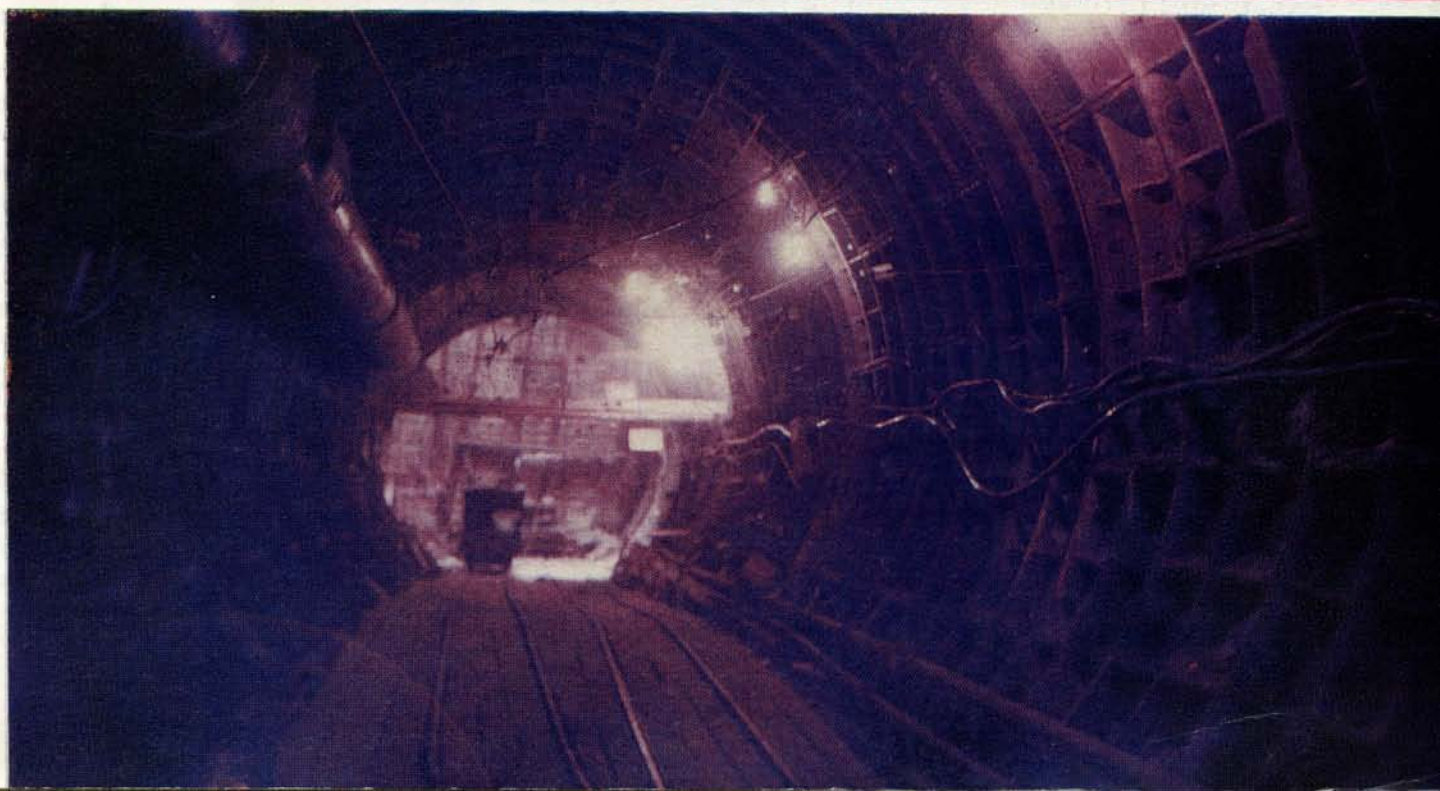
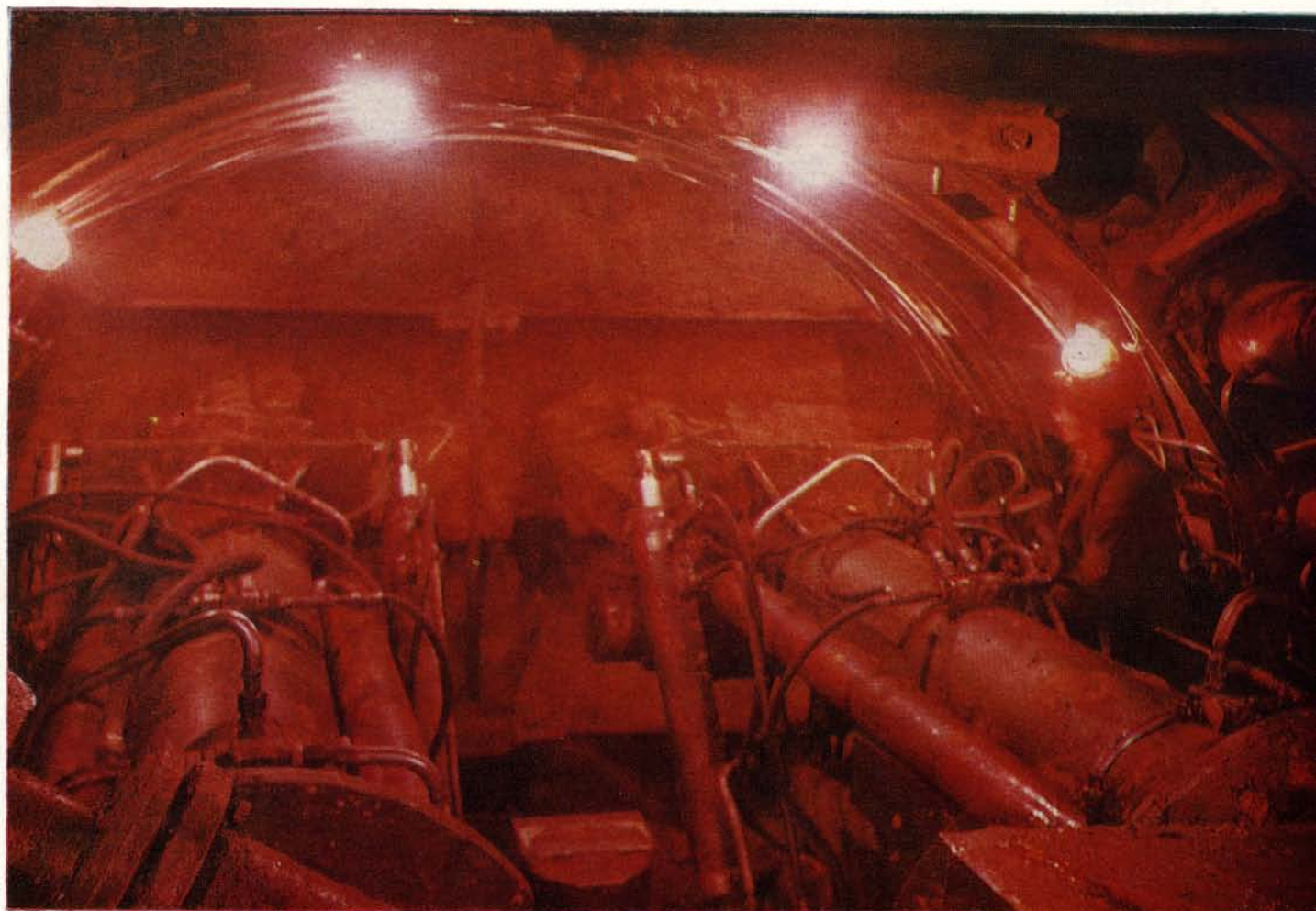


МЕТРОСТРОЙ



МЕТРОСТРОЙ

ИНФОРМАЦИОННЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

3 1979

ИЗДАНИЕ МОСКОВСКОГО МЕТРОСТРОЯ И
ИЗДАТЕЛЬСТВА «МОСКОВСКАЯ ПРАВДА»

В НОМЕРЕ:

Ю. Кошелев, В. Самойлов, Г. Богомолов, В. Сидорцев. ЩИТ С ЭКСКАВАТОРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ НА КАЛИНИНСКОМ РАДИУСЕ	1
Х. Абрамсон, Е. Губенков, С. Маршак, А. Билык, Н. Простов, А. Крюков. КОМБАЙН 4ПП-2 НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ СЕРПУХОВСКОГО РАДИУСА	3
П. Степанов, К. Безродный, О. Антонов. ОБ УСИЛИЯХ ОБЖАТИЯ ОБДЕЛОК ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ.	6
С. Сильвестров, С. Мандриков. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАМ ВРЕМЕННОГО ПОДКРЕПЛЕНИЯ БОКОВЫХ ТОННЕЛЕЙ И ПОСТОЯННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КОЛОННЫХ СТАНЦИЙ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ	7
А. Семенов, Г. Оганесов. СЕЙСМОСТОЙКАЯ КОНСТРУКЦИЯ КОЛОННОЙ СТАНЦИИ ОТКРЫТОГО СПОСОБА	9
Д. Голицынский, Г. Калининченко, В. Санкович, В. Лайкин. КРЕПЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В СПОНДИЛОВЫХ ГЛИНАХ	11
И. Малый. РАСЧЕТ ОГРАЖДЕНИЙ КОТЛОВАНОВ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ АНКЕРАМИ	14
Б. Шкурко, В. Нечаев. ТЕПЛОПТЕРИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИИ С ЧУГУННОЙ ТЮБИНГОВОЙ ОБДЕЛКОЙ	15
В. Михайлов, А. Петухов, М. Бейлина. НАПРЯГАЮЩИЙ ЦЕМЕНТ В МЕТРОСТРОЕНИИ	17
Н. Смирнов. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ (КС УКП) И СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ (КС УК СМР)	19
О. Королев, И. Хлебников. О ПОВЫШЕНИИ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ.	20
П. Лупачев, Л. Сухарева, Н. Перегудов, Н. Макаров. НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ В ТОННЕЛЯХ.	21
Ю. Лебедев. ОТ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ К АРХИТЕКТУРЕ.	23
А. Векслер. НАХОДКИ МЕТРОСТРОЯ В ЭКСПОЗИЦИИ МУЗЕЯ СТОЛИЦЫ.	26
И. Бирюков, Е. Рыбников, М. Закс, А. Козырев, С. Браславская. ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОСТЕЙ КОЛЕС НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.	28
А. Муганлинский, П. Спирин, Н. Азизов. ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИИ ДЕПО.	30
Ю. Грачев. БОРЬБА С ШУМОМ И ВИБРАЦИЕЙ.	30
К. Ратковский, М. Никитенко. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ МИНИ-МЕТРО.	31
	33

Ответственный редактор В. К. МОЛЧАНОВ

Редакционная коллегия:

В. А. АЛИХАШКИН, А. С. БАКУЛИН, П. А. ВАСЮКОВ, С. Н. ВЛАСОВ, В. Д. ГОЦИРИДЗЕ, Д. Н. ИВАНОВ, П. С. ИСАЕВ, Ю. А. КОШЕЛЕВ, А. С. ЛУГОВЦОВ, В. Л. МАКОВСКИЙ, С. А. ПОНОМАРЕНКО (научный редактор), Б. П. ПАЧУЛИЯ, В. Г. ПРОТЧЕНКО, Е. Д. РЕЗНИЧЕНКО, А. И. СЕМЕНОВ, Г. А. ФЕДОРОВ, В. В. ЯКОБС, И. М. ЯКОБСОН.

Щит с экскаваторным оборудованием на Калининском радиусе

Ю. КОШЕЛЕВ, В. САМОИЛОВ, кандидаты техн. наук;
Г. БОГОМОЛОВ, В. СИДОРЦЕВ, инженеры

ПЕРВЫЙ отечественный щит \varnothing 5,5 м с экскаваторным оборудованием ведет проходку правого тоннеля на «критическом» перегоне между станциями «Перово» и «Шоссе Энтузиастов». Щит создан на базе ЩН-1С, ножевое кольцо которого было удлинено и оборудовано центральной вертикальной перегородкой и съемными горизонтальными полками, установленными в 3 яруса.

Обычно применяемая система перегородок щита заменена на одну горизонтальную повышенной жесткости. На ней установлено, в соответствии с ранее опубликованным предложением*, два экскаваторных органа с телескопической стрелой, оснащенной головкой с рабочим скребком. Основные рабочие движения экскаваторного органа — удлинение и укорочение стрелы, поворот ее в профиле и плане, а скребка относительно головки — осуществляются с помощью гидродомкратов. Поворот головки вокруг продольной оси стрелы обеспечивается гидромотором.

Каждый экскаватор снабжен боковой площадкой с ограждением, на которой размещены пульт управления, включающий гидрораспределители с ручками, и сиденье машиниста.

Рабочая жидкость в гидросистему экскаваторов подается от четырех насосов Н-403Е.

Щит оснащен самоходным конвейером-перегрузателем, изготовленным на базе машины ППМ-4Э. Передняя приемная часть перегрузателя устанавливается после сборки очередного кольца обделки в проеме, сделанном в лобовом листе нижней лотковой части агрегата.

Защитовой комплекс включает: тоннельный укладчик ТУ-3ГП, тележку для нагнетания, подвижные платформы с рельсовой колесой и стрелочным переводом. Транспортировка породы по тоннелю осуществляется в контейнерах емкостью 3 м³ с помощью электровоза 7КР.

Обделка тоннеля — из чугунных

тубингов. Щитовые домкраты передают продольное усилие на обделку через распределительное кольцо.

После пуско-наладочных и доводочных работ на начальном участке тоннеля длиной 43 м началось про-

мышленное применение щита. В декабре минувшего года им сооружено 85 м готового тоннеля, залегающего в плотных суглинках, супесях и песках однородного и смешанного заборов. При этом максимальные темпы

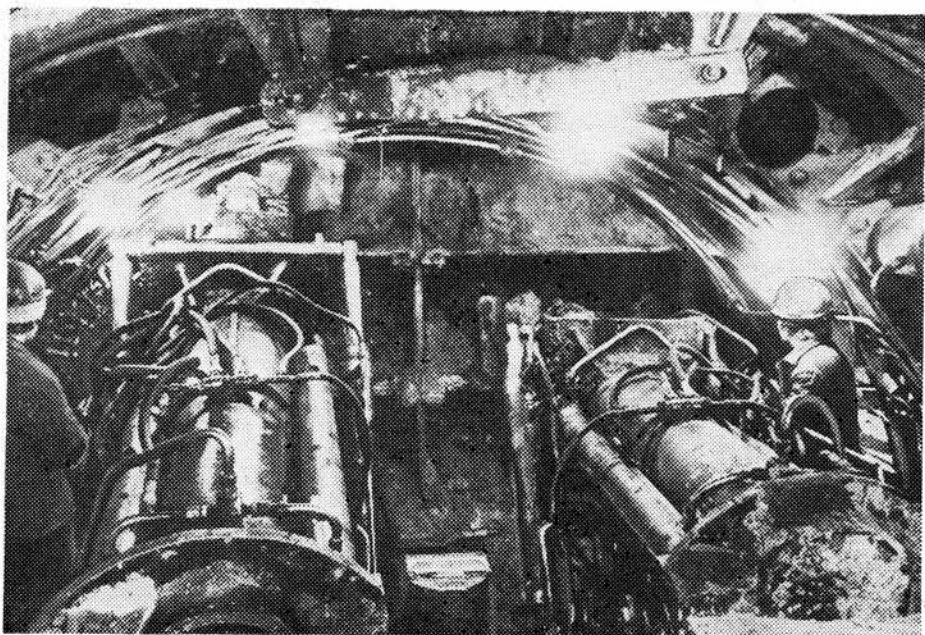
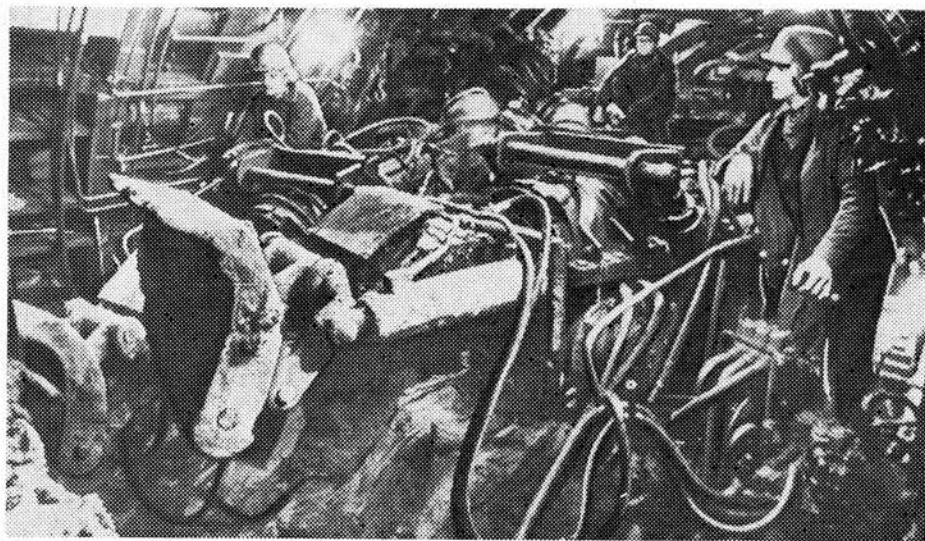


Рис. 1. Разработка и отбор грунтов в ячейках головной части нового щита с помощью экскаваторных органов

* См. «Метрострой», № 6, 1977 г.

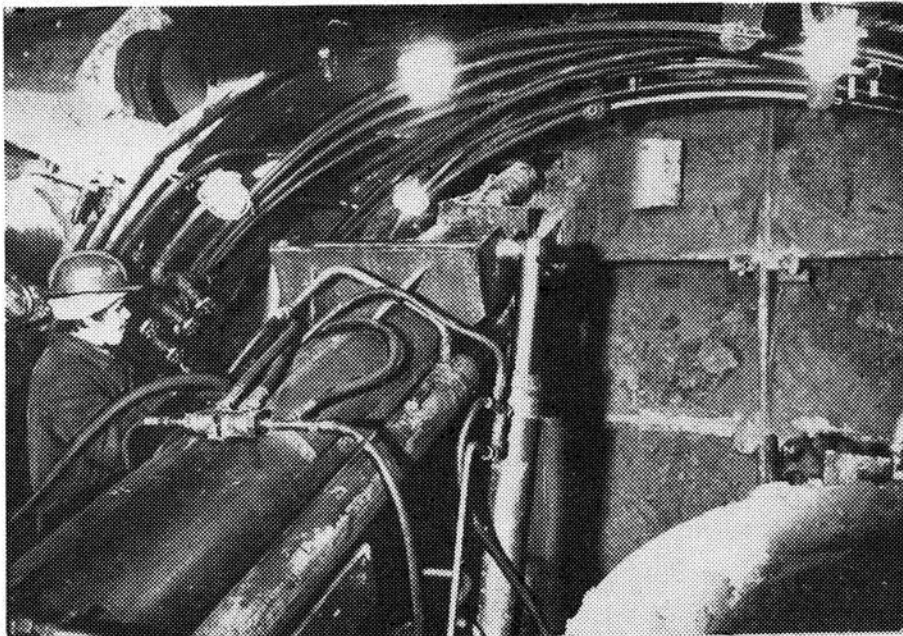


Рис. 2. Машинист-инструктор В. Милокумов ведет профилактический осмотр экскаваторного органа

составили 4,67 м/сутки и 2,08 м/смену.

Использование в щите экскаваторного оборудования, сложность и стоимость изготовления которого значительно ниже, чем, например, оборудования роторного типа, позволило полностью исключить ручной труд при разработке и погрузке грунта на кон-

вейер-перегрузатель. Это, в свою очередь, дало возможность сократить состав бригады на 3 человека. Наличие двух экскаваторных органов и системы горизонтальных полок полностью себя оправдало. Щит, несмотря на удлинение, был управляемым как в плане, так и в профиле. Жесткость его корпуса, лишенного вертикальных

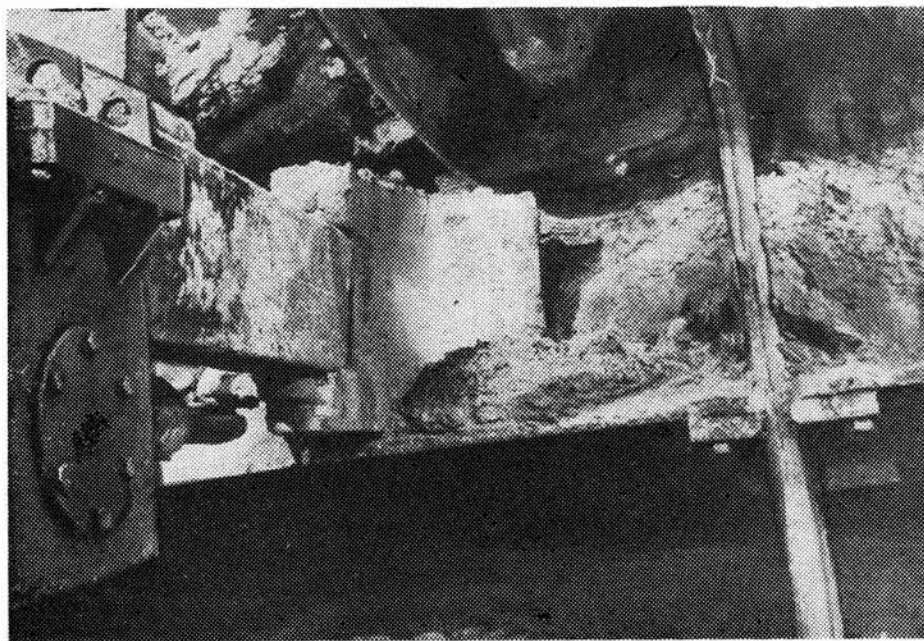


Рис. 3. Рабочий скребок левого экскаваторного органа в верхней ячейке щита

перегородок, оказалась достаточной.

Щит создан и внедрен в короткие сроки благодаря совместной работе отделения тоннелей и метрополитенов ЦНИИСа, ПКБ Главстроймеханизации, механического завода № 1, Управления механизации Московского метрополитена, Тоннельного отряда № 6 и СКТБ Главтоннельметростроя при участии СКТБ Главмосинжстроя. При разработке конструкции учтен опыт применения трестом ГПР-1 стреловых экскаваторов в условиях проходки тоннелей малого диаметра.

Создание и внедрение нового агрегата представляет собой практическое решение сложнейшей задачи обеспечения механизированной проходки перегонных тоннелей в смешанных грунтах.



Рис. 4. Откосный забой мелкого песчаного грунта в головной части щита

Полученный опыт говорит о реальной возможности уже в будущем году оснащения экскаваторным оборудованием партии щитов с целью использования их как в Москве, так и других городах страны, в частности, в Минске, Горьком, Ташкенте и др.

Перевод же большинства «ручных» щитов Главтоннельметростроя на режим механизированных путем оснащения их двумя экскаваторными органами позволит осуществить в короткие сроки и с небольшими затратами средств техническое перевооружение отрасли метрополитена, значительно повысив производительность труда. □

Комбайн 4ПП-2 на строительстве Серпуховского радиуса

Х. АБРАМСОН, Е. ГУБЕНКОВ, С. МАРШАК, кандидаты техн. наук;
А. ВИЛЬК, Н. ПРОСТОВ, А. КРЮКОВ, инженеры

СОВРЕМЕННАЯ технология работ при проведении горных выработок в метростроении характеризуется как правило буровзрывным способом разработки породы и погрузкой ее ковшовыми машинами в одиночные вагонетки. Механизированные щиты, к сожалению, не везде могут быть применены.

Между тем в угольной промышленности объемы проведения горных выработок с помощью проходческих комбайнов неуклонно возрастают и приближаются в настоящее время к 2000 км в год.

Практика показывает, что комбайновый способ, по сравнению с буровзрывным, позволяет увеличить скорости проведения выработок и производительность труда проходчиков в среднем по отрасли в 1,5—2,5 раза, а также улучшить условия труда и повысить безопасность работ.

