

Б.А. Лыиков

Строительство метрополитена на подрабатываемых территориях.

(Конспект лекций для студентов уровня профессионального образования «специалист» по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Шахтное и подземное строительство» всех форм обучения)



Донецк - 2023

Составитель: Лысиков Борис Артемович – кандидат технических наук, профессор кафедры строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики.

Конспект лекций по дисциплине «Строительство метрополитена на подрабатываемых территориях. » [Электронный ресурс] : для студентов уровня профессионального образования «специалист» специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Шахтное и подземное строительство» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики; сост. Б.А. Лысиков. – Электрон. дан. (1 файл: 8,0 Мб). – Донецк:ДОННТУ, 2023. – 308 с. – Систем. требования: Acrobat Reader.

Приведено содержание всех лекций по дисциплине «Строительство метрополитена на подрабатываемых территориях.», перечень учебной литературы. Конспект лекций может быть полезен студентам всех форм обучения, изучающим предмет заочно или по индивидуальному графику со свободным посещением аудиторных занятий, а также преподавателям, занятым по данной дисциплине

СОДЕРЖАНИЕ

Часть первая. Общие сведения о строительстве метрополитена и подземных сооружений.....	
Глава 1. Основные положения.....	
1.1 Краткие сведения об основных метрополитенах мира.....	
1.2 Принципы проектирования линий метрополитена.....	
1.3 План и профиль линий метрополитена.....	
Глава 2. Организация и производство работ по проходке стволов при строительстве метрополитена.....	
2.1 Назначение стволов и их конструктивные элементы.....	
2.2 Мероприятия, предшествующие проходке стволов.....	
2.3 Проходка стволов обычным способом.....	
2.4 Новые разработки стволопроходческого оборудования.....	
2.5 Эксплуатация стволов.....	
Глава 3. Поверхностный горный комплекс в условиях метростроя....	
3.1 Сооружение горного комплекса.....	
3.2 Производственные и административно-хозяйственные помещения.....	
Глава 4. Околоствольные дворы.....	
4.1 Типы околоствольных дворов и их особенности.....	
4.2 Производственные камеры.....	
Глава 5. Строительство перегонных тоннелей глубокого заложения...	
5.1 Подвижный состав.....	
5.2 Поперечное сечение перегонных тоннелей.....	
5.3 Назначение, материалы и конструкция обделки.....	
5.4 Оборудование и технология возведения сборной обделки...	
5.5 Способы строительства тоннелей.....	
5.6 Горный способ.....	
5.6.1 Общая характеристика способов производства работ.....	
5.6.2 Способ опертого свода.....	
5.6.3 Способ опорного ядра.....	
5.6.4 Способ раскрытия выработки на полное сечение по частям.....	
5.6.5 Создание щели по контуру выработки.....	
5.6.5.1 Проходка с применением опережающей бетонной крепи.....	
5.6.6 Создание опережающей крепи из стабилизированного грунта.....	
5.7 Щитовой способ.....	
5.7.1 Сущность и область применения.....	
5.7.2 Технология проходки немеханизированным щитом.....	
5.7.3 Технология проходки механизированным щитом.....	

5.8	Бесщитовой способ проходки тоннелей на полное сечение.....	
5.8.1	Краткая характеристика способа.....	
5.8.2	Эректорный способ.....	
5.8.3	Способ пилот-тоннеля.....	
5.8.4	Проведение тоннелей проходческими комбайнами.....	
5.8.5	Способ проходки с устройством податливого свода (новоавстрийский способ).....	
5.9	Специальные способы проходки тоннелей.....	
5.10	Технология возведения монолитно-прессованной и обжатой обделок.....	
5.11	Нагнетание раствора за обделку и устройство гидроизоляции.....	
5.12	Нетрадиционные и перспективные способы сооружения тоннелей.....	
5.12.1	Продавливание тоннельных конструкций.....	
5.12.2	Бурение и раскатка без удаления грунта.....	
5.12.3	Уплотнение грунта взрывной проходкой.....	
5.12.4	Проходка пневмопробойниками и реактивными бурами.....	
5.12.5	Сверхслабое взрывание в непрерывном режиме.....	
Глава 6.	Строительство станций глубокого заложения.....	
6.1	Общая характеристика и классификация.....	
6.2	Определение основных размеров станций.....	
6.3	Общие сведения об организации и технологии строительства.....	
6.4	Конструкция и технология сооружения односводчатых станций.....	
6.5	Конструкция и технология сооружения станций пилонного типа.....	
6.6	Конструкция и технология сооружения станций колонного типа.....	
Глава 7.	Связь станций глубокого заложения с поверхностью.....	
7.1	Общие сведения об эскалаторном комплексе.....	
7.2	Организация строительства и подготовительные работы.....	
7.3	Технология сооружения эскалаторного тоннеля.....	
7.4	Сооружение вестибюлей.....	
7.5	Предупреждение осадок вестибюлей и эскалаторных тоннелей.....	
Глава 8.	Строительство перегонных тоннелей и станций метрополитена открытым способом.....	
8.1	Условия применения открытого способа.....	
8.2	Общие сведения о технологии строительства тоннелей.....	
8.2.1	Котлованный способ.....	
8.2.2	Траншейный способ.....	

8.2.3 Щитовой (открытый) способ.....	
8.3 Технология сооружения станций открытым способом.....	
8.4 Строительство тоннелей и станций способом «стена в грунте».....	
8.5 Особенности сооружения наземных и надземных участков линий метрополитена.....	
8.5.1 Наземные участки.....	
8.5.2 Надземные участки.....	
8.5.3 Монорельсовый транспорт.....	
Глава 9. Санитарно-технические устройства и электрооборудование метрополитена.....	
9.1 Вентиляция метрополитена.....	
9.2 Отопление, водоснабжение и канализация.....	
9.3 Электроснабжение.....	
Приложение А. Обоснование и расчеты горнопроходческих работ при строительстве метрополитенов.....	
А.1 Общие сведения о проектировании проходческих работ.....	
А.2 Содержание технологических карт при строительстве односводчатой станции глубокого заложения.....	
А.3 Определение продолжительности строительства объектов метрополитена.....	
А.4 Определение технических показателей строительства метрополитена.....	
А.5 Расчет времени и составление графика выполнения горнопроходческих работ.....	
А.6 Определение стоимости проходки выработки.....	

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Глава 1. Основные положения

Метрополитеном называется городская внеуличная железная дорога, имеющая собственный габарит и предназначенная, обычно, для пассажирского движения, а в отдельных случаях для грузовых перевозок. Метро отличается большой пропускной способностью (до 60 тыс. пассажиров в час в одном направлении), регулярностью и высокой скоростью движения поездов до 100 км/час.

Существующие линии метрополитенов подразделяются на подземные, наземные и надземные.

Подземные линии являются основным видом метрополитенов и имеют преимущественное распространение. В большинстве городов мира сети метрополитенов состоят только из подземных линий. Различают два уровня подземного заложения: - мелкое, глубиной 5-8 м; - глубокое, расположенное в 30-50 и более метров от поверхности земли. Глубина заложения определяется существующей застройкой, планировкой города, расположением городских коммуникаций и геологическими, топографическими и гидрогеологическими условиями строительства.

Линии глубокого заложения проектируются по кратчайшему пути между станциями и обычно без учета городских застроек. Глубина заложения определяется из условий расположения тоннелей в коренных устойчивых, водонепроницаемых породах.

Преимущества подземных метрополитенов глубокого заложения заключаются в следующем:

- не нарушают существующей планировки города, движения транспорта и пешеходов;
- дает возможность трассирования тоннелей по кратчайшему направлению, что дает более простую и четкую схему метрополитена;
- обеспечивает возможность выбора при проходке тоннелей наиболее благоприятных грунтовых и гидрогеологических условий.

Недостатки линий глубокого заложения:

- большие капиталовложения;
- необходимость в механическом спуске и подъеме пассажиров;
- увеличение затрат времени пассажиров на передвижение;
- отсутствие широкого фронта работ при строительстве;
- усложнение системы вентиляции.

Линии мелкого заложения обеспечивают наибольшее устройство для пассажиров и имеют лучшие эксплуатационные и экономические показатели.

Они типичны для районов новой застройки, где трассу можно положить под широкими уличными газонами.

Тоннели мелкого заложения проще в сооружении. Их устраивают в открытой вдоль улицы траншее. В подготовительной траншее делают железобетонную обделку из сборного и предварительно напряженного железобетона.

Преимущества метрополитена мелкого заложения:

- меньшие (по сравнению с глубоким заложением) капитальные затраты;
- упрощается спуск и подъем пассажиров;
- отпадает необходимость в механических подъемных устройствах;
- облегчается вентиляция тоннелей и станций.

Недостатки:

- возможность строительства в основном в районах новой застройки и сложность сооружения в густонаселенной части города и центральной части;
- необходимость следовать при трассировке линий направлению улиц, бульваров или проспектов;
- необходимость перекладки подземных инженерно-санитарных частей и укрепления фундаментов зданий.

Наземные линии метрополитена расположены на поверхности земли по насыпям или выемкам и не пересекаются с улицами или другими транспортными линиями на одном уровне. Как правило, сооружаются в районах города с относительно невысокой плотностью застройки, при устройстве объединенных пересадочных станций метрополитена с пригородными линиями железных дорог, на конечных участках линий метро. При строительстве линий мелкого заложения в местах пониженного рельефа может оказаться целесообразным расположить станцию метрополитена на поверхности. В этом случае примыкающие к станции участки перегонов делаются также подземными.

Основным условием, определяющим возможность прокладки наземных линий, является наличие свободной от застройки полосы шириной не менее 120 м. Вдоль всего наземного участка с двух сторон сооружается сплошной забор из железобетонных плит, закладываемых в пазы железобетонных столбов.

Земляное полотно устраивается для двух путей. Его верхняя площадка планируется с двухскатным уклоном 0,04 от оси пути. В выемках с обеих сторон предусматриваются дренажные водоотводящие лотки из железобетонных коробчатых секций. Вдоль насыпей копаются водоотводные канавки с оставлением берм шириной 2 м с уклоном в сторону канавы.

Надземные линии метрополитена располагаются на эстакадах на высоте, определяемой габаритами наземного транспорта, рельефом местности и условиями городской застройки. Надземные эстакадные линии метрополитена, загромождают улицы и площади, а также являются источниками нежелательных шумовых и вибрационных воздействий.

Сооружаются в редких случаях и протяженность их наибольшая. Необходимость их строительства возникает при пересечении линий метрополитена резких впадин рельефа, например, на подходах к мосту через реку. В этом случае для обеспечения развязки с городским транспортом в разных условиях целесообразно пути метрополитена прокладывать по эстакадам. В городах с горным рельефом эстакадами могут пересекаться улицы и площади. Конструкции их должны быть легкими, не загромождающими улицу.

На зарубежных метрополитенах распространены рамные и балочные конструкции со стальными опорами и пролетными строениями.

На строительстве Московского метрополитена применена сборная железобетонная эстакада одностоечной системы, состоящей из свайного фундамента, упирающихся сверху колонн, ригелей таврового сечения и балочных пролетных строений. По эстакаде проложены два пути метрополитена. С обеих сторон тротуары для обслуживающего персонала.

Мировая практика строительства метрополитенов установила, что наиболее приемлемым и правильным решением является подземное расположение, которое удовлетворяет условиям планировки уличного движения, городского строительства, санитарно-гигиеническим и экологическим требованиям современного города.

Вековой опыт эксплуатации метрополитенов показывает, что они могут быть использованы не только для пассажирского движения, но и для подземной транспортировки грузов. Например, в Чикаго линия грузового метрополитена достигает 120 км. Специальные тоннели этого метрополитена однопутного и двухпутного профиля проложены от крупных железнодорожных станций и пристаней непосредственно к городским складам и рынкам.

Грузовой метрополитен протяженностью 10,4 км имеется в Лондоне. В этом метрополитене автоматические электрические поезда с почтовым грузом круглосуточно движутся в специальных тоннелях, заложенных на глубине 23 м от поверхности.

