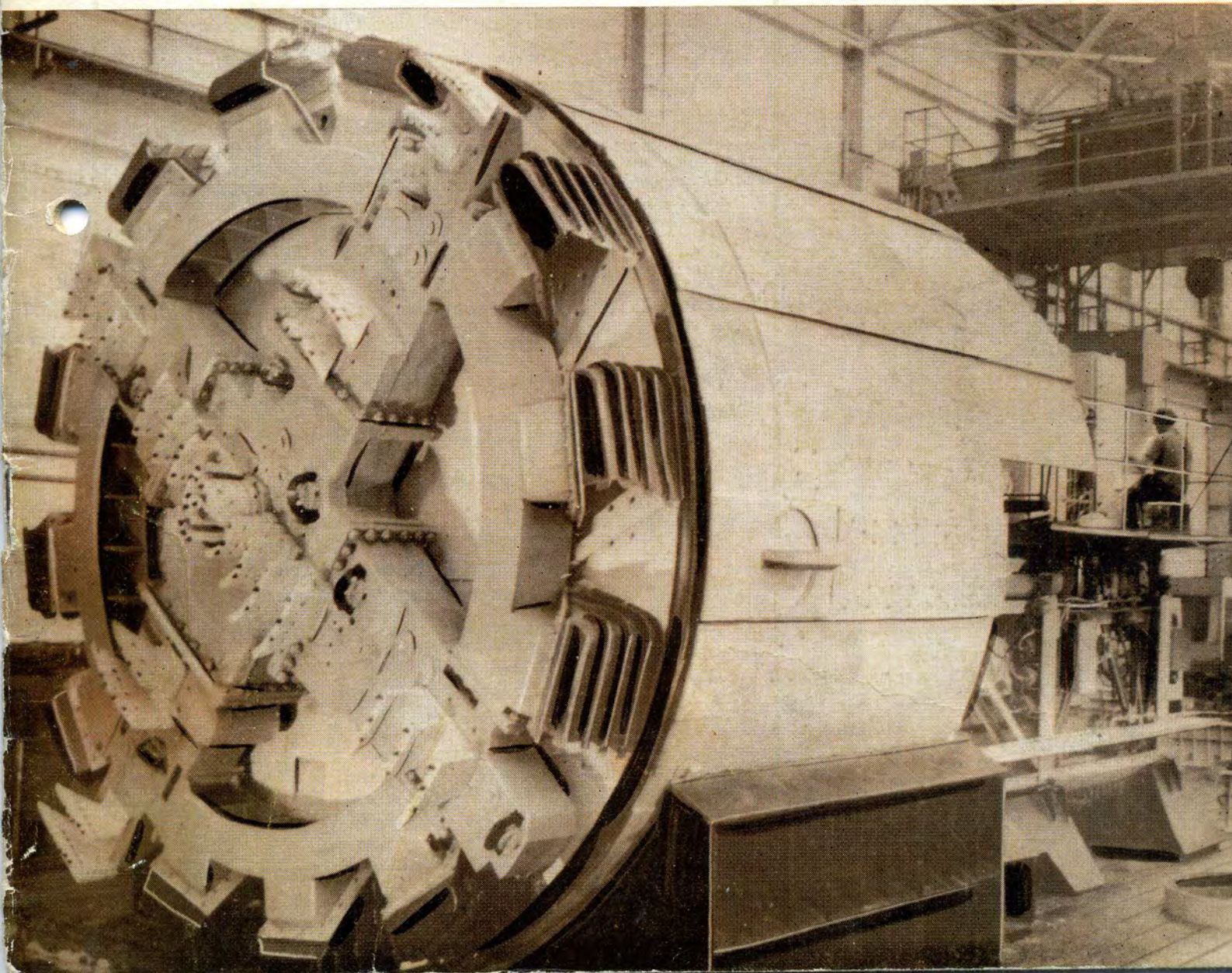


# МЕТРО СТРОЙ

3

1973



ИНФОРМАЦИОННЫЙ  
НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
СБОРНИК

# МЕТРО- СТРОЙ

Выпуск

3

1973

Издание  
Московского  
Метростроя  
и издательства  
«Московская  
правда»

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Е. Д. РЕЗНИЧЕНКО (редактор), А. С. БАКУЛИН, Г. А. БРАТЧУН, П. А. ВАСЮКОВ, С. Н. ВЛАСОВ, Б. П. ВОРОНОВ, А. Ф. ДЕНИЩЕНКО, В. М. КАПУСТИН, Ю. А. КОШЕЛЕВ, А. С. ЛУГОВЦОВ, В. Л. МАКОВСКИЙ, Б. П. ПАЧУЛИЯ, С. А. ПОНОМАРЕНКО, В. И. РАЗМЕРОВ, П. А. РУСАКОВ, А. И. СЕМЕНОВ, В. В. ЯКОБС, И. М. ЯКОБСОН

Издательство «Московская правда»

Адрес редакции:  
ул. Куйбышева, д. 3, комн. 11,  
тел. 228-16-71.

Фото В. Савранского.

Технический редактор Н. Милиевская.

Л22832. Сдано в набор 9/IV—73 г.

Подписано к печати 28/V—73 г.

Объем 4 п. л.

Тир. 4000.

Бумага тифдручная 60×90<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.

Зак. 1317 Цена 30 коп.

Типография изд-ва «Московская правда»

## В НОМЕРЕ:

- В. ЯКОБС. Направления научного поиска . . . . . 1  
Исследования ЦНИИС-73 . . . . . 3  
В. РАЗМЕРОВ. Механизированные щитовые комплексы . . . . . 4  
Е. ДЕМЕШКО. Натурные измерения грунтового массива . . . . . 7  
О. АНТОНОВ, С. СИЛЬВЕСТРОВ. Односводчатые станции глубокого заложения . . . . . 8  
В. КАПУСТИН, В. БЕЛОЛИКОВ. Внедрение обжатых тоннельных обделок . . . . . 10  
Л. АФЕНДИКОВ, В. ГОЛУБОВ, Ю. КОШЕЛЕВ. О создании водонепроницаемых железобетонных обделок. . . . . 11  
К. ТРОИЦКИЙ. Эффективный метод водоподавления . . . . . 13  
О. ЛУКИНСКИЙ. К вопросу герметизации и гидроизоляции тоннельной обделки . . . . . 14  
М. КАГАН. Выбор цемента для тоннельных блоков . . . . . 17  
В. МАКОВСКИЙ. Научно-технические проблемы сооружения Московского метрополитена . . . . . 18  
В. БАЛАКИН. Планирование в организациях, переведенных на новую систему хозяйствования . . . . . 19  
И. ДОРМАН, В. СОЛОВЬЕВ. О снижении уровня вибрации и шума . . . . . 21  
В. ВОЛКОВ. Поиск и разработка новых конструкций . . . . . 22  
Ю. ЛИМАНОВ. Моделирование тоннелей . . . . . 23  
А. ДАУШВИЛИ. С применением ЭЦВМ . . . . . 25  
Э. МИНДЕЛИ. Водонаполненные взрывчатые вещества при прохождении горных выработок . . . . . 26  
А. БОГОРОДЕЦКИЙ. Способ сооружения тоннеля под рекой Тама . . . . . 26  
Проходка подводного участка тоннеля Ханэда механизированным щитом с призабойной камерой, заполненной бентонитовым раствором под давлением . . . . . 28  
С. ЧЕСНОКОВ. Система крепления по способу Бернольда . . . . . 30  
В. СКОБУНОВ. Электростатический метод очистки воздуха от пыли . . . . . 32  
По страницам зарубежных журналов . . . . . 3-я обл.

# ЗА НОВЫЕ ТРУДОВЫЕ УСПЕХИ, ТОВАРИЩИ МЕТРОСТРОЕВЦЫ!

## ВЫСОКИЕ НАГРАДЫ

За успехи, достигнутые при строительстве первой очереди Краснопресненского радиуса Московского метрополитена имени В. И. Ленина, Президиум Верховного Совета СССР Указом от 17 мая 1973 года награждает орденами и медалями СССР наиболее отличившихся участников строительства. Орденом Ленина награждены: бригадир строительного-монтажного управления Главтоннельметростроя И. Е. Захаров, бригадир проходчиков строительного-монтажного управления № 3 Московского метростроя И. С. Костенко, проходчик тоннельного отряда № 6 С. В. Романов, начальник отдела инсти-

тута «Метрогилротранс» А. И. Семенов, бригадир монтажников строительного-монтажного управления № 4 П. И. Симаков, бригадир проходчиков строительного-монтажного управления № 3 С. В. Слепнев и бурильщик управления Главтоннельметростроя Н. Г. Тимофеев.

Орденом Октябрьской Революции награждены 14 человек, орденом Трудового Красного Знамени — 53, орденом Дружбы Народов — 26, орденом «Знак Почета» — 64, медалью «За трудовую доблесть» — 35 и медалью «За трудовое отличие» — 41 человек.

*В процессе сооружения новых линий метрополитена все актуальнее становятся вопросы увеличения темпов строительства, снижения его стоимости, повышения производительности труда на базе применения высокопроизводительных тоннельных машин и индустриальных конструкций.*

*В статьях, публикуемых в настоящем номере, освещены лишь наиболее существенные проблемы, над решением которых работают научные сотрудники и проектировщики в содружестве с производственниками. Результаты некоторых исследований создают предпосылки для широкого внедрения новых более экономичных конструкций, технологических решений и щитовых комплексов.*

## НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОГО ПОИСКА

### ПУТИ УСКОРЕНИЯ ТЕМПОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ

В. ЯКОБС, канд. техн. наук

«**ГЛАВНОЕ**, на что мы должны рассчитывать, — это повышение эффективности производства, — сказано в Отчетном докладе ЦК КПСС на XXIV съезде партии. Суть проблемы в том, чтобы на каждую единицу затрат — трудовых, материальных и финансовых добиться существенного увеличения объема производства и национального дохода. В этом в конечном счете и состоит повышение производительности общественного труда». В области метростроения и тоннелестроения Главтоннельметростроем в текущем пятилетии будет сооружено около 75 км новых линий метрополитена, при этом предполагается получить экономию труда около 1300 человек в год. Основные пути повышения эффективности в области тоннелестроения на базе технического прогресса должны развиваться в направлении:

снижения трудовых затрат, в первую очередь, за счет сокращения ручного и тяжелого физического труда, особенно в подземных условиях;

уменьшения материалоемкости и, в частности, металлоемкости тоннельных сооружений;

существенного улучшения качества строительства, имея в виду, что для народного хозяйства «лучше — это почти всегда и больше»;

внедрения новой технологии работ и передового опыта, способствующих повышению темпов строительства и снижению стоимости работ. В статье рассматриваются основные технические разработки в области тоннелестроения и метростроения, осуществление которых направлено на решение проблемы роста эффективности в этой отрасли.

**МЕХАНИЗАЦИЯ РАБОТ.** Основным ее направлением при сооружении перегонных тоннелей метрополитенов принято создание и внедрение механизированных щитовых агрегатов. Затраты труда при переходе на механизированные щиты на проходческих работах снижаются при этом в 2,5—3 раза за счет полного исключения буровзрывных работ и временного крепления выработок, а также операций по уборке, погрузке и откатке породы в призабойной зоне. Общие трудовые затраты уменьшаются при этом в зависимости от инженерно-геологических условий на 40—45%.

Недавно закончены производственные испытания щитов ЩМ-17 со сборной обделкой и ТЩБ-5,9 с монолитно-прессованной при проходке тоннелей Краснопресненского радиуса в Москве в условиях неустойчивых грунтов на мелком заложении. Трудоемкость работ была снижена на 20%, уменьшились осадки поверхности. При применении монолитно-прессованной обделки снижен расход металла около 200 т на каждый километр тоннеля.

В целях механизации сооружения перегонных и станционных тоннелей при бесщитовой проходке в устойчивых породах реконструируются блокоукладчики с встроенными механизмами для разрушения забоя без буровзрывных работ. При этом намечено использование породоразрушающих механизмов, серийно выпускаемых для нужд горнорудной промышленности.

В качестве породопогрузочных машин в горных тоннелях предусматривается применение ПНБ-3К, которые позволяют уменьшить трудовые затраты на километр проходки тоннеля на 1500 человеко-дней.

Для бетонирования тоннельных конструкций необходимо более широкое использование пневмобетонукладчиков, снижающих трудоемкость укладки бетона более чем на 500 человеко-дней на 1 тыс. м<sup>3</sup> бетона, а также механизированных металлических опалубок, применение которых позволит уменьшить трудовые затраты на километр железнодорожного тоннеля на 3400 человеко-дней.

Решение проблемы уменьшения осадков поверхности предусматривается осуществлять в трех направлениях:

усовершенствованием способа нагнетания раствора за обделку, используя пневматические устройства, укрепляемые на оболочке щита и позволяющие уплотнить строительный зазор в процессе монтажа колец. При этом обеспечивается заполнение заобделочного пространства раствором под давлением в процессе передвижки щита;

применением сборной обделки, обжимаемой в породе; при помощи мер по химическому закреплению неустойчивых грунтов в забое и над его зоной.

Уменьшение осадков поверхности особенно важно при пере-

сечении городских подземных коммуникаций, перекладка и переустройство которых вызывает необходимость значительных трудовых затрат и увеличение стоимости этих работ.

**ТОННЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ.** Снижение материалоемкости, повышение долговечности и надежности тоннельных обделок — основные вопросы технического прогресса в этой области. Перспективным является внедрение сборных железобетонных обделок, возводимых с обжатием в поруду. При этом значительно снижаются затраты труда и материалов на нагнетание растворов за обделку. За счет упорядочения статической работы такой обделки и устранения в ее элементах растягивающих напряжений, имеется возможность уменьшения и даже полного исключения арматурной стали в блоках обделки, что позволит снизить расход металла на 200—250 т на километр тоннеля.

При применении обжатой обделки для конструкций односводчатых станций возникают реальные перспективы замены чугунной обделки станций на сборную железобетонную с предполагаемой экономией металла до 7—8 тыс. т на каждой станции глубокого заложения.

На Ленметрострое за 1971—1972 годы обжатая обделка была применена на 3,5 км тоннеля  $\varnothing$  5,5 м. Экономия трудовых затрат при этом составляет до 1300 человеко-дней на километр тоннеля.

Ленинградцы начали сооружение первой в СССР односводчатой станции с обжатой железобетонной обделкой. Ожидаемое снижение трудоемкости составит около 20%, стоимости работ — на 15—20%.

При сооружении станции колонного типа «Кузнецкий мост» в Москве начато применение улучшенной по сравнению с «Площадью Ногина» конструкции. Станция возводится с увеличенными габаритами среднего зала по высоте с 4,75 до 6,25 м; по ширине — с 6,25 до 8,2 м и увеличением расстояния между колоннами с 4,25 до 5,25 м. При этом вес конструкции снижается на 7 т на каждый метр.

При сооружении станций глубокого заложения будет совершенствоваться конструкция лотковых тубингов путем применения плоского элемента. Дальнейшее внедрение плоского лотка на перегонных тоннелях позволит снизить трудовые затраты на 1650 человеко-дней на километр тоннеля.

Один из важных вопросов развития прогрессивных конструкций тоннельных обделок — их водонепроницаемость. Ведутся работы по созданию обделок для закрытого и открытого способов работ с устройством в заводских условиях гидронизоляции отдельных сборных элементов.

Для закрытого способа работ разрабатывается гидронизоляция трех типов: с использованием водонепроницаемых полиэтиленовых или металлических экранов внутри тела блоков, а также с внешним их покрытием сварными полиэтиленовыми листами. Для открытого способа работ предусмотрены покрытия элементов обделки из гидростеклоизола или ребристого полиэтилена в заводских условиях, а также гидронизирующего слоя эпоксидно-фурановой мастики.

Предусмотрено улучшить технологию изготовления блоков обделки в разъемных и в многоместных кассетных формах. Эксперименты показали положительные результаты этого способа формования: улучшилось качество изготовления блоков без сколов, трещин и раковин; получаются изделия правильной формы, с минимальными допусками. Намечено также опытное формование блоков кольцевой обделки в формах, поставленных «на ребро». Эта технология также позволяет вести изготовление элементов в многоместных формах, получая блоки более точных размеров. Сейчас на Очаковском и Черкизовском заводах ЖБК Московского метростроя при непосредственном участии ЦНИИСа ведутся экспериментальные работы по изготовлению блоков кольцевой обделки различными технологическими способами. Цельносекционные обделки для открытого способа работ изготовлены в Тбилиси и Харькове.

Одним из важных пока еще не решенных вопросов является гидронизоляция швов сборных железобетонных обделок в тоннелях.

Для сварки швов полиэтилена специально сконструированы сварочные аппараты с напряжением 36 в. Это позволит полностью отказаться от заполнения швов цементом и чеканки. Продолжаются экспериментальные работы по применению для изоляции швов мастик вместо цемента.

Вместо полносборных обделок открытого способа работ в настоящее время применяются цельносекционные двух типов — шириной 1 и 1,5 м. При их формовании применяются устройства для уплотнения бетонной смеси с использованием

крутильных колебаний. Это позволяет получать более высокое качество изделий.

В целях снижения металлоемкости тоннельных конструкций и одновременного решения задачи уменьшения осадок поверхности начато применение монолитно-прессованных бетонных обделок. Снижение расхода металла при этом составляет до 250 т на каждый километр тоннеля.

Один из путей снижения металлоемкости и снижения стоимости строительства тоннелей — облегчение веса чугунных обделок. Применяемая сейчас обделка для перегонных тоннелей II очереди строительства метрополитена (1935—1938 гг.), где ее вес достигал 9,4 т на метр тоннеля. В настоящее время вес обделки доведен до 4,8 т.

Дальнейшее облегчение обделок намечается осуществлять за счет двух мероприятий — изменения конструкции тубингов, уменьшая толщину спинки элементов при сохранении высоты ребер 20 см, а также совершенствования технологического процесса отливки чугуна, применяя модифицированный материал измененного химического состава или так называемый «синтетический чугун» (изготавливаемый путем переплавки отходов стали определенных сортов с применением упрочняющих добавок). Это одновременно позволяет повысить коррозионную стойкость металла тубингов, увеличить его прочностные характеристики и значительно снизить стоимость изготовления. Один из путей снижения стоимости и трудоемкости изготовления чугуна — отказ от обработки поверхности фланцев тубингов. Это еще более повысит коррозионную устойчивость чугуна.

В перспективе применение облегченной обделки намечено и для станций метрополитенов (сейчас вес металлических конструкций на станцию глубокого заложения доходит до 8,0—8,5 тыс. т). При этом реализация предложений по облегчению веса стационарных обделок может решаться и в направлении выбора более рациональных конструктивных решений в целом. Так, переход от литонных типов ствятий к колонным уже дает снижение металлоемкости более чем на тысячу тонн. При совершенствовании же надколонной части обделки экономия металла дополнительно возрастет на 700—800 т.

Внедрение облегченных тубингов для кольцевых частей обделок взамен ныне применяемых может еще снизить вес металла на каждую станцию. Переход на новые односводчатые конструкции, сооружаемые из чугуна, также позволит снизить вес металла по сравнению с колонной станцией на 15—20%. Количество типов элементов при этом резко уменьшается и конструкция их значительно упрощается.

При сооружении станции под одним типовым сводом достигается более целесообразное решение ее планировки, устраняются многочисленные выработки для возведения различного рода служебных тоннельных помещений, выполняемых обычно вручную из-за их малых размеров. Длина станции может быть увеличена при этом на 50—75 м. Сооружение такого односводчатого тоннеля станции будет выполняться с применением одной технологии и механизацией работ с минимальным разнообразием элементов конструкций. Первый опыт сооружения удлиненных станций вполне себя оправдал на Харьковском метрополитене, но пока еще они возведены только на мелком заложении.

Проблему снижения металлоемкости при проходке перегонных тоннелей открытым способом можно решить, отказавшись от применения металлических свай для крепления стен котлованов и перейдя на сооружение двухлутных тоннелей щитовым механизированным агрегатом, предназначенным специально для работ на открытом способе. Положительный опыт применения этого щитового агрегата осуществлен еще 10 лет назад: тоннель сооружался с использованием подвижной крепи-щита прямоугольного сечения с разработкой грунта установленным на поверхности впереди агрегата экскаватором с обратной лопатой.

Сооружение тоннеля велось с водопонижением при первоначальном уровне грунтовых вод выше перекрытия тоннеля. В тоннеле за щитом монтаж цельносекционной обделки с изоляцией, выполненной на заводе. На участке полностью отказались от металлического свайного крепления.

В настоящее время в ЦНИИСе разработана щитовая агрегат без экскаватора. Замена металлической свайной крепи и старой технологии возведения обделки на новую позволит снизить трудовые затраты на открытом способе почти вдвое.

Использование для строительства тоннелей специальных методов работ предполагается вести с учетом новых предложений, направленных на снижение их стоимости, трудоемкости

**НАУЧНЫЕ** исследования института в области тоннелестроения в текущем году направлены на решение актуальных вопросов техники сооружения тоннелей.

Значительное внимание уделяется проблеме уменьшения осадок поверхности при проходке тоннелей на мелком заложении. Этот вопрос является одним из основных для решения задач снижения стоимости и трудоемкости работ, имея в виду большие затраты на перекладку и переустройство городских коммуникаций.

Исследования будут способствовать разработке решений в направлении применения обжатой в породе обделки в условиях неустойчивых пород, совершенствования технологии работ по нагнетанию за обделку (без обжатия обделки в породе) с использованием пневматического торowego устройства для уплотнения строительного зазора и прессования раствора в заобделочном пространстве при щитовой проходке.

Обжатие в породе обделки уже начало широко применяться на Ленметрострое с монтажом в тоннеле обычной ребристой обделки.

Однако для более широкого внедрения целесообразны обделки из сплошных блоков, без связей, намеченные для дальнейшего применения в Ленинграде и Киеве. В этом случае достигается возможность большого снижения трудовых затрат за счет исключения сбалчивания тубингов и повышения качества обделки в результате улучшения условий статической работы и уменьшения поломок элементов обделки. Одно из существенных преимуществ обжатых в породе обделок — исключение технологического процесса первичного нагнетания с сопутствующими работами по конопатке зазоров и вспомогательными по заготовке раствора.

В исследованиях года большое внимание уделяется старой и по сей день нерешенной проблеме — повышению водонепроницаемости сборных железобетонных обделок.

Среди этих исследований — отработка способа виброударного формирования блоков, позволяющего повысить качество и водонепроницаемость элементов тоннельной обделки.

Серьезное внимание будет обращено на обеспечение гидроизоляции стыков обделки в тоннеле на основе использования и совершенствования нового аппарата для сварки швов

## Исследования ЦНИИС-73

полиэтилена, изготовленного в институте и испытанного в тоннеле СМУ-7.

В качестве внутренних гидроизоляционных экранов применен также металлический лист с зааннериванием его в тело бетона короткими стержнями арматуры. Опытная конструкция обделки из таких блоков, предложенная и изготовленная работниками СМУ-7, испытывается на стендах ЦНИИСа.

Для совершенствования гидроизоляции швов обделок тоннелей будут продолжены работы по созданию пластичных материалов в виде мастик, исключающих повреждение гидроизоляции стыков при деформациях.

На основе опыта сооружения односводчатой станции в Ленинграде Метроргипротрансом будут вестись проектные проработки по применению аналогичных конструкций на Киев- и Мосметрострое и исследования в ЦНИИСе по податливости пород для конкретных инженерно-геологических условий. Ожидаемый эффект от применения этих конструкций позволяет судить об их экономической и технической целесообразности.

Впервые в ЦНИИСе совместно с Московским механическим заводом и ПКБ Главстроймеханизация будут проведены исследования по созданию проходческого механизированного агрегата с призабойной нессонной камерой, взамен применяемого ныне кессонного способа проходки в водонасыщенных неустойчивых грунтах. Применение подобного агрегата резко улучшит условия труда рабочих за счет исключения труда под сжатым воздухом.

В условиях строительства метрополитена в Ташкенте при сооружении перегонных тоннелей предусмотрено вести исследования новой сейсмостойкой обделки.

Для строительства железнодорожных тоннелей в сейсмических районах будут разработаны методические указания по проектированию тоннелей.

Проводится комплекс исследований при сооружении первого в стране подводного городского транспортного

тоннеля в Ленинграде, который возводится методом опускания на дно водотока готовых тоннельных железобетонных секций длиной по 75 м каждая. Здесь наиболее существенными являются исследования по намыву грунта под опускаемые секции на дне водотока, стыковка элементов опущенных секций между собой, а также гидроизоляция конструкции тоннеля.

Одна из интересных научно-исследовательских работ в ЦНИИСе направлена на создание агрегата для более эффективной добычи в карьерах гранитных и мраморных блоков, в частности, поставляемых на Черкизовский завод Московского метростроя для разделки на облицовочные плиты. Экспериментальные работы, проведенные в лабораторных условиях с использованием насоса высокого давления (до 700 ат), серийно выпускаемого для нужд нефтяных месторождений, позволили начать проработку экспериментального агрегата для резания в карьерах гранитных блоков струей воды, взамен буровзрывного способа. Следует учесть, что при применяемой в настоящее время технологии в карьерах выход полезной продукции блоков составляет не более 20—25%, да и добытые таким способом блоки зачастую имеют трещины от взрывов. Разрезание в карьерах блоков струей воды исключает потери самого камня как в процессе добычи, так и в процессе его дальнейшей обработки при нарезке на плиты на заводах.

Расширяется применение ЭВМ для различного рода расчетов в области тоннелестроения. Разрабатываются программы для ЭВМ при составлении смет, выбора рациональных решений тоннельных конструкций в зависимости от многочисленных факторов, определяющих условия их работы, и т. п.

На ЦНИИС возложены функции головной научно-исследовательской организации, призванной координировать все научные исследования по сооружению метрополитенов как строящихся, так и действующих в стране. В этой связи намечается организация развернутых исследований в эксплуатируемых тоннелях с целью длительного и всеобъемлющего изучения работы этих сооружений, введенных за весь период строительства метрополитенов, и повышения надежности и долговечности тоннельных сооружений.

и металлоемкости. Среди них применение для замораживания грунтовых горизонтальных скважин, позволяющих резко уменьшить объем работ по бурению и устройству замораживающих колонок (осуществляя бурение не с поверхности, как обычно, а из подземных выработок). Предусмотрено начать широкое опытное применение и так называемого зонального замораживания грунтов, которое будет осуществляться при значительном заглублении тоннелей не на полную длину замораживающей колонны, а на ее части.

Это позволит значительно уменьшить затраты на эксплуатацию холодильных установок. Расширится использование и химических способов закрепления грунтов как из забоя тоннеля, так и с поверхности.

Меры по реализации проектных и научно-исследовательских разработок, направленные на решение задач технического прогресса в метростроении, должны осуществляться более быстрыми темпами. В этом залог успеха значительного повышения экономической эффективности строительства.

# МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ЩИТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

В. РАЗМЕРОВ, канд. техн. наук

*Создание надежных и устойчиво работающих механизированных щитов и комплексов оборудования в разнообразных и подчас очень сложных геологических условиях пока далеко не решенный вопрос. Необходима слаженная и хорошо организованная совместная работа ученых-исследователей, конструкторов, производственников-машинистов-строителей, строителей-тоннельщиков, непосредственно осваивающих новую технику и эксплуатирующих ее, чтобы решить эту большую и важную задачу.*

**С**ВЫШЕ двадцати лет конструкторы и строители тоннелей занимаются созданием и внедрением проходческих механизированных щитов. Одновременно изучаются новые технологические схемы проходки тоннелей, методы механического разрушения горных пород, рациональные типы породоразрушающего инструмента.

За эти годы с использованием механизированных щитов сооружено более 95 км тоннелей, в том числе 72,5 км тоннелей метрополитена.