Применяемые в угольной промышленности комбайны представляют собой самоходные машины на гусеничном ходу, оснащенные стреловидным рабочим органом для отбойки породы, устройством для погрузки горной массы (как правило с помощью парных нагребающих лап на встроенный в комбайн скребковый конвейер). В сцепе с комбайном находятся два ленточных конвейера-перегрузателя, обеспечивающих непрерывную загрузку вагонеток. Один из применяемых на угольных шахтах агрегатов типа 4ПП-2 оборудован не только ручным, но и автоматическим и дистанционным управлением, а также средствами для подавления и отсоса образующейся при работе комбайна пыли.

В отечественной практике имеется несколько примеров использования проходческих комбайнов при строительстве транспортных и гидротехнических тоннелей. Это послужило основанием для испытания в производственных условиях проходческого комбайна со стреловидным рабочим органом в условиях Московского метростроя при сооружении горных выработок и тоннелей глубокого заложения. Группа специалистов Управ-

ления Московского метростроя, СМУ-6, ЦНИИСа и ЦНИИподземмаша наметила осуществить эти работы в два этапа: на проведении подходной штольни, а затем на проходке перегонного тоннеля.

Принятый для промышленной проверки комбайн 4ПП-2 (рис. 1), параметры которого в наибольшей степени соответствуют условиям сооружения тоннелей, разработан институтом ЦНИИподземмаш и серийно выпускается Ясиноватским машиностроительным заводом.

Рабочий орган 4ПП-2, оснащенный твердосплавными режущими инструментами типа РПП, способен разрушать горные породы крепостью до $f=6$ по шкале проф. М. М. Протодяконова, а поперечное сечение выработки, обрабатываемой комбайном с одного положения, составляет по ширине до 6, а по высоте до 4,5 м.

Местом испытания выбрана подходная штольня к станции «Серпуховская» Серпуховского радиуса на участке СМУ-6.

Выработка сечением 17,8 м² в проходке пересекает напластования плотных карбонных глин, мергелей и крепких известняков. Штольня крепилась деревянными рамами со сплошной деревянной затяжкой кровли и боков с последующим заполнением межрамного пространства бетоном. Затяжка кровли осуществлялась марчеванами.

На шахтную площадку ствола комбайн доставили в собранном виде и после подключения опробовали на поверхности на холостом ходу. Затем его демонтировали на транспортабельные узлы и по лесопускному отделению ствола спустили в рудничный двор, где снова смонтировали.

Для монтажа комбайна не требовалось специальной камеры. Его монтаж на поверхности и спуск в шахту выполнен за 2 рабочих смены, на сборку в шахте также затрачено 2 смены, а на перегон из околоствольного двора к забою (на расстояние 90 м) — менее 2 часов (рис. 2). На этих работах были заняты 5 человек.

В ходе подготовки к испытаниям непосредственно в забое были подготовлены машинисты комбайна и проходчики. Разработаны инструкции по технике безопасности, программы для технического обучения, составлены проекты производства работ по монтажу и спуску агрегата в шахту, а также проходки штольни. Для первого этапа освоения комбайна пригласили из Донбасса двух опытных машинистов. Шефмонтаж и авторский надзор осуществляли специалисты ЦНИИподземмаша.

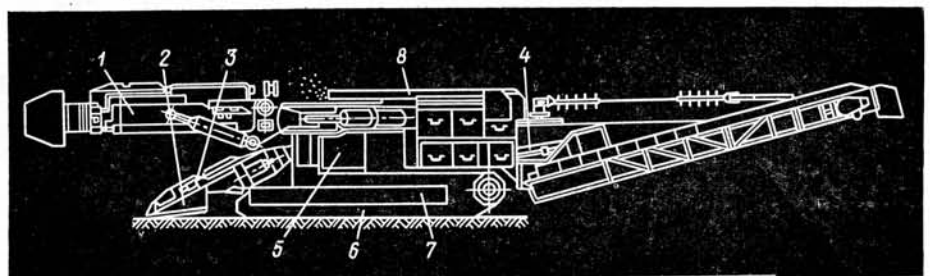
Все работы выполнялись при непосредственном и оперативном участии специалистов СМУ-6. Особый вклад в успех дела внесли проходчики, которые трудились в комбайновом забое.

Технологическая схема оснащения забоя оборудованием (рис. 3) и график организации работ по проходке штольни разработаны институтом ЦНИИподземмаш и СМУ-6.

Штольню сооружало звено из восьми человек в одну (утреннюю) смену. Перед началом работы машинист и его помощник производили профилактический осмотр комбайна. В это

Рис. 1. Комбайн 4ПП-2:

1 — исполнительный орган; 2 — питатель; 3 — нагребающие лапы; 4 — скребковый конвейер; 5 — корпус комбайна; 6 — гусеничный механизм передвижения; 7 — аутригеры; 8 — система пылепогашения



время шесть проходчиков подгоняли под перегружатель состав из 7 порожних вагонеток емкостью по 1,5 м³, устанавливали его на разминовке в околоствольном дворе, грузили лесоматериалы для крепления выработки и доставляли их на специальной платформе к забою.

Разработку забоя начинали как правило с нижней пачки слабых глин. Образованная таким образом дополнительная плоскость обнажения упрощала разрушение средней части забоя, представленной крепкими известняками. Ее разработку, а также верхней части забоя производили вертикальными полосами.

Одновременно горную массу с помощью парных нагребающих лап комбайна подавали на скребковый погрузчик, с которого транспортировали на мостовой ленточный перегружатель. При проходке первых 15 м штольни порода поступала в одиночный вагон, а после монтажа прицепного ленточного перегружателя типа ППЛ-1к — в нерасцепленный состав из 7 вагонеток.

Два проходчика следили за перегрузкой ее в вагонетки, зачищали выработку от просыпавшегося грунта, с помощью маневровой лебедки ЛВД-14 выкатывали вагоны из-под перегружателя. К стволу груженные составы доставлялись электровозом ТКР-1.

После разработки забоя на величину заходки в один метр зачищали по-

дошву выработки и отгоняли комбайн. Затем шесть проходчиков звена приступали к установке крепежной рамы.

Машинист и его помощник в это время осматривали комбайн, очищали перегружатели, натягивали ленты, наращивали прорезиненную вентиляционную трубу, переносили и подвешивали у забоя силовую кабель.

В процессе опытной проходки были организованы трехсменные хронометражные наблюдения цикла работ, которые показали, что средняя продолжительность разработки 1 м забоя составила 74 мин, возведение рамы деревянной крепи с затяжкой боков и кровли выработки и забутовкой закрепного пространства — 78 мин, погрузки одного вагона — 3 мин, а обмен груженого состава на порожний производили за 4—5 мин.

На рис. 4 приведена хронометражная карта, характеризующая затраты времени и труда в течение смены при проходке 1,8 м штольни.

Комбайн 4ПП-2 во время испытаний работал на сооружении штольни 34 рабочих смены. За этот период было пройдено 58 м при средней скорости 1,7 м/смену.

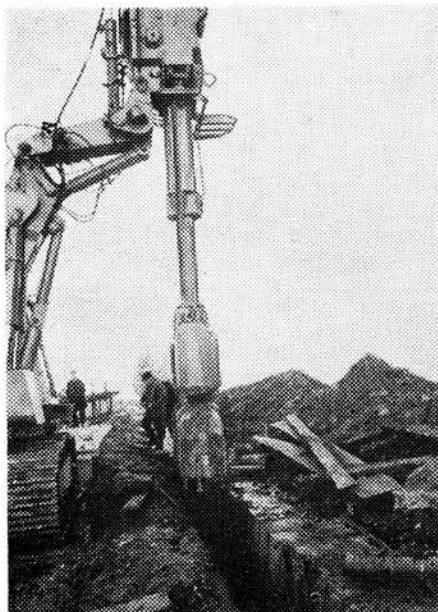
С первых дней работы комбайна были получены устойчивые показатели по темпам проведения выработки и производительности труда проходчиков, которая составила 0,188 м/чел-смену (2,54 м³/чел-смену, наибольшая 3—4).

Производительность комбайна по отбойке и погрузке определялась в среднем 14,4 м³ породы в час. При этом разработано свыше 1 тыс. м³ массива.

Испытания 4ПП-2 на участке подходной штольни ст. «Серпуховская» подтвердили высокую эффективность применения угольных комбайнов в строительстве метрополитенов. Механическое разрушение пород крепостью до $f=6$ рабочим органом агрегата позволило исключить такие трудоемкие операции, как бурение шуров и подкидка породы с боков выработки к ковшу погрузочной машины.

Переход с буровзрывного на комбайновый способ проведения выработки в метростроении значительно повышает безопасность работ. Орошение забоя (путем подачи воды под резцы исполнительного органа), а также хорошо организованная вентиляция создают комфортные условия труда в призабойной зоне. Как показал анализ, уровень пыли на рабочем месте машиниста не превысил допустимых санитарных норм.

Сейчас ведется подготовка к применению 4ПП-2 на сооружении перегонного тоннеля. Дальнейшее освоение проходческих комбайнов со стреловидным рабочим органом и совершенствование их применительно к нашей отрасли может явиться новым этапом в развитии техники отечественного метростроения. □



Сооружение станции «Севастопольская» методом «стена в грунте»



Тюбингоукладчик наклонного хода на станции «Марксистская».

Об усилиях обжатия обделок перегонных тоннелей

П. СТЕПАНОВ, К. БЕЗРОДНЫЙ, О. АНТОНОВ, кандидаты техн. наук

НА ЛЕНИНГРАДСКОМ метрострое обделки, обжатые в породе, получили широкое распространение. Такие конструкции являются основными при сооружении перегонных тоннелей и применяются не только в протерозойских глинах, но и в четвертичных отложениях.

Ленинградской лабораторией ЦНИИСа проведены исследования, ставившие своей задачей выбор оптимального расположения узла разжатия кольца и определение рациональной величины усилия обжатия обделки. Кроме того, устанавливалось распределение усилия обжатия по периметру обделки и определялись потери при переходе на фиксирующие устройства.

Первые обжатые обделку перегонного тоннеля разжимались в грунт гидродомкратами из двух точек, расположенных примерно на уровне горизонтального диаметра кольца. Испытывались две конструкции: специальная тринадцатиблочная из элементов сплошного сечения, повторявшая решение одной из обделок лондонского метро, и из ребристых тюбингов типовой конструкции перегонного тоннеля РБ-5НСК-4. У первой — разжатие колец, имевших полуторную ширину и собиравшихся вне оболочки щита, осуществлялось специальными 30-т домкратами, вставлявшимися в ниши-вырезы блоков. Вторая обделка разжималась спаренными рельсоподъемными 10-т домкратами, распорные лапы которых вводились в радиальный стык блоков.

Положение разжатого кольца фиксировалось в первом случае установкой в распорный стык железобетонных вкладышей, поверх них забивались стальные клинья; во втором — стальными винтовыми шпильками. Для определения усилий в кольце при его обжатии в блоки закладывались тензостолбики, а по внутреннему кон-

туру — мерные базы для съемного компаратора ЦНИИС, позволяющего определять фибровые деформации бетона. Измерения показали, что усилия обжатия в лотке составляют около 20% от распорных усилий на горизонтальном диаметре кольца. При снятии распорных домкратов в первом случае зафиксировано некоторое снижение предварительного напряжения.

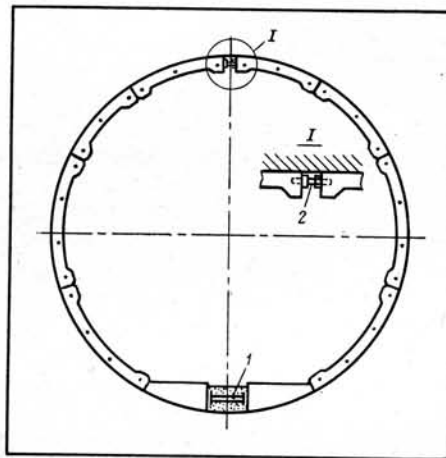


Рис. 1. Кольцо обжатой обделки из тюбингов РБ, оснащенное для измерения усилий в блоках.

Сопоставление данных измерений по съемным компараторам и тензостолбикам выявило определенную нестабильность работы последних. В дальнейшем на опытных участках применялись стальные струнные динамометры, которые устанавливались в радиальные стыки обделки. Исследование технологии монтажа и преднатяжения колец, изучение распределения усилий обжатия в конструкции и их потерь при снятии распорных устройств позволили после первых опытов перейти на обжатие из лотка. Здесь использовались два типа обделки. Первая выполнялась из ребристых блоков типа РБ, вторая —

из гладких 15-см толщины. Ширина колец — 1 м. Обе они имели 10 элементов, включая лотковые.

В обделке из блоков РБ (рис. 1) в специальную нишу в лотке вставлялся гидравлический домкрат и выполнялось разжатие усилием до 30 тс. Зазор фиксировали двумя стальными распорками из обрезков стальных труб 1 с последующим замоноличиванием зазора бетоном марки 300. Для определения усилия разжатия в шельге свода устанавливались струнные динамометры 2 и, кроме того, четыре верхних тюбинга оснащались мерными базами под компаратор. Стальные струнные динамометры, помимо измерительной части (цилиндр, снабженный струной), имеют фиксирующий стержень с одного торца и винтовую шпильку — с другого. Они устанавливаются в радиальные стыки блоков вместо обычных шпилек и фиксируют нормальную силу в этом сечении кольца.

Нарезная шпилька с гайкой дают возможность на любом этапе разгрузить динамометр и извлечь его из стыка, предварительно зачеканив зазор между блоками.

В эксперименте при усилиях 30 тс, приложенном в лотке, до шельги доходило в среднем 4,4 тс, что составляло 14% от нормальной силы в узле разжатия. Остальное затрачивалось на преодоление сил трения по контуру выработки. При сбросе давления домкрата и переходе на фиксирующие устройства уменьшения величины нормальных сил в кольце не отмечалось.

В обделке из сплошных блоков 5-БНЛ-2 (рис. 2) усилие обжатия в лотке доводили также до 30 тс. Зазор от разжатия фиксировался железобетонными клиновыми вкладышами 3. В стык между блоком, находящимся на горизонтальном диаметре кольца и примыкающим к лотковому, устанавливались стальные

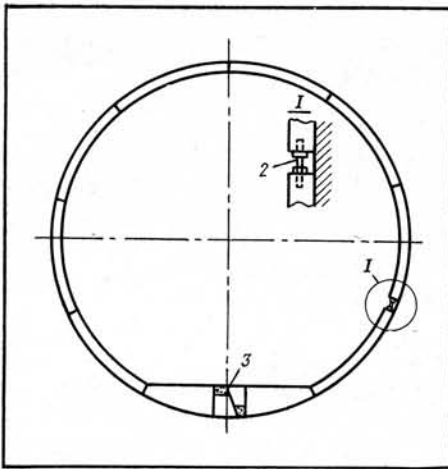


Рис. 2. Кольцо обделки 5-БНЛ-2.

динамометрические шпильки, а измерительными базами под съемный компаратор оснащались все элементы нижней части кольца, кроме лотковых. Замеры показали, что до горизонтального диаметра здесь доходит 36% усилия разжатия в лотке. Потеря усилия разжатия при перехвате его клиновыми железобетонными фиксаторами динамометры не зафиксировали и в этом случае.

Во всех опытах тоннели сооружались в протерозойской глине при проходке механизированными щитами на глубоком заложении. Но обкатка обделка типа 5-БНЛ-2 как наиболее современная использовалась Ленметростроем при проходке перегонного тоннеля немеханизированным щитом на мелком заложении закрытым спо-

собом в пластичных глинах четвертичных отложений. Здесь также проводились измерения усилий в кольцах и изучение технологии возведения обжатой в грунт конструкции.

Особенностью проходки, технологии монтажа и обжатия обделки в данном случае было то, что порода подрезалась ножом немеханизированного щита и обделка собиралась внутри невырезанной снизу его цельной оболочки толщиной 40 мм. По выходе из-под оболочки кольцо распиралось в породу; однако обычного в протерозойских глинах подъема шельги свода не наблюдалось. Грунт, находящийся под нагрузкой вышележащих слоев в вязко-пластическом состоянии, немедленно обжимал обделку, причем давление вскоре достигало величины его полного веса. Измерения усилий при обжатии кольца в этом случае выявили меньшие его потери: на горизонтальном диаметре зафиксировано усилие до 40—43% от распорной силы в лотке. Следует отметить, что разжатие кольца сопровождалось здесь заметным вдавливанием верхних радиальных стыков лотковых блоков в грунт, чего при обжатии в более плотных, сухих протерозойских глинах не отмечалось. Если даже данное явление не привело к значительным потерям усилий обжатия от лотка вверх по кольцу, то можно считать, что силы трения обделки по грунту в четвертичных отложениях значительно ниже, нежели при проходке в протерозойской глине.

В последнем случае при использовании экспоненциальной зависимости потерь усилия обжатия в кольце по мере удаления от точки его приложения коэффициент трения обделки по грунту по результатам измерений находится в пределах 0,6—0,7.

Проведенные исследования усилий обжатия обделки и технологии возведения в условиях строительства в Ленинграде нескольких видов конструкций позволяют сделать следующие выводы:

при обжатии обделки в глинистых грунтах целесообразно применять конструкции с распорным узлом в лотковой части тоннеля (это наиболее удобно технологически и обеспечивает достаточное для эффективной работы кольца усилие по всему периметру);

при разжатии в лотке до горизонтального диаметра доходит в среднем 36%, а до шельги 14% усилия, развиваемого домкратом;

давление в 30 тс представляется достаточным для возведения обжатой конструкции в глинах;

фиксация усилий обжатия железобетонными клиновыми элементами, устанавливаемыми в зазор между лотковыми блоками (по типу конструкции 5-БНЛ-2), является наиболее простым, надежным и технологичным решением. Обделка 5-БНЛ-2 может быть рекомендована для широкого внедрения на строительстве метрополитенов. □

Взаимодействие рам временного подкрепления боковых тоннелей и постоянных несущих конструкций колонных станций глубокого заложения

С. СИЛЬВЕСТРОВ, С. МАНДРИКОВ, кандидаты техн. наук

ПРИ СООРУЖЕНИИ новых колонных станций глубокого заложения «Выборгская», «Лесная», «Академическая» Кировско-Выборгской линии Ленинградского метрополитена проектом Ленметростроя в боковых тоннелях предусматривалась установка переставных инвентарных стальных рам временного подкрепления (рис. 1) с шагом 1,5 м. Рама вводилась в работу подбивкой бетона в пространство между ее криволинейным ригелем и обделкой сводовой части бокового тоннеля. Монтаж рам и колонн предшествовал

проходке среднего тоннеля, которая начиналась с временным подкреплением в боковых — на участке в 45 м.

В результате натурных наблюдений, выполненных Ленинградской лабораторией ЦНИИС, на метрострое при участии маркшейдерской службы удалось выявить взаимодействие работы временных и постоянных конструкций в зависимости от этапов сооружения среднего тоннеля и проследить развитие нагрузок от горного давления в процессе эксплуатации.

Нагрузка на временные и постоянные конструкции начинала ощущать-

ся за 10—15 м до подхода к ним забоя верхнего уступа среднего тоннеля. Наибольшая скорость ее роста на раму и колонну была при проходе и некотором удалении забоя от конструкций. На станции «Лесная» отмечалась высокая скорость оседания маркированных точек (в среднем 15 мм) в шельге свода боковых тоннелей; замечалось предельное смещение и некоторый поворот тубингов ОЧС в сторону среднего тоннеля (на 26 мм), сопровождаемое появлением зазоров (до 20 мм) на стыках этих тубингов со сводовой обделкой боко-

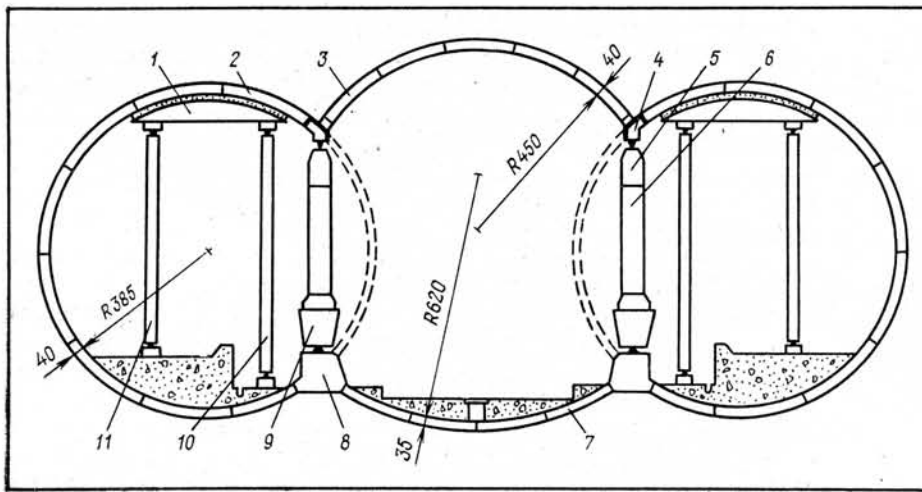


Рис. 1. Поперечное сечение конструкции колонной станции:

1 — ригель рамы временного подкрепления; 2 — сборная железобетонная обделка бокового тоннеля; 3 — то же среднего тоннеля; 4 — опорный чугунный тубинг ОЧС; 5 — верхний стальной ригель; 6 — стальная колонна; 7 — сборная обделка из железобетонных блоков сплошного сечения; 8 — фасонный железобетонный блок ФБС; 9 — неразрезная балка (ригель) из монолитного железобетона; 10 и 11 — соответственно стойки I и II групп рам временного подкрепления.

вого; наблюдался предельный (12 мм) наклон верха колонн в сторону среднего тоннеля, а их низ и опорные блоки ФБС практически оставались на месте.

Развитие общих деформаций конструкции в этот период объясняется выемкой грунта при очередных заходках на верхнем уступе, под влиянием которой частично разгружается обделка временного заполнения боковых тоннелей и развивается горное давление со стороны их сводов. В результате последняя выполаживается, что вызывает наклон верха колонн в сторону среднего тоннеля и, как следствие, поворот и смещение в ту же сторону тубингов ОЧС. Дальнейшему смещению верха колонн в направлении среднего зала препятствуют обделка верхнего свода среднего тоннеля, которая нагружается развивающимся горным давлением, и временное подкрепление в боковых.

При сооружении верхнего свода величина нормальной силы в рамах достигала в среднем 60 тс для стоек I группы (ближе к оси станции) и 30 тс для стоек II группы (рис. 2), а в колоннах станций «Выборгская» и «Академическая» не превышала 40% предельной расчетной. Во время возведения обратного свода среднего тоннеля (при приближении забоя нижнего уступа к рассматриваемым конструкциям и при некотором удалении этого забоя от них)

скорость оседания маркированных точек в шельге сводов боковых и среднего тоннелей значительно снижалась (величины оседаний не превышали 20 мм для первых и 30 мм для второго тоннелей); нижние части тубингов ОЧС смещались в обратную сторону в среднем на 7 мм, после чего их положение практически не менялось, а отмеченные ранее зазоры на стыках тубингов ОЧС с обделкой существенно уменьшались или исчезали; наблюдались предельные смещения низа колонн (на 15 мм) и опорных блоков ФБС (на 8 мм) в сторону среднего тоннеля, причем блоки ФБС оседали приблизительно на 19 мм.

Общие деформации конструкции, особенно развивавшиеся в момент сооружения обратного свода, вызывали временную разгрузку колонн (нормальная сила в них уменьшалась на 100÷500 тс), но практически не сказывались на характере роста нормальной силы в стойках рам временного подкрепления, расположенных у рассматриваемых колонн. Постепенный рост нормальной силы в стойках (см. рис. 2) не изменялся вплоть до их демонтажа при удалении забоя

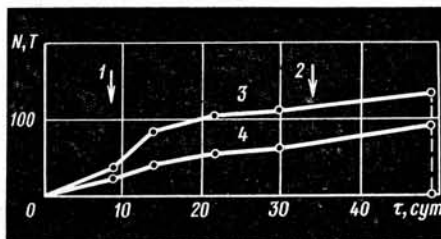


Рис. 2. График развития усилий в стальных стойках П-образной рамы временно подкрепления бокового тоннеля:

1 и 2 — момент прохождения забоев соответственно верхнего и нижнего уступов среднего тоннеля через створ рамы; 3 и 4 — развитие усилий во времени соответственно в стойках рам I и II.