1.1 Краткие сведения об основных метрополитенах мира

Первый метрополитен длиной 3,6 км для поездов с паровой тягой был построен в Лондоне в тоннелях мелкого заложения в 1860-63 г. (табл. 1.1). С 1890 г. в Лондоне началось строительство тоннелей глубокого заложения, а введение электрической тяги освободило тоннели от дыма и копоти, улучшило условия эксплуатации городской подземной линии. В 1868 г. в Нью-Йорке была открыта надземная городская железнодорожная линия с канатной тягой, замененной в 1871 г. на паровую, а в 1890 г. – на электрическую. К концу XIX века в Европе метрополитен был построен еще в пяти городах: Будапеште, Париже, Вене, Глазго, Ливерпуле. Одним из старейших на Европейском континенте является метрополитен Парижа, первая линия которого была построена к открытию Всемирной промышленной выставки 1900 г.

В первом десятилетии XX века интенсивно развивается строительство метрополитенов в города США: Чикаго (1892), Бостоне (1897), Филадельфии (1907), а затем в других странах (в Мадриде, Барселоне, Афинах, Токио, Осло, Стокгольме и др.). Особое значение метро приобрело после Второй мировой войны 1939-45 гг. Интенсивное развитие крупных городов потребовало отказа от надземных линий, расположенных на эстакадах, и постепенного перехода от надземных и наземных линий метрополитенов к подземным.

В 80-е годы за рубежом метрополитен был построен в 60 крупных городах мира (табл. 1.1).

В настоящее время в 30-ти странах мира действует 70 метрополитенов с общей протяженностью около 3500 км, из них около 400 км в странах бывшего СНГ. В начале XXI века метрополитены должны быть построены еще в тридцати государствах мира.

По данным зарубежной практики стоимость 1 км межстанционного тоннеля глубокого заложения составляет 12-15 млн. долл. США, мелкого заложения - 5-7 млн. долл., а станций метрополитена – 12-20 млн. долл. Поэтому строительство метрополитенов целесообразно осуществлять лишь в больших городах с населением более 1 млн. чел. И насыщенным уличным движением.

Метрополитен Лондона в настоящее время представлен тоннелями 600 км протяженностью и 250 станциями. Являясь пионерами в строительстве подземной железной дороги, лондонские строители в 1860 г., не имея в этой области никакого опыта, впервые приступили к разрешению столь сложной проблемы. Вначале работы по сооружению тоннелей велись с поверхности открытым способом, что предусматривало сложные и дорогостоящие работы по переустройству коллекторов, производства чрезвычайно медленных и кропотливых работ по укреплению оснований и фундаментов домов, расположенных вблизи трассы. Кроме того, парламент ставил жесткие требования о производстве работ без нарушения уличного движения. Однако, несмотря на большую осторожность в предпринимаемых работах, избежать повреждения строений не удалось. С целью обойти подобные осложнения, англичане в 1884 г. начали строить подземные железные дороги на большой глубине. В 1890 г. участок глубокого 30 метрового заложения и протяженностью 5,07 км был сдан в эксплуатацию. В дальнейшем, с развитием сети, при трассировке и пересечении линий по новым направлениям, тоннели заглублялись до 58 м от поверхности земли. Этому обстоятельству благоприятствовал мощный слой водонепроницаемой лондонской глины, явившейся прекрасным грунтом для прокладки в нем тоннелей при помощи щитов. Своеобразием Лондонского метрополитена – перемещение пассажиров с поверхности на глубокорасположенные платформы станций не по эскалаторному тоннелю, а лифтами вместимостью 130 чел. На некоторых ранее построенных глубоких станциях такой способ доставки пассажиров к станциям метрополитенов остался и до настоящего времени. Максимальная глубина Лондонского метрополитена – 55 м. Среднее расстояние между станциями – 1 км.

Метрополитен Парижа протяженностью около 300 км с 293 станциями представляет собой значительную сеть тоннельных сооружений оригинальной конструкции. Схема линий метрополитена создана на отдельных, часто не увязанных между собой отрезках.

Пересечение линий образует сложные станционные узлы, требующие для своей развязки длинных и кривых коридоров и переходов протяженностью до 250 м с профилями компенсирующими «потерянные» уклоны.

Созданная французами разнообразнейшая подземная сеть метрополитена имеет ряд замечательных сооружений. Таковыми являются, например, станция Площадь Республики, объединяющая пять направлений метрополитена, станция Опера, объединяющая тоннели под р. Сеной и под домами, тоннели-мосты, сооруженные через подземные карьеры. Строительство тоннелей в Париже ведется закрытым способом при мелком заложении без нарушения уличного движения. Имеются случаи проходки тоннелей и на большой глубине. Так, например, в районе Монмартра перегонные тоннели заложены на глубине 63 м, станция Абесс на глубине 35 м от поверхности.

В настоящее время тоннельные работы в Париже проводятся в хороших геологических условиях – в совершенно сухих плотных мергелях и суглинках. Большие и часто весьма неожиданные осложнения вносят в строительство метрополитена Парижа подземные карьеры. Известен случай, когда своды тоннелей под улицей Де-Мейн, опиравшиеся на грунт, начали садиться вследствие сдвижений пород, происходивших в нарушенной зоне целиков между прокладываемым тоннелем и карьерами, расположенными ниже. С целью локализации нарастающего процесса деформаций тоннелей на протяжении 166 м приступили к сооружению круглых 1,5 м бетонных колодцев, пересекавших карьерные пустоты и заложены на глубине 10-12 м в надежное основание. Столбы перекрывались железобетонными балками и плитами, по которым прокладывался рельсовый путь. Парижская система метрополитена отличается положительным качеством – работы минимально стесняют улицу и жизнь города.

Метрополитен Берлина, имеющий протяженность тоннелей 125 км и 134 станции, прорезает город поверхностными и подземными участками. Станции сооружены на небольшой глубине с островными платформами. Сооружение подземных линий метрополитена производилось главным образом открытым способом с вскрытием мостовой. Первый участок протяженностью 11,2 км строился в течение 5 лет и был сдан в эксплуатацию в 1902 г. 83% длины этого участка дороги были надземными и лишь 17% - подземными. Сеть метрополитена Берлина в настоящее время имеет пять действующих линий протяженностью 125 км и состоит из 81% подземных, 13% на эстакадах и 6% наземных трасс. Тоннели и станции Берлинского метрополитена мелкого заложения. Немецкой практикой выработан и усовершенствован прием сооружения межстанционных тоннелей в открытых котлованах с предварительным осушением водоносных берлинских песков при помощи искусственного понижения уровня грунтовых вод.

Подъем и спуск пассажиров производится только по лестничным переходам. И только для немногочисленных линий, имеющих глубину заложения более 10 м (например, у Александр плаца) применяются механизированные спуски и подъемы на эскалаторах. Большинство станций Берлинского метрополитена оборудованы только островными платформами длиной 110 м, рассчитанными на восьмивагонный состав. Это объясняется экономией в обслуживающем персонале и удобством пересечения станций между собой.

Темпы производства работ в Берлине по строительству метрополитена открытым способом выражаются в следующих цифрах: северный участок метрополитена протяженностью 160 м построен в течение 60 дней, южный – протяженностью 190 м построен в течение 50 дней. Работы на этих участках проводились при полном закрытии уличного движения, которое было перенесено на параллельную улицу.

В Москве строительство метрополитена было начато в 1932 г. Первые линии Московского метро протяженностью 11,6 км с 13 станциями и всем комплексом сооружений были построены за 3,5 года и сданы в эксплуатацию в 1935 г. Дальнейшее строительство велось непрерывно и в настоящее время протяженность линий метрополитена составляет 250 км и 142 станции.

На Украине строительство метрополитена было начато в Киеве в 1960 г. и в настоящее время функционирует в Киеве, Харькове и Днепропетровске. Общая протяженность линий метрополитенов Украины составляет 956 км и включает 69 станций в том числе:

- в Киеве 3 линии, 51 км, 37 станций;
- в Харькове 3 линии, 35,6 км, 26 станций;
- в Днепропетровске 1 линия, 9 км, 6 станций.

Степень развития метрополитена в разных городах мира можно охарактеризовать показателем длины метрополитена в расчете на 1 млн. жителей.

В городах Украины этот показатель составляет: в Харькове – 20 км, Киеве 17 км, Днепропетровске 6 км. В то время как в большинстве крупнейших городах мира 25-35 км и выше. В Москве – 25, в Мадриде – 28, Париже – 32; Монреале – 34, Вашингтоне – 37; Гамбурге – 39, Стокгольме – 69, Лондоне – 75.

С целью ускорения строительства метрополитена в Украине по инициативе корпорации «Укрметротоннельстрой» в настоящее время сформированы предложения по разработке «Генеральной схемы развития метрополитена в Украине на период до 2050 года».

Исходя из прогнозных данных, целесообразно рассматривать вопрос развития метрополитена в таких городах Украины: Киев, Харьков, Днепропетровск, Донецк, Одесса, Запорожье, Львов, Симферополь, Кривой Рог, Мариуполь, Николаев, Луганск, Винница, Севастополь, Кременчуг.

Проектом строительства Донецкого метрополитена предусмотрено три линии (см. схему) рис. 1.1.



Рис. 1.1 Схема линий Донецкого метрополитена

Первая линия – (Пролетарско-Киевская) 20,5 км – 14 станций, проходит через Пролетарский, Буденновский, Ворошиловский, Киевский и Куйбышевский районы;

Вторая линия – (Петровско-Красногвардейская) 30,7 км – 19 станций, проходит через Петровский, Кировский, Ворошиловский, Ленинский, Калининский районы Донецка с выходом в Красногвардейский район Макеевки;

Третья линия – (Горняцко-Макеевская) 35,8 км – 22 станции, соединяет Куйбышевский, Ворошиловский, Калининский районы Донецка с выходом в центр Макеевки.

В местах пересечения линий предусмотрено устройство пересадочных узлов:

- первой и второй линии на станции «Политехнический институт»;
- первой и третьей линии на станции «Белый лебедь»;
- второй и третьей линии на станциях «Мариупольская» и «Проспект Мира».

Проектом строительства метрополитена предусмотрены наземные линии и подземные: глубокого (30-40 м) заложения, сооружаемые горным способом и мелкого (8-10 м), сооружаемые открытым способом производства работ.

Первая очередь включает строительство первой линии метрополитена на наиболее пассажиронапряженном направлении юго-восток – северо-запад,

общей протяженностью 20,5 км. Ввод этой линии в эксплуатацию намечен тремя пусковыми комплексами (см. схему):

1 – ст. «Пролетарская» - ст. «Политехнический институт» (10,3 км, 6 станций);

2 – ст. «Политехнический институт» - ст. «Белый лебедь» (2,6 км, 2 станции);

3 – ст. «Белый лебедь» - ст. «Октябрьская» (7,6 км, 5 станций).

Строительство метрополитена на 1-ом пусковом комплексе производится по нескольким направлениям. По трассе метрополитена сооружаются вертикальные стволы с околоствольными выработками и вентиляционными камерами для разворота строительства станций глубокого заложения и межстанционных тоннелей. На станции «Красный городок» сооружена монтажная камера, в которой собран проходческий комплекс тоннельный КТ-5,6 Е 22 и в направлении станции «Политехнический институт» ведется одновременно проходка двух перегонных тоннелей (левого и правого), трасса которых залегает в толще выветрелых аргилитов, алевролитов и песчаников. Это позволяет для проведения тоннелей использовать как механизированный комплекс, так и буровзрывные работы.

1.2 Принципы проектирования линий метрополитенов

Обоснованием необходимости сооружения метрополитена является интенсивность пассажиропотоков, увеличивающаяся с развитием города и ростом его населения.

Пассажирский поток - представляет собой количество пассажиров, проезжающих по данному участку линии в единицу времени (час, сутки, год).

По величине предполагаемых пассажиропотоков на наиболее загруженном перегоне в часы «пик» определяется провозная способность линии. При этом провозная способность на первый период должна соответствовать пассажиропотоку, ожидаемому через 10 лет после ввода линий в эксплуатацию. Провозная способность на перспективу определяется по более отдаленным пассажиропотокам. Соответственно требуемой провозной способности устанавливается пропускная способность линии. С целью наиболее эффективного использования капитальных вложений на генеральной схеме развития метрополитена определяются не только направления линий, но и обосновывается очередность их строительства.

