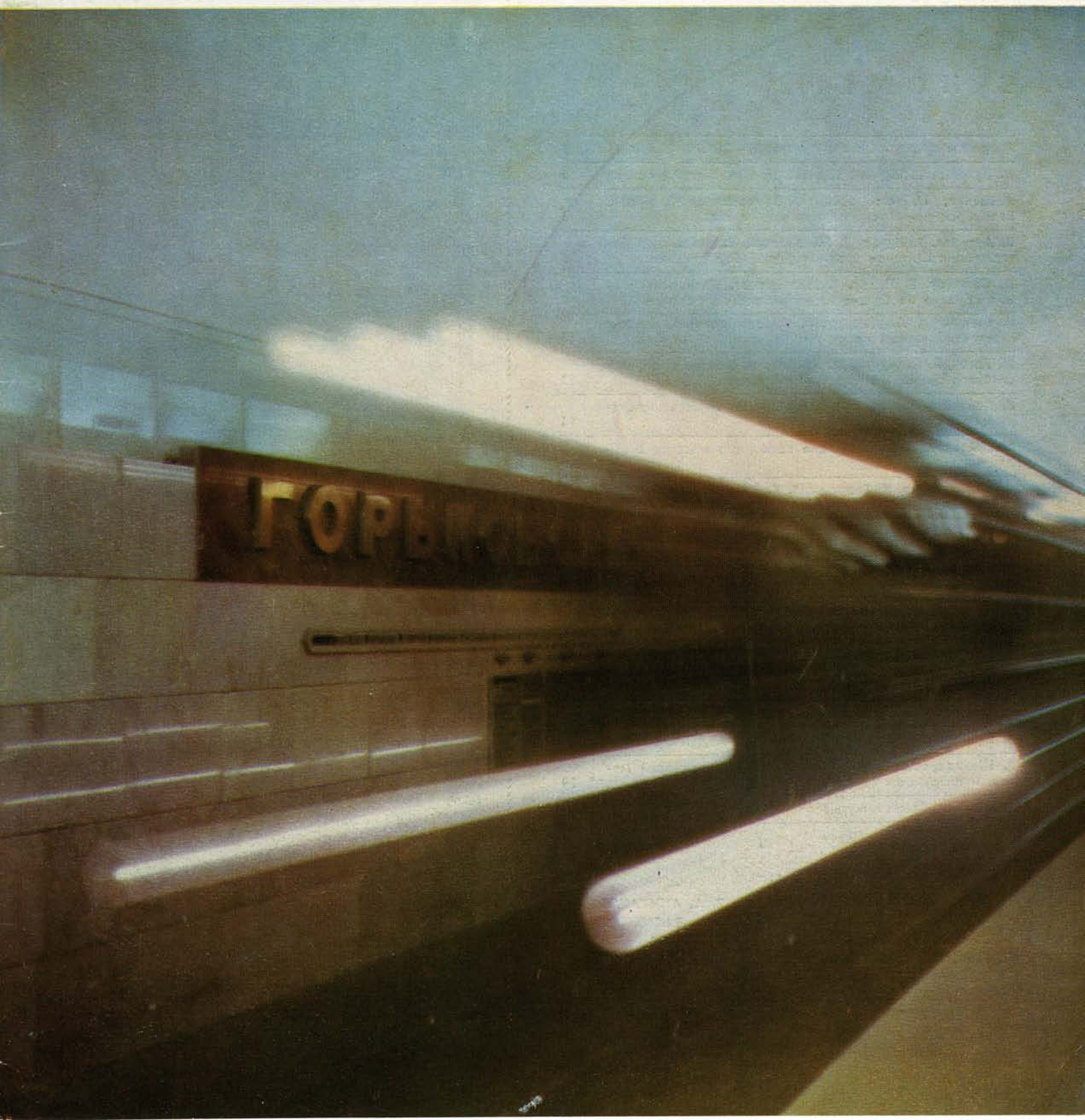


ISSN 0130—4321

6 1983

МЕТРОСТРОЙ



Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

МЕТРОСТРОЙ

6 1983

ИНФОРМАЦИОННЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

ИЗДАНИЕ МОСКОВСКОГО МЕТРОСТРОЯ И
ИЗДАТЕЛЬСТВА «МОСКОВСКАЯ ПРАВДА»

ОСНОВАН В 1932 ГОДУ

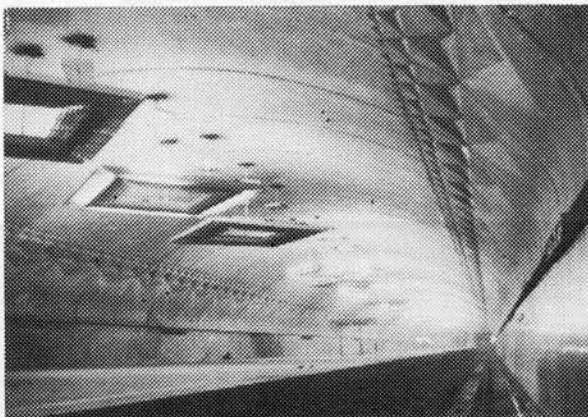
В НОМЕРЕ:

Лауреаты премии Совета Министров СССР	1
Н. Кулагин, С. Щукин. Тоннель на Канонерский остров	2
В. Гацько, И. Нестеренко, О. Воробьенко, С. Пужай. Безвибрационный способ извлечения свай	3
В. Ауэрбах, Г. Лурье, В. Масловский, Е. Цейтлин, В. Татаринский. Щитовое экскаваторное оборудование	5
А. Семенов, В. Лысяк, Г. Мартиросов. Цельносекционная обделка из бетона на напрягающем цементе	8
В. Пинаджян, А. Дандурова. Высокомарочные бетоны в железобетонных конструкциях	11
М. Каган, Б. Селедцов, Н. Костюкова. Замена сульфатостойкого цемента в агрессивной среде	12
Е. Демешко, А. Слемзин. Несущая способность цилиндрических стыков	14
Ю. Айвазов. Взаимодействие породного массива с обделкой	15
С. Сильвестров, К. Безродный, Р. Касапов. Проявление горного давления при строительстве тоннелей БАМа	17
А. Нестеровский, А. Ротенфельд. Оптимальная схема организации строительства	19
В. Нечаев, Б. Шкурко. Теплообмен подземных сооружений	20
О. Королев, И. Осадчий, И. Хлебников. Защита оболочками электрооборудования напряжением до 1000 В	22
В. Козлов, М. Каган, Р. Ахмеднабиев, Г. Богомолов. Гидроизоляционные цементные композиции с низко-модульными волокнами	23
В. Казьмин, С. Кадышев. Металлизация напылением	25
В. Щербача. Реконструкция устройств АТДП и связи	27
В. Швандерова. Сооружение подводных тоннелей методом погружных секций	29
Обзор зарубежных журналов	31

Редакционная коллегия:

С. А. ПОНОМАРЕНКО (отв. редактор), В. А. АЛИХАШКИН,
Л. С. АФЕНДИКОВ, А. С. БАКУЛИН, П. А. ВАСЮКОВ,
С. Н. ВЛАСОВ, В. Я. ГАЦЬКО, В. Д. ГОЦИРИДЗЕ,
П. С. ИСАЕВ, Ю. А. КОШЕЛЕВ, А. С. ЛУГОВЦОВ,
В. Л. МАКОВСКИЙ, Б. П. ПАЧУЛИЯ, В. Г. ПРОТЧЕНКО,
А. И. СЕМЕНОВ, Г. А. ФЕДОРОВ, Н. Г. ФЕДОСОВ,
И. М. ЯКОБСОН

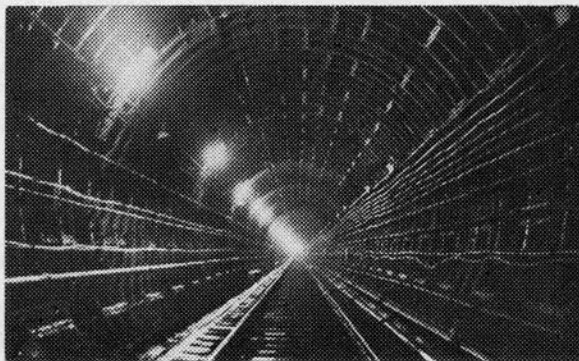
ИЗ ФОТОХРОНИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕРПУХОВСКОЙ ЛИНИИ



«Тулльская».



«Севастопольская».



«Нагорная» — «Нахимовский проспект».



«Чертановская» — «Южная».

Лауреаты премии Совета Министров СССР

Рассмотрев предложения Госстроя СССР, Государственного комитета СССР по науке и технике и ВЦСПС, Совет Министров СССР постановил присудить премии Совета Министров СССР 1983 года за разработку наиболее выдающихся проектов и строительство по этим проектам предприятий, зданий и сооружений.

В области строительства транспортных объектов:

Черемину Виктору Александровичу, главному архитектору проекта, **Абросову Алексею Андреевичу**, **Муромцеву Юрию Зиновьевичу**, **Сазонову Гавриилу Николаевичу**, начальникам отделов, **Ефимовой Вере Петровне**, главному специалисту, **Молодцову Георгию Викторовичу**, заместителю главного инженера, работникам Метрогипротранса, **Ходошу Владимиру Александровичу**, главному инженеру специального конструкторско-технологического бюро Главтоннельметростроя, **Гонтову Николаю Наумовичу**, **Литвину Валентину Николаевичу**, бригадирам, **Дюкову Юрию Ивановичу**, главному инженеру Строительно-монтажного управления, **Зайдуллину Нафигулле Гашиковичу**, начальнику Строительно-монтажного управления, **Исаеву Павлу Сергеевичу**, главному инженеру, **Косареву Борису Васильевичу**, начальнику Управления специальных работ, **Нестерову Владимиру Степановичу**, главному маркшейдеру Строительно-монтажного управления, работникам управления Мосметрострой, **Людиновскому Сергею Степановичу**, ведущему инженеру Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства, работникам организаций Министерства транспортного строительства, **Семерджиеву Роману Ивановичу**, главному архитектору проекта управления Моспроект-2 Главного архитектурно-планировочного управления Москвы при Мосгорисполкоме, **Малышеву Николаю Алексеевичу**, начальнику службы Московского ме-

трополитена имени В. И. Ленина Министерства путей сообщения, **Горину Юрию Григорьевичу**, начальнику отдела главного управления того же министерства, — за прогрессивные методы сооружения станций метрополитенов на действующих перегонах без перерыва движения поездов на примере станции «Горьковская» Московского метрополитена имени В. И. Ленина.

На станции, впервые в мировой практике возведенной в непосредственном примыкании к действующей трассе метрополитена, без устройства временных путей в обходных тоннелях, применен ряд эффективных технических новшеств: дуговой тьюбингоукладчик, позволивший монтировать тоннельные конструкции в стесненных условиях; установка УРО-1 на железнодорожной платформе для демонтажа обделки эксплуатируемых перегонов; гидроклин для разрушения крепких пород без применения буровзрывных работ и др. Высокий технический уровень строительства уникального объекта позволил сэкономить 2,5 миллиона рублей капитальных вложений, 4 тысячи тонн чугуновых тьюбингов, 100 тонн рельсов, на 22 тысячи кубометров уменьшить объем земляных работ в крайне сложных инженерно-геологических условиях.

Несмотря на трудности, московские метростроевцы на пять месяцев ускорили пуск станции, принятой в эксплуатацию с оценкой «отлично».

Просты и впечатляющи архитектурно-композиционные решения и художественное оформление «Горьковской». Она стала частью создаваемого пересадочного узла метрополитена в центре столицы, на пересечении Горьковско-Замоскворецкой, Ждановско-Краснопресненской и перспективной Тимирязевско-Серпуховской линий, проходящих в разных уровнях, с треугольником из станций: «Пушкинская», «Горьковская» и «Чеховская».

ВВЕДЕН В СТРОЙ ДЕЙСТВУЮЩИХ ТОННЕЛЬ НА КАНОНЕРСКИЙ ОСТРОВ

Н. КУЛАГИН,
канд. техн. наук;
С. ЩУКИН,
инженер

ОЧЕНЬ давно, когда еще только строился Петербург, Канонерский остров был материковой частью, расположенной в устье Невы. Из-за больших наносов ила с Финского залива Балтийского моря Нева в своем устье сильно мелела, затруднялось судоходство и выход в залив. Для решения этой проблемы Петр I издал указ о постройке глубоководного Морского канала. В результате оказался отрезанным от материка небольшой клочок земли, который стал островом, получившим впоследствии название Канонерский.

Скорость течения в канале на пути из Финского залива к акватории Морского Торгового порта и Неве — 0,4—0,6 м/сек. Правый его берег, на котором расположен сейчас крупный судоремонтный завод и жилой поселок, имеет откос крутизной 1:2,5. Левый — занятый территорией Торгового и Лесного портов, ограничен массивной вертикальной стенкой.

Переправа через Морской канал на Канонерский остров транспортных средств до настоящего времени осуществлялась парами и катерами с использованием в зимнее время ледокольных буксиров.

Вопрос о соединении острова с материком для обеспечения постоянно действующей надежной транспортной связи ставился давно. Еще в 1960 г. Ленметрогипротранс предложил несколько способов строительства тоннеля под Морским каналом. Были рассмотрены варианты и разводного моста с длиной пролета свыше 100 м и протяженными подходами. Однако по ряду соображений этот вариант был отвергнут.

Тоннельный переход разрабатывался в двух вариантах. Один из них предусматривал сооружение тоннеля на всем протяжении закрытой части от портала до портала щитовым способом под сжатым воздухом с чугунной тубинговой обделкой большого диаметра. Берега и ложе канала обрешены слабыми насыщенными

водой породами четвертичного возраста. Такие инженерно-геологические условия осложнили бы ведение и безопасность работ щитом под сжатым воздухом.

При заглублении тоннеля в толщу протерозойских глин длина его возрасла до 3—4 км, а подходы уходили далеко за пределы острова.

После долгих дебатов был выбран метод опускания готовых секций.

Такого способа не знала еще практика отечественного тоннелестроения. Над проектом подводного тоннеля работали специалисты Ленметрогипротранса — генерального проектировщика, Ленгипротранса, Ленгипроинжпроекта, ЛенморНИИпроекта, ЛО СКБ Главмостостроя, ЦНИИСа Минтрансостроя, ЛИИЖТа, МИИТа, Метрогипротранса, Московского Гидромелиоративного института, СКБ Транснефтьавтоматики и других. Строительство тоннеля осуществлялось Мостоотрядом № 11 Мостостроя № 6, являвшимся генеральным подрядчиком.

Протяженность подводного автотранспортного тоннеля около 1 км, береговые рамповые участки — 320 м. Отрезки въезда и выезда сооружены открытым способом. Так же проходились замкнутые монолитные участки. Строительство их осложнялось тем, что они возводились на достаточно большой глубине и потребовали принятия специальных мер, в том числе замораживания.

Особый интерес представляет средний участок длиной 375 м, состоящий из пяти наплавных секций. Каждая из них — внушительное инженерное сооружение длиной 75 м, шириной 14 и высотой 8 м. Вес секции — 8000 т. По наружному ее контуру закреплена металлическая изоляция, надежно защищающая от проникновения воды внутрь.

Следует отметить, что две из пяти секций располагаются на кривой радиусом 300 м, что редко встречается в практике тоннелестроения (кривая вынужденно была применена из-

за стесненных условий расположения тоннеля в плане и обеспечения выхода из рампы в заданном месте).

Размеры секции в поперечном сечении подбирались в сочетании с толщиной железобетонных элементов для обеспечения ее плавучести. Для наплавных секций выполнен специальный подбор бетона с определенным объемным весом.

На восточной стороне Канонерского острова построен док-шлюз. Эта намывная площадка по размерам пригодна для размещения всех пяти секций и обвалована со всех сторон плотными намывными грунтами. Бетонирование конструкций перекрытия стен и днища секций производилось в док-шлюзе с подачей материала от собственного завода. Арматурные каркасы вязали в специально оборудованном цехе.

Для обеспечения возможности всплывания секций между днищем и основанием док-шлюза проложен слой гравия 15—20 см. После заполнения уровнем воды в док-шлюзе соответствовал уровню в Морском канале. Секции выводились в канал и наплаву доставлялись к месту установки в подготовленное ложе.

Стыковались секции между собой с помощью специального резинового профиля «Джина». Одробованный на других подводных тоннелях он создает водонепроницаемый стык между элементами, который после омоноличивания объединяет их в сплошную железобетонную трубу прямоугольного очертания. Резина «Джина» по своему очертанию имеет различные показатели твердости. В частности, поверхности, примыкающие к торцу установленной секции, более мягкие, в средней части — твердые.

При стыковании носик профиля сдавливается до определенных размеров и создается замок овальной формы.

Подводный тоннель оснащен новейшими устройствами для движения транспорта, вентиляцией, приборами контроля и регулирования среды, освещением и т. д.

При строительстве Канонерского тоннеля внедрен ряд уникальных операций по установке секций в проектное положение, подбивке зазора между днищем секции и основанием траншеи специальными составами песков, использованию способов замораживания жидким азотом.

Сооружение тоннелей подобным методом перспективно на других трассах, пересекающих водные преграды. □

БЕЗВИБРАЦИОННЫЙ СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СВАЙ

В. ГАЦЬКО, И. НЕСТЕРЕНКО, О. ВОРОБИЕНКО, С. ПУЖАЙ,
инженеры

ПРОБЛЕМА извлечения из грунта свай временного крепления котлованов при сооружении метрополитена открытым способом для повторного их использования очень актуальна. Так, харьковские метростроители ежегодно погружают в среднем до 1000 свай, которые должны иметь оборачиваемость не меньше 3. Выпускаемые некоторыми отраслями промышленности небольшие партии механизмов и приспособлений для этих целей не удовлетворяют потребителей. Шпунтовывдергиватели различных конструкций имеют низкие параметры применительно к извлечению свай с большой глубиной погружения в сложных геологических условиях. Недостаточная их мощность — одна из причин того, что многие сваи остаются в земле.

В настоящее время нашли применение несколько способов извлечения свай:

использование статического тягового усилия грузоподъемных машин и механизмов;

ударный — посредством приспособленных для этой цели сваебойных молотов двойного действия;

вибрационный;

с помощью виброударных шпунтовывдергивателей;

комбинированный (тяговым усилием и виброударным шпунтовывдергивателем).

Применение ударного, вибрационного и виброударного способов, известных у нас в стране и за рубежом, связано с динамическими воздействиями как на извлекаемую сваю, так и на подземные сооружения и трубопроводы различного назначения. Возникающие при этом колебания распространяются на большие расстояния и приводят к разрушению или выводу их из строя. Учет этого обстоятельства особенно важен при выборе способов производства работ в черте густонаселенной застройки с развитой сетью подземных коммуникаций. Кроме того, механизмы, основанные на образовании импульсных на-

грузок, создают на рабочих местах и в окружении радиусом 25—50 м. уровни шума и вибрации, превышающие допустимые.

Перспективный метод извлечения свай — безвибрационный, одним из достоинств которого является отсутствие вредных воздействий на окружающую среду. Основан он на использовании тяговых усилий экскаваторов, домкратов и других грузоподъемных машин и механизмов. (Применение для этой цели кранов «Правилами устройства и безопасной эксплуатации кранов» запрещено).

В настоящее время широкое распространение для извлечения свай получили копровые установки на базе экскаватора, оборудованного мачтой с 12-кратным полиспастом. Наличие последнего позволяет увеличить грузоподъемность лебедки, а способ сочленения мачты со стрелой экскаватора обеспечивает устойчивость в работе. Предназначены копровые установки для извлечения свай с усилием до 800—1000 кН (80—100 т).

Если в момент преодоления начального сопротивления грунта требуемое усилие превышает 1000 кН, установка используется с дополнительной навеской и работой виброударного механизма.

При повышенных нагрузках возникает необходимость в применении более мощных экскаваторов или в переоборудовании последних.

Особый интерес представляет безвибрационный способ извлечения свай с помощью гидравлических домкратов.

Харьковским отделом СКТБ Главтоннельметростроя по предложению коллектива авторов Харьковметростроя и СКТБ разработан шпунтовывдергиватель ШВ-109, позволяющий извлекать сваи, выполненные из двутавров №№ 36—60 по ГОСТ 8239-72 и широкополочных двутавров №№ 40—50 по ТУ 14-2-24-72 со статическими усилиями при срыве 2000—2200 кН. Изготовлен он в КЭПРО Харьковметростроя.

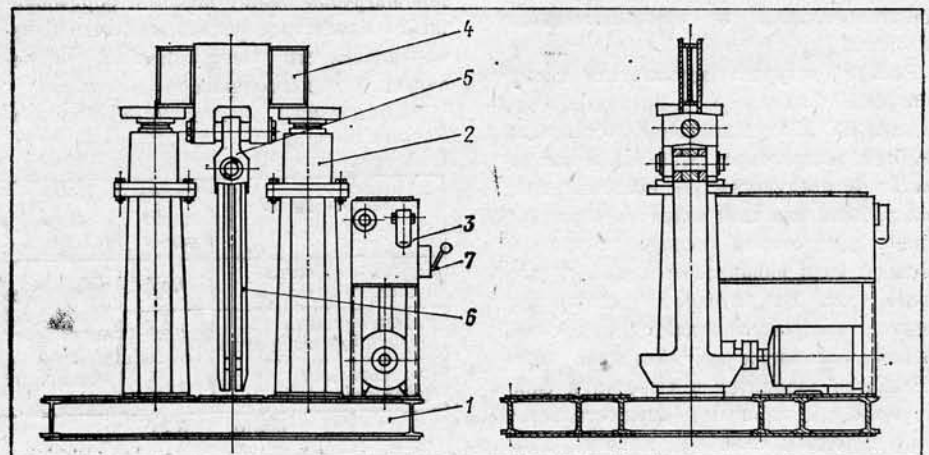
Техническая характеристика

Скорость извлечения, м/мин.	0,35
Усилие извлечения, кН (тс)	2000 (200)
Ход домкрата, м	1,2
Мощность привода, кВт	17
Давление в гидросистеме, МПа (кгс/см ²)	20 (200)
Габариты, м:	
длина	2,5
ширина	2,5
высота	2,54
Масса, кг	3800

Шпунтовывдергиватель (рис. 1) состоит из опоры 1, домкратов 2, маслостанции 3, траверсы 4, переходника 5, захватного устройства 6 и пульта управления 7.

Опора представляет собой жесткую прямоугольную плиту, на которой установлены домкраты, маслостанция и пульт управления. Выполнена она из прокатных балок двутаврового и швеллерного сечений. Геометрические размеры ее в плане приняты из условия минимальных осадок шпунтовывдергивателя на насыпных грунтах с расчетным сопротивлением не менее 0,3 МПа (3 кгс/см²). Равномерное распределение и передача давления на грунт по всей площади опоры, а также увеличение несущей способности достигаются наваркой к балкам снизу и сверху листового

Рис. 1.



проката. Для пропуска оголовка сваи в центре опоры предусмотрен проем. Все элементы рассчитаны по методике предельного состояния с коэффициентом запаса по надежности 1,2.

Тяговое усилие при извлечении сваи создают щитовые домкраты, представляющие собой гидравлические цилиндры двухстороннего действия с опорами на штоках для размещения и крепления траверсы. (В дальнейшем домкраты могут быть демонтированы и использованы по назначению).

Маслостанция включает бак, насос для подачи жидкости под давлением в исполнительные органы и приводной электродвигатель, соединенный с насосом муфтой.

Траверса выполнена в виде сварного двутавра, усиленного ребрами жесткости. Захватное устройство, шарнирно закрепленное к ней через переходник, представляет собой две обрешенные полосовой сталью щеки из толстолистового проката, имеющие в нижней части Т-образную форму.

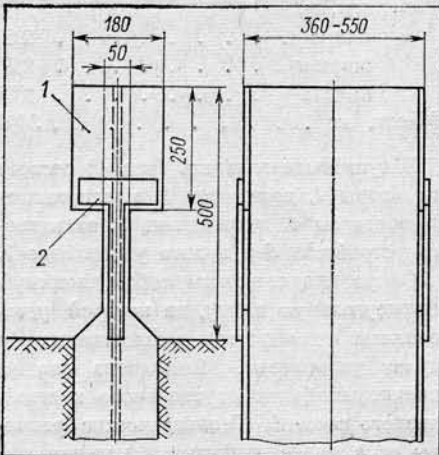


Рис. 2.
1 — двутавр; 2 — элемент усиления.

Пульт управления состоит из кнопочного поста, манометра и двух рукоятей управления золотниками. Смонтирован он на отдельной панели и располагается на высоте 1,2 м от основания опоры.

Все узлы удобны в обслуживании и ремонтпригодны в производственных условиях.