До последнего времени основное внимание было сосредоточено на создании механизированных щитов для проходки тоннелей в мягких устойчивых и слабоустойчивых породах крепостью от 30—40 до 150—175 кг/см<sup>2</sup>, требовавших, как правило, немедленного, вслед за проходкой, крепления выработки. Это обуславливало наличие проходческого щита, который одновременно служил опорой-основанием для размещения рабочего органа и его привода — собственно проходческой машины.

На проходке перегонных тоннелей Ленинградского метрополитена успешно применяются механизированные щиты с фрезерным рабочим органом планетарного действия. В однородных сухих кембрийских глинах крепостью 60—80 кг/см<sup>2</sup>, устойчивых в проходке, обеспечивается надежная производительная работа механизированных щитов со средней эксплуатационной скоростью 220—240 пог. м готового тоннеля в месяц. В декабре 1972 г. на проходке перегонного тоннеля с возведенным сборной железобетонной обделки, обжатой в породу, достигнута рекордная скорость сооружения тоннеля — 141 м в неделю и 24,4 м в сутки.

Небольшая мощность привода рабочего органа щита (всего 100 квт) затрудняет механизированную проходку тоннеля в случае появления в сечении забоя прослойки песчаника. Кроме того, 6 фрез рабочего органа, оснащенные 88 резами, очень мелко дробят породу и создают значительное запыление призабойной зоны. По техническому заданию Ленметростроя Ясиноватским машиностроительным заводом изготовлен механизированный щит КТ-1-5,6, улучшенный и усиленный образец ленинградского щита со сменным рабочим органом — фрезерный, планетарного действия и четырехлучевой бар со стержневыми резами для комбинированного резания со сколом. Мощность привода этого щита 200 квт, усилие подачи до 50 т. У щита соответственно большая прочность узлов рабочего органа, техническая скорость проходки 2 м/час в устойчивых породах крепостью до 300 кг/см<sup>2</sup> (рис. 1 — на обложке). Щит монтируется на одном из участков Ленметростроя и в ближайшее время вступит в эксплуатацию.

По схеме, аналогичной ленинградскому щиту, созданы механизированные щиты М-105 и 105-Т. Щит М-105 использовался на проходке перегонного тоннеля метрополитена в Москве. Щит имел малую мощность привода — 110 квт, малое усилие подачи и низкую техническую скорость — 0,6 м/час. Он удовлетворительно использовался лишь в устойчивых породах крепостью от 80 до 175 кг/см<sup>2</sup>.

Щит 105-Т с двухдисковым фрезерным рабочим органом планетарного действия, оснащенный 24 стержневыми резами, армированным твердым сплавом (мощность привода 200 квт), успешно использовался на проходке перегонного тоннеля Тбилисского метрополитена. Проходка велась в аргиллитах с включением туфогенных песчаников средней крепостью 350—375 кг/см<sup>2</sup>. Сооружено более 2 км тоннеля. Продолжается использование щита на новом участке строительства.

Механизированные щиты Киевский и ЦМ-4 с плоской планшайбой, оснащенной пластинчатыми резами, применялись при сооружении тоннелей в сырых, вязких глинах, в слабоустойчивых сырых моренных глинах с включением валунов и суглинках крепостью 20—40 кг/см<sup>2</sup> на проходке перегонных тоннелей Московского метрополитена. Киевский щит имел мощность привода рабочего органа 45 квт и усилие подачи до 8 т, соответственню щит ЦМ-4 — 100 квт и 12 т. Малая мощность привода, малое усилие подачи ограничивали производительность проходки, которая редко выходила за пределы 90—100 м/месяц. Проходка особенно затруднялась при частичных вывалах породы в разрабатываемом забое. Валун вынимались вручную через специальные окна в планшайбе.

При сооружении тоннелей в песках естественной влажности, на мелком заложении, успешно применены проходческие щиты с горизонтальными, рассекающими забой площадками, позволившие сооружать тоннели в трудных геологических условиях со значительными скоростями. 220—260 м в месяц при наибольшей достигнутой 400—430 м/месяц. В Москве с помощью таких щитов сооружено около 3,5 км перегонного тоннеля.

Описанными выше механизированными щитами были освоены достаточно широкие пределы геологических условий проходки тоннелей — от устойчивых пород крепостью до 350 кг/см<sup>2</sup> до песков естественной влажности. Однако эти щиты были несовершенными: каждый мог применяться в узко ограниченных геологических условиях.

Малые мощности привода рабочих органов щитов, большие усилия подачи на забой, а следовательно, малые технические скорости проходки — 0,6—1,0—1,2 м в час — не позволяли обеспечить устойчивую проходку тоннелей на значительных эксплуатационных скоростях. Ограниченные возможности изменения режима работы рабочего органа (только по величине подачи), отсутствие регулирования числа оборотов ротора лишали возможности вести работу щита на оптимальных режимах при изменении геологических условий в забое.

Механизированные щиты ЦН-1 диаметром 5,5 м (рис. 2) и ЦМ-8 диаметром 3,6 м, разработанные конструкторами Московского механического завода и изготовленные в 1961—1967 годах, имеют увеличенную мощность, значительно большее усилие подачи и крутящий момент, благодаря чему этими щитами можно разрабатывать породу даже при наличии частичного обрушения забоя. Сменный инструмент позволяет расширить геологические границы использования этих агрегатов.

Вместо электрического на щитах впервые применен гидравлический привод рабочего органа. Гидравлический привод легко регулируется в широких пределах, не тре-

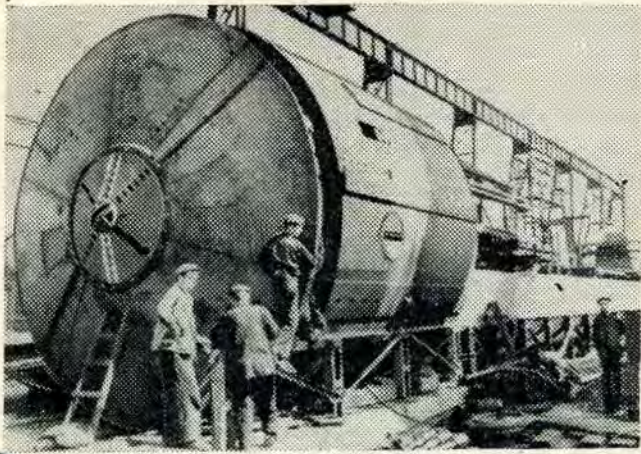


Рис. 2

бует громоздких редукторных передач, меньше загружает живое сечение щита, менее чувствителен к перегрузкам.

Применение гидропривода в механизированных щитах затруднено тем, что в Советском Союзе гидропривод механизмов применяется только как вспомогательный (сервопривод) и промышленностью выпускаются гидродвигатели малой мощности и гидроаппаратура малой производительности.

Щитами ЩМ-8 диаметром 3,6 м пройден гидротехнический тоннель длиной 5,15 км в Таджикистане и сооружен коллектор в Киеве длиной около 8 км со среднемесячной (в течение года) скоростью 260 м, рекордной — 458 м/месяц.

Щиты ЩН-1 диаметром 5,5 м успешно используются на проходке тоннелей Большого Ставропольского нанала: пройдено уже около 2,5 км тоннелей со сборной железобетонной и монолитно-прессованной обделками. Двумя такими щитами в Венгрии сооружено более 7 км перегонного тоннеля Будапештского метрополитена в тяжелых геологических условиях, при нескольких значительных вывалах в забое.

По проекту СКТБ Московского механического завода изготовлен опытный образец щита сварной конструкции ЩМ-17 (рис. 3). Щит предназначен для механизации проходки тоннелей в песках естественной влажности. Он оснащен тремя ярусами выдвижных рассекающих площадок с установленными на них тремя челюстными рыхлителями с гидравлическим приводом. Выдвижение рассекающих площадок осуществляется гидравлическими домкратами максимальным усилием 100 т каждый, 20 щитовых гидравлических домкратов обеспечивают наибольшее усн-

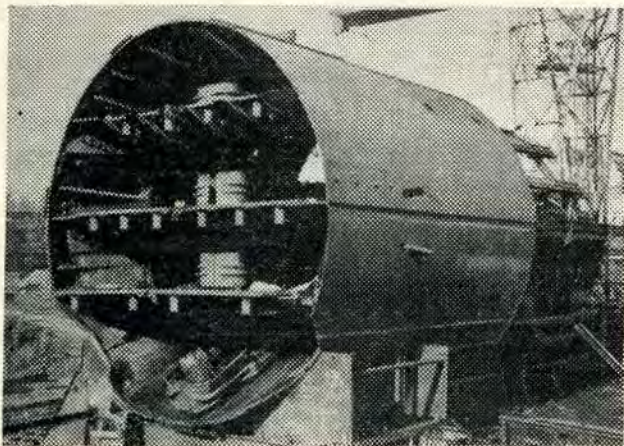


Рис. 3

лие внедрения щита — 2400 т. Уборка породы из щита и погрузка ее на транспортер производятся челюстной погрузочной машиной, установленной в нижней ячейке щита. Монтаж сборной железобетонной обделки выполняется специальным блокоуладчиком.

Щит прошел приемочные испытания на одном из участков строительства Московского метрополитена и принят в постоянную эксплуатацию. Им пройдено более 1,3 км перегонного тоннеля с наибольшей суточной скоростью 12 м. В 1973—1974 годах будет изготовлено еще два таких щита для Московского метрополитена.

Прошел испытания и принят в постоянную эксплуатацию комплекс оборудования ТЩБ-5,9, включающий щит типа ЩМ-17 с двумя рассекающими площадками и четырьмя челюстными рыхлителями для механизации проходки тоннелей в песках с монолитно-прессованной бетонной обделкой. Щитом с комплексом ТЩБ-5,9 пройдено 1,13 км перегонного тоннеля с наибольшей достигнутой скоростью 96 м тоннеля в месяц.

Данные испытания двух номлексов оборудования со щитами типа ЩМ-17 — значительное уменьшение осадок поверхности при проходке в неустойчивых песчаных грунтах естественной влажности, хорошее качество прессованной обделки, реальность сооружения тоннеля со сборной обделкой со скоростью 220—250 м в месяц, с монолитно-прессованной — до 100 м в месяц.

Изготовленный сейчас Московским механическим заводом механизированный щит ЩМР-1 (рис. 4) диаметром

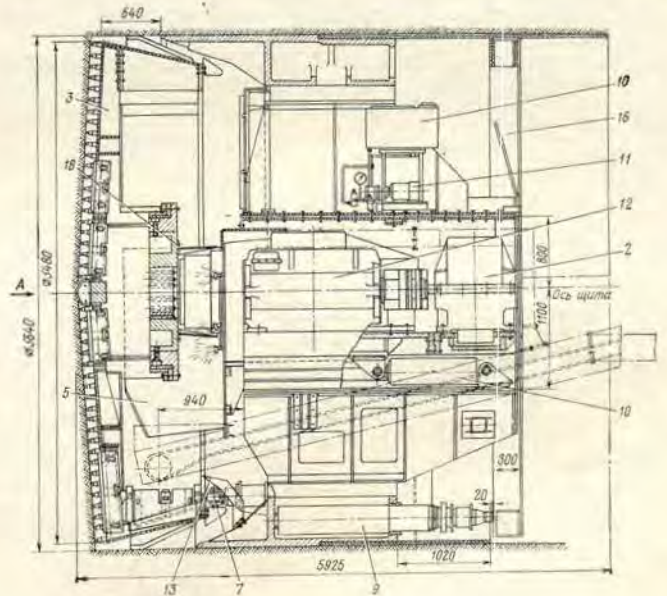


Рис. 4 Щит ЩМР (номера позиций даны по часовой стрелке): 5 — теска, 18 — кожух, 3 — ротор, 10 — гидрозасос подачи ротора, 16 — кольцо уплотнения строительного зазора, 11 — гидронасос копитерезца, 12 — электродвигатель, 2 — редуктор, 10 — гидродомкрат подачи ротора, 9 — щитовой домкрат, 7 — ролик упорного гидродомкрата, 13 — отвальные листы.

5,5 м имеет достаточную мощность — 320 квт. У него два электродвигателя постоянного тока, хороший надежный редукторный привод периферийного типа, цевочное зацепление, регулируемое число оборотов рабочего органа — от 0,5 до 5 об/мин, сменный инструмент (резцы, ножи). Все это должно обеспечить успешное применение щита для проходки тоннелей в широком диапазоне крепости пород от 20 до 350—400 кг/см<sup>2</sup> со значительными скоростями — 250—300 м в месяц. Применение соответствующих защитных комплексов оборудования обеспечит возведение сборной железобетонной и сборной обделки, обжатой в породу и монолитно-прессованной бетонной. Окончательное суждение о производственных возможностях щита можно будет иметь после его приемочных испытаний.

На Яснноватском машиностроительном заводе Минтяжмаша заканчивается изготовление опытного образца механизированного щита ММЩ-1 (рис. 5). Это будет первая

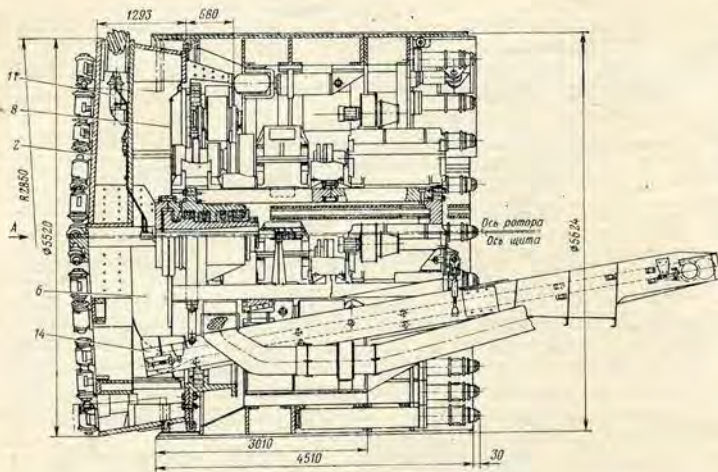


Рис. 5а Щит ММЦ-1

11 — копир-резец, 8 — уплотняющие элементы, 2 — ротор, 6 — течка, 14 — транспортер щитовой

машина, которая позволит механическим путем разрабатывать скальные породы крепостью до  $800 \text{ кг/см}^2$  в широком диапазоне (от 80 до  $800 \text{ кг/см}^2$ ). Предполагается возможность разработки рабочим органом щита — пятилучевой ротор, оснащенный дисковыми шарошками и стержневыми резцами — тоннельных забоев с перемежающимися пластами устойчивых пород различной крепости. Мощность привода рабочего органа  $560 \text{ квт}$ , число оборотов рабочего органа регулируемое от 0,5 до 3 об/мин, привод многомоторный, редукторный, периферийного типа с пчочным зацеплением, наибольшее усилие подачи  $600 \text{ т}$ , проектная техническая производительность до  $2 \text{ м/час}$ .

Испытания опытного образца щита ММЦ-1 намечаются на одном из участков строительства Тбилисского метрополитена, геология которого характеризуется крепкими туфогенными песчаниками.

Механизированный щит КС-ЩН-1, изготавливаемый Московским механическим заводом по проекту Метрогипротранса, является, по существу, экспериментальным и предназначен для изучения в производственных условиях

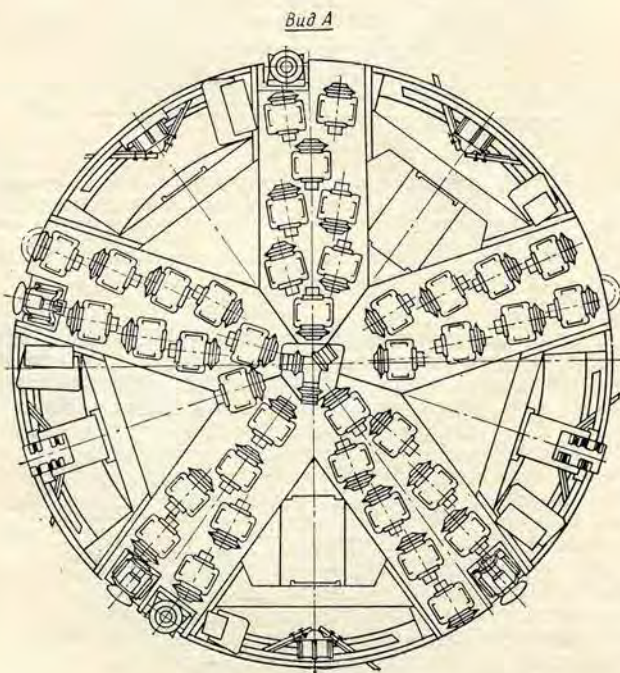


Рис. 5, б

флангового фрезерования пород средней крепости с использованием крупного скола, обеспечивающего производительную работу проходческой машины при меньшей мощности привода.

По техническому заданию ЦНИИСа на Московском механическом заводе изготовлен первый механизированный щит для механической разработки забоя однопутного железнодорожного тоннеля ШМ-15 (рис. 6), сооружаемого в породах крепостью до  $300 \text{ кг/см}^2$ .

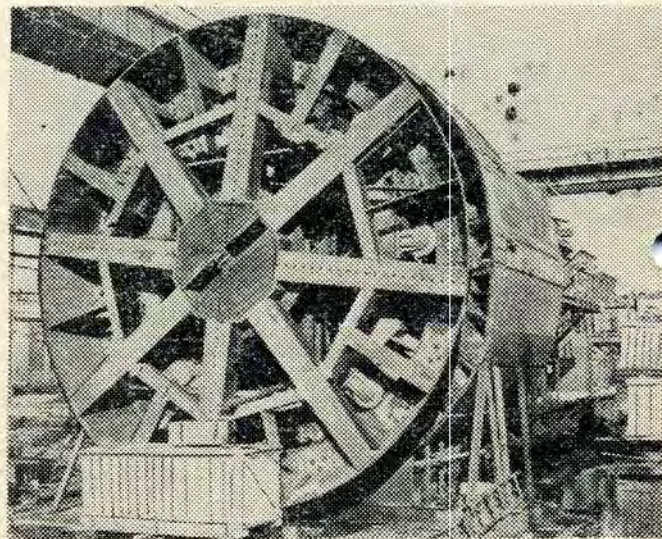


Рис. 6

Щит диаметром  $8,76 \text{ м}$  имеет рабочий орган — конический восьмилучевой ротор, оснащенный стержневыми резцами и ножами, привод периферийного типа с шестью гидравлическими эксцентриковыми приводами через пчочное колесо, с регулируемым числом оборотов ротора от 0,95 до 1,42 об/мин. Мощность привода  $640 \text{ квт}$ , наибольшее усилие подачи  $400 \text{ т}$ . Щит и комплекс оборудования смонтированы на участке строящегося тоннеля и готовы к испытаниям.

Оценка роста энерговооруженности создаваемых механизированных щитов приведена в таблице:

Таблица

Наименование механизированных щитов	Мощность привода, квт	Усилие напора, т	Площадь забоя, м <sup>2</sup>	Удельные показатели	
				квт/м <sup>2</sup>	т/м <sup>2</sup>
Киевский	45	8	25	1,8	0,32
Ленинградский	100	8	25	4	0,32
М-105	110	10	25	4,4	0,4
ШМ-4	00	12	25	4	0,48
105г	200	17	25	8	0,68
КТ-1-5,6	200	50	25	8	2
ШМ-8 Д-3,6 м	80	45	10	8	4,5
ЩН-1	160	180	25	6,4	7,2
ШМ-15	640	400	61	10,5	6,5
НМР-1	320	200	25	12,8	8
ММЦ-1	560	600	25	22,4	24

Остается совершенно нерешенным вопрос комплексной механизации и бесконечной проходки тоннелей в неустойчивых водонасыщенных грунтах. Эта большая работа находится в плане исследований ЦНИИСа на текущий год. Предстоят широкие исследования способов уплотнения и конструкций уплотняющих устройств, методов и конструкций автоматического шлюзования породы, уплотнения и изоляции стыков обделки и др.

Конструкторы располагают пока далеко недостаточными материалами по долговечности и износостойкости шарошек, конструкции их опор и уплотнений.

Создание щита арочной конструкции переменного габарита для однопутных железнодорожных тоннелей требует проведения ряда поисковых и исследовательских работ, связанных, в частности, с решением вопросов механизации разработки забоев тоннелей некруглого сечения.



# НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА

## ПРОХОДКА ПЕРЕГОННОГО ТОННЕЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫМ ЩИТОМ С ВОЗВЕДЕНИЕМ МОНОЛИТНО-ПРЕССОВАННОЙ БЕТОННОЙ ОБДЕЛКИ

Е. ДЕМЕШКО, канд. техн. наук

Из четвертичных отложений, где в основном прокладываются линии мелко заложения Московского метрополитена, песчаные грунты в наибольшей степени неблагоприятны для сооружения тоннелей. Главная особенность песчаных грунтов — быстрый их переход из природного устойчивого состояния в неустойчивое, подвижное при обнажении забоя подземной выработки, вызывающее деформации оседания массива, которые распространяются до поверхности земли. Форма и размеры образующей зоны сдвига, а также величина деформации грунта и осадок поверхности оказывают прямое влияние на сохранность находящихся вдоль трассы тоннеля подземных коммуникаций, зданий и сооружений.

В последние годы проводится интенсивный поиск технических средств для уменьшения и предупреждения сдвига грунта при проходке тоннелей в песках. Разработаны и применяются конструкции щитов, основанные на использовании в головной части системы горизонтальных площадок с поперечным откосным расположением забоя. Совершенствуются и разрабатываются новые методы возведения тоннельных обделок. Улучшается процесс нагнетания цементно-песчаного раствора за первое кольцо сборных железобетонных обделок. Внедряется новая технология возведения монолитно-прессованных бетонных обделок.

На строительстве правого перегонного тоннеля между станциями «Шукинская» и «Октябрьское поле» Краснопресненского радиуса, осуществляемом СМУ-8 Мосметростроя, проводились производственные испытания нового механизированного проходческого комплекса ТЩБ-1 для сооружения тоннеля с монолитно-прессованной бетонной обделкой. Комплекс запоректирован Метрогипротрансом и

изготовлен Московским механическим заводом Главтоннельмостростроя.

Головной агрегат комплекса — механизированный щит, оснащенный в ножевой части двумя горизонтальными перегородками и одной центральной расположенной вертикальной в верхнем и среднем ярусах. Откосный забой формировался на каждом ярусе челюстными машинами, при помощи которых отбирали избыточный объем грунта.

Тоннель проходили в основном в толще песчаного грунта средней крупности. Образцы грунта, отобранные в забое, имели удельный вес скелета  $2,65 \text{ гс/см}^3$ , объемный вес —  $1,6 \text{ гс/см}^3$ , пористость —  $42\%$ , влажность —  $3,2-5,6\%$ , угол внутреннего трения —  $26-30^\circ$ , сцепление —  $0,005-0,075 \text{ кгс/см}^2$ .

В целях исследования воздействия щитовой проходки на бытовое состояние грунтового массива ЦНИИСом был организован измерительный участок, включавший, помимо поверхностных, четыре глубинных репера. Конструктивно глубинный репер был выполнен в виде стального диска  $\varnothing 150 \text{ мм}$ , в центре жестко скрепленного со стальным стержнем  $\varnothing 20 \text{ мм}$ . Стержень проходил внутри трубы  $\varnothing 2''$ , нижний конец которой отстоял от диска на  $500 \text{ мм}$ . Труба служила для снятия сил трения грунта по стержню. Над поверхностью земли она выступала на  $300 \text{ мм}$ , а стержень возвышался над ней на  $150 \text{ мм}$ . Для того, чтобы труба перемещалась совместно с земной поверхностью, в верхней ее части была приварена крестовина из арматурной стали, которую заделывали в грунт.

Реперы устанавливались заблаговременно в предварительно пробуренные скважины диаметром  $200 \text{ мм}$  с последующей их засыпкой песком, который поливали водой и затем утрамбовывали. На свободном наружном конце стержня закреплялись линейка с миллиметровой шкалой и индикатор часового типа с це-

ной деления  $0,01 \text{ мм}$ , фиксировавшие смещения репера относительно верха трубы. Эти измерительные средства показывали с точностью не менее  $0,1 \text{ мм}$  относительные деформации грунтового массива. Абсолютные деформации, то есть перемещения трубы, репера и поверхности земли, измерялись геодезическим методом при помощи нивелира с использованием опорного стенового репера, удаленного на  $60 \text{ м}$  от трассы тоннеля. Абсолютные деформации измерялись с точностью до  $2 \text{ мм}$ .

Результаты измерений деформаций показаны на рис. 1, где жирной линией 1 изображены эпюры перемещений трубы, представляющие осадки поверхности. Тонкой линией 2 — перемещения глубинных реперов. Текущие значения перемещений привязаны к возводимому кольцу обделки и дате измерения. На рисунке обозначены также положение ножевой кромки щита 3 и хвостовой облоочки 4 относительно реперов в момент снятия отсчетов.

Анализ результатов измерений показывает, что деформаций оседания поверхности на участке непосредственно перед щитом практически не наблюдалось. Они появляются и нарастают по мере прохождения корпуса щита под репером, причем приращение деформаций почти пропорционально величине передвижения щита. Сразу же после выхода облоочки щита из-под репера, то есть начиная с момента прессования под ним обделки, проседание поверхности прекратилось, и полученные величины осадок, составившие  $84 \div 122 \text{ мм}$ , остались без изменения.

В процессе деформирования массива показательно поведение глубинных реперов. На рис. 2 приведены эпюры перемещений реперов. Положительная ось ординат отвечает поднятию репера, отрицательная — оседанию относительно поверхности земли. На горизонтальной оси

указаны номера бетонированных колец, соответствующих моменту измерения перемещения. Положительные перемещения означают деформации сжатия (уплотнения) грунтовой толщи, отрицательные — деформации разуплотнения. Наиболее характерны перемещения репера № 1, находившегося на расстоянии  $30 \text{ см}$  от верха щита.

Репер начал активно реагировать на продвижение щита, когда его ножевая кромка приблизилась на расстоянии  $0,7 \text{ м}$ . При дальнейшем перемещении щита на

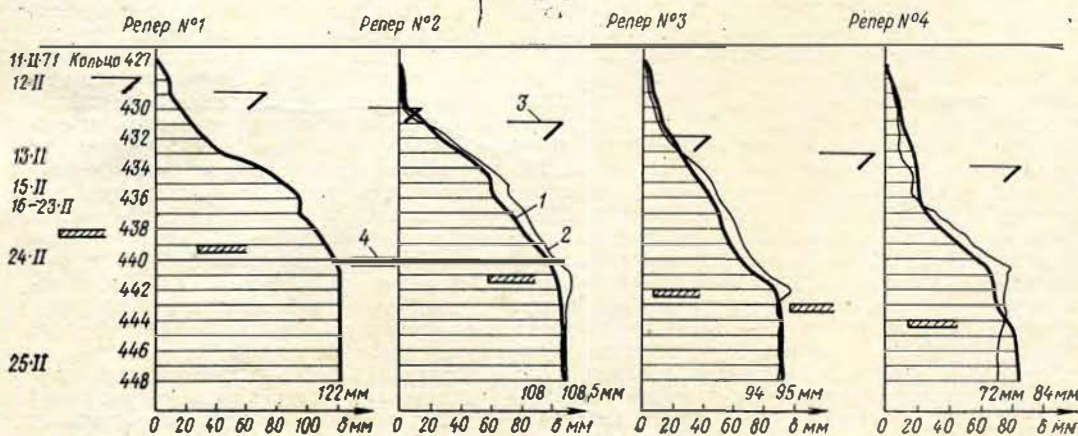


Рис. 1

# ОДНОСВОДЧАТАЯ СТАНЦИЯ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

## ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

О. АНТОНОВ, С. СИЛЬВЕСТРОВ, кандидаты техн. наук

**ЛЕНИНГРАДСКИЕ** метростроевцы сооружают первую в нашей стране односводчатую станцию метрополитена глубокого заложения. Ее строительству предшествовали теоретические и экспериментальные исследования, испытания моделей, изучение опыта возведения односводчатых подземных сооружений

крупного профиля, технико-экономические сопоставления этого варианта станции с наиболее экономичными из существующих конструкций других типов. Предварительные исследования показали, что односводчатая конструкция со сборным железобетонным сводом эффективна как с точки зрения рационально-

го использования конструктивных материалов, так и возможности комплексной механизации проходческих работ, уменьшения осадок поверхности земли, сокращения трудозатрат, сроков и стоимости строительства.