Пропускная способность линии метрополитена определяется допустимой частотой движения поездов.

Время стоянки поездов на станциях составляет от 20 до 40 сек. и зависит от пассажирооборота станции. Значительное сокращение времени стоянки возможно только при раздельной высадке и посадке пассажиров, т.е. при расположении платформ по обе стороны от пути.

Полная пропускная способность линии используется не сразу после сдачи ее в эксплуатацию. В первый период эксплуатации линии пропускается меньшее число пар поездов в час и меньше число вагонов в составе поезда (в

зависимости от величины пассажиропотока).

Для метрополитенов предусматривается 20 пар трехвагонных поездов в час как минимальная пропускная способность линии на первый период ее эксплуатации. При этом максимальная провозная способность линии будет составлять 15000 пассажиров в час в одном направлении.

Для города, в котором возникает необходимость в сооружении одной или двух первоочередных линий метрополитена, составляется схема сети линии, охватывающей все наиболее загруженные направления, с учетом перспективы развития города.

Направление линий метрополитена выбирается по наиболее густозастроенным и оживленным районам города.

Существующий городской транспорт из-за сравнительно небольшой скорости движения и недостаточно провозной способности в больших городах с населением более 1 млн. человек перестает удовлетворять нужды населения. Это наступает при увеличении площади застройки города. При широких улицах потребность в передвижении пассажиров может быть удовлетворена за счет увеличения интенсивности движения существующего городского транспорта и устройства тоннелей под перекрестками. В старой менее застроенной части города, это проблематично без реконструкции транспортных артерий, чему мешает малое расстояние между существующими строениями.

Дальность поездок пассажиров определяется разрастающейся площадью застройки города.

Необходимость в постройке линий метрополитена, по существующим нормам, возникает в тот момент, когда исчерпывается провозная способность существующего городского транспорта и когда скорость его движения приводит к затрате времени на передвижение от периферии к центру более 30 мин.

Необходимость в постройке линий метрополитена должна подтверждаться экономической целесообразностью. Экономически оправданным считается сооружение линий метрополитенов при перевозке на 1 км пути в одном направлении не менее 6-6,5 млн. пассажиров в год. Это соответствует максимальной интенсивности пассажиропотока в одном направлении в часы «пик» 20-30 тыс. чел. в час. С такой интенсивностью пассажиропотока не может справиться ни один из видов городского транспорта, кроме метрополитена.

Город Донецк вместе с примыкающим г. Макеевкой образует единую взаимосвязанную городскую систему протяженностью 60 км и шириной 40 км с населением существенно превышающем 1 млн. чел.

В городе Донецке по данным обследования пассажиропотоки в центральном районе в настоящее время составляют 25 тыс. чел. в час., а в направлении Пролетарского и Петровского районов – свыше 15 тыс. чел. в час., что уже значительно превышает провозную способность существующего наземного транспорта и к 2010 г. увеличится в 1,5 раза.

Кроме того, уровень загрязнения атмосферы этого региона не позволяет

развивать виды транспорта с двигателями внутреннего сгорания на углеводородном топливе, а сложившаяся застройка препятствует внедрению в существующую проезжую часть дополнительных видов электротранспорта.

На основе анализа альтернативных вариантов решения проблемы внутригородского транспорта, в Донецке с населением 1,2 млн. чел. было признано, что наиболее эффективным видом транспорта является метрополитен, включающий три линии.

Расчеты пассажиропотоков, застройка города и план его развития служат материалами для составления перспективной схемы линий метрополитена, связывающих районы города между собой. Детальное проектирование первоочередных линий метрополитена производится с учетом этой перспективной схемы.

Связь каждой линии метрополитена со всеми остальными линиями предусматривается при помощи пересадок на станциях.

Линии метрополитена, как правило, проектируются подземными мелкого заложения. Глубокое заложение линий применяется при неблагоприятных геологических и гидрогеологических условиях в зоне мелкого заложения, а также в районах города с плотной многоэтажной застройкой.

Станции метрополитена располагаются в местах образования больших потоков пассажиров: на центральных площадях, пересечениях городских магистралей, в районных центрах, у железнодорожных и речных вокзалов, стадионов, парков, а также на пересечениях линий метрополитена между собой и с линиями пригородных железных дорог.

Для линий метрополитенов расстояния между станциями в центре города назначаются от 1 до 1,5 км на окраинах – от 1,5 до 2 км.

На последних очередях строительства отечественного метрополитена расстояния между станциями принимаются, как правило, не менее 2 км и уменьшение этой величины допускается только при технико-экономическом обосновании.

Положение станций в плане определяется возможным расположением входных вестибюлей. Расположение вестибюлей выбирается в зависимости от городской планировки.

Существует два принципиально различных типа схем линии метрополитена. Первый – представляет собой отдельные линии, скрещивающиеся между собой в разных уровнях с независимым движением поездов; второй – системы взаимно увязанных линий с переходом поездов с одной линии на другую.

Схема первого типа принята в городах Украины, Париже и в большинстве городов мира. Она требует пересадки пассажиров с одной линии на другую и обеспечивает максимальную пропускную способность каждой линии и полную безопасность движения поездов. Основным принципом проектирования схемы этого типа состоит в том, чтобы пассажир с любой станции метрополитена, не выходя на поверхность, мог попасть на другую станцию с одной, в крайнем случае с двумя пересадками.

По схеме второго типа построены метрополитены Нью-Йорка и Лондона. Переход поездов с одной линии на другую позволяет уменьшить число пересадок, но требует устройства сложных узлов сопряжения, ухудшают эксплуатационные качества метрополитена.

1.3 План и профиль линий метрополитенов

План линий метрополитенов определяется городской застройкой, от которой зависит и расположение станций, и направление перегонных тоннелей. При мелком заложении линии, направление межстанционных тоннелей выбирается вдоль основных транспортных магистралей города. При глубоком заложении, когда направление линии не зависит от городской застройки, план линии определяется только расположением станций. При определенном положении станций тоннели между ними прокладываются по кратчайшему направлению. При необходимости для сопряжения прямых вводятся кривые, величины радиусов которых ограничены условиями эксплуатации линий метрополитенов. В целях обеспечения плавного хода поезда с высокими скоростями наименьший радиус кривых на главных путях принимают не менее 600 м (в отдельных случаях допускается 300 м). На служебных и парковых путях, по которым перемещаются порожние составы, возможно значительное уменьшение радиусов кривых до 100-60 м.

На главных магистралях зарубежных метрополитенов встречаются следующие радиусы кривых: в Лондоне – 100 м, Мадриде – 90, Берлине – 65, Париже – 40, Филадельфии – 32 м. При таких радиусах кривых поворота линий метрополитена пассажиры ощущают довольно резкие толчки на поворотах. При радиусах кривых, принятых на Украине, обеспечивается плавность движения поездов метрополитенов на закруглениях.

Подземные станции отечественных метрополитенов обычно располагаются на прямых участках пути и только в отдельных случаях допускается расположение мелко заложённых подземных и наземных станций на кривых радиусом не менее 800 м. Станции зарубежных метрополитенов располагаются на кривых участках пути при радиусах значительно меньших 800 м.

Профиль линий метрополитенов назначается в зависимости от гидрогеологических и геологических условий на трассе линии, способа работ по сооружению тоннелей и эксплуатационных требований.

Эксплуатационные требования при проектировании профиля линии метрополитена заключается в расположении станций «на горбе» и выборе соответствующих продольных уклонов. Расположение станций «на горбе» выгодно потому, что при подходе к станции поезда легче уменьшают скорость, а при уходе со станции (при спуске) быстрее ее увеличивают. При мелком заложении линий метрополитенов и минимальной засыпке над перекрытиями тоннелей это требование выполнить не всегда удается. Линии метрополитенов располагаются обычно на глубине, позволяющей вести работы открытым способом (со вскрытием поверхности) при минимальной толщине засыпки над

перекрытием, соответствующей глубине промерзания грунта, или закрытым способом при минимальной кровле пород под тоннелем. При этом в основании тоннелей должны залегать прочные породы.

Уклоны продольного профиля линий метрополитена ограничены конструктивными особенностями подвижного состава и водоотводом. Строительными нормами и правилами установлен наибольший уклон пути на прямых и кривых участках в перегонных тоннелях 0,040, на наземных линиях, как правило, 0,035. Наименьший уклон на подземных линиях принимается 0,030 (по условиям водостока). Наземные линии могут располагаться и на горизонтальных площадках.

На зарубежных метрополитенах имеются линии со значительно большими уклонами. Например, в Гамбурге, Бостоне, Мадриде уклоны достигают 0,050, в Осло и в Нью-Йорке – 0,055, а в Глазго – 0,062.

При проектировании продольного профиля линий глубокого заложения следует иметь в виду, что для проходки тоннелей ниже слоя водонасыщенных неустойчивых пород или под руслами водоемов без применения сжатого воздуха над сводом обделки должна быть толща коренных водонепроницаемых пород не менее 5-6 м.

На линиях мелкого заложения минимальная глубина тоннелей зависит от положения пересекаемых городских коммуникаций. При отсутствии коммуникаций свод обделки желательно располагать ниже глубины промерзания грунтов с тем, чтобы избежать устройства теплоизоляционного покрытия.

Глава 2. Организация и производство работ по проходке стволов при строительстве метрополитенов

2.1 Назначение стволов и их конструктивные элементы

Сооружение станций метрополитенов и межстанционных тоннелей метрополитенов глубокого заложения сопровождается выдачей с забоев выработок на поверхность огромного количества породы, спуском строительных материалов и оборудования, водоотливом, вентиляцией, а также спуском и подъемом людей. Для этих целей развития фронта работ и ускорения строительства, сооружаются вертикальные горные выработки – шахтные стволы. В период эксплуатации метрополитена стволы служат для целей вентиляции. При использовании стволов в качестве вентиляционных, выбору их расположения должен предшествовать анализ вариантов схем вентиляции.

Формы и размеры поперечного сечения ствола зависят от назначения ствола, материала крепи и физико-механических свойств пересекаемых горных пород. Наиболее часто применяемая форма поперечного сечения стволов круглая. Для стволов временного назначения допускается применение прямоугольного сечения.

Стволы метрополитенов круглого поперечного сечения более рациональны, особенно при сложных горно-геологических условиях. При выборе размеров сечения учитывают типовые конструктивные решения обделок тоннелей, а также размеры оборудования, которое должно быть размещено в стволе. Типовой наружный диаметр стволов при строительстве метрополитенов принят равным 6 м, при прямоугольном сечении размеры ствола обычно 4,60x2,25 м (и более).

Для стволов круглой формы поперечного сечения материалом крепи служит монолитный и сборной бетон и железобетон. В сложных гидрогеологических условиях применяют чугунные тубинги. При прямоугольном сечении в качестве материала крепи используют дерево и иногда сборный железобетон.

Анализ существующего уровня развития тоннелестроения выполненный на основании фактических технико-экономических показателей производственной деятельности крупнейших отечественных и зарубежных тоннелестроительных организациях показывает, что в 1990 г. подавляющее большинство пройденных стволов (80,9% - 4,98 км), технологически связанных со строительством тоннелей, имело круглое сечение со средним диаметром в свету 5,9 м, прямоугольное сечение составляло 19,1% или 1,18 км. Площадь поперечного сечения среди стволов прямоугольной формы

распределялась следующим образом: до 25 м² – 8,8%; 26...45 м² – 5,0%; 46...75 – 2,3%; более 75 м² – 3,0%. То наибольшее распространение среди стволов прямоугольной формы при строительстве тоннелей имеют стволы сечением до 25 м².

Ствол имеет следующие конструктивные элементы: (рис. 2.1) воротник 1, вертикальный ствол 2, сопряжение ствола с околоствольными выработками 3 и зумпф 4.

Воротник (оголовник) – верхняя часть ствола конструктивно сопрягаемая с основным стволом. Представляет собой конструкцию кругового очертания из бетона или железобетона, которая надежно закрепляет верхние кольца крепи ствола в грунте и воспринимает часть веса обделки. Он ограждает ствол от стока поверхностных вод.