Работа шпунтовывергивателя предусмотрена в комплексе с автомобильным краном КС-2561 и копровой установкой на базе экскаватора Э10011Д и заключается в следующем. В оголовке сваи для размещения щек захватного устройства с двух сторон кислородом вырезаются полки и навариваются планки усиления (рис. 2). Автокраном шпунтовывергиватель устанавливается над свай по осям расположения захватыв, щеки устройства заводятся в вырезки и фиксируются. Домкратами осуществляется срыв и подъем сваи на высоту хода

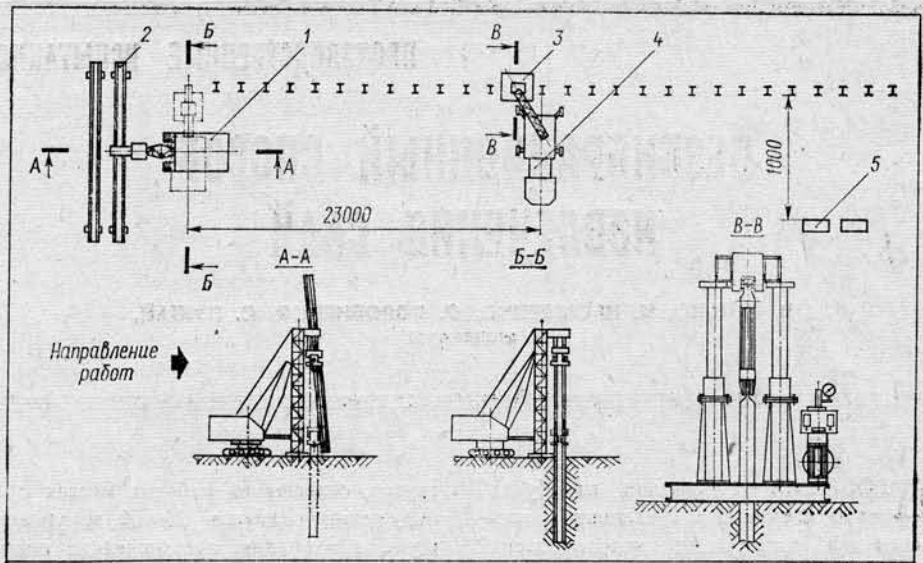


Рис. 3.

1 — копровая установка; 2 — место складирования свай; 3 — шпунтовывергиватель ШВ-109; 4 — автомобильный кран; 5 — сварочный пост.

штока. Дальнейшее ее извлечение производится копровой установкой.

Испытания проводились на участках СМУ-705 Харьковметростроя. Сваи из двутавров №№ 50 и 55 по ГОСТ 8239-72 составные, соединенные стальными накладками, находились в песчаных и супесчаных грунтах. Некоторые из них были значительно деформированы в различных плоскостях. Всего извлечено 300 свай общей массой 400 т, считавшихся ранее не извлекаемыми. Работы велись поэтапно, поточным методом (рис. 3)

В процессе испытания проверялась работоспособность шпунтовывергивателя и его отдельных узлов, определялись усилия срыва и перемещения, а также продолжительность и трудоемкость выполнения отдельных операций и всего цикла в целом. В результате выявились некоторые конструктивные недостатки (которые в дальнейшем были устранены). Наиболее слабым звеном оказались щеки захватного устройства в месте Т-образного профиля. Консоль щеки потеряла устойчивость и оторвалась. Это объяснялось неравномерностью распределения нагрузок между щеками, образовавшейся вследствие разновысотности и непараллельности мест опирания подрезанных полок оголовка.

Усиление каждой щеки было выполне-

но с 3-кратным запасом прочности по надежности к нагрузке.

Испытания показали, что статические усилия в первоначальный период достигали 1800—2000 кН и по мере перемещения на высоту выдвижения штока снижались до 700—1100 кН. Конечные усилия при полном его выдвижении оказались выше возможностей копровой установки, и при дальнейшем извлечении экскаватор работал с незначительными перегрузками. Снижение нагрузок на копер произошло при высоте подъема сваи 1,5—2 м. Наибольшая величина усилий при этом составляла 500—600 кН.

Продолжительность и затраты труда по извлечению свай отражены в циклограмме (рис. 4). Наиболее длительными операциями являются кислородная резка и приварка планок усиления, составляющие 40% общего времени. Скорость извлечения свай шпунтовывергивателем в процессе срыва и подъема достигала 0,32—0,34 м/мин, что несколько ниже показателей виброударных и вибрационных механизмов.

Выводы:

применение безвибрационного способа извлечения свай улучшает условия и безопасность труда и позволяет вести работы в непосредственной близости от строений, подземных сооружений и коммуникаций;

Рис. 4.

Наименование операции	Затраты труда чел-ч	Состав звена	Время, мин												
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Подрезка оголовка и наварка накладки	1,37	Электросварщик Зр-2 Крановщик Бр-1 Копровщик 4р-1 Копровщик Зр-1 Машинист Бр-1	[Step function graph showing time intervals for each operation]												
Извлечение свай шпунтовывергивателем	0,75														
Окончательное извлечение свай	1,63														
Итого	3,75		1 цикл												

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

ЩИТОВОЕ ЭКСКАВАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В. АУЭРБАХ, Г. ЛУРЬЕ,
кандидаты техн. наук;

В. МАСЛОВСКИЙ, Е. ЦЕЙТЛИН, В. ТАТАРИНСКИЙ,
инженеры

МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ щиты с экскаваторными рабочими органами в метростроении применяются недавно, но уже достаточно хорошо себя зарекомендовали. С помощью комплекса КТ-5,6 Д2, в состав которого входит щит с экскаваторным оборудованием, пройдено около 2 км перегонных тоннелей в Новосибирске, комплексом КМ-42 с экскаваторным щитом ШНЭ-1 в 1982 г. сооружен 818-м тоннель на Серпуховском радиусе метро в Москве. Комплексы КМ-43, осна-

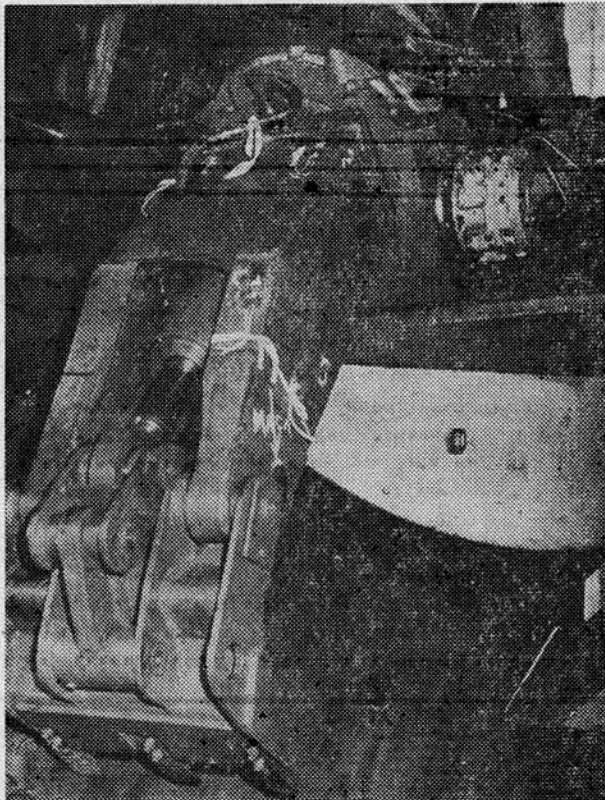


Рис. 1. Экскаваторный рабочий орган щита ШНЭ-1 с тензорезисторами для регистрации напряжений.

конструкция шпунтовывергивателя обеспечивает извлечение свай всех групп* без дополнительных специальных способов и устройств;

* Разделение свай на группы в зависимости от усилий извлечения произведено Центральным институтом нормативных исследований и научно-технической информации. См., например, «Извлечение металлических свай и шпунта ограждения котлована». Технологическая карта, М., «Оргтрансстрой», 1976.

отсутствует опасность перегрузок устройства за счет наличия в гидросистеме предохранительного клапана, осуществляющего автоматический контроль усилий извлечения;

расположение силовых органов в пределах оптимальной зоны обзора и досягаемости обеспечивает нормальные условия обслуживания и ремонта;

масса и габариты шпунтовывергивателя дают возможность производить подъемно-транспортные операции механизмами малой грузоподъемности.

Дальнейшие работы по совершенствованию шпунтовывергивателя должны быть продолжены в направлении создания автоматического захвата с целью полного извлечения свай без нарушения их целостности. □

щенные щитами ШНЭ-2, начали эксплуатироваться в Новосибирске и Куйбышеве.

Когда создавались первые экскаваторные щиты для проходки транспортных тоннелей в нашей стране, составитель технических заданий (ЦНИИС) и разработчики конструкций (СКТБ Главтоннельметростроя и Ясноватский филиал института Гипромашобогашение) имели в своем распоряжении лишь некоторые результаты лабораторных исследований, патентные и литературные источники. Поэтому при появлении возможности экспериментов на натуральных образцах на заводе-изготовителе и непосредственно в условиях эксплуатации был организован комплекс исследований нового оборудования, результаты которых использованы при корректировке технической документации для серийного производства.

На ММЗ Главтоннельметростроя проведены тензометрические испытания телескопического экскаваторного рабочего органа опытного образца щита ШНЭ-1 (рис. 1). При этом регистрировались напряжения в элементах металлоконструкции и давления в гидросистеме рабочего органа. Установка тензорезисторов на металлоконструкции производилась в соответствии со схемой на рис. 2. Датчики давления (типа ТДД) размещались в гидросистеме—в напорной и сливной магистралях в наиболее нагруженных местах оборудования. Их показания регистрировались с помощью измерителя статических деформаций типа ИДЦ. Датчики Д1 и Д2, Д3 и Д4, Д5 и Д6 располагались попарно на подвижной стреле телескопа, вблизи от фланца редуктора. Они измеряли напряжения изгиба. Датчики 7, 8 и 9 образовывали розетку для определения эквивалентных напряжений.

Питание гидросистемы осуществлялось от сторонней гидростанции, включающей гидронасос ННР-100 производительностью 100 дм³/мин и электродвигатель мощностью 40 кВт при 1500 об/мин.

Нагрузка на конструкцию осуществлялась упиранием режущей кромки ковша в неподвижную опору, отдельно для следующих положений оборудования (см. табл. 1). В результате

Таблица 1
Напряжения в металлоконструкции экскаваторного
рабочего оборудования щита ШНЭ-1

Вид нагружения	Активное давление в гидросистеме, кгс/см ²	Максимальные напряжения, кгс/см ²
Нагрузка в вертикальной плоскости гидроцилиндрами подъема стрелы при максимальном выдвижении телескопа	110	192
То же, при минимальном выдвижении телескопа	110	264
Нагрузка в вертикальной плоскости гидроцилиндрами поворота ковша при минимальном выдвижении телескопа	110	168
Нагрузка в горизонтальной плоскости гидроцилиндром поворота оборудования при минимальном выдвижении телескопа, ковш повернут на 90°	100	780
То же, при нагрузке гидроцилиндром поворота ковша	100	516

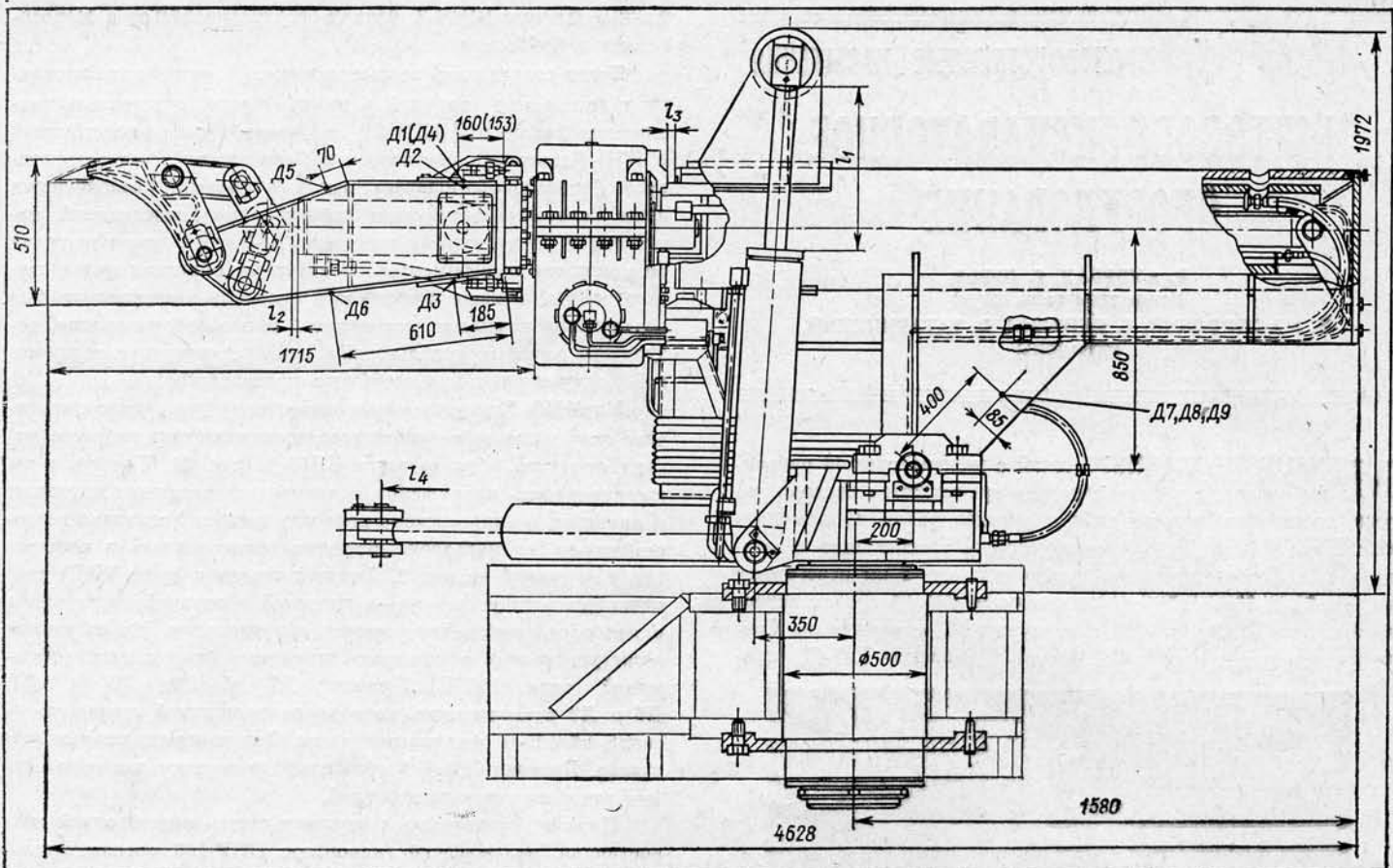


Рис. 2. Размещение датчиков на телескопическом экскаваторном органе щита ШНЭ-1.

получены значения максимальных напряжений, возникающих при упоре ковшем в металлоконструкцию щита, при работе различными гидроцилиндрами.

Эквивалентные напряжения в месте наклейки розетки тензорезисторов определялись по замеренным деформациям в соответствии с теорией полной потенциальной энергии. Максимальные значения получены для случая нагружения в горизонтальной плоскости гидроцилиндром поворота оборудования при упоре ковша в среднюю вертикальную перегородку щита между первой и второй полками.

Расчетное напряжение с учетом увеличения нагрузки при работе поршневой полостью гидроцилиндра и коэффициента перегрузки составило 1400 кгс/см^2 , вследствие чего были даны рекомендации о необходимости усиления элементов металлоконструкции.

В процессе приемочных испытаний опытного образца комплекса КТ-5,6 Д2 на строительстве перегонного тоннеля Замоскворецкого радиуса Московского метрополитена, осуществляемом СМУ № 15 Мосметростроя, проводились экспериментальные исследования экскаваторного рабочего органа шарнирно-рычажной конструкции.

Регистрировались: напряжения в элементах металлоконструкции, давления в гидросистеме рабочего органа, положение оборудования. Первые замерялись розеткой из тензодатчиков Д1, устроенной на боковом листе звена III (рис. 3). Вторые — тензометрическими датчиками давления (типа ТДД) в штоковых и поршневых полостях гидроцилиндров: ковша (Д6 и Д7), I звена (Д8 и Д9), поворота оборудования (Д11 и Д12). Положение оборудования фиксировалось с помощью реохорда Д2, измерявшего выдвигание штока гидроцилиндра звена II и потенциометров Д3, Д4, Д5, установленных по оси шарниров звеньев и определявших углы поворота.

Для передачи перемещений соответствующих элементов на потенциометры были изготовлены специальные приспособления.

Показания датчиков регистрировались при помощи усилителя ТУП-12-74 и осциллографа Н-004М.

Эксперименты состояли из двух серий. Первая проводилась с целью установить зависимость между статистическими характеристиками нагрузок на ковше и напряжениями в элементах металлоконструкции оборудования. Записывались давления в гидроцилиндрах поворота ковша и оборудования, напряжения на стенке III звена (при помощи розетки датчиков), а также перемещения всех звеньев оборудования.

Вторая серия имела целью определить составляющие сил резания на ковше и включала в себя запись давления в его гидроцилиндре, I звена и поворота оборудования, а также

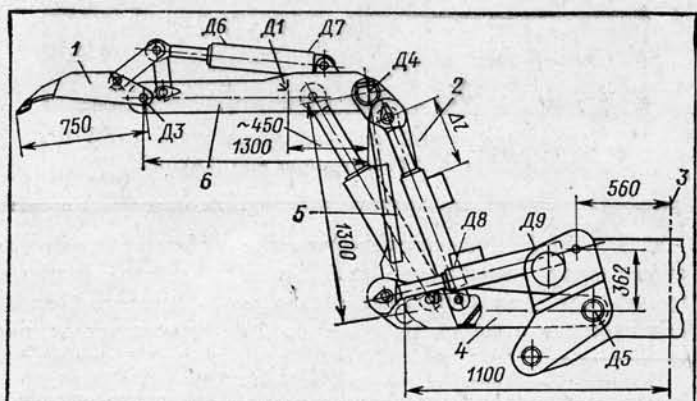


Рис. 3. Размещение датчиков на шарнирно-рычажном экскаваторном органе комплекса КТ-5,6 Д2:

1 — ковш; 2 — реохорд Д2; 3 — ось вращения оборудования; 4 — звено I; 5 — звено II; 6 — звено III.

перемещений звеньев. Записи производились в процессе эксплуатации оборудования в различных частях забоя и при погрузке грунта. Проведен сравнительный анализ расчетных и экспериментальных значений нагрузок в гидроцилиндрах (табл. 2). Экспериментальные данные обрабатывались на ЭВМ ЕС-1022 по специальной программе, осуществляющей приведение нагрузок от гидроцилиндров к рабочей кромке ковша.

Таблица 2
Максимальные давления и усилия в гидроцилиндрах рабочего оборудования

Гидроцилиндр	Полость	Давление номинальное, кгс/см ²	Максимальное давление, замеренное в ходе испытаний, кгс/см ²	Расчетное усилие, кгс	Максимальное усилие по замеренному давлению, кгс	Относительная разность, %
Ковша	поршневая	200	181	15700	14216	-9,5
	штоковая	200	195	10775	10519	-2,3
I звена	поршневая	130	130	15900	15900	0
	штоковая	130	166	10900	14000	+28,4
Поворота оборудования	поршневая	130	140	40820	44200	+8,1
	штоковая	130	140	32500	35200	+8,3

Все записи разбили на ряд характерных участков (опытов). Отсчеты брались с интервалом в 1 мм одновременно по всем кривым. Данные были подготовлены на перфокартах. Для каждой кривой вводились дополнительные сведения о масштабе записи, смещении среднего, а для перемещений — о положении гидроцилиндров при первом отсчете.

На основании обработки результатов экспериментов составлена табл. 3. Анализ перемещений показал, что копанье производилось при неподвижном I звене. Наиболее активно использовался гидроцилиндр поворота ковша (коэффициент вариации перемещений составил 126%), затем гидроцилиндры III (коэффициент вариации 58%) и II звена (коэффициент вариации 22%). Таким образом, активность перемещений звеньев убывает по мере удаления их от режущей кромки ковша.

Таблица 3
Статистические характеристики нагрузок

Параметр, кгс/см ²	Среднее значение	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %
Давление в гидроцилиндре поворота ковша	76	39	53
Нагрузка на режущей кромке ковша	1468	835	56
Напряжения в боковом листе III звена	281	51	18

При оценке надежности оборудования на ЭВМ ЕС-1022 принимались следующие исходные данные: коэффициенты вариации усилия на рабочем органе — касательной составляющей 0,5, нормальной составляющей 0,28, боковой 0,12; коэффициент для определения соотношения максимального и среднего усилия 1,5; гамма-процентный ресурс экскаваторного оборудования $1,25 \cdot 10^8$ с; интенсивность отказов оборудования $0,4 \cdot 10^{-9}$; коэффициент условий работы машины, учитывающий долю времени ее работы с нагрузками, близкими к максимальным 0,45; средняя частота колебаний нагрузок 2 1/с; коэффициент режима работы, учитывающий долю времени наиболее невыгодного приложения нагрузок, равный 1; базовое число циклов $0,1 \cdot 10^8$; срок службы машины $0,15 \cdot 10^8$ с.

В результате получены значения нормальных σ , касательных τ и приведенных $\bar{\sigma}$ напряжений, а также оценка надежности элементов по пределу текучести P_T и усталости P_c (табл. 4).

Таблица 4
Результаты оценки надежности оборудования

Звено	σ	τ	$\bar{\sigma}$	P_T	P_c
I	280	25	284	I	I
	320	103	380	I	I
II	376	68	400	I	I
	496	—	496	I	I
III	879	145	926	0,99	I
	1069	198	1140	0	I

В основном оборудовании обладает достаточной конструктивной надежностью. Исключением является соединение I и II звеньев. В этом месте в расчетном сечении I звена, проходящем через проушины, приведенное расчетное напряжение составило 1140 кгс/см² и вероятность безотказной работы при заданных условиях эксплуатации оказалась недостаточной.

В период производственных испытаний, оборудования наряду со сравнительно легко устранимыми отказами имели место поломки экскаваторных рабочих органов, вследствие чего происходили длительные остановки проходки тоннеля. Наиболее существенные отказы были подвергнуты конструктивному и расчетному анализу, в результате которого разработаны рекомендации по повышению надежности оборудования.

Во время эксплуатации щита ЩНЭ-1 на одном из участков Мосметростроя произошел обрыв рычага подвески ковша. В связи с этим проведен поверочный расчет рычага для двух случаев нагружения механизма: от гидроцилиндров подъема и опускания рукояти и усилием выдвигания гидроцилиндра поворота ковша. Выяснилось, что в обоих случаях в механизме возникают напряжения, превышающие допустимые при нормальных условиях эксплуатации. Было рекомендовано усилить конструкцию рычагов, а также для ограничения реактивных усилий и предохранения конструкции рабочих органов от перегрузок при упоре рукояти с ковшом в грунт снабдить предохранительными клапанами гидроцилиндры поворота ковша и выдвигания телескопа.

В корпусе телескопа ЩНЭ-1 появились трещины, вызванные ослаблением сечения продольным пазом и наличием концентраторов напряжения. Расчетные напряжения в сечении составили свыше 2300 кгс/см², что также выше допустимых. Было предложено усилить сечение и изменить конструкцию соединения корпуса телескопа со стойкой с целью снижения концентрации напряжений.

На правом рабочем органе ЩНЭ-1 произошла поломка оси поворотной колонны по имевшейся на оси кольцевой канавке. Как показал поверочный расчет, максимальные статические напряжения составили 1650 кгс/см², а с учетом динамики и концентрации напряжений — 3960 кгс/см², что недопустимо. Для снижения расчетного напряжения необходимо изменить конструкцию оси, убрав концентраторы напряжения, и улучшить технологию изготовления с введением термообработки, а также заменить материал оси на более прочный.

В процессе эксплуатации оборудования были случаи изгиба штока гидроцилиндра выдвигания телескопа. В связи с этим произведен поверочный расчет устойчивости штока. Гидроцилиндр рассматривался как стержень ступенчатого сечения

ЦЕЛЬНОСЕКЦИОННАЯ ОБДЕЛКА ИЗ БЕТОНА НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ

А. СЕМЕНОВ, В. ЛЫСЯК, инженеры;
Г. МАРТИРОСОВ, канд. техн. наук

КОМПЛЕКС работ, направленных на определение возможности в производственных условиях сооружения перегонных тоннелей без оклеечной гидроизоляции из водонепроницаемых блоков полной заводской готовности с герметизацией стыков бетоном или раствором на напрягающем цементе (НЦ) «из тоннеля» или снаружи, завершили Киевметрострой, НИИЖБ Госстроя СССР и Киевметростройпроект. НИИЖБом, НИИЦементом, ВНИИСТОм, ТашЗНИИЭПом и другими институтами выполнен большой объем экспериментально-теоретических исследований напрягающего цемента и бетона на его основе, выявлены свойства последнего, среди которых особую ценность наряду с высокой прочностью и способностью быстро набирать прочность имеет высокая водонепроницаемость. СН-511-78* гарантирует, что в бетонах на НЦ марка по водонепроницаемости достигается не ниже В-12.