нижнего уступа от рассматриваемой рамы на 30—40 м. Максимальная нормальная сила в стойках, измеренная непосредственно перед демонтажом рам и после их разгрузки, не превышала 140—170 тс для I группы и 100 тс — для II, т. е. соответственно 60—75% и 45% от их предельной расчетной величины.

Следует отметить, что непосредственно после демонтажа рамы и спустя несколько часов заметно не увеличивалась нормальная сила в примыкающей колонне. Кроме того, перед демонтажом рам в некоторых стойках практически прекратился рост нормальной силы и даже наблюдалось небольшое ее уменьшение. Это может свидетельствовать о том, что основную нагрузку от развивающегося горного давления воспринимают колонны станции.

На основании натуральных исследований статической работы рам временного подкрепления боковых тоннелей их шаг установки был увеличен до 2,25 м при сооружении станции «Академическая» и второй половины станции «Выборгская». Однако это не изменило характера нагружения стоек и максимальной величины нормальной силы в них по сравнению с шагом 1,5 м (то же в колоннах). Следует подумать о дальнейшем увеличении шага рам до 3—3,75 м, чтобы каждая рама временного подкрепления устанавливалась либо напротив колонны, либо напротив стыка двух соседних ригелей.

После некоторой временной разгрузки колонн к моменту сооружения обратного свода среднего тоннеля в них наблюдался рост нормальной силы. Сначала он происходил достаточно быстро, а затем заметно уменьшался. На станциях «Лесная» и «Выборгская» за последние 10 месяцев после ввода колонных комплексов в работу приращение нормальной силы в исследуемых колоннах не превышало 150 тс. К этому времени максимальная нормальная сила в стальных колоннах составила на «Лесной» 67%, а на «Выборгской» 59% предельных расчетных величин.

При строительстве следующей на Кировско-Выборгской линии колонной станции «Гражданская» средний тоннель проходили при наличии впереди забоя рам временного подкрепления в обоих боковых тоннелях на участке в 16—18 м вместо 45 м. Такое уменьшение длины вполне обосновано и способствует ускорению строительства станций.

Сейсмостойкая конструкция колонной станции открытого способа

А. СЕМЕНОВ, Г. ОГАНЕСОВ, инженеры

ИНЖЕНЕРАМИ Ташметропроект в содружестве с сотрудниками Метрогипротранса, ЦНИИСа, треста Ташметрострой и Института механики и сейсмостойкости сооружений АНУзССР разработана новая сборная сейсмостойкая конструкция станционной обделки из крупноразмерных объемных железобетонных элементов. Основные внутренние габариты станции сохранены по типовому проекту — ТС-109 с продольным шагом колонн — 6 м. Средний зал, в отличие от типового, имеет сборное сводчатое перекрытие.

Основная несущая конструкция станционной обделки и платформа монтируются из укрупненных железобетонных элементов заводского изготовления семи типоразмеров: С-образного (СО-1) для бокового тоннеля, Т-образного (СО-2) для колонной части, опорного подколонника (СОФ-1), нижнего (СОФ-2) и верхнего (СО-3) элементов среднего зала и двух элементов (П-13 и П-14), состав-

ляющих платформу. Для сопоставления сейсмостойкой конструкции с типовым решением (ТС-109) и построенными в Ташкенте станциями на рис. 1 изображены их поперечные сечения.

Монолитный бетон предусматривается только для омоноличивания стыков в местах сопряжения элементов и составляет 11% от общего объ-

ема конструкций (вместо 50% на существующих станциях с опорной плитой из монолитного железобетона).

Массы и геометрические размеры элементов приняты возможно большими с учетом удобства изготовления, подъема и перемещения в заводских условиях, а также транспортировки от завода-изготовителя до строительной площадки, простого и

Рис. 2. Сейсмостойкая станция нового типа.

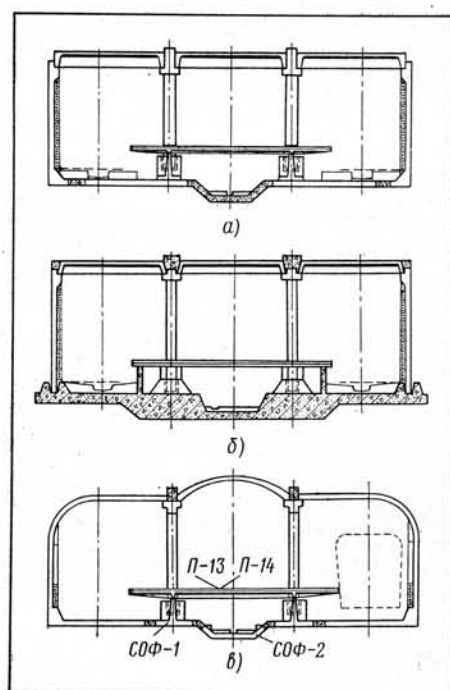
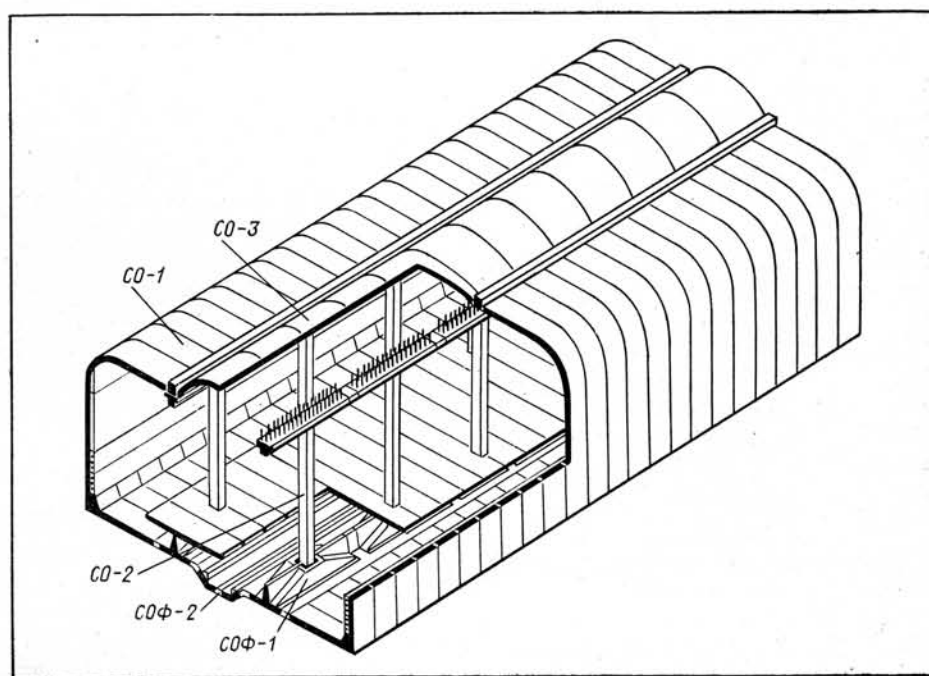


Рис. 1. Поперечные разрезы станций: а — колонного типа по ТС-109; б — Ташкентского метрополитена; в — из объемных элементов.



Железобетонные элементы на станцию (L=102 м)

Таблица 1

Марка элемента	Размеры, мм	Вес, т	Расход на один элемент		Количество штук на станцию
			бетона, м ³	стали, кг	
СО-1	6680×5990×1480	17,97	7,19	1596,3	136
СО-2	6330×5400×500	9,23	3,69	1521,0	34
СО-3	5500×3000×300	12,7	5,1	941,7	34
СОФ-1	5400×1600×1530	19,48	7,79	1925,1	34
СОФ-2	5400×3178×300	13,68	5,47	1213,3	17
П-13	10000×1480×350	3,0	1,2	84	34
П-14	10000×1480×350	3,0	1,16	82	34
МС-7	4025×540×200	0,75	0,3	13,6	300

быстрого монтажа. При этом учитывалась правильность работы конструкции во время и после сборки.

Массы блоков основной конструкции измеряются величинами от 9,23 до 19,48 тс при длине до 6,7 м, платформы — 3 тс при длине 10, ширине 1,48 и высоте с ребрами — 0,35 м.

Станционная обделка из крупно-размерных элементов, омоноличенных в единую прочную пространственную конструкцию, обладает большей сопротивляемостью сейсмическим воздействиям. При монтаже она позволяет снизить трудозатраты на 30%, так как количество операций на погонный метр по сравнению с типовым проектом ТС-109 сокращается с 8,75 до 6,1, а в отличие от колонных станций, построенных в последние годы, число монтажных единиц снизилось более чем на 40% (рис. 2, таблица 2). При возведении основной конструкции козловой кран ККТС-20 используется наиболее эффективно.

Элементы СО-1 бокового тоннеля и СО-3 среднего свода в продольном направлении имеют антисейсмические (они же монтажные) связи в виде стальных пластин, приваренных к закладным деталям.

Лотковые СОФ-1, СОФ-2 и элементы СО-2 колоннады в продольном направлении в пределах между деформационными швами путем сварки арматурных выпусков и омоноличивания соединены между собою в жесткую непрерывную конструкцию. Это — необходимое и главное условие требуемого сопротивления подземной конструкции сейсмическим воздействиям.

Сооружение платформенной части предусматривается в такой последовательности (рис. 3): в котловане после устройства бетонной подготовки и гидроизоляции монтируются фундаментные блоки СОФ-1, СОФ-2 с омоноличиванием сопряжений и заливкой швов между ними. Затем укладываются блоки СО-2 колоннады и СО-1 путевых тоннелей, которые фиксируются и закрепляются в вертикальном положении инвентарными винтовыми стяжками (подкосами), закрепленными за монтажные петли. Растроповка СО-2 и СО-1 производится только после их закрепления. После установки путевых блоков ведется бетонирование их сопряжений с фундаментными элементами СОФ-1.

Лотковые блоки СОФ-1, СОФ-2, а также СО-1 путевых тоннелей укла-

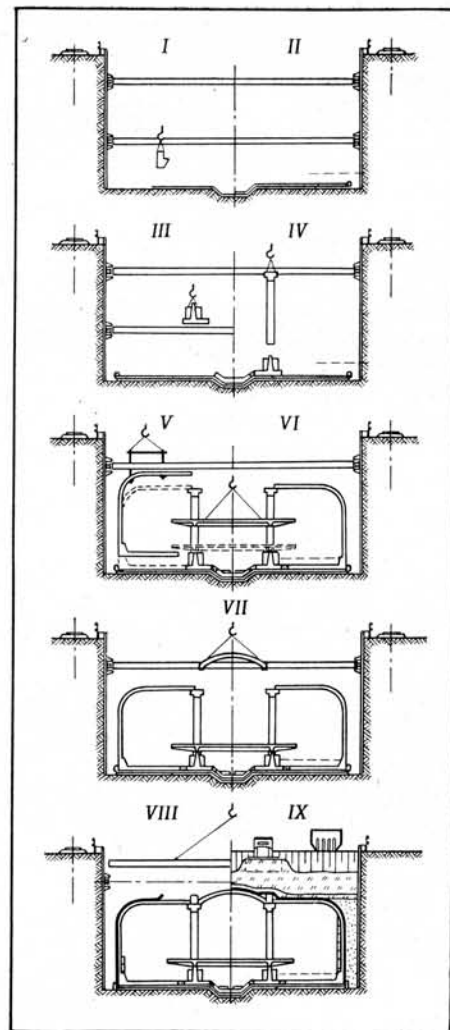
Рис. 3. Фазы монтажа:

I — устройство бетонной подготовки и шпунда; II — устройство выравнивающей стяжки, наклейка гидроизоляции; III — монтаж фундаментных блоков СОФ-2, СОФ-1 и их омоноличивание; IV — демонтаж нижнего яруса расстрелов. Установка блоков СО-2 и их омоноличивание; V — монтаж стеновых С-образных блоков, их омоноличивание; VI — монтаж платформенных плит П-13, П-14 и их омоноличивание; VII — монтаж плит перекрытия среднего зала; VIII — монтаж трубблоков МС-7. Подготовка поверхности и гидроизоляция стен и перекрытия; устройство защитного слоя по гидроизоляции; засыпка пазух котлована гравелистым песком с уплотнением поливом водой. Демонтаж верхнего яруса расстрелов; IX — засыпка конструкции местным грунтом оптимальной влажности (17÷18%) с уплотнением катком слоями 0,2-0,3 м. Извлечение свай.

дываются на защитный слой гидроизоляции с предварительной подливкой пластичного цементно-песчаного раствора для обеспечения сплошного контакта с поверхностью основания.

Перед монтажом элементов СО-3 свода среднего зала устанавливаются плиты П-13 и П-14 платформы, куда складываются кабельные стандартные блоки МС-7. Затем производится монтаж, сварка и омоноличивание элементов СО-3 с СО-1 и СО-2.

Повышенный процент сборности конструкций из железобетонных элементов заводского изготовления позволит сократить срок строительства на 25%, снизить трудоемкость монтажных работ на 39%, количество типоразмеров на платформенный участок станции уменьшить на 30%.



Сравнение технико-экономических показателей платформенного участка длиной 102 м приведено в таблице 2.

Таблица 2

Наименование показателей	Ед. изм.	Типовая станция по ТС-109	Станция Ташкентского метрополитена	Станция сейсмостойкая нового типа
Объем сборного железобетона . . .	м ³	1815	1484	1805
Объем монолитного железобетона . . .	м ³	202	1923	180
Количество типов элементов	шт	9	8	7
Число монтажных единиц на всю платформенную часть	шт	8,2	910	623
Количество монтажных единиц на 1 пог. м	шт	8,75	8,82	6,1
Объем железобетона на 1 пог. м:				
сборного	м ³	17,8	14,4	17,7
монолитного	м ³	2,07	18,7	1,76
Масса арматуры, стали на 1 пог. м	т	3,2	6	4,1
Процент сборности	%	89,5	43,2	91
Трудозатраты на 1 пог. м	чел-час	111,6	135	97

Как видно из таблицы, колонная сейсмостойкая конструкция станции открытого способа работ может заменяться на строительстве метропо-

литенов мелкого заложения как в сейсмических, так и несейсмических районах.

Крепление горных выработок в СПОНДИЛОВЫХ ГЛИНАХ

Д. ГОЛИЦЫНСКИЙ, канд. техн. наук;
Г. КАЛИНИЧЕНКО, зам. главного инженера Киевметростроя;
В. САНКОВИЧ, начальник СМУ-4 Киевметростроя;
В. ЛАЙКИН, инженер

ИНЖЕНЕРНО - ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ условия, в которых осуществляется строительство новых линий Киевского метрополитена глубокого заложения, представлены в основном толщей спондиловых глин. Проведение горных выработок в этих породах характеризуется длительными процессами перераспределения напряжений и стабилизации деформаций, на характер проявления которых существенно влияет скорость проходки и время возведения крепи.

Несмотря на то, что применяемые в настоящее время конструкции тоннельных обделок позволяют полностью или частично механизировать процесс возведения основных подземных сооружений (перегонных и станционных тоннелей), в общем комплексе горных выработок при сооружении линий Киевского метрополитена глубокого заложения значительный объем (17—25%) составляют различного рода вспомогательные — камеры, ходки, штольни. Последние отличаются небольшой протяженностью, различным геометрическим очертанием поперечного сечения, значительным количеством типоразмеров, вследствие чего крепление их осуществляется в основном вручную.

В качестве временной крепи таких выработок применяют лес и металл. Постоянная обделка возводится либо из монолитного бетона, либо из сборных железобетонных блоков. Устройство как временной крепи, так и постоянной обделки требует больших материальных и трудовых затрат. Поэтому вопросы снижения трудоемкости и стоимости крепления таких выработок имеют важное значение.

На основе современных теоретических данных о взаимодействии обделок горных выработок с массивом слабых пород наиболее перспективны податливые набрызг-бетонные конструкции, являющиеся составным элементом системы «порода — обделка».

Набрызг-бетон широко используется на строительстве горных железнодорожных, автодорожных и гидротехнических тоннелей (в основном в скальных породах). При сооружении метрополитенов

в Советском Союзе набрызг-бетон до настоящего времени практически не применяли, за исключением опытных участков в Тбилиси и Ленинграде.

Особый интерес представляют результаты исследований, полученные на опытном участке Ленметростроя. Здесь выработку длиной 8 м и сечением 10,9 м², пройденную в протерозойских глинах, закрепляли набрызг-бетоном толщиной 10—12 см*. Хорошее состояние обделки в течение более двух лет характеризует надежную работу такой конструкции, способную воспринимать значительные нагрузки от горного давления (2,86 кгс/см²) при минимальных общих деформациях. Анализ и обобщение результатов этих исследований послужили основанием для проведения опытных работ по внедрению набрызг-бетона в слабых породах в Киеве.

На стадии подготовки натурального эксперимента в лаборатории моделирования тоннелей ЛНИИЖТа предварительно изучили статическую работу набрызг-бетонной обделки на моделях из эквивалентных материалов с учетом технологии и производства работ по проходке выработки и возведению обделки. Характеристики материалов подбирали на основании данных для натуральных условий с учетом масштабов моделирования и законов механического подобия. Нагрузки изменялись ступенями от 20% до 200% γH . Результаты экспериментов показали, что выработка, закрепленная набрызг-бетоном, резко ограничивает деформации ее контура и активно взаимодействует с прилегающим породным массивом.

Моделирование выработки кругового очертания диаметром 3,2 м с крепью из набрызг-бетона толщиной 15 см, заложенной в спондиловой глине, показало, что такая конструкция способна выдерживать значительные нагрузки. Даже после появления трещин в обделке она не теряет своей несущей способности. Данные измерения напряжений на внутренней поверхности конструкции свидетель-

ствуют, что основными напряжениями являются сжимающие, а растягивающие возникают только при больших неравномерных нагрузках (рис. 1).

Высокая прочность в раннем возрасте, хорошее сцепление с покрываемой поверхностью породного контура, короткие сроки схватывания и особенности технологии нанесения набрызг-бетона оказывают существенное влияние на характер взаимодействия конструкции с окружающим массивом слабых пород. Вследствие этого ее статическая работа отличается от работы традиционных обделок в аналогичных условиях. Принципиальная особенность рассматриваемой крепи заключается в том, что она, образуя промежуточный слой, создает единую систему «порода — набрызг-бетон». Происходит увеличение эффективной толщины обделки за счет омоноличивания приконтурного слоя породы вокруг выработки. Поэтому при расчете необходимо учитывать совместную работу набрызг-бетонной обделки и омоноличенного приконтурного слоя породы, которые должны быть представлены в единой схеме взаимодействия слабой породы и конструкции (т. е. рассматривать двухслойную конструкцию).

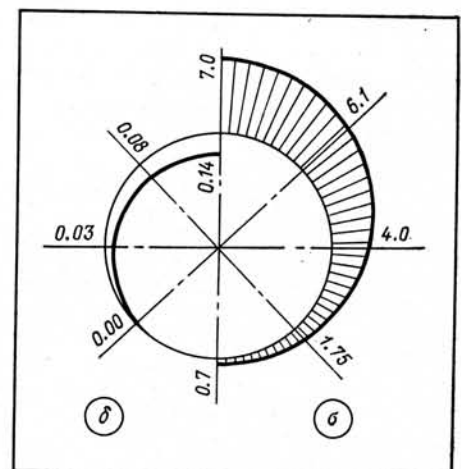


Рис. 1. Эпюры радиальных перемещений δ и напряжений σ при нагрузке на модель $P=1,21$ кгс/см².

* См. «Метрострой», № 2, 1976, стр. 12—14.

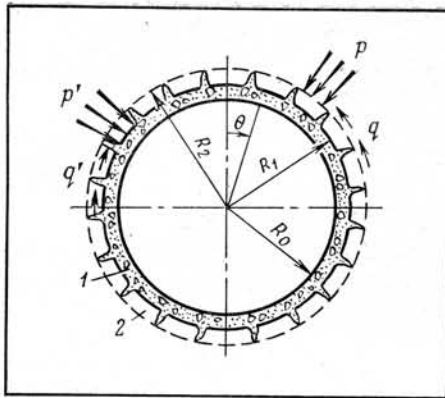


Рис. 2. Расчетная схема обделки из набрызг-бетона:
1 — набрызг-бетон; 2 — бетонопородный слой.

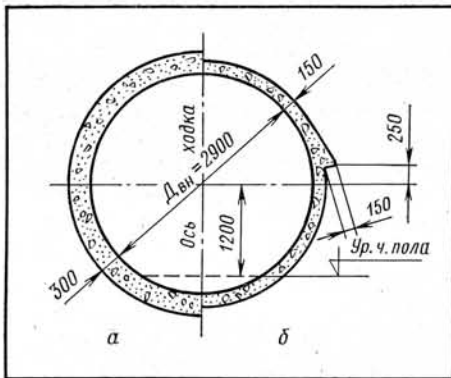


Рис. 3. Конструкция обделки из монолитного бетона а и набрызг-бетона б.

Применительно к набрызг-бетонным обделкам могут быть использованы общие положения расчета многослойной крепи (с учетом прочного сцепления набрызг-бетона с породой). В качестве условия прочности на контакте «порода — обделка» при величине касательных нагрузок на обделку $q_2 = 2p_2$ (наиболее неблагоприятное сочетание) можно принять

$$p_2 < \frac{p_0 f^* + k^*}{\sqrt{4 + (f^*)^2}}, \quad (1)$$

где

$$p_2 = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{2}$$

$$p_0 = \frac{p_{\max} + p_{\min}}{2},$$

p_{\max} и p_{\min} — нормальные (соответственно максимальная и минимальная) к поверхности обделки нагрузки;

$f^* = \lg \varphi_k^*$ — коэффициент трения по контакту «обделка — порода» (φ_k^* — угол трения по контакту);

k^* — сцепление по контакту.

Связь набрызг-бетонной обделки и породы должна быть прочной. При выполнении этого условия (1) конструкцию обделки рассчитывают как двухслойное кольцо (рис. 2).

Нагрузка на наружный (бетонопородный) слой определяется на основании данных натурных исследований или расчетов по действующим нормативным документам.

После вычисления радиальных p' и касательных q' нагрузок на внутренний слой определяют толщину d набрызг-бетонной обделки, пользуясь основными зависимостями расчета двухслойных конструкций.

Таким образом, изложенные теоретические предпосылки статической работы набрызг-бетонной обделки как грузонесущей конструкции в слабых породах и проведенные предварительные исследования на моделях из эквивалентных материалов позволили рекомендовать ее в качестве обделки опытной выработки.

С целью экспериментальной проверки возможности и целесообразности применения набрызг-бетона в качестве обделки горных выработок, расположенных в спондилитовых глинах Киевского яруса, в СМУ-4 Киевметростроя организовали опытный участок. Проектом предусматривалось сооружение ходка кругового очертания диаметром 3,5 м с обделкой из монолитного бетона толщиной 30 см марки 200. Толщина обделки опытной выработки из набрызг-бетона 15 см, величина наружного диаметра 3,2 м (рис. 3).