Конструкция оголовника зависит от свойств окружающих пород и типа обделки ствола. Иногда на оголовник опирается шахтный копер.

Ствол состоит из верхней части – устья ствола (форшахты) с воротником и основной части – вертикальной протяженной закрепленной выработки.

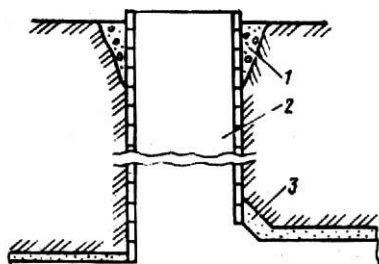
Сопряжение ствола с околоствольными выработками обычно выполняется в виде бетонного раструба. Форма сопряжения зависит от схемы расположения вспомогательных выработок с одной или двух сторон ствола.

Зумпф ствола располагают на 2-3 м ниже уровня подошвы околоствольного двора. Он служит временным водосборником и определяется от основной части ствола деревянным настилом по стальным балкам.

Армирование ствола – это установка комплекса оборудования, размещенного в стволе и необходимого для обслуживания подземных работ в период строительства. Сечение ствола разделяется на клетьевое, лестничное и лесоспускное отделение, отделение для трубопроводов и кабелей. Армирование включает в себя систему жестких элементов (расстрелов и проводников), представляющих собой пространственную упругую систему, размещенную по всей глубине ствола. Расстрелы (горизонтальные балки) изготавливают из двутавров или швеллеров соответствующих размеров. Устанавливают их по высоте ствола через каждые 3 м и крепят непосредственно к обделке ствола. Проводники (вертикальные направляющие клетей) крепятся к расстрелам. В состав армирования ствола входит лестничное и лесоспускное отделение, одна или две вентиляционные трубы, трубопроводы для водоотлива, сжатого воздуха и воды, силовые, сигнальные и осветительные кабели.

2.2 Мероприятия предшествующие проходке стволов

При выборе места расположения ствола следует руководствоваться положением, что расстояние ствола от сооружаемого тоннеля или станции метрополитена должно быть не менее 10-20 м и ствол целесообразно



располагать в месте свободном от городской застройки, в пониженных точках рельефа местности с целью сокращения

глубины проходки. Определяющим фактором выбора места расположения ствола являются данные геологических и гидрогеологических изысканий, выполняемых бурением трех разведочных скважин в вершинах описанного вокруг ствола треугольника.

Подготовительные работы предшествующие проходке стволов заключаются в сооружении не заполняемой площадке защищенной от паводковых и дождевых вод. Такая площадка должна быть достаточной для размещения необходимого проходческого оборудования. Если создать такую площадку сложно, то ограничиваются подъемом устья ствола на 1 м выше уровня поверхности земли. До начала проходки ствола вокруг площадки устраивают необходимые водостоки, также обеспечивают место сброса ливневых, паводковых и шахтных вод. Выполняют все работы по планировке и устройству проездов. До начала проходки ствола строительная площадка должна быть обеспечена сжатым воздухом, электроэнергией и водой. К подготовительным работам относятся монтаж поверхностного комплекса и проходческого оборудования (устройство для погрузки породы и сборки обделки, подвесного полка, вентиляции, водоотлива и др.). Шахтный подъем для проходки стволов оборудуется подъемными устройствами для одновременной работы одно или двухбадьевым подъемом с емкостью бадей 1 м³ и глухим кузовом. На некотором расстоянии от забоя ствола монтируется предохранительный полк, перекрывающий ствол по всему сечению и имеющий проемы для прохода бадей. Устье ствола на уровне земли перекрывают основным полком, который имеет люки с лядами автоматически открывающимися при пропуске бадей. Приемная площадка, на которой производится разгрузка бадей с глухим дном сооружается на 6-7 м выше основного полка. Бадьи разгружаются путем опрокидывания их при помощи специальных приспособлений без отцепки от подъемного каната. Разгруженная порода попадает по наклонному желобу в бункер для дальнейшей загрузки автосамосвалов или вагонеток.

Для водоотлива при проходке ствола устанавливают сначала на поверхности центробежные насосы. В процессе углубления забоя ствола центробежные насосы переносятся ближе к забою (на расстояние 5-6 м) и укрепляются на подвесных люльках или переносных полках. Количество насосов, диаметр и количество ставов нагнетательного трубопровода определяется исходя из производительности насосов и притока воды в забой.

Для проветривания ствола на поверхности монтируют временную вентиляционную установку. Вентиляционные металлические трубы подвешивают к стальным канатам от ручных лебедок, устанавливаемым в стороне от устья ствола. В нижней части вентиляционного металлического става труб присоединяются гибкие прорезиненные трубы, поднимаемые перед взрывом пород забоя ствола на безопасное расстояние от забоя.

Для выхода из ствола, в случае аварийного прекращения подачи электроэнергии, проходка оборудуется спасательной лестницей, прикрепленной к барабану пятитонной ручной лебедке.

Для освещения забоя ствола подвешивают светильник и через каждые

10-15 м в стволе ставят дополнительное освещение.

К подготовительным работам относится и оборудование ствола сигнализацией, при которой сигналы из забоя подаются на приемную площадку, а с приемной площадки – машинисту подъемной лебедки. Непосредственно сигнализация из забоя ствола машинисту – запрещена.

Выбор способа проходки стволов зависит от устойчивости пород и их водообильности. Различают обычные и специальные способы проходки.

Обычные способы применяются при пересечении устойчивых и малообводненных пород, при притоке воды в забой ствола не более 5 м³/час., когда вода из забоя может быть удалена на дневную поверхность при помощи подъемных сосудов или насосов, а стенки ствола при выемке породы остаются устойчивыми. Обычный способ является основным и наиболее распространенным.

Специальные способы применяются при неустойчивых, рыхлых или водообильных породах или в устойчивых, но сильно трещиноватых и водоносных, когда приток воды в забой достигает 10 м³/час. и более.

Анализ деятельности крупнейших тоннелестроительных организаций, технологически связанных с сооружением стволов, показывает, что общий объем проходки стволов в 1990 г. в бывшем СССР составил 6,16 км (100%), из них специальными способами было пройдено 2,12 км (34%), обычным – 4,04 км (66%).

Способ проходки стволов определяется результатами геологических и гидрогеологических изысканий и исследований в месте заложения ствола и опытом проходки стволов в аналогичных условиях. Кроме разведочных данных на выбор способа проходки стволов оказывает влияние глубина, форма и размеры поперечного сечения, а также материал крепления ствола. В городских густонаселенных условиях к способам проходки стволов предъявляются дополнительные требования – предотвращение осадки поверхности и связанные с ними деформации наземных и подземных сооружений.

К общим требованиям способа проходки относятся обеспечение выполнения требований экологии, условий техники безопасности на всех этапах работы и достижение высоких скоростей проходки при минимальных затратах.

В связи с предъявляемыми требованиями в каждом конкретном случае принимается наиболее целесообразный способ, обоснованный в технико-экономическом отношении.

При проходке стволов метрополитенов применяются три основные схемы организации работ по проходке и возведению обделки ствола: последовательная, параллельная и совмещенная.

Последовательная заключается в том, что сначала ведется проходка определенного участка ствола, а затем на этом участке возводится обделка. Применяется такая схема организации работ при небольшой глубине ствола и монолитной обделке. Ствол на глубине разбивается на отдельные заходки. Высота заходки зависит от устойчивости пород и принимается 5-7 м. Проходка

ствола по последовательной схеме может производиться с применением временной крепи и без временной крепи.

В пределах каждой заходки принимается следующая последовательность работ: ствол углубляется на величину заходки с возведением временной крепи из металлических колец, сооружается опорный венец и вверх на высоту заходки с подвешного полка возводят постоянную крепь.

Достоинство схемы – простая организация и малый объем работ по оснащению ствола.

Недостатки – наличие временной крепи, дополнительные затраты времени на выполнение вспомогательных работ, связанных с непрерывными переходами от выемки породы к возведению крепи. В связи с указанными недостатками скорости строительства стволов при этой схеме низкие и составляют 15-20 м/месяц.

Параллельная схема характеризуется одновременным производством работ по выемке породы и возведению крепи. Работы ведутся в два яруса: внизу разрабатывается порода в забое и при необходимости устанавливается временная крепь, на втором ярусе (верхнем), определенным предохранительным полком от нижнего яруса возводится обделка. Когда возведение обделки завершается, полк опускается для возведения обделки на нижнем участке.

Достоинством этой схемы является совмещение работ по выемке породы и возведению постоянной крепи, что позволяет увеличить среднюю скорость сооружения ствола в 1,5-2 раза по сравнению с последовательной схемой.

Недостатками являются сложная организация работ – основные операции проходческого цикла (выемка породы и возведение постоянной крепи) проводятся на двух уровнях ствола, что усложняет организацию работ и уменьшает ее безопасность; частые перерывы в работах, т.к. во время перемещения по стволу подвешного полка все работы в забое прекращаются.

В настоящее время объем работ по строительству стволов по указанной схеме уменьшился.

Совмещенная схема сооружения стволов в практике строительства метрополитенов и тоннелей применяется при сборной обделке. Характеризуется частичным совмещением работ по выемке породы и возведению постоянной крепи. Работы проводятся в призабойной части ствола. Временная крепь отсутствует. Очередное кольцо обделки монтируется одновременно с уборкой породы из забоя. Простота организации работ и возможность их комплексной механизации позволяют достигнуть высоких скоростей проходки (50-60 м/мес.). На строительстве метрополитенов эта схема является наиболее распространенной.

При любой схеме проходку ствола начинают после сооружения оголовника и завершения подготовительных работ.

2.3 Проходка стволов обычным способом

Обычный способ проходки ствола включает производство работ без применения специальных мер защиты выработки (искусственное замораживание или понижение уровня грунтовых вод, укрепления грунтов или проходка под сжатым воздухом).

Проходку ствола обычным способом ведут при помощи подвешного полка (рис. 2.2), который одновременно служит защитой для работающих в забое от возможного падения предметов в ствол и размещения необходимого проходческого оборудования (лебедки для монтажа обделки, насосов для откачивания воды из забоя, выдвижной телескопической лестницы для спуска людей в забой и т.д.). К полку со стороны забоя ствола обычно прикрепляется кольцевая монорельс 15, поворотные балки 8 с электрическими таями 9 для крепления грейферного погрузчика 10 и захвата тубингов 12 при монтаже обделки 1. В полке имеются отверстия с раструбами для пропуски бадьи 11. Полки подвешивают на тросах, закрепленных на барабане пятитонной лебедки, установленной на верхней части копра. Диаметр полка меньше диаметра ствола в свету. Это дает возможность периодически опускать его на расстояние 3 м, соответствующее шагу установки расстрелов армировки. В каждом новом положении полка фиксируется за обделку при помощи выдвижных упоров 3, оставляя расстояние до забоя 4-6 м. При ведении взрывных работ в забое полки поднимают на безопасное расстояние.