Многочисленные сооружения различного назначения, выполненные из бетона на НЦ (в том числе емкостные для хранения воды и эксплуатируемые кровли), показали, что такие конструкции совмещают в себе несущие и гидроизолирующие функции. Это позволяет отказаться от традиционной рулонной гидроизоляции и повысить эксплуатационную надежность сооружений.

Поставленная цель — обеспечить водонепроницаемость обделки без применения многослойной оклеечной гидроизоляции — достигалась, исходя из следующих предпосылок: водонепроницаемость блока на напрягающем бетоне должна обеспечиваться за счет водонепроницаемо-

* Инструкция по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций.

с двумя шарнирно опертыми концами. Для этого случая величина критической силы оказалась выше максимального усилия в гидроцилиндре.

Чтобы предотвратить в дальнейшем изгибы штока, рекомендовано на уже выпущенном оборудовании ограничить давление в гидроцилиндре раздвижения телескопа до 108 кгс/см², а на вновь выпускаемом оборудовании увеличить диаметр штока.

Недостаточной надежностью обладает и механизм вращения ковша вокруг продольной оси рукояти. Анализ показал, что механизм излишне усложнен, так как осуществляет непрерывное вращение ковша на неограниченный угол. Для практических целей вполне достаточно иметь несколько фиксированных положений ковша, а именно: в вертикальной плоскости — для основной разработки забоя, в горизонтальной — для зачистки полок, а также несколько промежуточных положений — для удобства разработки забоя перед режущей кромкой в плотных грунтах. В этом случае механизм вращения ковша может быть заменен более простым и надежным — механизмом его фиксации в заданных положениях.

сти непрерывной сжатой зоны сечения элемента, минимальная расчетная высота которой 6 см; водонепроницаемость стыка достигается его жесткостью и водонепроницаемостью самого материала шва — напрягающего бетона (раствора), обеспечивающего надежное сцепление со стенками сопрягаемых блоков. Силовой контакт между блоками достигается предварительным напряжением стягивающей их арматуры или расширением напрягающего бетона.

Для проверки этих предпосылок заложили экспериментальный участок цельносекционной обделки, выполненной с применением напрягающего цемента, между станциями «Красная площадь» и «Тараса Шевченко» Куреневско-Красноармейской линии Киевского метрополитена. Протяженность опытного участка двухпутного тоннеля — 31,17 м. Здесь опробовано два варианта тоннельной обделки (рис. 1 и 2).

В первом случае блоки ЦСО устанавливали на подготовленное основание с зазором 150 мм друг от друга и соединяли приваркой пластин к закладным деталям в шести точках. Затем выставляли опалубку и укладывали в швы напрягающий бетон с виброуплотнением. Его расширение в процессе твердения обеспечивало необходимый силовой контакт между блоками, что должно было исключить возможность сдвижки одного блока относительно другого при эксплуатации тоннеля.

По второму варианту блоки устанавливали вплотную друг к другу и объединяли продольной (относительно оси тоннеля) напрягаемой арматурой. Для ее размещения в углах блоков при формовке устраивали сквозные отверстия. По периметру первых предусмотрена внутренняя канавка

Замена механизма вращения жесткой проставкой, как это имеет место на ряде образцов оборудования, не может быть признана приемлемым решением, так как при этом полностью исключается поворот ковша, который необходим для качественной разработки забоя и подработки контура выработки впереди ножевой кромки щита.

Следует отметить, что большое число отказов выявляется только в процессе эксплуатации, когда устранение неисправностей связано с простоями всего комплекса. Для своевременного выявления и устранения недостатков необходимо проводить заводские испытания оборудования при условиях и нагрузках, соответствующих эксплуатационным.

В настоящее время в Минтрансстрое имеются стенды для проведения в заводских условиях испытаний рабочего оборудования машин на эксплуатационную нагрузку (например, стенды для испытаний шпало-подбивочных машин типа ШПМ-02 и ШПМА-4К). Необходимо разработать и внедрить подобные стенды для испытаний механизмов щитовых комплексов, в частности, щитового экскаваторного оборудования. □

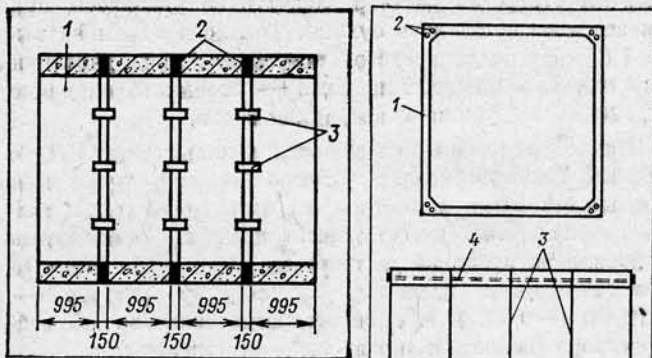


Рис. 1. Первый вариант цельносекционной обделки:

1 — блок ЦСО, 2 — монолитный стык, 3 — соединительные пластины.

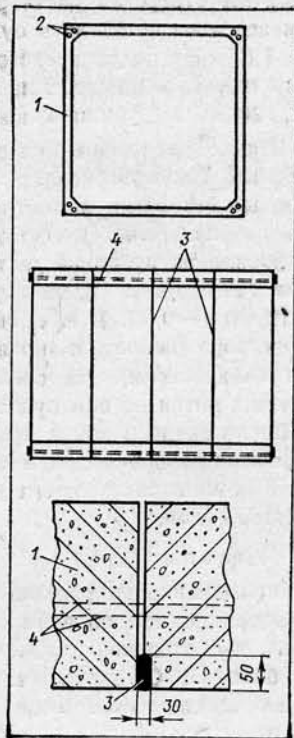


Рис. 2. Второй вариант цельносекционной обделки:

1 — блок ЦСО, 2 — каналы, 3 — зачеканенный шов, 4 — напрягаемая арматура.

для образования чеканочного шва из напрягающего цемента.

Блоки ЦСО были изготовлены на КПП Киевметростроя, где выполнены необходимые мероприятия, исключавшие смешивание НЦ с другим цементом на всех технологических переделах, начиная от приемки и хранения и кончая приготовлением бетонной смеси.

Блоки формовали на виброплощадке в обычных металлических формах, при сборке которых устанавливали резиновые прокладки, позволяющие бетону увеличивать объем в процессе тепловлажностной обработки. После пропаривания блок расформовывали, устанавливали в камеру и в течение 3 суток увлажняли, используя раму из перфорированной трубы. Характеристики бетона готовых блоков: прочность на сжатие отпускная — 29,7 МПа, на 28-е сутки — 45 МПа, годовая — 58 МПа, на растяжение при изгибе в возрасте 1 года — 7,65 МПа, самоупрочнение — 0,5—0,6 МПа.

Экспериментальный участок возводил Тоннельный отряд № 4. После того, как блоки были выставлены в проектное положение и соединены накладками, строители приступили к бетонированию монолитных стыков. Бетонные работы велись во II смену, установка арматуры и опалубки стыков — в I. Бетонирование шло снизу вверх и осуществлялось в лотковой части и между боковыми стойками изнутри тоннеля, между верхними ригелями — снаружи.

Бетонную смесь готовили на КПП и доставляли к месту укладки автосамосвалами за 30—40 мин. С момента ее приготовления до укладки проходило от 1 до 3 час. Подвижность смеси характеризовалась осадкой стандартного конуса и составляла в момент приготовления и через 1, 2 и 3 часа соответственно 18, 14, 12 и 10 см. Бетонную смесь уплотняли глубинными вибраторами с насадками диаметром 38 мм. Через сутки, когда прочность бетона достигала не менее 8 МПа, поверхность стыков увлажнялась в течение 2—3 дней. По результатам испытаний контрольных образцов, хранившихся в условиях строящегося опытного участка, бетон стыков характеризуется следующими свойствами: прочность на сжатие на

28-е сутки — 40—50 МПа, на растяжение при изгибе — 6—8 МПа, самоупрочнение — 0,3—0,7 МПа.

Четыре блока были установлены вплотную друг к другу, в каналы (по два в каждом углу) пропущена арматура 8 Ø 30 класса А-III; предварительное напряжение стержней усилием 16,2 тс осуществляли с помощью динамометрического ключа. Стык блоков с внутренней стороны образует чеканочную канавку, которая заполнялась вручную (без чеканочного молотка) увлажненным напрягающим цементом. Как и в первом варианте, стыки участка блоков с напрягаемой арматурой с соседними участками выполнены монолитными.

После обратной засыпки грунтом и прекращения водопонижения экспериментальный участок оказался полностью под водой. В результате осмотра установлено:

в четырех монолитных стыках наблюдалась фильтрация воды по стенам;

в нескольких стыках были влажные пятна разной интенсивности (в основном на боковой поверхности);

поверхность блоков ЦСО сухая.

Уже три года экспериментальный участок функционирует в составе линии, соединяющей Оболонь с центром Киева. За этот период динамика движущихся поездов не привела к образованию дополнительных дефектов и не ухудшила здесь состояния обделки. Блоки ЦСО с применением НЦ проявили полную водонепроницаемость.

Учитывая, что монолитные стыки многодельны, их выполнение увеличивает количество мокрых процессов в тоннеле, а стыки с напрягаемой арматурой и с чеканочным швом надежны, но они требуют дополнительного расхода стали и выполнения преднапряжения арматуры.

Решили опробовать конструкцию обделки из блоков ЦСО, изготовленных с применением НЦ, устанавливаемых вплотную друг к другу. Соединение предусматривалось стальными накладками с чеканочной канавкой с внутренней стороны, заполняемой НЦ спустя две недели после засыпки тоннеля грунтом (т. е. после того, когда проявятся основные деформации просадки, — рис. 3).

Заложили второй экспериментальный участок на Курневско-Красноармейской линии между станциями «Прспект Корнеичука» и «Минская». Длина его — 28,2 м.

Блоки ЦСО изготавливали на КПП по уже опробованной технологии без каких-либо изменений. Они устанавливались на подготовленное основание вплотную друг к другу и соединялись четырьмя стальными пластинами на сварке к закладным деталям.

При осмотре установили, что одна боковая и нижняя поверхности обделки ровные, габариты чеканочных канавок близки к проектным. Другая стена конструкции образовала ступенчатую поверхность, при этом внутрь тоннеля выступала именно та часть блоков, на которой при формовке был выполнен уступ (половина «ласточкиного хвоста») для чеканочной канавки. На потолочной поверхности она превышала по ширине проектный размер и составляла 4—6 см. Все это сделало бесполезным применение чеканочного молотка для уплотнения цементной массы, укладываемой в швы, поэтому решили заинъецировать

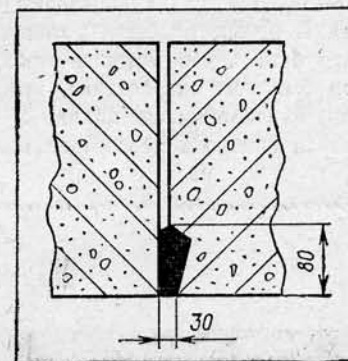


Рис. 3. Стык между блоками ЦСО на втором экспериментальном участке.

раствор на НЦ в стыки между блоками, совместив таким образом контроль качества швов с повышением надежности стыкового соединения.

Спустя более двух недель после засыпки тоннеля грунтом швы заполнялись напрягающим цементом, увлажненным до образования массы нужной вязкости, который уплотнялся вручную. Через 14—16 час. после выполнения шва его увлажняли в течение трех суток, смачивая один раз в час на протяжении двух рабочих смен.

При выполнении швов в них устанавливались патрубки с резьбой для нагнетания цементного раствора по три штуки в каждом шве: в боковых стенках и как контроль — на потолке. Для раствора использовали НЦ и водопроводную воду в соотношении В:НЦ=0,7. Раствор нагнетали ручным насосом последовательно в оба патрубка. Давление контролировалось манометром и составляло 2 ати. Раствор не всегда выходил через контрольный патрубок — видимо, уходил за обделку. В таких случаях шланг подключали к патрубку и вновь производили нагнетание. При этом обнаружены течи в трех швах — на потолке на длине 15—35 см и в одном шве на боковой поверхности. Спустя 1,5 час. после нагнетания раствора дефектные участки были вырублены и заделаны вновь.

В обделке обнаружили два блока и один шов, где имела фильтрация воды; при этом диаметр дефектных мест не превышал 10 мм. В одном блоке замечено три дефектных места, расположенных в 150 мм друг от друга, в другом — одно, в шве — также одно. В местах с дефектами в блоках пробурили отверстия диаметром 32 мм на глубину 80—100 мм, которые затем были зачеканены НЦ. Дефектное место в шве было вырублено и вновь зачеканено.

С целью дополнительной проверки произвели контрольное нагнетание раствора, для чего в швах выборочно сделали 34 несквозных отверстия диаметром 32 мм на глубину 100—160 мм (из них 30 — в стенах на высоте 60—140 см от подрельсового основания, 4 — на потолке). В отверстия были установлены на растворе из НЦ патрубки, через которые производили нагнетание. Раствор был того же состава, что и при первичном нагнетании, а давление составляло 3—4 ати. Как правило, удавалось закачать небольшое количество раствора, в неко-

торые же отверстия раствор закачать не удавалось, при этом все швы оставались сухими. Только в одном на высоте 1,8 м от подрельсового основания при давлении 4 ати началась фильтрация воды — это место на длине шва 120 мм вырубил и зачеканил вновь.

Для определения возможности использования НЦ в лечебных целях тоннеля в четырех стыках пробурили сквозные отверстия диаметром 32 мм и через них в тоннель начался вынос мокрого песка и воды. В отверстия установили патрубки на растворе из НЦ и через два часа после этого стали нагнетать за обделку раствор — В:НЦ=0,6—0,65. В каждое отверстие закачено 1,5 ведра раствора (вероятно, можно было ограничиться и меньшим количеством). На следующий день ни течей, ни влажных пятен не обнаружено.

После ввода в конце прошлого года опытного участка цельносекционной обделки без гидроизоляции в эксплуатацию изменений в состоянии обделки не произошло: она остается сухой.

Выводы:

применение напрягающего цемента для изготовления цельносекционной обделки перспективно в строительстве перегонных тоннелей открытым способом;

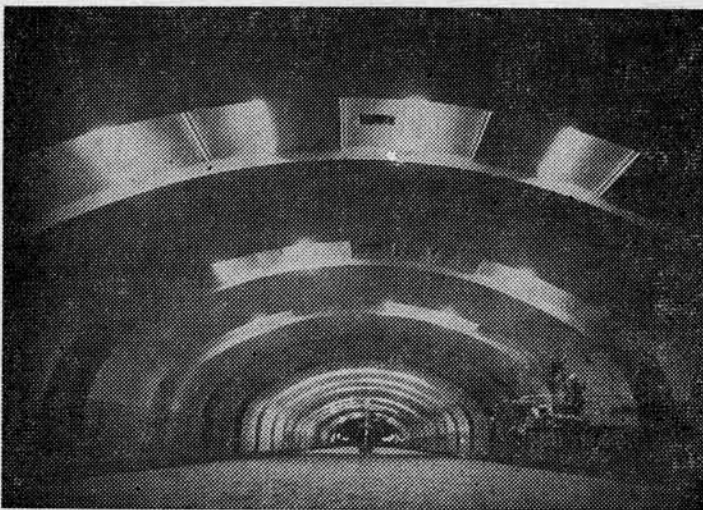
блоки ЦСО, изготовленные с применением НЦ, полностью обеспечивают водонепроницаемость без гидроизоляции;

разработанная технология их изготовления может быть с успехом применена на любом заводе ЖБК с необходимой оснасткой и подъемно-транспортным оборудованием;

из трех опробованных вариантов стыка для внедрения можно рекомендовать как наиболее простой, достаточно надежный и при необходимости легко поддающийся ремонту стык с чеканочной канавкой с внутренней стороны тоннеля. Контакт между блоками можно обеспечить четырьмя стальными пластинами на сварке к закладным деталям. Чеканку же швов рекомендуется выполнять напрягающим цементом спустя две недели после засыпки тоннеля.

Экономия денежных средств составила около 250 тыс. руб. на 1 км тоннеля. □

ИЗ ФОТОХРОНИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕРПУХОВСКОЙ ЛИНИИ



«Южная».



«Чергановская».

ВЫСОКОМАРОЧНЫЕ БЕТОНЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В. ПИНАДЖЯН, д-р техн. наук;
А. ДАНДУРОВА, инженер

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ изысканиями установлено, что продление линии I очереди Ереванского метрополитена, а также строительство перспективных линий будет осуществляться в отличие от эксплуатируемого участка в условиях малообводненных скальных грунтов. В связи с этим необходимо разработать соответствующие конструкции обделок перегонных тоннелей и станций. Для подготовки к проектированию и строительству с учетом новых решений Армтоннельстрой, Армгипротранс, Управление Ереванского метрополитена, ЦНИИС и Ереванский политехнический институт им. К. Маркса заключили договор о творческом содружестве, одним из направлений которого является рассмотрение возможности повышения эффективности железобетонных конструкций путем применения высокопрочных бетонов на базе местных строительных материалов.

Известно, что повышение марки бетона на одну ступень снижает расход стали примерно на 50 кг/м^3 . Использование марок М 600—М 800 позволяет уменьшить стоимость сборных, преимущественно сжатых, конструкций в среднем на 15 руб. Такие бетоны характеризуются более высоким коэффициентом качества, представляющим собой отношение марки бетона (кгс/м^2) к его объемной массе (кг/м^3): для М 400 он равен 0,17, а М 800—0,32.

В нашей стране разработке и внедрению конструкций из высокопрочного бетона предшествовала большая работа по изучению его физико-механических свойств. Бетоны высоких марок отличаются интенсивным ростом прочности в ранние сроки твердения, что иногда позволяет заменить термообработку кратковременным прогревом или вовсе отказаться от него. Этому способствует повышенное тепловыделение в процессе твердения бетона. Однако после месячного возраста прирост прочности невелик и к первому году вызревания возрастает в среднем на 20%.

Традиционный способ получения высокопрочного бетона заключается в применении высокоактивного цемента при максимально возможном уменьшении водоцементного отношения.

Опыты показывают, что при замене цемента активностью 400—500 цементом активностью 600—700 его расход на единицу объема бетона снижается на 15—20%, а себестоимость в среднем на 15%. Однако при сравнительно небольшом водоцементном отношении (от 0,25 до 0,35) получаются малоподвижные бетонные смеси, требующие специальных методов уплотнения, усложняющих технологический процесс. Этот недостаток можно устранить введением в бетонную смесь пластифицирующих добавок, обеспечивающих плотную укладку смеси с низким водоцементным отношением и благоприятные условия твердения. Экономия составляет от 0,5 до 4 руб. на 1 м^3

изделий. Наибольший технико-экономический эффект достигается при использовании суперпластификаторов. Они позволяют повысить подвижность смесей и улучшить условия труда при их укладке. Кроме того, отечественная и зарубежная практика показала, что с использованием суперпластификаторов можно значительно увеличить прочность бетона и его водонепроницаемость.

В нашей стране применяются десятки различных пластифицирующих добавок к бетону. Наибольший интерес представляет суперпластификатор на основе нафталина с условным названием С-3, разработанный НИИЖБ Госстроя СССР совместно с Новомосковским производственным объединением «Азот». Вводимый в количестве 0,2—1% массы цемента, он разжижает смеси подвижностью от 2—4 до 20—22 см. В связи с этим представляется возможным сократить расход воды в составе бетона и соответственно повысить его прочность. Исследования показали, что отечественный суперпластификатор не уступает зарубежным по своим характеристикам при значительно меньшей стоимости.

К концу десятой пятилетки с использованием суперпластификатора С-3 было изготовлено более 500 тыс. м^3 бетона и железобетона, причем экономический эффект — около 200 тыс. руб. был достигнут в результате снижения трудоемкости при укладке смеси, износа парка металлических форм, сокращения периода термовлажностной обработки. К тому же уменьшение расхода цемента (до 20%) в бетоне в результате применения пластификаторов эквивалентно экономии на каждом 1 м^3 бетона в среднем 15 кг условного топлива. Ежегодно по стране на производство изделий из железобетона затрачивается около 12 млн. т условного топлива, большая часть которого расходуется на тепловую обработку продукции. Введение добавок позволяет снизить температуру изотермического прогрева изделия до 60°C , не ухудшая его прочностных характеристик.

Применение бетона повышенных и высоких марок в типовых конструкциях в ряде случаев обеспечивает снижение их массы на 9—30%, расхода стали в среднем на 9% и себестоимости на 8%. Однако при определении эффективности внедрения высокопрочного бетона следует учитывать его удорожание по сравнению с бетоном средних марок в связи с необходимостью использования цемента повышенной активности, щебня из твердых пород, а также суперпластификаторов.

Получение в производственных условиях высокопрочных бетонов явилось импульсом для изыскания новых конструктивных форм, в которых полностью были бы использованы возможности этого эффективного материала.

В настоящее время ведущими проектными организациями Москвы, Ленинграда и Киева разработана довольно большая номенклатура конструкций, в которых при-

менение высокопрочного бетона оказывается экономически оправданным и позволяет значительно снизить их энерго- и материалоемкость. К ним относятся стропильные: преднапряженные сегментные фермы пролетом 18 и 24 м; безраскосные фермы пролетом 18 и 24 м; балки двутаврового сечения пролетом 12 м; преднапряженные балки пролетом 12 и 24 м; решетчатые балки пролетом 12 и 18 м, а также железобетонные плиты размером 3×12 м для покрытий производственных зданий с повышенной несущей способностью; колонны двутаврового и прямоугольного сечений; несущие элементы конструкций двухэтажных зданий с укрупненной сеткой колонн под тяжелые нагрузки.

Результаты исследований и испытания головных образцов свидетельствуют о целесообразности изготовления из тяжелых бетонов марки М 600 и выше типовых железобетонных конструкций, в которых прочность материала на сжатие используется наиболее полно. Вместе с тем выявлено, что применение высокопрочного бетона в изгибаемых элементах эффективно, в основном, когда по условиям унификации требуется сохранить опалубочные размеры изгибаемых элементов при их использовании под тяжелые нагрузки.

Повышение марки бетона при прочих равных условиях снижает деформативность изгибаемых элементов и повышает границы, определяющие выносливость бетона сжатой зоны при действии многократно повторяющейся нагрузки. Это имеет важное значение при проектировании пролетных строений мостов, фундаментов энергетических установок и других конструкций, работающих в динамическом режиме.

В настоящее время высокопрочный бетон с успехом используется в таких конструкциях, как напорные трубы, элементы шахтных и подземных сооружений, в аэродромных плитах, опорах линий электропередач и др. Так, в сборных конструкциях подземных сооружений в элементах, работающих на центральное или внецентренное сжатие, экономически выгодно применять бетон марки М 800 вместо М 400. Это позволит снизить стоимость конструкций более чем на 25%, сократить расход бетона до 30 и арматурной стали до 35%.

Бетоны М 600 и выше могут быть получены также в монолитном исполнении на основе цемента активностью выше 500 и пластифицирующих добавок. Благодаря им бетонная смесь становится достаточно подвижной и легко транспортируется с помощью бетононасосов.

В Ереване на строительстве спортивно-концертного комплекса Армгидроэнергостроем используется бетон марки М 500, полученный на основе высокоактивного цемента, доставленного с Украины. Между тем бетон такой марки можно было бы получить на основе портландцемента Араратского цементно-шиферного комбината, добавив пластифицирующие компоненты.

Высокомарочные бетоны показали свою высокую технико-экономическую эффективность и безусловно должны найти широкое применение в Армянской ССР. Исходные предпосылки для этого — неисчерпаемые запасы каменных материалов, в частности, гранитов и базальтов, на основе которых можно получить высококачественные плотные заполнители для высокомарочных бетонов.