Конструкция станции представляет собой сборный железобетонный много-

(Окончание статьи Е. Демешко. Начало на 7 стр.)

две заходки по 0,6 м наблюдалось относительное поднятие репера на 6 мм. Это свидетельствует об образовании перед щитом уплотненной зоны при его внедрении в грунт. Распространение этой зоны прослеживалось поднятием репера № 3 на 3 мм и репера № 2 на 1,5 мм, расположенных соответственно на 0,8 м и 1,3 м над щитом. После продвижения ножа щита на 0,5 м за репер стало наблюдаться его опускание (которое достигло максимального значения минус 14,7 мм, когда щит прошел на 4,8 м за репер, что составило 3/4 длины его корпуса). Оседание репера можно объяснить действием двух факторов: ведени-

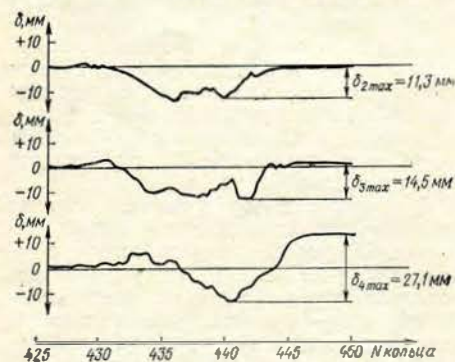


Рис. 2

ем щита «на подъем» и конусностью его корпуса — наружный диаметр щита в ножевой части превышал диаметр в хвостовой на 70 мм. При последующем продвижении щита репер вновь стал перемещаться вверх, достигнув значения плюс 12,4 мм, когда хвостовая оболочка щита удалилась от репера на 0,9 м вперед и под ним прессовалась бетонная обделка. Полная величина поднятия репера составила 27,1 мм при давлении прессования бетона прессующим кольцом около 40 кгс/см<sup>2</sup>.

Таким образом, влияние процесса прессования обделки на поднятие репера начало сказываться на расстоянии 1,5 м от хвостовой оболочки щита в сторону ножа.

Характер поведения вышерасположенных реперов был аналогичным реперу № 4, но абсолютные значения перемещений уменьшились. Оценку влияния процесса прессования бетонной обделки на величину уплотнения грунта и распространение зоны уплотнения можно сделать по рис. 3. Штриховой линией 4 на рису-

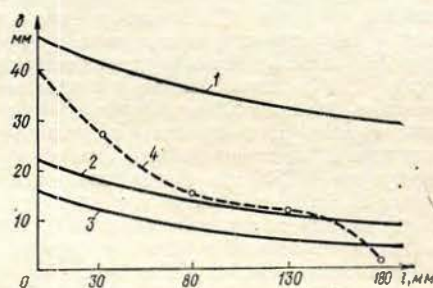


Рис. 3

ке показана кривая конечных значений абсолютных деформаций уплотнения грунта на разных расстояниях от наружной поверхности обделки. Уплотнение происходит после предшествующего ему процесса разрыхления грунта. Экстраполируя кривую 4, можно установить величину уплотнения грунта на контакте с бетонной обделкой, равную примерно 40 мм. Это хорошо согласуется со значениями уплотнения в 40—50 мм, полученными ранее путем непосредственного измерения натурной толщины прессованной обделки. На рис. 3 также показаны теоретические кривые уплотнения, построенные по различным расчетным схемам: кривая 1 отражает осесимметричную деформацию упругой среды (задача Ляме), кривая 2 — полярно-симметричную деформацию, 3 — плоскую деформацию линейно-деформированного полупространства, нагруженного равномерной распределенной полосовой нагрузкой. Задачи решены при следующих данных: среднем модуле деформации разрыхлен-

ного песка 300 кгс/см<sup>2</sup>, коэффициенте Пуассона 0,2, давлении прессуемого бетона на грунт 5 кгс/см<sup>2</sup>, среднем бытовом давлении грунта 1 кгс/см<sup>2</sup>. Очевидно, что реальная схема деформирования грунта при прессовании очередного кольца обделки представляет собой промежуточный случай между осесимметричной и полярно-симметричной деформацией грунтовой среды, что и подтверждается найденным экспериментальной кривой 4 между теоретическими кривыми 1 и 2. Существенное отличие экспериментальной кривой от теоретических состоит в том, что затухание уплотнения грунта по мере удаления от обделки происходит значительно быстрее, и воздействие прессующего давления на грунт практически прекращается на расстоянии 180 см от обделки.

Результаты исследований при сооружении тоннеля с монолитно-прессованной обделкой в песчаных грунтах подтвердили, что применение щита с горизонтальными площадками в головной части при правильном режиме отбора грунта в забое дает возможность предупредить деформации оседания поверхности земли перед щитом. В пределах длины корпуса агрегата происходят деформации массива и осадки поверхности, совпадающие с величиной превышения ножевой кромки щита над его оболочкой, считая от оси тоннеля. Это свидетельствует о прямой зависимости деформаций от ведения щита на подъем и неправильной конусной формы его корпуса. На участке возведения монолитно-прессованной обделки процесс деформирования грунтового массива качественно изменяется: деформации оседания переходят в деформации поднятия, а разрыхленная зона грунта, прилегающая к обделке, превращается в уплотненную. При этом влияние обжатия массива прессуемым бетоном распространяется на расстояние до 1,8 м от обделки тоннеля. Накопившиеся по длине корпуса щита осадки поверхности земли на участке возведения монолитно-прессованной обделки уже не увеличиваются в отличие от случая возведения сборной железобетонной обделки, где основная часть осадок появляется именно за хвостовой оболочкой щита.

шарнирный свод, обжимаемый в породу и опирающийся на стены из частично заполненных бетоном перегонных пилот-тоннелей и обратного свода. Несущий свод возводится с помощью дугового укладчика в калоттной выработке-прорези при проходке наступающим забоем.

К числу вопросов, подлежащих исследованию, относится определение:

эффективности многошарнирной, обжатой в породу конструкции несущего свода с двояковыпуклыми радиальными стыками с виннипластовыми прокладками переменной толщины, а также конструкции винтовых опорных устройств блоков свода, которые предназначены для включения его в работу до нагнетания;

развития горного давления и распределения зон концентрации напряжений в окружающем станцию массиве, в том числе под пятами свода;

деформативных характеристик грунтов на контакте с опорными стенами (коэффициент постели основания под пятами свода);

оптимальной величины усилий обжатия несущего свода с позиций обеспечения благоприятных условий статической работы конструкции и приемлемых величин осадок поверхности земли;

характера деформаций грунта в призабойной зоне при проходке шелевой прорези, состоящая кровли и забоя выработки;

работы основных узлов и отдельных конструктивных элементов станции, в том числе распорных домкратов Фрейсине, в которые для обжатия свода и фиксации предварительного напряжения нагнетается цементный раствор;

технико-экономических показателей проходки.

В процессе сооружения станции проводятся инструментальные наблюдения и замеры физико-механических характеристик конструкции и системы «обделка—порода» в целом, которые определяют их напряженно-деформированное состояние в пространстве и времени (то есть по мере возведения станции).

Общие деформации конструкции определяются путем периодической тахеометрической съемки внутреннего контура обделки и нивелирования. Инструменты устанавливаются на стационарных столиках, закладываемых в торцовых стенах станции. Наклон опорных стен измеряется специальными гидроуровнями, устанавливаемыми в наклонных трубах 1 (см. рисунок), которые закладываются при бетонировании стен. Взаимные перемещения блоков свода (раскрытие стыков) определяются съемным индикаторным прибором по мерным базам 2.

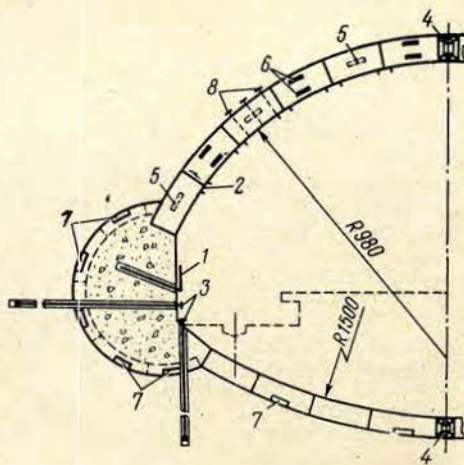
Сдвигание толщи грунтов, окружающих конструкцию, фиксируется с помощью глубинных реперов, закладываемых в скважины. Используются два типа реперов с механическими связями и с радиоактивными изотопами. Реперы с механическими связями закладывают в скважинах 3, пробуренных из пятых тоннелей вниз и в стороны. Реперы с радиоактивными изотопами кобальта-60 застреливаются в грунт через стенки скважин, пробуренных с поверхности земли. Всего в шести скважинах в од-

ном поперечном створе заложено 85 радиоактивных реперов, расположенных на расстоянии 5 м один от другого по вертикали и от 10 до 30 м — по горизонтали.

Реперы с механическими связями представляют собой винтовые анкеры со штангами длиной от 3 до 15 м, которые располагаются в скважинах по 5 шт. в каждой; всего закладывается 50 анкеров. Периодичность измерений увязывается с этапами проходки и возведения несущей конструкции станции.

Одна из наиболее важных задач исследований — определение усилий в конструкции, по которым устанавливается величина и развитие горного давления. Усилия в своде определяются несколькими способами: изготавливаются специальные динамометрические замковые 4 и нормальные блоки, в обычные блоки закладываются тензостолбики и струнные плавящиеся динамометры 5, струнные арматурные динамометры 6; измеряются относительные деформации бетона по внутренней контуре свода с помощью съемных индикаторных приборов часового типа.

Динамометрические элементы располагаются на пяти опытных участках, равномерно расположенных по длине станции; каждый участок (см. рисунок)



включает две арки свода. Струнные арматурные динамометры, которые включаются в рабочую арматуру блоков свода, широко используются в практике натурных исследований гидротехнических сооружений. Преимущество их по сравнению с более дешевыми в изготовлении тензорезисторными приборами состоит в значительно большей стабильности показаний во времени, так как измеряемая характеристика — частота колебаний струны — в меньшей степени подвержена влиянию побочных факторов. К числу их в тензорезисторных приборах относятся некачественная приклейка датчиков, ползучесть клея, нарушения герметичности изоляции проводов и другие явления, изменяющие омическое сопротивление датчика.

Арматурные динамометры, включенные в состав наружной и внутренней армату-

ры каркаса, дают возможность установить не только нормальные силы, но и изгибающие моменты в блоках свода, то есть дать исчерпывающую характеристику работы последнего. Замковый динамометрический блок 4, предназначенный для определения развития усилий в своде, состоит из двух опорных плит. Они соединены стальными стержнями, оборудованными струнными датчиками. Нормальный динамометрический блок — железобетонный, но со стальной вставкой, напряженно-деформированное состояние которой устанавливается съемным индикаторным прибором. Струнные плавящиеся динамометры, выполненные по аналогии с арматурными, предназначены для определения деформаций бетона блока по его оси; по этим деформациям рассчитывается величина нормальной силы в блоке.

При измерениях напряженно-деформированного состояния стационарной конструкции используются также гидроподушки со струнными датчиками давления. С помощью гидроподушек 7 определяют контактные давления на внешней контуре опорных стен и обратного свода. Гидроподушка представляет собой плоский, заполненный маслом герметический сосуд из тонкой листовой стали, который устанавливается в специальных впадинах на наружном контуре обделки шлот-тоннелей и блоков свода. Коэффициент постели основания под пятами свода определяется расчетом на основе измерения усилий в системе и осадок опор.

Усилия обжатия свода контролируются по показаниям манометра в системе нагнетания раствора в домкраты Фрейсине. Измерение перемещений грунта кровли и забоя в сторону выработки при сооружении свода в контурной прорези осуществляется с помощью индикаторов часового типа, размещаемых в период перерывов проходки на дуговом укладчике. Последний на это время разгружается и стопорится на рельсовых направляющих. Для определения усилий, передающихся на опорные винтовые устройства блоков несущего свода, часть опорных винтов 8 выполняется динамометрическими, для чего в канавках их трубчатых корпусов наклеиваются тензодатчики.

В связи с тем, что развитие нагрузок на конструкцию не ограничивается, как правило, периодом ее возведения, предполагается продолжать измерения струнными динамометрическими приборами в период эксплуатации станции. С этой целью намечено осуществить коммутацию этих приборов с выводом проводки на единый центральный пульт, устанавливаемый в одном из подплатформенных помещений станции.

Осуществляемые в широком масштабе исследования напряженно-деформированного состояния конструкции станции и окружающего ее массива горных пород, наряду с изучением технологического процесса проходки и возведения обделки, а также технико-экономических показателей строительства на всех его этапах, позволяют разработать рекомендации по широкому внедрению этого типа станции на отечественных метрополитенах, совершенствованию ее конструкции и способов сооружения.

# ВНЕДРЕНИЕ ОБЖАТЫХ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК

НА ЛЕНМЕТРОСТРОЕ СООРУЖЕНО 4184 МЕТРА

В. КАПУСТИН, В. БЕЛОЛИКОВ, инженеры

**П**ЕРВЫМ шагом в направлении создания и исследования нового вида обделки было строительство опытного участка перегонного тоннеля на II очереди Невско-Василеостровской линии с обжатой в породу обделкой и опробованием комплекса за щитом.

В решении этой задачи, кроме строителей и заводов Ленметростроя, участвовали Метрогипротранс, Ленметропроект, ЦНИИС, ПКБ Главстроймеханизации, СМУ-158 и завод Главтоннельметростроя.

В процессе проектных проработок как конструктивных решений самих элементов обделки, так и оптимальных приемов обжатия кольца на породу для испытания на опытном участке были отобраны два типа обделок.

В первом, разработанном Ленметропроектом, в качестве элементов обделки, обжатой в породу, используются обычные шириной 1 м облегченные железобетонные тубинги типа РБ-5НСК-4.

Расжатие колец осуществляется при помощи домкратов, устанавливаемых в зазорах между продольными стыками колец с обеих сторон тоннеля; фиксация расжатия кольца выполнялась с помощью специального резьбового распорного устройства. После введения его в работу стыки омоноличивались.

Второй тип обделки, разработанный Метрогипротрансом, предусматривал применение колец обделки из слабо армированных бетонных блоков марки 400 (армирование в процессе испытания на опытном участке пришлось значительно усилить) шириной 0,5 м. Обжатие собранного кольца в породу осуществляется домкратами, устанавливаемыми в ниши специальных фигурных блоков с обеих сторон тоннеля, с фиксацией обжатия специальными клиньями и заполнением ниши вкладышами после окончания обжатия.

Работы по установке в тоннеле обжатой обделки на опытном участке между станциями «Елизаровская» и «Ломоносовская» были начаты в апреле и закончены в сентябре 1970 г.

При общей длине опытного участка 400 пог. м на нем были возведены оба типа обделки, обжатой в породу. Обделкой из тубингов РБ-5НСК-4 закреплено 137 пог. м, блоками Метрогипротранса — 250 пог. м тоннеля.

Сборка обделки на обоих участках производилась без перерывки швов при помощи модернизированного блокоукладчика Б-11.

Сооружение опытного участка с применением обделки двух типов позволило не только выяснить общую целесообразность перехода на новый вид обделки, но и позволило получить сравнительные технико-экономические данные (см. таблицу 1).

Из приведенной таблицы видно, что обделка из тубингов РБ-5НСК-4р экономичнее обделки из полуметровых блоков.

Исследования на опытном участке показали, что обделка, обжатая в породу, является прогрессивной конструкцией, применение которой обеспечивает в процессе монтажа прижатие собранной обделки к контуру выработки. Благодаря этому прижатию обделка (система «порода—кольцо») имеет ряд новых свойств и особенностей, придающих ей высокую техническую эффективность.

Немедленное прижатие колец к контуру выработки позволяет элементам обделки быстро вступать в работу, что резко уменьшает развитие горного давления, улучшает статическую работу кольца обделки, предотвращает деформации колец и, как следствие, осадки поверхности земли над выработкой. Улучшение распределения напряжений в элементах обделки с уменьшением величин растягивающих напряжений открывает перспективы снижения расхода бетона и арматуры.

Ликвидация зазора между породой и обделкой устраняет мокрый технологический процесс первичного нагнетания цементно-песчаного раствора за обделку, дает возможность увеличения темпа проходки и экономии материалов и трудовых затрат.

Скорости постройки тоннелей с применением обжатой обделки из тубингов шириной 1 м, сооружаемой под защитой обделки, были в два раза выше, чем скорости при возведении обделки из блоков шириной 0,5 м и достигали 15 м/сутки. При этом отсутствовали деформации колец и, следовательно, осадки поверхности земли над выработкой.

ТОННЕЛЕЙ С ОБДЕЛКОЙ, ОБЖАТОЙ В ПОРОДУ

Таблица 1

Технико-экономические показатели (на 1 пог. м тоннеля)	Ед. изм.	Обжатая обделка из тубингов РБ-5НСК-4 (тип I)		
		Объем бетона	Объем обжатой обделки Метрогипротранса (тип II)	Процентное отношение обделки типа II к типу I
Объем бетона	м <sup>3</sup>	1,906	2,51	132
Вес металла	кг	207,6	119,7	58
в том числе:			236,6	114
арматурной стали	кг	158,8	61,7	
			178,3	
закладных деталей	кг	20,9	33,7	
скрепления	•	14,9	—	
распорных элементов (резьбовые шпильки, гайки, шайбы, клинья)	•	13,0	24,7	
Объем жесткого бетона заполнения зазора между расширяемыми тубингами	м <sup>3</sup>	0,02	—	
Количество монтажных элементов	шт.	9+12	26+50	304
в том числе:				290
блоков обделки	•	—	—	
бетонных вкладышей заполнения или металлических патрубков из труб	шт.	2	12	
распорных винтов	•	4	—	
распорных клиньев	•	—	12	
фиксирующих штырей	•	10	—	
древяноволокнистых прокладок в стыках	шт.	—	26	
Количество типов элементов обделки	•	3	5	
Стоимость тубингов (блоков) обделки изготовленных на заводе ЖБКИД Ленметростроя	Руб.	254	970	370
в том числе стоимость форм	•	—	326	
Стоимость монтажа обделки	•	27	65	240

Примечание. В числителе — вес металла по первоначальному проекту, в знаменателе — по откорректированным чертежам.

По сравнению с применяемой до настоящего времени обычной (не обжатой) обделкой типа РБ из ребристых блоков, внедрение новой конструкции позволяет снизить стоимость сооружения тоннеля на 8,5% и сократить затраты труда на 18%.

В 1971 году Ленметрострой начал широкое внедрение обделки, обжатой в породу.

Наличие освоенной технологии по изготовлению тубингов РБ-5НСК-4 дало возможность быстрого перехода на обделку, обжатую в породу.

Первым объектом, на котором было начато внедрение такой обделки, был центральный канализационный коллектор диаметром 5,5 м, сооружаемый под территорией Ленинградского торгового порта и акваториями Морского канала и Невского гребного фарватера.

При проходке этого подводного тоннеля для предотвращения провизания в него воды было важно сохранить целостность массива грунта, окружающего тоннель, и не допустить образования в нем трещин; кроме того, для обеспечения бесперебойной работы погрузочных кранов на территории торгового порта необходимо было уменьшить до предела осадки земной поверхности.

Применение обделки, обжатой в породу, позволило увеличить скорость проходки, полностью ликвидировать деформации зданий и сооружений, находящихся в зоне влияния горных работ, исключило первичное нагнетание цементно-песчаного раствора за обделку и значительно сократило общие трудовые затраты.

Проходка тоннеля коллектора осуществлялась с помощью механизированного щита, с технологическим комплексом за ним. Монтаж колец велся блокоукладчиком Б-11а.

На данном объекте при помощи обделки, обжатой в породу, из тубингов типа РБ-5НСК-4 с винтовыми распорными устройствами закреплено 1777 пог. м тоннеля. Замена обычных используемых конструкций обжатой обделкой позволила получить экономию в размере около 1800 тыс. руб.

Опыт строительства коллектора и усовершенствования в процессе его технологии монтажа и обжатия обделки позволили на строящейся в настоящее время IV очереди Невско-Василеостровской линии от ст. «Пл. Ленина» до ст. «Академическая» успешно развернуть работы по внедрению этого вида обделки.

# О СОЗДАНИИ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБДЕЛОК

Л. АФЕНДИКОВ, канд. техн. наук,  
В. ГОЛУБОВ, Ю. КОШЕЛЕВ, инженеры

**ВАЖНЕЙШИМИ** задачами топиелестроения в девятой пятилетке являются снижение стоимости и трудоемкости строительства, повышение надежности и долговечности сооружений. В связи с этим особое значение имеет быстрейшее решение проблемы создания и внедрения водонепроницаемой сборной железобетонной обделки без специальной гидронизоляции.

Анализ факторов, влияющих на водонепроницаемость таких обделок, позволяет разделить их на три группы, связанные со структурой бетона, с конструкцией элементов и стыков.

Пористость бетона, определяющая его водонепроницаемость, исследована наиболее полно. Отечественными и зарубежными учеными определены основные требования к бетону, работающему в обводненных условиях, которые и заложены в действующие нормативы.

Технологией изготовления элементов сборных железобетонных обделок предусматриваются условия, обеспечивающие на всех стадиях оптимальные параметры, необходимые для получения водонепроницаемой структуры бетона, а именно: выдерживание требуемого гранулометрического и фракционного состава заполнителей, контроль состава бетонной смеси, качества ее перемешивания и однородности, соблюдение заданных условий формования и др.

При изготовлении железобетонных водонепроницаемых блоков тоннельной обделки можно применять вибровакуумштампование, виброударный нагруз и другие методы. Положительные результаты дает использование виброплощадок с крутильными колебаниями. Большой объем исследований позволит получить опытные блоки с водонепроницаемой структурой бетона. Но в реальных условиях под воздействием силовых факторов структура бетона значительно видоизменяется.

Изменение структуры бетона влияет на его водонепроницаемость. С ростом растягивающих напряжений водонепроницаемость бетона увеличивается, зависимость водонепроницаемости от сжимающих напряжений имеет более сложный характер. В области гидротехнических бетонов значительные исследования выполнены в ВНИИГе и ТНИСГЭИ.

В ЦНИИСе на специальной установке проведены исследования влияния напряженного состояния бетона при сжатии на его водонепроницаемость.

Было испытано 8 серий образцов, в которых прочность бетона на момент испытаний составляла 300—500 кг/см<sup>2</sup>, водоцементное отношение бетонной смеси — от 0,7 до 0,33, консистенция — от О. К 19 см до О. КО см (Ж 75 сек).

По водонепроницаемости бетона в напряженном состоянии все серии могут быть разделены на две группы, для которых зависимость  $K_{\Phi} = f(K_{\Phi}^0; \epsilon)$  представлена на рис. 1, а. К группе 1 отнесены серии образцов в ненапряженном состоянии, фильтровавших воду с различной интенсивностью, к группе 2 — не фильтровавших.

В результате испытаний образцов первой группы выделены четыре характерные точки, имеющие уровень фильтрации: начальный  $K_{\Phi}^0$ , критический  $K_{\Phi}^{кр}$ , минимальный  $K_{\Phi}^{min}$  и возвращающийся к начальному  $K_{\Phi}^n$ .

Процесс изменения фильтрационных характеристик бетона при сжатии следующий. После приложения нагрузки структура бетона уплотняется (объем образца сокращается) и эффек-

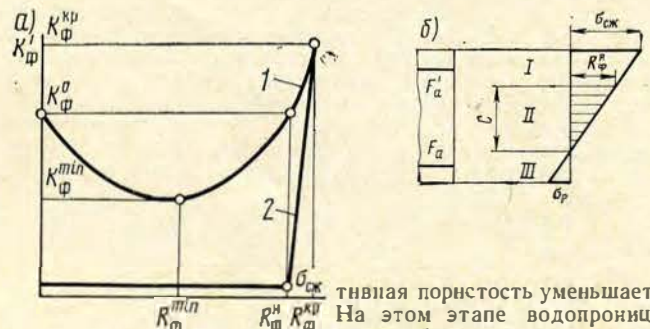


Рис. 1

тивная пористость уменьшается. На этом этапе водонепроницаемость бетона непрерывно снижается до минимального значения  $K_{\Phi}^{min}$ .

При дальнейшем росте сжимающих напряжений начинается нарушение сплошности материала; наряду с продолжающимся уменьшением эффективной пористости развиваются микроразрушения, что приводит к увеличению фильтрации сначала до  $K_{\Phi}^n = K_{\Phi}^0$ , а затем до некоторой критической величины  $K_{\Phi}^{кр}$ , после чего фильтрационный расход уже не стабилизируется. В испытанных сериях  $K_{\Phi}^{min}$  и  $K_{\Phi}^{кр}$  отличаются от начального коэффициента фильтрации на 7÷55%, и зависят от  $K_{\Phi}^0$ , водоцементного отношения смеси и градиента давления воды.

В сериях группы 2 фильтрация воды начинает обнаруживаться при напряжениях  $R_{\Phi}^n$ , соответствующих условно коэффициенту фильтрации  $R_{\Phi}^n$  в бетоне группы 1, и затем достигает критических значений при  $R_{\Phi}^{кр}$ .

Анализ характерных уровней напряжений  $R_{\Phi}^{min}$ ,  $R_{\Phi}^n$ ,  $R_{\Phi}^{кр}$  показал, что они находятся в тесной корреляционной связи с параметрическими точками О. Я. Берга  $R_T^0$  и  $R_T^y$ , характеризующими состояние структуры бетона под нагрузкой. Количественная взаимосвязь этих величин, установленная методами математической корреляции, имеет вид:  $R_{\Phi}^{min} = 0,97 R_T^0$ ,  $R_{\Phi}^{кр} = R_T^y$ ;  $R_{\Phi}^n = 0,88 R_T^y$ .

Проведенные исследования показывают необходимость учета влияния напряженного состояния бетона на его водонепроницаемость. Практически водонепроницаемые бетоны начинают фильтровать не только при растягивающих напряжениях, но и при достижении определенного уровня сжимающих напряжений  $R_{\Phi}^n$ .

Следовательно, к известным требованиям технологии создания бетона с водонепроницаемой структурой добавляется ограничение сжимающих напряжений величиной  $R_{\Phi}^n$ .

Наиболее характерный случай напряженного состояния сечения железобетонного элемента показан на рис. 1, б. По водонепроницаемости бетона сечение элемента можно разделить на три зоны. Зоны I и III проницаемы, соответственно из-за наличия растягивающих напряжений или превышении допустимого уровня напряжений сжатия. Водонепроницаемость такого сечения обеспечивает зона II, высота которой  $S$  зависит от конкретных гидрогеологических условий и водонепроницаемости бетона. Проведенные эксперименты показали, что при гидростатическом давлении воды 2÷3 атм толщина зоны II должна быть не менее 5 см.

Таким образом, для обеспечения водонепроницаемости железобетонных элементов обделки в период эксплуатации тоннеля при проектировании необходимо предусматривать сжатую зону бетона (непрерывную по длине и ширине элемента) с ограниченным до  $R_{\Phi}^H$  уровнем напряжений. Сечение обделки следует проверять на водонепроницаемость от действия нормативных нагрузок. Так же, как и при расчете на образование и раскрытие трещин, распределение напряжений по толщине сечений может быть принято по стадии II напряженно-деформированного состояния. При этом предполагается, что растянутый бетон в работе сечения не участвует, растягивающие напряжения полностью воспринимает арматура, эпюра напряжений в сжатой зоне сечения треугольная. Сечения после деформации остаются плоскими, зависимость между напряжениями и деформациями линейная.