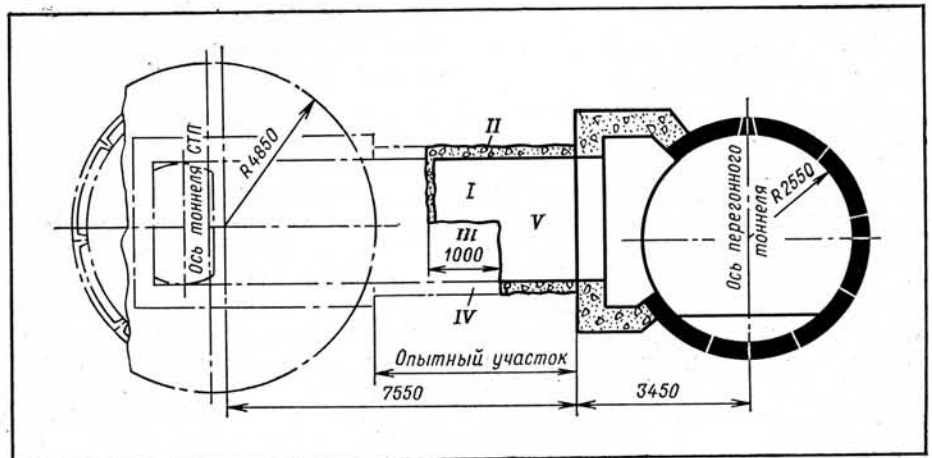
Перед началом проходческих работ была возведена рама сопряжения, а в

перегонном тоннеле укомплектован подземный узел для приготовления сухой смеси и транспортирования ее к месту укладки. Подземный узел состоял из машины для набрызг-бетона СБ-67, бетоносмесителя С-739 с загрузочным устройством и места для складирования материалов. Цемент, песок и щебень доставлялись к месту производства работ в вагонетках емкостью 1,5 м³.

В соответствии с предложенной методикой опытную выработку соорудили способом нижнего уступа с опережением верхней части забоя на длину заходки 1 м (рис. 4).

Верхнюю часть сечения I разрабатывали на величину заходки под защитой рамы сопряжения. Сразу после этого на поверхность свода наносили слой набрызг-бетона II толщиной 3—5 см (в пятах до 10 см) в направлении снизу вверх круговыми движениями сопла. Благодаря действию ускорителя (фтористый натрий) конец схватывания цементного теста наступал в течение 3—5 мин, что позволило разрабатывать нижнюю часть III выработки под защитой этой обделки практически без технологических перерывов. Слой набрызг-бетона толщиной 3—5 см служил временной крепью, предохраняющей породу от подвижек и вывалов вследствие «заколов» лучше, чем традиционное деревянное крепление. После разработки породы бетон набрызгивали на стены и лоток на толщину 10 см IV. Затем толщину обделки по всему периметру доводили до расчетной путем нанесения двух слоев на свод и одного на стены и лоток толщиной 5 см V. Рабочее давление воздуха при этом поддерживалось постоянным в течение всего процесса набрызга и составляло в зависимости от длины материального шланга 1,2—1,4 ати, что позволило бес-

Рис. 4. Схема расположения опытной выработки и порядок производства работ.



печить минимальный отскок и высокое качество материала. Для контроля толщины слоя набрызг-бетона по всему периметру устанавливались стальные маяки длиной 15 см. Работы производились в одну смену бригадой проходчиков из 5 человек.

На опытном участке решили крепить лоб забоя набрызг-бетоном толщиной 3—5 см в период проходки и 8—10 см — при более длительных перерывах (во время консервации). Наблюдение за состоянием крепления проводили двумя мерными базами, а после появления трещин — по маячкам из расширяющегося цемента.

Растягивающие напряжения обнаружены в период разработки и бетонирования торцевой стены СТП, что привело к появлению трещин. Однако устойчивость лба забоя, закрепленного набрызг-бетоном, не нарушалась, а в дальнейшем раскрытие трещин прекратилось.

Для обеспечения качества набрызг-бетона его состав подбирался расчетом и уточнялся пробными нанесениями. При производстве сухой смеси применялся шлакопортландцемент марки 300 производства Корчеватского завода. Инертными заполнителями служили речной днепровский песок с модулем крупности $M_k=1,65$, песок кварцевый $M_k=2,76$, щебень фракции 20 Пеннзевичского карьера. Естественная влажность заполнителей составляла 5—8%. В результате подбора установлен следующий расход материалов на 1 м³ сухой смеси: цемента — 280 кг, щебня — 524, песка — 709 кг. Для сокращения сроков схватывания цементного теста (до 5 мин) в сухую смесь добавляли порошкообразный ускоритель — технический фтористый натрий NaF в количестве 1% от веса цемента.

Фактическая прочность набрызг-бетона определялась разрушением образцов-цилиндров ($h/d=1$), которые выбуривались непосредственно из обделки ходка станком ИЭ 1801. Параллельно устанавливали прочность склерометрическим методом с применением молотка Кашкарова. По результатам этих измерений средняя прочность набрызг-бетона в возрасте 130 суток составила: в своде — 210, в стенах — 261 кгс/см².

Как видно из рис. 4, выработка располагалась между ранее пройденным переходом Ø5,5 м и сооружаемым тоннелем СТП Ø8,5 м. Это позволило в процессе сооружения ходка исследовать влияние изменяющегося во времени горного давления на статическую работу обделки из набрызг-бетона. Формирование горного давления и его влияние на обделку обуславливалось не только прокладкой самого ходка, но и изменяющим-

ся полем напряжений в массиве спондиловой глины от продвигающегося забоя тоннеля СТП. Кроме того, при разработке породы под торцовую стену СТП сняли боковой отпор с обделки ходка. В результате появилась возможность исследовать статическую работу обделки при больших неравномерных нагрузках и неблагоприятных технологических факторах и определить ее надежность как грузонесущей конструкции. Как показали наблюдения, снятие бокового отпора не оказало существенного влияния на характер статической работы — на внутренней поверхности обделки растягивающих напряжений не зафиксировали.

Исходя из натурных наблюдений в течение 10 месяцев за состоянием обделки из набрызг-бетона, можно сделать следующие выводы:

установлена возможность применения набрызг-бетона для крепления горных выработок, расположенных в спондиловых глинах;

крепь из набрызг-бетона достаточно надежная грузонесущая конструкция. Отсутствие растягивающих напряжений на внутренней поверхности и незначительные деформации по диаметру (0,7—1,5 см) указывают на рациональную статическую работу такой конструкции как составного элемента системы «порода — обделка», способную приспосабливаться к изменяющемуся горному давлению и воспринимать значительную неравномерную нагрузку;

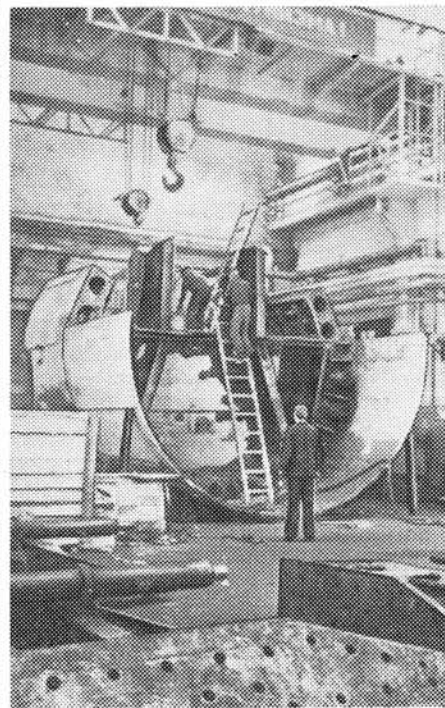
применение набрызг-бетона для возведения обделок горных выработок является развитием прогрессивного метода безопалубочного бетонирования, исключая промежуточные операции: установку временного деревянного крепления, опалубки, производство работ по нагнетанию цементно-песчаного раствора и др.;

в результате использования набрызг-бетона для возведения обделки ходка диаметром 3,2 м взамен монолитного бетона стоимость 1 пог. м сооружения снижена на 134 руб., а трудоемкость работ уменьшилась втрое;

в дальнейшем процесс возведения обделки из набрызг-бетона может быть полностью механизирован путем применения совмещенного рабочего органа (состоящего из механизма резания породы и манипулятора для нанесения набрызг-бетона), а также индустриализации вспомогательных процессов по приготовлению сухой смеси.

Особенности статической работы обделки из набрызг-бетона открывают широкие возможности для совершенствования тоннельных конструкций. □

На заводах метростроя



Механический завод № 1 Московского метростроя. Ремонт горнопроходческого оборудования



В модельной мастерской Черкизовского завода ЖБК ведется подготовка к пуску Калининского радиуса. На снимке: изготовление буквенных форм названий новых станций

Расчет ограждений котлованов, закрепленных анкерами

И. МАЛЫЙ, инженер

ПРИМЕНЕНИЕ анкерного крепления ограждения котлована взамен расстрелов дает существенные экономические и технические преимущества, особенно в стесненных городских условиях. Анкерное крепление может применяться с различными типами ограждения. Общую схему его проектирования можно представить в следующем виде:

выбор типа ограждения с учетом инженерно-геологических условий, конструкции и размеров объекта, условий смежной застройки, экономических соотношений и т. д.;

предварительное назначение числа рядов анкеров в зависимости от глубины котлована;

определение нагрузок. Расчет необходимых усилий в анкерах, их шага в ряду и глубины заделки ограждения из условия статического равновесия;

выбор типов анкеров. Предварительный расчет их длины и несущей способности по грунту. Подбор материала и диаметра тяги;

проведение пробных испытаний на строительной площадке в заданных инженерно-геологических условиях и установление фактической несущей способности выбранных типов анкеров;

уточнение числа рядов и шага анкеров в каждом ряду;

окончательный расчет общей устойчивости системы «ограждение — анкера — массив грунта».

Фактическая несущая способность анкера по грунту прежде всего определяется формированием зоны заделки, формы и размеры которой в свою очередь зависят: от объема закаченного раствора и давления нагнетания; от проницаемости окружающих грунтов; от возможных разрывов (нарушения сплошности), которые могут возникнуть при нагнетании. Перечисленные факторы невозможно учесть аналитически, в связи с чем расчетные методы определения несущей способности анкеров весьма приближены и могут быть использованы только для предварительного расчета. Его рекомендуется производить по формуле:

$$\Phi_n = \pi \cdot k \cdot m \left[D \sum_i f_i^n l_i + 0,25 (AC^n + B \gamma h) (D^2 - a_n^2) \right]$$

$K=0,6$ — коэффициент однородности грунта,

m — коэффициент условий работы, зависящий от типа анкера и способа его устройства,

D_n — диаметр уширения или условной зоны инъекции, м,

f_i — нормативное сопротивление i -го слоя грунта по боковой поверхности, тс/м²,

l_i — толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью анкера, м,

A, B — безразмерные коэффициенты, зависящие от нормативного значения угла внутреннего трения грунта,

C^n — нормативное удельное сцепление грунта, в рабочей зоне по СНиП — П—15—74, тс/м²,

γ — объемная масса грунта, т/м³,

h — глубина заложения центра уширения от поверхности, м

Оценка несущей способности различных типов анкеров приведена в «Руководстве по проектированию и технологии устройства анкеров подземных сооружений», разработанном ВНИИГСом и ЦНИИСом. Действительная несущая способность Φ определяется пробными испытаниями (не менее трех анкеров) для каждого слоя, в котором находится рабочая часть анкера.

Потеря общей устойчивости ограждения — одно из тяжелых аварийных состояний. Оно наиболее вероятно, если основание сложено разнородными грунтами и расположено на откосе или круто спадающих пластах.

Существует метод определения общей устойчивости, где рассматривается равновесие вдоль предельной линии скольжения в виде окружности, проходящей через основание ограждения (метод круглоцилиндрических поверхностей). Его недостаток для рассматриваемого случая в том, что не учитывается перераспределение усилия, которое может быть вызвано грунтовым анкером. Кроме того, метод круглоцилиндрических поверхностей применим лишь в очень глубоких котлованах в связных грунтах. На рис. 1 представлена расчетная схема, известная как метод Кранца. Здесь рассматривается равновесие си-

стемы «ограждение — анкера — массив грунта, трапециевидальной формы». Предполагается, что образуется плоскость скольжения, проходящая через нижнюю точку поворота стены и центр зоны заделки анкера. Далее рассматривается равновесие возможного отсека обрушения грунта, принимаемого за жесткий диск.

Силы, действующие на отсек обрушения:

реакция анкера A , где величина A' — максимальное значение, обеспечивающее устойчивость;

P_a — сумма активных давлений на стенку;

Q — реакция грунта;

W — собственный вес;

P_b — давление грунта со стороны заделки.

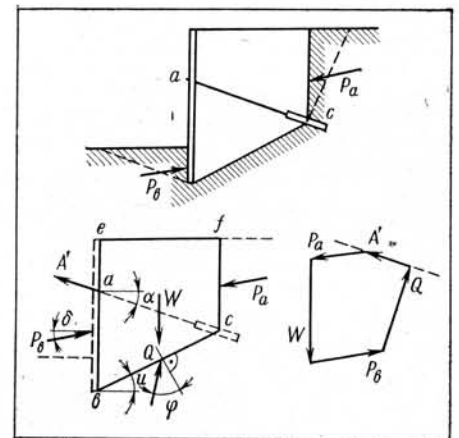


Рис. 1

Строится многоугольник сил P_a, W, P_b и определяется Q , направленное под углом φ к нормали линии BC и максимальное значение A' (рис. 1).

Аналитическое выражение для определения горизонтальной составляющей реакции анкера в этом случае можно представить формулой:

$$A'_r = \frac{P_a - P_b + [W - (P_a - P_b) \operatorname{tg} \delta] \times \operatorname{tg} (\varphi - \psi)}{1 + \operatorname{tg} \alpha \times \operatorname{tg} (\varphi - \psi)}$$

Считается, что общая устойчивость обеспечена, если

$$A' \geq \eta A,$$

где A' — определяемое усилие,

η — коэффициент безопасности, обычно $\eta = 1,5$

A — реакция анкера, необходимая для обеспечения устойчивости стенки,

φ — угол внутреннего трения грунта.

Теплопотери подземных сооружений с чугунной тубинговой обделкой

Б. ШКУРКО, канд. техн. наук; В. НЕЧАЕВ, инженер

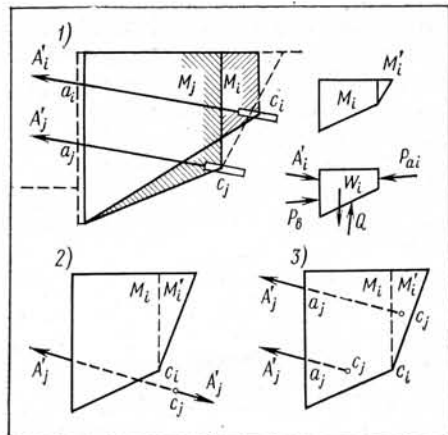


Рис. 2

Метод Кранца применим также в случаях двух и более рядов анкеров. Для каждого уровня анкеровки определяются точки a_i, c_i, a_j, c_j и рассматривается равновесие массивов M_i и M_j (рис. 2, 1). Устойчивость обеспечена, если для каждого из массивов

$$A'_j \geq \eta A_i$$

В расчете должно учитываться взаимодействие уровней анкеровки, которое зависит от расположения фиктивной точки c_j по отношению к грунтовому комплексу M_i, M_i' . Если c_j находится вне массива M_i, M_i' , то усилие A'_j независимо и не влияет на устойчивость M_i, M_i' (рис. 2, 2). Если c_j внутри грунта M_i то A'_j должно быть полностью учтено в расчете устойчивости массива M_i (рис. 2, 3). Когда c_j расположена в массиве M_i' , тогда усилие A'_j учитывается в расчете устойчивости M_i (рис. 2, 3, верхнее A'_j).

Усилия A_i, A_j определяют, исходя из расчета равновесия ограждения с введением поправочных коэффициентов $K=1,4-1,7$, отражающих криволинейность эпюр давления грунта за счет гибкости стенок, неравномерность загрузки анкеров, условий работы и т. д.

Метод расчета общей устойчивости системы, основанный на предположении трапецидального отсека обрушения, упрощен. Эксперименты по изучению несущей способности оснований, а также предельного равновесия подпорных стенок, показывают все же криволинейные очертания линий скольжения. Кроме того, здесь не рассматривается местное загрузку на ограниченном участке дневной поверхности вблизи от кромки котлована, что в строительстве метрополитенов неизбежно, особенно в стесненных условиях городской застройки. □

ОБЕСПЕЧЕНИЕ нормальных условий функционирования подземных сооружений достигается комплексом мероприятий, одним из которых является поддержание температуры воздушной среды в допустимых пределах.

Тепловой режим создается системами отопления (охлаждения), мощность которых определяют теплотехническими расчетами. Наиболее широко применяется методика профессора Ю. И. Кулжинского, она позволяет найти величину постоянного теплового потока, обеспечивающего повышение температуры в заданный период предварительного прогрева. Одной из предпосылок решения задачи нестационарного теплообмена является теплофизическая однородность материала обделки и окружающего грунта. Величина ошибки при этом может быть оценена соответствующими расчетами. Так, для подземного сооружения с чугунной тубинговой обделкой в грунте со средними теплофизическими параметрами она составит 15–20% при 100 час. предварительного прогрева. Естественно, что такими ошибками пренебрегать нельзя.

Точное аналитическое решение двухслойной задачи нестационарной теплопроводности для полупространства при граничном условии второго рода (тепловой поток $q = \text{const}$) сложно для использования в инженерных расчетах. Учитывая, что термическое сопротивление чугунной обделки незначительно, им можно пренебречь и, практически без снижения точности, упростить решение, получив его в следующем виде:

$$t(X, \tau) - t_0 = \frac{2q\sqrt{a\tau}}{\sqrt{\pi\lambda}} \exp\left(-\frac{1}{4F_{ox}}\right) - \frac{q\left(\frac{\delta_m}{N} + X\right)}{\lambda} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{2\sqrt{F_{ox}}}\right) + \frac{q\delta_m}{N\lambda} \exp\left(\frac{N \cdot X}{\delta_m} + N^2 F_o\right) \times \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{2\sqrt{F_{ox}}} + N\sqrt{F_o}\right), \quad (1)$$

где

$$F_{ox} = \frac{a\tau}{X^2}, \quad F_o = \frac{a\tau}{\delta_m^2}, \quad N = \frac{c\gamma}{c_m\gamma_m}.$$

Температура тубинговой обделки определится подстановкой в выражение (1) значения $X=0$:

$$t_m(\tau) - t_0 = t(0, \tau) - t_0 = \frac{2q\sqrt{a\tau}}{\sqrt{\pi\lambda}} - \frac{q\delta_m}{N\lambda} \cdot B(N\sqrt{F_o}). \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) обозначено:

$t_m(\tau)$ — температура чугунной обделки;

$t(X, \tau)$ — » в массиве;

q — удельный тепловой поток;

$a = \frac{\lambda}{\gamma c}$ — коэффициент температуропроводности грунта;

λ, γ, c — соответственно коэффициент теплопроводности, объемный вес, удельная теплоемкость грунта (с индексом «м» относятся к характеристикам обделки);

t_0 — начальное распределение температуры;

X — пространственная координата;

δ_m — толщина обделки;

τ — текущее время;

$$B(N\sqrt{F_o}) = 1 - \exp(N^2 F_o) \operatorname{erfc} X \times (N\sqrt{F_o})$$

— функция, определяемая по графику (см. рисунок).

Перепад температур воздуха и поверхности обделки всегда равен

$$t_b - t_m(\tau) = \frac{q}{\alpha}. \quad (3)$$

Складывая левые и правые части уравнений (2) и (3), получим

$$t_b - t_0 = \frac{q}{\alpha} + \frac{2q\sqrt{a\tau}}{\sqrt{\pi\lambda}} - \frac{q\delta_m}{N\lambda} \cdot B(N\sqrt{F_o}).$$

Отсюда мощность постоянного теплового потока q , необходимая для повыше-

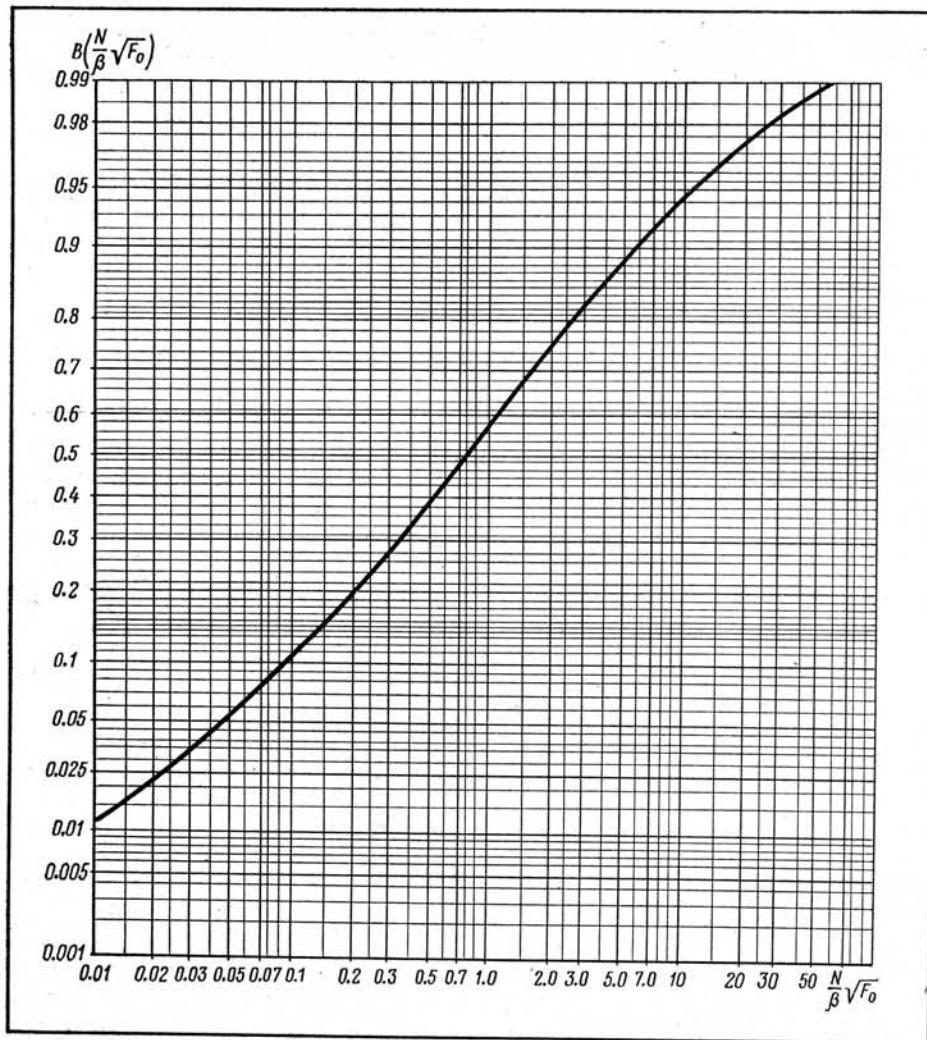


График функции $B\left(\frac{N}{\beta}\sqrt{F_0}\right)$

ния температуры воздуха через τ часов на $t_b - t_0$ градусов, равна

$$q = \frac{t_b - t_0}{\frac{1}{\alpha} + \frac{2\sqrt{a\tau}}{\sqrt{\pi}\lambda} - \frac{\delta_m}{N\lambda} \cdot B\left(\frac{N}{\beta}\sqrt{F_0}\right)}, \quad (4)$$

а для всей поверхности площадью F

$$Q = \frac{F(t_b - t_0)}{\frac{1}{\alpha} + \frac{2\sqrt{a\tau}}{\sqrt{\pi}\lambda} - \frac{\delta_m}{N\lambda} \cdot B\left(\frac{N}{\beta}\sqrt{F_0}\right)}. \quad (5)$$

Обозначив

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{2\sqrt{a\tau}}{\sqrt{\pi}\lambda} - \frac{\delta_m}{N\lambda} \cdot B\left(\frac{N}{\beta}\sqrt{F_0}\right)} = K, \quad (6)$$

окончательно получим

$$Q = K \cdot F \cdot (t_b - t_0). \quad (7)$$

Для учета влияния формы выработки можно воспользоваться формфактором β , полученным проф. Ю. И. Кулжинским. В этом случае формула (6) для коэффициента теплопередачи K запишется следующим образом

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{2\sqrt{a\tau}}{\sqrt{\pi}\lambda\beta} - \frac{\delta_m}{N\lambda} \cdot B\left(\frac{N}{\beta}\sqrt{F_0}\right)}. \quad (8)$$

Формфактор β для цилиндрической выработки большой протяженности имеет вид

$$\beta = 1 + 0,38 \frac{\sqrt{a\tau}}{R_0}, \quad (9)$$

где R_0 — радиус поперечного сечения.