В настоящее время на шахте № 24 Армтоннельстрой создан опытно-экспериментальный участок и начаты измерения горного давления на временную крепь, а на базе исследований лабораторий ЕрПИ им. К. Маркса ведется подбор материалов и их испытание для создания высокоэффективных тоннельных конструкций и усовершенствования технологии их сооружения. □

ЗАМЕНА СУЛЬФАТОСТОЙКОГО ЦЕМЕНТА В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ

М. КАГАН,
канд. техн. наук;
Б. СЕЛЕДЦОВ, Н. КОСТЮКОВА,
инженеры

ОЧАКОВСКИЙ завод ЖБК Московского Метростроя изготовил конструкции обделки для пешеходного тоннеля на станции «Перово» Московской железной дороги (см. рисунок). Обделка представляет собой рамную железобетонную конструкцию прямоугольного сечения 4,7 м×3,26 м, длиной 0,8 м; толщина стен 0,36 м, а лотка и перекрытия — 0,35 м. Внутренние ее размеры запроектированы институтом «Мосжелдорпроект» в соответствии с габаритами агрегата для продавливания.

Конструкция армируется сетками и каркасами из стали А-I диаметром 6—8 мм и А-II диаметром от 10 до 32 мм, расход которой на одно изделие составил около 2200 кг при объеме бетона блока 4,06 м³ (на единицу объема — 550 кг/м³).

На участке строительства вскрыты грунтовые воды сильно агрессивной среды для блоков повышенной плотности по содержанию сульфатов, в связи с чем в конструкции изделий предусмотрена металлическая изоляция с внутренней стороны. Стальной лист толщиной 8 мм имеет анкеры из стали А-II Ø 10 мм, которые свариваются в него через 350—400 мм.

Особые инженерно-геологические условия залегания обусловили задание проектировщиков на применение сульфатостойкого портландцемента (ССПЦ). Для приготовления бетона марки 300, идущего на эту обделку, должен был поставляться ССПЦ с завода «Большевик» ПО «Вольскцемент».

Известно, что при содержании сульфатов в воде свыше 1500 мг/л (в пересчете на SO₃) долговечность бетона может быть обеспечена только применением специальных сульфатостойких цементов. В соответствии с ГОСТ 22266-76 на ССПЦ содержание в нем 3CaO·SiO₂ должно быть ≤ 50%, а 3CaO·Al₂O₃ ≤ 5%. Но данные требования не могут быть строго выполнены, так как процесс кристаллизации клинкера носит неравномерный характер и наблюдается отклонение в фактическом содержании минералов от расчетных. Поэтому часто цементы одного химико-минералогического состава показывают разную стойкость в агрессивных средах. И, что не менее любопытно, иногда цементы, сильно отличающиеся по химико-минералогическому составу (предусмотренному ГОСТом), обнаруживают в тех же средах высокую стойкость. Последнее учтено при изготовлении обделки пешеходного тоннеля на станции «Перово».

Применение специального, в данном случае сульфатостойкого цемента, только для одного типа изделий представляет значительные трудности в конкретных условиях Очаковского завода ЖБК: за сутки здесь можно изготовить одну (в редких случаях две) конструкции, а емкость расходных бункеров значительна. В результате приходится тратить дорогостоящий и дефицитный ССПЦ на изделия, работающие не только в средах с повышенной агрессивностью.

Железобетонные элементы сборных пешеходных тоннелей изготавливаются агрегатно-поточным способом на заводском полигоне. Конструкция формы для блоков представляет собой жесткий поддон с шарнирно-откидными наружными и внутренними бортами. Наружные борта соединяются вспомогательными замками, внутренние — открываются и фиксируются в проектном положении с помощью винтовых ограничителей.

Отклонение фактических размеров изделий от проектных не должно превышать (в мм): по длине блоков 0—10, по толщине стенок не более 10, по остальным измерениям ± 10 .

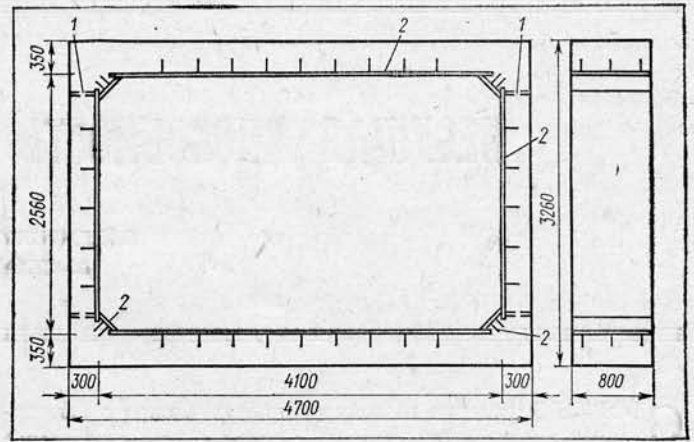
Форму с откидными наружными и закрытыми внутренними бортами перед установкой металлоизоляции и арматурного каркаса смазывают отработанными маслами, после чего к внутренним ее бортам устанавливается металлоизоляция анкерами внутрь и производится сварка 8-мм вертикальных стыков изоляции. Затем непосредственно в форме производится сборка арматурного каркаса из плоских вертикальных сеток, соединенных между собой шпильками. Одновременно устанавливаются 4 подъемные петли для распалубки и погрузки блока на машину.

После сборки арматурного каркаса наружные откидные борта формы устанавливаются мостовым краном в вертикальное положение и фиксируются между собой вспомогательными замковыми соединениями. Через имеющиеся в наружных бортах отверстия вставляются металлические штыри для образования монтажных отверстий и отверстий для нанесения бентонитового раствора.

Укладка бетонной смеси в форму производится из бункера типа «калоша» с высоты не более 0,5 м от края формы равномерно по всему периметру формы с последующим уплотнением ее глубинным вибратором. Поверхность формируемого изделия заглаживается. Затем оно подается мостовым краном $P=30$ т в пропарочную камеру. График термообработки — 2+3+6+2. В конце предварительной выдержки свежесформованного блока перед пропариванием из него изымаются штыри для образования монтажных отверстий.

Форма с блоками Щ-2 после тепловлажностной обработки подается на рабочую площадку, где после раскрытия внутренних и внешних бортов изделия извлекаются мостовым краном и подаются на место складирования.

Несмотря на кажущееся сходство блока с цельносек-



Блок Щ-2:

1 — отверстия для нагнетания бентонитового раствора; 2 — металлический лист $\delta=8$ мм.

ционной обделкой есть ряд отличий по геометрическим размерам, весу и наличию металлической гидроизоляции. Кроме того, блок Щ-2 армируется непосредственно в форме, а ЦСО — пространственным каркасом, выполняемым в специальном кондукторе.

Для изготовления обделки пешеходного тоннеля применены цементы Белгородского завода, что позволило обеспечить требования к бетону для работы в агрессивной среде. Экономическая эффективность от замены ССПЦ на ПЦ Белгородского завода складывается из 3 факторов:

снижение себестоимости 1 м³ бетона за счет замены более дорогостоящего сульфатостойкого цемента. Для бетона М400 это снижение составляет 3,6 руб.;

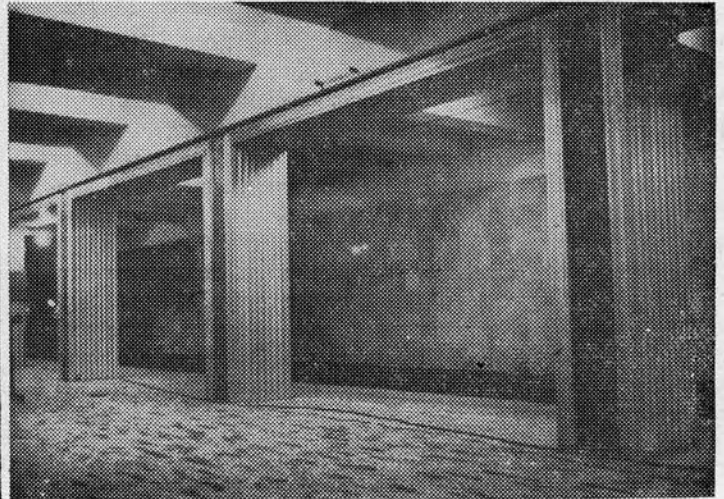
удешевление себестоимости изделий, не предназначенных для работы в агрессивной среде, составляет 6 руб. на 1 т цемента для марки 400 (как это было отмечено выше, часть ССПЦ приходится тратить на обычные изделия из-за невозможности выделить для него отдельную технологическую линию).

По сравнению с обычным портландцементом бетоны на сульфатостойком цементе требуют удлинения режимов пропаривания. Оно зависит от материала, температурного режима и других факторов, что можно определить в результате прямых экспериментов. □

ИЗ ФОТОХРОНИКИ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕРПУХОВСКОЙ ЛИНИИ



Перегонный тоннель «Тульская» — «Нагатинская».



«Нагорная».

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЫКОВ

Е. ДЕМЕШКО, канд. техн. наук;
А. СЛЕМЗИН, инженер

СБОРНЫЕ обделки из железобетонных блоков с шарнирными продольными стыками с точки зрения статической работы имеют существенное преимущество по сравнению с обделками с плоскими стыками и особенно со связями растяжения. Это выражается в значительном снижении величины изгибающих моментов в наиболее опасных сечениях и, следовательно, экономии арматурной стали. Шарнирные стыки явились одной из положительных особенностей унифицированной сборной обделки из железобетонных блоков, широко применяемой при сооружении перегонных тоннелей метрополитенов. В этой обделке принята конструкция цилиндрического выпукло-вогнутого стыка. Она должна была обеспечить полную шарнирность и практическую безмоментность стыкового соединения, то есть центрированную передачу нормальной силы при любых возможных деформациях обделки.

На основе экспериментов, проведенных в ЦНИИСе в 60-е годы с натурными образцами стыков до их разрушения при обеспечении соосности блоков, С. А. Орловым* была предложена формула для определения несущей способности стыка

$$N = 0,75 R_{пр} bh, \quad (1)$$

где N — предельная нормальная сила в стыке;

$R_{пр}$ — расчетное сопротивление бетона на осевое сжатие (призменная прочность), кН/м²;

b и h — соответственно ширина и толщина блока, м.

Эта формула вошла в СНиП II-44-78 и СНиП II-40-80 как принципиальное условие для определения прочности цилиндрического выпукло-вогнутого стыка.

Однако более поздними исследованиями в ЦНИИСе установлена высокая чувствительность этого стыка к угловым и линейным деформациям. Уже при угле взаимного поворота одного блока относительно другого в 1° и уступе между ними 10 мм эксцентриситет нормальной силы достигает максимально возможной величины, т. е. смещается к границе цилиндрической поверхности.

Обследованиями построенных перегонных тоннелей метрополитенов в Москве и Горьком, проведенными ЦНИИСом и МИИТом, выявлено, что около 50% всех колец обделки имеют уступы более 12–13 мм при максимальных их величинах 35–40 мм. В своде обделки смежные и боковые верхние блоки, как правило, образуют взаимный угол поворота более 1°. Таким образом, практически всегда идеализированная картина центрированной передачи нормальной силы в цилиндрическом стыке отсутствует. Между тем, согласно формуле (1) и обоим тоннельным СНиПам, прочность стыка получается одинаковой и причем максимальной как при приложении нормальной силы по оси блока, так и при смещении ее наружу или внутрь обделки на 50–66 мм от оси. Очевидно, что прочность стыка зависит от эксцентриситета нормальной силы, как и в любом железобетонном элементе, работающем на внецентренное сжатие.

* Орлов С. А. Методы статического расчета сборных железобетонных обделок тоннелей. Госстройиздат, М., 1961, с. 134.

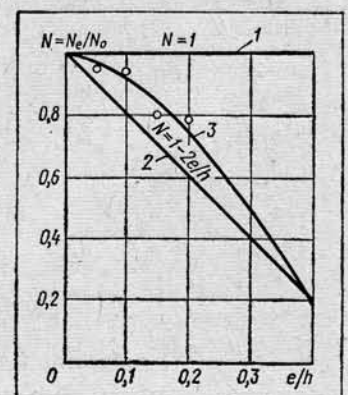
На протяжении последних лет исследования статической работы выпукло-вогнутого стыка выполняла кафедра «Тоннели и метрополитены» МИИТа. Теоретическое изучение проводилось с использованием метода конечного элемента (МКЭ), а экспериментальное — на стендовой установке, представлявшей собой сборно-сварную раму.

Образцы торцов блоков унифицированной обделки $d_{нар} = 5,5$ мм выполнены из бетона проектной марки М 300 в натуральном масштабе по радиальному сечению с высотой 20 и длиной 25 см. Размер по ширине кольца обделки принят для образцов в 24 см ввиду плоскодеформированного напряженного состояния торцов блоков под нагрузкой, которую создавали горизонтальным гидравлическим домкратом, а реакция воспринималась шаровой опорной частью. Эксцентрическое действие нормальной силы на образцы осуществляли неососным их расположением относительно линии действия продольной силы. Всего с выпукло-вогнутым стыком проведено 20 опытов при эксцентриситетах 0, 1, 2, 3 и 4 см. При этом фиксировали нагрузки образования первой трещины и разрушающую.

Установлено, что характер разрушения образцов во всех экспериментах одинаков — от появления продольных трещин, расположенных на линии действия сжимающей силы. Место зарождения трещин расположено на расстоянии 4–5 см от площадки контакта образцов.

При центральном приложении продольной силы разрушающая нагрузка оказалась близкой к подсчитанной по формуле (1) с учетом нормативного значения призменной прочности бетона. Однако все полученные значения были ниже расчетной величины, а зависимость несущей способности образцов от призменной прочности бетона обнаружилась заметный разброс полученных данных. Вместе с тем совместная статистическая обработка результатов проведенных испытаний и опытов ЦНИИСа показывает возможность сохранения формулы (1) для центрального приложения нормальной силы без изменения корреляционного значения коэффициента 0,75 при $R_{пр}$.

Результаты испытаний обнаружили значительное снижение несущей способности стыка с ростом эксцентриситета. На рисунке приведены осредненные результаты экспериментов для значений эксцентриситета $e = 0, 1, 2, 3$ и 4 см (отмеченные кружками). По вертикальной оси показано безразмерное отношение силы N_e , действующей с эксцентриситетом к центрально приложенной силе N_0 , по горизонтальной — отношение эксцентриситета e к высоте сечения блока h . Кроме того, на рисунке на-



несены зависимости: 1 — по формуле (1); 2 — несущей способности стыка, полученной в предположении, что при центральном сжатии работает вся площадь поперечного сечения торца блока, а при внецентренном — лишь часть, симметричная относительно линии действия нормальной силы; 3 — по расчетам МКЭ.

Исходя из данных испытаний и расчетных зависимостей, формуле (1) для расчета цилиндрического стыка с учетом внецентренного действия нормальной силы можно придать вид

$$N = 0,75 R_{пр} bh \left(1 - \frac{2e}{h}\right), \quad (2)$$

где e — расчетный эксцентриситет, м;
 h — толщина блока, м.

Как видно из рисунка, линейная зависимость силы от эксцентриситета e , упрощая формулу (2), дает запас прочности.

Расчетное значение эксцентриситета e следует принимать в общем случае по нормативному значению $e^н$ с учетом коэффициента безопасности $K_б$, определяемым по данным стати-

стических обследований смонтированных обделок с цилиндрическими стыками, то есть

$$e = K_б e^н.$$

В то же время должно выполняться условие

$$e \leq e_{\max}$$

где e_{\max} — максимально возможный эксцентриситет, определяемый конструкцией цилиндрического стыка с учетом ширины площадки обмятия бетона.

Для унифицированной обделки перегонных тоннелей метрополитена по проведенным ЦНИИСом и МИИТом обследованиям следует принимать наиболее опасный случай $e = e_{\max}$, что дает расчетное значение $e = 66$ мм.

Таким образом, установлена зависимость несущей способности шарнирного цилиндрического стыка сборных железобетонных обделок от эксцентриситета и предложена формула для определения предельной нормальной силы в нем. В соответствии с полученными данными необходимо внести изменения в пункты СНиП II-44-78 и СНиП II-40-80, касающиеся расчета цилиндрических стыков. □

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА С ОБДЕЛКОЙ

Ю. АЙБАЗОВ,
канд. техн. наук

СЛОЖНОЕ пространственное напряженное состояние массива пород возле выработки существенно зависит от ряда факторов: геометрии массива и выработки, физико-механических характеристик породы и материала обделки, конструкции последней и способа ее создания, а также от принятой технологии горнопроходческих работ. Так как большинству пород присущи явно выраженные реологические свойства, напряженно-деформированное состояние массива и обделки на различных этапах проходки тоннеля определяет фактор времени, иными словами, очередность и скорость проведения отдельных технологических процессов. Это сказывается и на итоговом, установившемся состоянии пород и обделки.

В развитии напряженно-деформированного состояния массива пород и системы «массив — обделка» в любом сечении, перпендикулярном оси тоннеля, можно выделить несколько основных стадий.

Стадия 0 соответствует естественному равновесию нарушенного массива пород, находящегося под воздействием собственного веса и, возможно, остаточных напряжений тектонического происхождения. Кроме того, в отдельных зонах земной коры вероятно появление поля напряжений, вызываемых сейсмической активностью. Напряженное состояние в рассматриваемой стадии является исходным для изучения распределения напряжений и перемещений в последующих стадиях работы массива и обделки.

Стадия 1. При ослаблении массива неподкрепленной выработкой в нем на участках, примыкающих к обнажениям, возникают зоны концентрации напряжений. Эта стадия имеет самостоятельное значение для оценки степени устойчивости выработки, временно или постоянно оставляемой без крепления, а также является исходной для последующих стадий.

Стадия 1а. Во время монтажа или бетонирования большинства обделок между их наружной поверхностью и

контуrom выработки, особенно в верхней части, остается зазор, который обычно забучивают или заполняют нагнетаемыми за обделку составами. Однако для твердения подаваемых за обделку составов требуется определенное время, в течение которого готовая конструкция из-за отсутствия полного контакта с массивом не может целиком включиться в совместную работу с ним. Хотя проследить и количественно оценить изменение напряженного состояния массива и обделки при частичном подкреплении выработки практически невозможно, следует подчеркнуть, что стадия 1а имеет важное значение для работы системы «массив—обделка». Производственные неполадки, приводящие к значительным осадкам земной поверхности, повреждению и даже разрушению обделки, как правило, бывают связаны с несвоевременным или некачественным нагнетанием, а также с другими упущениями именно на этой стадии. Последняя практически отсутствует при применении обделок, обжатых в породу, и из монолитно-прессованного бетона.

Стадия 2. В ее начальной фазе сколько-нибудь заметные усилия в обделке отсутствуют. В дальнейшем происходит перераспределение напряжений в массиве и нагружение конструкции. За счет развития контактных напряжений на контуре между породой и обделкой в известной степени разгружаются пиковые участки концентрации напряжений, имевшей место при неподкрепленной выработке. Конец стадии соответствует установившемуся во времени напряженному состоянию, когда все деформации, в том числе и реологические, пройдут и система «массив—обделка» в механическом смысле стабилизируется.

Стадию 3 характеризует установившееся напряженно-деформированное состояние и, как правило, она может приниматься за расчетную эксплуатационную.

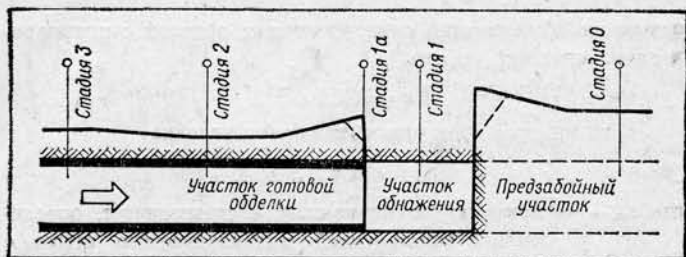


Рис. 1.

В условиях строительства тоннеля наблюдается развитие концентрации напряжений и в продольном направлении. Это обусловлено наличием забоя, участка обнажения, переходом от него к подкрепленному, возможным изменением жесткости и конструкции обделки по длине сооружения. В торце протяженной выработки у забоя (рис. 1) расположен участок обнажения, работающий в стадии I. С ним граничит впереди нарушенный массив, находящийся в стадии 0, а позади — участок обделки (или временной крепи), напряженное состояние которого соответствует стадии 2. На предзабойном участке на бытовое давление накладываются дополнительные напряжения, концентрирующиеся у границы этого участка с обнажением (опорное давление). На другой границе последнего при включении головного участка обделки в совместную работу с массивом возникают концентрации контактных напряжений с пиком на первых кольцах. По мере удаления от места возмущения концентрация контактных напряжений вдоль сооружения затухает, но в силу проявления породой реологических свойств процесс нагружения обделки во времени продолжается и кривая эпюры контактных напряжений снова идет вверх до установившегося уровня в стадии 3.

Так как обделка препятствует деформации контура выработки в массиве, по отношению к последнему она может трактоваться как некоторая обобщенная связь, нагрузка на которую пропорциональна тому перемещению, развитию которого она препятствует. На основании этого можно считать, что формирование нагрузки (контактных напряжений) на участок обделки прямо зависит от так называемых **эффективных** перемещений контура выработки. (Под эффективными понимаются только те перемещения, развитию которых препятствует обделка. Разумеется, сюда не входят перемещения контура выработки, реализующиеся до включения обделки рассматриваемого участка в совместную работу с массивом).

Предположим вначале, что массив сложен из идеально упругих пород. Выясним, как влияет продвижение забоя при параллельной схеме проходки на развитие напряженного состояния головного участка обделки, возводимой в пределах заходки k . До ее раскрытия уже сооруженная обделка и массив находятся в определенном фиксированном напряженном состоянии (рис. 2, а). В результате раскрытия с контура выработки в пределах этой заходки снимаются напряжения, существовавшие там. Заметим, что из-за имевшей место на предзабойном участке концентрации напряжений снимаемое поле может значительно превышать по величине бытовое, соответствующее стадии 0. Возведенная в пределах заходки обделка не будет взаимодействовать с массивом и останется пока в ненагруженном со стороны породы состоянии (рис. 2, б). Это объясняется тем, что в упругой породе все перемещения произойдут мгновенно до возведения обделки и

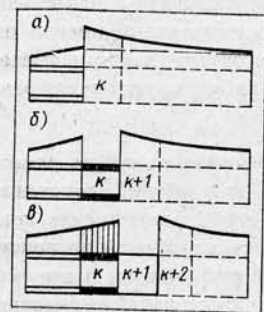


Рис. 2.

снимаемое поле может значительно превышать по величине бытовое, соответствующее стадии 0. Возведенная в пределах заходки обделка не будет взаимодействовать с массивом и останется пока в ненагруженном со стороны породы состоянии (рис. 2, б). Это объясняется тем, что в упругой породе все перемещения произойдут мгновенно до возведения обделки и

эффективные перемещения для рассматриваемого участка, вызванные раскрытием выработки на этом же участке, равны нулю. Следующая заходка $k+1$ вызовет на некоторой длине сооружения дополнительные перемещения контура выработки, в том числе, и в пределах предыдущей заходки. Те перемещения, которые произошли бы на участке k , не будь там обделки, под влиянием раскрытия выработки на соседней $k+1$, являются эффективными для рассматриваемого k -го участка. Как следствие этого, обделка здесь получит существенный «импульс» нагрузки и включится во взаимодействие с массивом (рис. 2, в). В процессе продвижения забоя участок обделки k будет получать приращения нагрузки отдельными ступенями, величина которых будет затухать по мере удаления от него забоя (рис. 3). В породах, обладающих затухающей ползучестью, процесс нагружения обделки мало отличается от описанного выше (см. пунктир на рисунке). При этом вряд ли следует ожидать, что реологическая доля приращения нагрузки на каждой ступени будет соизмерима с упруго-мгновенной (особенно с реализующейся при раскрытии соседней заходки $k+1$). Это свидетельствует о том, что при параллельной схеме строительства тоннеля основная часть нагрузки на кольцо или участок обделки формируется при раскрытии заходок, непосредственно граничащих с этим участком, и роль реологии в развитии напряженного состояния обделки не столь значительна.



Рис. 3.

При последовательной схеме сооружения забой, как правило, удален от головного участка обделки, и на ее взаимодействии с массивом влияние продвижения практически не сказывается. Под эффективными перемещениями, формирующими напряженное состояние обделки, следует понимать приращение реологических перемещений контура выработки за время, прошедшее с момента включения обделки в работу. Напрашивается вывод, что при последовательной схеме работ причиной нагружения обделки и включения ее в механическое взаимодействие с массивом является способность породы проявлять реологические свойства.

Как уже было отмечено, при развитии силового взаимодействия с массивом влияние продвижения практически появление контактных напряжений. Если нормальная составляющая этих напряжений q_p мало зависит от природы и условий контакта, то касательная составляющая q_ϕ в значительной мере определена свойствами контактирующих поверхностей — обделки и контура выработки. Взаимодействие массива и обделки в касательном направлении во многом зависит от способа создания конструкции, в первую очередь от того, выполняется ли она в монолите или является сборной.