Водонепроницаемость тоннельных обделок прямоугольного сечения можно проверить по следующим формулам, полученным для различных случаев напряженно-деформированного состояния:

$$\frac{R_{\Phi}^H - \sigma'_6}{c} \geq \frac{\sigma_6 - \sigma'_6}{h}$$

при наличии растягивающих напряжений в сечении для случая внецентренного сжатия (рис. 2, б).

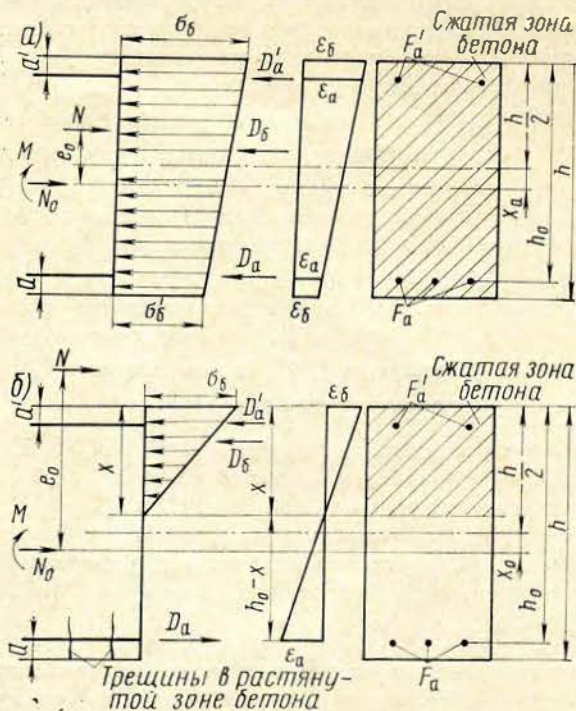


Рис. 2

$$\frac{R_{\Phi}^H}{c} \geq \frac{N}{\frac{1}{2}bx^2 + (x-a)nF'_a - (h_0-x)nF_a}$$

для случая чистого изгиба

$$\frac{R_{\Phi}^H}{c} \geq \frac{M}{\frac{1}{3}bx^3 + (x-a)nF'_a + (h_0-x)nF_a}$$

где  $\sigma_6$  и  $\sigma'_6$  — напряжения по краям сечения;  
 $b, h, h_0, a'$  — геометрические характеристики сечения;  
 $x$  — высота бетона сжатой зоны сечения;

$$n = \frac{E_a}{E_b}$$

$F_a, F'_a$  — площади поперечного сечения растянутой и сжатой арматуры;

$M, N$  — изгибающий момент и продольная сила.

Кроме проверки элементов на эксплуатационную нагрузку следует учитывать транспортный и монтажный случаи.

На водонепроницаемость обделки влияет форма поперечного сечения элемента. В сборной унифицированной блочной и ребристой обделке из-за наличия эксцентриситетов, возникающих вследствие неточностей изготовления и монтажа элементов, действуют значительные изгибающие моменты, что подтверждается и результатами натурных исследований. Это вызывает появление в сечении растягивающих напряжений (см. рис. 1, б). В отдельных сечениях ребристой обделки характер действующих напряжений может принимать вид, показанный на рис. 3, а. В этом случае прониканию воды препятствует сжа-

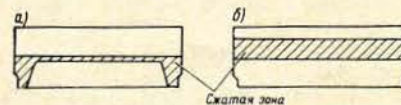


Рис. 3

тая зона спешки высотой 1—2 см, которая не может обеспечить водонепроницаемость элемента.

Следовательно, существующая конструкция унифицированной ребристой обделки, удовлетворительная по прочности, не гарантирует ее водонепроницаемости.

Блочная обделка при соответствующей толщине обеспечивает необходимую величину сжатой зоны с ограниченным уровнем напряжений, непрерывную по длине и ширине элемента. Сжатая зона бетона, удерживающая воду, может сместиться по сечению в пределах одного элемента в зависимости от условий его загрузки. На рис. 3, б показано штриховкой часто встречающееся ее расположение.

Применение обделок, обжатых в породе, позволяет регулировать напряжения и добиваться более равномерного напряженного состояния элемента.

Системный подход к работе применяемой сборной унифицированной обделки, состоящей из водонепроницаемых элементов, дает возможность оценить конструктивные решения стыков, обеспечивающие водонепроницаемость обделки в целом. При цилиндрическом стыке (рис. 4, а) создается непосредственный контакт сжатых зон стыкуемых элементов. Такой стык в случае дополнительного применения изоляции в зоне контакта надежно обеспечивает водонепроницаемость обделки.

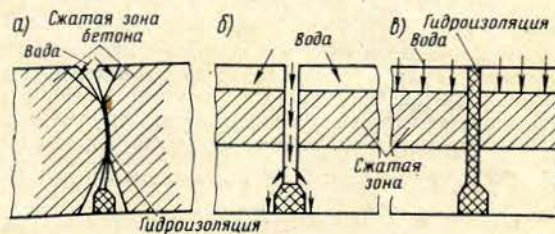


Рис. 4

Радиальный стык блоков имеет более сложную схему работы. Поскольку характер напряженного состояния элементов зависит от их геометрических размеров и условий загрузки, которые, в свою очередь, зависят от точности изготовления и монтажа, то сжатая зона (зона II, см. рис. 1, б) может быть расположена в сечении практически в любом месте по толщине блока. Учитывая неоднородность работы смежных колец обделки, во многих случаях зоны II в соприкасающихся элементах не совпадают. Поэтому перенесенный по инерции с чугунных обделок способ чеканки кромок сборных элементов не обеспечивает водонепроницаемость обделки. Радиальный стык не гарантирует надежного контакта сжатых зон, вследствие чего вода беспрепятственно достигает чеканочной канавки, а затем по растянутой или разрушенной сжатой зоне бетона просачивается в тоннель через тело блока (рис. 4). Фильтрацию воды около стыков обычно объясняют механическим нарушением при чеканке бетона около канавок, хотя, теперь, очевидно, она также обусловлена спецификой фактического напряженного состояния сборных элементов в смежных кольцах обделки. Для обеспечения водонепроницаемости радиального стыка необходимо гидроизоляцию выполнять по всей толщине блока (рис. 4, в).

Указанные требования по водонепроницаемости более жестко должны соблюдаться для обделок обжатых в породу, поскольку отсутствует слой цементно-песчаного раствора (нагнетание не производится) и надежность конструктивного решения понижена.

Проведенная работа дает основание сделать следующие выводы:

чтобы обеспечить водонепроницаемость бетона в напряженном состоянии, помимо создания водонепроницаемой его структуры, требуется ограничить уровень напряжений сжатия до  $R_{\text{н}}$ ;

в сечении элемента должна быть сжатая зона (непрерывная по длине и ширине) с ограниченным уровнем напряжений (зона II). Толщина ее при давлении воды до 2—3 атм — не менее 5 см. По условиям водонепроницаемости следует применять только блочные обделки;

для обеспечения водонепроницаемости обделки из применяемых унифицированных сборных железобетонных водонепроницаемых элементов необходимо устройство гидроизоляции в зоне контакта цилиндрических и по всей плоскости радиальных стыков.

## ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ВОДОПОДАВЛЕНИЯ

НАГНЕТЕНИЕ РАСТВОРОВ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ПОЗВОЛЯЕТ ОБЕСПЕЧИТЬ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБДЕЛОК ТОННЕЛЕЙ

К. ТРОИЦКИЙ, канд. техн. наук

ПОКА еще трудно себе представить, что можно соорудить железобетонную обделку значительной протяженности совершенно без дефектов. Наличие их при пересечении тоннелем обводненных пород требует использования специальных резервных мероприятий, одним из которых является нагнетание растворов за обделку.

Нагнетание как средство борьбы с поступлением воды в тоннели применяется, начиная с 1-й очереди строительства метро в Москве. В качестве материалов для нагнетания тогда использовали горячий битум, различные химические компоненты и, главным образом, цементные растворы. Составы цементных растворов и технология их нагнетания постоянно совершенствовались, но тем не менее устранить ряд органических недостатков, присущих цементным растворам, не удалось. Возникла необходимость изыскания дополнительных, качественно новых методов нагнетания, которые позволили бы полностью обеспечить водонепроницаемость обделки.

Одним из таких приемов явилось нагнетание растворов бентонитовых глин и цементно-бентонитовых растворов.

При нагнетании тампонажными растворами зазор обделкой и породой, а также пустоты в породе заполняются жидким продуктом (раствором), который с течением времени более или менее твердеет.

Опыт показывает, что обеспечение водонепроницаемости твердеющими растворами наиболее успешно достигается

при нагнетании в несколько этапов, причем на каждом последующем этапе используется раствор с более высокой проницаемостью. Поэтому вначале нагнетаются цементно-песчаные растворы, а затем цементные. Улучшить проницаемость удается путем разжижения раствора. Установлено, что азрированный цементный раствор проникает значительно лучше, чем разбавленный цементный.

Цементные и особенно цементно-песчаные растворы представляют собой неустойчивые суспензии. Частицы песка и цемента равномерно распределены в объеме раствора и находятся во взвешенном состоянии только во время перемешивания. Как только оно прекращается, частицы начинают оседать, происходит седиментация. То же наблюдается и в потоке при движении со скоростью ниже определенной величины. Пустоты за обделкой имеют переменную величину. В том случае, когда раствор проникает через небольшой проход и достигает более крупного, его скорость снижается. Если это снижение таково, что вызывает осаждение песка и цемента, крупная пустота заполняется осадком и закупоривает далее небольшие проходы. Образуются так называемые «кочны», и нагнетание прекращается. Осаждение частиц приводит также к расслоению раствора, вследствие чего образуются участки, заполненные преимущественно песком или цементным молоком.

Большие помехи для достижения пол-

ной водонепроницаемости при использовании цементных растворов вызывает также сокращение объема цементного камня во времени. Цементные растворы, как правило, имеющие водоцементное отношение более 0,5, в процессе твердения в заобделочном пространстве, трещинах и порах породы дают значительную усадку, увеличивающуюся во времени. По этой причине в тампонажном слое появляются трещины, а водонепроницаемость заанкретированных пород увеличивается по мере твердения раствора и его усадки. Если при этом подземные воды оказываются агрессивными или происходит небольшое смещение несущей конструкции или пород, то это влечет за собой дальнейшую разгерметизацию водонепроницаемых трещин и увеличение притока воды в тоннель.

Вследствие седиментации и усадки создание сплошного водонепроницаемого слоя из цементных растворов достигается лишь при многократном нагнетании, что делает эту операцию весьма трудоемкой.

Суспензии бентонитовых глин вследствие тонкости их частиц и коллоидных свойств обеспечивают раствору стабильность и высокую проницаемость. Наиболее крупные частицы цемента имеют диаметр около 0,1 мм. Частицы бентонита (монтмориллонит) имеют форму удлиненных чешуек размером  $1 \times 0,1 \times 0,01$  мк. Важная особенность бентонитовых глин, обуславливаемая их химическим, минералогическим, гранулометрическим составом и емкостью

поглощения, — способность к связыванию большого количества воды, сопровождающаяся самопроизвольным диспергированием. Гидратированная бентонитовая глина тиксотропна и обладает характерными механическими свойствами — упругостью, прочностью, пластичностью. Параметры этих свойств обычно таковы, что удается избежать разрывов тампонажного слоя при деформациях, которые возможны в сборной обделке.

Большое практическое значение имеет свойство набухания растворов бентонитовых глин (до 800 объемных процентов). Благодаря этому тампонажный слой глинистого раствора не имеет трещин и пор, через которые могла бы фильтровать вода. Происходит надежная закупорка пустот во вмещающих породах. Стабильность бентонитовых суспензий обеспечивает сплошность и водонепроницаемость затампонируемых участков обделки.

Технология нагнетания растворов бентонитовых глин мало отличается от технологии контрольного нагнетания цементных растворов. Из специального оборудования необходимо дополнительно иметь только глиномешалку. Для приготовления растворов используется бентонитовый глинопорошок, который перемешивают с водой и сразу же плунжерным растворомасосом подают за обделку.

Консистенция раствора и давление нагнетания обычно определяются по результатам пробных закачек. В растворы бентонитовой глины добавляются кальцинированная сода, ускоряющая процесс диспергирования, и цемент, снижающий проницаемость раствора и повышающий его прочность в затвердевшем состоянии.

Вскрытия обделок показали, что растворы бентонитовых глин распространяются преимущественно по контакту между слоем первичного нагнетания и

обделкой, создавая вокруг нее обволакивающий слой в соответствии с так называемым «эффектом стенки».

Состав раствора и режим нагнетания обычно стремятся подобрать такими, чтобы получить отказ, когда за обделкой будет создан слой глинистого раствора толщиной 2—4 см. Большое значение на выбор составов и режимов нагнетания играет проницаемость вмещающих пород, которая определяется их трещиноватостью и пористостью. Бентонитовые растворы, даже содержащие цемент, схватываются очень медленно. Поэтому схватывание не может остановить инъекцию. Если не снизить проницаемость раствора, можно инъецировать некоторый объем горного массива почти бесконечно и при этом не создать вокруг обделки защитного слоя. Это явление присуще стабильным растворам и в зависимости от конкретных условий может проявляться различно. Чтобы ограничить расход раствора, делают перерывы в нагнетании, меняют его проницаемость (от большей к меньшей) путем изменения состава.

Положительный результат по гидроизоляции тоннельных обделок из железобетонных блоков путем нагнетания раствора бентонитовой глины впервые в отечественном метростроении был достигнут в 1969 году коллективом СМУ-6 Мосметростроя на соединительной ветке Ждановского радиуса. Было осушено 340 пог. м тоннеля, где вместо чугунных тубингов укладывались железобетонные блоки. Аналогичная технология применена в правом перегонном тоннеле Калужско-Рижского диаметра между станциями «Тургеневская» и «Колхозная».

Успешно решена задача гидроизоляции железобетонной обделки путем нагнетания цементно-бентонитовых растворов при строительстве коллективом

СМУ-7 транспортного тоннеля под каналом имени Москвы на Волоколамском шоссе. В настоящее время этот коллектив использует технологию нагнетания растворов с бентонитовой глиной для гидроизоляции обделки при сооружении перегонных тоннелей между станциями «Баррикадная» и «Пушкинская».

В сложных инженерно-геологических условиях, при наличии обводненных трещиноватых пород ведет работы СМУ-751 Харьковметростроя по гидроизоляции ребристой железобетонной обделки растворами бентонитовых глин в правом перегонном тоннеле между станциями «Центр» и «Левада». Намечается гидроизоляция бентонитовыми растворами тоннелей из железобетонных блоков между станциями «Левада» и «Стадион».

Еще в 1971 году ЦНИИСом совместно с Мосметростроем разработаны «Предложения по уточнению состава раствора для нагнетания и технологии производства работ с применением бентонитовых глин».

С каждым годом новая технология получает все большее признание, однако работы на каждом отдельном участке выполняются по специальным техническим указаниям, разрабатываемым применительно к местным условиям строительства. Это в определенной степени сдерживает темпы внедрения новой технологии. Очевидно созрели условия для обобщения накопленного опыта, выявления общих закономерностей и разработки на их основе единого нормативного документа (ВСН) на производство работ по нагнетанию растворов бентонитовых глин за обделку тоннелей. Необходимо также полнее проверить неизменность свойств бентонитовых растворов во времени и более четко определить область применения этого способа.

## К ВОПРОСУ ГЕРМЕТИЗАЦИИ И ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ

О. ЛУКИНСКИЙ, канд. техн. наук

*Решению проблемы создания водонепроницаемой и долговечной обделки тоннелей будет способствовать координация работ по исследованию герметиков, конструированию блоков и швов, механизмов для нанесения герметизирующих материалов, а также организации производства работ и контролю их качества.*

**В** ОКРУГ проблемы создания водонепроницаемой обделки ведется давняя дискуссия. «Надо иметь не только водонепроницаемые блоки, а смонтированный тоннель из них»<sup>1</sup>, — это высказывание В. Полежаева по-прежнему актуально.

Продолжая полемику на эту тему, А. Бабахин считает, что «качество гидроизоляции тоннельных обделок на некоторых участках Московского метрополитена нельзя признать удовлетворительным»<sup>2</sup>.

Я. Дорман, С. Рутгайзер и Я. Новиков предлагают полные рекомендации по применению тиоколовых полиуретанов для обеспечения водонепроницаемости тоннельной обделки. При этом отмечается, что мастики УМС-7 (в настоящее время это мастика выпускается под маркой СМ-0,5), ПЛ и ПА (мастики бытового назначения соответственно для гидроизоляции лодок и автомобилей) производства Казанского завода СК имени С. М. Кирова отличаются высокой водостойкостью.

<sup>1</sup> «Метрострой» № 1—2, 1969.

<sup>2</sup> «Метрострой» № 6, 1969.



Исследования, проведенные в смежных отраслях строительства, показали эффективность широкого использования новых тиоколовых герметиков типа КМ-0.5 с марганцевым отвердителем № 30, которые выпускаются Пермским заводом по цене 3,8 руб. за 1 кг.

Тиоколовые, силиконовые, термоэластопластовые, эпоксидно-тиоколовые, эпоксидно-каучуковые, некоторые битумно-синтетические, бутилкаучуковые мастики и армогерметики на их основе характеризуются низким водопоглощением (рис. 1). При набухании в воде полимерным

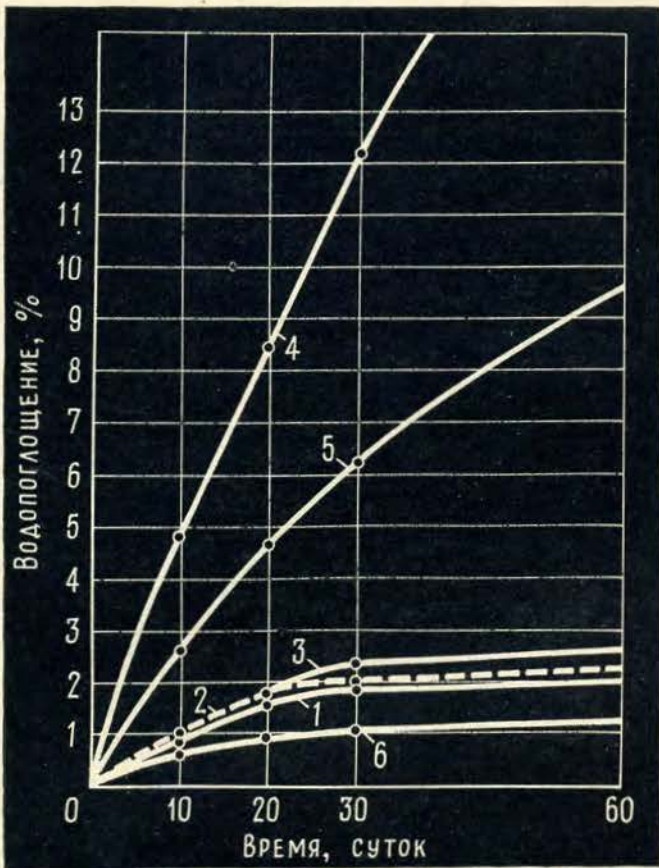


Рис. 1. Кинетика водопоглощения строительных мастик и армогерметиков:

1 — стеклотнокол (мастика КС-0.5 на ткани СТ-41); 2 — базальтотнокол (КМ-0.5 на базальтовой ткани); 3 — стеклотнокол (мастика У-30М на ткани СЭ-6); 4 — стеклотнокол (мастика ГС-1 на ткани СЭ-6); 5 — мастика ГС-1, выдержанная в течение 14 суток; 6 — мастика КС-0.5, выдержанная 7 суток.

герметикам свойственно увеличение относительного удлинения и снижение когезионной прочности, однако набухание и водопоглощение не в полной мере характеризует водонепроницаемость. Так, швы, испытанные на стенде (в условиях, близких натурным), герметизированные тиоколовой мастикой ГС-1, которая имеет высокую набухаемость в воде, сохраняют водонепроницаемость более 5 лет.

Эти полимерные герметики стойки в солевой, щелочной и слабой кислотной агрессивной средах.

Э. Юдович и С. Власов справедливо утверждают, что для создания водонепроницаемой отделки есть два пути. «Один путь — это разработка трещиностойкой конструкции, изготовление высокопрочных и водонепроницаемых бетонов. Второй путь — получение водонепроницаемого блока в процессе его изготовления на заводе»<sup>1</sup>.

В. Якобс подчеркивает необходимость создания водонепроницаемой отделки тоннелей за счет покровной гидроизоляции заводского изготовления из стеклонизола, фольгонизола и теплоустойчивых битумов. При этом отмечается целесообразность заделки швов мастичными герметиками<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> «Метрострой» № 7, 1969.

<sup>2</sup> «Метрострой» № 8, 1969.

Итак, в любом случае возникает необходимость герметизации швов. Иначе говоря, где есть бетонные или железобетонные конструкции, неизбежны деформационные швы, герметизировать которые нужно эластичными материалами, воспринимающими без нарушения герметичности продольные и поперечные деформации стыкуемых элементов.

В табл. 1 приведены основные показатели физико-механических свойств вулканизирующихся мастик, пригодных для герметизации швов в тоннельной сборной железобетонной отделке, например УТ-37.

Таблица 1

Наименование показателей	Единицы измерения	Требования по физико-механическим свойствам
Адгезионная прочность к бетону	кгс/см <sup>2</sup>	Не менее 5
Когезионная прочность	—	Более 5
Относительное удлинение	%	Не менее 100
Диапазон эксплуатационных температур и при производстве работ	от °С до	+ 5 ÷ - 30
Водостойкость	—	Сохранение свойств, указанных в пп. 1—3, после выдерживания в растянутом (на 50%) состоянии под давлением 5 кгс/см <sup>2</sup> в течение 10 суток
Гарантированный срок службы	лет	Более 20

Параллельно с разработкой требований к герметикам уточняется методика лабораторных испытаний на образцах, имитирующих натурные швы.

Основной показатель, характеризующий строительные свойства герметика, — адгезионная прочность к субстрату после выдерживания в напряженном состоянии (образец растягивается на 50% исходной величины и фиксируется) в воде.

Исследования показали, что лучшими строительными свойствами обладают те герметики, у которых близкие по величине показатели адгезионной и когезионной прочности.

При испытании адгезионно-когезионной прочности герметиков определяется одно из основных строительных свойств — деформативность (относительное удлинение при растяжении), определяющая область применения герметика (рис. 2). Из графиков видно, что мастика УМ-40М (модифицированная полиизобутиленовая мастика), гидром (тиоколовая мастика для заливочных швов и изготовления армированных тканями материалами герметиков) и битумно-полиэтилен-полиизобутиленовая мастика имеют весьма ограниченную область применения, так как величины относительного удлинения у них нарастают без увеличения нагрузки и даже при ее уменьшении. Силиконовые мастики виксинт, эластосил и идентичные им имеют повышенную когезионную прочность и деформативность, но сравнительно низкую адгезию к бетону. Широкую область применения в строительстве имеют тиоколовые и термоэластопластовые мастики, выпускаемые Пермским и Казанским заводами синтетического каучука. Порошковые прокладки типа ЧШРЗ (Чимкентского шиноремонтного завода) целесообразно используются в обжатых швах при незначительных отклонениях от проектных геометрических размеров стыкуемых элементов.

Исследования показали взаимосвязанность конструкций швов и свойств герметизирующих материалов, а также и то, что как невозможно разработать единую конструкцию деформационного шва, так и нецелесообразно заниматься поисками герметика, удовлетворяющего различным требованиям. Для различных условий строительства и эксплуатации сооружений, технологии герметизации конструкции шва нужна широкая гамма герметиков с заранее обусловленными свойствами и долговечностью.

Уточнение технологии герметизации и конструкции шва должны выполняться на стенде в условиях, близких натурным.

Применяя различные конструктивные решения швов, можно убедиться в том, что вопросы герметизации необходимо решать на стадии проектирования конструкций блоков и технологии их выполнения.

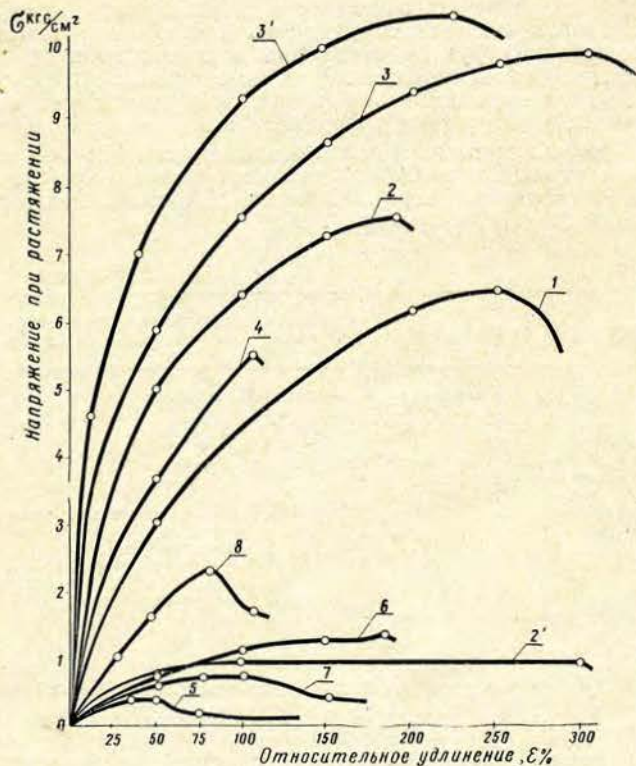


Рис. 2. Зависимости относительного удлинения и напряжений при растяжении характерных герметиков:

1 — техническая резина; 2 — тиоколовая мастика типа У-30М; 2' — тиоколовая мастика гидро; 3, 3' — силиконовые мастики винсилт; 4 — поронзол ЧШРЗ; 5 — полиизобутиленовая мастика УМ-40М; 6 — прокладка из гернита-11; 7 — битумно-полиэтиленполиизобутиленовая мастика; 8 — резино-битумная мастика

Швы обделки тоннелей можно подразделить на заливочные — с подложкой из пористых прокладок типа поризола или гернита и заполнением полости мастикой в сборных и монолитных обделках любого вида;

закладные — в монолитной обделке, герметизированные профилированными термопластами или армогерметиками;

индустриальные — в сборной обделке с закладкой в кромки блоков термопластов или армогерметиков и сваркой или склейкой их при монтаже;

обжатые (самоуплотняющиеся) — в сборной обделке с приклейкой эластичных прокладок типа неопреновых в пазы стыкуемых блоков на заводе или зачеканкой прокладок в пазы стыков при монтаже;

оклеечные — в различных обделках с использованием армогерметиков и приклеивающих мастик — эластомеров;

жесткие — в различных обделках с использованием полимеризующихся синтетических композиций или цементных модификаций, наносимых зачеканкой. Перспективны заливочные и индустриальные швы. Преимущество заливки заключается в высокой надежности, ремонтоспособности и возможности механизировать все технологические операции.

Индустриальные швы нуждаются в совершенствовании как с точки зрения закладки герметиков при изготовлении блоков, так и последующей сварки или склейки выпусков при монтаже.

Исследования специализированных организаций показывают перспективность применения в ближайшие годы однокомпонентных тиоколовых и силиконовых мастик, упакованных в герметичные тубы на заводах. Мастики выдвигают в швы специальными механизмами. Находят применение двухкомпонентные бутилкаучуковые мастики, акалогичные выпускаемым одесским заводом «Большевик».