Пример расчета для определения тепловой мощности системы отопления, необходимой для повышения температуры воздуха в сооружении с чугунной тубинговой обделкой через 100 час. прогрева до 20°C .

Исходные данные: $F=1000 \text{ м}^2$; $t_0 = 15^\circ\text{C}$; $\delta_m=0,05 \text{ м}$; $\alpha=5 \text{ Вт/м}^2\text{град}$; $R_0=3 \text{ м}$; $\lambda=0,7 \text{ Вт/м град}$; $\gamma=2000 \text{ кг/м}^3$; $C=0,838 \times 10^3 \text{ дж/кг град}$; $a=0,0015 \text{ м}^2\text{/час}$; $\lambda_m=37,1 \text{ Вт/м град}$; $\gamma_m=7200 \text{ кг/м}^3$; $C_m=0,67 \times 10^3 \text{ дж/кг град}$; $a_m=0,0278 \text{ м}^2\text{/час}$.

Предварительно определим β ,

$\sqrt{F_0}$ и N :

$$\beta = 1 + 0,38 \times \frac{\sqrt{0,0015 \times 100}}{3} = 1,049,$$

$$\sqrt{F_0} = \frac{\sqrt{0,0015 \times 100}}{0,05} = 7,74,$$

$$N = \frac{0,838 \times 10^3 \times 2000}{0,67 \times 10^3 \times 7200} = 0,347.$$

$$\text{Тогда } \frac{N}{\beta} \cdot \sqrt{F_0} = \frac{0,347 \times 7,74}{1,049} = 2,56.$$

По графику для $\frac{N}{\beta} \sqrt{F_0} = 2,56$ на-

ходим: $B\left(\frac{N}{\beta} \sqrt{F_0}\right) = 0,79$.

Коэффициент теплопередачи определим по формуле (8):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{2 \times \sqrt{0,0015 \times 100}}{\sqrt{\pi} \times 0,7 \times 1,049} - \frac{1}{0,347 \times 0,7} \times 0,79} = 1,58 \text{ Вт/м}^2 \text{ град.}$$

Теплопотери сооружения, т. е. необходимая тепловая мощность системы отопления, вычисляются по формуле (7):

$$Q = 1,58 \times 1000 \times (20 - 15) = 7911 \text{ Вт}$$

Для сравнения определим величину теплопотерь без учета различий теплофизических характеристик обделки и грунта. В этом случае коэффициент теплопередачи будет:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{2 \times \sqrt{0,0015 \times 100}}{\sqrt{\pi} \times 0,7 \times 1,049}} = 1,26 \text{ Вт/м}^2 \text{ град,}$$

а величина теплопотерь составит:

$$Q' = 1,26 \times 1000 \times (20 - 15) = 6290 \text{ Вт.}$$

Таким образом, относительная ошибка определения мощности системы отопления равна:

$$\xi = \frac{Q - Q'}{Q} \times 100\% = \frac{7911 - 6290}{7911} \times 100\% = 20,5\%.$$

Полученный результат еще раз подтверждает необходимость учета влияния обделки на тепловой режим подземного сооружения. \square

Напрягающий цемент в метростроении

В. МИХАЙЛОВ, профессор, докт. техн. наук;
А. ПЕТУХОВ, М. БЕЙЛИНА, инженеры

НОВОЕ вяжущее — напрягающий цемент по своим физико-механическим свойствам открывает возможности эффективного использования его в подземном строительстве. Он отличается большой расширяемостью, высокой прочностью, быстрым затвердеванием, водонепроницаемостью, сульфатостойкостью и способностью к энергичному самонапряжению, в результате чего железобетонное сооружение автоматически становится предварительно напряженным и трещиностойким.

Особенности напрягающего цемента вытекают из его состава, выполненного из двух минералогических систем: силикатной — портландцементного клинкера, обеспечивающей быстрое нарастание прочности, и напрягающей, которая при твердении цемента расширяется и при внешнем сопротивлении создает самонапряжение и интенсивное самоуплотнение. Причиной такого поведения твердеющего вяжущего является возникновение и рост в цементном камне кристаллов гидросульфатоалюмината кальция в тот момент, когда силикатная составляющая приобрела достаточную прочность.

Напрягающий цемент выпускается в промышленных масштабах Усть-Каменогорским, Воскресенским, Волковским, Подольским и Днепродзержинским заводами. Его применяют при сооружении напорных трубопроводов, резервуаров для воды, плавательных бассейнов, водонапорных башен, большепролетных оболочек, а также в покрытиях дорог и аэродромов, при строительстве спортивных комплексов и др. В настоящее время этот цемент широко используют почти на всех объектах Олимпиады-80 в качестве несущего и гидроизолирующего материала.

Исследования напрягающего цемента показали, что высокая трещиностойкость конструкций объясняется не только возникновением в результате самонапряжения предварительного обжатия бетона конструкции, но и в значительной степени высокой прочностью такого бетона на растяжение. Данные, полученные при изучении растворов 1:3 и 1:1 и бетонов на напрягающем цементе, приведены в таблице, из которой видно, что отношение $R_p/R_{пр}$ для бетонов на этом цементе значительно (почти в 1,5—2 раза) выше, чем для бетонов на портландце-

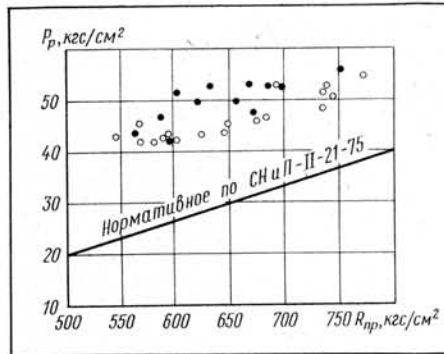


Рис. 1

менте. На графике (рис. 1) показана прочность напрягающего бетона на осевое растяжение, полученная инж. В. А. Загурским. Все точки без исключения ложатся выше нормативных значений R_p по СНиП-II-21-75. Высокие показатели прочности напрягающего бетона не только на сжатие, но и на осевое растяжение свидетельствуют о том, что этот новый материал, обеспечивающий необходимую трещиностойкость и водонепроницаемость, особенно эффективен в сооружениях, испытывающих большие давления грунта и воды. В связи с этим НИИЖБ в содружестве с ЦНИИСом Минтрансстроя ведет совместную работу по созданию водонепроницаемой обделки тоннелей Московского метрополитена, выполненной из водонепроницаемых самона-

Завод-изготовитель НЦ	Состав	R	$R_{пр}$	$R_{пр}$	R_p	$R_p/R_{пр}$	$\frac{R_p/R_{пр}^* \text{ (для НЦ)}}{R_p/R_{пр} \text{ (по СНиПу)}}$	
Усть-Каменогорский	Раствор 1:3 марки	400	480	59	384	34,7	0,09	1,3
		500	556	66,4	444	39	0,088	1,4
		600	590	64	472	38,7	0,08	1,49
	Бетон (НЦ-М500) марки	300	343	71,4	274	42	0,154	2,08
		400	430	75,4	343	44,4	0,133	1,92
		700	732	98	585	57,6	0,099	1,8
		800	820	96	656	56,5	0,086	1,63
		700	725	89	580	52,4	0,090	1,64
Воскресенский	Раствор 1:1 марки	400	477	76	392	44,6	0,114	1,55
		500	550	85,8	440	50,6	0,115	1,83
		600	630	93	504	54,7	0,109	1,85
		700	714	102	570	60	0,105	1,9
		700	725	89	580	52,4	0,090	1,64
Подольский	Раствор 1:1 марки	300	316	44	253	25,9	0,103	1,4
		400	449	62	358	36,5	0,102	1,47
		500	534	71,6	426	42,2	0,099	1,48
		600	640	77,2	512	45,5	0,089	1,5
		700	725	89	580	52,4	0,090	1,64
		800	808	84	646	49,5	0,077	1,45
		800	808	84	646	49,5	0,077	1,45

* Над чертой $R_p/R_{пр}$ для напрягающего цемента (НЦ), под чертой $R_p/R_{пр}$ по СНиПу для бетонов на портландцементе марок М 300, 400, 500, 600, 700, 800 соответственно 0,074, 0,069, 0,063, 0,059, 0,055, 0,053.

пряженных блоков (вместо чугунных) с зачеканкой швов между ними напрягающим цементом и нагнетанием за обделку напрягающего раствора. Отдельные самонапряженные блоки проверяли на водонепроницаемость и прочность и три кольца облицовки испытывали на стенде ЦНИИСа в натуральную величину. Затем самонапряженная обделка тоннеля была смонтирована на опытном участке магистральной линии Рижского радиуса.

Анализ большого комплекса исследований показал, что задача замены чугунной обделки самонапряженной железобетонной еще не решена. Требуется дальнейшие лабораторные и стендовые испытания ее и применение на опытных участках метрополитена.

При самонапряжении активное давление от объемного расширения напрягающего бетона в отдельных образцах равномерно действует во всех направлениях. Возникает вопрос, в каком направлении будет распространяться давление раствора, нагнетаемого за обделку. Теоретические расчеты работы упруго-пластического кольца из затвердевшего напрягающего раствора в зазоре между обделкой и породой тоннеля показывают, что вследствие его статической неопределимости расширение и давление должны действовать в направлении породы. Для выяснения этого вопроса были проведены специальные исследования и на модели изучено развитие и направление действия самонапряжения в кольцевых сечениях. В форме из двух обручей, установленных на стальной диске, отформовывали самонапряженные кольца высотой 15 см диаметром 1000 мм, с двойной арматурой $\mu=1\%$, характеризующей упруго-пластический отпор породы. В кольце устраивали вертикальные каналы диаметром 25 мм с шагом 300 мм для поддержания насыщенной влажности.

При изготовлении колец использовали напрягающий цемент НЦ-20 Усть-Каме-ногорского цементного завода в количестве 600 кг/м^3 бетона. После укладки бетона образцы закрывали пленкой. Через сутки их распалубливали (внутренний стальной обруч извлекали), поверхность бетона покрывали парафином, устанавливали приборы для замера диаметра кольца и в каналы вливали воду для сохранения оптимальной влажности бетона, необходимой для образования гидросульфата алюмината кальция и возникновения в кольце самонапряжения. Самонапряжение развивалось энергично и закончилось через 14 сут. При этом и внутренний и внешний диаметры кольца получили существенное приращение. Относительное увеличение диаметра кольца

(на $100 \cdot 10^{-5}$) соответствует увеличению радиуса внутреннего его контура

$$a = \frac{D \varepsilon}{2} = \frac{1000 \cdot 100 \cdot 10^{-5}}{2} = 0,5 \text{ мм}$$

и отвечает возникновению в бетоне самонапряжения

$$\sigma_{6к} = \varepsilon E_a \cdot \mu = 100 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^6 \times \\ \times 1 \cdot 10^{-2} = 20 \text{ кгс/см}^2.$$

Применительно к обделке тоннеля метрополитена $D=6$ м и фактической энергии обычно применяемого напрягающего раствора $\sigma_{6р}=5 \text{ кгс/см}^2$ относительное увеличение радиуса R обделки составит

$$\varepsilon_{06} = \frac{\varepsilon}{2 \frac{\sigma_{6к}}{\sigma_{6р}}} R = \frac{100 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot \frac{20}{5}} \times \\ \times \frac{6}{2} = 37 \cdot 10^{-5},$$

а возможный зазор между обделкой и нагнетанным раствором

$$a_{06} = \varepsilon_{06} R = 37 \cdot 10^{-5} \cdot 3000 = 1 \text{ мм}.$$

Практически зазор может не образоваться, так как сцепление между железобетонными блоками обделки и напрягающим раствором всегда больше 5 кгс/см^2 . Таким образом, установлено, что раствор, нагнетаемый за обделку тоннеля, заполняя зазор, при самонапряжении оказывает давление на породу, а не на блочную обделку, что позволяет без опасений за ее цельность применять достаточно активные составы напрягающего раствора.

Основным вопросом является изучение водонепроницаемости нагнетаемого за обделку напрягающего раствора, так как для этой цели могут применяться очень пластичные растворы со значительным содержанием воды. Исследованию подвергали растворы состава 1:2 и 1:3 с водоцементным отношением 0,4; 0,5; 0,6 и 0,7. Для увеличения подвижности смеси применяли добавки декстрина — 0,2—0,3% к массе цемента и хлористый кальций — 0,2%. Раствор состава 1:3 различного водосодержания при испытании на водонепроницаемость при давлении от 1 до 20 ат с выдержкой 50 мин не показал фильтрации. Образцы, изготовленные с $V/C=0,9$ и поставленные под давление в трехсуточном возрасте, имели фильтрацию, которая прекратилась через семь суток.

В процессе возведения опытного участка самонапряженной обделки тоннеля на Рижском радиусе для нагнетания за обделку применяли напрягающий раствор состава 1:2 и 1:3 при $V/C=0,5$. Развитие самонапряжения контрольных

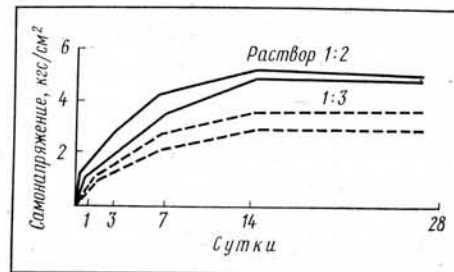


Рис. 2. Развитие самонапряжения в растворах, нагнетаемых за обделку опытного участка Рижского радиуса метро.

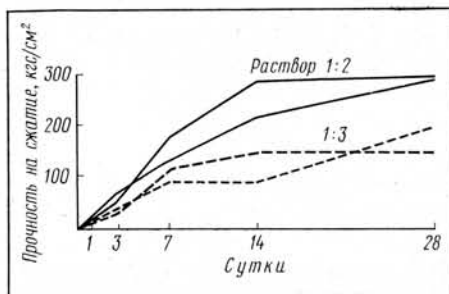


Рис. 3. Рост прочности растворов, нагнетаемых на опытном участке Рижского радиуса метро.

образцов раствора обоих составов показано на графике (рис. 2). Стабилизация самонапряжения наступила через 14 сут. Величина его достигла для состава 1:2 — 5 кгс/см^2 и 1:3 — 3 кгс/см^2 . Прочность растворов (рис. 3) составила соответственно 300 и 150 кгс/см^2 .

Учитывая опыт Тбилтоннельстроя и Мосметростроя по первичному нагнетанию за обделку растворов на напрягающем цементе, можно рекомендовать его для применения с целью повышения водонепроницаемости обделки.

При использовании выпускаемого Минстройматериалов СССР напрягающего цемента НЦ-20 по ТУ-21-20-18-74 в растворах с растекаемостью 18—20 см достигается самонапряжение, равное 4 кгс/см^2 и прочность — 200 — 300 кгс/см^2 .

Технология производства нагнетания не отличается от применяемой при нагнетании растворов на портландских и пуццолановых цементах.

Доказано и практически проверено, что давление самонапряжения в заобделочном пространстве направлено в сторону породы тоннеля и не оказывает силового давления на блоки облицовки.

Напрягающий цемент, растворы и бетоны из него являются в настоящее время лучшими гидроизоляционными вяжущими, широко проверенными в практике строительства. □

СЕМИНАР:

Занятие 3.

Последовательность разработки комплексных систем управления качеством продукции (КС УКП) и строительно-монтажных работ (КС УК СМР)*

Н. СМИРНОВ, канд. техн. наук

РАЗРАБОТКУ комплексных систем управления качеством продукции (КС УКП) и строительно-монтажных работ (КС УК СМР) рекомендуется проводить в такой последовательности:

1. Создание координационно-рабочей группы (КРГ) по разработке и внедрению КС УКП (КС УК СМР).

КРГ создается приказом по предприятию (СМУ). В ее состав как правило входят руководители отделов, обеспечивающих выполнение функций комплексной системы управления качеством. Например, для завода, изготавливающего железобетонные конструкции, это главный технолог, начальник ПТО, планового отдела, отдела труда и заработной платы, отдела кадров, отдела материально-технического снабжения, ОТК, начальник лаборатории. При необходимости в состав группы могут входить и другие квалифицированные работники предприятия. Председателем КРГ должен быть главный инженер завода (СМУ).

Координационно-рабочая группа действует на основании «Положения о КРГ», утвержденного руководителем предприятия и приложенного к приказу о ее создании.

2. Техническая учеба руководителей и ведущих специалистов, участвующих в создании КС УКП (КС УК СМР).

Координационно-рабочая группа проводит свою работу по плану. Один из первых его пунктов должен предусматривать техническую учебу руководителей и ведущих специалистов предприятия по вопросам разработки и внедрения КС УКП (КС УК СМР).

Техническая учеба может осуществляться как силами предприятия, так и специалистами, приглашенными из других организаций (ЦНИИС, Оргтрансстрой, институты Госстандарта СССР и др.). Программа учебы рассчитывается примерно на 8—12 часов и включает такие вопросы, как стандартизация, качество продукции, управление качеством, цели и задачи создания комплексной системы на предприятии (в СМУ) и т. п.

3. Проведение анализа состояния дел по качеству на предприятии (в организации).

Важнейшим этапом разработки КС УКП (КС УК СМР) является проведение анализа состояния дел по качеству. Анализ позволяет оценить, какой уровень качества продукции достигнут предприятием на сегодняшний день, что препятствует повышению этого уровня и его стабильному обеспечению, дает возможность также разработать организационно-технические мероприятия, реализация которых подготавливает предприятие к внедрению КС УКП (КС УК СМР).

4. Разработка технического задания на создание КС УКП (КС УК СМР).

Материалы, полученные при проведении анализа состояния дел по качеству, являются основой для составления технического задания на разработку КС УКП (КС УК СМР). Оно включает следующие разделы: основание для разработки, характеристика предприятия, принципы построения системы, перечень стандартов предприятия, организационно-технические мероприятия, список основных нормативных и методических источников, этапы работ и сроки их выполнения, перспектива продолжения работ.

Основными частями технического задания являются перечень стандартов предприятия (СТП) и организационно-технические мероприятия по подготовке к внедрению КС УКП (КС УК СМР). Перечень стандартов предприятия составляется из условия реализации функций КС УКП (КС УК СМР). В первую очередь разрабатывается стандарт предприятия, «Основные положения», затем СТП, позволяющие ликвидировать «узкие места» в вопросах качества, и, наконец, остальные стандарты.

Организационно-технические мероприятия включают вопросы механизации и автоматизации производства, модернизации оборудования и оснастки, обеспечения нормативно-технической документации и другие вопросы, решение которых необходимо в период подготовки предприятия (организации) к внедрению КС УКП (КС УК СМР).

5. Разработка стандартов предприятия.

Стандарты позволяют реализовать основные функции управления качеством, готовить и принимать решения, направленные на поддержание качества продукции на заданном оптимальном уровне.

Количество стандартов предприятия в каждом конкретном случае может быть различным: для заводов и СМУ Мосметростроя ориентировочное число СТП может колебаться в пределах 20—40. КС УКП на Архангельском ДСК ГлавАрхангельскстроя насчитывало 20 СТП.

Разработка стандартов предприятия осуществляется в такой последовательности. Основной исполнитель, указанный в техническом задании, разрабатывает первую редакцию про-

* Начало см. в сб. «Метрострой», №№ 4 и 5, 1978.

екта СТП и дает на отзыв в отделы предприятия (организации) и трест. Отзывы и замечания обрабатываются в соответствии с ГОСТом 1,0—68 «Государственная система стандартизации. Основные положения», предлагается окончательная редакция проекта СТП и поступает на утверждение руководителю предприятия (организации).

6. Обучение рабочих, ИТР и служащих применению стандартов предприятия.

После утверждения СТП должны быть размножены и разосланы исполнителям. В этапах разработки и внедрения КС УКП (КС УК СМР) предусматривается время на обучение рабочих, ИТР и служащих правилам, содержащимся в СТП. Обучение проводят разработчики СТП.

7. Реализация организационно-технических мероприятий, содержащихся в техническом задании.

Параллельно с разработкой СТП реализуются организационно-технические мероприятия по подготовке предприятия к внедрению КС УКП (КС УК СМР).

8. Издание приказов о введении в действие стандартов предприятия.

По мере готовности СТП и обучения персонала правилам пользования стандартами отдаются приказы руководителя предприятия о введении их в действие.

9. Составление акта о внедрении КС УКП (КС УК СМР).

Этот акт составляет комиссия в составе: председателя (представитель министерства, ведомства), членов комиссии (руководитель и представители предприятия, организации, общественных организаций города, района).

КС УКП (КС УК СМР) считается внедренной, если достигнута цель ее разработки. На предприятии комиссия оценивает достижение по анализу таких показателей, как повышение удельного веса продукции высшей категории качества, сокращение сроков освоения новых ее видов, снижение удельного веса продукции второй категории качества, уменьшение внутризаводского брака и рекламаций. Анализ проводится за период от начала разработки КС УКП до составления акта внедрения. Последний составляется в соответствии с требованиями «Инструкции по регистрации и учету состояния разработки и внедрения КС УКП в объединениях и на предприятиях (РДИ-103-77)». □

О повышении электробезопасности

О. КОРОЛЕВ, канд. техн. наук; И. ХЛЕБНИКОВ, инженер

ПРИ СООРУЖЕНИИ новых линий метрополитена все шире используются различные средства механизации и автоматизации производственных процессов, растет энерговооруженность и общая установленная мощность на строительных площадках. Это обуславливает повышенные требования к безопасной эксплуатации электроустановок.

Правила техники безопасности и производственной санитарии требуют применения в электрических сетях напряжением до 1000 В системы с изолированной нейтралью, а также контроля изоляции с действием на сигнал (сети с глухим заземлением нейтрали запрещены).

В действительности в стесненных и сырых условиях строительства применяются сети с двумя режимами нейтрали. Такое положение объясняется тем, что в период организации строительства широко используются городские вводы низкого напряжения, работающие в режиме глухого заземления нейтрали; кроме того, вследствие отсутствия автоматического контроля состояния пробивных предохранителей временные сети с изолированной нейтралью при пробое предохранителя переходят в режим работы с заземленной нулевой точкой.

Отмеченное наблюдается вопреки п. 10.5 ныне действующих Правил.

Выбор схемы сети и режима нейтрали обуславливается технологическими требованиями и условиями безопасности труда.

В соответствии с первым предпочтение следует отдать четырехпроводной сети с глухозаземленной нулевой точкой, которая позволяет использовать два напряжения — линейное и фазное. Этим достигается удешевление электроустановки в целом. В соответствии со вторым — режим нейтрали выбирается по условиям прикосновения к фазному проводу.

Четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью в нормальном режиме работы определяет напряжение прикосновения равное фазному напряжению сети, а в аварийном режиме — больше фазного и меньше линейного. Указанные значения напряжения прикосновения в сетях 380/220 В опасны для работающего,

поэтому требуются специальные меры защиты (зануление, устройства защиты по току утечки).

Трехпроводная сеть с изолированной нейтралью в нормальном режиме и при отсутствии собственной распределенной емкости имеет напряжение прикосновения практически равное нулю. Реальные сети метрополитенов, по данным МГИ, обладают собственной емкостью 5–6 мкФ на фазу, а напряжение прикосновения достигает 150–170 В. При аварийном режиме, когда произошло замыкание фазы на землю или корпус оборудования, напряжение прикосновения будет значительно больше фазного и меньше линейного. В зависимости от величины переходного сопротивления в месте замыкания для сетей 380 В напряжение прикосновения составляет 330–370 В.

Таким образом, в аварийном режиме прикосновение к здоровой фазе сети с изолированной нейтралью становится более опасным, чем к фазе сети с глухозаземленной нейтралью.

Безопасность в сетях с изолированной нейтралью достигается путем заземления и устройства автоматического контроля изоляции. Пункт 10.6 Правил предусматривает непрерывный контроль изоляции с действием только на сигнал. Однако такое положение недопустимо, так как персонал, обслуживающий сеть, длительное время (с момента срабатывания устройства до отключения сети) находится под угрозой поражения электрическим током.