В монолитной обделке, как правило, обеспечивается начальное сцепление ее наружного контура с породой за счет заполнения бетоном неровностей, выколов, трещин, неизбежных при разработке породы. Кроме того, цементное молоко, проникая из бетонной смеси в породу, способствует омоноличиванию контактного контура и обуславливает совместную работу массива и обделки не только в нормальном, но и в касательном направлении. Логично поэтому монолитную обделку рассматривать как подкрепление, начально спаянное со средой. На контакте породы с такой конструкцией очевидны соотношения

$$u_p^0 = u_p^k; u_\phi^0 = u_\phi^k, \quad (1)$$

где u_p^0 и u_ϕ^0 — перемещения наружной поверхности обделки соответственно в нормальном и касательном направлениях,

u_p^k и u_ϕ^k — перемещения контура выработки в тех же направлениях. При развитии напряженного состояния возможно нарушение отмеченной спаянности контура, причиной которого может быть чаще всего скалывание выступов и неровностей породы и реже — обделки. В этом случае на контакте обделки и породы сохраняется первое условие (1), а второе должно быть заменено соотношением

$$q_\phi = \pm \mu_1 q_p, \quad (2)$$

следующим из условий контакта двух разнородных тел при наличии между ними трения. В формуле (2) μ_1 — некоторый коэффициент, учитывающий силы трения по поверхности нарушения спаянности в породе или бетоне.

Следует подчеркнуть известную неопределенность как условий потери спаянности на контакте обделки с породой, так и коэффициента μ_1 . Существенные отклонения в геометрии контуров реальных выработок от проектных, наличие неизвлекаемого при бетонировании крепления в виде марчеван, поставленных вплотную или с зазором, и прочие технологические факторы обуславливают слабую детерминированность условий взаимодействия обделки и породы в касательном направлении. Представляется, что при рассмотрении взаимодействия массива пород с монолитной конструкцией следует исходить из условий (1) с обязательной последующей проверкой напряженного состояния при $\mu_1=0$, а при проектировании обделки рассчитывать каждый ее элемент или участок в условиях наименее выгодного нагружения со стороны породы.

В сборной обделке, имеющей сравнительно ровную наружную поверхность, силы ее контактного сцепления с породой нарушаются при первых же незначительных деформациях конструкции. Под влиянием развития нагрузки происходит сдвиг обделки по породе или по неизвлекаемому креплению, и, очевидно, касательные напряжения могут быть в данном случае только силами трения. Ввиду неизбежного взаимного проскальзывания обделки и породы по поверхности контакта при этом должно реализоваться предельное значение коэффициента трения, и основные соотношения, отражающие взаимодействие массива пород со сборной обделкой, могут быть записаны в виде

$$u_p^0 = u_p^k; \quad q_\phi = \pm \mu q_p. \quad (3)$$

Здесь под μ понимается значение коэффициента трения наружной поверхности обделки по породе, либо по неизвлекаемому креплению, либо по затвердевшему раствору или другому заполнителю пустот за обделкой. На некоторых участках контактного контура (чаще всего в шельге свода и в лотковой части выработки) из-за разуплотнения и разрыхления породы возможна неполная реализация коэффициента трения, поэтому при оценке взаимодействия массива со сборной обделкой также необходима проверка при $\mu=0$. Отметим, что выбор знака в формулах (2) и (3) зависит от направления взаимного касательного перемещения наружного контура обделки и контура выработки.

Рассмотренные положения, достаточно достоверно отражающие качественную сущность геомеханических процессов, связанных с проведением и креплением линейно протяженных выработок, могут быть приняты за основу теоретической модели взаимодействия массива пород с обделкой тоннеля. Применение к этой модели аппарата механики твердого деформируемого тела позволяет получать необходимые зависимости и алгоритм для количественной оценки развития напряженно-деформированного состояния системы «массив — обделка». □

ПРОЯВЛЕНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ БАМа

С. СИЛЬВЕСТРОВ, К. БЕЗРОДНЫЙ,
кандидаты техн. наук;
Р. КАСАПОВ,
инженер

ТОННЕЛИ БАМа залегают в горных массивах, бытовые напряжения в которых связаны не только с действием гравитационных сил, но и с проявлением тектоники. Особенно это относится к наиболее протяженным — Байкальскому и Северо-Муйскому тоннелям, расположенным вблизи перевальных разломов с происходящими существенными подвижками земной коры и повышенной сейсмоактивностью. По данным Института земной коры СО АН СССР, сейсмическая опасность районов расположения Байкальского тоннеля — свыше 8 баллов, для Северо-Муйского — 9.

Другие, более короткие тоннели, к числу которых относятся Нагорный на линии Тынды — Беркамит и четыре Мысовых на побережье озера Байкал, находятся в более благоприятных сейсмогеологических условиях. Однако они относятся к классу сложных из-за наличия вечной мерзлоты и сильной трещиноватости и выветрелости горного массива.

Потребность проходки тоннелей в условиях недостаточной изученной геологии по трассе вызвала необходимость организации натурных исследований различных проявлений горного давления. Их выполняла Северобайкальская лаборатория ЦНИИСа по утвержденной Госкомитетом по науке и технике программе при участии Института горного дела СО АН СССР, Свердловского горного института, Ленметрогипротранса, Бамтоннельпроекта и Бамтоннельстроя.

Проявления горного давления по-разному сказывались на ходе строительства, вызывая в ряде случаев значительное замедление темпов проходки. В результате местных нарушений устойчивости горных пород на контуре выработок (ывалы, «стреляние») требовались специальные меры, а также применение мощной и дорогостоящей временной крепи.

При крупных обрушениях выработок и выбросах слабоустойчивых и неустойчивых горных пород перерывы в работах достигали нескольких месяцев.

Натурные наблюдения за различными проявлениями горного давления способствовали применению рациональных технологических и конструктивных решений, что дало существенный экономический эффект и позволило сократить сроки строительства. Измерения природного поля напряжений вблизи контура выработки производили с помощью фотоупругих датчиков ИГД СО АН СССР; смещений последнего по мере удаления забоя одиночной выработки либо при проходке параллельного тоннеля — стационарно установленными штангами со струнными динамометрами (см. рисунок) и разработанной в ЦНИИСе специальной рулеткой. Напряжения в массиве вычисляли на ЭВМ с использованием аппарата теории упругости. Зная

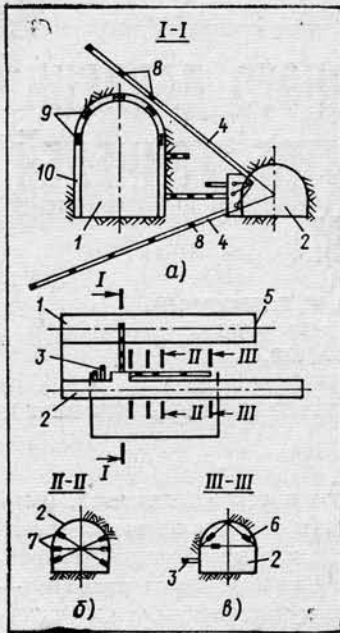


Схема оснащения опытного участка:

а — поперечное сечение по оси ниши; б — створ для измерения смещений контура выработки рулеткой ЦНИИСа; в — то же стационарными штангами со струнными динамометрами;

1 — тоннель; 2 — транспортно-дренажная штольня; 3 — фотоупругие динамометры; 4 — скважины для глубинных реперов; 5 — забой; 6 — мерные штанги со струнными динамометрами; 7 — марка для измерения смещений контура; 8 — глубинные реперы; 9 — струнные деформометры; 10 — обделка.

крепь и три — с датчиками в постоянной обделке; в тоннеле № 6 — опытный участок со струнными динамометрическими элементами, расположенными на опережающей временной крепи из труб, а также со струнными и фотоупругими датчиками в бетонной обделке; в тоннеле № 8 — два опытных участка на металлических рамах временной крепи, три — с измерениями смещений контура опережающей выработки рулеткой ЦНИИСа и фотоупругими датчиками, один — на опережающей временной крепи из труб и один с измерениями деформаций чугунных тубингов постоянной обделки.

Исследованиями установлено, что в большинстве случаев величины нагрузок на крепь и тоннельную обделку намного меньше расчетных значений, определенных исходя из традиционных представлений и рекомендаций действующих СНиП.

Горное давление от действия гравитационных сил и тектонических напряжений при проходке выработок почти полностью воспринимается самим породным массивом и временной крепью: на тоннеле № 1 — стальными арками, на тоннеле № 2 — анкерной крепью, а на тоннелях №№ 3—6 — стальными арками и временной бетонной крепью. Постоянная обделка в этих случаях необходима только для восприятия сейсмического и температурного воздействий. Ползучесть вмещающих интрузивных и метаморфических горных пород практически отсутствует. Проявление горного давления здесь носит в основном уп-

свойства пород и характер природных полей напряжений, можно рассчитать устойчивость выработок и спроектировать оптимальные конструкции тоннельных обделок.

Обозначим номерами тоннели по порядку в соответствии со сроками окончания их проходки.

При строительстве тоннеля № 1 было оснащено шесть опытных участков с измерениями деформаций элементов стальных рам временного крепления по мерным базам и один опытный — по струнным деформометрам, заложенным в постоянной бетонной обделке (в общей сложности более 300). В тоннеле № 2 на трех опытных участках измеряли деформации стоек стальных рам временной крепи и на пяти — постоянной обделки, а также породного массива (с общим количеством приборов более 130). В тоннеле № 3 оснащен опытный участок на бетонной временной крепи с установкой фотоупругих датчиков и мерных баз; в тоннеле № 4 — четыре опытных участка с измерениями деформаций рам временной

ругий характер, и все деформации в массиве реализуются полностью по мере продвижения забоя.

Во время проходки штольни и сводовой части выработки в тоннеле № 2 оценено количественно природное поле напряжений и установлено, что его горизонтальная составляющая значительно превосходит вертикальную и достигает 15 МПа. Поэтому на контуре возникают напряжения, близкие к пределу прочности пород при одноосном сжатии. Природное поле напряжений в тоннелях №№ 3—6 связано с гравитационными силами, и массив в сочетании с применяемой арочно-бетонной временной крепью полностью воспринимает нагрузку от горного давления.

На более сложных участках механическая модель взаимодействия крепи с вмещающим породным массивом может быть иной и для каждого конкретного случая должна изучаться отдельно.

Итоги натуральных исследований проявления горного давления на строящихся тоннелях БАМа реализовывались по нескольким направлениям. Прежде всего, это совершенствование технологии проходки выработок. Так, в результате изучения нагрузок по деформациям арок в тоннеле № 1 обоснована возможность повсеместной его проходки на временной крепи, что при отсутствии условий для бетонирования постоянной обделки обеспечило ускорение темпов сооружения на 1 год и экономии материалов и трудозатрат. Аналогичный эффект получен и на 2-м тоннеле, где также обоснована возможность отставания фронта бетонирования от забоя выработки до 1 км вместо разрешенного по проекту в 100 м. Здесь же реализованы рекомендации по изменению формы выработки для преодоления участков «стреляния» горных пород, разработанные совместно с ИГД СО АН СССР. Основываясь на результатах натуральных исследований в тоннелях №№ 1 и 2, Бамтоннельстрой совместно с лабораторией ЦНИИСа предложил и реализовал технологию проходки выработок большого поперечного сечения на полный профиль в тоннелях №№ 3—6 вместо предусмотренной по проекту проходки по частям. В результате внедрения этой технологии получен значительный технико-экономический эффект.

Другое направление — обоснование применения более рациональной временной крепи. Причем проекты корректировались как в сторону облегчения, так и в отдельных случаях применения более мощной крепи, что в сочетании с более прогрессивным способом проходки дало в целом экономический эффект. В тоннелях № 2 и № 8 обоснована проходка с применением железобетонной анкерной крепи в сочетании с металлической сеткой, а в тоннеле № 1, находящемся в слое вечной мерзлоты, рекомендовали арочную крепь вместо анкеров с подхватками; при проходке тоннелей №№ 3—6 внедрена арочно-бетонная временная крепь с преодолением наиболее сложных участков при помощи цементации грунтов, опережающей анкерной крепи и сводов из труб.

Третье направление реализуемых предложений — совершенствование конструкции постоянной обделки. Наиболее существенные из них: применение постоянных обделок для основных тоннелей в транспортно-дренажной штольне тоннеля № 2, снятие их армирования; замена чугунной обделки на железобетонную в тоннеле № 8; внедрение двухслойной обделки для тоннелей №№ 3—6 с включением наружного слоя (временной крепи) в качестве расчетного элемента постоянной тоннельной конструкции; демонтаж арок временной крепи перед возведением постоянной обделки; замена криволинейного обратного свода на плоский лоток для обделки тоннеля № 2.

Частичная реализация этих предложений уже дала значительную экономию материальных и трудовых затрат.

ОПТИМАЛЬНАЯ СХЕМА ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

А. НЕСТЕРОВСКИЙ, А. РОТЕНФЕЛЬД,
инженеры

СОВРЕМЕННАЯ тенденция транспортного тоннелестроения — увеличение длины тоннелей. Повышение скоростей и комфортабельности движения поездов в горных районах привело к значительному увеличению числа тоннелей протяженностью более 10 км. Их сооружение в ряде случаев лимитирует сдачу всей железнодорожной линии в директивный срок.

Сокращение сроков строительства в условиях все возрастающих объемов горнопроходческих работ привело к необходимости раскрытия дополнительных забоев при сооружении тоннелей большой протяженности. Это усложняет проектирование организации работ и составление их календарного графика. Последний становится одновременно и определяющим результатом разрабатываемого технического проекта и руководящим документом в ходе всего строительства. На отыскание оптимального графического варианта без применения ЭВМ затрачиваются значительные время и средства. Эффективность его в большой степени зависит от интуиции и профессионального уровня исполнителей. Среди сотен вариантов подземного многозабойного сооружения возможность для отыскания оптимального решения весьма ограничена.

Первым этапом оптимизации задачи проектирования организации строительства подземных объектов стала методика, реализованная на ЕС-1022, которую разработали в отделении «Тоннели и метрополитены» ЦНИИСа. Она предназначена для исследований как на стадии проектирования, так и в процессе сооружения тоннеля, позволяя оперативно реагировать на непредвиденные осложнения. Математически задача формулируется как выбор из общего числа возможных работ такой последовательности, которая обеспечивает достижение конечной цели в минимальные сроки с соблюдением ограничений по видам ресурсов и типам логических взаимосвязей между операциями. Применялся метод направленного поиска нужной последовательности на базе их ранжирования. Всего для анализа принято $2N+5$ графиков, где N — число работ. Критерий оптимальности — минимум времени сооружения тоннеля. Программа, реализующая данную методику на ЭВМ, обеспечивает выдачу наикратчайших календарных графиков работ после просмотра каждых десяти вариантов. Методика применима в том случае, когда число дополнительных забоев и их местонахождение заранее определены.

Для практических нужд, как выяснилось, в ряде случаев необходимо решение вопросов, связанных с определением минимального числа дополнительных забоев, оптимизацией их местоположения, нахождением наилучшего способа проходки для каждого участка. Предлагается новый подход к задаче оптимальной организации работ по строительству. Под оптимальным вариантом подразумевается календарный график, удовлетворяющий следующим требованиям: для каждого участка тоннеля и опережающей транспортно-вентиляционной штольни определен наилучший способ проходки, обеспечивающий ее завершение в кратчайший срок; установлено минимальное число дополнительных забоев и их оптимальное рас-

положение (сроки окончания сбоев находятся в заданном интервале); проходка всего комплекса завершается к заданному директивному сроку.

Для решения поставленной задачи необходима информация: по геологии и длине участков; числу стволов и срокам их пуска; средним скоростям проходки для каждого участка тоннеля и штольни; времени опережения тоннеля штольной и замены оборудования; коэффициентам влияния на скорости проходки из расчески для каждого участка; директивным срокам строительства.

Данная методика реализована на ЭВМ ЕС-1033 в комплексе программ на ФОРТРАНе. Графическая часть выполнялась на малой машине СМ-3. Центральным алгоритмом в комплексе является алгоритм определения оптимальных способов проходки на участках (один из наиболее используемых). Следует заметить, что выбор на каждом участке наилучшего способа проходки может оказаться невыгодным по времени на замену оборудования. Решать задачу полным перебором нельзя также из-за ограниченности быстродействия ЭВМ. Как альтернатива полному перебору предложен метод динамического программирования. Математически задача формулируется как целочисленная с попарно аддитивной целевой функцией:

$$Z = \sum_{j=1}^n f_j(x_j, x_{j-1}) \rightarrow \min$$

$$f_j(x_j, x_{j-1}) = h_j(x_j, x_{j-1}) + g_j(x_j); \quad j = 1, 2, \dots, n$$
$$h_1 = 0.$$

Здесь n — количество участков;

x_j — способ проходки на j -ом участке;

$h_j(x_j, x_{j-1})$ — время на замену оборудования при переходе от $j-1$ -го участка к j -ому

$$h_j(x_j, x_{j-1}) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_{j-1} = x_j \\ TR, & \text{если } x_{j-1} \neq x_j, \end{cases}$$

где TR — время на замену оборудования.

Время на проходку j -го участка есть функция, зависящая от используемого здесь способа проходки:

$$g_j(x_j) = \frac{DL_j}{V_{j,x_j}},$$

где DL_j — длина j -го участка,

V_{j,x_j} — скорость проходки j -го участка, соответствующая способу x_j .

Необходимо найти такие значения $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$, которые обеспечивали бы минимальное суммарное время проходки всех участков. Ясно, что это — неотрицательные целые числа, минимизирующие рассматриваемое выражение. Как было сказано выше, задача решается с использованием динамического программирования (вычислительным методом, использующим аппарат рекуррентных соотношений)*.

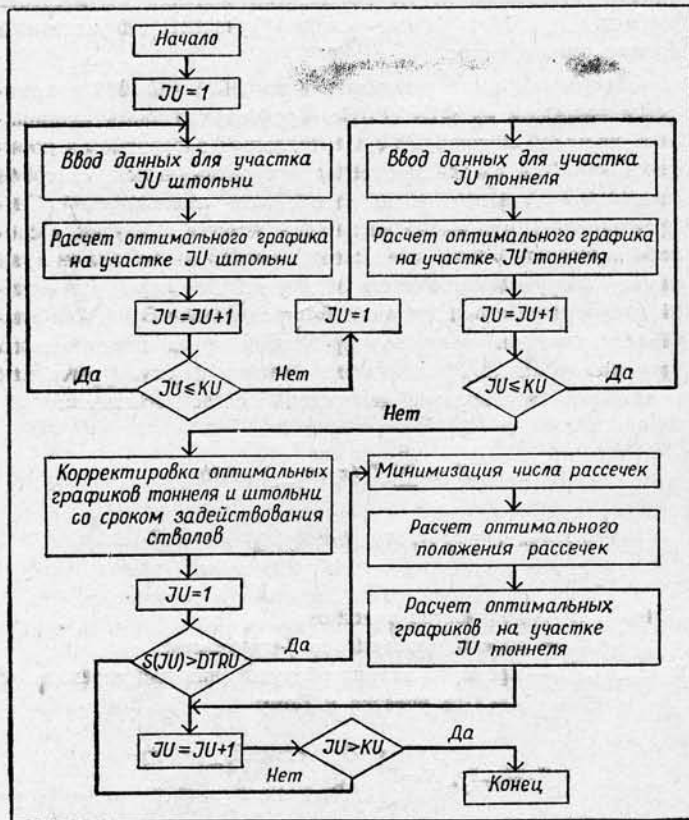
Общая блок-схема решения задачи приведена на рисунке. Кроме описанного алгоритма, она включает подпрограммы: построения оптимального графика на проходческом участке; корректирование календарных графиков по срокам задерживания шахтных стволов; минимизации числа расчески и их оптимального расположения.

Комплекс программ апробирован при построении оптимального графика сооружения перевального тоннеля длиной более 20 км. Предстояло выбрать способы проходки участков, определить составы горнопроходческих комплексов и расчи-

* Р. Беллман. «Динамическое программирование». М. Изд-во «Мир», 1967.

тать на их основе оптимальные технологические параметры. Нужный вариант выбирался по минимуму времени с учетом затрат на эксплуатацию и необходимости строительства дополнительных объектов.

При сравнении вариантов детально не анализировались графики, по которым срок окончания строительства превышал директивный.



Общая блок-схема алгоритма.

Избранный по результатам расчетов на ЭВМ календарный график сооружения перевального тоннеля выгодно отличается от ранее построенных без применения методов автоматизированного проектирования. В частности, наглядно продемонстрировано преимущество базисного варианта тоннеля перед верхинным, позволившее создать оптимальные условия производства работ с применением крупногабаритной техники и учесть дополнительные требования по их безопасности; сократить на 6 мес. сроки подготовительного периода; отказаться от сооружения дополнительных объектов на участке пересечения.

Итак, разработаны алгоритмы и комплекс программ, предназначенные: для расчета оптимальных графиков сооружения тоннеля и шtolьни по заданным горно-геологическим условиям и определенному директивному сроку; для определения минимального числа рассечек и оптимального их расположения; установления способа проходки для каждого участка тоннеля и шtolьни.

В дальнейшем предполагается усложнить и углубить постановку задачи (что, в частности, включает в себя разработку алгоритма корректировки машинных решений с учетом требований к вентиляции выработок и транспортным ограничениям). Завершающий этап — создание системы автоматизированного проектирования оптимальной организации работ по строительству тоннелей. При наличии устройств, обеспечивающих интерактивный режим работы, появится возможность оперативного принятия решений в соответствии с конкретными условиями строительства. □

ТЕПЛООБМЕН ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В. НЕЧАЕВ, Б. ШКУРКО,
кандидаты техн. наук

В результате аналитических и численных исследований процесса теплообмена разработана инженерная методика учета теплофизической неоднородности материалов конструкции обделки и грунтового массива.

В ПРАКТИКЕ подземного строительства возводят сооружения, материалы обделок которых по теплофизическим свойствам могут отличаться от грунта. Иногда эти конструкции многослойны. Для обоснования принимаемых решений по системам тепло- и холодоснабжения возникла необходимость исследовать влияние различных теплофизических свойств материалов обделки и грунта на теплообмен подземных сооружений. Это влияние проявляется в изменении интенсивности теплового потока через ограждающие конструкции, а следовательно, — в увеличении или уменьшении расходов тепла (холода) на нагревание (охлаждение) сооружений, в значительной степени определяющих величины материальных и энергетических затрат на создание и обеспечение требуемых температурных условий.

Использование методик, основанных на предположении об однородности материалов обделки и грунта, как показали расчеты плотности теплового потока через ограждающие конструкции сооружений, может приводить к недопустимо высоким погрешностям (порядка нескольких сотен процентов).

На основании этого разработана новая методика тепло-технического расчета подземных сооружений, позволяющая учитывать рассматриваемый фактор при их проектировании, строительстве и эксплуатации. Получены решения задач теплообмена с одно- и двухслойными конструкциями по общепринятым расчетным схемам сооружений: условно представляемых в виде полуграниченного массива, цилиндрической и сферической формы. Найдены также частные решения для металлической тубинговой обделки и для случая, когда материал промежуточного слоя имеет очень малую теплоемкость. Рассматривались условия теплообмена как для периода предварительного создания температурного режима (граничное условие 2-го рода), так и длительной эксплуатации (3-го рода).

Анализ полученных зависимостей показал: с увеличением числа слоев резко возрастает громоздкость таких решений; количественное исследование процесса теплообмена на основе этих зависимостей возможно только с помощью ЭВМ. Поэтому для расчета конструкций с числом слоев более двух использовали метод конечных разностей. В итоге разработаны алгоритмы решения поставленных задач и составлены программы счета, позволяющие учитывать возможные изменения температурного режима.

Аналитические и численные исследования теплообмена подземных сооружений составили основу количественной оценки температурного режима ограждающих конструкций. Для разработки инженерной методики теплотехнического рас-

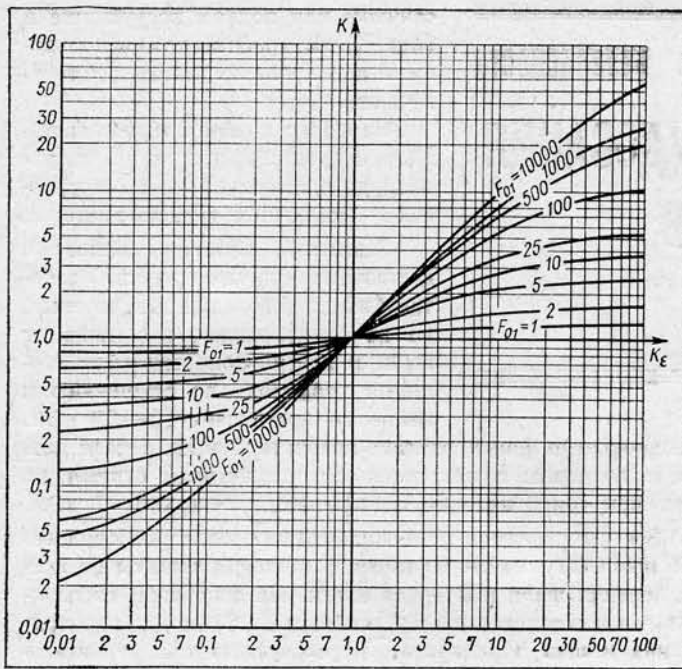


Рис. 1. Графики для определения величины коэффициента приведения K .