Марка тиоколовой мастики	Относительное удлинение, %						Прочность, кгс/см <sup>2</sup>					
	при отрыве от бетона			при разрыве по ГОСТу 270-53			при отрыве от бетона			при разрыве по ГОСТу 270-53		
	И	V <sub>20</sub>	З-О <sub>200</sub>	И	V <sub>20</sub>	З-О <sub>200</sub>	И	V <sub>20</sub>	З-О <sub>200</sub>	И	V <sub>20</sub>	З-О <sub>200</sub>
СМ-0,5	220	230	160	320	325	200	12,5	8,8	6,6	16,3	13,2	12,0
КМ-0,5	770	540	380	910	930	870	4,1	2,9	2,3	6,9	6,4	5,4
ПА	750	550	390	1500	1550	1200	3,6	2,5	2,6	6,3	6,5	5,0

Широкая область применения у армогерметиков типа стеклотнокола на ткани СТС-41. По данным ЦНИИСа и Союзводпроект, такие материалы после 300 циклов замораживания — оттаивания при слое мастики КМ-0,5 1,5 мм выдерживают избыточное давление 12 кгс/см<sup>2</sup>, а при толщине слоя мастики до 2,5 мм — более 16 кгс/см<sup>2</sup>.

Высокая стоимость новых герметизирующих материалов (при расходе мастики 1 кг на 1 м шва стоимость составит около 5 руб.) выдвигает необходимость рационального распределения их и разработки усовершенствованных конструкций швов, в которых с максимальным эффектом можно использовать высокие физико-механические свойства полимерных мастик. Однако при определении экономического эффекта от использования полимерных герметиков в швах обделки тоннелей целесообразно исходить не только из сопоставления стоимости швов, уплотненных традиционными и новыми материалами, но и учитывать эксплуатационную надежность и долговечность последних, а также то, что применение полимеров ведет к повышению культуры и механизации строительства при значительном снижении транспортных и эксплуатационных расходов.

Недостаточная популяризация передового опыта применения герметиков объясняется отсутствием организации, координирующей научно-практическую деятельность в области герметизации и гидроизоляции. В настоящее время имеются десятки новых полимерных герметиков, технические требования к которым или не разработаны вообще, или не согласованы с соответствующими отраслями, что предопределяет необходимость «брать не то, что нужно, а то, что дают».

В процессе разработки конструкций тоннельной обделки, технологии их изготовления, выпуска опытного образца и внедрения на каждой стадии необходимо одновременно решать вопросы герметизации и гидроизоляции швов.

Однако до сегодняшнего дня задачи конструирования и технологии изготовления конструкций, в частности, железобетонных блоков обделки, решались в отрыве от вопроса ее герметизации. Они рассматривались после внедрения технологии изготовления конструкций. В результате предельно усложнилось комплексное решение проблемы создания совершенных обделок тоннелей. Разрозненное решение задач одной проблемы предопределяет снижение качества строительства, вызванное примитивностью морально отживших методов герметизации швов в тоннелях.

Отсутствие специализированных организаций в системе Минтрансстроя СССР, синтетизирующих герметики с заранее заданными свойствами, выдвигает актуальную задачу определения рациональной области применения выпускаемых нашей промышленностью общестроительных герметизирующих материалов.

Эту работу целесообразно начинать с создания технических требований и герметикам и согласования их с Минхимпромом и Миннефтехимпромом.

Общая задача транспортных организаций, связанных со строительством подземных сооружений, состоит в том, чтобы от отдельных положительных экспериментов перейти к массовому планомерному внедрению синтетических материалов, уделяя первоочередное внимание объектам, где новые герметики незаменимы.

## ВЫБОР ЦЕМЕНТА ДЛЯ ТОННЕЛЬНЫХ БЛОКОВ

М. КАГАН, инженер

ОДНИМ из основных факторов, определяющих водонепроницаемость, трещиностойкость и прочность бетона, является вид применяемого цемента. Поэтому повышение качества бетона и, следовательно, самих блоков тоннельной обделки может быть достигнуто путем правильного выбора цемента.

Для изготовления высокопрочных и водонепроницаемых железобетонных конструкций рекомендуется применять особо быстротвердеющие портландцементы (ОБТЦ). Однако бетон блоков обделки, приготовленный на ОБТЦ, не всегда отвечает предъявляемым к нему требованиям по водонепроницаемости и трещиностойкости. Поэтому область рационального применения ОБТЦ может быть определена только после углубленного исследования его свойств.

Особенность зернового состава ОБТЦ заключается в повышенном содержании мелких фракций, которые оказывают значительное влияние на процессы структурообразования и в конеч-

ном итоге предопределяют отличия физико-механических свойств бетона. Согласно существующей теории бетона в структуре цементного камня (бетона) возникают собственные напряжения, влияющие на его физико-механические свойства. Величина этих напряжений больше у цементов с повышенным содержанием мелких фракций.

Статистическая обработка результатов испытаний товарных цементов Здолбуновского завода, поступающих в течение двух лет на Московский метрострой, показала, что ОБТЦ не имеет преимуществ в темпах набора прочности на сжатие после трехсуточного возраста по сравнению с обычными портландцементами (ПЦ) того же завода (рис. 1). Более того, влияние собственных напряжений приводит к тому, что в возрасте семи суток у ОБТЦ практически прекращается рост прочности на растяжение, в то время как у ПЦ этот рост продолжается. Сни-

жение величины отношения  $\frac{R_{раст.}}{R_{сжат.}}$  с возрастом для всех цементов объясняется более значительным приростом прочности на сжатие, чем на растяжение. К 28 суткам это отношение для ОБТЦ ниже, чем для ПЦ, что объясняется прекращением роста прочности на растяжение у этого цемента. Как показали исследования, собственные напряжения оказывают меньше влияние на прочность при сжатии, чем на прочность при растяжении. Поэтому для ОБТЦ, у которого большая величина собственных напряжений, после семисуточного возраста продолжается рост прочности на сжатие, но практически прекращается рост прочности на растяжение, что приводит к снижению трещиностойкости.

Повышенная трещиностойкость бетона на ОБТЦ обуславливает появление путей фильтрации воды. Поэтому хотя бетоны на ОБТЦ и обладают тонкопористой структурой, однако влияние собственных напряжений приводит к снижению трещиностойкости и, как следствие, к снижению водонепроницаемости.

Исследования водонепроницаемости проводились на образцах из цементного камня, раствора и бетона. Применялись различные составы и режимы твердения. Испытания на водонепроницаемость об-

Таблица

Цементы	Отношение $\frac{R_{раст.}}{R_{сжат.}}$ в возрасте 3, 7 и 28 суток		
	$\frac{R_{раст. 3}}{R_{сжат. 3}}$	$\frac{R_{раст. 7}}{R_{сжат. 7}}$	$\frac{R_{раст. 28}}{R_{сжат. 28}}$
ОБТЦ-700	0,067	0,062	0,052
ПЦ-700	0,064	0,057	0,054
ПЦ-600	0,067	0,058	0,055

разцов проводились по различным методам на стендах различной конструкции. Из полученных данных видно, что при испытании на водонепроницаемость образцы на ПЦ имеют также некоторое преимущество по сравнению с образцами на ОБТЦ.

Проводилось также определение водонепроницаемости одиночных блоков. Испытания показали преимущество по водонепроницаемости блоков, изготовленных на бетоне с применением ПЦ.

ОБТЦ обладает нестабильностью таких свойств, как сроки схватывания и активность. Так, коэффициент изменчивости начала схватывания у ОБТЦ в 2 раза выше, чем у обычного ПЦ.

Таким образом, производственный опыт и проведенные исследования показали, что для повышения водонепроницаемости и трещиностойкости бетонов блоков обделки целесообразно применять не особо быстротвердеющий, а обычный портландцемент.

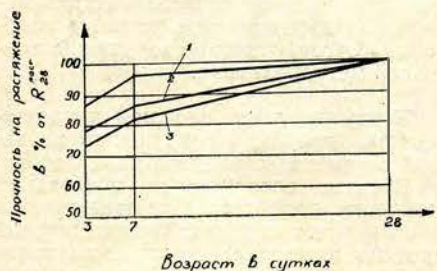
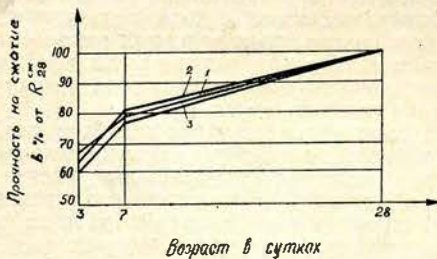


Рис. 1. Прочность на сжатие (а) и растяжение (б) в зависимости от возраста для цементов ОБТЦ-700 (1), ПЦ-700 (2) и ПЦ-600 (3).

Марка цемента указана согласно данным цементного завода по ГОСТ 970—61.

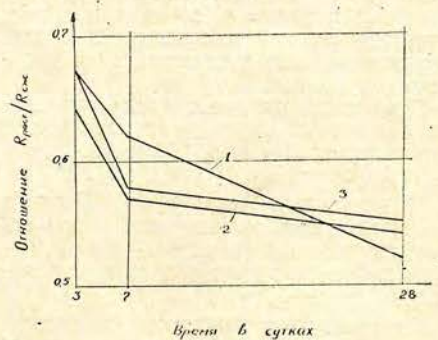


Рис. 2. Изменение отношения  $\frac{R_{раст.}}{R_{сжат.}}$  в зависимости от возраста для цементов ОБТЦ-700 (1), ПЦ-700 (2) и ПЦ-600 (3).

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СООРУЖЕНИЯ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

**В СВЕТЕ** решений XXIV съезда КПСС необходимо проведение творческих поисков и фундаментальных научных исследований, направленных на эффективное решение основных проблем, связанных с реализацией перспективного плана строительства метрополитена Москвы.

Как известно, в настоящее время крупные зарубежные города перенасыщены автомобильным транспортом. Это приводит к заторам уличного движения, загрязнению воздушной среды выхлопными газами, возрастанию шума, росту аварий, связанных с нарушениями условий безопасности движения, и т. п.

В связи с этим возникает вопрос перспективного сооружения в Москве ряда подземных автомагистралей. Это открывает возможность для скоростного внеуличного автодвижения под основной городской территорией, в тоннелях глубокого заложения, обеспечивающих непрерывное сообщение между границами столицы через центр.

Аналогичные подземные автомагистрали проектируются в Лондоне, Париже, Чикаго и других городах.

Строительство подземных магистралей дает возможность освободить городскую территорию для парков, зон отдыха, стадионов и т. д.

Перспективными для больших городов являются многоярусные подземные комплексы, заложенные под наиболее оживленными площадями и включающие станции и вестибюли метрополитена, автотранспортные и пешеходные тоннели, подземные автостоянки и стоянки, коллекторы подземного городского хозяйства и др.

Подобные комплексы созданы в ряде городов (Вена, Париж, Токио и др.) и предусматриваются в Москве, Будапеште, Праге и других городах.

В связи со значительным ростом пассажиропотоков на действующих линиях Московского метрополитена создалась напряженность в эксплуатации.

Реконструкция некоторых станций, пересадочных узлов, входов и выходов не может решить в полной мере этот вопрос.

Необходимо в ближайшее время изучить вопросы проектирования экспрессных линий Московского метрополитена, которые в сочетании с эксплуатируемыми местными линиями значительно повысят скорости и удобства сообщения.

Это подтверждается опытом эксплуатации поездов экспрессного и местного сообщения Нью-Йоркского метрополитена.

В настоящее время в Париже частично эксплуатируется экспрессная линия метрополитена «Восток—Запад» и запроектирована новая линия «Север—Юг».

Отдельному изучению подлежит строительство в Москве подземных глубоких вводов железных дорог.

\*\*

Не приходится доказывать всей важности проблемы надежности и долговечности тоннельных сооружений, обуславливающей безопасные условия эксплуатации метрополитена. С этих позиций особую важность приобретают требования, предъявляемые к несущим тоннельным конструкциям, к материалам обделок.

Помимо обеспечения прочности и водонепроницаемости обделок, находящихся под воздействием горного и гидростатического давления, должны быть удовлетворены требования индустриализации строительства.

Необходимо настойчиво вести дальнейшие исследования, направленные на совершенствование обделок из сборного железобетона применительно к условиям повышенного гидростатического давления взамен применяемых обделок из чугунных тубингов.

Вместе с тем необходимо продолжить поиски новых инженерных решений, новых конструктивных материалов для возведения надежных, долговечных обделок тоннелей, отвечающих требованиям существенного снижения материалоемкости несущих конструкций.

Следует обратить внимание на необходимость оптимизации конструктивных решений. Надо внедрять современные теории расчета несущих тоннельных конструкций и методы, основанные на математических моделях. В более широком плане надо проводить экспериментальные исследования на основе физического моделирования для установления и оценки напряженно-деформированного состояния тоннельных конструкций и окружающего грунтового массива в зависимости от методов проходки подземных выработок.

\*\*

В области сооружения перегонных тоннелей Московского метрополитена имеется целый ряд проблем, требующих своего разрешения.

При глубоком заложении тоннелей в коренных устойчивых породах карбонного комплекса работы ведутся без нарушений нормальных условий жизни города.

Однако при мелком заложении тоннелей в среде неустойчивых песчаных отложений естественной влажности или осушенных водопонижением проходка закрытым способом не позволяет еще достигнуть в полной мере безосадоочности пересекаемого грунтового массива.

Мосметростроем достигнуты значительные успехи в применении проходческих щитов с рассекающими площадками, позволяющих вести проходку перегонных тоннелей со сборной железобетонной обделкой в песчаных грунтах с рекордными скоростями до 430 м в месяц. Вместе с тем следует уназвать, что процесс скоростной проходки сопровождается в целом ряде случаев осадками дневной поверхности, которые проявляются как в забойной, так и в хвостовой зонах щита,

**В. МАКОВСКИЙ, доктор техн. наук, профессор**

в особенности за счет строительного зазора.

Сдвигание прорезаемого грунтового массива и деформации поверхности земли приводят к необходимости перекладки подземных коммуникаций и укреплению оснований и фундаментов зданий, расположенных по трассе, к нарушению уличного движения. При сооружении перегонного тоннеля Краснопресненского радиуса с применением механизированного щитового комплекса для возведения монолитной прессованной бетонной обделки выявлена эффективная возможность этого метода уменьшить проявление осадок поверхности в период проходки.

Успешным оказалось испытание в 1972 году СМУ-8 Мосметростроя опытного образца проходческого щитового агрегата с комплексной механизацией для сооружения в песчаных грунтах перегонного тоннеля со сборной железобетонной обделкой на Краснопресненском радиусе. Щитом уже пройден более 1300 м. Этот агрегат запроектирован и изготовлен ММЗ Главтоннельметростроя на основе результатов научных исследований лаборатории сооружения тоннелей и метрополитенов ЦНИИС.

Для достижения безосадоочного сооружения тоннелей в неустойчивой среде впервые в практике на основе научных исследований лаборатории сооружения тоннелей и метрополитенов ЦНИИС, ММЗ Главтоннельметростроя запроектированы и изготовлены специальные устройства для оснащения щитового агрегата с целью обжатия сборной железобетонной обделки в массив подвижных песчаных отложений. При положительных результатах испытаний этого метода в натуральных, производственных условиях откроется перспектива для широкого внедрения этого индустриального метода в практику метростроения.

Параллельно ведутся исследования, связанные с созданием новой технологии нагнетания тампонажных растворов для безосадоочного возведения сборной железобетонной обделки в неустойчивых песчаных грунтах.

Дальнейшие исследования в лабораторных и натуральных условиях направлены на радикальное решение проблемы безосадоочного сооружения тоннелей метрополитена.

\*\*

Исключительно сложной представляется проблема сооружения тоннелей в водоносной неустойчивой среде.

В свете современных требований решение этой проблемы заключается в создании таких технологических методов и агрегатов, которые позволят обеспечить надежный и безаварийный процесс производства подземных работ, совершенно ликвидировав тяжелый и вредный ручной труд под сжатым воздухом.

Исследования в рассматриваемой

области ведутся в СССР и за рубежом в нескольких направлениях, имеющих свои особенности. Так, теоретические и экспериментальные исследования лаборатории сооружения тоннелей ЦНИИС направлены на создание впервые в мировой практике герметического щитового агрегата с гидропригрузкой для бескассонной проходки в среде неустойчивых водоносных песчаных отложений под большим гидростатическим давлением, на глубинах, ранее недоступных для сооружения тоннелей под сжатым воздухом.

На основе результатов исследования ЦНИИСа, Метрогипротрансом составлен технический проект этого агрегата, подлежащий реализации при строительстве подводных и других тоннелей в указанных условиях.

Для сооружения тоннелей метрополитена в неустойчивых водоносных разнородных грунтах, требующих активного механического воздействия на забой, за рубежом имеются механизированные щитовые агрегаты с призабойной кассонной камерой, оснащенной рабочим органом, при конвейерном автоматическом шлюзовании грунта.

Агрегаты с кассонной камерой применяли в Париже при строительстве экспрессной линии метрополитена,

при строительстве тоннелей Гамбургского метрополитена и предполагается использовать при сооружении тоннелей в Австрии.

Следует однако отметить, что все перечисленные агрегаты с кассонной камерой, примененные в зарубежной практике, не гарантируют полной безопасности ведения подземных работ, требуют нереальных усовершенствований и в этом направлении надо вести специальные исследования и конструктивные разработки.

В последнее время созданы механизированные щитовые агрегаты, в призабойной зоне которых подается под давлением бентонитовая суспензия. Проникая в грунт, глинистый раствор образует на его поверхности корку, стабилизирующую состояние лба забоя. Разработанный исполнительный орган водонасыщенный грунт вместе с бентонитовой суспензией удаляется из тоннеля гидравлическим способом. На поверхности пульпа попадает в отстойники и после специальной очистки перекачивается к тоннельному забою.

Подобный щитовой агрегат, предложенный при проектировании метрополитена г. Лиона, испытан на строительстве новой линии «Флит» Лондонского метрополитена на участке длиной 183 м.

Аналогичные агрегаты применены при проходке транспортных тоннелей в Японии, а также крупных коллекторов в Мексике общей протяженностью до 30 км.

Для создания новых методов работ и специальных отечественных агрегатов для безаварийной и экономичной проходки тоннелей метрополитенов в сложных инженерно-геологических условиях необходимо развивать научные исследования.

\*\*

Решение основных проблем комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, внедрение прогрессивных конструкций в многообразных областях тоннельного строительства должны, в конечном счете, привести к значительному снижению трудоемкости и стоимости строительства тоннелей метрополитена, которая пока еще остается весьма высокой.

Успешное решение приведенных научно-технических проблем возможно только в условиях тесного контакта научных работников, проектировщиков и строителей, что будет способствовать более активному движению вперед и эффективному развитию перспективного тоннельного строительства Московского метрополитена.

## ПЛАНИРОВАНИЕ В ОРГАНИЗАЦИЯХ, ПЕРЕВЕДЕННЫХ НА НОВУЮ СИСТЕМУ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

В. БАЛАКИН, канд. экон. наук

**В СИСТЕМЕ** экономических методов хозяйствования планирование занимает ведущее место. Основополагающие идеи и принципы планирования как метода управления социалистическим производством были разработаны В. И. Лениным. Теория планового ведения народного хозяйства получила свое дальнейшее развитие в решениях партии и правительства по хозяйственным вопросам.

Практика планирования постоянно совершенствуется. В настоящее время совершенствование планирования строительного производства осуществляется в рамках хозяйственной реформы. Организации четырех управлений Главтоннельмостростроя — Мосметростроя, Ленметростроя, Киевметростроя и Тблтоннельстроя — уже работают в новых условиях хозяйствования. В таблице 1 приведены нормативы экономического стимулирования, установленные им министерством при переводе на новую систему.

Оценка деятельности этих организаций осуществляется по конечным результатам строительного производства. Основными директивными показателями плана являются: задание по вводу в действие производственных мощностей, объем работ по сдаваемым заказчикам в планируемом периоде объектам и этапам работ по их сметной стоимости (реализуемая строительная продукция) и прибыль, формируемая по мере сдачи заказчиком объектов и этапов работ.

Таблица 1  
Нормативы экономического стимулирования<sup>1</sup>  
(в процентах)

Управление строительства	Нормативы отчислений от расчетной прибыли в фонды			Норма платы за фонды	Норматив отчислений от амортизации в фонд развития производства
	материального назначения	социально-культурных мероприятий и жилищного строительства	развития производства		
Мосметрострой	14,0	5,9	2,5	6	30
	12,6	5,3	2,3		
Ленметрострой	12,8	8,2	3,0	6	40
Киевметрострой	16,5	7,9	3,0	6	30
	14,4	6,9	2,6		
Тблтоннельстрой	10,5	5,1	2,6	6	30
	10,5	5,1	2,6		

<sup>1</sup> В числителе — нормативы для 1973 года, года перехода на новую систему, а в знаменателе — для последующих лет; управление Ленметростроя переведено на новую систему в 1971 году.

Если в дореформенных условиях центральное место в системе плановых пока-

зателей занимал общий объем выполняемых работ, то при новой системе — объем реализуемой строительной продукции. Общий объем подрядных работ устанавливается вышестоящими организациями как расчетный для определения потребности в материально-технических ресурсах, фонде заработной платы и оборотных средствах.

Внедрение в практику планирования и оценки деятельности организаций объема реализуемой строительной продукции определяет направления совершенствования планирования строительного производства. Расчет объема реализации строительной продукции при составлении годовых планов должен осуществляться следующим образом:

уточняется соответствие целевых задач по вводу в действие производственных мощностей, объектов строительства и по завершению важнейших комплексов, установленных вышестоящей организацией, объемам финансирования;

уточняется разбивка смет на этапы (комплексы специальных работ) в соответствии с типовыми схемами и принятой организацией производства работ;

разрабатываются календарные графики производства работ и сдачи заказчиком законченных объектов и этапов;

рассчитывается объем реализуемой строительной продукции и объем выполняемых работ по каждому объекту и этапу.

Наиболее ответственным этапом следует рассматривать разработку календарных графиков. От степени их обоснованности и сбалансированности зависит качество плана по всем направлениям производственно-хозяйственной деятельности строительной организации. Немаловажным обстоятельством является и то, что показатели календарных графиков используются в расчетах планируемых неточников покрытия затрат по незавершенному строительному производству. Аритмия по сдаче заказчиком объектов и этапов работ в течение года приводит к серьезным финансовым затруднениям в отдельные периоды. Концентрация реализации на конец квартала может отрицательно сказаться на выполнении плана по этому показателю. Даже незначительное недовыполнение объема работ на подлежащем сдаче заказчику объекте или этапе вызывает недовыполнение плана по реализации в размере полной стоимости этого объекта или этапа. Поэтому даже выполнив план по объему работ за счет задельных объектов или этапов и другим качественным показателям дореформенной системы, по организации может оказаться недовыполненным план по реализации и прибыли. При этом причиной может быть не столько неудовлетворительная работа организации, сколько некачественная разработка календарных графиков. Строительная организация должна располагать резервом времени, достаточным для маневра ресурсами в случае, когда по тем или иным причинам не представляется возможным обеспечить окончание работ по отдельным предусмотренным к сдаче объектам или этапам.

В плане должна быть обеспечена полная балансовая увязка ресурсных показателей с объемом реализации. Особенно важным является взаимовязка объема реализации и прибыли. Внедрение расчетов за объект или этап работ без промежуточных платежей изменило порядок формирования прибыли. Прибыль от сдачи работ ( $\Pi$ ) определяется по схеме

$$\Pi = \mathcal{E}_{\text{ин}} + \mathcal{E} - \mathcal{E}_{\text{эк}},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ин}}$  и  $\mathcal{E}_{\text{эк}}$  — экономия от снижения себестоимости строительно-монтажных работ, числящихся в составе незавершенного производства на начало и конец расчетного периода;

$\mathcal{E}$  — экономия от снижения себестоимости строительно-монтажных работ, выполняемых в расчетном периоде.

Такой расчет можно выполнить на стадии составления стройфинплана. Для практических расчетов при разработке проекта плана можно рекомендовать формулу:

$$\Pi = O \cdot C - H_{\text{н}} \cdot \Delta C - \Delta H \cdot C,$$

где  $O$  — объем строительно-монтажных работ, выполняемых в расчетном периоде;

$C$  — задание по снижению себестоимости строительно-монтажных работ в расчетном периоде;

тажных работ в расчетном периоде;

$H_{\text{н}}$  — объем незавершенного производства на начало года;

$\Delta C$  — разница между уровнем снижения себестоимости строительно-монтажных работ в расчетном периоде и числящихся в составе незавершенного производства на начало года;

$\Delta H$  — разница между объемом незавершенного производства на конец расчетного периода и начало года.

Расчеты выполняются нарастающим итогом за I квартал, полугодие, 9 месяцев и год.

Переход на планирование по конечным результатам строительного производства стимулирует организации в направлении решения основной задачи — своевременному и досрочному вводу в действие производственных мощностей и объектов строительства с наименьшими затратами. Новый механизм экономического стимулирования дополняет систему экономических методов повышения эффективности производства. Поэтому результаты производственно-хозяйственной деятельности в новых условиях значительно улучшаются. Об этом свидетельствуют, в частности, итоги работы управления строительства Ленметрострой, переведенного на новую систему с 1 января 1971 г. (см. табл. 2).

Таблица 2  
Основные результаты работы  
Ленметростроя за 1971—1972 гг.  
(в процентах)

Показатели	1971 г.	1972 г.
Выполнение плана по объему реализуемой строительно-монтажной продукции (собственными силами)	112,7	116,8
Выполнение плана по прибыли	111,6	105,9
Прирост производительности труда к началу пятилетки	13,4	14,8
Снижение себестоимости строительно-монтажных работ	22,3	23,3
Прирост объема выполняемых работ к предыдущему году	15,6	11,7

Директивами XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану предусматривается дальнейшее совершенствование системы планирования. Вместе с тем необходимо устранить недостатки, все еще имеющие место в хозяйственной практике.

Основной формой планирования должен быть пятилетний план, разрабатываемый по всем направлениям производственно-хозяйственной деятельности управления строительства с разбивкой его показателей по годам. Основные показатели пятилетнего плана доводятся управлением строительства до первичных подразделений.

Годовые планы конкретизируют задания пятилетних планов на соответствующий год. Они разрабатываются по более широкой номенклатуре показателей, выше степень их обоснованности, детальнее определена адресность заданий и балансовая увязка всех показателей плана.

Распространение прав социалистического государственного производствен-

ного предприятия на управление строительством предопределяет необходимость разработки на этом уровне стройфинплана. Это отнюдь не означает, что стройфинпланы в новых условиях не должны разрабатываться в первичных подразделениях. Стройфинпланы управления строительства — это, в основном, сводный плановый документ. Его нельзя разрабатывать, не составляя стройфинпланы подразделений.

Обеспечение взаимосогласованности пятилетнего и годовых планов управления строительства и его подразделений позволит избежать пороковой практики частых изменений в течение года отдельных заданий, которые все еще имеют место.

В хозяйственную практику внедряется новая форма планирования — долгосрочные перспективные планы. В настоящее время осуществляется работа над долгосрочным перспективным планом на период до 1990 года и его начальным этапом будет следующая десятилетняя пятилетка (1976—1980 гг.). Введение в систему планирования долгосрочных перспективных планов рассматривается как качественно новый этап управления экономикой. Составление долгосрочного плана предполагает использование новых методов и организационных форм его разработки. Он определит единую, цельную концентрацию развития народного хозяйства страны на длительную перспективу. В этих условиях должна быть обеспечена более полная степень обоснованности пятилетних планов, с тем чтобы они превратились в действительно рабочие планы каждой строительной организации.

XXIV съезд партии еще раз подчеркнул огромное значение дальнейшего укрепления демократического централизма в планировании и управлении производством. Этот принцип должен соблюдаться на всех этапах планового управления. Широкое участие всего коллектива работников в разработке планов позволит полнее выявить внутрипроизводственные резервы. Кроме того, необходимо отметить, что планирование не заканчивается утверждением планов и доведением его заданий до исполнителей. Наиболее ответственным этапом является организация выполнения установленных заданий. В этом вопросе особенно неопределима роль партийных, профсоюзных и комсомольских организаций, мобилиующих коллектив на безусловное выполнение планов, организующих широкое социалистическое соревнование за перевыполнение плановых заданий.