Автоматический контроль изоляции выполняется устройствами типа УАКИ, предназначенными для работы в сетях с собственной распределенной емкостью не более 1 мкФ на фазу. При большей емкости УАКИ работают неустойчиво, ненадежно.

Выполненный анализ показывает, что в настоящее время сети 0,4 кВ, используемые при строительстве метрополитенов и тоннелей, опасны с точки зрения возможности поражения электрическим током. Для реализации рекомендаций по применению сетей как с изолированной, так и с глухозаземленной нейтралью необходима разработка новых схем и проверка в условиях эксплуатации устройств за-

щиты типа САЗУ-БРУ-АПВ (сетевой автомат защиты по току утечки — блокировочное реле утечки — автомат повторного включения).

Сравнение двух систем питания приводит к необходимости пересмотра п.п. 10.5 и 10.6 ныне действующих Правил с учетом:

дифференцированного подхода к выбору режима нейтрали в сетях напряжением до 1000 В (подземные работы, работы на поверхности, электрообеспечение компрессорных станций, бытовых помещений и т. п.);

изменения существующих схем электроснабжения с их дроблением для ограничения собственной распределенной емкости;

широкого использования устройств контроля изоляции с действием на отключение в сетях с изолированной нейтралью и защитно-отключающих — в сетях с глухим заземлением нейтрали.

Выполнение указанных рекомендаций повышает требования к схемам электроснабжения и внедрению новых видов оборудования. Так, отходящие

фидеры понизительных подстанций должны быть оборудованы автоматическими выключателями и отключены от устройств безопасности. Для возможности применения устройств контроля изоляции с действием на отключение необходимо ограничить собственную емкость сети величиной 2 мкФ на фазу и установить с этой целью шахтные понизительные подстанции вблизи места производства работ, что сократит длину и собственную емкость низковольтных сетей. Высоковольтные вводы в шахту должны быть защищены от однофазных замыканий на землю, при этом ток ограничивается разделительными трансформаторами, установленными на поверхности. Таким образом, следует:

разрешить эксплуатацию сетей 0,4 кВ с изолированной нейтралью при строительстве метрополитенов и тоннелей только с действием устройств автоматического контроля изоляции типа САЗУ-БРУ-АПВ на отключение;

для ограничения собственной емкости сетей 0,4 кВ величиной не более

2 мкФ на фазу предусмотреть ввод в шахту кабельной сети напряжением до 6 кВ включительно с понизительной подстанцией вблизи места производства работ;

с целью ограничения тока однофазного замыкания на землю установить в месте ввода в шахту кабельной сети напряжением до 6 кВ включительно разделительный трансформатор;

обеспечить в этом случае безопасность персонала с помощью устройства (на вводном конце) защиты от однофазных замыканий на землю (типа АЗО-6; ЗЗП-1; УСЗ-2 и т. п.) в соответствии с СН 102-76, рекомендовать к использованию защитно-отключающие устройства;

при открытом способе ведения работ на напряжении 0,4 кВ предусмотреть электроснабжение от системы с глухим заземлением нейтрали;

водопонижение на поверхности, компрессорные станции, установки замораживания грунта, бытовые помещения на поверхности и т. п. питать от системы с глухим заземлением нейтрали. □

Нейтрализация отработавших газов двигателей автомобилей в тоннелях

П. ЛУПАЧЕВ, Л. СУХАРЕВА, кандидаты техн. наук;
Н. ПЕРЕГУДОВ, Н. МАКАРОВ, инженеры

ПРИ БЕТОНИРОВАНИИ постоянных путей Московского метрополитена вместо шахтных контактных электровозов типа 7-КР применяются переоборудованные для движения по рельсам самосвалы ЗИЛ-ММЗ-555 и ЗИЛ-ММЗ-585 с короткой колесной базой. Это позволяет в предпусковой период строительства полностью обойтись без троллейного провода — повышенного источника опасности — и растяжек контактной сети, а также беспрепятственно монтировать в тоннелях постоянные электромеханические устройства и трубопроводы. После окончания работ автомобили выезжают на пути депо, где их вновь монтируют как обычный дорожный транспорт.

Использование бензиновых двигателей внутреннего сгорания может привести к загазованности воздуха в тон-

неле выше предельно допустимых концентраций (ПДК). Отработавшие газы автомобильного двигателя содержат более сотни токсичных компонентов, в частности: окись углерода, окислы азота, различные углеводороды (включая канцерогенные вещества) и большое количество сажи. Максимальные нормы окиси углерода — 0,0016% (при объеме 0,02 мг/л). По санитарным требованиям необходима мощная вентиляция тоннелей, что в условиях строительства затруднено.

Опыт эксплуатации автомобилей под землей без средств газоочистки показывает, что ПДК в зоне их работы достигается менее чем через час, а к концу смены многократно превышает.

Для бензиновых двигателей наиболее эффективен каталитический нейтрализатор отработавших газов. Принцип

его действия основан на доокислении продуктов неполного сгорания топлива (окиси углерода и углеводородов) в присутствии катализатора при подаче кислорода воздуха в реактор нейтрализатора. В результате реакции получаются безвредные вещества — вода и двуокись углерода. Для нейтрализации применяют катализаторы на основе благородных металлов: дизельных двигателей — платиновые, бензиновых — палладиевые. Реакция доокисления протекает эффективно при высоких температурах — 400—700°C.

Нейтрализатор типа Н-13, предназначенный для бензиновых двигателей, состоит из плоского круглого решетчатого реактора объемом 1,6 л, заполненного катализатором ШПК-0,5 в виде керамических шариков с диаметром гранул 3—5 мм, покрытых

слоем соединений палладия. Все его детали изготовлены из нержавеющей стали. Реактор заключен в сварной неразборный корпус с входным и выходным патрубками.

Для подачи дополнительного воздуха в реактор применяется эжектор, засасывающий воздух из атмосферы в месте сужения потока отработавших газов — диффузоре. На двигателях ЗИЛ-130, карбюратор которых обеспечивает относительно большое содержание остаточного кислорода в отработавших газах, можно устанавливать только нейтрализаторы без устройств для подачи дополнительного воздуха (эффективность очистки при этом несколько снижается). Однако предпочтительней нейтрализаторы первого типа — например, с эжектором. На автомобилях ЗИЛ-130 на месте глушителя устанавливаются по два нейтрализатора и два эжектора, собранных в единый блок (см. рисунок, а). Глушитель снимается: нейтрализаторы поглощают шум почти в той же степени, что и стандартный глушитель.

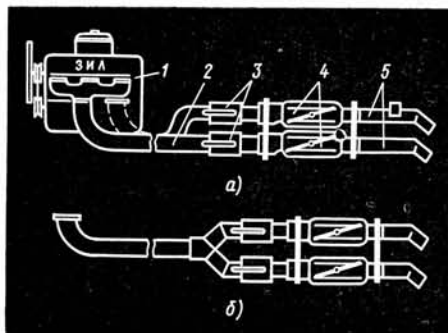


Схема установки системы нейтрализации отработавших газов автомобилей ЗИЛ:

а — с двигателем ЗИЛ-140; б — с двигателем ЗИЛ-120 (ЗИЛ-157); 1 — двигатель; 2 — приемные трубы глушителя; 3 — эжекторы; 4 — нейтрализаторы Н-13Э; 5 — выхлопные трубы

На автомобилях ЗИЛ-157 (ЗИЛ-164) с рядными двигателями применяется такой же комплект эжектор — нейтрализатор, как и на ЗИЛ-130, но для раздвоения системы выпуска перед блоком нейтрализаторов устанавливается тройник из труб того же диаметра (рисунок, б).

Нейтрализаторы и эжекторы (или другие устройства) в совокупности составляют систему нейтрализации отработавших газов (СНОГ) двигателя автомобиля ЗИЛ-130.

КРАТКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СНОГ (ЗИЛ-130):

Комплектность	два нейтрализатора и два эжектора
Габарит	470×260×95
Вес, кг	21
Максимальное газодинамическое сопротивление, мм. вод. ст.	2150
Нейтрализатор:	
модель	Н-13Э
тип	каталитический
Катализатор:	ШПК-0,5; ШПАК-0,5
вес, кг	1,6
Эффективность очистки по испытательному циклу двигателей грузовых автомобилей:	
по окиси углерода	70—80%
по углеводородам	50%

Разработчик и изготовитель — Центральная научно-исследовательская и конструкторско-технологическая лаборатория токсичности двигателей (ЦНИЛТД).

Дополнительными элементами СНОГ являются термомпары и показывающие приборы для контроля за температурой отработавших газов. СНОГ автомобилей ЗИЛ-130 проходит опытную эксплуатацию в автотранспортных предприятиях Главмосинжстроя и Главмосавтотранса, а также эффективно используется на рудниках. Результаты длительных испытаний показали, что в условиях рядовой эксплуатации СНОГ действует безотказно: активность катализатора сохраняется в течение 2000 час. работы мотора. Катализатор заменяется по выработке ресурса.

Однако при нарушении требований технической эксплуатации двигателей, в первую очередь приборов систем питания и зажигания (например, отказ в работе свечей зажигания), потеря активности катализатора может наступить при любом пробеге вследствие скачка температуры попадания несгоревшего топлива на катализатор (до 1000°С и более). При этом возможен прогар реактора и корпуса нейтрализатора.

Перед установкой СНОГ на автомобиль необходимо проверить состояние двигателя и всех приборов системы зажигания, а также отрегулировать карбюратор на минимальное содержание окиси углерода в отработавших газах на режимах холостого хода двигателя по специальной методике с применением газоанализаторов на СО и СН и тахометры частоты вращения коленчатого вала. Плохо отрегулированный карбюратор может привести к увеличению содержания СО на режимах холостого хода до 10

и более процентов с превышением допустимых норм в 2,5—4 раза. Если он отрегулирован верно, то содержание СО в отработавших газах не превышает 1,5—2%.

Технически исправные карбюраторы К-88А двигателей ЗИЛ-130 хорошо поддаются регулированию. Если обеспечивается стабильная и оптимальная регулировка системы холостого хода карбюратора, то на этих режимах практически полностью нейтрализуется окись углерода.

Содержание углеводородов в отработавших газах зависит от состояния приборов системы зажигания. Возможный диапазон концентраций СН в них колеблется от 50 до 100 pp (частей на миллион) по инфракрасному методу измерения.

Переобогащенный состав смеси или технические неисправности двигателя могут привести к повышенному содержанию СО и СН в отработавших газах, к перегреву нейтрализатора и выходу его из строя. Необходимо следить за состоянием двигателя и не допускать нарушения инструкций по его эксплуатации.

На автомобилях, оборудованных СНОГ, запрещается применение этилированных бензинов, так как они необратимо выводят из строя катализатор (отравление поверхностного слоя). Ограничений по использованию таких автомобилей (нагрузка, скоростной режим, температурные условия и т. д.) и увеличению объема работ по их техническому обслуживанию нет.

На укладке путевого бетона в тоннелях Рижского радиуса использовались автомобили ЗИЛ, оборудованные системами нейтрализации отработавших газов конструкции ЦНИЛТД. Замечаний по работе СНОГ не было. На участке СМУ-5, например, были произведены анализы проб воздуха на загазованность лабораторным и экспресс-методами.

До применения СНОГ на автомобилях концентрации СО были выше предельно допустимых (25 мг/м³ при ПДС=20 мг/м³). Устройство СНОГ уменьшило содержание токсичных веществ в 2,5—2 раза, а также обеспечило непрерывную работу автомобилей (при выполнении санитарных норм).

Системы нейтрализации могут применяться на машинах различного типа с двигателями ЗИЛ-130 и ЗИЛ-164 (ЗИЛ-157). Для двигателей большей мощности ЦНИЛТД разработан нейтрализатор с объемом реактора 3 л. □

От живой природы к архитектуре

Ю. ЛЕБЕДЕВ, заведующий лабораторией архитектурной бионики ЦНИИТА,
председатель комиссии по архитектурной бионики секции АН СССР

ОКРУЖАЮЩАЯ нас живая природа всегда была объектом творческого подражания для зодчих.

Скорлупа яйца, раковина моллюска, ветка дерева, стебель растения, цветок поражают нас не только красотой и целостностью своей формы, но и рациональностью «строительных» материалов и конструкций.

Тонкий стебель злака держит колос, вес которого в несколько раз больше его собственного веса, а сильный ветер лишь пригибает к земле, но не ломает его.

Возьмите тонкую скорлупу яйца и рассмотрите под микроскопом: вы увидите, что в ее толще, равной примерно 0,3 мм, располагаются в определенном порядке семь слоев; группа слоев различной плотности выполняет службу прочности, другие — защищают от микробов, третьи — предохраняют от проникновения внутрь яйца воды, четвертые — аккумулируют кислород. В структуре скорлупы имеются также тонкие каналцы, через которые происходит воздухо-газообмен. Таким образом, скорлупа яйца — настоящая слоистая конструкция типа привычной нам панели жилого дома. Но в отличие от последней слои

первой работают более слитно и вместе с тем дифференцированы по своим функциям. Даже при резком изменении температуры скорлупа не расслаивается. И что еще удивительно, она — полупроводник: пропускает пары, газы, питательные вещества избирательно, лишь в нужном направлении, регулируя таким образом температурно-влажностный режим его живого содержания — настоящая дышащая стена! Такими же особенностями обладают: кожа животных, человека, кожица растений. Было бы неплохо, если бы бетонные ограждения промышленных зданий так же дышали. В будущем человек научится строить здания с поверхностями, автоматически регулируемыми микроклимат помещений. И это — не фантастика: в физических лабораториях уже производят и используют пленки-полупроводники.

Проблемой использования законов живой природы в архитектуре и строительстве занимается новая отрасль науки — **архитектурная бионика**. Она пользуется представлениями о перспективах развития современной (в первую очередь советской) архитектуры, данными биологических и

бионической наук, собственными исследованиями законов живой природы.

Теория архитектурной бионики разрабатывается в Советском Союзе с начала 1960-х годов, и название ей было дано советскими специалистами. Творческая переработка законов живой природы, используемых в архитектуре, продолжает реалистические принципы отечественных ученых, инженеров, конструкторов — В. Шухова, В. Татлина и других, а также принципы теоретической школы советской архитектуры и учитывает «предбионические» идеи многих архитекторов 20—40-х гг. — И. Жолтовского, М. Гинзбурга, А. Бурова и молодых в ту пору энтузиастов Н. Соколова, Н. Красильникова.

В архитектурной бионике наметились два основных направления исследования. Первое, можно сказать, потребительское с односторонней связью, а именно, использование принципов формообразования и технических средств живой природы в архитектуре; второе — двухстороннее, обусловленное созданием оптимальной среды существования человека, предусматривающее взаимодействие архитектуры и природного окружения. Второму направлению принадлежит большое будущее.

Уже сейчас сказывается влияние на архитектуру бионических тенденций. В Советском Союзе появляются здания, форма которых взята из живой природы, а также конструкции, построенные по типу природных. Так, архитектурно-бионические принципы нашли свое воплощение в таком эпохальном сооружении, как Останкинская телевизионная башня в Москве, сконструированная инженером Н. Никитиным. В ее форме и натянутых стальных вантах, скрытых в толще бетона, отразились конструктивные принципы строения ствола дерева, стебля растения. Интересен в этом же смысле ресторан в Приморском парке Баку, напоминающий большую раковину с ритмически чередующимися волнистыми створками (рис. 1, а).

В таких типах конструкций, построенных из непрерывных, изгибаю-

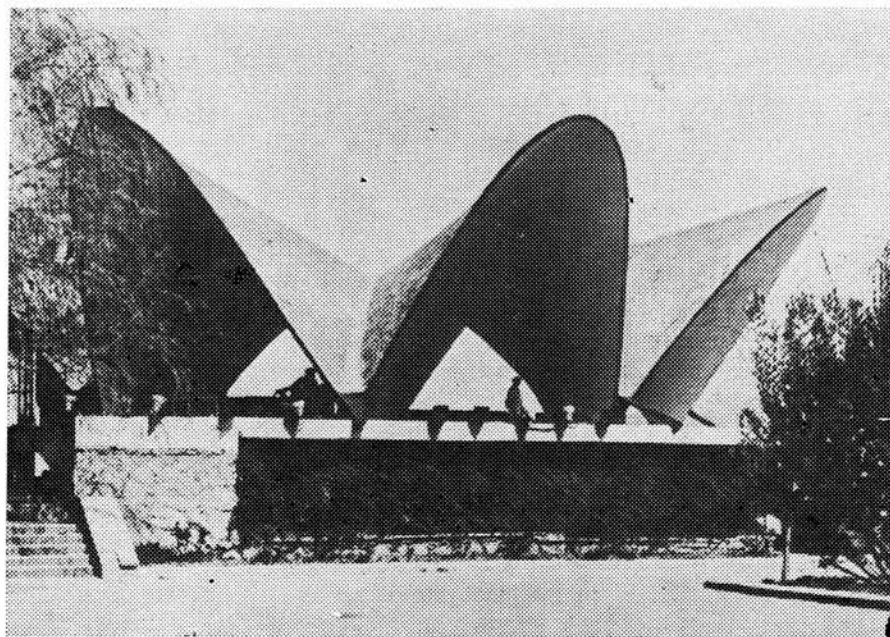


Рис. 1, а

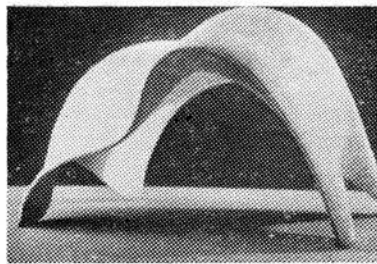


Рис. 1,б

щихся поверхностей и получивших название оболочек-скорлуп, большое значение имеет геометрия формы. Именно за счет нее можно значительно повысить прочность и одновременно снизить вес конструкции. В природе широко распространено действие этого принципа: листья растений, лепестки цветов, раковины моллюсков изгибаются, закручиваются специально для того, чтобы повысить прочность и жесткость формы. Лист бумаги беспомощен против нагрузок, а сделанный из него треугольный домик — это уже конструкция.

Можно было бы привести достаточно много примеров из современной мировой практики конструирования оболочек-скорлуп, иллюстрирующих использование форм живой природы в архитектуре для строительства стадионов, аудиторий, аэровокзалов, водонапорных башен и даже мостов. Под городом Потенция (Италия) через овраг построен большой мост, опоры которого выполнены из сложных по форме оболочек-скорлуп. Слегка волнообразные поверхности этих опор предназначены для пешеходов, а проезжая часть уложена на отвернутые кверху элементы опор.

В лаборатории архитектурной бионики ЦНИИТИА конструируются оболочки спирального вращения — «турбосомы» (рис. 1, б).

Легкость и прочность — основные принципы современного конструирования. В большей мере этому удовлетворяют вантовые, тросовые устройства, работающие на растяжение.

В природе широко распространены конструкции, которые дают возможность живым организмам значительно экономить материал. Это — паучьи паутины; склеренхимные и колленхимные нити в толще стебля и листьев растений (сорвите подорожник, и в его стебле вы обнаружите такие нити); мышцы и сухожилия животных; лианы и т. д. Несколько склеенных нитей паука, образующих как бы кабель, примерно вдвое прочнее стальной проволоки такой же толщины. Их проч-

ность колеблется от 40 до 261 кг на 1 мм².

Ванты-нити в конструкции выгодны и экономичны — они легки и прочны.

Заставить работать материал на растяжение в конструкциях зданий и сооружений — достижение лишь нашего века, а паук тклет свою паутину вот уже 400 000 000 лет. Действительно, если взять тонкую проволочку и легко сжимать ее с двух концов, она быстро согнется, а работая на растяжение, сможет выдержать тонны груза. Причем, чем больше нитей, тем надежнее конструкция; разрыв одной или нескольких нитей не ведет к катастрофе. В паутине иногда насчитывается до нескольких километров, а из одного паука можно вытянуть около 4000 м тонкой пряжи. Вот какой длины он может построить «мост». В одной из исследованных ловушек паука-крестовика оказалось 39 радиусов и 35 витков спирали из нитей паутины, скрепленных в 1225 точках.

Вантовая система подобная паутине целесообразна в условиях сейсмичности, так как она обладает упругостью, пружинностью, способностью к демпфированию толчков, динамических нагрузок.

С целью планомерного ведения научных исследований в 1970 г. в Центральном научно-исследовательском институте теории и истории архитектуры Госгражданстроя сформирована первая в Советском Союзе лаборатория архитектурной бионики. Она стала координирующим центром научных разработок проблем архитектурной бионики в СССР (группы и специалисты в ЦНИИСК, ЛенЗНИИЭП, КиевЗНИИЭП, Ереванском Политехническом институте, Казанском и Киевском инженерных институтах и др.).

Архитектурно-бионическая наука в своей деятельности, наряду с разработкой фундаментальных направлений, ориентируется на решение практических задач архитектуры.

Возьмем такую, ставшую теперь привычной, ситуацию: на Крайнем Севере, где под рукой часто нет подходящих строительных материалов, открыто месторождение какого-либо полезного ископаемого. Необходимо срочно организовать удобное жилье, культурно-бытовое обслуживание, т. е. создать условия для работы. Перебрасывать авиатранспортом в этот район тяжеловесные строительные материалы и объемистые конструкции — сложно и дорого. Советские ученые предлагают легкие трансформируемые (складывающиеся) конструкции, пригодные для удобства транспортировки

придается компактная форма. На месте они могут быстро превратиться в жилые ячейки, столовые, клубы и производственные помещения.

В ЦНИИТИА, совместно с другими организациями, моделируются два вида таких конструкций. Один из них основан на пластинчато-тентовой мгновенно-жесткой системе, трансформируемой из плоскости (рис. 2). Аналогами этих схем в природе служат плоские «плавающие» кости животных, соединенные между собой не шарнирами, а пленками и мышцами, распускающийся лист клена и бука, а также спикюлы морских губок. Такой тип систем имеется на Западе (США, Англия). Однако в лаборатории им придается конкретная форма, собственное «оформление» и, что очень важно, — система монтажа.

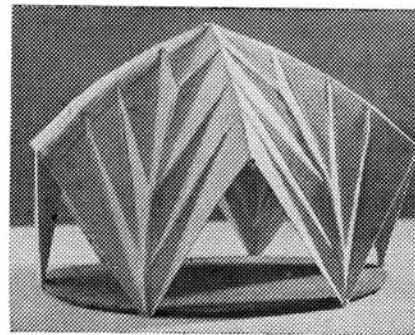


Рис. 2

Второй тип представляет собой «мгновенно-жесткие» стержне-вантовые конструкции — подобие костно-мышечной шарнирной системы животных. Такие конструкции могут найти применение не только на Крайнем Севере, но и быть использованы в качестве складских помещений, при строительстве временных городков и Олимпийских объектов.

Намечается моделирование конструкций, автоматически регулирующих микроклимат помещений. Представим себе крытый стадион или вестибюль. В дождливую погоду кровля их наглухо прикрыта. Но вот стало пригревать солнце, подул легкий теплый ветерок, и элементы кровли подобно лепесткам цветка начали постепенно раскрываться. В различных городах Франции по такому принципу построен ряд типовых бассейнов. Югославский архитектор А. Мутнякович проектирует трансформируемый театр. В нашей стране проект стадиона с трансформируемой кровлей сделан архитекторами КиевЗНИИЭП.

Сейчас остро стоит проблема противосейсмических устройств в конструкциях зданий. Природа и здесь может помочь строителям. Специалисты сельскохозяйственного института Еревана совместно с группой архитекторов КиевЗНИИЭП и лабораторией архитектурной бионики ЦНИИТИА исследовали конструкции стеблей растений и, в частности, стеблей злаков. Узлы стеблей — своеобразные демпфирующие устройства, ослабляют действие аэродинамических нагрузок. Они придают упругую гибкость конструкциям. Аналоги демпфирующих устройств могут быть использованы при строительстве высотных сооружений.

Большое распространение получают стержневые конструкции или, как их еще называют, структуры. В них проводится принцип, обратный конструкциям типа оболочек, а именно, распределение прочного материала по линиям главных напряжений. Живая природа широко варьирует этот принцип: выбрасывает неконструктивный балласт и оставляет легкие прозрачные решетки, в которых отверстия — как ни парадоксально — делают конструкцию еще жестче и прочнее. Яркие примеры — микроструктура костей животных, нерватура листьев растений, мелкие организмы, входящие в морской планктон — радиолярии, диатомы (рис. 3, а).