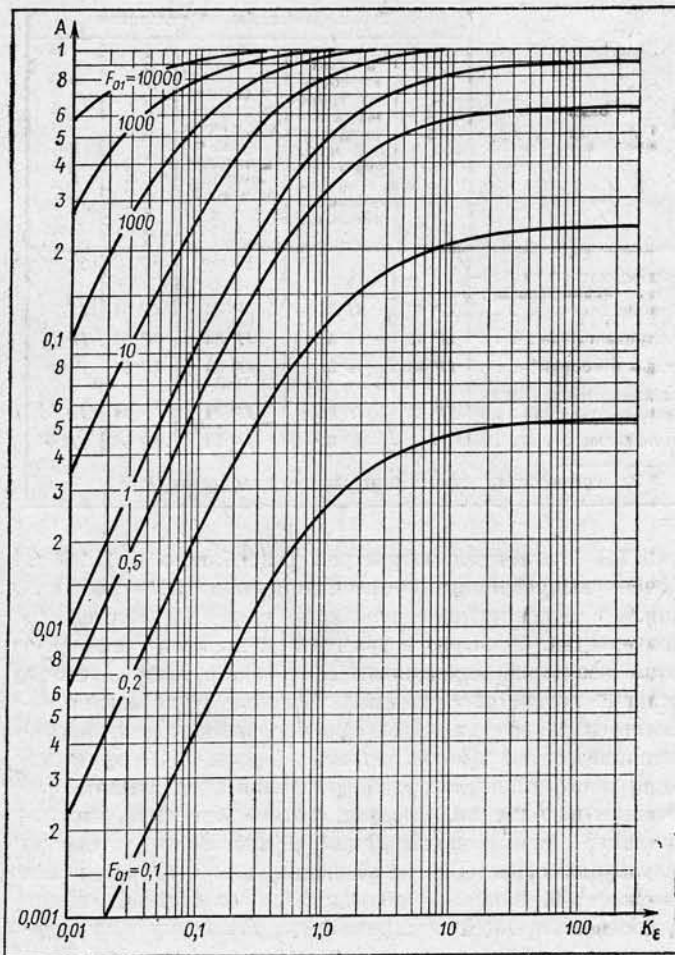


Рис. 2. Графики для определения величины коэффициента приведения A .

чета использована широко распространенная идея о приближенном приведении многослойных конструкций к эквивалентным однослойным, расчет которых производится по относительно несложным формулам. Учитывая, что разрабатывается инженерная методика, допускающая погрешности расчетов, была поставлена задача выявить обобщенные условия эквивалентности, т. е. такие, которые можно было бы применить независимо от условий теплообмена.

Анализ и сравнение результатов расчетов температурных режимов многослойных конструкций с использованием различных комбинаций эквивалентных теплофизических параметров материалов позволили решить эту задачу. Установлено, что реализация условий равенства температур поверхностей и интегральных скоростей изменения температурных режимов для одно- и двухслойных конструкций позволяет наиболее оптимально определять эквивалентные параметры материалов многослойных тел. В результате найдены выражение для эквивалентного коэффициента тепловой активности материалов двухслойной конструкции:

$$B_{\text{эkv}} = b_1 \cdot K \quad (1)$$

и выражение для эквивалентной теплоемкости материалов, имеющее вид

$$\left(\frac{1}{c\gamma}\right)_{\text{эkv}} = \frac{1}{c_1\gamma_1} + \left(\frac{1}{c_2\gamma_2} - \frac{1}{c_1\gamma_1}\right) \cdot A \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) введены обозначения:

$b_1 = \sqrt{\lambda_1\gamma_1 c_1}$ — коэффициент тепловой активности материала первого слоя (обделки);

λ_i, γ_i, c_i — соответственно коэффициент теплопроводности, плотность и удельная теплоемкость материала i -го слоя;

K, A — коэффициенты приведения, являющиеся

функциями критериев $K_e = \sqrt{\lambda_2\gamma_2 c_2} / \sqrt{\lambda_1\gamma_1 c_1}$

и $F_{01} = a_1 \tau / l_1^2$, определяются по графикам (рис. 1 и 2);

a_1, l_1 — соответственно коэффициент температуропроводности и толщина материала первого слоя;

τ — время.

Определив по формулам (1) и (2) величины эквивалентных параметров, можно рассчитать по известным формулам любую из требуемых теплофизических характеристик.

Разработанная методика приведения двухслойных конструкций к эквивалентным однослойным распространена и на многослойные. Последовательность ее применения для многослойных конструкций следующая: первоначально приводятся к эквивалентным параметрам характеристики грунтового массива и слоя, прилегающего к нему, затем полученные параметры становятся расчетными при определении эквивалентных характеристик следующего слоя с эквивалентным однородным массивом и т. д.

Сравнение результатов расчетов по аналитическим формулам и численным методам с результатами расчетов по разработанной методике показало, что максимальные их отклонения не превышают 8%. Следовательно, разработанная методика может быть рекомендована для использования в инженерных расчетах температурного режима подземных сооружений. □

ЗАЩИТА ОБОЛОЧКАМИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

О. КОРОЛЕВ, канд. техн. наук;
И. ОСАДЧИЙ, И. ХЛЕБНИКОВ, инженеры

В ПОДЗЕМНЫХ выработках при строительстве метрополитенов и тоннелей широко применяется электрооборудование общепромышленного исполнения с самыми различными степенями защиты от проникновения пыли и влаги. Последние, проникая через отверстия и щели в оболочках, снижают сопротивление изоляции токоведущих частей по отношению к корпусу. Как следствие — появление токов утечки на землю, что в свою очередь может вызвать автоматическое отключение системы электроснабжения специальными реле контроля изоляции. При отсутствии автоматического непрерывного контроля изоляции с действием на отключение токи утечки снижают общий уровень электробезопасности.

Одновременно с общепромышленным электрооборудованием метростроители применяют электротехнические устройства, выпускаемые механическими заводами Главтоннельметростроя, а для подобного оборудования степень защиты оболочками токоведущих частей и изоляции не устанавливается вообще.

Для устранения этого положения проведено обследование состояния электрооборудования с различными типами оболочек от влияния внешних факторов, расположенного по всей технологической цепи: на поверхности, в сухих выработках и тоннелях с зачеканенной обделкой, в сырых выработках и тоннелях с незачеканенной конструкцией, в забое и призабойной зоне, на проходческих машинах и механизмах. Оборудование разделили на группы: различные трансформаторы, электродвигатели, шкафы и сборки, отдельно стоящие магнитные пускатели и светильники.

Проверкой установлено, что у электрических аппаратов (магнитные пускатели, автоматы, контакторы) нет надежной защиты оболочками. В подземных выработках и на поверхности они часто размещаются в полустарых металлических шкафах, двери которых и места вводов кабелей не оборудованы необходимыми уплотнениями. Сквозь неплотности и щели свободно проникает пыль и влага. Замеры уровня изоляции прибором типа М-4100/4 на 1000 В дают величины от 40 до 60 кОм при норме не менее 500 кОм.

Асинхронные двигатели на поверхности и в сухих подземных выработках надежно защищены, работают устойчиво с требуемым по величине напряжения уровнем изоляции. В сырых же выработках и особенно в местах нагнетания бетонного раствора защита явно недостаточна. Обмотки статора переувлажняются агрессивными растворами, двигатели выходят из строя, а токи утечки создают опасный потенциал на корпусах и приводят к срабатыванию специальной защиты.

Отдельно изучалось состояние электродвигателей проходческих щитов и насосов центрального водоотлива, которые должны сохранять работоспособность даже при ча-

стичном или полном погружении в воду. Этим требованиям используемые асинхронные двигатели не отвечают.

Наиболее слабое звено в системе электроснабжения и электрооборудования подземных выработок — сварочные трансформаторы.

Защитные оболочки полностью исключают соприкосновение работающих с токоведущими частями, но не предохраняют изоляцию от пыли и влаги. Сопротивление изоляции обмоток по отношению к земле не превышает 10—12 кОм.

Неоднократно фиксировалась величина 3 кОм, а реле контроля по своим техническим характеристикам отключают сети при сопротивлении однофазной утечки 6,5—7 кОм.

Все выпускаемое промышленностью электрооборудование по ГОСТу 14254-80 имеет 6 степеней защиты от проникновения пыли и 8 — от влаги. На основании обследования и в соответствии с указанным ГОСТом для электрических машин и аппаратов, используемых при строительстве метрополитенов и тоннелей, установлены требуемые степени защиты оболочками (см. таблицу).

Таблица

Виды электрооборудования (напряжением до 1000 В)	Зоны размещения оборудования				
	на поверхности	в сухих выработках тоннелях с зачеканенной обделкой, рудоворах и околоствольных выработках	в сырых выработках и тоннелях с незачеканенной обделкой	в забое и призабойной зоне	на проходческих машинах и механизмах
Трансформаторы сварочные, осветительные, безопасности	IP 43	IP 51	IP 54	IP 54	IP 54
Электродвигатели	IP 43	IP 51*	IP 54	IP 54	IP 56
Шкафы и сборки	IP 43	IP 51	IP 54	IP 54	—
Отдельно стоящие магнитные пускатели	IP 43	IP 51	IP 54	IP 54	IP 54
Светильники	—	IP 51	IP 54	IP 54	IP 54

* Электродвигатели насосов центрального водоотлива IP 56.

СКТБ Главтоннельметростроя разработало в 1979 г. перечень выпускаемого промышленностью электрооборудования в исполнении, отвечающем условиям подземного строительства. Один раз в два года он пересматривается с учетом изменений, связанных со снятием устаревшего и поставкой нового оборудования. Используя указанные материалы и данные таблицы, проектировщики и производственники могут грамотно решать вопросы применения того или иного типа электрооборудования и заказывать его в нужном исполнении. Следует, однако, отметить, что изготовление электроконструкций выполняют заводы Главтоннельметростроя, не имеющие для этого должных возможностей. Заказ же оборудования со степенью защиты, соответствующей рудничному нормальному или судовому исполнению, связан с большими трудностями из-за ведомственной разобщенности. Было бы целесообразно организовать централизованный выпуск электроконструкций на одном из вновь строящихся промышленных предприятий Главтоннельметростроя с необходимым оснащением. □

ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ С НИЗКОМОДУЛЬНЫМИ ВОЛОКНАМИ

В. КОЗЛОВ, М. КАГАН,
кандидаты техн. наук;
Р. АХМЕДНАБИЕВ, Г. БОГОМОЛОВ,
инженеры

Для гидроизоляции швов сборной тоннельной обделки в настоящее время применяются цементные композиции, наполненные асбестовыми волокнами. Эти композиции высоко модульны и поэтому мало деформативны, образуют жесткий стык, в котором при динамических нагрузках и деформациях, вызванных перепадом температуры, быстро распространяется трещина. Одним из способов снижения модуля упругости является введение низко модульных волокон в цементную матрицу. Низко модульными считаются волокна, если $E_f/E_m \leq 1$; высоко модульными, — если $E_f/E_m > 1$ (где E_f ; E_m — модуль упругости волокна и матрицы соответственно. Матрицей в данном случае является цементный камень).

Композиционные материалы, наполненные низко модульными волокнами, характеризуются высокой ударной и вибропрочностью, меньшим модулем упругости, стойкостью на истирание и трещиностойкостью.

Исследовались свойства цементных композиций, наполненных полипропиленовыми волокнами диаметром 0,2 мм, выпускаемых Курским производственным объединением «Химволокно». Это волокно выпускается нашей промышленностью в большом ассортименте и отходы его не подлежат переработке. Вяжущее было принято трехкомпонентным, состоящим из следующих цементов в процентах по массе (по аналогии с БУС):

гипсоглиноземистый М 400	30—35
глиноземистый М 400	30—35
портландцемент М 400	30—35

Компоненты вяжущего перемешивались в лабораторной шаровой мельнице до образования однородной смеси. Начало схватывания наступало через 5—10 мин. после затворения водой, а конец — через 15—20 мин.

В навеску вяжущего вручную вводили рубленое волокно в процентах по объему. Для выявления влияния объемного содержания и длины волокна на свойства композита приняты $V_f=2; 4; 6\%$ и $l_f=14; 22; 30$ мм. В изготавливаемые серии входили 12 образцов-балочек размерами $4 \times 4 \times 16$ см при $V/D=0,3$. Их уплотняли на стандартной лабораторной виброплощадке 15 сек. Твердение образцов происходило в воде в течение 14 суток.

Предел прочности при изгибе определяли испытанием шести образцов-балочек на машине МИИ-100, при сжатии — на прессе ПСУ-50. Модуль упругости и коэффициент Пуассона устанавливали с помощью датчиков сопротивления испытанием трех образцов на сжатие. Способность цементных композитов сопротивляться растрескиванию под действием меха-

нических нагрузок оценивалась вязкостью разрушения, которая определялась испытанием трех образцов-балочек $4 \times 4 \times 16$ см на изгиб.

Полипропиленовые волокна водой не смачиваются, поэтому достичь физико-химической связи между материалом и матрицей не удается. Таким образом, адгезионная связь между полипропиленовыми волокнами и окружающим их цементным камнем носит механический характер.

От объемного содержания и длины волокна зависят не только физико-механические свойства цементных композитов, но и удобоукладываемость смеси. Так, волокна длиной 14 мм легко смешиваются с цементом до 3—5% по объему без образования «ежей», в то время, как при длине 20—25 мм до 2% уже затруднено затворение смеси водой.

Таблица
Составы и результаты испытаний цементных композиций

Обозначение состава	Предел прочности, МПа		Модуль упругости, МПа	Вязкость разрушения, $MH/m^{3/2}$
	при изгибе	при сжатии		
БУС (контр.)	3,9	40,5	14595	0,89
2—14	3,6	40,1	12887	0,91
4—14	4,1	39,9	12609	0,99
6—14	4,6	38,9	12231	1,04
2—22	3,9	39	12915	0,99
4—22	4,3	38,1	12603	1,04
6—22	4,8	36,4	11879	1,09
2—30	5,2	40	12899	1,32
4—30	5,5	37,6	12652	1,33
6—30	4,9	36,3	12714	1,11

Примечание: Первая цифра в первой графе обозначает объемное содержание волокна в композите, вторая — длину волокна.

Испытания показали, что введение волокон в цементную матрицу улучшает свойства чеканочных составов. Наибольший эффект наблюдается при $V_f=4\%$ и $l_f=30$ мм. Предел прочности при изгибе такого композита на 41% выше, чем у БУСа (см. таблицу), при сжатии композитов составляет примерно 94—98%. Модуль упругости снижается примерно на 15—18%, вязкость разрушения увеличивается на 43—48%.

На основании проведенных исследований подобран состав композита для внедрения на строящихся участках Московского метрополитена. □

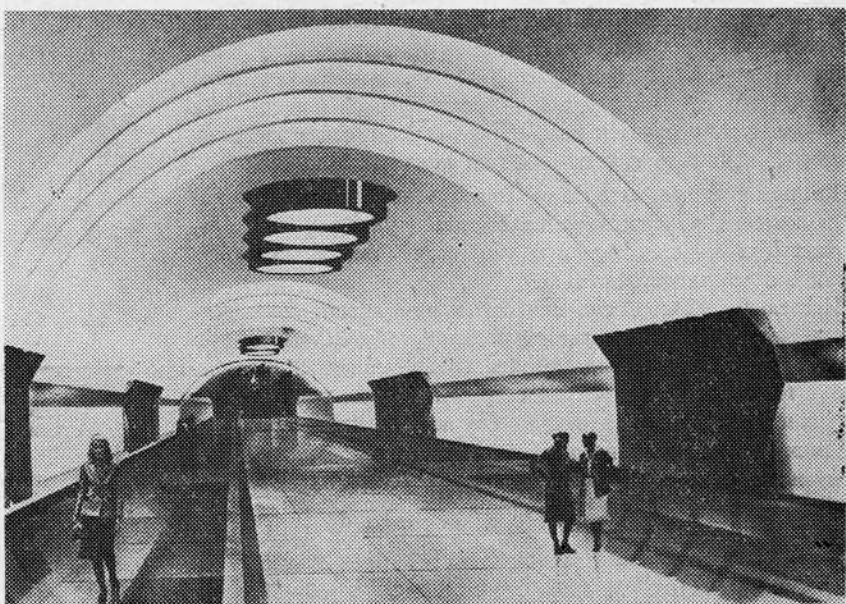
ПРОЕКТЫ СТАНЦИЙ СВЕРДЛОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Редакция уже знакомила читателей с проектами станций Свердловского метрополитена. Публикуемые проекты разработаны Государственным проектно-изыскательским институтом «Уралгипротранс» совместно с другими проектными организациями.

Станция «Прспект космонавтов» — начальная по трассе; «Дзержинская» расположена в центре города; «Площадь 1905 года» и «Куйбышевская» предусмотрены пересадочными на линии II и III очередей.



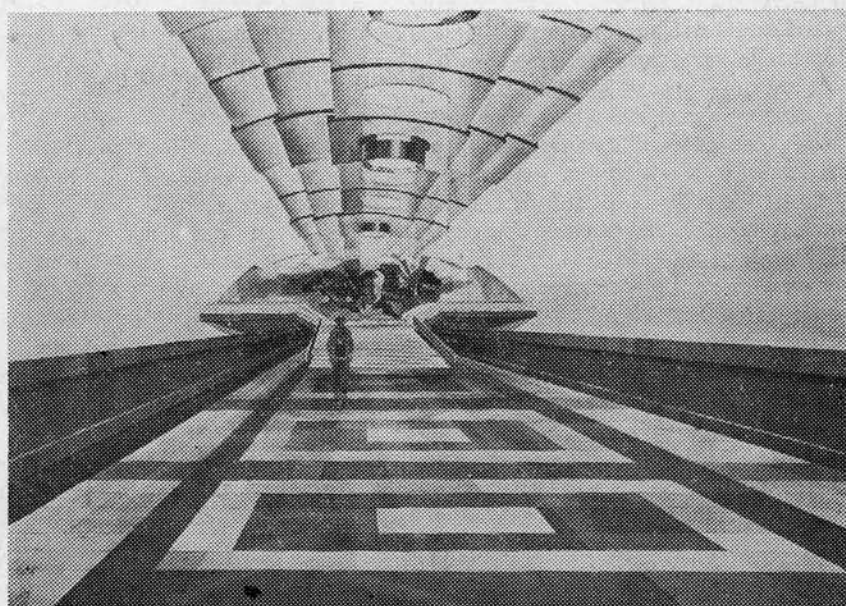
«Прспект космонавтов»



«Дзержинская»



«Площадь 1905 года»



«Куйбышевская»

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ НАПЫЛЕНИЕМ

Восстановление деталей подвижного состава

В. КАЗЬМИН, канд. техн. наук; С. КАДЫШЕВ, инженер

ПОДВИЖНОЙ состав метрополитенов постоянно испытывает высокую нагрузку. Так, на некоторых линиях во время пик частота движения составляет до 45 пар поездов в час. При среднесуточном пробеге 500 км на каждый вагон приходится около 3 тыс. пассажиров; осевая нагрузка достигает 140 кН (14 тс). Тяговые режимы характеризуются частыми пусками и торможениями. У вагонов новой постройки тяговые двигатели развивают суммарную мощность до 440 кВт при частоте вращения валов якорей до 1500 об/мин.

Анализ эксплуатационной надежности деталей и сборочных единиц подвижного состава показал, что на колесно-моторные блоки за пробег до подъемочного ремонта приходится 78% отказов. Наиболее ответственные детали этого блока — оси колесных пар и валы якорей тяговых двигателей — подвергаются длительным циклическим нагрузкам при высоких уровнях механических напряжений. Это осложняется тем, что рабочие сечения валов и осей находятся в прессовом соединении с внутренними кольцами подшипников качения. Последнее вызывает дополнительные напряжения, увеличивая вероятность отказов.

Выход из строя шеек вагонных осей и валов якорей происходит по ряду причин, основными из которых являются коррозионные повреждения, вырывы металла, наины, риски, мелкие усталостные трещины. У осей и валов по посадочным местам — шейкам — практически нулевая ремонтпригодность, так как они не могут протачиваться для удаления верхнего дефектного слоя, а система градационных колец (с меньшим внутренним диаметром) для сборки этих сопряжений малоэффективна.

Проблема восстановления посадочных поверхностей всевозможных валов решается по-разному. Известны способы восстановления, позволяющие возвращать работоспособность сопряжениям с натягом изношенных деталей. К ним относятся ремонтные размеры, дополнительные детали, пластические деформации

(способ давления), нанесение электролитических (осталывание, хромирование) и синтетических покрытий, наплавки, металлизации напылением и др. Предпочтение следует отдавать тем, которые позволяют восстанавливать не только характер посадки, но и начальные размеры деталей с обеспечением их взаимозаменяемости.

Анализируя преимущества и недостатки перечисленных способов, предпочтение следует отдать металлизации напылением. Эксплуатационными свойствами деталей с напыленными покрытиями являются прочность соединения покрытия с металлом детали (адгезионная), усталостная прочность в условиях прессовых посадок при длительном циклическом нагружении и износостойкость.

Адгезионная прочность напыленных покрытий зависит от многих причин. Но важно, чтобы способы подготовки поверхностей под металлизацию не понижали бы предела выносливости деталей с покрытием.

При работе вала с напрессованной деталью его предел выносливости под влиянием концентрации напряжений от напрессованных деталей, фреттинг-коррозии*, электроэрозийных явлений снижается на 40—60%. Эти же факторы при определенном металлизационном покрытии (наплавленном, напыленном, электролитическом) оказывают непосредственное влияние уже не на металл вала, а на само покрытие. Предел выносливости деталей с наплавленным или электролитическим покрытием снижается. По сравнению с металлизацией напылением такие детали отличаются низкой технологичностью.

Под действием коррозионных факторов, в том числе и при фреттинг-коррозии, у кривых выносливости нет горизонтального участка. Их влияние ослабляет металл вала и со временем постоянно нарастает. Поэтому с увеличением базы испытаний (времени работы)

* Фреттинг-коррозия — разрушение металла, вызываемое одновременным воздействием коррозионной среды и трения при взаимных микроперемещениях вала и кольца.

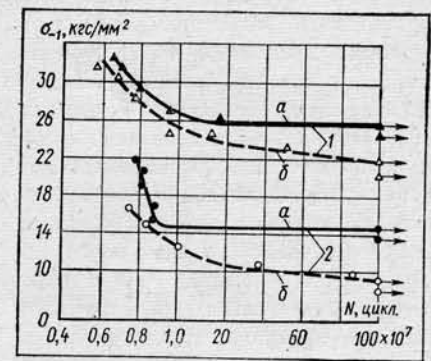


Рис. 1. Влияние напыленных покрытий (Мо + сталь 65Г, толщина 0,5 мм) на предел выносливости предварительно накатанных (1) и шлифованных (2) образцов:

α — с покрытием; δ — без него.

наблюдается постепенное снижение предела выносливости.

Исследованиями ВНИИЖТа установлено, что у валов (без разгружающей канавки) с напыленными покрытиями (молибден+сталь 65Г) нет снижения предела выносливости даже при увеличении базы испытаний до 100×10^7 циклов (обычная база испытаний 10^7 циклов): у кривых выносливости для металлизированных образцов — четко выраженный горизонтальный участок у правой ветви, не снижающийся даже при сверхдлительной базе испытаний в 1 млрд. циклов. С другой стороны, у таких же образцов без покрытия (только шлифованные или накатанные) снижается предел выносливости (наклонный характер правой части кривых выносливости) — рис. 1. Таким образом, напыленное покрытие, разъединяя контактирующие поверхности вала и втулки, изменяет условия и характер развития усталостного процесса в зоне прессовых посадок. Покрытие обладает большей демпфирующей способностью и меньшим модулем упругости, чем у основного металла, что, в свою очередь, приводит к снижению местной концентрации напряжений в зоне посадки от напрессованных колец. По сравнению с работой монолитных металлов имеющееся в покрытии некоторое количество пор, окислов, шлаковых включений снижает его электропроводность, уменьшая электроэрозийные явления на границе контакта. Можно также предположить, что поры гасят остроту вершин мелких усталостных трещин, затрудняя их развитие в магистральную.