Особое внимание должно быть обращено на повышение производительности труда — решающего условия роста эффективности производства. Вряд ли можно признать достаточными темпы роста производительности труда за первые два года пятилетки, достигнутые во многих организациях Главтоннельметростроя. Даже в работающем с начала пятилетки в новых условиях управлении Ленметростроя прирост производительности труда в 1972 году против предыдущего года составил всего 1,2%. В 1973 году необходимо достичь уровня производительности труда, безусловно обеспечивающего выполнение заданий пятилетнего плана.

# О СНИЖЕНИИ УРОВНЯ ВИБРАЦИИ И ШУМА

**ПРОБЛЕМОЙ** снижения уровней шума и вибрации, возникающих при движении поездов метрополитена, в последние годы занимается ряд исследовательских коллективов. В результате этой работы МИСИ имени В. В. Куйбышева, Институтом строительной физики Госстроя СССР, НИИ гигиены имени проф. Ф. Ф. Эрисмана под руководством ЦНИИСа разработаны рекомендации по снижению шума и вибрации в жилых домах, расположенных вдоль трасс метрополитена мелкого заложения.

Рекомендации основаны на большом объеме экспериментальных исследований и натурных измерений фактической шумо- и виброметрической обстановки как в тоннелях метрополитена, так и в домах различных конструкций, а также данных опроса жителей расположенных близко к трассам метро жилых домов. Даны принципиальные конструктивные мероприятия, которые способны понизить уровень колебаний до нормативных пределов.

Предложенные рекомендации касаются совершенствования подвижного состава метрополитена как источника колебаний, увеличения демфирующей способности верхнего и нижнего строения пути, увеличения вибропоглощающей способности тоннельной конструкции, применения ограждающих стен, поглощающих энергию колебаний частиц грунта, и использования в конструкциях зданий вибро- и шумопоглощающих материалов. В рекомендациях, в частности, обоснована так называемая комфортная норма уровня виброускорения в дБ в частотном диапазоне от 4 до 250 гц. Эта норма допускает минимальные виброускорения от 1 мм/сек<sup>2</sup> (40 дБ) до 3 мм/сек<sup>2</sup> (52 дБ).

Для грунтовых условий Москвы среднее расстояние ( $r$ ) до трассы метрополитена, при котором в жилых домах (кирпичных, блочных, панельных) соблюдаются комфортные условия, составляет 40 м. При необходимости располагать здания ближе 40 м от тоннеля или при прокладке новых линий метро мелкого заложения при уже существующей застройке проектировщику необходимо выбрать оптимальное из соответствующих инженерно-технических мероприятий, схема которых представлена на рис. 1.

Учитывая возможности Главтоннельметростроя, ЦНИИС и Метрогипротранс разработали техническое задание на проектирование экспериментального участка линии метрополитена мелкого заложения с утяже-

И. ДОРМАН, канд. техн. наук,  
В. СОЛОВЬЕВ, инженер

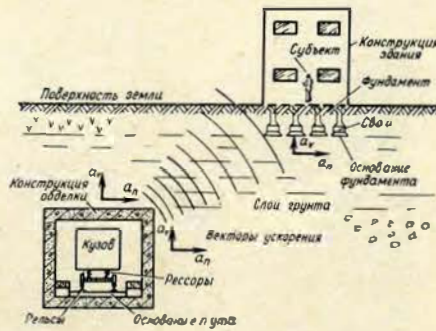


Рис. 1

ленными несущими конструкциями отделки (лоток, стены) и экранирующими траншеями-стенками. Экспериментальный участок запроектирован в соответствии со СНиП П-Д, 3-68 и предназначен для проверки эффективности предлагаемых виброзащитных устройств.

Тоннель на экспериментальном участке (рис. 2) имеет лоток и боковые стены из монолитного железобетона, а перекрытие, среднюю стенку и башмак лотка — из типовых сборных железобетонных конструкций (по

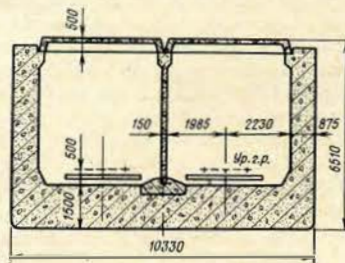


Рис. 2

типовому проекту ТС-84, разработанному Метрогипротрансом). В грунте сооружается экранирующая стена (рис. 3) из монолитного, сборного или сборно-монолитного бетона.

Ожидается, что предлагаемые виброзащитные устройства (конструкция тоннеля, экранирующая стенка) позволят за счет снижения уровня вибрации на 8—12 дБ приблизить жилую

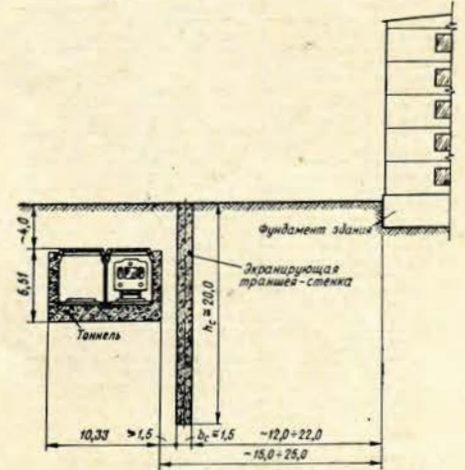


Рис. 3

застройку к стенке тоннеля (при соблюдении санитарно-гигиенических требований) на 15—20 м и тем самым примерно наполовину сократить резервную зону, стоимость 1 га которой для Москвы составляет в среднем 1,7—2,9 млн. руб. (6,8—11,6 млн. руб. на 1 км трассы).

Экспериментальный участок, оборудованный виброзащитными устройствами, запроектирован с учетом возможности применения при его сооружении эффективных способов производства работ и использования в основном машин и механизмов, серийно выпускаемых промышленностью. Устройство траншеи при сооружении экранирующей стены рекомендуется осуществлять при помощи установки СВД-500.

Предлагаемые для экспериментального участка виброзащитные конструкции имеют ограниченный технический эффект и решают задачу вибропоглощения частично — только для зданий, не устранив при этом вибрации и шум в тоннеле. Поэтому предлагаемые технические решения могут быть рекомендованы лишь для отдельных конкретных условий (например, экранирующие траншеи-стены для виброзащиты жилой застройки на существующих или строящихся линиях метрополитена).

Оптимальное решение проблемы снижения уровня вибрации и шума возможно лишь при комплексной разработке как активных, так и пассивных методов. Представляется необходимым решать ее с привлечением градостроителей и специалистов по конструкции вагонов и пути.

## ПОИСК И РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Научно-техническая общественность, метростроевцы и тоннелестроители отметили 70-летие ветерана отечественного метростроения, профессора, доктора технических наук, заведующего кафедрой «Тоннели и метрополитены» МИИТа Владимира Павловича ВОЛКОВА. Ученый внес большой вклад в науку и технику строительства метрополитенов и тоннелей, воспитал целую плеяду специалистов советского метростроения.

Ниже публикуется статья В. П. Волкова о работе лаборатории тоннельных конструкций.



**П**ЕРЕД отраслевой научно-исследовательской лабораторией, созданной при кафедре «Тоннели и метрополитены» МИИТа, поставлены задачи проведения актуальных теоретико-экспериментальных исследований. Среди них — изучение и совершенствование технологии строительства тоннелей в песчаных и других слабоустойчивых породах с обделкой, обжимаемой в породе; разработка конструкций олуских секций для подводных тоннелей и методов их соединения. Главное направление исследований — поиск новых конструкций обделок тоннелей и экономических технологических приемов их возведения, отвечающих условию совместности работы с окружающим массивом и обеспечивающих безосадоочность инженерных сооружений и подземных коммуникаций в условиях неустойчивых пород.

Эксперименты проведены на моделях обделок в объемном стенде МИИТа и на натуральных обделках из чугунных тубингов и железобетонных блоков в кольцевом и щелевом стендах ЦНИИСа. Опыты ставились применительно к условиям строительства ленинградского (глинистая среда) и мос-

ковского (песчаная среда) метрополитенов. В результате выявлены основные особенности статической работы сборных обделок при различных способах их обжатия в породе, а также взаимодействие системы «обделка—порода». Это позволило выработать некоторые рекомендации по применению сборных многошарнирных обделок, обжимаемых в глинистую и песчаную среды.

Возведение тоннелей метрополитенов в неустойчивых породах со сборной обделкой, как известно, осуществляется при помощи проходческих щитов, оснащенных горизонтальными рассекающими перегородками. Их дальнейшее совершенствование будет способствовать увеличению темпов проходки и обеспечению возможности обжатия обделки в песчаную среду без нарушения условий ее равновесия.

В связи с этим возникла необходимость исследований дополнительных технологических и конструктивных факторов на базе крупномасштабного универсального щелевого стенда, с использованием натуральных песчаных пород Краснопресненского и других радиусов, объемного стенда для моделей с имитацией процесса щитовой проходки и применением специальной конструкции двойной оболочки щита, а также непосредственно на опытных участках. Таким образом будут проведены экспериментальные работы с целью:

более полного изучения взаимодействия обжимаемой в породе сборной железобетонной обделки с окружающей

песчаной средой при разных способах и усилиях обжатия;

изучения влияния смежных выработок на обжатые кольца обделки;

установления оптимального количества элементов сборной обделки;

определения возможности применения неармированных бетонных блоков при малой глубине заложения тоннелей;

определения оптимальной глубины заложения тоннелей с обделкой, обжатой в породе;

исследования во времени напряженно-деформированного состояния обжатой обделки и песчаного массива;

изучения напряженно-деформированного состояния тонкой наружной оболочки щита;

определения деформации песчаного массива над обочкой и обжатой обделкой, обусловленной неточностью ведения щита;

изыскания возможности предотвращения осадков за пределами оболочки щита;

исследования устойчивости обжатой обделки при несимметричной вертикальной нагрузке;

изучения условий устойчивости (сохранности) инженерных сооружений и подземных коммуникаций, находящихся над обжимаемой в песчаную среду обделкой;

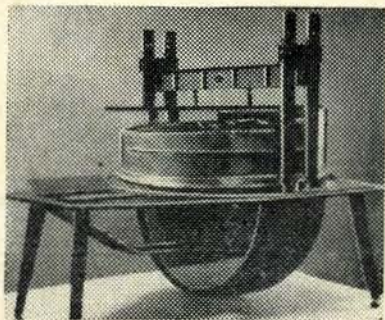
более полного исследования взаимодействия различных конструкций обжимаемых обделок с породой — контактное давление, общая деформация обделки, напряженно-деформированное состояние массива, работа элементов обделки;

проверки (совместно с ЦНИИСом) в натуральных условиях основных параметров обжатой обделки.

Основные параметры обжатия сборных обделок в глинистые породы (спондилловые глины) будут исследованы на моделях в объемном стенде МИИТа по специальной программе для условий Киева.

В области исследований расчетных схем опускных секций и разработки методики их расчета наиболее интересные результаты получены по пространственной схеме и в экспериментах по обеспечению герметичности стыковой камеры. По специальной программе будут опробованы отдельные узлы — сопряжения, герметизация, искусственные подводные основания и т. д.

Лаборатория тоннельных конструкций располагает необходимой для проведения сложных экспериментов силовой и тензометрической аппаратурой. Дальнейшее совершенствование исследований направлено на автоматизацию измерений и их обработки.



Манет обжатия колец



# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОННЕЛЕЙ

Заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой «Тоннели и метрополитены» ЛИИЖТа Юрию Андреевичу ЛИМАНОВУ исполнилось 70 лет.

Научно-техническая общественность, транспортные строители горячо поздравили советского ученого, вложившего свой большой опыт, знания, творческий труд в теорию и практику подземного строительства. Ю. А. Лиманов — один из создателей советской школы отечественного тоннелестроения.

Читателю предлагается его статья о моделировании тоннелей.



**МЕТОДИКА** решения основных задач тоннельной науки состоит в том, чтобы раскрыть многообразие связей и взаимообусловленности явлений в тоннелестроении, выявить наиболее существенные закономерности, определяющие процесс сооружения и качество тоннельных конструкций.

В этом смысле моделирование приобретает все более широкое применение как метод познания.

Еще в далекие времена моделирование придавали большое значение. Так, знаменитый Микельанджело говорил: «Благословенны деньги, расходуемые на изготовление моделей».

В настоящее время моделирование стало успешно применяться в области тоннелестроения. Несмотря на то, что в последнее время предлагается немало новых методов статического расчета тоннельных обделок, всегда следует иметь в виду, что эти методы расчета заслуживают доверия лишь после проверки их на моделях и сооружениях. Особо важным является возможность установления несущей способности конструкции тоннелей путем доведения моделей до разрушения, чего разумеется нельзя сделать в натуре.

В тоннелестроении наиболее оправданным следует считать метод физического моделирования, а из его разновидностей — центробежного, оптического и с использованием эквивалентных материалов — метод эквивалентных материалов. Этот метод в силу ряда достоинств — универсальности, возможности создания крупномасштабных моделей с использованием относительно простых экспериментальных устройств, возможности моделирования инженерно-геологических условий расположения тоннелей, особенностей конструкций тоннельных обделок, методов организации и производства работ по сооружению тоннелей, напряжен-

ного и деформированного состояния породного массива и подземных конструкций, влияния фактора времени и т. п. — находит широкое распространение при решении многих технических задач.

В лаборатории моделирования тоннелей ЛИИЖТа проводились и проводятся интересные исследования по различным вопросам тоннелестроения. К их числу следует отнести:

осадки поверхности при сооружении эскалаторных тоннелей методом замораживания, а также статическая работа их обделок;

деформации земной поверхности и статической работы обделок при проходке коммунальных тоннелей в четвертичных отложениях;

статическая работа обделок станций без боковых посадочных платформ особенности их сооружения в кембрийских глинах;

гидроизоляция железнодорожных тоннелей;

особенности возведения обделок гидротехнических тоннелей в вечномёрзлых породах;

методы возведения тоннелей ГЭС в скальных породах и насыпных плотинах;

осадки поверхности при сооружении станций метрополитена в кембрийских глинах;

методы расчета обделок тоннелей; статическая работа обделок тоннелей из набрызг-бетона;

особенности работы железнодорожных тоннелей в суровых климатических условиях;

статическая работа обделок реконструированных железнодорожных тоннелей;

влияние динамического воздействия подвижного состава на работу обделок железнодорожных тоннелей;

статическая работа односводчатых станций, сооружаемых в кембрийских глинах;

сооружение перегонных тоннелей в протерозойских глинах с обделкой, обжатой в породу;

проблемы сооружения подводных транспортных тоннелей методом опускных готовых секций;

сооружение труб и тоннелей под железнодорожными насыпями щитовым способом;

сооружение перегонных тоннелей метрополитенов в четвертичных отложениях; ливнеотвод бетонных смесей в тоннелестроении и др.

В настоящее время в лаборатории моделирования тоннелей продолжают работы по исследованию статической работы односводчатых станций, сооружаемых в протерозойских глинах.

Исследования осуществляются методом эквивалентных материалов в масштабе 1 : 20 на большом стенде (рис. 1).

Особенностью этого метода является установление статической работы конструкции односводчатой станции и дефор-

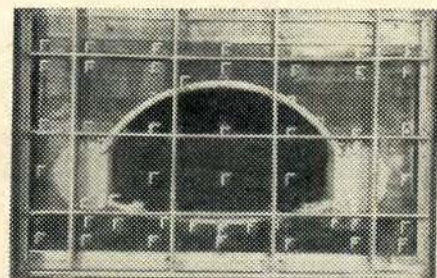


Рис. 1. Испытательный стенд.

мированного состояния окружающих ее горных пород в различные этапы работы, в зависимости от конструктивных и производственных мероприятий, улучшающих эту работу.

В соответствии с ранее принятой методикой применительно к различным прочностным и деформативным характеристикам пород и конструкции станции были подобраны их эквивалентные материалы. В качестве эквивалентного материала породы была принята песчано-вазелиновая смесь, а обделка выполнена из песчано-гипсового раствора. После заполнения стенда отдельными слоями в горячем состоянии эквивалентного материала породы, установления в этой толще микродинамометров, на лицевой поверхности модели деформационных марочек и на контакте толщи протерозойских отложений с четвертичными отложениями индикаторов часового типа, производилась пригрузка модели рычажными приспособлениями, заменяющая вес вышележащих слабых неустойчивых пород.

В соответствии с принятым методом производства работ по сооружению станции средний свод возводился отдельными арками, шириной 0,5 м, блоки которых монтировались специальным укладчиком. Разработка породы осуществлялась механизированным способом на ширину всего пролета свода и на ограниченную длину, необходимую лишь для установки одной арки. На рис. 2 пока-



Рис. 2. Моделирование сооружения свода станции.

зана задняя сторона стенда в период монтажа свода станции. Блоки арки монтировались с обжатием их в породе посредством домкратов, устанавливаемых в замке свода как в натуре, так и модели.

После обработки материалов моделирования установлено, что максимальные осадки земной поверхности над осью станции достигли 70 мм (в пересчете на натуру), что по сравнению со станциями без боковых посадочных платформ, осадка над которыми достигла 200 мм, почти в три раза меньше. Последнее имеет существенное значение для участков города с густой застройкой и является большим преимуществом перед другими типами станций. Объяснением может служить применявшееся обжатие обделки среднего свода в породе и раскрытие при этом выработки средней части станции на величину по ее длине немногим больше ширины арки. В этом случае незакрепленная постоянная тоннельной крепью выработка оказывается намного меньше, чем при шитовом способе работ.

Полученная картина напряженного состояния конструкции станции также намного благоприятнее.

Конечный результат исследований получен при определении коэффициента запаса несущей способности стационной конструкции путем доведения нагрузки до ее разрушения.

Коэффициент запаса также значительно превышает таковой в трехсводчатых станциях. Это, очевидно, следствие более простой и четкой в статическом отношении схемы исследуемой конструкции.

Другим примером могут служить исследования условий статической работы обделок, проводимых при реконструкции железнодорожных тоннелей с искладкой свода. Эти исследования выполнялись в лабораторных условиях методом комбинированного моделирования. Сущность этого метода заключается в том, что моделирование породного массива проводилось с применением эквивалентного материала, а моделирование свода обделки из оптически чувствительного материала (рис. 3). Принятая методика предусматривала обеспечение определенной взаимосвязи основных параметров, характеризующих как свойства материала, эквивалентного породному массиву, так и оптически чувствительного материала, принятого для моделирования тоннельной обделки.

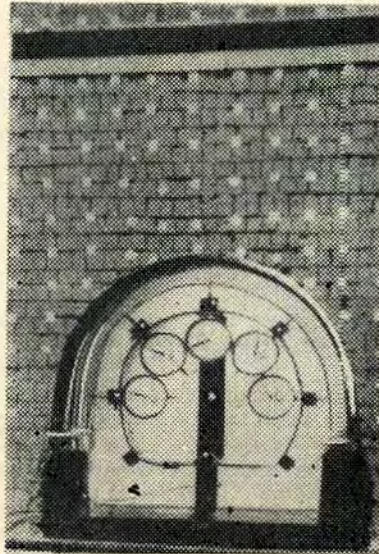


Рис. 3. Модель реконструируемого тоннеля.

На основании решения уравнения основного закона фотоупругости в условиях одноосного напряженного состояния и с учетом того, что в комбинированном методе моделирования величина нагрузки на модель обделки определяется объемным весом пород, предложена формула для определения минимальной величины оптической чувствительности:

$$C_0 \geq 1100 \cdot 10^{-7} \frac{\gamma_n}{\gamma_m} \frac{L}{l} \frac{1}{\sigma_n d}$$

Здесь  $\gamma_n$  и  $\gamma_m$  — объемные веса материала породы и модели;

$\frac{L}{l}$  — масштаб моделирования;

$d$  — толщина модели обделки из оптически чувствительного материала;

$\sigma_n$  — максимальные ожидаемые напряжения в обделке тоннеля.

На рис. 4 показана картина полос в оптически чувствительном кольце модели обделки и конечном этапе исследований, устанавливающая напряженное состоя-

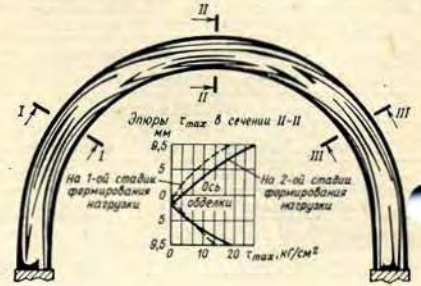


Рис. 4. Картина полос в оптически чувствительном кольце обделки.

ние свода обделки тоннеля. Изменение во времени нагрузок на модель обделки в сильно трещиноватых породах представлено на рис. 5.

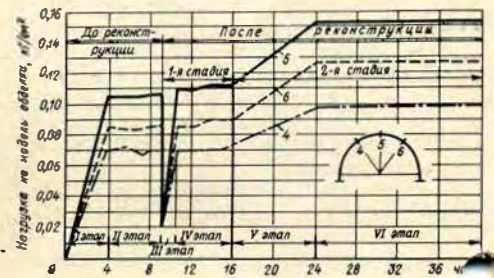


Рис. 5. Изменение во времени нагрузок на модель обделки в сильно трещиноватых породах.

В пересчете на натуру горное давление на обделку реконструированного тоннеля в сильно трещиноватых породах получилось равным около 15 т/м<sup>2</sup>, а максимальные нормальные сжимающие напряжения в замке свода определились равными около 60 кг/см<sup>2</sup>.

Исследования позволили выявить механизм влияния двухстадийного формирования горного давления на обделку реконструированного тоннеля, учитывая условия возведения как в период строительства тоннеля, так и его реконструкции.

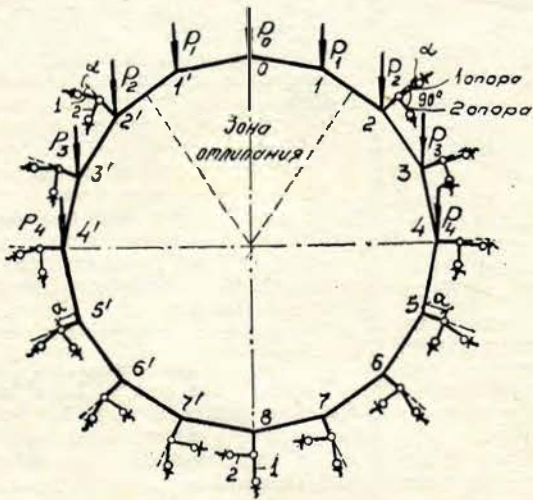
# С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЦВМ

## НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК

А. ДАУШВИЛИ, канд. техн. наук

**ПРЕДЛАГАЕМЫЙ** метод расчета тоннельных обделок кругового очертания с применением ЭЦВМ учитывает наличие сил трения между породой и обделкой, упругое сопротивление породы перемещениям обделки не только по нормали к ее оси, но и по касательной к ней и позволяет прикладывать силы трения и упругого сопротивления породы к наружной поверхности обделки, а не к ее оси (как это делается в других методах расчета). Предлагаемая методика обобщена в такой степени, что одна программа, составленная для расчета по ней на ЭЦВМ круговой тоннельной обделки, может быть использована как при расчетах с учетом сил трения между породой и обделкой, так и при расчетах с учетом сопротивления породы нормальным и касательным смещениям обделки.

В обобщенной методике расчета предполагается, что свойства упругого основания характеризуются двумя коэффициентами постели  $k_1$  и  $k_2$ , соответствующими двум главным направлениям, и углом  $\alpha$  между главным направлением 1 и радиусом круговой оси обделки (см. рисунок). В соответствии с



этим в каждой вершине многоугольной оси (за исключением вершин, расположенных в «зоне отлипания») находятся по две упругие опоры, оси которых образуют углы  $\alpha$  и  $\alpha + \frac{\pi}{2}$  с радиусом круговой обделки. Упругие опоры смещены от вершин на некоторое расстояние  $a$  в радиальном направлении в стороны от центра обделки, причем величина  $a$  равна расстоянию от оси поперечного сечения обделки до ее наружной поверхности.

Элемент длиной  $a$  жестко соединен с вершиной многоугольника и рассматривается как бесконечно жесткий. С его помощью при расчете учитывается приложение реакции упругого основания к тоннельной обделке у наружной поверхности, а не у оси.

Для выявления степени влияния на статическую работу обделки переноса места приложения сил реакции упругого основания с вершин многоугольной оси на место их возникновения — наружную поверхность обделки — по предложенной методике было выполнено на ЭЦВМ БЭСМ-4 шесть расчетов тоннельных обделок. Все рассчитанные обделки имеют наружный диаметр  $D_n=5,5$  м, толщину  $h=0,3$  м, жесткость поперечного сечения

$$EI = \left( 3 \cdot 10^8 \frac{1 \cdot 0,3^3}{12} \right) = 6750 \text{ тм}^2. \quad \text{Во}$$

всех случаях расчет производился на вертикальную равномерно распределенную нагрузку интенсивностью  $q=16 \text{ т/м}^2$ . Расчеты производились с учетом действия реакции породы на обделку по ее наружной поверхности при  $a = \frac{h}{2} = 0,15$  м и по ее оси при  $a=0$ . Расчеты выполнялись

как с учетом сопротивления породы только смещениям обделки по нормали к ее поверхности (то есть при  $k_1 \neq 0$  и  $k_2=0$ ), так и с учетом, кроме того, сопротивления породы смещениям обделки по касательной к поверхности (при  $k_1 \neq 0$  и  $k_2 \neq 0$ ), при значении коэффициента упругого отпора породы в радиальном направлении  $k_1=250000 \text{ т/м}^3$ . Расчеты были выполнены как с учетом трения между породой и тоннельной обделкой, так и без учета, а также при различных значениях коэффициента постели  $k_2$  и различных значениях коэффициента трения обделки о породу  $f$ . Полученные расчетные значения величин изгибающих моментов и продольных сил приведены в таблице.

Анализ результатов расчетов показывает степень влияния переноса точек приложения сил реакции породы с оси обделки к месту контакта обделки с породой на величины усилий в конструкции. Сопоставим результаты расчетов 1, 2 и 3-го при  $a=0$ , с результатами расчетов 4, 5 и 6-го, соответственно, при  $a=0,15$  см (см. таблицу).

Результаты расчетов тоннельных обделок

№ расчета	0			0,15		
	0		0,3	0		0,3
	0	0,5 $k_1$	0	0	0,5 $k_1$	0
$M_1$ , тм	2,511	1,629	1,581	2,511	1,454	1,582
$M_2$ , тм	0,423	0,041	0,032	0,423	0,055	0,030
$M_3$ , тм	-2,089	-1,047	-0,947	-2,089	-1,211	-1,040
$M_4$ , тм	0,090	0,018	-0,041	0,090	0,030	-0,061
$M_5$ , тм	0,039	0	-0,021	0,039	0,068	-0,021
$M_6$ , тм	0,075	0,056	0,054	0,075	0,012	0,067
$M_7$ , тм	0,034	0,052	0,057	0,034	0,112	0,072
$M_8$ , тм	0,082	0,044	0,040	0,082	0,083	0,089
$M_9$ , тм	0,082	0,042	0,074	0,082	0,079	0,165
$N_1$ , т	-29,47	-31,99	-32,19	-29,47	-32,85	-32,28
$N_2$ , т	-33,32	-35,65	-35,83	-33,32	-36,53	-35,91
$N_3$ , т	-41,64	-38,00	-42,55	-41,64	-39,33	-42,68
$N_4$ , т	-48,15	-34,94	-46,09	-48,15	-36,14	-41,10
$N_5$ , т	-51,22	-29,99	-44,10	-51,22	-30,35	-43,85
$N_6$ , т	-51,20	-24,20	-39,14	-51,20	-23,94	-38,64
$N_7$ , т	-51,20	-20,38	-34,74	-51,20	-19,71	-34,01
$N_8$ , т	-51,20	-18,21	-30,82	-51,20	-17,33	-29,92
$N_9$ , т	-51,20	-17,50	-28,98	-51,20	-16,56	-27,97

Результаты 1 и 4-го расчетов совпадают. Это объясняется тем, что в указанных расчетах не учитывались касательные силы сопротивления породы, так как принималось  $k_2=0$  и  $f=0$ . Сравнение результатов 2 и 5-го расчетов (при  $k_2 \neq 0$  и  $f=0$ ) показывает, что в результате учета величины  $a=0,15$  м изгибающий момент  $M_0$  уменьшился на 11%, а изгибающий момент  $M_2$  увеличился на 15%; продольная сила в верхней части обделки увеличилась на 3%, а в нижней — уменьшилась на 5%. Аналогично (но несколько меньше) изменились усилия в обделке в результате учета величины  $a$  в случае, когда в расчетах принималось  $k_2=0$ , но  $f=0$  (это следует из сравнения результатов 3 и 6-го расчетов).