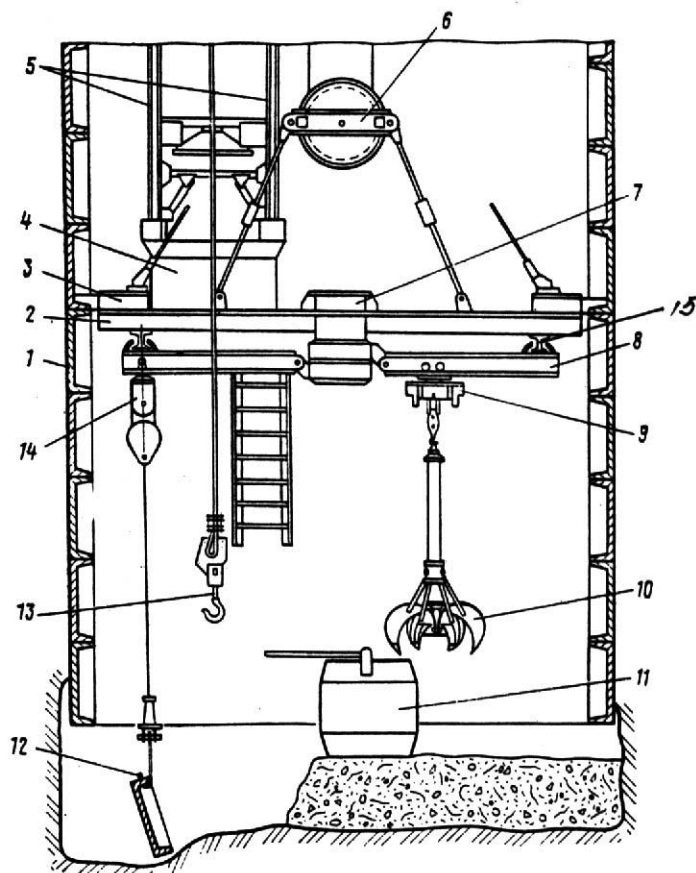


Рис. 2.2. Подвесной механизированный полк для проходки ствола

1 – тубинговая обделка ствола; 2 – подвесной полк; 3 – упор; 4 – раструб для прохода бадьи; 5 – рельсовые направляющие; 6 –

прицепное устройство; 7 – центральный узел; 8 – балка поворотная; 9 – таль электрическая; 10 – грейферное пневмопогрузочное устройство; 11 – бадья; 12 – захват тубинга нижнего (монтируемого) кольца; 13 – крюк для захвата бадьи; 14 – тельфер для установки тубингов; 15 – кольцевой монорельс.

Разработку породы в забое ствола при проходке производят буровзрывным способом или отбойными молотками и другими ручными механизированными инструментами в зависимости от крепости и устойчивости пород.

В устойчивых породах выемку производят на высоту одного кольца обделки. Забой разрабатывают до внешнего контура обделки с минимальным перебором. Мягкие породы разрабатывают в центральной части забоя на глубину 40-50 см, оставляя по контуру берму шириной 40-50 см. затем центральную часть углубляют на высоту кольца, разрабатывают берму участками с одновременным монтажом тубингов в кольцо сборной обделки или установкой временной крепи.

Крепкие породы разрыхляют буровзрывным способом с применением для бурения шпуров ручных перфораторов. Количество и глубина шпуров, схема их расположения, порядок взрывания определяется специально рассчитанным паспортом буровзрывных работ.

После бурения шпуров бадью, насосы, рабочие инструменты, осветительное и другое оборудование поднимают на полку, который удаляют от забоя на безопасное расстояние.

По сигналу взрывника все рабочие поднимаются на поверхность. Взрывники заряжают шпуры, проверяют электрические цепи и поднимаются на поверхность, откуда производят взрывание в один прием с применением электродетонаторов не менее четырех ступеней замедления.

После взрывания и проветривания ствола, опускают необходимое оборудование и рабочий инструмент, приводят забой в безопасное состояние, исправляя поврежденную крепь, удаляя куски породы, попавшие на выступы крепи и оборудования.

Взорванную породу при буровзрывном способе или отбиту от массива ручными механизированными инструментами грузят при помощи грейферного погрузчика 10 (рис. 2.2) в бадью 11 и с помощью подъемного устройства выдают на поверхность. Уборку породы совмещают по времени с его разработкой и монтажом обделки ствола. При проходке взрывным способом – с бурением шпуров на новую заходку. Одновременно с проходкой ствола углубляют водосборник (углубление в забое) так, чтобы он постоянно опережал забой. Проходку ствола ведут с водоотливом. При небольшом притоке воду из забоя удаляют в бадьях, заполняя пространство между кусками породы. Воду при этом из углубления в забое (водосборника) перекачивают в бадью небольшими забойными насосами. При больших притоках воду из забоя откачивают по трубам с помощью центробежных насосов, установленных на подвесном полке, а гибкий всасывающий шланг от насоса опускают в водосборник (углубление), куда поступает вода.

Для крепления стола сегменты тьюбингового кольца опускаются в ствол при помощи траверсы, подвешенной на канате подъемной машины. Для подачи тьюбингов в забое ствола к месту их установки и для монтажа их в кольцо используют тельфер 14 со специальным захватом для монтажа тьюбингов. Боковые поверхности поданного к месту установки тьюбинга очищают и поднимают его до совмещения болтовых отверстий ранее установленного кольца со штырями захвата. Отверстия центрируют оправками и тьюбинг фиксируют болтами. Захват освобождают и начинают установку следующего тьюбинга.

Гидроизоляционные работы выполняют после монтажа обделки и состоят из первичного нагнетания цементно-песчаного раствора, контрольного нагнетания и чеканки швов между тьюбингами.

Первичное нагнетание цементно-песчаного раствора за обделку производят после установки 3-4 колец. Первичному нагнетанию предшествует устройство пикотажа, т.е. заделка зазоров между последним (ближайшим к забою кольцом) и породой. Для пикотажа используют паклю, древесные стружки, которые уплотняют короткими досками и клиньями.

Контрольное нагнетание цементного раствора производят с отставанием от забоя на 8-10 колец и ведут обычно с подвесного полка. Для первичного и контрольного нагнетания используют нагнетательные аппараты, установленные в растворном узле на поверхности.

Чеканку швов тьюбинговой обделки производят с предварительной очисткой швов пескоструйным аппаратом и ведут с временных рабочих полков, укладываемых на расстрелы. Чеканку производят сначала свинцовой проволокой или свинцовым шнуром, а затем расширяющим или безусадочным цементом.

2.4 Новые разработки стволопроходческого оборудования

В течение последних лет рядом проектно-конструкторских организаций разработаны и внедрены стволовые проходческие комплексы, предназначенные для механизации процессов разработки, погрузки породы и возведения крепи при строительстве коммунальных тоннелей и тоннелей метрополитенов.

Наиболее перспективным является «Комплекс для проходки стволов в мягких породах» (КСМП), разработанный отделом инженерных сооружений ВПТНтрансстроя и предназначенный для механизированного сооружения неглубоких стволов с крепью из монолитного бетона по совмещенной схеме.

Комплекс (рис. 2.3) состоит из облегченной шагающей опалубки 1 с ножом-уплотнителем 2, оборудования для подачи бетонной смеси в ствол 3, платформы 4 для перемещения грейфера 5, бадьи 6, кран-балки 7, насосной станции и подъемной машины. Применение комплекса исключает временную крепь. Комплекс предназначен для проходки ствола диаметром 5,5 м, глубиной 40 м, установочная мощность двигателей 40 кВт, масса комплекса 25 т, производительность 0,7 м/смену.

В настоящее время в работе находятся 18 комплексов КСМП и за время их эксплуатации пройдено 500 м вертикальных стволов.

Комплекс шагающий стволовой КШС предназначен для проходки стволов диаметром 5-8 м как в наносных, так и в крепких породах с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова не более 8 (рис. 2.4). Особенностью комплекса является наличие гидрофицированного забойного оборудования, позволяющего использовать автоматизированную систему управления процессами проходческого цикла. Компактность и мобильность комплекса позволяет проходить стволы практически с нулевой отметки.

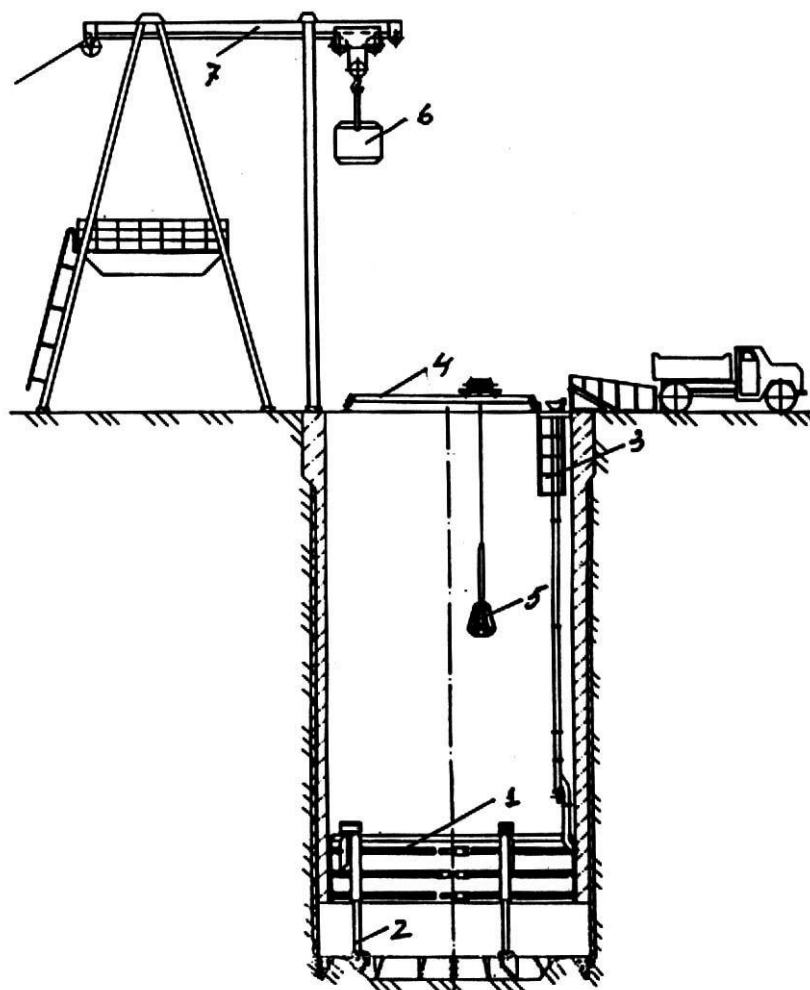


Рис. 2.3. Комплекс оборудования для сооружения стволов в мягких породах (КСМП)

1 – облепченная шагающая опалубка; 2 – нож-уплотнитель; 3 – бетонопровод; 4 – платформа; 5 – грейфер; 6 – бадья; 7 – кран-балка.

Комплексом предусмотрено проходческий цикл начинать с разработки и погрузки породы в центре забоя, оставляя по периметру ствола уступ породы в пределах 20-30 см в зависимости от устойчивости пород. Затем гидравлическими домкратами перемещения 1 режущий нож 2 задавливается в оставленный по периметру уступ породы, срезает ее и одновременно

оформляет стены ствола. После этого убирают распор 3 подвесного полка 4 рамы 5 погрузочного ковша 6 емкостью 0,3 м³ и отрывают секции опалубки 7 от бетонной крепи 8, сбрасывают давление в гидросистеме и весь комплекс забойного оборудования опускается на нож. Опалубка центрируется, производится бетонирование заходки и цикл повторяется. При встрече с крепкими породами, не поддающимися непосредственной разработке погрузочным ковшом, вначале осуществляют обуривание забоя бурильной машиной 9, зарядание шпуров, подъем забойного оборудования на безопасную высоту, взрывание, проветривание, опускание забойного оборудования, распор полка и рамы погрузочной машины и только после этого разработку и погрузку породы.

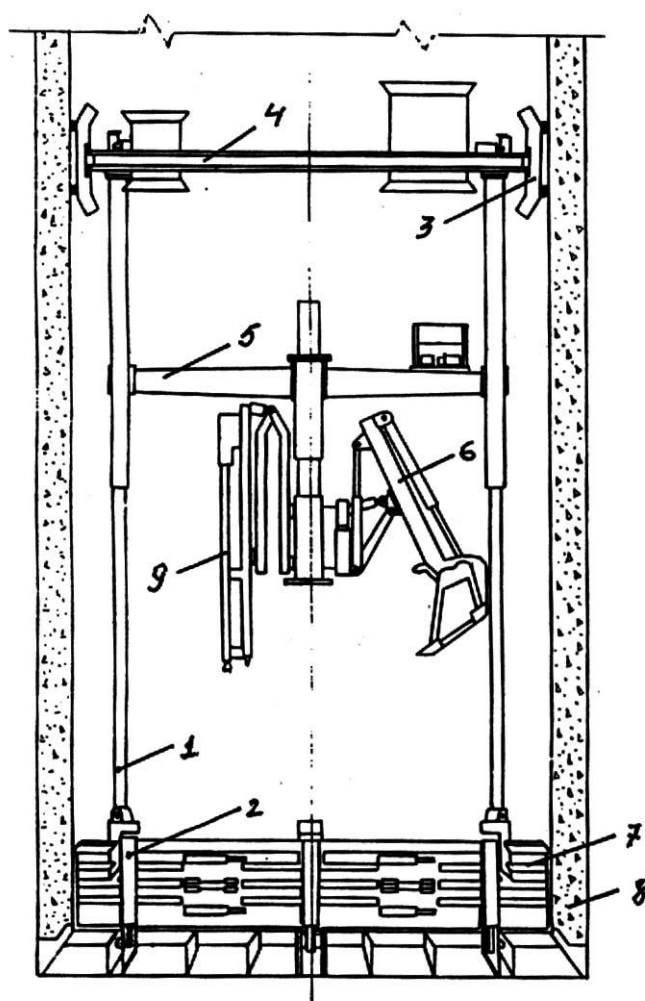


Рис. 2.4. Комплекс шагающий с монолитной бетонной крепью КШС:

1 – гидравлический домкрат перемещения; 2 – нож режущий; 3 – распор горизонтальный; 4 – подвесной полка; 5 – рама полка; 6 – ковш погрузочный; 7 – секции опалубки; 8 – бетонная крепь; 9 – бурильная машина.