Дальнейшими исследованиями установлено: с увеличением толщины напыленного покрытия предел выносливости вала при работе в прессовом соединении повышается (100% — предел выносливости вала с покрытием толщиной 0,5 мм, 112% — при 1 мм, 125% — при 1,5 мм).

Проведенные испытания позволили разработать технологию, по которой на одном из вагоноремонтных заводов МПС выпущена опытно-промышленная партия вагонных роликовых осей с напыленными шейками. Более чем 7-летняя их эксплуатация под грузным составом на железных дорогах показала хорошую надежность: у шеек осей с покрытием износ меньше, чем у стандартных, металлизация не понижает предела их выносливости, нет дефектов и в покрытии. Разработан «Типовой технологический процесс восстановления вагонных роликовых осей типов РУ, РУ1, РУШ. № 104.12.01.202.00027» для серийного восстановления осей с дефектными шейками.

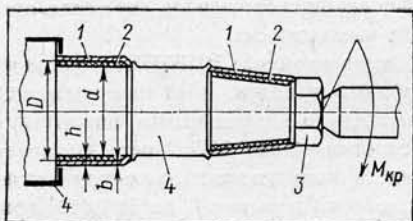


Рис. 2. Проточка и металлизация шейки и конусной части вала якоря тягового двигателя:

1 — покрытие до обработки; 2 — после нее; 3 — гайка для защиты резьбы вала; 4 — экраны.

По предложению ВНИИЖТа служба подвижного состава и Управление Московского метрополитена оперативно организовали опытные работы по металлизации напылением валов якорей тяговых двигателей и удлиненных ступиц осей колесных пар вагонов в электродепо «Сокол» и «Измайлово». Готовая партия проходит эксплуатационную проверку на линиях Московского метрополитена. Замечаний нет. Валы восстановлены по требованиям разработанной ВНИИЖТом инструкции ЦНИИ-ЦМетро/МЕТ-82, утвержденной Главным управлением метрополитенов.

Процесс металлизации заключается в нанесении на предварительно проточенную поверхность валов подслоя из молибдена толщиной 0,2 мм и основного стального покрытия (сталь 65Г) — рис. 2. Металл для нанесения — проволока диаметром 1,5÷2 мм, которая плавится за счет энергии электрической дуги, возникающей между двумя проволоками-электродами. Расплавленный металл сжатым воздухом распыляется на мельчайшие частицы и силой этой же струи наносится на проточенную поверхность вала, где частицы расплющиваются, закрепляются и остывают, образуя покрытие, толщина которого зависит от продолжительности и производительности процесса.

Общая толщина покрытия определяется по формуле:

$$h = \frac{D-d}{2} + b,$$

где h — общая толщина покрытия, мм;
 D — чертежный диаметр детали (после восстановления), мм;
 d — диаметр детали после проточки (подготовка поверхности), мм;
 b — технологический припуск на механическую обработку (0,6... 0,7 мм на сторону).

В результате металлизации и последующей механической обработки дефектные валы получают свои чертежные размеры на уровне новых валов и достаточную адгезионную прочность покрытия при его высокой износостойкости. Восстановлению подлежат валы якорей в сборе (что очень удобно для депо) или отдельные экземпляры с заниженными размерами шеек и конусной части, а также имеющие задиры, вырывы металла, риски глубиной до 1,5 мм. Аппаратуру для металлизации (электродуговые металлизаторы стационарного типа ЭМ-12, ЭМ-15) серийно выпускает Барнаульский аппаратно-механический завод.

До настоящего времени при износе шеек или конусной части валов ремонта посадочных поверхностей не производили, осуществляя лишь перепрессовку якорей на новые валы. Такой ремонт с перепрессовкой занимает примерно трое суток при стоимости работ в 46 руб., а стоимость нового вала равна 14 руб. При его металлизации затраты времени сокращаются. Например, восстановление шейки вала якоря в сборе со всеми вспомогательными операциями занимает 30 мин. Расход молибдена на одну шейку составляет 40 г, стали — до 250 г. Нагрев шейки вала не превышает 80—90°C, т. е. металл вала не претерпевает каких-либо структурных изменений, как при наплавке.

Для металлизации необходимы соответствующие условия: токарный станок; сухой и чистый сжатый воздух (для чего в сеть воздуховода перед металлизатором устанавливают маслолагоотделитель); давление воздуха должно быть не менее 0,55 МПа при расходе 2,5 м³/мин; источник питания — преобразователь сварочный типа ПСГ-500 (или ПСУ-500) с «жесткой» вольт-амперной характеристикой; вертушки с проволокой для металлизации. Процесс сопровождается шумом высокого уровня и выделением паров металла, поэтому участок, по возможности, нужно ограждать защитной стенкой. Во всяком случае без мощной вытяжной вентиляции работы по металлизации производить нельзя. Расчетная площадь такого

участка с одним постом для напыления 25 м² — рис. 3.

В электродепо «Измайлово» выпущена опытная партия удлиненных ступиц колесных пар вагонов с напыленным покрытием, которые подготовлены к испытаниям на линиях Московского метро. Ступицы восстановлены по требованиям разработанной ВНИИЖТом технологической инструкции ИЗ2-ЦНИИ-0503/5-83.

Способом подготовки под покрытие выбрана проточка дефектной поверхности под внутренние кольца роликовых подшипников и нарезка «рваной» резьбы по ней глубиной до 1,5 мм для напыления под прессовую посадку зубчатой шестерни и запорного кольца. Ис-

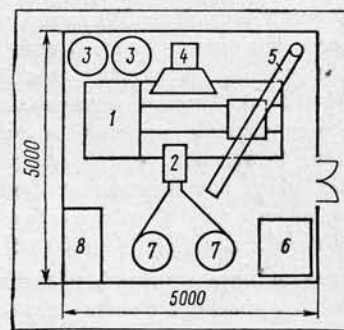


Рис. 3. Схема расположения оборудования на металлизационном участке:

1 — токарный станок; 2 — электрометаллизатор стационарный; 3 — маслолагоотделитель; 4 — вытяжной зонт; 5 — кран-балка; 6 — преобразователь сварочный (ПСГ-500); 7 — вертушки с проволокой; 8 — верстак.

пытания адгезионной прочности напыленных покрытий из стали 40Х путем перепрессовок с соответствующими натягами показали надежность выбранной технологии. Схема подготовки приведена на рис. 4. Близлежащие участки закрываются экранами или обмазываются раствором «Рототекс».

Нужно заметить, что наименьшая тол-

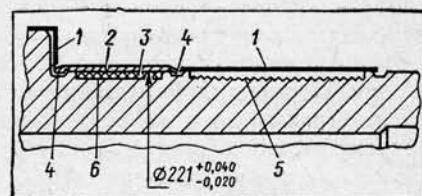


Рис. 4. Проточка и металлизация изношенных поверхностей удлиненных ступиц осей колесных пар:

1 — экраны; 2 — покрытие до обработки; 3 — покрытие после обработки; 4 — раствор «Рототекс»; 5 — «рваная» резьба на проточенной поверхности; 6 — проточенная поверхность.

РЕКОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВ

АТДП И СВЯЗИ

В. ЩЕРБАХА,
инженер

НА СВЯТОШИНО-БРОВАРСКОЙ линии Киевского метрополитена проводится реконструкция устройств АТДП и связи с целью повышения безопасности движения поездов, увеличения пропускной способности линии до 48 пар пятивагонных составов в час, сокращения поездной бригады с двух до одного человека.

Объем строительно-монтажных работ по различным устройствам линии приведен в таблице.

Таблица

Наименование устройств и сооружений	Объем реконструкции, тыс. руб.	% от общей стоимости строительно-монтажных работ
Строительные конструкции и верхнее строение пути	168	6,1
Энергоснабжение	538	19,4
АТДП и связь	2065	74,5

Киевметропроектом разработан комплексный проект реконструкции: собственно устройств АТДП и связи, верхнего строения пути, строительных конструкций сантехнических и электротехнических устройств. При этом предусматривается:

внедрение системы автоматического регулирования скорости как основного средства обеспечения безопасности движения поездов;

оснащение действующих устройств автоматической блокировки с защитными участками и автостопами;

реконструкция устройств электрической централизации на станциях с путевым развитием, а также устройств диспетчерской централизации на линейных пунктах и на ЦДП в Доме связи; совершенствование тоннельной связи и организации служебной связи ДЦ.

Централизованное размещение аппаратуры АТДП в релейных помещениях на станциях позволило значительно упростить производство напольных строительно-монтажных работ. Последние ведутся в период ночного перерыва в движении поездов в комплексе с переустройством

верхнего строения пути, предусматривающим установку проектных и ликвидацию части существующих изолирующих стыков.

Ведется перепланировка помещений под релейные АТДП, меняются отдельные конструктивные узлы и устройства вентиляции.

Релейные расположены на каждой станции (за исключением станции «Днепр»). Для экономии средств при производстве строительно-монтажных работ предусматривается вынос аппаратуры прилегающих полуперегонов участка «Днепр» — «Левобережная» в релейную АТДП, размещенную в районе «Гидропарка».

Реконструкция устройств энергоснабжения предусматривает усиление высоковольтных кабелей и кабелей 825 В при развитии движения до 48 пар поездов в час, для чего сооружаются две тяговые подстанции. Намечены также изменения в электропитании устройств АТДП на существующих совмещенных тягово-понижительных подстанциях.

Общая технология производства работ учитывает параллельный способ их ведения по различным устройствам и отдельным сооружениям без перерыва в движении поездов с обеспечением безопасности последнего.

Продолжительность реконструкции определена в 48 месяцев. Ожидаемый срок окупаемости — 7 лет.

Практика производства строительно-монтажных работ хозяйственным способом в условиях действующего метрополитена позволяет сделать вывод об относительно высокой фондоотдаче при реализации данного проекта. Темпы реконструкции — 4,5 км в год — следует признать предельными. Представляется целесообразным поэтапный ввод в эксплуатацию вновь смонтированных устройств АТДП с целью сокращения сроков окупаемости и повышения фондоотдачи. □



Момент строительства станции «Нахимовский проспект» в Москве.

щина покрытия, которая обеспечивает прочное соединение его с основным металлом и частиц в самом покрытии, зависит от диаметра детали и от напыляемого металла (она не должна быть менее 0,5 мм после механической обработки). Следовательно, перед металлизацией исходную поверхность детали необходимо всегда протачивать.

В двух названных электродепо опытные работы проводились на ремонтных площадках. Иначе дело поставлено на

заводе по ремонту электроподвижного состава. Здесь решено построить специальный участок, обеспеченный всем необходимым оборудованием. Завод предполагает производить металлизацию для ремонтных целей и для упрочнения новой продукции. Номенклатура широка, но в основном это детали типа вала.

Сейчас, когда металлизация напылением получает распространение на метрополитенах, очень важно правильно и

быстро решить вопрос подготовки кадров металлизаторщиков. Так как по характеру их работа близка к специальности электрогазосварщиков, целесообразно вести эту подготовку в порядке совмещения профессий. Ее можно организовать по плану производственно-технического обучения в масштабе всей службы подвижного состава (в Москве обучение специальности металлизаторщиков проводит ВНИИАвтогенмаш). □

НОВИНКИ ТЕХНИКИ*

● «Пласт» и «Шлейф» — так назвали устройства, созданные специалистами в Институте электроники АН Белоруссии (Минск). Эти системы автоматического ориентирования позволят горнопроходческим комплексам работать в забое без непосредственного участия людей. Электронные «лоцманы» поведут агрегаты строго по профилю пласта без захвата пустой породы, выдерживая оптимальную скорость. Устройства пригодны для разных типов горнодобывающих машин.

● Струя раскаленного газа, со сверхзвуковой скоростью вылетающая из сопла устройства, созданного в Харьковском авиационном институте, легко прожигает грунт на 20-метровую глубину. Теперь работающие в районах вечной мерзлоты геологи смогут получать образцы породы для исследований, не закладывая традиционных шурфов.

● Выпуск плит с синтетическим покрытием для защиты фундаментов от подземных вод налажен в объединении «Краматорскжелезобетон». Подобный фундамент в «рубашке» сооружен в Краматорске (Донецкая область) на строительстве завода «Энергомашспецсталь».

● Крупное месторождение черного мрамора редкой красоты найдено в Агурском ущелье высокогорного Кавказа. Начато строительство карьера, где будут добывать до 8 тыс. кубометров блоков в год.

● Участки вечной мерзлоты, разрушенные при прокладке подземных газопроводов, можно вновь заморозить при помощи низкотемпературных труб. Они успешно испытаны на экспериментальном полигоне в Тюменской области, где таким способом надежно укрепили основания дорог, проложенных через болота. Трубы новой конструкции могут быть использованы также для охлаждения породы и намораживания ледяных опор в шахтах.

● Для работ под землей в ФРГ разработана новая конструкция автосамосвала. Днище кузова заменено транспортером. При движении автомобиля вперед кузов автоматически загружается (а чтобы разгрузить его, нужно переключиться на задний ход).

● В Токио на выставке строительно-дорожных машин и оборудования внимание специалистов обратил на себя миниавтосамосвал грузоподъемностью 500 кг. Двигатель мощностью 5,6 кВт позволяет ему передвигаться с максимальной скоростью 14,9 км/ч. Конструировалась «малютка» для перевозок грузов в исключительно стесненных условиях строительных площадок, внутрицеховых помещений и т. д.

● В Пекинском институте цемента разработана новая технология разрушения бетонных монолитов. В предварительно просверленные отверстия вводится специальная паста, которая медленно затвердевает и расширяется, отчего в бетонном блоке возникают значительные напряжения и он трескается. Новый бесшумный метод будет применять не только при сносе зданий, но и в каменоломнях, и при проходке тоннелей.

● Пневматический двухпоршневой насос Палемрок, разработанный консультантом по анкерной технике А. Парьетти, предназначен для нагнетания в анкерные скважины цементной массы, растворов или других цементируемых веществ различной консистенции — от жидких до пастообразных. Насос состоит из основного блока с двумя цилиндрами, в которых перемещается по одному поршню,

закрепленному на общем штоке. На конце каждого цилиндра установлен двухходовой кран, соединенный со всасывающим шлангом, идущим от резервуара с цементирующим раствором, и со шлангом для подачи раствора в скважину. Ручным пневмораспределителем, с помощью которого можно дистанционно управлять насосом, сжатый воздух попеременно подается в штоковые полости обоих цилиндров. Нагнетательный насос работает с подачей цементирующего раствора из любого из двух поршней или одновременно из обоих. Благодаря обводному трубопроводу, соединенному со вторым цилиндром, цементирующий раствор идет от обоих цилиндров в один и тот же нагнетательный шланг. Головки цилиндров выполнены быстроразъемными. Объем раствора, нагнетаемого за один ход поршня, регулируется и составляет от 1000 до 7000 см³. При давлении сжатого воздуха 0,6—0,7 МПа подача насоса при нагнетании в вертикальную скважину достигает 5000 см³/мин., а в горизонтальную — 10000 см³/мин. После окончания процесса насос промывается прокачиванием чистой воды.

● Комбайн со стреловидным исполнительным органом WAV178 300 избирательного действия фирмы «Вестфалия Люнен» предназначен в основном для проходки тоннеля «новым австрийским способом», при котором предварительно разрабатываются калотты. Этот комбайн является усовершенствованной моделью горнопроходческого комбайна WAV300. Мощность привода исполнительного органа в новом комбайне увеличена до 300 кВт вместо 200 кВт; благодаря этому комбайн можно эффективно использовать для проведения выработок в более прочных породах. В качестве погрузочного устройства служит поворотнo-качающийся диск, который наваливает отбитую породу на два скребковых конвейера (с пластинчатыми цепями), расположенных по обе стороны погрузочного стола. Разгрузочные головки конвейеров находятся так высоко, что позволяют беспрепятственно загружать обычные автосамосвалы.

● Пневмоколесная погрузочно-доставочная машина Торо 150D фирмы «Перусиктимия» создана для эксплуатации в узких подземных выработках. Она имеет ширину 1,4 м, высоту 1,7 м и рассчитана на полезный груз 3 т. Машина оснащена дизельным двигателем Дойц F5L912W мощностью 52 кВт, позволяющей ей хорошо преодолевать подъем и быстро набирать скорость. Благоприятное соотношение мощности привода и массы машины, равное 7,36 кВт/т, и достаточно большое усилие тяги обеспечивают возможность одновременного подъема и опрокидывания ковша.

● Для проводки разветвленных искробезопасных подземных электрических цепей фирма «Инженербюро фиор электропланунг унд электроник Х. Гут» разработала искробезопасные коммутационные шкафы ESS. Шкафы, изготовляемые в семи типоразмерах, оснащаются в зависимости от величины одним или двумя центральными замками, обеспечивающими герметичность шкафов и сохранение вида взрывозащиты. Дверцы шкафов навешены на легкоразъемные шарниры и могут быть сняты в случае необходимости. Коммутационные шкафы, которые снабжены монтажной панелью, могут быть закреплены непосредственно с наружной части или с помощью железных накладок.

● Рукавные фильтры Рунатекс фирмы «Штейнхаус ГмбХ» предназначены для сухого улавливания пыли, в том числе агрессивной, в системах с пневматической или механической очисткой фильтров при технологической температуре до 150°. Они изготовлены из синтетических волокон полиэстера и полиакрила с использованием способа термостабилизации. Фильтры имеют объемную структуру, благодаря чему обеспечивают высокую степень улавливания пыли при незначительном сопротивлении воздушному потоку. Использование новых фильтров позволяет на 15% снизить расход энергии благодаря снижению потерь давления в трубопроводной системе при одновременном повышении на 20% нагрузки на единицу площади фильтра. Отсутствие продольного шва способствует более равномерному натяжению фильтра и лучшему использованию его поверхности; одновременно исключаются причины повреждения из-за разрывов фильтров по продольным швам.

* По страницам журналов.

СООРУЖЕНИЕ ПОДВОДНЫХ ТОННЕЛЕЙ МЕТОДОМ ПОГРУЖНЫХ СЕКЦИЙ*

В. ШВАНДЕРОВА

СРЕДИ специальных методов работ, используемых при строительстве подводных тоннелей, быстро развивается такое направление, как укладка погружных тоннельных секций на специально подготовленное основание. К настоящему времени в Японии, Нидерландах, США и других странах построено 60 таких тоннелей, в том числе 19 — для линий метрополитенов и железных дорог.

Развитие метода связано в основном с рационализацией технологии устройства подводных оснований и методов укладки секций; совершенствованием конструкции водонепроницаемых стыков и гидроизоляции секций. В Западной Европе для сооружения подводных тоннелей обычно используют железобетонные секции, в Японии и США — сталежелезобетонные, на основе стальных оболочек (трубчатых или из плоского стального листа), внутри которых бетонируют стенки и лоток тоннеля. Оболочки изготавливают на берегу, затем опускают на воду, транспортируют в сухой док, где производят бетонирование.

Такая технология применяется при сооружении тоннеля метро длиной 5,8 км, из 57 секций под заливом Сан-Франциско (США). Оболочка секции выполнялась с облицовкой из сваренных стальных листов толщиной 9,5 мм. Для обеспечения водонепро-

ницаемости секция оснащалась временными торцевыми элементами. Готовые секции длиной 91,4 м, шириной 14,6 и высотой 8,2 м погружали на глубину до 40 м в подготовленную на дне траншею, где предварительно устраивали соответственно профилированную гравийную подушку. Отсыпку гравия вели по системе телескопических труб порталным краном, перемещающимся по рельсам на стальной платформе, установленной на понтонах. Крану был подвешен подводный планировщик. Секции погружали в траншею на тросах, прикрепленных к двум жестко соединенным баржам с использованием гидравлического оборудования для плавности спуска.

Значительные трудоемкость и продолжительность работ, их зависимость от погодных условий, загромождение акватории специальным оборудованием обусловили необходимость улучше-

ния технологии и поисков новых решений. Так, совершенствуется широко принятое в странах Западной Европы устройство свайных оснований под секции. При строительстве Роттердамского метрополитена применили специальное оборудование для нагнетания цементного раствора в зазоры между сваями, забитыми в основание, и секциями, а также подвижные опоры для восприятия возможных продольных деформаций.

Новую технологию исследовали на моделях в ходе проектирования тоннельного пересечения дельты реки Западной Шельды в Нидерландах: песок укладывали между дном траншеи и тоннельной секцией после погружения и временного закрепления. При этом в отличие от известного метода намыва песка с барж под секции песчаную пульпу нагнетали по трубопроводу, уложенному в готовой части тоннеля,

через насадки в днище крайней секции.

В Японии при сооружении в Токийском заливе подводного участка тоннеля Даиникоро длиной 744 м (1980 г.) для создания основания под секции нагнетали бентонитоцементный раствор. Участок включает шесть железобетонных секций длиной по 124 м прямоугольного сечения, шириной 28,4, высотой 8,8 м, с внешней стальной оболочкой из листов толщиной 8 мм. Секции изготовили в сухом доке и наплаву (после заполнения дока водой) отбуксировали к месту погружения (рис. 1). В подводной траншее затопляемые секции монтировали на домкратах, опирающихся на временные опорные блоки (рис. 2). Трудоемкая операция по тщательной планировке дна траншеи была исключена, а точность установки секции достигалась регулированием ее положения изнутри двумя 100-тонными домкратами. После закрепления секции в заданном положении пространство под ней заполняли бентонитоцементным раствором, который подавали по трубам, находящимся в лотке секции. При монтаже смежные секции в стыках опираются на временные консоли, а затем после откачки воды из зазора прижимаются одна к другой под действием гидростатического давления (рис. 3).

Строящаяся в Японии железнодорожная линия Кейо

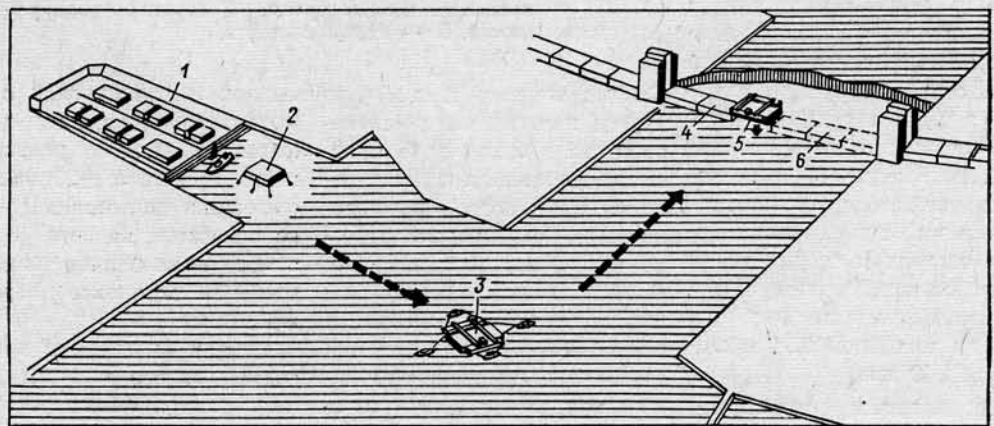


Рис. 1. Схема производства работ по изготовлению, буксировке и установке секций в проектное положение:

1 — сухой док, 2 — площадка с оборудованием, 3 — буксировка секции, 4 — погружные секции, 5 — баржа для погружения секций, 6 — место установки и погружения последующих секций.

* По материалам «Civil Engineering in Japan», 1980, v. 19, p. 91—100; «International Construction», 1980, v. 19, № 10, p. 33, 34, 37; «Tunnels and Tunnelling», 1981, v. 13, № 8, p. 17—23.

также пересекает Токийский залив, однако в месте перехода дно сложено слабыми грунтами. Подводный тоннель длиной 672 м включает семь погружных секций, выполненных из металла и покрытых антикоррозийной алюминиевой оболочкой. Подходные участки по местным условиям: один двухпутный, другой — в виде двух однопутных тоннелей, поэтому секции имеют различные сечения. При проектировании подводного тоннеля необходимо было учесть возможность неравномерных осадок конструкции. В связи с этим рассматривали устройство свайного основания секций при их жестком соединении, искусственное уплотнение сваями дна залива при податливом соединении секций, устройство гибких стыков, допускающих совместную осадку сооружения с грунтом.