Таким образом, учет величины  $a$  вызывает некоторое (в пределах 10—15%) изменение усилий в тоннельной обделке как в сторону их уменьшения, так и в сторону увеличения.

## ВОДОНАПОЛНЕННЫЕ ВЗРЫВАТЫЕ ВЕЩЕСТВА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Э. МИНДЕЛИ, доктор техн. наук,  
профессор

## СПОСОБ СООРУЖЕНИЯ ТОННЕЛЯ ПОД РЕКОЙ ТАМА

А. БОГОРОДЕЦКИЙ, канд. техн. наук

**ПРИМЕНЕНИЕ** патронированных ВВ для разрушения горных пород при проходке выработок не обеспечивает полезного использования всего пробуренного сечения шпура из-за необходимости беспрепятственного прохождения патрона ВВ по шпуру, а чувствительность ВВ к механическим воздействиям не позволяет осуществить беспатронное механизированное зарядание (на полное сечение шпура).

Гранулированные ВВ открывают возможность механизации процесса зарядания и некоторого повышения плотности зарядания, однако относительно невысокая мощность гранулированных ВВ и большой критический диаметр детонации не позволяют достичь существенного уменьшения диаметра шпура.

Водонаполненные составы ВВ с высокой объемной энергией, пластичные, с низкой чувствительностью к механическим воздействиям позволяют применять их в шпурах малого диаметра и механизировать процесс зарядания шпуров и скважин.

В настоящее время созданы водонаполненные ВВ (ВВВ)\* с высокой объемной энергией, с содержанием воды до 10—12%, что позволяет применять их при устойчивой детонации в шпурах малого диаметра до 32 мм. При этом коэффициент зарядания равен единице, то есть диаметр шпура равен диаметру заряда. ВВВ безопасны в обращении и транспортировке. Это позволяет осуществить механизированное зарядание. ВВВ могут быть использованы как в шпурах малого диаметра, так и в скважинах любого направления. Количество их с удельным весом 1,5—1,6, приходящееся на 1 м шпура, составляет при шпурах диаметром 36 мм 1,36 кг/м; 40 мм — 1,8 кг/м; 42 мм — 2,3 кг/м, что на 30—40% больше скального аммонита № 1.

ВВВ могут заменить скальный аммонит № 1 и другие дорогостоящие ВВ при проходке горных выработок в крепких и абразивных породах. Это

\* В состав ВВВ — акватола и акватоитов входят аммиачная селитра, тротил, гексоген, натриевая или калиевая селитра, желатинизаторы (загустители) — натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы и горячая вода.

позволяет снизить объем бурения на 25—30%, количество шпуров — на 20%, а также уменьшить время зарядания шпуров в 1,5—2,6 раза и увеличить КИШ на 15—20%.

В Институте горного дела имени А. А. Скочинского для ВВВ созданы установки механизированного зарядания УМЗ-1.

Установка механизированного зарядания шпуров адванитом ЗЛ марки 10 и 12 выполнена на базе диафрагменного растворонасоса, являющегося по принципу работы объемным насосом, в котором вытеснение жидкости в нагнетательную магистраль осуществляется путем последовательного изменения объемов секции кольцевой рабочей камеры и одновременного и герметичного их замыкания за счет самоудлиняющихся перегородок. Установки УМЗ в зависимости от условий работы могут быть оборудованы двумя зарядными шлангами для горизонтальных и наклонных выработок сечением более 12 м<sup>2</sup> и четырьмя шлангами для проходки выработок большого сечения и онолоствольных выработок более 35—40 м<sup>2</sup>.

Применение водонаполненных ВВ и установок механизированного зарядания позволяет снизить стоимость проходки 1 пог. м выработки (на примере Никитовского ртутного комбината) только на заряде на 3 руб. 60 коп. и получить экономию от замены патронированных ВВ водонаполненными по их стоимости 150—200 руб. на 1 т.

В Институте горного дела имени А. А. Скочинского испытываются ВВВ, работоспособность которых значительно превышает эти показатели скального аммонита № 1 и других высокобризантных ВВ, причем стоимость их намного ниже. Применение ВВВ позволит существенно снизить диаметр шпуров и обеспечить высокий коэффициент их использования. Кроме того, эти вещества не потребуют наличия промежуточного детонатора, что в некоторой степени уменьшит трудоемкость буровзрывных работ.

ВВВ обеспечивают безопасность ведения взрывных работ и, что самое главное, уменьшают содержание ядовитых продуктов взрыва в рудничной атмосфере.

**ТРАССА** железнодорожного тоннеля Ханэда вблизи Токио пересекает несколько водотоков и проходит под участками суши с разными топографическими, геологическими и гидрологическими условиями. В связи с этим при сооружении этого тоннеля общей протяженностью 5980 м нашли применение различные способы, известные в современной практике строительства тоннельных переходов. Участок тоннеля в пределах русла реки Тама и канала Кэйхин сооружали способом погружения готовых секций, который был признан оптимальным в результате технико-экономического анализа.

Тоннель под рекой Тама включает 6 секций длиной по 80 м. На правом берегу крайняя секция примыкает к участку из двух опускающих тоннелей-кессонов длиной по 40 м, связанных с вентиляционной шахтой. На левом берегу крайняя секция соединяется с временной шахтой, служащей переходной конструкцией к двум параллельным однопутным тоннелям под территорией международного аэропорта Ханэда.

Поперечное сечение секции (рис. 1) имеет почти овальное очертание, благоприятное для уменьшения растягивающих напряжений от давления грунта и воды. Сплошная вертикальная перегородка делит его на два однопутных отсека.

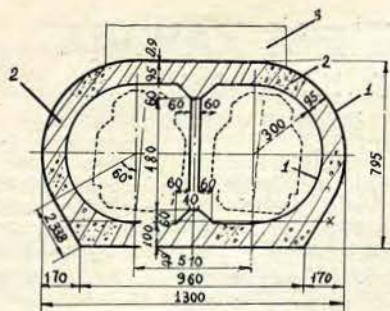


Рис. 1

Стальные оболочки 1 с анодной защитой от коррозии выполнены из листовой стали толщиной 9 мм, имеют внутренние ребра жесткости и рассчитаны на усилия, возникающие только в монтажный период. Эксплуатационные нагрузки воспринимаются железобетонным заполнением 2. Укрепленный на секции стальной короб 3 служит емкостью для щебеночного балласта, обеспечивающего отрицательную плавучесть секции, необходимую для погружения, а в период эксплуатации — требуемый запас устойчивости на всплытие.

Поперечному сечению подводной выемки была придана форма трапеции с уклоном откосов 1 : 3. Перед укладкой секций производилась предварительная отсыпка на дно выемки щебеночной постели слоем толщиной 0,7 м и ее выравнивание.

В каменной наброске в зонах стыков секций оставались штробы (пропуски), которые после установки и стыковки секций заполнялись бетоном. Нагнетание бетона производилось изнутри тоннеля через вибрируемые трубопроводы.

Обратная засыпка подводной выемки производилась до половины высоты секции камнем, предназначенным увеличить сопротивление конструкции горизонтальным сейсмическим силам, а выше, до проектного уровня дна — песком и гравием. Проектный уровень дна определялся с учетом перспективного углубления существующего дна реки.

Стыкование секций тоннеля производилось следующим образом (рис. 2). Укладываемая секция 1 посредством лебедок точной наводки приближается торцом к уложенной ранее секции 2. Происходит автоматическая сцепка секций двумя гидравлическими устройствами домкратного типа, смонтированными по бокам стальной оболочки. Сцепные устройства стягивают секции усилием до 200 т, которым существенно деформируется (на 30—35 мм) резиновая манжета 3 по внешнему контуру стыкового уплотнения, имеющая специальный профиль. При этом манжета по внутреннему контуру 4, имеющая меньшую высоту, деформируется незначительно. Полученная первичная герметизация стыка разобьет воду в образовавшейся стыковой камере 5 (между соединяемыми торцевыми перегородками 6 соединяемых секций с водой реки. Постепенное удаление воды из этого замкнутого пространства посредством вентили 7 (с одновременным впуском туда

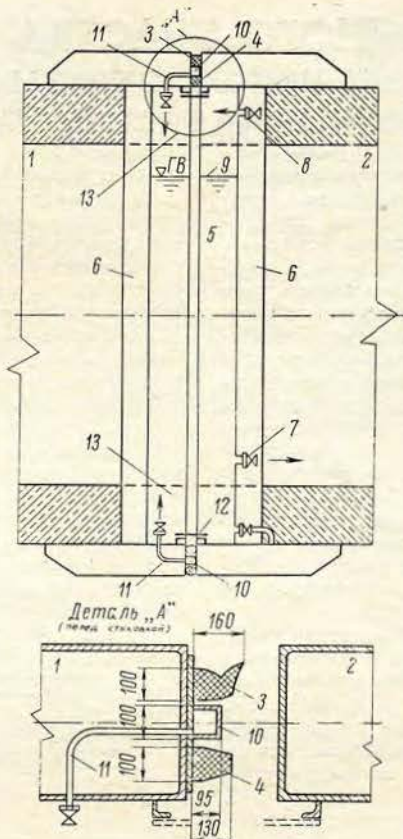


Рис. 2

воздуха через клапан 8) приводит к образованию свободного понижающегося зеркала воды 9, определяющего своим уровнем гидростатическое давление внутри камеры. Возникает неравномерная разность гидростатических напоров на внешнюю (речную) и внутреннюю торцевую перегородки укладываемой секции.

Величина равнодействующей в данном случае достигает 1000 т, что создает погонную нагрузку на резиновые прокладки по контуру стыка порядка 250 кг/см.

Под действием этого продольного усилия происходит ограниченное упором 10 обжатие обоих контуров уплотнения еще на 30—35 мм, с удалением воды через дренажную трубку 11. Так обеспечивается полная и надежная, несмотря на временный характер, гидроизоляция, позволяющая дополнить соединение сваркой с накладкой 12 стальных оболочек обеих секций, рассматриваемая как постоянная гидроизоляция стыка. В заключение стыки секции тоннеля под рекой Тама омоноличивались бетоном 13 с армированием. Жесткое соединение тоннельных элементов в данном случае оказалось возможным благодаря незначительности ожидаемых осадок тоннеля.

Торец первой укладываемой секции присоединялся к прямоугольной в плане вертикальной шахте на левом берегу. Отсюда велась последовательная укладка тоннельных элементов в сторону правого берега. На внешней поверхности шахты была укреплена плоская стальная конструкция, снабженная сцепными устройствами, с которой контактировались резиновые манжеты стыкового уплотнения. Установка этих деталей, точность которой могла влиять на положение всей речной части тоннеля, производилась после завершения вертикальных осадков шахты и с высокими требованиями в отношении геодезического обеспечения.

Внутреннее пространство шахты разделялось временной поперечной перегородкой на два отсека. Один из них (береговой) использовался в качестве резервуара для водяного балласта, обеспечивающего устойчивость шахты на опрокидывание под действием горизонтального давления грунта со стороны берега. Такая опасность могла быть реальной в период, когда подводная выемка уже разработана, а примыкающая к шахте секция еще не способна к восприятию горизонтального продольного усилия. Второй отсек служил для выполнения всех работ по окончательному соединению секции и шахты, которое было аналогичным промежуточным стыкам секций.

На правом берегу крайняя секция, которую укладывали последней, вводилась в пространство между уложенной ранее секцией и опущенным до проектной отметки тоннелем-кессоном. Стыковка погружной и кессонной секций затруднялась наличием некоторого расстояния между сопрягаемыми торцами обоих тоннельных элементов, находящихся в воде, которое исключало возможность непосредственного соединения их. Поэтому завершающий стык осуществлялся с предварительным заполнением подводным бетоном пристыкового пространства, огражденного на это время стальными шпунтовыми стенками.

Впервые примененные на этом объекте специальные агрегаты для устройства основания под секциями и для укладки готовых тоннельных элементов в проектное положение, а также другие машины и механизмы использованы на строительстве другого участка тоннеля Халэда — аналогичного подводного перехода через канал Кейхин, состоящего из четырех погружных секций длиной по 82 м. На основе накопленного опыта предполагается дальнейшее развитие в Японии строительства подводных тоннелей с применением способа погружения готовых секций.

# ПРОХОДКА ПОДВОДНОГО УЧАСТКА ТОННЕЛЯ ХАНЭДА МЕХАНИЗИРОВАННЫМ ЩИТОМ С ПРИЗАБОЙНОЙ КАМЕРОЙ, ЗАПОЛНЕННОЙ БЕНТОНИТОВЫМ РАСТВОРОМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

В ЯПОНИИ при строительстве подводного участка железнодорожного тоннеля Ханэда успешно применен механизированный щит с призабойной камерой, заполненной бентонитовым раствором под давлением. Это позволило исключить необходимость проходки под сжатым воздухом, обычно применяемой в неустойчивых породах, и дало возможность снизить на 33% стоимость строительства по сравнению с затратами на сооружение тоннеля методом погружных секций. Ранее проходка с использованием раствора под давлением применялась при сооружении нескольких тоннелей диаметром менее 3 м. Строительство подводного тоннеля диаметром 7,1 м является первым случаем использования этого метода в большом масштабе.

Тоннель Ханэда длиной 5980 м является частью железнодорожной линии Кэйво и проходит под рекой Тама, Токийским аэропортом, каналом Моригасаки, участком суши, образованной путем засыпки грунтом части акватории залива, и под каналом Кейхн. Тоннельный переход включает два параллельных однопутных железнодорожных тоннеля диаметром по 7,1 м при расстоянии между их осями около 15 м.

Подводный участок тоннеля под каналом Моригасаки имеет длину 865 м и пересекает слои плотного песка и мягкого глина, где проходка щитовым методом с применением сжатого воздуха была бы опасной вследствие возможности прорыва сжатого воздуха на поверхность. От стабилизации грунта химическими растворами в большом масштабе также пришлось отказаться, главным образом, ввиду высокой стоимости таких работ.

Была рассмотрена также возможность строительства тоннелей методом погружных секций, но, поскольку тоннели проходят у северного конца главной взлетно-посадочной полосы Токийского международного аэропорта, от этого метода отказались. Применение метода погружных секций потребовало бы использования плавучего оборудования, которое создавало бы препятствия для самолетов при взлете и посадке.

Основной конструктивной особенностью примененного щита является поперечная диафрагма, которая полностью закрывает переднюю камеру рабочего органа, заполненную бентонитовым раствором. Последний, находясь под давлением, превышающим гидростатическое давление грунтовых вод, обеспечивает устойчивость плоскости забоя. Конструкция щита показана на рис. 1.

Центральный вал режущего рабочего органа вращательного действия диаметром 6,9 м и его несущие механизмы проходят через диафрагму. Восемь гидравлических двигателей передают на вал вращающий момент порядка 252 тм. Скорость вращения рабочего органа 0,86 об/мин. Для подачи рабочего органа на забой используются четыре гидравлических домкрата с ходом поршня 550 мм, развивающих усилия по 130 т. Режущий рабочий орган может выдвигаться вперед и назад по отношению к ножевому кольцу, а копир-резцы позволяют вести подработку по наружному контуру (при встрече слоев твердых пород). Резцы рабочего органа могут работать при его реверсивном вращении.

Во избежание проникания бентонитового раствора через хвостовой зазор использована специально разработанная и испытанная конструкция уплотнителей из неопреновых резиновых прокладок (рис. 2). Давление бентонитового раствора в забое, превышающее примерно на 0,2 кг/см<sup>2</sup> гидростатическое давление грунтовых вод, поддерживается при помощи специального насоса, оснащенного механизмом для регулирования скорости работы в зависимости от изменения сопротивления.

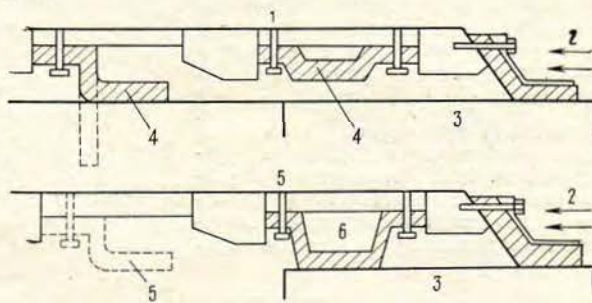


Рис. 2. Уплотнение в хвостовой части щита:

1 — выработка; 2 — давление воды; 3 — элемент обделки; 4 — прокладка; 5 — замена прокладки; 6 — заполнение воздухом.

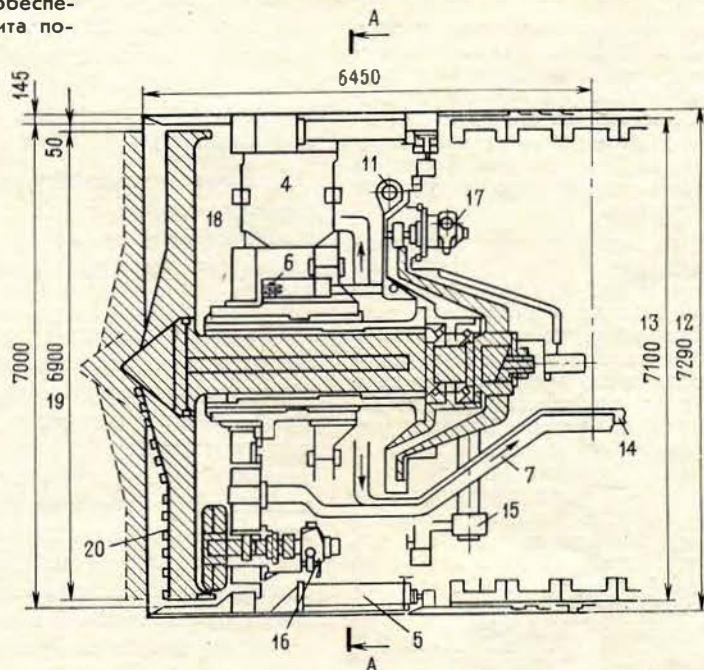
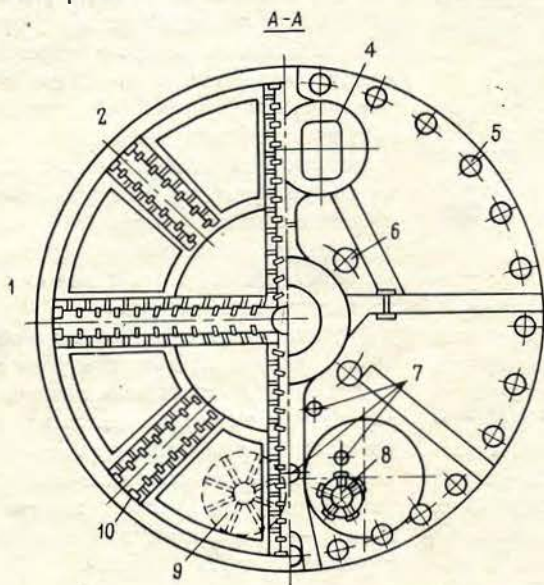


Рис. 1. Схема конструкции щита:

1 — вид сверху; 2 — сеченье А-А; 3 — копир-резец; 4 — воздушный шлюз; 5 — щитовой домкрат; 6 — домкрат подачи рабочего органа; 7 — трубопровод для бентонитового раствора; 8 — смеситель; 9 — крыльчатка смесителя; 10 — резец; 11 — домкрат противодействия вращению щита; 12 — наружный диаметр щита 7290 мм; 13 — наружный диаметр обделки 7100 мм; 14 — трубопровод для подачи воды; 15 — эректор; 16 — масляный гидродвигатель для вращения смесителя; 17 — гидродвигатель для вращения рабочего органа; 18 — бентонитовый раствор; 19 — наружный диаметр рабочего органа 6900 мм; 20 — рабочий орган.

Разработанный грунт поступает в заполненное раствором пространство позади режущей части рабочего органа через радиальные отверстия шириной 600 мм и попадает на два смесителя вращательного действия диаметром 1,2 м. Смесители измельчают грунт и смешивают его с раствором. Отделение породы от бентонитового раствора производится за пределами тоннеля, причем применен простой и экономичный способ естественного осаждения грунта из раствора. При проходке участка тоннеля Моригасаки около 70% разработанного грунта составляют делювиальные пески, легко выделяемые из раствора. На рис. 3 показана схема организации работ по проходке тоннеля и удалению пульпы.

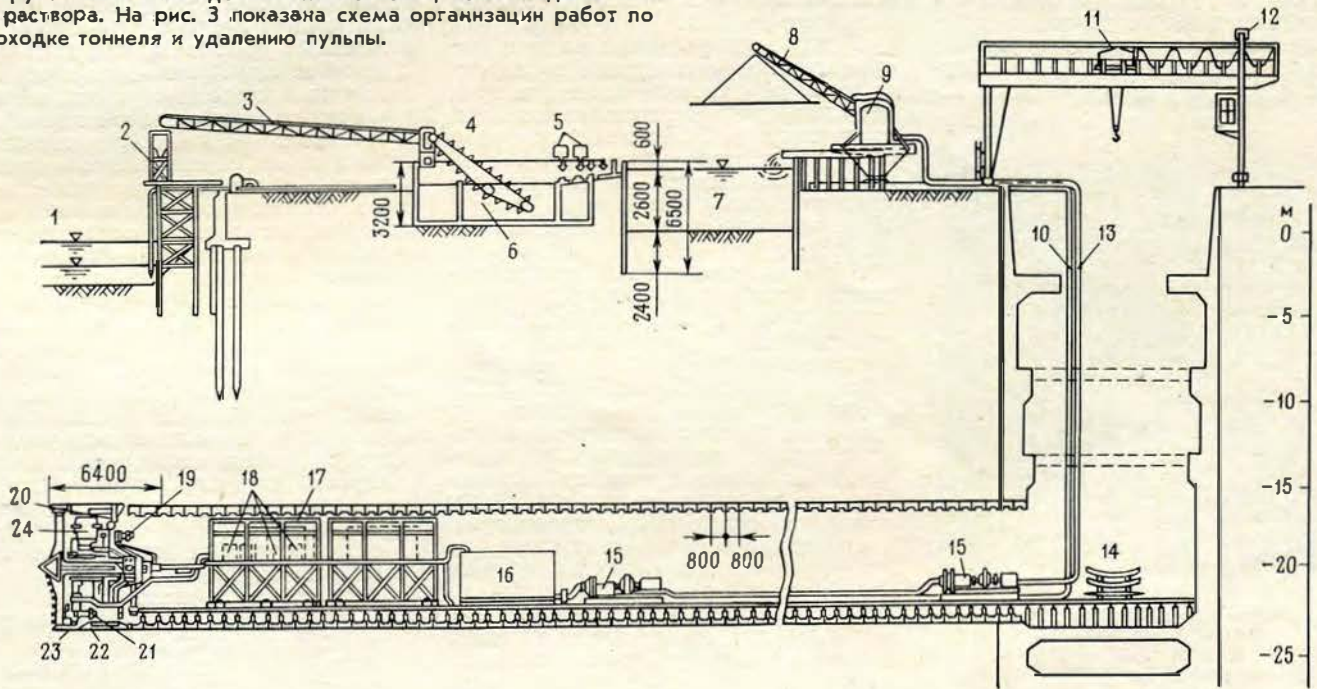


Рис. 3. Схема организации работ по проходке тоннеля и удалению пульпы:

1 — канал; 2 — бункер; 3 — конвейер с лентой шириной 730 мм; 4 — конвейер с сетчатыми ковшами; 5 — резервуар для раствора; 6 — бассейн в орничного осаждения; 7 — основной бассейн; 8 — конвейер с лентой шириной 450 мм; 9 — щековый классификатор; 10 — трубопровод диаметром 25 см, заполненный водой под давлением; 11 — шахта № 1; 12 — порталный кран; 13 — пульпопровод; 14 — элементы обделки; 15 — насосы; 16 — резервуар; 17 — переключающее устройство; 18 — силовая установка; 19 — дократ противодавления вращения щита; 20 — дократ противодавления вращения щита; 21 — гидродвигатель вращения смесителя; 22 — крыльчатка смесителя; 23 — щитовой дократ; 24 — воздушный шлюз.

допускает проходку при более мелком заложении тоннеля, чем при использовании сжатого воздуха.

Проходка двух однопутных параллельных тоннелей Моригасаки была начата одновременно от шахтных стволов весной 1971 года и велась с максимальной скоростью 18 пог. м/сутки (22 кольца). Обделка выполнялась из железобетона, причем одно кольцо собиралось из 7 элементов шириной по 80 см. Гидроизоляция обделки устраивалась из бутл-резиновых по-

лос, укладываемых в канавки по четырем сторонам элементов кольца.

Поскольку разработка породы велась вслепую, был использован гамма-лучевой плотномер для регистрации скорости течения и плотности раствора в отводящем пульпопроводе. Оптимальное содержание грунта в растворе составляло 13% по весу при скорости течения 4 м/сек.

Сооружение двух тоннелей проходческими машинами с камерами рабочего органа, заполненными бентонитовым раствором под давлением, обошлось в 7600 долл./пог. м (включая стоимость сооружения шахтного ствола), стоимость строительства двухпутного тоннеля методом погружных секций была бы равна приблизительно 11350 долл./пог. м.

Вначале бентонитовый раствор проходит через устройства для удаления песка и грязи, а затем поступает в основной бассейн для осаждения, где происходит естественное выпадение осадка. Осажденный из раствора песок подается на ленточный конвейер, а к раствору добавляется порошок полнакриламида, ускоряющий выпадение осадка во втором бассейне. Выпадающий в виде хлопьев грунт удаляется конвейером с сетчатыми ковшами. Для компенсации потерь раствора в процессе его очистки в него добавляют морскую воду.

Трубы, по которым пульпа подается от забоя к осадительным устройствам, имеют телескопические соединения, что позволяет увеличивать длину пульпопроводов при движении проходческой машины.

Использование бентонитовой суспензии в водоносных песках обеспечивает большую устойчивость забоя выработки большого сечения, чем щитовая проходка под сжатым воздухом. При этом исключается возможность прорыва воздуха, что является наибольшей опасностью при щитовой проходке с применением сжатого воздуха, повышается степень безопасности работ, так как обслуживающий персонал работает при нормальном давлении. Применение бентонитового раствора

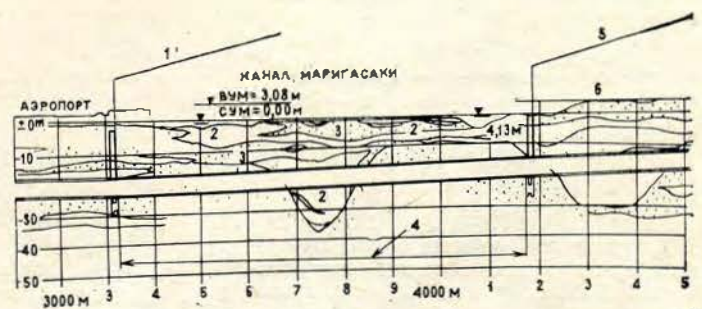


Рис. 4. Геологический профиль на участке строительства тоннелей Ханэда. В центре канала виден пласт слабого ила на отметке заложения тоннеля:

1 — южный портал тоннеля; 2 — ил; 3 — песок; 4 — тоннель, сооружаемый проходческими машинами с применением промывочного раствора под давлением; 5 — северный портал тоннеля; 6 — искусственный участок суши № 3 в районе Кейхин.