Особенностью комплекса является шагающий принцип перемещения забойного оборудования с одновременным опусканием опалубки, проходческого полка, подъемом и опусканием погрузочной и бурильной

машин.

Промышленное испытание комплекса показало, что производительность труда повышается в 3-4 раза за счет механизированной разработки и погрузки породы, исключения ручных работ при оформлении стенок ствола и совмещения этих процессов проходческого цикла. Техническая производительность комплекса 120 м/мес.

2.5 Эксплуатация шахтных стволов

При строительстве метрополитенов глубокого заложения шахтные стволы предназначены для спуска людей и материалов для выдачи породы при сооружении станции и межстанционных тоннелей, для целей вентиляции и водоотлива. В период эксплуатации метрополитена сооруженные стволы служат чаще всего для целей вентиляции. Оборудование ствола принимается в зависимости от назначения ствола, объема и скорости ведения проходческих работ. Наиболее простым является оборудование, используемое для подъема породы и подачи материалов при проходке ствола. Более сложным – оборудование, применяемое при основных работах по сооружению станций и межстанционных тоннелей. При проходке стволов метрополитенов используют одно или двухбадьевой подъем. При однобадьевом подъеме в движении находится одна бадья, другая в это время грузится в забое. При двухбадьевом подъеме одновременно движутся две бадьи: груженная вверх, порожняя – вниз, третья бадья – грузится в забое. Для увеличения производительности однобадьевого подъема применяют бадьи большей емкости и механизированную погрузку породы в забое ствола.

После завершения проходки ствола и сопряжения, т.е. перед началом основных работ целесообразно установить постоянную армировку и переоборудовать ствол с бадьевого на клетьевого или скиповой подъем. В состав оборудования шахтного подъема для основных работ входит копер со шкивами, подъемная машина с электродвигателем и пускорегулирующей аппаратурой, клетки или скипы, подвешенные на канатах.

Клетьевого подъем более производителен по сравнению с бадьевым и применяется при большом объеме перемещаемых по стволу материалов и породы в период сооружения станции или тоннелей метрополитена.

В зависимости от требуемой производительности вертикального транспорта применяют одно или двухклетьевого подъем. При одноклетьевом подъеме требуется противовес для уравнивания клетки с грузом. При двухклетьевом подъеме клетки взаимно уравниваются. Клетки на одну и две вагонетки используются для подъема породы и опускания строительных материалов, а также для перемещения рабочих. По торцевым сторонам клетки имеются двухстворчатые двери, запираемые снаружи. В крыше предусматриваются откидывающиеся на петлях створки, дающие возможность располагать в клетях длинномерные материалы. В основании клеток имеется стопорное приспособление для удержания вагонетки в зафиксированном положении. Клеть присоединяется к подъемному канату при помощи

специального прицепного устройства.

Для обеспечения безопасности применяется парашютное устройство, которое в случае обрыва каната за счет проводников обеспечивает надежное и плавное торможение клетки.

В особых случаях, при возведении исключительно больших подземных сооружений, например, односводчатых станций метрополитена, с целью увеличения пропускной способности, ствол оборудуют скиповым подъемом.

Практика использования скиповых подъемов показала их высокую производительность при подъеме из тоннелей породы, но в случае их применения возникает необходимость сооружения ряда подземных камер, а также вспомогательных грузо-людских подъемов.

Мосметростроем был испытан автоматизированный скиповой подъем. В одном стволе шахты диаметром в свету 5,1 м разместили два подъема с противовесами – клетевой (грузо-людской) и скиповой (для породы). Для уменьшения размеров занимаемой площадки подъемные машины были расположены на копре; в машинном помещении, размещенном на отметке 21,9 м, установили две лебедки 2БЛ-1600/830, а под лебедками на отметке 18,4 м – уравнильные шкивы. Рядом с копром находился бункер с качающимися питателями для погрузки породы в автомашины. Выше бункера были закреплены разгрузочные кривые. Приемная площадка для клетки располагалась на нулевой отметке, что обеспечивало удобную загрузку в клеть вагонеток с тубингами, а также посадку и выход из них людей.

В околоствольном дворе (рис. 2.5) были установлены круговой опрокидыватель 1, цепной толкатель 2 и бункер 3 с загрузочным устройством 4. Скип 5 емкостью 3 м³ (объем двух вагонеток) разгружался через дно. Такую же емкость имел бункер под опрокидывателем, что позволяло обходиться без дозирующего устройства.

При опускании скипа 5 к месту загрузки он под действием собственной массы нажимал на педаль 6, которая через систему тросов поворачивала лоток загрузочного устройства 4, направляя породу в скип. При движении вверх скип освобождал педаль 6 и под действием противовесов лоток загрузочного устройства поворачивался в исходное положение, зарывая выход из бункера 3.

Во время движения скипа происходило заполнение породой загрузочного бункера. При этом из состава вагонеток 7, снабженных защищающимися сцепками, цепным толкателем 2, выталкивалась одна емкость 1,5 м³ и опрокидывалась в загрузочный бункер 3. Затем проталкивалась вторая вагонетка и тоже опрокидывалась. Далее скип опускался и нажимал на педаль, в результате происходила автоматическая загрузка его и поднятие вверх, после чего опрокидывались следующие две вагонетки. В такой последовательности операции повторялись до полной разгрузки состава, а порожние вагонетки электровозом доставлялись в забой.

Управление скиповым подъемом производится оператором, находящимся на околоствольном дворе. При ручном управлении требовались два человека – машинист и оператор.

Производительность автоматизированного скипового подъема породы доведена до $140 \text{ м}^3/\text{ч}$, что при четырехсменной работе (20 час. чистого времени) составляет $2800 \text{ м}^3/\text{сут.}$, т.е. в два раза выше производительности обычных горных комплексов с двухклетьевым подъемом.

Опыт использования горного комплекса нового типа показал хорошие результаты. В течение семи месяцев эксплуатации скипового подъема в стволе метростроя была выявлена надежность и безотказность работы всех его устройств как в летнее, так и в зимнее время года.

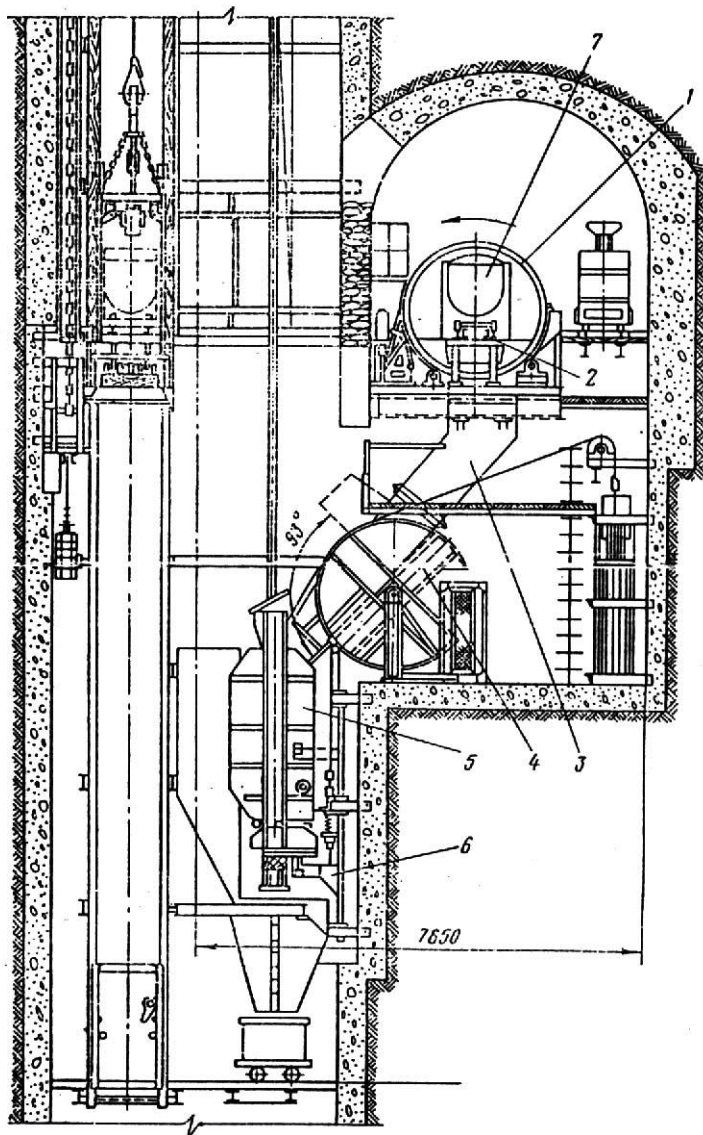


Рис. 2.5. Схема околоствольного двора при применении скипового подъема:
 1 – круговой опрокидыватель; 2 – цепной толкатель; 3 – бункер; 4 – загрузочное устройство; 5 – скип; 6 – педаль нажимная; 7 – вагонетки.

Использование шахтных подъемов при мелком заложении тоннелей резко повышает производительность подъема грунта на поверхность, поэтому в последнее время широкое распространение получили наклонные подъемники с опрокидными клетями и вагонетками емкостью $1,5 \text{ м}^3$. При

опрокидывании в специальных кривых вагонетка разгружается в металлический бункер. Подъемник обычно размещается в щитовой монтажной камере.

Глава 3. Поверхностный горный комплекс у условиях метрополитена

При строительстве метрополитенов и подземных сооружений около шахтных стволов или порталов возводят поверхностный горный комплекс, который включает временные здания и сооружения, необходимые для обеспечения нормального производства горнопроходческих и строительно-монтажных работ. Эти сооружения условно подразделяются на основные и вспомогательные.

Основными – принято считать сооружения, предназначенные для выдачи породы из забоев выработок, подготовки и транспортировки в забой материалов и элементов тоннельных и станционных конструкций, а также для спуска и подъема рабочих.

К вспомогательным относятся механические мастерские, склад материалов, арматурный двор, трансформаторная станция, компрессорная, административные помещения.

Основные сооружения примыкают к устью ствола или к порталу и носят название поверхностного горного комплекса.

Существуют несколько вариантов горного комплекса применительно к типу подъема: клетьевого или скипового. В практике строительства метрополитенов наибольшее распространение получил клетьевого подъем с типовыми сооружениями горного комплекса, возводимых из сборно-разборных конструкций.

При ведении работ в стесненных условиях города к строительным площадкам предъявляется дополнительно требование – не нарушать нормальных условий жизни населения и эксплуатации сложного городского хозяйства.

3.1 Сооружение горного комплекса

В проекте строительства метрополитенов к сооружениям горного комплекса принято относить (рис. 3.1): копер 3, помещение подъемной машины 6, бункерную 1 и тельферную эстакады 5, соединенные переходными мостами 2 и 4.