Результаты исследований на моделях выявили преимущества третьего варианта — с укладкой секций в подводную траншею на гравийную отсыпку толщиной 70 см. Для подготовки основания и погружения секций использовали морские платформы грузоподъемностью 5500 тс, площадью 74×45 м на выдвижных опорах, опускаемых до подстилающего дно залива материкового слоя (на глубину до 30 м). Отсыпку гравия и щебня вели с барж через трубы, до коренного массива породы. В траншее по направляющему пути перемещался подводный планировщик, обеспечивавший необходимые отметки основания в плане и профиле. Гибкое соединение в стыках секций, позволяющее без повреждений воспринимать деформации при неравномерных осадках и сейсмических воздействиях, достигнуто использованием резиновых прокладок толщиной 254 и шириной 250 мм.

Традиционная технология отсыпки основания из гравия применена при строительстве тоннеля протяженностью 1400 м под гаванью Виктория в Сянгане (Гонконг).

Секции тоннеля длиной по 100 м изготовляли из железобетона в сухом доке и наплаву доставляли к месту погружения в подводную траншею; их бетонировали отрезками по 9 м в металлических формах и производили предварительное напряжение в продольном направлении стальными тросами, размещаемыми по периметру сечения (рис. 4). На время буксировки наплаву торцы секций закрывали металлическими диафрагмами. Гравийное основание под секции от-

сыпали и планировали с самоподъемных морских платформ. Точность его разравнивания достигала ± 25 мм. По окончании подготовки участка основания на него сразу же опускали секцию тоннеля, чтобы не допустить образования наносов.

Секции опускали с сохранением зазора в 1 м, сдвигали домкратными установками и после удаления из полости зазора воды обжимали резиновые уплотнительные прокладки, установленные на концах секций. Окон-

чательную заделку стыков выполняли изнутри. После монтажных работ произвели засыпку конструкции гравийно-щебеночным слоем до 3 м.

Значительный опыт строительства подводных тоннелей методом погружных секций в Нидерландах позволил выявить возможности совершенствования организации рабочих процессов, в частности, проведения параллельно основных работ и поточного изготовления секций. Для крупномасштабных объектов, например, при строительстве метрополитенов в Роттердаме и Амстердаме созданы типовые технологические схемы. Сооружение подходов к подводным участкам и устройство доков для изготовления секций, а также оснований под секции велись одновременно. Секции — сборные, из отдельных элементов длиной 15—20 м. Вначале бетонировали лотковую плиту, затем — стены и перекрытие.

Деревянную опалубку поддерживал передвижной металлический каркас, который после твердения бетона перемещался к следующему элементу. Отдельные сборные элементы стягивали тросами до устройства постоянных стыков, конструкция которых во многих случаях обеспечивает достаточную гибкость секции при неравномерных осадках тоннеля в процессе эксплуатации. Секция длиной более 100 м разделена на отсеки водонепроницаемыми металлическими или сталежелезобетонными перемычками для возможности использования в качестве балласта воды.

В Нидерландах, где сооружение подводных тоннелей часто ведется в условиях стесненных русел, разработана и используется электронная контрольная аппаратура, позволяющая производить безопасную буксировку тоннельных секций на значительные расстояния и выполнять монтажные работы с высокой точностью.

Гидроизоляция подводных тоннелей — серьезная проблема. Ее решают на стадии

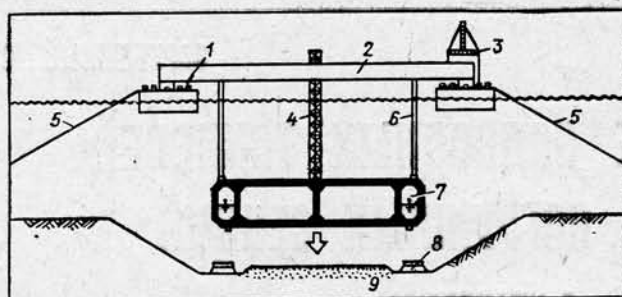


Рис. 2. Погружение секции тоннеля:

1 — баржа, 2 — кран-балка, 3 — кабина управления, 4 — удерживающая и направляющая башня, 5 — расчаливающие тросы, 6 — тросы подвешивания, 7 — водяной балласт, 8 — временные опорные блоки, 9 — гравийная наброска.

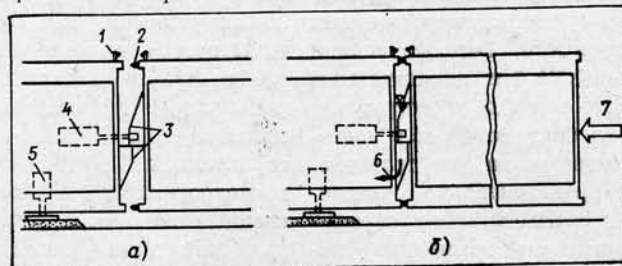


Рис. 3. Стыкование секций:

а — до окончательного соединения, б — после соединения;

1 — ультразвуковая контрольная аппаратура, 2 — резиновая прокладка, 3 — временная упорная консоль, 4 — стягивающий домкрат, 5 — домкрат для регулирования положения секции, 6 — откачивание воды из зазора стыка, 7 — внешнее гидростатическое давление 5000 тс.

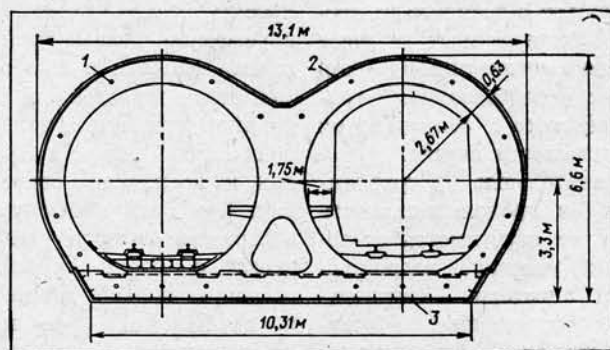


Рис. 4. Поперечное сечение секции тоннеля:

1 — преднапряженные тросы, 2 — гидроизолирующая оболочка, 3 — стальная плита.

ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ ЖУРНАЛОВ

Строительство метрополитена в Каракасе (Венесуэла).

«Tunnels et Ouvrages Souterrains», 1982, № 54, с. 249—253 (франц.).

В Каракасе ведется строительство первой очереди метрополитена, включающей три линии общей длиной 56 км с 55 станциями. Станции сооружают открытым способом с ограждением котлованов заанкеренными в грунт «стенами в грунте», набрызгбетонными стенками или сваями с деревянной затяжкой, однопутные перегонные тоннели — открытым способом, экскаваторными или роторными щитами. Двухпутный перегонный тоннель прошли полущитом, перемещавшимся по опорам свода, забетонированным в опережающих штольнях. Первые две линии должны вступить в эксплуатацию в 1986 г.

Сооружение системы дренажирования массива в железнодорожном тоннеле (Франция). «Tunnels et Ouvrages Souterrains», 1982, № 54, с. 231—248 (франц.).

В зоне сброса на трассе эксплуатируемого железнодорожного тоннеля Коль-де-Браус, где под действием грунтовых вод развивались пучение ангидрита и карстовые пустоты в песчанике, тоннель окружили системой постоянных штолен (две горизонтальные и две наклонные), от которой отвели штольню до зумфа. Отсюда воду откачивают насосами и выводят из тоннеля по трубе диаметром 300 мм.

Проект заполярной железной дороги в Норвегии. «Tunnels and Tunnelling», 1982, т. 14, № 6, с. 7 (англ.).

В Норвегии рассматривается проект строительства железной дороги Фёуске — Тромсё на севере страны, где предусмотрено сооружение около 100 однопутных тоннелей общей длиной свыше 250 км.

Проходка автодорожного тоннеля новоавстрийским способом (Япония). «Тоннэру то тика», 1982, т. 13, № 12, с. 7—16 (япон.).

На горном участке длиной 22 км автомагистрали Сикоку-кодан проектом предусмотрено 8 тоннелей общей длиной 12 км. В их числе тоннель Мёдзин длиной 3727 м проходят двумя забоями новоавстрийским способом в перемежающихся песчаниках, сланцах и туфах. Проходку ведут коротким уступом с помощью двухстреловых буровых кареток; для набрызгбетонирования применяют способ раздельного замешивания цементно-песчаного раствора и сухого заполнителя SEC. На припортальном участке применили экран из труб диаметром 114,3 мм и длиной 38 м. В пучинистых грунтах намечена проходка минимальным (3—7 м) уступом с обуриванием калотты и уступа одновременно гусеничной пятистреловой буровой рамой с большим вылетом стрел.

Новый стреловой комбайн (ФРГ). «Tunnels and Tunnelling», 1983, т. 15, № 3, с. 14 (англ.).

Стреловой комбайн ET-160-K фирмы «Эйкхофф» (ФРГ) имеет шарнирное сочленение в стреле исполнительного органа, что упрощает профилировку контура выработки и разработку забоя без перемещений комбайна. Площадь разрабатываемых им сечений — 39 м², установленная мощность 160 кВт.

Преодоление крутой кривой щитом с грунтовой пригрузкой забоя. «Кэнсэцу-но кикайка», 1982, № 393, с. 33—38 (япон.).

Участок коллектора глубиной заложения 9,5—10,5 м в иле прошли щитом с грунтовой пригрузкой забоя, с шарнирно-сочлененным двухсекционным корпусом, в кривой радиусом 10 м. Перебор грунта в 27 мм с каждой стороны разрабатывали специальными копир-резцами; грунт укрепляли быстротвердеющим глинисто-песчаным раствором на три кольца впереди проходки и сразу после щита. Осадки поверхности не превышали 5 мм.

Автоматизация комплексов для продавливания труб малого диаметра. «Кэнсэцу кикайка», 1982, т. 18, № 11, с. 73—81 (япон.).

Автоматизированная система управления комплексом для продавливания труб с гидравлической пригрузкой забоя на базе программируемого контроллера и двух ЭВМ создана фирмой «Окумура» (Япония). Функции системы включают ведение ножевой секции комплекса по трассе, регулирование скорости продавливания, давления пригрузки забоя и расхода антифрикционного глинистого раствора и др.

Сооружение пешеходного тоннеля под насыпью способом продавливания (Англия). «Tunnels and Tunnelling», 1983, т. 15, № 3, с. 63 (англ.).

Пешеходный тоннель длиной 26 м, сечением 6×3,7 м построили способом продавливания из секций длиной по 1,07 м (стянутых стержнями в эшелоны по 6 секций), с разработкой грунта мини-экскаватором и откаткой в думперах. Суммарное усилие главной и трех промежуточных домкратных станций и ножевой секции составило свыше 5 тыс. тс.

Строительство криволинейного тоннеля способом продавливания (ФРГ). «Eisenbahntechnische Rundschau», 1983, № 1, с. 6 (нем.).

Однопутный железнодорожный тоннель длиной 84 м в железнодорожной насыпи, предназначенный для сообщения между вокзалом и депо подвижного состава в Гамбурге, соорудили способом продавливания. Четыре секции длиной по 17 м, сечением 7,9×8,15 м образуют в плане криволинейную конструкцию радиусом 300 м. Грунт разрабатывали и вывозили ковшевым погрузчиком. Усилие продавливания около 1000 тс, скорость — 15 см в час. Заданная точность проходки была соблюдена, скорость движения поездов по насыпи не ограничивалась.

Продавливание труб из стеклопластика. «Tunnels and Tunnelling», 1983, т. 15, № 3, с. 45 (англ.).

При продавливании коллектора Чендлерс-Форд длиной 95 м в Англии использовались центрифугированные пластиковые трубы диаметром 1,2 м, толщиной стенок 52 мм, армированные стекловолокном. Трубы отличаются низким коэффициентом трения и удобными для продавливания прочностными свойствами. Партия таких же труб диаметром 1,8 м и толщиной стенок 62 мм будет применена в Ираке для сооружения способом продавливания четырех участков коллектора общей длиной 250 м в Багдаде.

бетонирования секций или путем нанесения на них специальных покрытий. Выбор технологических приемов бетонирования направлен на уменьшение разницы температур между внешним и внутренним слоями обделки, на исключение неравномерной усадки бетона как основной причины образования в нем трещин.

При изготовлении секций подводного участка метро-

политена в Стокгольме для выравнивания температур при бетонировании элементов обделки вдоль лотка устанавливали трубы, по которым циркулировала теплая вода. Создание температурного равновесия между наружными и внутренними слоями обделки часто достигают использованием опалубки с теплоизоляцией. При построении тоннеля Амстердам — Рейн и участка Роттердамского

метро под рекой Маас осуществляли непрерывную укладку бетона по всему сечению обделки, хотя этот метод связан со значительными трудностями.

Более надежное средство обеспечения водонепроницаемости — нанесение дополнительного изоляционного покрытия из нескольких слоев стеклоткани, пропитанной битумом. Такое покрытие эффективно даже при наличии

в бетоне трещин шириной до 0,2 мм. Вместе с тем современная технология позволяет свести к минимуму трещинообразование и отказаться от дополнительной внешней гидроизоляции.

Обычно гидроизоляция деформационных швов выполняется из двух частей — внутренней (в виде резино-металлической прокладки) и наружной (многослойная накладка). □

Строительство станции «Альтштадт—Шпандау» метрополитена в Западном Берлине. «Tiefbau—Berufsgenossenschaft», 1983, т. 95, № 3, с. 158, 160—168 (нем.).

Станцию метрополитена мелкого заложения в слабых обводненных грунтах в кривой радиусом 260—270 м соорудили способом опускных кессонов из пяти секций криволинейной конфигурации; от станции произвели врезку двух механизированных щитов диаметром 6,6 м с гидравлической пригрузкой забоя.

Сбор утечек сжатого воздуха при кессонных работах. «Добоку сэко», 1983, т. 24, № 2, с. 65—74 (япон.).

Для предупреждения воздействий утечек сжатого воздуха при производстве кессонных работ, в том числе при строительстве тоннелей, в Японии разработан способ сбора и подъема воздуха по принципу эрлифта по специально оборудованным трубкам, имеющим в водонасыщенных грунтах перфорацию, а в водоупорных — уплотнение. Способ применялся при сооружении с помощью кессона фундаментов опор моста на железнодорожной магистрали Тохоку—Синкансэн.

Способ опускания шахтных стволов в галечной рубашке. «Добоку сэко», 1983, т. 24, № 2, с. 23—28 (япон.).

Разработан способ опускания шахтной крепи в слабых обводненных грунтах под собственным весом с заполнением галькой создаваемого уширенным ножевым башмаком зазора между конструкцией и грунтом. Галька обеспечивает антифрикционный эффект, причем в ней поддерживается уровень воды выше, чем в грунте внутри крепи. Грунт разрабатывают канатным грейфером. Опускание гравия по зазору обеспечивается потоком воды, циркулирующей через щели над ножевым башмаком.

Станок для проходки скважин большого диаметра. «Добоку сэко», 1982, № 13, с. 157—164 (япон.).

Для проходки в выветрелом скальном грунте скважин диаметром 3,5—4,5 м и глубиной до 21 м с опускной крепью в Японии создан станок, оборудованный ножевой секцией с распорными и вдавливающими гидродомкратами, экскаваторным органом, гидроударником, легким гидроперфоратором, породопогрузочным грейфером в защитной трубе диаметром 1,1 м и специальной кабиной машиниста.

Автоматизация материальных воздушных шлюзов. «Кэнсэцу кикай», 1982, т. 18, № 11, с. 82—90 (япон.).

В Японии создан автоматизированный материальный шлюз диаметром 3 м и длиной 16 м, управляющий без участия человека пропускаемым подвижным составом в шлюзе и на прилегающих участках длиной по 13 м всеми механизмами и операциями с давлением воздуха в непрерывном режиме после включения в начале смены. Технологический цикл автоматического пропуска одной вагонетки при промышленных испытаниях занимал 225 с, в ручном режиме — 180 с.

Развитие метода подрезки контурной щели во Франции. «Tgravaux», 1982, № 572, с. 74—79 (япон.).

Как показал опыт метростроения Франции, метод опережающего крепления путем торкретирования контурной щели по характеру работы крепи аналогичен новоавстрийскому, но в сходных инженерно-геологических условиях (мергели) обеспечивает меньшие просадки дневной поверхности (14 мм вместо 50 мм). В случае проходки с указанной опережающей крепью на полное сечение просадки не превышают 2—3 мм. Перспективные разработки в области данного метода включают применение в скальных грунтах высоконапорных водяных струй для разработки щели, совмещение подрезочных машин с буровыми рамами, способы опережающей цементации особенно слабых грунтов через заделанные в бетон конструкции трубы, а также крепления щели на время ее бетонирования тонкими ножками.

Решетчатая арочная крепь в тоннелестроении. «Tiefbau—Berufsgenossenschaft», 1983, т. 95, № 4, с. 270—276 (нем.).

Арки решетчатой конструкции из стального прутка, отличающиеся технологичностью и высокой эффективностью армирования набрызгбетона, применялись в тоннелях метрополитенов поперечным сечением от 38 до 120 м² в Мюнхене, Франкфурте, Бохуме и Гельзенкирхене, а также в тоннелях железнодорожной магистрали Ганновер—Вюрцбург. Вместе с тем без набрызгбетона несущая способность арок недостаточна, а потому область применения ограничена грунтами с достаточно большим периодом естественной устойчивости.

Автоматизация набрызгбетонирования способом SEC. «Кэнсэцу кикай», 1982, т. 18, № 11, с. 64—72 (япон.).

Автоматизированный комплекс оборудования для приготовления и набрызга робот-методом бетонной смеси путем отдельного замешивания цементно-песчаного раствора и заполнителя создан японской фирмой «Тайсэй». Выпускается в модификациях на рельсовом или автомобильном ходу и с приготовлением цементно-песчаного раствора в забое или у портала тоннеля. Метод SEC применен на 10 объектах тоннелестроения и позволил добиться производительности в два раза выше (6—12 м³/ч), чем традиционный; отскока на 15—20% меньше, заплыленности забоя втрое ниже (2—8 мг/м³).

Центробежная установка набрызгбетонирования. «Кэнсэцу-но кикай», 1982, № 393, с. 48—51 (япон.).

Прошла производственные испытания установка набрызгбетонирования фирмы «Тайсэй» (Япония) производительностью 6—8 м³/ч, предназначенная для крепления тоннелей диаметром 2—4 м и работающая по принципу разбрасывания смеси с В/Ц=49% на стенки тоннеля вращающейся с частотой 500 об/мин, крыльчаткой. Бетон имел 28-суточную прочность на сжатие 300—320 кгс/см², отскок составлял 15—20%.

Новая модель сборной обделки (Австрия). «Tunnels and Tunnelling», 1982, т. 14, № 8, с. 15—18 (англ.).

Тюбинговая железобетонная обжатая в грунт обделка из скошенных колец, позволяющая сооружать прямые и криволинейные участки тоннеля из идентичных колец без фасонных элементов применена на строительстве тоннелей диаметром в свету 6,05 м Мюнхенского метрополитена (ФРГ). Конструкция разработана в Австрии. Новая конструкция позволяет экономить средства на заводском изготовлении обделок.

Возведение тоннельной обделки из пластичного бетона (США). «Concrete», 1982, т. 46, № 8, с. 26—27 (англ.).

Обделку коллектора длиной 1,8 км и глубиной заложения 10,8 м в Хьюстоне (США) строили секциями по 18 м, сбрасывая по буримой на каждом участке скважине с поверхности бетонную смесь с сухим пластификатором «Почдолит-322N» заводской дозировки, благодаря чему смесь растекалась в обе стороны от скважины без усиленного виброуплотнения и без потерь прочности бетона. За неделю бетонировали 81 м тоннеля.

Международная выставка «Баума-83» в ФРГ. «Tunnels and Tunnelling», 1983, т. 15, № 23, с. 37, 39, 41 (англ.).

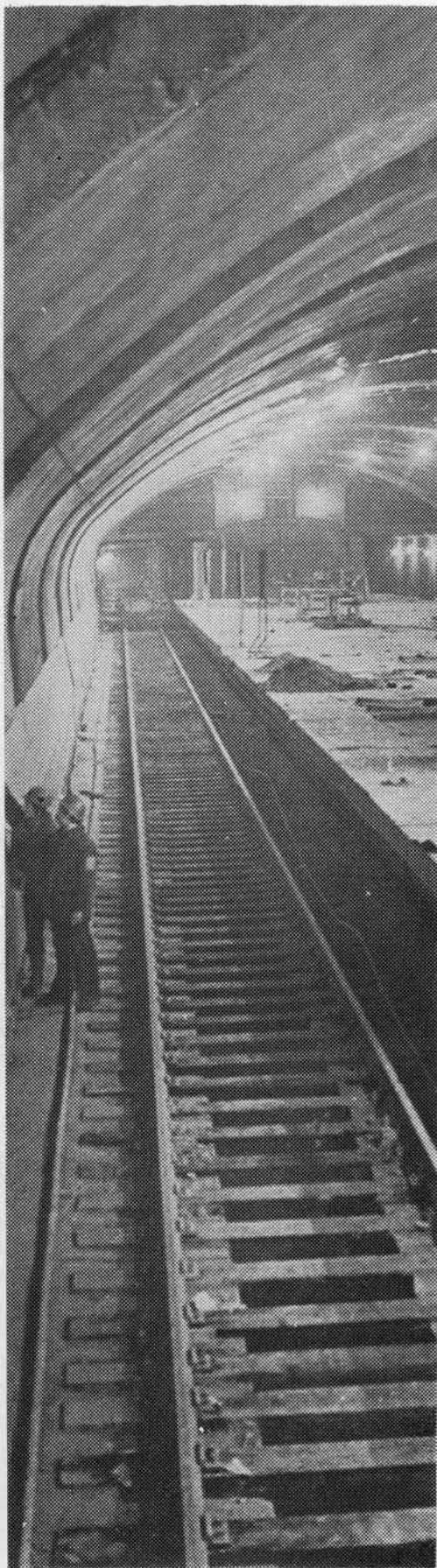
Продукция 117 экспонентов, выпускающих оборудование для тоннелестроения, была представлена на международной выставке строительного оборудования, состоявшейся в апреле этого года в Мюнхене. Отражена тенденция к переходу на комбайновую проходку, автоматизации оборудования на основе электронной техники и микропроцессоров, экономии энергии, повышению технологичности и универсальности машин.

Станки горизонтального шнекового бурения. «Tunnels and Tunnelling», 1983, т. 15, № 3, с. 23 (англ.).

Современные станки для продавливания труб со шнековым бурением работают в широком диапазоне инженерно-геологических условий, включая скальные грунты; дальность продавливания достигает 180 м. Диаметр труб, прокладываемых таким способом, составляет обычно от 30 до 90 см, при использовании породопогрузочного шнека меньшего диаметра — до 3 м.

Разрушение бетона и скального грунта пучинистыми материалами. «Добоку сэко», 1982, т. 23, № 11, с. 25—32. «Конкурито когаку», 1982, т. 20, № 10, с. 8—17 (япон.).

Широкое распространение в Японии получили пучинистые составы на основе гидратирующих соединений кальция, предназначенные для шпурового разрушения негабаритов скального грунта и бетонных конструкций. Смеси, залитые в шпур, набирают за 48 ч давление пучения 300—500 кгс/см². Выпускается ряд марок для различных атмосферных температур. Производительность одного из типов таких смесей, «Брисгар», по сплошному скальному грунту в комплексе с гусеничным буровым станком составляет от 40 до 145 м³/сутки, по бетону с ручными перфораторами — 20 м³/сутки, по железобетону — от 3 до 9 м³/сутки.



Из фотохроники строительства Минского метрополитена. Станция «Институт культуры».

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на информационный
научно-технический сборник

МЕТРОСТРОЙ

на 1984 год

На страницах сборника «Метрострой» освещаются достижения и передовой опыт строительства метрополитенов и тоннелей различного назначения в нашей стране, публикуются зарубежная информация о технике метростроения и материалы по эксплуатации отечественных и зарубежных метрополитенов.

Подписка принимается без ограничения общественными распространителями печати, агентствами «Союзпечати» и в почтовых отделениях.

Индекс сборника «Метрострой»
по всесоюзному каталогу
«Союзпечати» — 70572.

Подписная цена на год —
3 руб. 20 коп.
(8 номеров)

Художественно-технический редактор **Е. К. Гарнухин**
Фото **А. Д. Спиранова, П. В. Костромы.**

Сдано в набор 01.08.83. Подписано в печать 14.09.83.
Л-84053. Формат 60×90¹/₈. Бумага типографская № 1.
Гарнитура новогазетная и литературная. Печать высокая, 4,0 печ. л. 5,53 уч.-изд. л. Тираж 4220 экз.
Заказ 2626. Цена 40 коп.

Адрес редакции: 103031, Москва К-031. Кузнецкий мост, 20, 2-й этаж, телефоны: 295-86-02, 223-77-72.

Тип. изд-ва «Московская правда», ул. 1905 г., д. 7.

арх 253

МЕТРОСТРОИ

ИНДЕКС 70572

ЦЕНА 40 коп.