# СИСТЕМА КРЕПЛЕНИЯ ПО СПОСОБУ БЕРНОЛЬДА

С. ЧЕСНОКОВ, канд. техн. наук

**Ш**ИРОКОЕ распространение в последние годы получила за рубежом швейцарская система крепления тоннелей по способу инженера Бернольда (рис. 1). Она основана на ис-

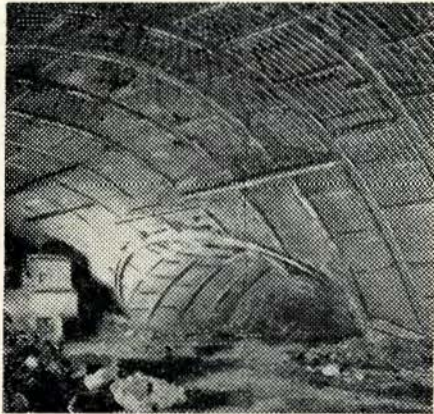


Рис. 1. Участок выработки с креплением по способу Бернольда.

пользовании специальных отштампованных стальных щитов (рис. 2), которые устанавливаются на монтажно-крепёжных арках непосредственно у забоя, а в пространство между щитом и породой укладывается бетон или нагнетается раствор. При этом щиты, являясь одновременно арматурой и опалубкой, образуют тонкостенную полужесткую армированную обделку, плотно прилегающую к породе и сразу воспринимающую горное давление, способствуя благоприятному распределению напряжений в породе и обделке.



Рис. 2. Схема возведения обделки: 1 — монтажно-крепёжная арка; 2 — распорные стержни; 3 — щит Бернольда; 4 — слой торкрета; 5 — торцевая опалубка; 6 — проектное очертание выработки; 7 — бетон.

Впервые эта система была применена при проходке тоннеля Фрауентобель в 1968 году, где были использованы щиты толщиной 3 мм, за которые был уложен бетон марки 300 толщиной 30 см на участках неустойчивых пород и толщиной 15 см на участках более устойчивых пород. Применение щитов Бернольда позволило добиться экономии металла до 50% (по сравнению с обычной ароч-

ной крепью) и получить экономию в стоимости до 40%.

В дальнейшем новая система нашла широкое применение во многих странах и в течение последних трех лет была успешно использована при строительстве 70 тоннелей; при этом было установлено более 420 000 м<sup>2</sup> щитов Бернольда. В перспективе предусмотрено применение способа Бернольда при проходке более 200 км выработок.

Размеры стандартных профилированных отштампованных щитов Бернольда составляют 1080×1200 мм при толщине 1 мм, 2 мм или 3 мм; вес щита толщиной 1 мм составляет 11 кг, а толщиной 3 мм — 33 кг. Изготовление щитов производится на прессах в 4 этапа: штамповка волнистых листов; устройство в них вырезов, продавливание отверстий; правление листам волнистости с большим шагом в поперечном направлении; окончательную форму изогнутым по очертанию выработки щитам придают на гибочных станках. В тангенциальном направлении щиты имеют вырезы, служащие для стыковки и подачи шприц-бетона, форма щитов обеспечивает их достаточную устойчивость и надежный контакт с бетоном. При необходимости, по условиям горного давления, щиты могут быть снабжены арматурой в тангенциальном и осевом направлении. Стыковка уложенных на арки щитов осуществляется внахлестку при помощи двух штырей, вставляемых в имеющиеся в щитах прорезы (рис. 3).

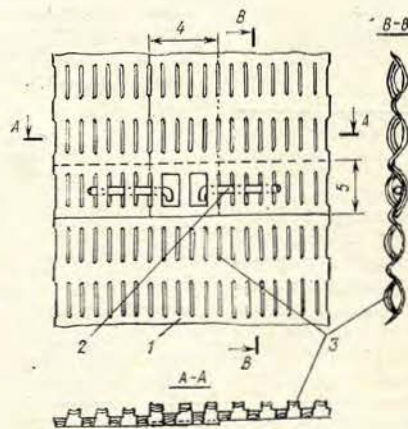


Рис. 3. Стыковка щитов Бернольда:

1 — щит Бернольда; 2 — соединительный штырь; 3 — прорезы в теле щита; 4 — «нахлестка» по образующей контура выработки; 5 — «нахлестка» вдоль продольной оси тоннеля.

Расстояние между монтажно-крепёжными арками обычно составляет от 1 до 2 м, а полный комплект, в за-

висимости от инженерно-геологических условий, включает 6—12 арок и охватывает участок тоннеля длиной от 6 до 24 м. Количество арок определяется также скоростью проходки, так как арки должны оставаться на месте в течение 24—36 ч. Арки доставляются в забой в сложенном в шарнирах виде, перемещаются при демонтаже без разборки при помощи специальных тележек. Процесс перестановки арок занимает 20—30 мин. Статическая конструкция арок обеспечивает восприятие горного давления до тех пор, пока бетон обделки не наберет полную несущую способность без каких-либо повреждений вследствие ведения взрывных работ на расстоянии 0,5—1 м от арок. В зависимости от инженерно-геологических условий щиты Бернольда используются в сочетании со следующими способами заполнения пространства между породой и щитами:

обычная укладка бетона с помощью бетононасоса;  
заопалубочный шприц-бетон;  
набрызг-бетон с заопалубочным нагнетанием раствора.

Технология возведения крепи по первому варианту заключается в следующем. По окончании взрывных и погрузочных работ вперед выставляется от 1 до 3 арок, соединяемых с помощью стальных труб или стержней. Затем по обеим сторонам выработки устанавливают щиты, начиная их монтаж с подошвы выработки. Одновременно между породой и щитами с помощью бетононасоса укладывают бетон слоем толщиной не менее 15 см, тщательно прорабатываемый погружными вибраторами. Обычно применяется бетон марки 400—500 жесткопластичной консистенции с размером заполнителя до 30 мм, расходом цемента 250—300 кг/м<sup>3</sup> и водоцементным отношением 0,4—0,5. При бетонировании обделки до угла 60—80° (считая от шельги свода) бетон подается сверху по мере установки щитов, а укладка бетона между верхними щитами и породой осуществляется с торца. Торцевая опалубка выполняется из решетчатого металла и оставляется на месте до бетонирования следующего кольца обделки.

По второму варианту пространство между породой и щитами заполняют шприц-бетоном через прорезы в щитах. Этот способ бетонирования аналогичен нанесению набрызг-бетона на гибкую арматуру, но отличается от последнего тем, что не требует послойного нанесения. В этом случае бетонирование обделки и нанесение на нее защитного антикоррозийного покрытия толщиной от 2 до 5 см совмещаются. Шприц-бетон состоит из фракций размером до 4 мм, имеет 30% цемента и водоцементное отношение 0,4—0,5. При нанесении бето-



на на последних 60° периметра выработки около шельги свода применяют ускоряющие твердение добавки. Если толщина конструкции обделки в кровле превышает 8 см, для выработок больших пролетов целесообразно наносить шприц-бетон с торца. Из-за высокой стоимости шприц-бетона (по сравнению с обычным бетоном) его сочетание со щитами Бернольда целесообразно при толщине обделки от 4 до 12 см, при этом потери на отскок составляют 15—20%. Пример использования щитов Бернольда в сочетании с набрызг-бетоном для тоннеля кругового очертания приведен на рис. 4.

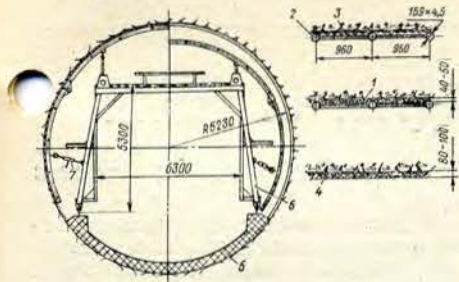


Рис. 4

1 — щит Бернольда, 2 — трубчатая монтажно-крепёжная арка, 3 — распорный стержень, 4 — набрызг-бетон, 5 — конструкция лотковой части тоннеля, 6 — катучие подмости, 7 — монтажные домкраты.

По третьему варианту пространство между породой и щитами Бернольда заполняют нагнетанием раствора, причем в этом случае для создания замкнутого пространства щиты монтируют по всему контуру выработки — на каждые 10—15 м<sup>2</sup> поверхности свода вставляется один щит с приваренным патрубком для нагнетания раствора. Далее внутреннюю поверхность щитов покрывают 2—4 слоями набрызг-бетона толщиной от 10 до 20 см при одновременном удалении монтажных арок. После достижения соответствующей прочности набрызг-бетона (через 7 дней) через патрубки между породой и щитами нагнетают раствор под давлением 1—2 атм. Если по условиям состояния породы требуется возвести обделки быстрее, то внутреннюю поверхность щитов покрывают слоем торкрета с добавками жидкого стекла толщиной 5—10 см, который набирает достаточную прочность через 2—3 ч. При необходимости можно осуществить предварительное напряжение кольца из щитов путем нагнетания раствора под большим давлением. Этот процесс более трудоемок, чем укладка обычного бетона, но зато он, как при заопалубочном шприц-бетоне, гарантирует надежную защиту выработки от обрушения.

Известны также особые способы применения щитов Бернольда, к которым относится проходка с выдвигной крелью.

В этом случае используется дополнительная система арок, которая позволяет осуществить не только направление и подачу элементов выдвигной крели, но также и выполняет роль крепёжных элементов. При этом,

по сравнению с обычным способом, достигается снижение стоимости проходки до 50%.

Рабочий процесс начинается с установки монтажно-направляющей арки, которая, в отличие от обычных монтажных арок, имеет стенку, соответствующую толщине обделки, и приваренную к арке торцевую опалубку (рис. 5). Расстояние между арками в

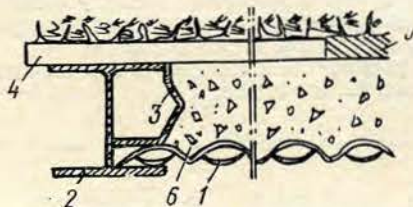


Рис. 5. Возведение обделки при использовании выдвигной крели:

1 — щит Бернольда; 2 — монтажно-направляющая арка; 3 — торцевая опалубка; 4 — элемент выдвигной крели; 5 — раствор; 6 — бетон.

зависимости от инженерно-геологических условий составляет от 0,6 до 1,5 м. Элемент выдвигной крели длиной 4—5 м и шириной 20—50 см снабжен продольным замком, шарниром и устройством подачи. Задние концы выдвигного элемента отшлифованы по длине 2—3 м для предотвращения схватывания бетона со сталью. Укладываемые за арки щиты образуют замкнутую систему совместно со щитами обратного свода. Пространство между щитами и элементами выдвигной крели заполняют вибрированным бетоном, подаваемым бетононасосом, а образовавшиеся после удаления элементов выдвигной крели пустоты заполняют нагнетанием раствора. Одновременно на внутреннюю поверхность щита наносят 2—5 см слой торкрета. Скорость проходки при этом составляет 2—4 м/смену.

Другим способом использования щитов Бернольда является применение их в качестве оградительной крели для защиты внутреннего пространства выработки от вывалов отдельных камней при проходке выработок бурением. В этом случае щиты устанавливаются на анкерах по ровному контуру выработки вплотную к породе.

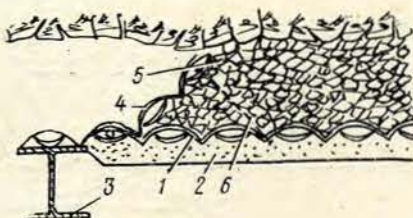


Рис. 6. Использование щитов Бернольда для устройства дренажа:

1 — щит; 2 — торкрет; 3 — арка; 4 — торцевая опалубка; 5 — щебенка; 6 — стяжка.

Для особо неблагоприятных породных условий целесообразно применять замкнутую бетонную обделку с одиночной или двойной арматурой в виде щитов Бернольда, а также установив в последнем случае поперечной арматуры, предотвращающей разрушение от среза.

Статические испытания конструкций крели, созданных на основе способа Бернольда, были проведены Центральным институтом Японского министерства по строительству. При этом определялась в системе несущая способность тонкого полужесткого свода выработки пролетом 8 м с использованием крепления щитов Бернольда. Испытываемая в натуральную величину часть бетонной арки имела толщину 15 см (тип I) и 25 см (тип II) с армированием щитами Бернольда толщиной 2 мм, а чисто бетонная арка — толщину 25 см (тип III). Нагрузка на арку передавалась 36 домкратами грузоподъемностью 50 т через распределительные элементы толщиной 10 см и длиной 1 м. Распределение прикладываемых нагрузок принималось по соотношениям Терцаги, исходя из удельного веса породы, равного 2,7 т/м<sup>3</sup>. Разрушение испытываемой конструкции типа I произошло при нагрузке, соответствующей весу вышележащих пород мощностью 18 м; типа II — 36 м и типа III — 26 м. Для конструкции I и II типа разрушение имело вид чистого среза под углом 30° к шельге свода. При этом стыки щитов Бернольда не вызвали какого-либо ослабления в конструкции обделки, а ширина раскрытия трещин не превосходила 0,05 мм. Для сравнения по аналогичной методике было проведено испытание свода, выполненного из стальной широкополочной балки НЭВ 200, где разрушение началось при нагрузке, соответствующей весу породы мощностью всего 7—8,5 м. Результаты испытаний показали, что бетонная обделка свода пролетом 8 м, толщиной 25 см со щитами Бернольда толщиной 2 мм имеет несущую способность около 100 т/м<sup>2</sup>.

Метод расчета обделки, возводимой по способу Бернольда, разработан швейцарским инженером К. В. Вайрихом и основан на использовании метода конечных элементов, который рассматривает обделку как слоистую конструкцию. Согласно этому методу, действие горного давления начинается не от самой выработки, а в ненарушенной зоне породной массива, то есть на достаточном расстоянии от подземного сооружения, так что определение размеров крели полностью учитывает эффект самоподдержания породы. Как теоретические расчеты, так и модельные исследования, проведенные в Швейцарии, Австрии и Японии, подтвердили возможность применения для расчета крели теории тонкостенных полужестких оболочек. По этой теории характерным разрушением бетонной обделки при достаточной гибкости бетонной оболочки является ее разрушение при сдвиге.

Согласно теории тонкостенных полужестких оболочек, отношение тол-

щины бетонной обделки к радиусу выработки должно составлять для податливой породы от 1/25 до 1/50, а для жесткой породы — от 1/15 до 1/10. Эти величины получили теоретическое и экспериментальное подтверждение.

Пыт применения способа Бернольда и проведенные экспериментальные исследования показали следующие технико-экономические преимущества этой системы:

- хорошая приспособляемость системы крепи к различным инженерно-геологическим условиям и целесообразность применения ее даже в неблагоприятных породных условиях;

экономически оправданная возможность применения для крепления камер пролетом до 30 м в неустойчивых породах;

применение постоянной крепи во всех тех случаях, где раньше использовали временную крепь;

получение более равномерного и прочного соединения бетона с арматурными щитами, отсутствие разрушения бетона;

уменьшение на 30% потерь на отскок при нанесении заопалубочного шприц-бетона по сравнению с армированием из стальных сеток;

увеличение скорости проходки приблизительно вдвое;

снижение стоимости крепления до 40% по сравнению с традиционными способами крепления (для тоннеля сечением 35 м<sup>2</sup>).

Таким образом, система крепления тоннелей, основанная на применении отштампованных стальных щитов толщиной 1—3 мм в качестве арматуры и опалубки с заполнением пространства за ними бетоном, обладает значительной несущей способностью, достаточной надежностью и ее применение может быть целесообразным для практики отечественного тоннелестроения.

## ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

В. СКОБУНОВ, канд. техн. наук

ПРИ ПРОХОДКЕ тоннелей Рокко и Сейкан в Японии испытан модифицированный метод электростатического улавливания пыли, образующейся при бурении, взрывании, погрузке породы, сухом торкретировании, работе тоннелепроходческих машин. Сущность этого метода состоит в следующем. Под сводом тоннеля (рис. 1) на нейлоновом тросе

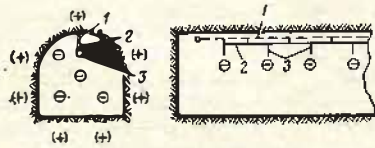


Рис. 1

подвешивается высоковольтный кабель, питающий отрицательным зарядом расположенные на нем через определенные расстояния электроды-разрядники из токопроводящей резины весом 210 г на 1 пог. м. Положительным электродом (осадительным) является порода стен тоннеля. Кабель соединен с электростатическим генератором, вырабатывающим ток от 1 до 5 ма напряжением до 200 кв. При подаче напряжения на электроды вокруг них возникает коронный разряд, создающий отрицательно заряженные ионы воздуха. Встречая на своем пути ионы, частицы пыли приобретают отрицательный заряд, под действием электрического поля движутся к положительно заряженным стенам тоннеля и осаждаются на них.

Электростатический источник тока состоит из генератора постоянного тока весом 500 кг и размерами 750×550×1040 мм и блока регулировки весом 80 кг и размерами 500×450×840 мм. Все эти устройства размещаются вблизи участка осадения пыли.

В тоннеле Рокко на железнодорожной линии Новая Санье метод электростатического осадения пыли использовался при бурении шпуров, отбойке породы взрывом и погрузке породы. Эксперименты проводились в призабойной зоне

передовой штольни сечением 12 м<sup>2</sup>. Забой обуривался 2—3 перфораторами, на 30 скважин расходовалось одновременно 8—9 кг динамита. Погрузка породы осуществлялась породопогрузочной машиной, откатка ее — вагонетками с дизельным локомотивом. Температура воздуха в тоннеле была 25°C, относительная влажность 95%. Сразу же после взрывных работ забой в течение 20 мин. продувался сжатым воздухом в объеме 0,63 м<sup>3</sup> за 1 сек., который выпускался на расстоянии 12 м от лба забоя.

На горизонтальном участке пилот-тоннеля диаметром 4 м подводного тоннеля Сейкан длиной 36 км, соединяющего острова Хоккайдо и Хонсю, проходка велась с помощью тоннелепроходческой машины Вольмейер с вращающимися режущими дисками. Порода транспортировалась аккумуляторными электровазми. Использовалась приточная система вентиляции; средняя скорость движения воздуха составляет 0,33 м/сек, его температура и влажность соответственно 22°C и 95%.

Вслед за проходкой на стены выработки наносили сухим торкретированием слой бетона, состоящего из 300 кг сухого цемента — 12 кг ускорителя схватывания бетона, 1240 кг песка, 830 кг гравия и 120 кг воды.

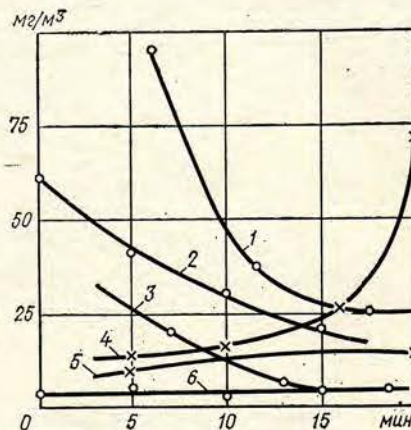


Рис. 2

На рис. 2 приведены результаты испытаний электростатического метода осадения пыли в штольне тоннеля Рокко при производстве взрывных работ (экспериментальные точки в виде белых кружков), погрузке породы (зачерненные кружки) и бурении шпуров (крестики). Кривые 1, 2 и 4 соответствуют изменению концентрации пыли по времени при естественном осадении пыли, а кривые 3 (напряжение 140 кв, ток 1,3 ма), 5 (140 кв, 1,7 ма) и 6 (120 кв, 1,5 ма) — при действии электростатического пылеосадителя.

Как видно из графиков, для всех пылеобразующих процессов электростатический метод приводит к значительному снижению концентрации пыли. Так, через 15 мин. после окончания пылеобразующих операций концентрация пыли снизилась почти в 5 раз при взрывании ВВ, в 4 раза при погрузке породы и 1,6 раза при бурении шпуров. Визуальные наблюдения показали, что призабойная зона освобождалась от газопылевого облака после взрывания ВВ через 18 мин. Бурение шпуров без каких-либо средств осадения пыли сопровождалось непрерывным ростом ее концентрации в забое (кривая 5); при включении электростатического осадителя концентрация пыли резко снизилась и оставалась на одном уровне в течение времени бурения (кривая 4).

Во время погрузочных работ при включенном электростатическом осадителе призабойное пространство хорошо просматривалось на длине до 100 м, в то время как без него видимость не превышала 20 м. Резкое снижение запыленности воздуха в этом случае позволило увеличить скорость дизельной откатки.

Было также установлено, что рассматриваемый метод хорошо применим для очистки тоннельной атмосферы от дыма в виде углеродной сажи, образующейся при работе дизельных поездов.

В пилот-штольне тоннеля Сейкан электростатический метод испытывался при сухом нанесении на стены торкрет-бетона (рис. 3 — кривые 1 и 2) и работе тоннелепроходческой машины (кривые 3 и 4). Торкретирование производилось участками различной длины (3÷6 м;

\* По материалам журнала «Railway Technical Research Institute Japanese National Railways», 13, № 1, 1972.

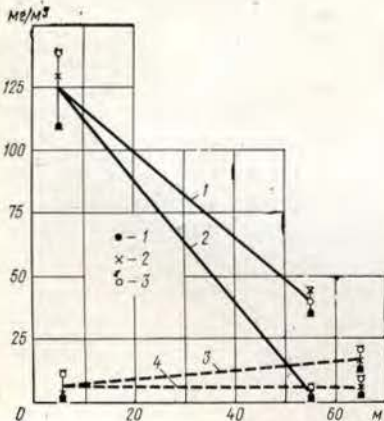


Рис. 3

8÷8÷11 м и 13÷6 м), за которыми размещались электроды электроосадителя пыли. Хотя осаждение пыли происходило и естественным путем (кривая 1, проведенная на основании осреднения концентрации пыли на трех рассматриваемых участках торкретирования) под действием силы тяжести, однако ее концентрация в конце наблюдаемого участка тоннеля оставалась относительно высокой. После включения электростатического генератора концентрация пыли приблизилась к норме (кривая 2).

При работе тоннелепроходческой машины эффективность пылеулавливания определялась после проходки тоннеля на участках указанной выше длины (точки 1, 2 и 3). Во всех случаях достигнуто ощутимое снижение (почти в 3 раза) запыленности воздуха при включенном электроосадителе (кривая 4) по сравнению с естественным осаждением пыли (кривая 3).

Таким образом, производственные испытания, проводившиеся при средней скорости движения воздуха по тоннельным выработкам не более 0,33 м/сек и длине электроосадительного участка 40 м, выявили высокую степень очистки воздуха от минеральной (породной) и органической (углеродная сажа, образующаяся при неполном сгорании топлива) пыли, возникающей при проведении основных технологических процессов при сооружении тоннелей.

Хотя в испытанном электроосадителе использована защитная электрическая схема включения по Кокрофту, сразу же понижаящая напряжение до допустимого предела при прикосновении человека к электроду, сами исследователи отмечают возможность риска вследствие непредвиденных обстоятельств. Поэтому до тех пор, пока не будет решен вопрос электробезопасности, этот метод не может быть непосредственно использован в забое, например, при щитовой проходке.

Несмотря на отмеченный недостаток, метод электростатической очистки воздуха от пыли перспективен при строительстве линий метрополитенов в густо населенных городах, а также для обработки воздуха в тоннелях и подземных сооружениях различного назначения.

## СТРОИТСЯ МЕТРО

**БУЭНОС-АЙРЕС.** Сеть метро с 57 станциями состоит из 5 линий; А — 6,75 км, В — 8,715 км, С — 4,3 км, D — 6,25 км, E — 5,65 км. Начаты работы по строительству новой линии и расширению линий В и D. Линия В будет проложена на 3,7 км к району Villa Urquiza, линия D — на 6,6 км к северной окраине Saavedra. Запланирована модернизация систем сигнализации и связи и замена подвижного состава.

**ЛОНДОН.** Начаты работы по реконструкции станции Archway Северной линии метро. Предстоит соорудить 47-м тоннель для соединения платформы станции с шахтой не эксплуатируемого сейчас лифта. Намечено строительство нового билетного зала. На очереди реконструкция станции Finsbury Park, предусматривающая строительство билетного зала и связанной с ним автобусной станции.

**НЮРНБЕРГ.** Наземный участок первой линии метро длиной 3,62 км пущен в эксплуатацию 1 марта 1972 г. Строительство следующей очереди протяженностью 2,5 км намечено завершить в 1974 г.

**ОСЛО.** Основана специальная исследовательская группа Управления метрополитена по борьбе с нарушителями порядка на станциях метро. Исследуется возможность установки телевизионных экранов на платформах станций в центре города.

**СЕУЛ.** В Сеуле строится метро. Строительство сети протяженностью 133 км намечено завершить к 1975 г. 61 км будет подземным.

**ВЕНА.** Ожидается, что первые поезда линии № 1 нового метро начнут обслуживать пассажиров в начале 1976 г. Сейчас строительные работы ведут на первой очереди линии, включающей важнейший транспортный узел станции Карлсплац. Пятирусная станция расположена на глубине 35 м от уровня улицы. В стадии строительства находится также небольшой участок линии № 2. Четырехкилометровый участок этой линии намечено пустить в эксплуатацию в 1978 г; к 1980 г. предполагается завершить реконструкцию линии № 4 — в прошлом линии трамвая.

**САН-ПАУЛУ.** В 1973 г. намечено завершить строительство первой очереди первой линии, пересекающей город в направлении север—юг. Линия протяженностью 21,4 км будет пущена в эксплуатацию в 1975 г. Длина подземного участка 15,3 км. Только 4,8 км сети метро общей протяженностью 66 км будут построены методом щитовой проходки. Около 32,4 км намечено соорудить открытым способом, 20,6 км — проложить на эстакаде и 2,4 км наземным. Среднее расстояние между станциями — 900 м.

Из журнала «International Railway», 1972, № 5

## ОБЛИЦОВКА ИЗ СБОРНЫХ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**ОТКРЫЛОСЬ** движение по второму двухполосному тоннелю, проложенному под рекой Мерсей. Вначале осуществлялась проходка направляющей штольни размером 4×4 м буровзрывным способом. Последующую проходку до проектного сечения диаметром 9,7 м вели с помощью тоннелепроходческого агрегата, направляемого лазерным лучом.

Грунты, залегающие по трассе тоннеля, представлены красным песчаником с прослойками белого песчаника, расположенными почти горизонтально. Условия работы в забое были осложнены значительным притоком воды, поступающей под большим напором.

В связи с этим обеспечение водонепроницаемости обделки тоннеля представляло собой важную задачу, особенно выше отметки проезжей части, где необходимо было обеспечить высокое качество отделки внутренней поверхности. Внутренняя поверхность сборных бетонных элементов, расположенных выше отметки проезжей части, покрывалась дополнительно облицовочными плитами из малоуглеродистой стали толщиной 6 мм, замонтированными в бетон элементов в процессе его изготовления. В качестве уплотнений в стыки вваривались стальные швеллерные балки.

Поверхность стальных облицовочных плит, прилегающая к бетону, покрывалась битумной краской.

После монтажа бетонных элементов и заварки стыков поверхность облицовочных плит очищалась пескоструйным аппаратом, а затем покрывалась краской на эпоксидной основе.

Пространство между обделкой тоннеля и породой заполнялось нагнетанием цементного раствора. Разрабатываемая порода загружалась погрузочной машиной непосредственно в самосвалы.

Стоимость описанной обделки тоннеля значительно ниже, чем обычной обделки из чугунных тубингов. Преимуществом новой обделки является также и то, что ее устройство может быть закончено в непосредственной близости к забою. Кроме того, упрощается крепление всякого рода коммуникаций и устройств, располагаемых вдоль стен тоннеля, так как крепёжные кронштейны-скобы могут быть приварены в любом месте.

«Civil Engineering», 1972, № 2.