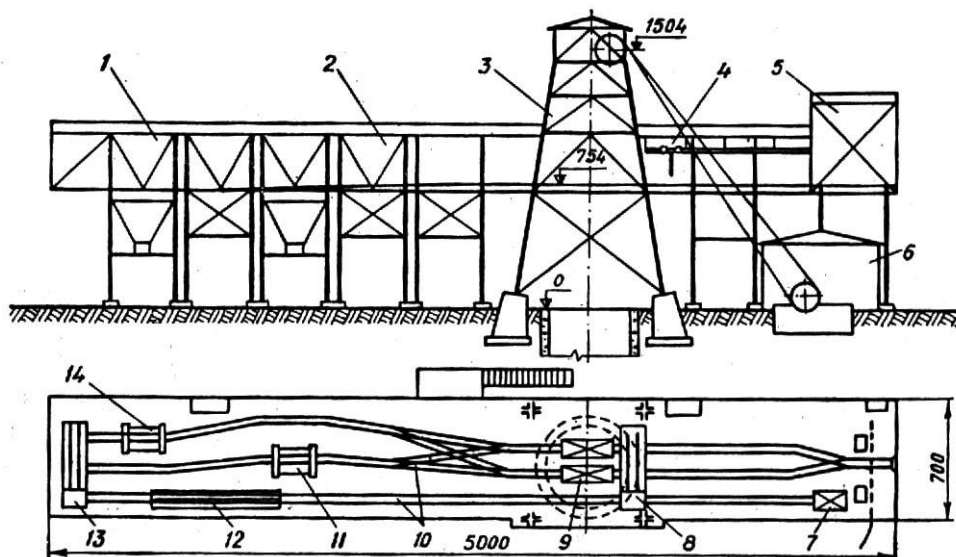


Рис. 3.1. Механизированный горный комплекс для проходки тоннелей:

1 – бункерная эстакада; 2, 4 – переходные мосты; 3 – копер; 5 – тельферная эстакада; 6 – здание подъемной машины; 7 – вспомогательный подъемник; 8, 13 – поперечные тележки; 9 – шахтная клеть; 10 – откаточные пути; 11, 14 – круговые опрокидыватели; 12 – компенсатор высоты.

Механизированный горный комплекс для строительства метрополитена глубокого заложения работает следующим образом. Шахтные клетки 9 поднимаются на высоту 7,5 м от поверхности земли. На этом уровне положены откаточные пути 10 с уклонами в направлении движения вагонеток и компенсатором высоты 12, со стрелочными переводами и поперечными тележками 8 и 13. Наличие этих устройств, а также толкателей вагонеток и стопоров обеспечивает самокатное движение груженых и порожних вагонеток, регулируемое с пульта управления. Разгрузка вагонеток в бункеры выполняется при помощи круговых опрокидывателей 11 и 14 также с дистанционным управлением. Со стороны тельферной эстакады установлен вспомогательный подъемник 7. Надшахтный копер предназначен для размещения подъемных устройств вертикального транспорта. Наибольшее распространение получили универсальные сборно-разборные копры шатрового типа, позволяющие работать с тремя клетями и противовесом. Такой копер монтируют из стальных иногда железобетонных элементов на болтовых соединениях. Основная конструкция металлического копра состоит из главных и боковых ферм. Внутри шатра размещаются направляющие для клетей. Ноги копра прикрепляются анкерными болтами к блокам железобетонных фундаментов. Снаружи копер обшивается шифером.

Здание подъемной машины 6 представляет одноэтажное помещение облегченного типа, размеры которого определяются габаритами и количеством устанавливаемых подъемных машин. Системы возводятся из шлакоблоков или бетонных панельных блоков и других материалов.

Фундамент под подъемные машины сооружается из монолитного бетона. К покрытию зданий каких либо особых требований не предъявляется.

Бункерная эстакада предназначена для приема породы из шахты и погрузки ее в транспортные средства. Эстакада состоит из двух-трех инвентарных бункерных секций, каждая из которых состоит из сборно-разборного металлического каркаса, бункера емкостью 20-25 м³ и пластинчатого транспортера-питателя, перемещающего породу из бункера к разгрузочному отверстию. Стойки эстакады крепятся к анкерным болтам, заделываемыми в блочные железобетонные фундаменты.

Тельферная эстакада примыкает к стволу со стороны, противоположной бункерной эстакаде, и в плане располагается на кривой под любым углом. Конструкция эстакады также металлическая сборно-разборная. К верхнему поясу подвешивается на болтах монорельс для тельфера, при помощи которого производится складирование и транспортировка к устью ствола элементов обделки тоннелей и штучных материалов. Стойки опираются на блочные железобетонные фундаменты.

Тюбинги на строительную площадку подаются в автомобилях непосредственно под тельферную эстакаду. Тельфер поднимает тюбинг с автомобиля и укладывает его, передвигаясь по монорельсу на местный склад, находящийся под эстакадой.

Подача тюбингов к стволу производится по монорельсу, который проходит над тупиковым мостиком, находящемся на уровне верхней приемной площадки. На тупиковом мостике тюбинг погружается на платформу, которая загружается в клеть и затем спускается в околоствольный двор.

Механизированный горный комплекс для проходки тоннелей мелкого заложения может располагаться на границе открытого и закрытого способа сооружения метрополитена. Главная отличительная особенность состоит в установке подъемной лебедки наверху копра, что позволяет исключить строительство здания подъемной машины.

Конструкция копра обычно выполняется из тюбингов тоннельной обделки диаметром 6 м с оставлением проемов на уровне поверхности земли и на высоте примыкания площадки бункерной эстакады. К верхней части копра крепится сборно-разборный оголовок с рамой для установки подъемной лебедки. Непосредственно к копру примыкает только бункерная эстакада. Тельферная эстакада располагается отдельно вблизи специального проема для спуска материалов.

3.2 Производственные и административно-хозяйственные помещения

К этим сооружениям относятся вспомогательные помещения, предназначенные для обеспечения выполнения основного производственного процесса – строительства метрополитена.

Механическая мастерская располагается в утепленном здании, в котором устанавливается простейшее станочное и кузнечное оборудование,

необходимое для текущего ремонта всех средств механизации, эксплуатируемых при строительстве метрополитена. В здании выделяется помещение для электроремонтных и сварочных работ.

Компрессорная станция. Размер здания зависит от типа и количества устанавливаемых компрессоров. Целесообразно применение передвижных компрессорных установок, не требующих сооружения зданий.

Трансформаторная подстанция предназначена для энергоснабжения строительства. Наиболее целесообразно применение комплектных трансформаторных подстанций, представляющих собой сборную металлическую конструкцию из камер высокого напряжения, камер трансформаторов, щита низкого напряжения, металлического основания и крыши. При отсутствии комплектных трансформаторных подстанций для трансформаторов сооружается временное специальное здание из негорючих материалов.

Склад материалов может быть открытого или закрытого типа. В закрытых помещениях хранится цемент, инвентарь, запасные части к машинам, инструмент и т.д. На открытых площадках складировются сборные конструкции, кирпич, лесоматериалы, металл. К складам должен быть обеспечен удобный подъезд.

Временный душевой комбинат предназначен для хранения чистой одежды, мойки под душами.

Помещение управления – предназначено для размещения инженерно-технического персонала.

Все сооружения на строительных площадках должны располагаться с учетом наиболее удобных подъездов к ним и соблюдением противопожарных требований. Так как поверхностных горный комплекс устраивается в черте города, возникает необходимость в ограждении его инвентарным забором.

Глава 4. Околоствольный двор

Для подхода от ствола к основной трассе сооружаемых выработок метрополитена и выполнения транспортных операций, производимых через ствол, создается система выработок и подходных штолен объединенных под общим названием околоствольный двор.

Под этим условным названием подразумеваются горизонтальные выработки, непосредственно примыкающие к стволу и расположенные на уровне сооружаемых тоннелей и станций метрополитена. Это подходные выработки к стволу, обгонная выработка вокруг ствола, насосная и электрораспределительная камеры, склад для хранения взрывчатых материалов и т.д.

По условиям расположения клетей и подъемных устройств продольные оси бункерной эстакады поверхностного комплекса и околоствольного двора должны находиться в одной вертикальной плоскости. Другим основным условием ориентирования околоствольного двора должна служить увязка с расположением основных тоннелей строительства метрополитена.

Необходимость в околоствольном дворе может отпасть, если ствол расположен на оси тоннеля, но в городских условиях застроенности территории это не всегда возможно и поэтому ствол чаще располагают в стороне от пролегающей трассы метрополитена.

Поскольку пройденные стволы после завершения строительства, т.е. в период эксплуатации метрополитена используются для целей вентиляции, то проектирование околоствольных выработок ведется в увязке с будущим направлением вентиляционных каналов.

Там, где сооружение тоннелей предполагается осуществлять при помощи щита, околоствольные выработки должны иметь габариты для пропуска наибольших размеров частей щита.

4.1 Типы околоствольных дворов и их особенности

В зависимости от расположения околоствольных дворов по отношению к стволу (с одной или двух сторон) – они могут быть соответственно односторонними или двухсторонними (рис. 4.1).

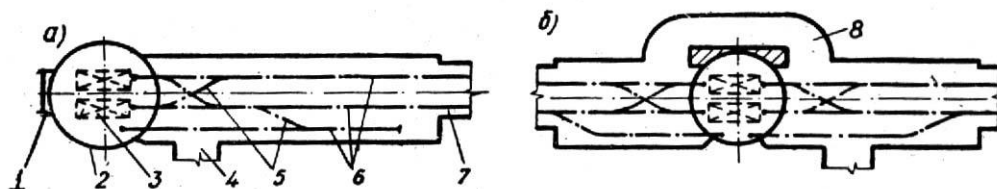


Рис. 4.1. Односторонний тупиковый и двухсторонний околоствольные дворы:
1 – тупик; 2 – ствол; 3 – клетевой подъем; 4 – ходок в насосную камеру; 5 – съезды; 6 – рельсовые пути; 7 – подходная штольня; 8 – обходная выработка.

Односторонний (тупиковый) околоствольный двор (рис. 4.1 а) представляет собой выработку диаметром 5-6 м или сводчатого сечения такой же ширины и длиной 15-20 м, расположенную с одной стороны клетьевого ствола 2. В околоствольном дворе укладываются два-три рельсовых пути 6 со съездами 5 и устанавливаются механизмы с дистанционным управлением для перемещения вагонеток. Обделка выработки применяется, как правило, из сборного железобетона. К околоствольному двору примыкает подходная штольня 7 и ходок в насосную камеру 4.

Опыт строительства метрополитенов показывает, что односторонний двор справляется с грузопотоками при одновременном проведении не более двух тоннелей диаметром до 5-6 м. Поэтому односторонние околоствольные дворы целесообразно применять при строительстве только перегонных тоннелей.

Двухсторонний околоствольный двор (рис. 4.1 б) характеризуется расположением выработок с обеих сторон от ствола (так, что через клетки возможно сквозное движение вагонеток) и наличием обгонной выработки 8. Применяются при больших грузопотоках и могут обеспечить переработку грузов при одновременном продвижении 3-4 тоннельных забоев диаметром до 5-6 м. При строительстве метрополитенов такие околоствольные дворы сооружаются у стволов, обслуживающих сооружение станций.

Общая длина двухстороннего околоствольного двора 30-35 м (18-20 м грузовая ветвь и 12-15 м - порожняковая). С обеих сторон устраиваются толкатели верхнего действия для механизации маневровых работ, связанных с груженными и порожними вагонетками.

При применении механизированных эстакад на поверхностном комплексе организация работ в околоствольном дворе должна быть увязана с работой поверхностного комплекса. Поэтому расположение вспомогательных выработок, примыкающих к стволу, и их оборудование должно обеспечить работу подземного транспорта по поточному принципу.

Этим условиям удовлетворяет такая схема расположения околоствольных выработок (рис. 4.2), при которой строго разграничивается направление движения груженых и порожних вагонеток. С целью механизации этих работ устраивают толкатель верхнего действия лишь в грузовой части околоствольного двора 3. С противоположной стороны, т.е. порожняковой ветви околоствольного двора 7 предусматривается, как на поверхности, самокатные пути, имеющие продолжительный уклон 0,015. Принцип организации технологического процесса в околоствольном дворе и на механизированной эстакаде поверхностного комплекса идентичен.