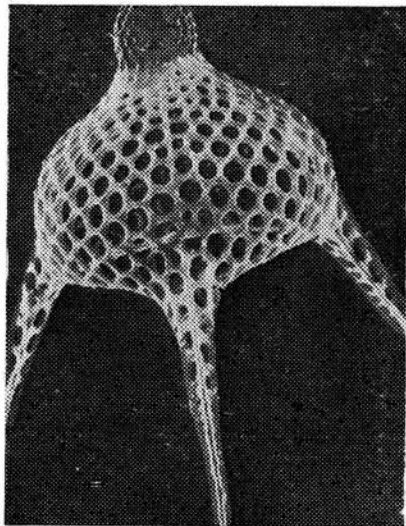


Рис. 3,а

Ленинградскими специалистами — инженером В. Темновым, биологом Л. Хозацким и архитектором А. Яр-

моленко изучена структура головки тазобедренной кости. Темновым предложена модель новой колонны, увенчанной двумя решетчатыми пространственными капителями, одна из которых воспринимает нагрузку от балки, а к другой прикреплена ванга, идущая вниз к основанию колонны (рис. 3, б). Ванга, как мышца в тазобедрен-

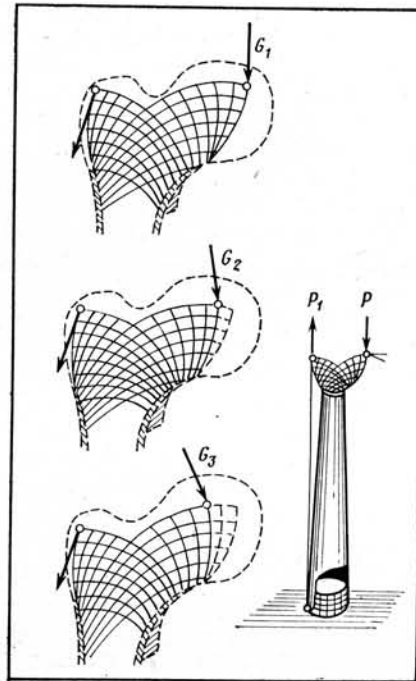


Рис. 3,б

ной системе человека, противодействует изгибающему моменту, возникающему от асимметричной нагрузки. На основе применения таких колонн возникает новый облик интерьера зданий (рис. 4).

В последние годы в отечественном и зарубежном строительстве все шире применяются пневматические — надувные сооружения из тканепленочных материалов.

Основные преимущества этих конструкций — исключительная легкость и мобильность. Например, их вес, приходящийся на 1 м² полезной площади пневмосооружений, не превышает двух—трех килограммов (при весе обычных конструкций более пятидесяти). Пневматические складские сооружения площадью более тысячи квадратных метров монтируются за несколько дней, в то время как на возведение аналогичного строения из традиционных материалов требуются месяцы.

Сейчас эти конструкции разрабатываются в лаборатории пневматических конструкций ЦНИИСК им. Кучеренко под руководством С. Вознесенского (Москва), создана база в Ангрене.

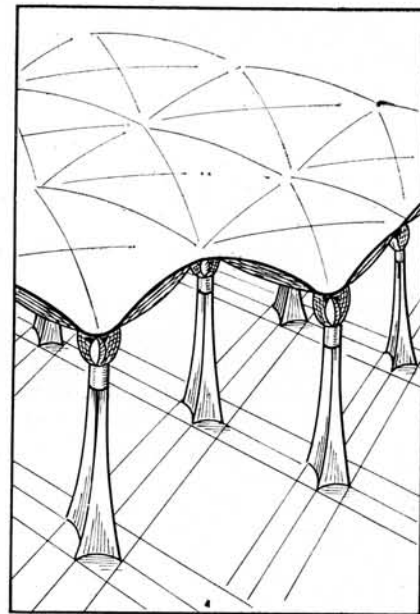


Рис. 4

Различного типа пневматические сооружения воздвигнуты в районах строительства БАМа, на Таймыре, в Магаданской и в Тюменской областях и других районах страны с разными климатическими условиями.

Однако возникают новые проблемы, например, устойчивости надувных оболочек больших пролетов по отношению к ветровым нагрузкам. Утяжелять конструкции тканей, чтобы они выдерживали большее давление воздуха, нецелесообразно и не всегда возможно. Есть два пути — поиски аэродинамической формы сооружений и укрепления тканей покрытия трансформируемыми жесткими конструкциями, как бы костями.

В решении этой задачи может помочь живая природа, а именно те ее виды, которые в борьбе с аэро- и гидродинамическими нагрузками приобрели целесообразные формы: обводы пингвина, медуз и даже очертания стеблей растений, стволов и крон деревьев; при этом важны не только формы, но и законы построения геометрии ее поверхности, что необходимо для раскроя тканей пневматических оболочек. Созданию же комплексных стержне-пленочных надувных

систем может помочь изучение костно-мышечных и костно-пленочных систем организмов, а также свойства пленок естественной среды. Сейчас в этом направлении ведутся совместные исследования ЦНИИСК и ЦНИИТИА.

И еще одна важная область архитектурно-строительной бионики — стандарты живой природы, принципы построения которых и технология сборки могли бы быть с успехом использованы в нашем индустриальном строительстве.

Одна из причин однообразия массовой застройки жилых комплексов связана с применением прямоугольных стандартных элементов, очертания которых не могут дать ничего, кроме коробчатых архитектурных форм.

Природа оперирует относительно небольшим количеством типов геометрических форм, но она умело комбинирует их, создавая большое разнообразие, причем стандарты в живой природе — это одновременно и экономия материала, и быстрота возникновения форм, хорошо приспособленных к выполнению своих функций.

Мы остановились лишь на некоторых аспектах архитектурно-строительной бионики, но возможности практического применения ее принципов неограничены. Она может решать такие вопросы, которые часто не под силу традиционным методам строительства.

Конкретные исследования обобщаются теорией и находят свое завершение в разработке методики и рекомендаций архитектурной бионики. Цель исследований заключается в решении таких важных вопросов, как улучшение социального качества архитектуры, преодоление однообразия массовой застройки, разработка критериев оптимальности, прогнозирование развития архитектурно-конструктивных форм, снижение материалоемкости конструкций и «миниатюризации» технологических линий, повышение уровня комфортности архитектурной среды и др.

Особое значение бионические средства приобретают в экстремальных условиях строительства, на Крайнем Севере, в зонах пустынь, под водой, под землей.

Бионика в состоянии обогатить творческий метод советских архитекторов не только инженерными «патентами», заимствованными у живой природы, многообразием пространственных форм, но и близкими человеческому восприятию образами, восходящими к вечной красоте природы. □

Находки Метростроя в экспозиции музея столицы

А. ВЕКСЛЕР, зав. археологическим отделом Музея истории и реконструкции Москвы

ВЫСТАВКА археологических находок «Москва сквозь века» в Музее истории и реконструкции явилась итогом широких исторических исследований на территории столицы за годы Советской власти. Важное место в экспозиции занимают уникальные предметы многовековой материальной культуры, найденные метростроевцами в древнем ядре города. Именно сооружение подземных трасс положило начало планомерному археологическому изучению Москвы.

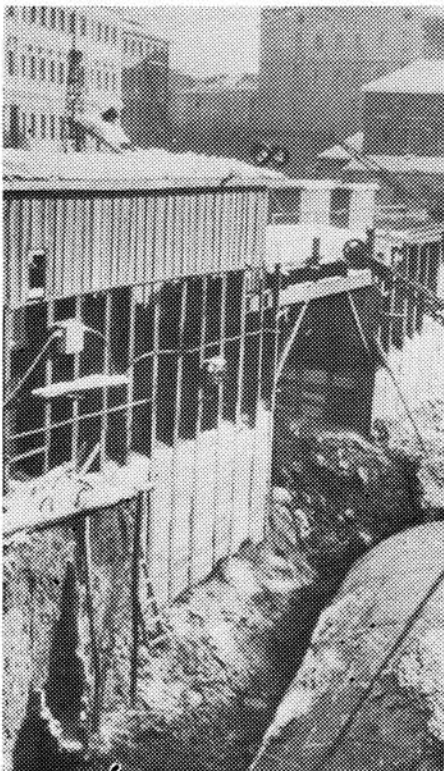
С самого начала строительства метрополитена его руководством был заключен договор с Государственной Академией Истории материальной культуры (ныне институт Археологии АН СССР) на производство археологических работ, обеспечивающих сохранность и возможность научного изучения памятников, обнаруживаемых в процессе земляных вскрытий. Установившееся в начале 30-х годов содружество принесло большую пользу не только изучению прошлого, но и чисто практическим

работам строителей. Археологи указали более 200 древних колодцев и других искусственных пустот, расположенных в непосредственной близости к тоннельным трассам, смогли внести ясность в ряд загадочных гидрологических явлений, связанных с особенностями строения грунта на месте засыпанных старинных рвов, в соседстве с фундаментами древних сооружений и т. п. Так, при строительстве наклонного хода на площади Дзержинского обвалился пласт земли, отделявший траншею от фундаментов находившейся рядом Никольской башни Китай-города. Хлынул мощный поток воды: за две минуты около 60 м³. В амбразуру башни ввели тогда трубу, через которую начали нагнетать цемент и жидкое стекло. Однако тонна раствора не дала эффекта — вода продолжала струиться. Возникло опасение, что на дне старинного сооружения находится водоем, ликвидация которого отнимет много времени. Археологический шурф вскрыл первопричину: под

Вход в сводчатое помещение «слуха» крепостной башни XVI в. Котлован метростроя у Ильинских ворот.



башней оказался не проток, а «слух» (подземное помещение, предназначенное для «слушания» во время осады крепости — не ведет ли враг подкопа). В XVII в. был заложен этот «слух». В маленькие окна его, выходящие в древний ров, проникала почвенная вода и скапливалась в подземелье. Когда по рекомендации ученых разобрали пол древней башни и выкачали воду, наполнявшую помещение, причина аварии была устранена.



Древний колодец в стенке котлована на площади Ногина. На дне колодца обнаружено множество сосудов.

Беспокойство возникло у строителей и при прокладке тоннеля на проспекте Маркса (тогда Охотного ряда) — неожиданно начал садиться мощный фундамент, скрепленный цементом. Работы пришлось приостановить, пока историки не разгадали непонятное явление: фундамент принадлежал винному погребу ресторана Егорова, находившегося в Охотном ряду. В 1905 г. Егорову разрешили устройство погреба под площадью при условии сооружения покрытий такой мощности, чтобы никакой тяжести воз не мог провалиться.

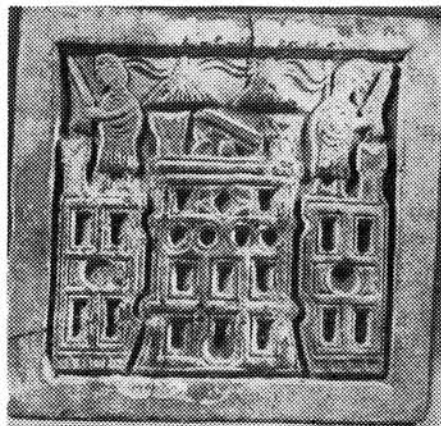
Важное значение имели археологические изыскания в шахте Метростроя у здания Ленинской библиотеки. Некоторое его оседание вызвало подозрение о существовании подземной пустоты на этом участке. Археологи обследовали белокаменный подвал XVII века и обнаружили в нем тайник в виде каменного «сундука» с низким и узким арочным входом. Тайник был тщательно замурован известняковой кладкой.

Интереснейшие находки сделаны метростроевцами на Моховой (ныне проспект Маркса). На значительной глубине шурфы прошли здесь сквозь пласт белого речного песка, лежавшего на большой площади. Объяснить его происхождение было бы невозможно, если бы не сохранилось свидетельство Генриха Штадена — немца-опричника. В своих записках он рассказывал об Опричном дворце Ивана Грозного за рекой Неглинной. Дворец стоял в сыром месте, и площадки перед ним засыпали толстым слоем привозного белого речного песка. Историки долго и безуспешно пытались определить местоположение этого дворца, и только после работ Метростроя его установили с достаточной точностью.

Работы по строительству трасс метро, прорезавших на значительном протяжении напластования земли, обогатили историю Москвы сотнями разнообразных находок, иллюстрирующих ремесла и торговые связи древнего города. «Если я изложу свое страстное стремление, то загорится тростник моего пера» — эту поэтическую метафору персидской печати XVII века расшифровали ученые на камне. А нашли печать — вещественное свидетельство давних связей Москвы с Востоком — в одной из первых шахт Метростроя на Каланчевской улице.

Немало удивительных находок «подарил» археологам котлован строительства станции «Площадь Ногина». Во рву крепости Китай-города собрали коллекцию оружия и воинского снаряжения, глиняных игрушек и изделий из кости, красочных печных изразцов, кожаной обуви, рукавиц и сумок «калиты». Любопытен сверток кожи, в который некогда завернули поврежденные железный топор, тесло, согнутые стремяна, плоские дверные накладки «жиковины». Можно предполагать, что эти вещи несли для ремонта в кузницу, но по неизвестной причине они полностью оказались во рву. Теперь — четыре столетия спу-

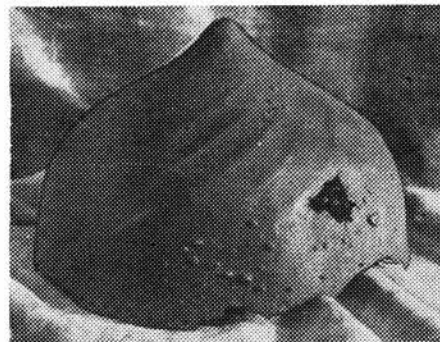
стя — их экспонируют в музейной витрине. Железный шлем с чеканной насечкой серебром, пробитый сбоку ударом сабли, несомненно побывал в жаркой боевой схватке — в дни сра-



Печной изразец с изображением воинов на крепости, конец XVI в.

жений (1612 г.) ополчения Минина и Пожарского с иностранными интервентами.

О героической истории, о большом мастерстве древних московских ремесленников — гончаров и оружейников, резчиков по камню, дереву, кости рассказывают многие находки,



Железный шлем, начало XVII в.

обнаруженные в наши дни метростроевцами. Имена проходчиков И. Вихренко, В. Журавлева, В. Мучника, мастера В. Козловского, бригадира А. Блинова, инженера Н. Медведева, начальников участков А. Симандуева, Е. Гербера и других с благодарностью называют на итоговой выставке. □

Влияние неровностей колес на взаимодействие пути и подвижного состава

И. БИРЮКОВ, докт. техн. наук; Е. РЫБНИКОВ, М. ЗАКС кандидаты техн. наук;
А. КОЗЫРЕВ, С. БРАСЛАВСКАЯ, инженеры

С ПОВЫШЕНИЕМ скоростей и интенсивности движения на линиях метрополитена увеличился выход из строя отдельных элементов ходовых частей вагонов и верхнего строения пути, в частности, рельсов. Одной из причин этого является динамическое воздействие на путь ходовых частей вагонов, вызванное неровностями на поверхности катания колес.

На Московском метрополитене эксплуатируются вагоны серии «Е», имеющие подрезиненные колеса диаметром 780 мм, и серии «Д» с цельнометаллическими колесами диаметром 900 мм. Наряду с этим прокатывается опытная партия цельнометаллических колес диаметром 780 мм.

Для решения вопроса об унификации колес необходима количественная оценка их достоинств и недостатков как с точки зрения образования неровностей на поверхности катания, так и влияния на динамическое взаимодействие пути и ходовых частей вагонов. Поэтому с целью определения действительной геометрии поверхности катания указанных трех типов колес МИИТом совместно с ММЗ проведен обмер их неровностей.

Под геометрической неровностью понимается любое отклонение формы круга катания колес в заданном сечении от круговой, концентрической по отношению к оси колесной пары. Для возможности разделения технологических неровностей и неровностей, развившихся в процессе эксплуатации, замеры выполняли в плоскости круга катания и на нерабочей части поверхности колеса измерительными устройствами с индикаторной головкой и тензометрическим прогибометром. Разрешающая способность метода измерения имела величину порядка 0,02 мм. Базой для отсчетов

принята бруска обмеряемой колесной пары, вывешенной на домкратах. Замеры производили в депо «Северное» и на ЗР ЭПС.

В результате обмера были получены по каждому колесу кривые неровностей двух поверхностей, заданные 24 ординатами, которые разлагались в ряд Фурье на ЦВМ «Наири» для получения значений амплитуд гармонических составляющих. Характерно, что независимо от типа колес, амплитуды гармоник по мере роста их порядка уменьшаются. Доминирующими являются амплитуды трех-четырёх низших гармоник, поэтому их и принимали при оценке влияния гармонического состава неровностей на поверхностях колес при взаимодействии с путем.

Влияние диаметра колеса на развитие неровностей в процессе эксплуатации показано в таблице, где сопоставлены абсолютные значения максимальных уровней амплитуд первых четырех гармоник неровностей нерабочих (в числителе) и рабочих поверхностей (в знаменателе) трех типов колес.

Тип колеса	Диаметр колеса, мм	Максимальная амплитуда гармоники, номер			
		1	2	3	4
Цельнометаллическое	900	0,23	0,11	0,05	0,07
		0,25	0,15	0,07	0,07
То же	780	0,23	0,08	0,08	0,05
		0,33	0,22	0,08	0,10
Подрезиненное	780	0,37	0,13	0,14	0,07
		0,70	0,36	0,19	0,10

С целью определения происхождения неровностей на цельнометаллических колесах диаметром 780 мм

сравнивали амплитуды гармоник на их рабочих и нерабочих поверхностях. Как видно из таблицы, максимальные амплитуды гармоник неровностей, развившихся в процессе эксплуатации, превышают амплитуды тех же гармоник технологического происхождения, т. е. неровностей, образовавшихся в процессе обточки бандажей колес. Особенно заметно это явление для гармоник второго и четвертого порядков, что указывает на возникновение неравномерного проката рабочих поверхностей этих колес. Однако для первой гармоники (эксцентриситет колеса) определяющими являются неровности технологического характера. Аналогичные зависимости обнаруживаются и у цельнометаллических колес диаметром 900 мм, но уровень неровностей, образовавшихся в процессе эксплуатации у них меньше, чем у колес диаметром 780 мм.

Сопоставление абсолютных значений амплитуд гармонических составляющих неровностей рабочих поверхностей подрезиненных и цельнометаллических колес диаметром 780 мм показывает, что у подрезиненных колес они выше, чем у цельнометаллических. Учитывая особенности технологии обточки подрезиненных колесных пар, можно предполагать, что значительная часть неровностей имеет технологическое происхождение и развивается в процессе эксплуатации. Сравнение амплитуд составляющих гармоник неровностей рабочих и нерабочих поверхностей подтверждает это предположение. Следовательно, подрезиненные колеса могут иметь более высокие уровни технологических неровностей, чем цельнометаллические колеса того же диаметра и диаметром 900 мм.

Для оценки влияния неровностей на уровень динамического взаимодей-

ствия пути и ходовых частей вагона в качестве критерия выбрана величина напряжений в зоне контакта колеса с рельсом от экспериментально определенных неровностей.

Динамические контактные напряжения от средних значений амплитуд неровностей первых четырех гармоник на рабочих поверхностях колес в зависимости от скорости движения показаны на рис. 1. Расчет проведен для амплитуд неровностей подрезиненных и цельнометаллических колес (диаметр 780 мм), равных соответственно для гармоник: 1—0,21 и 0,14 мм, 2—0,07 и 0,06 мм, 3—0,04 и 0,04 мм, 4—0,03 и 0,02 мм. С увеличением скорости движения подрезиненные колеса оказывают большее воздействие на путь, чем цельнометаллические. Особенно неблагоприятно влияние первой и второй гармоник неровностей.

Считая в первом приближении влияние гармоник некоррелированным, можно оценить суммарное значение добавочных контактных напряжений как среднеквадратичную величину. Ее значения для подрезиненного и цельнометаллического колес представлены на рис. 1 кривыми S_n и S_m . Сравнение этих кривых показывает, что при средних значениях амплитуд неровностей низших гармоник динамические напряжения в зоне контакта колеса с рельсом в наиболее вероятном эксплуатационном диапазоне скоростей движения 50—60 км/ч у подрезиненных колес на 25—30% выше, чем у цельнометаллических того же диаметра.

На рис. 2 отражены динамические контактные напряжения от максимальных значений амплитуд гармонических неровностей на рабочих поверхностях колес (в соответствии с таблицей) в зависимости от скорости движения. Уровень контактных напряжений подрезиненных колес в 1,5 раза выше, чем цельнометаллических во всем диапазоне скоростей движения независимо от номера гармоники. Следует отметить, что из 30 обмеренных подрезиненных колес лишь одно имело высокие амплитуды неровностей рабочей и нерабочей поверхностей особенно для 2—4 гармоник, у остальных они незначительно отличались от средних.

В результате проведенного гармонического анализа неровностей колес трех типов установлено следующее: наименьшие неровности отмечены у цельнометаллических колес диамет-

ром 900 мм, причем их развитие на рабочих поверхностях катания в процессе эксплуатации проявляется слабо;

металлические колеса диаметром 780 мм имеют близкий к колесам диаметром 900 мм уровень неровностей технологического характера, но отличаются более выраженным неравномерным прокатом;

отдельные подрезиненные колеса диаметром 780 мм имели больший, чем у цельнометаллических колес того же диаметра уровень неровностей технологического характера от эксцентриситета и овальности колеса.

Результаты решения динамической задачи о связанных колебаниях тележ-

ки вагона серии «Е» и пути показывают, что:

динамические контактные напряжения от средних значений амплитуд неровностей рабочих поверхностей подрезиненных колес диаметром 780 мм на 20—30% выше, чем у цельнометаллических того же диаметра;

у отдельных подрезиненных колес диаметром 780 мм, имеющих повышенный уровень неровностей рабочих поверхностей, динамические напряжения в зоне контакта колеса с рельсом в 1,5 раза превышали уровень контактных напряжений цельнометаллических колес того же диаметра. □

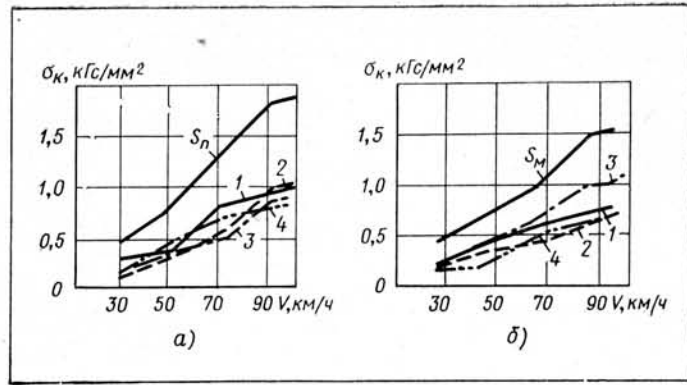


Рис. 1. Динамические контактные напряжения от средних значений амплитуд неровностей первых четырех гармоник (1—4) на рабочих поверхностях подрезиненных (а) и металлических (б) колес диаметром 780 мм.

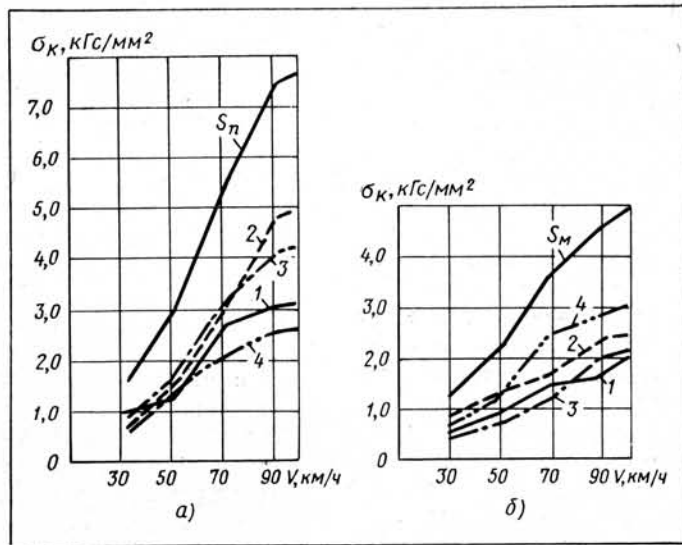


Рис. 2. Динамические контактные напряжения от максимальных значений амплитуд неровностей первых четырех гармоник (1—4) на рабочих поверхностях подрезиненных (а) и металлических (б) колес диаметром 780 мм.

СИСТЕМА подземных металлических сооружений депо Бакинского метрополитена состоит из трубопроводов различного назначения (тепло-, газо-, воздухо-, водопроводы), кабелей силовых и СЦБ и т. п. Значительная разветвленность путей депо обуславливает интенсивное поле блуждающих токов, что создает серьезную опасность коррозии подземных коммуникаций и нарушения их нормальной работы. В таких условиях особую актуальность приобретает расчет совместной электродренажной защиты, так как при плотном размещении особенно сильно будет ощущаться неблагоприятное влияние отдельно защищаемых сооружений на соседние.

Лабораторией коррозии Бакинского метрополитена и кафедрой «Электрические сети и системы» Азербайджанского института нефти и химии им. Азизбекова осуществлена совместная электродренажная защита газопровода, воздухопровода и кабелей. Расчет ее базируется на положениях теории линейных электрических цепей и прикладной комбинаторики. Для расчета построена электрическая схема замещения системы совместно защищаемых коммуникаций, представленная многополюсником, полюсами которого являются точки дренирования токов (подключение дренажных цепей к рельсу и сооружениям) и медносульфатные электроды сравнения, служащие для измерения потенциала сооружения относительно близкой земли. Пары зажимов многополюсника, к которым возможно подключение дренажей или перемычек, названы токовыми входами, а пары «сооружение — соответственный электрод сравнения» — потенциальными. В ветвях, подключенных к последним, токи равны нулю, так как протекающие через электроды сравнения и вольтметры токи на несколько порядков меньше дренажных.

Число K возможных схем совместной защиты n сооружений определяется формулой

$$K = (n+1)n - 1$$

При n равном 2, 3, 4, 5 K соответственно — 3, 16, 125, 1296. Для построения таких схем использовали элементы теории графов.

Опытное определение параметров многополюсника предусматривает воспроизведение режима холостого хода на всех его токовых входах за исключением одного, к которому подключается сопротивление. Затем измеряют напряжения на входах многополюсника и ток в сопротивлении. Отношения измеренных напряжений к току представляют собой сопротивления — элементы столбца матри-

Защита подземных металлических сооружений депо

**А. МУГАНЛИНСКИЙ, П. СПИРИН, кандидаты техн. наук;
Н. АЗИЗОВ, инженер**

цы сопротивлений. Если условия опыта повторить n раз так, чтобы сопротивление подключалось к новому токовому входу, то можно получить значения всех элементов матрицы сопротивлений. Кроме того, измеряют напряжения на токовых входах. Считается, что средний ток тяговой нагрузки за время экспериментов не изменяется. Значения всех потенциалов и токов определяют как среднее статистическое выборки, состоящей из нескольких десятков замеров. По параметрам многополюсника составляют систему алгебраических уравнений, описывающих его режимы, и решают ее на ЭВМ. Программа расчета представляет собой стандартную систему линейных алгебраических уравнений методом Гаусса. В результате получают величины сопротивлений дренажных перемычек, обеспечивающие защитные потенциалы на всех сооружениях и токи в перемычках.

Этим методом рассчитана совместная защита системы, схематически изображенная на рис. 1. Предварительно рассмотрели 16 возможных ее схем, соответствующих максимальным и минимальным защитным потенциалам, и выбрали вариант с минимальной стоимостью, для чего реализовали программу построения экстремального дерева графа системы сооружений. В соответствии с расчетом на территории депо Бакинского метрополитена включена элект-

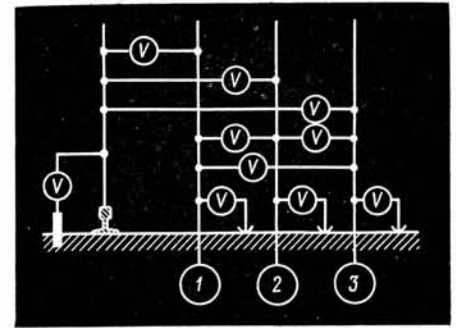


Рис. 1. Схема подземных сооружений депо:
1 — газопровод; 2 — воздухопровод; 3 — кабели

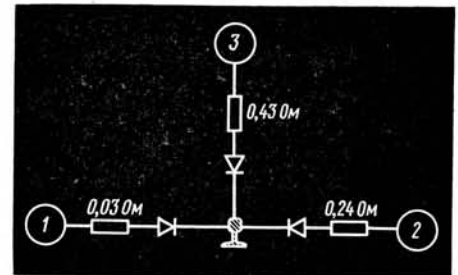


Рис. 2. Схема электродренажной установки

родренажная установка по схеме (рис. 2), обеспечивающей защитные потенциалы на трех сооружениях. □

Борьба с шумом и вибрацией

Ю. ГРАЧЕВ, инженер

ВОПРОС о необходимости борьбы с вибрацией и шумом, вызванными движением транспортных средств в черте города, впервые возник еще в шестидесятых годах прошлого века в связи с вводом в эксплуатацию Лондонского метрополитена. Первые его линии располагались на эстакадах, так как в то время при-

менялась паровая тяга. Однако движение подвижного состава по ним вызывало невероятный шум и сильные вибрации зданий, а сами эстакады занимали дорогостоящие городские территории. Поэтому при дальнейшем развитии технических средств линии метро перевели под землю. Такое решение дало положительный эффект,

но не разрешило полностью проблему шума и вибрации в близко расположенных районах.

Шум и вибрации, возникающие при эксплуатации различных механизмов, стали, по свидетельству ученых и общественности различных стран, всеобщей проблемой XX века. Достаточно сказать, что каждое десятилетие городской шум увеличивается в среднем на 8—10 дБ, что соответствует его усилению по громкости примерно в 2 раза.

В крупных городах, имеющих метрополитены, существует проблема борьбы с шумом и вибрациями, возникающими в результате движения поездов внеуличных городских железных дорог. Особенно ощутимы эти явления, если линии наземные или неглубокого заложения. Учитывая, что стоимость строительства метро в значительной степени зависит от глубины заложения, понятно широкое распространение мелкого заложения как экономически более выгодного. Вполне очевидно, что при этом необходимо предусматривать мероприятия по защите окружающей среды от шума и вибрации. Они осуществляются практически на всех метрополитенах. Так, в Марселе намечается выпуск специального подвижного состава с резиновыми бандажами и устройство вдоль пути шумопоглощающих стен. В Японии на национальных железных дорогах организован комитет по изучению вибрации. В Сан-Пауло на одном из участков подземной трассы увеличен внутренний объем сооружений.

На Московском метрополитене создана специальная лаборатория по изучению шума и вибрации, вызываемых движением поездов. Значительные исследования и эксперименты проводятся в нашей стране и другими организациями. Разработан ряд мероприятий по защите зданий и сооружений, расположенных близко к эксплуатируемым линиям, например, укладка верхнего строения пути на амортизаторах, увеличение массы отдельных элементов подземных конструкций, сооружение различных виброзащитных стен, устройство свайного ограждения, навеска в подвалах зданий специальных виброгасителей и др. Для предохранения сооружений и зданий от шума, вызываемого проходящими поездами метрополитена по открытым участкам, проектируется на одном из них возвести защитную галерею. Часть мероприятий уже осуществлена и выявлена степень их

эффективности. Так, установлено, что применение свайного ограждения и использование в подвалах зданий виброгасителей не дало положительных результатов и дальнейшая разработка таких конструкций нецелесообразна; пустотный экран, ограждающий здание, обеспечил снижение уровня вибрации в нем на 1—12 дБ в регламентируемом санитарными нормами диапазоне частот 2—63 Гц.

Государственными нормами на проектирование и строительство линий метрополитенов в селитебной части города предусматривается создание специальных охранных зон до близко расположенных зданий и сооружений культурно-бытового назначения шириной 100 м. Если учесть, что стоимость 1 га территории крупного промышленного района достигает 1,6 млн. руб., очевидно, стоимость городской территории в 10 га, соответствующая длине участка линии в 1 км, составит 16 млн. руб. Для сравнения приведем стоимость 1 км защитных сооружений: пустотная траншея — стена — примерно 800 тыс. руб.; галерея — около 3 млн. руб.; укладка 1 км пути на амортизирующей конструкции стоит более 4 млн. руб. Сопоставление этих ориентировочных данных показывает, что звукопоглощающие и виброзвукоотражающие устройства экономически более выгодны, чем амортизирующий путь, а тем более оставление охранных зон.

Предлагаемые методы борьбы с шумом и вибрацией, вызываемыми подвижным составом метрополитенов и железных дорог, предусматривают поглощение, демпфирование или отражение акустических колебаний. Наиболее перспективным направлением можно считать устройство на пути распространения акустических волн отражающих и поглощающих преград. Однако, несмотря на значительную стоимость укладки пути на амортизаторах, такой вариант следует подвергнуть тщательному исследованию и продолжать поиски экономически более выгодных решений.

Научные исследования показали целесообразность уменьшения шума и вибраций в самом подвижном составе и в местах его взаимодействия с полотном дороги, а также применение всех перечисленных методов в комплексе, что может заметно повысить их суммарную эффективность. Исследования в этом направлении являются перспективными и требуют дальнейшего развития. □

Современные методы строительства тоннелей

(по материалам III коллоквиума в Братиславе)

К. РАТКОВСКИЙ, М. НИКИТЕНКО,
кандидаты техн. наук

В БРАТИСЛАВЕ (ЧССР) состоялась III международный коллоквиум «Современные методы строительства тоннелей», организованный Краевым комитетом Словацкого транспортного общества НТО (совместно со специализированной группой транспортных тоннелей), кафедрой геотехники Словацкой высшей технической школы (СВШТ) и рядом строительных и проектных организаций Братиславы.

В работе коллоквиума приняли участие специалисты из ЧССР, СССР и Англии. Его целью была выработка рекомендаций для проектирования и строительства транспортных тоннелей Братиславской скоростной рельсовой дороги (СРД) в сложных инженерно-геологических условиях на основе наиболее современного оборудования и прогрессивной технологии, применяемых в Чехословакии и других странах.

Новый перспективный план развития Братиславы и его основные отличия от прежнего варианта осветила в докладе «Концепция развития городской транспортной сети в Братиславе с оценкой ее новых форм» А. Ловашова (Управление транспортных инженерных сооружений, Братислава).

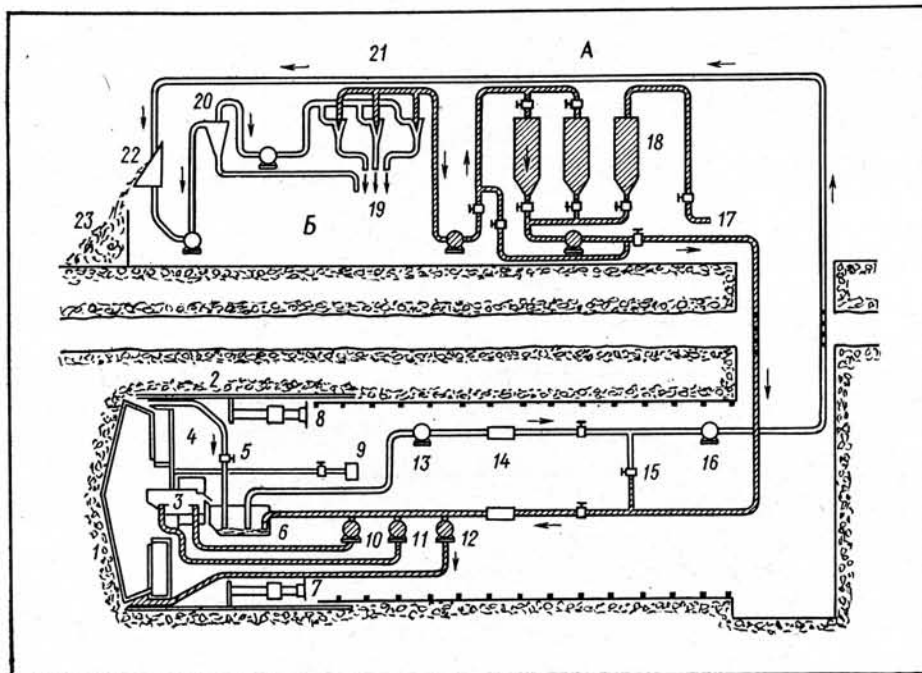
С учетом изменений в плане, а также в связи с увеличением численности населения города в качестве оптимального решения проблемы его транспортной сети выбран вариант скоростной рельсовой дороги с четырьмя радиальными линиями, соединенными в центре Братиславы. Общая их протяженность — 69 км: по поверхности — 44 км, по мостам — 8 км и в тоннелях — 17 км. Предполагается также соорудить три трамвайных депо.

Трасса СРД характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, но особые трудности возникают при проходке тоннеля под рекой Дунай. Чтобы их разрешить, требуется тщательная проработка технических решений и выбор совершенных механизмов и технологий.

В докладе **К. Ратковского** (кафедра геотехники СВШТ, Братислава) «Проблематика строительства первого тоннельного участка СРД в Братиславе в конкретных геологических и гидрогеологических условиях» дана характеристика проектных решений и технологии строительства первого участка Братиславской СРД. Работы предполагается выполнять поэтапно по степени их важности. Центральная часть города с наиболее интенсивным движением в первую очередь нуждается в коренной транспортной реконструкции, поэтому именно здесь будет начато строительство линии от Петржалки до Киевской площади (станция № 8). Этот участок (от 8 до 10 км) — самый тяжелый в связи с прокладкой его под Дунаем.

Схема щитовой проходки тоннелей с применением бентонитовой суспензии:

А — участок складирования суспензии; Б — участок очистки суспензии; 1 — режущая головка; 2 — щит; 3 — подающее колесо; 4 — напорная ограждающая камера; 5 — напорный вентиль для контроля давления в лобовой части щита; 6 — емкость для шлама; 7 — гидроцилиндры; 8 — уплотнение; 9 — емкость с бентонитом; 10 — насос 1; 11 — насос 2; 12 — насос 3; 13 — насос для гравия; 14 — телескопический трубопровод; 15 — соединительный вентиль; 16 — дополнительный насос; 17 — подача чистой бентонитовой суспензии; 18 — емкость для чистого бентонита; 19 — песок для дальнейшей очистки и удаления; 20 — первичный гидроциклон; 21 — вторичные гидроциклоны; 22 — вибросито; 23 — отбросы



Трасса СРД характеризуется разнообразием инженерно-геологических условий. Грунты представлены глубокими речными наносами. Горизонт грунтовых вод зависит от уровня воды в реке. Сыпучие водонасыщенные пылеватые пески под Дунаем уплотнены и обладают заметной склонностью к разжижению, в силу чего можно предположить трудность их инъецирования. Встречающийся террасный гравий залегает на большом протяжении выше горизонта грунтовых вод и в подавляющем объеме сцементирован до такой степени, что удерживает высокие вертикальные стены. Трасса первого участка СРД делится на следующие отрезки: депо в Петржалке; путь по поверхности в промышленной зоне Петржалки — ~1,4 км; подземный — длиной 2—5 км; проходимый щитом тоннель под Дунаем и затем до станций № 8, № 11 — от 1,6 до 3,6 км.

С точки зрения метростроения сложны все эти участки, а переход под Дунаем создает наиболее острые проблемы. С учетом колебания уровня грунтовых вод в зависимости от уровня реки решено принять более высокую отметку трассы, чтобы контакт подземных конструкций с грунтовыми водами был минимальным. Запроектированы следующие способы проходки тоннелей: в откосном котловане с водопонижением; в строительном котловане, ограждаемом анкеруемыми траншейными стенами с противифльтрационными функциями при инъецировании грунта ниже днища тоннеля. Щитовая проходка в существующих

геологических условиях возможна лишь при помощи активной крепи в забое. Применение щита с использованием ограждающих функций бентонитовой суспензии в забое призвано обезопасить работу под Дунаем. Заслуживает внимания комбинация так называемого «канального способа» (роттердамского) с методом сооружения тоннеля в открытом котловане на искусственном острове. Она практиковалась, например, при устройстве опоры нового автомобильно-железнодорожного моста в Братиславе.

Подземные станции проектируются в открытых котлованах, ограждаемых траншейными стенами. От глубины заложения зависит их конструктивная схема. При малой глубине станции будут одноэтажными (№№ 2—5), при большой — многоэтажными (№№ 6—11), наиболее глубокая станция № 7. На возможную отметку уровня рельсового пути влияет примененная технология строительства тоннелей под Дунаем.

В докладе **Л. Чижмара** («Допрово-проект», Братислава) «Строительство некоторых специальных подземных объектов в Братиславе» приведено несколько примеров уже существующих в городе сооружений, которые по своим техническим решениям приближаются к станциям СРД. Большинство этих объектов возведено методом «стена в грунте».

П. Свобода («Гидростав», Братислава) в докладе «Конструктивные подземные стены и их использование при устройстве подходов и подъездов в Братиславе» остановился на технологии изготовления железобетонных конструктивных траншейных стен и возможности их внедрения на подземных транспортных сооружениях. Приведены примеры возведения стен из сборных железобетонных элементов с самотвердеющей суспензией, которая вызывает распор стенок траншеи, создавая условия для работы грейфера благодаря своим тиксотропным свойствам, а после погружения сборных элементов обеспечивает их связь с грунтом за счет твердения до требуемой прочности.

М. Купка («Метропроект», Прага) поделился опытом планирования, проектирования и строительства подземных трасс в Праге. В докладе показаны основные особенности сети пражского метро, рассмотрена технология его сооружения.

М. Никитенко (Белорусский политехнический институт, Минск) охарактеризовал инженерно-геологические условия и конструктивные решения

nr

трасс и станций метрополитена, строящегося в Минске.

Директор фирмы «Эдмунд натул» (Англия) **А. Биггарт** выступил с докладом «Прокладка тоннелей в мягких породах ниже уровня грунтовых вод с использованием сжатого воздуха». Рассмотрев методы щитовой проходки в их историческом развитии, он подробно остановился на особенностях технологии строительства ниже уровня грунтовых вод в различных геологических условиях.

Вопросам применения бентонитов при щитовой проходке тоннелей был посвящен доклад директора фирмы «Роберт Л. Пристли» (Англия) **Р. Люнса**, который указал на основные недостатки использования сжатого воздуха. Их можно избежать полу-

чением ограждающих свойств с помощью глинистой суспензии, применяемой для устройства подземных стен. Находящаяся в забое суспензия укрепляет грунт без дополнительных мер; ее утечки (по сравнению с воздухом) и оседание поверхности снижаются. Основным достоинством суспензии является возможность использования при этом механической разработки грунта в забое и безопасности выполнения работ в тоннеле (при нормальном давлении воздуха).

Бентонитовый щит имеет все основные черты механизированного с тем отличием, что в его забое создана камера высокого давления с ротационной фрезой и бентонитовой суспензией. Освобожденная порода вместе с последней транспортируется насоса-

ми по трубопроводам из тоннеля на поверхность, где обломки отделяются от суспензии, которая после очистки вновь поступает в работу. Камни размером до 300 мм пропускаются через специальное подающее колесо без потери давления и суспензии. На поверхности размещаются: комплекс оборудования по приготовлению и регенерации бентонита, пульт управления и лаборатория по исследованию ее свойств. Управление процессом щитовой проходки такого типа ведется с помощью электронной вычислительной техники по специальным программам.

В докладе даны рекомендации по ограничению использования бентонитового щита и применению его в конкретных геологических условиях. □

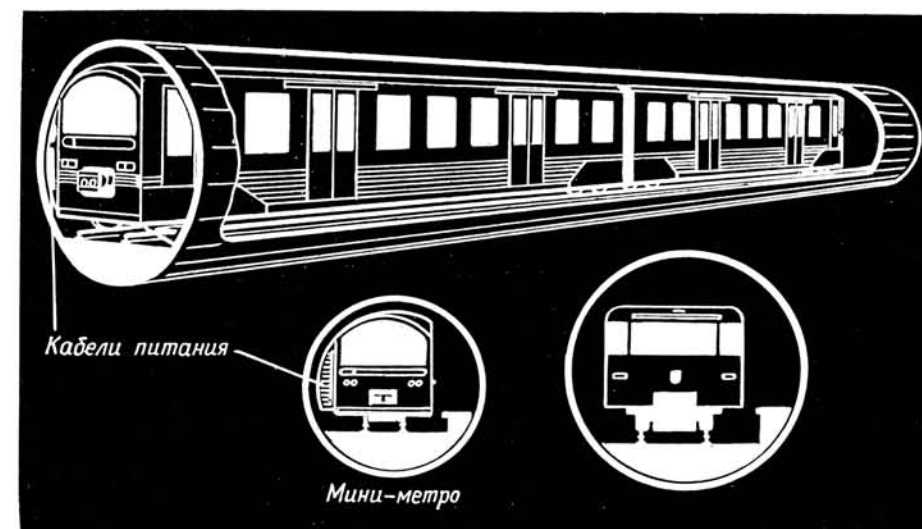
Мини-метро

ПРОФЕССОР западноберлинского Технического университета Хельмут Бугарчич разработал проект метрополитена с уменьшенным диаметром тоннеля. Реализация этого предложения дала бы возможность разрабатывать и вывозить на $\frac{1}{3}$ меньше породы, что значительно снизило бы стоимость строительства.

В тоннеле диаметром всего лишь 3,6 м дистанционно управляемые поезда могут курсировать со скоростью 40 км/ч с интервалами в 90 сек., т. е. быстрее, чем в обычных метрополитенах.

При сооружении новых линий дорожке всего обходится проходка тоннелей (диаметр тоннеля в мюнхенском метро 4,75 м, в гамбургском — 4,2 м). Принято считать, что стоимость 1 км пути возрастает пропорционально диаметру тоннеля.

Чтобы состав размещался в таком небольшом сечении, Бугарчич перенес всю питающую проводку поезда (контактный кабель и кабель управления, отопление и вентиляцию) из короба под полом вагона и поместил их сбоку, что позволяет эффективнее ис-



пользовать профиль тоннеля (см. рисунок). Благодаря этому пол вагона можно опустить до высоты осей и расстояние до рельсов уменьшить до 35 см (в мюнхенском метро — 1,1 м).

В вагонах шириной 1,9 м на обеих сторонах будет расположено по 8 одиночных (очень удобных) сидений, а на обоих концах — по трехместному ряду. Высота в свету в центре салона составит 2,15 м, что, по мнению изобретателя, достаточно даже для очень высоких людей.

Такое мини-метро особенно удобно

для городов с населением до 800 тыс. человек, которым недоступно дорогостоящее подземное строительство. По сравнению с обычным метрополитеном стоимость 1 км пути снижается примерно на 4 млн. марок. Значительно уменьшаются и эксплуатационные расходы, например, для гамбургских подземных линий длиной в 90 км экономия составила бы 35 млн. марок в год. Мини-метро способно перевозить более 16 тыс. пассажиров в час в одном направлении (в поездах, состоящих из 9 вагонов). □

Художественный и технический редактор **Е. К. Гарнухин**

Сдано в набор 13.03.79. Подп. в печать 27.04.79 Л-25906
Формат 60×90 $\frac{1}{8}$. Вумага типографская № 1. Гарнитура новогазетная. Печать высокая. 4,0 печ. л. Тираж 3800 экз.
Заказ 949 Цена 30 коп.

Адрес редакции: 103031, Москва, К-31. Кузнецкий мост, 20, 2-й этаж, телефоны 295-86-02, 223-77-72

Типография изд-ва «Московская правда», Потаповский пер., 3.