По мере опускания клетки на уровень откатки в выработках метрополитена отводятся предохранительные решетки подъема и освобождаются фиксирующие устройства клетки спускаемой вагонетки. Обмен вагонеток в клетки производится при помощи толкателя. Порожняя вагонетка выталкивается груженной, которая фиксируется в клетки стопорным устройством. После перекрытия подъемного отделения ограждающей решеткой, клеть выдается на поверхность. Груженные вагонетки подаются к

выработок околоствольного двора не менее чем на 0,5 м. Обделка из сборного железобетона или монолитного бетона. На уровне горизонтального диаметра камеры устраивают перекрытие 4 обычно из металлических балок для установки насосов. Нижняя часть камеры 5 является водосборником, емкость которого должна быть не менее получасового притока воды. В продольном направлении водосборник разделяется сплошной железобетонной перегородкой для возможности поочередной очистки отсеков. Насосная камера сооружается при общем притоке воды более 50 м³/час. если приток меньше, то насосы устанавливаются в штольне обычного сечения с устройством системы водозабора.

Электрораспределительная камера сооружается также вблизи ствола шахты, рядом с насосной камерой. Такое расположение подстанции определяется тем, что насосная камера является одним из основных потребителей электроэнергии. Сечение камеры обычно принимается 2,5х3,0 м, длина 5-6 м, обделка из сборного железобетона. Бывает целесообразно отказаться от сооружения отдельной камеры, а электрораспределительные устройства монтируют в торце удлиненной насосной камеры.

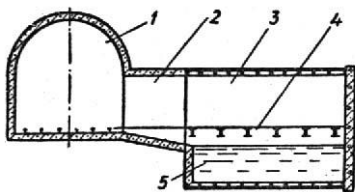


Рис. 4.3. Насосная камера:

1 – выработка околоствольного двора; 2 – ходок; 3 – насосная камера; 4 – перекрытие; 5 – водосборник

5. Основная камера склада ВВ для хранения взрывчатых веществ 2 располагается от ствола не ближе 20 м и от подходной штольни – 15 м. Камера 1 предназначена для гашения детонации (на случай взрыва) и хранения пожарного инвентаря, камера 7 – для хранения средств инициирования (СИ), 3 – для раздачи ВВ и СИ, 4 – для проверки электродетонаторов, 6 – для электрораспределительных устройств. Ширина камер не менее 2 м.

Склад взрывчатых материалов (рис. 4.4) обычно примыкает к подходной штольне

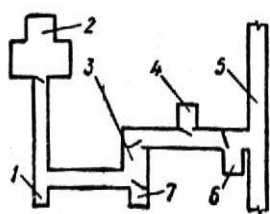


Рис. 4.4. Склад взрывчатых материалов:

1 – тупиковая камера для гашения детонации (на случай взрыва); 2 – камера хранения ВВ; 3 – камера раздачи ВВ и СИ; 4 – камера проверки электродетонаторов; 5 – подходная штольня; 6 – камера электрораспределительных устройств; 7 – камера электрораспределительных устройств

Основной принцип взаимной планировки камер и ходков – уступчатость, при которой обеспечивается наилучшее гашение ударной волны на случай взрыва. Крепь – бетонная или сборная железобетонная. Камеры отделяются от ходков кирпичными перегородками.

Склад оборудуется телефоном и сигнализацией. Все электроприборы должны иметь взрывобезопасное исполнение.

Камера монтажа щитов располагается в плане и по высоте так, чтобы продольная ось смонтированного в ней щита соответствовала проектному положению при проходке тоннеля. Камеры для перегонных щитов устраиваются вблизи выхода на трассу подходной штольни, для стационарных щитов – в начале стационарных тоннелей и входят в их полезную длину. Размеры камер определяются габаритами проходческих щитов. Для перегонных щитов диаметром 5,6 и 6 м камера сооружается из колец сборной обделки диаметром 8,5 м; для стационарных щитов диаметром 9,5 м диаметр камеры должен быть не менее 11,2 м. Обделка в этом случае возводится из монолитного бетона. Длина камер обычно принимается – 6 м. В свод обделки заделываются двутавровые балки для такелажных работ при монтаже щита. Для монтажа щита применяются лебедки. В лотковой части камеры устраивают бетонную подушку с забетонированными направляющими рельсами по контуру опирания корпуса щита. Для вывода щита из камеры в ее лотковой части укладывают неполные тубинговые кольца с упором в торцовую стену и передвигают щит нижними щитовыми домкратами вплотную к забою. Дальнейшее продвижение осуществляется по обычной технологии.

Глава 5. Строительство перегонных тоннелей глубокого заложения

Перегонные тоннели предназначены для движения поездов с пассажирами и по своему протяжению составляют основную часть подземной линии метрополитена. Они различаются по числу путей, форме поперечного сечения и материалу отделки.

По числу путей перегонные тоннели подразделяются на одно, двух и многопутные. При закрытом способе производства работ предпочтение отдается имеющим наименьшие размеры и наибольшее распространение однопутным перегонным тоннелям.

При открытом способе сооружения наибольшее распространение на метрополитенах мира имеют двухпутные перегонные тоннели.

В конце каждой линии метрополитена за последней станцией прокладываются служебные пути для оборота составов. Обратные пути могут быть в виде тупиков со съездами с главных путей или в виде петли минимально допустимого радиуса, являющегося продолжением перегонных путей.

На Украине принята первая схема обратных путей, так как она позволяет в случае необходимости продлить линию метрополитена с наименьшими затратами.

5.1 Подвижный состав

Электрические поезда метрополитенов состоят из моторных и прицепных вагонов, число которых зависит от необходимой провозной способности линий и определяется расчетом. Вагоны объединяются в секции, состоящие из одного моторного и одного прицепного вагонов, и управляются из главной кабины, благодаря наличию межвагонных электрических соединений.

Размеры вагонов и их конструкция различны для разных метрополитенов мира и в одних случаях соответствуют железнодорожному габариту, а в других имеют свой собственный габарит, меньший, чем на железных дорогах.

На метрополитенах бывшего СНГ применяются вагоны типов А, Б, Г, Д и Е, имеющие одинаковую длину и ширину и одинаковую максимальную вместимость, соответствующую 270 человек, при количестве мест для сидения, равном 44.

Вагоны разных типов отличаются друг от друга весом, расстоянием между дверями и шириной дверных проемов. Габариты этих вагонов: ширина - 2820 мм, длина - 18840 мм, высота - 3622 мм. В настоящее время изготавливаются вагоны серии Н, в которой предусмотрено дальнейшее усовершенствование.

Для несущих конструкций применен алюминиевый сплав, для внутренней отделки полимерные материалы, что позволило уменьшить массу вагона с 36 до 30 тонн и увеличить скорость движения до 100 км/час.

В мировой практике эксплуатации метрополитенов существуют поезда двухэтажных вагонов, обслуживающие кольцевую линию в Мельбурне, что требует высоту тоннелей не ниже 5,9 м. Самый большой вагон, эксплуатируемый на линиях метрополитена, имеется в Гонконге. Его предельная вместимость 400 пассажиров при 48 местах для сидения. Длина вагона 22,5 м, ширина – 3,2 м и снабжен он пятью двойными (а не четырьмя, как все стандартные вагоны) дверьми.

На отдельных линиях метрополитенов мира в Париже, Монреале, Мехико и Саппоро имеется специальная колея для поездов на *пневматических шинах* (с бетонными дорожками), что обеспечивает плавность и бесшумность движения поездов и позволяет трассировать линии с увеличенными уклонами.

Ширина колеи метрополитенов СНГ одинакова с шириной нормальной железнодорожной колеи 1520 мм. В зарубежных странах наиболее распространенная ширина колеи метрополитенов – 1435 мм. В некоторых странах отсутствует единый стандарт на ширину колеи. Японии, например, приняты колеи 1067, 1372, 1435 и 2180 мм.

5.2 Поперечное сечение перегонных тоннелей

Размеры и очертания внутреннего свободного пространства тоннеля метрополитена зависят от размеров подвижного состава, и размещаемого в тоннеле оборудования. Внутреннее очертание обделки тоннелей метрополитена должно располагаться в пределах линий габарита, утвержденными Строительными нормами и правилами.

В практике проектирования и строительства тоннелей существует несколько габаритов:

- габарит приближения строений, называют предельной поперечной осью тоннеля контур, внутрь которого не должны входить никакие части строений (выступы обделки тоннелей, платформы, колонны);
- габарит приближения оборудования – это предельное поперечное очертание, внутрь которого не должны входить никакие части оборудования, размещаемые в тоннеле;
- габарит подвижного состава – это предельное поперечное очертание, в которое должен вписываться подвижной состав, этот габарит учитывает все отклонения вагона при движении и вынос кузова на кривых участках пути

При движении поезда в тоннеле метрополитена по прямой ни одна часть исправного вагона не должна выходить за очертание габарита подвижного состава.

Габариты приближения строений и приближения оборудования устанавливаются с учетом необходимости расположения между ними устройств пути, освещения, электроснабжения и сантехники. Кроме этого, габарит приближения строений учитывает допустимые по отношению к проектным размерам отклонения и деформации сооружения при строительстве и обеспечении прохода людей.

Форма и размеры поперечного сечения межстанционных тоннелей метрополитена зависят от числа путей, габаритов подвижного состава и существующих зазоров между подвижными составами (в двухпутевом тоннеле), обделкой и подвижным составом.

Однопутные тоннели, сооружаемые закрытым способом, делаются кругового очертания – наиболее удобного для механизированной щитовой проходки. Тоннели, сооружаемые открытым способом, имеют прямоугольную форму, при которой проще изготавливаются крупногабаритные конструкции сборных обделок. Применительно к двум формам поперечного сечения перегонных тоннелей установлены два типа их габаритов. Между контуром обделки и габаритами подвижного состава предусмотрены зазоры для служебной дорожки и размещения кабелей и труб различного назначения.

Поперечное сечение тоннелей кругового очертания на прямолинейных участках и на криволинейных с радиусом более 200 м представлен на рис. 5.1 а. В нижней правой по ходу движения поезда имеется выступ внутрь круга, предназначенный для размещения служебной дорожки.

Обделка – строительная конструкция, возводимая в подземных сооружениях для сохранения их размеров и формы, защиты от обрушений и чрезмерных смещений окружающих пород, от проникновения подземных вод.

Обделка является постоянной крепежной конструкцией, предназначенной для закрепления внутренней поверхности горной выработки и придания ей правильного, соответствующего проекту очертания. Обделка тоннеля должна воспринимать горное давление по контуру выработки, временные нагрузки, передаваемые с поверхности земли при мелком заложении тоннеля, сейсмические воздействия и другие нагрузки. Во всех этих случаях обделка является несущей конструкцией, которая должна обладать достаточной прочностью, устойчивостью и водонепроницаемостью.

На выбор формы поперечного сечения обделки оказывает влияние величина и направление горного давления, условия ее работы, материал обделки и способ сооружения тоннеля.

В практике строительства метрополитенов для перегонных, станционных тоннелей и станций метрополитена применяют монолитный бетон или железобетон, железобетонные блоки и тубинги, чугунные тубинги. Эти материалы достаточно прочны и долговечны и позволяют вести работы по их сооружению индустриальными методами.

Обделка из монолитного бетона и железобетона применяется при сооружении выработок большого сечения - станций метрополитена, камер съездов, раструбных участков. Для перегонных тоннелей, сооружаемым щитовым способом, монолитный бетон применяют для обделок, возводимых из прессованного бетона. Такая обделка имеет ряд положительных качеств: безшовность, плотность, повышенная прочность, возможность быстрого набора прочности, водонепроницаемость, индустриальность возведения. Для получения таких бетонных обделок целесообразно применять прессование при помощи щитовых домкратов в сочетании с вибрированием. Прессование поданной за опалубку бетонной смеси производится домкратами щита в момент его передвижки. В процессе прессования под давлением 1-1,5 МПа под торцом прессующего кольца происходит отжатие из бетонной смеси избыточной воды и осуществляется плотный контакт обделки с породой. Монолитно-прессованная обделка обладает повышенной прочностью до 30% и модулем деформации до 20%. Ведутся работы по радиальному способу прессования бетона в скользящей опалубке. Применяется дисперсное армирование монолитно-прессованных обделок.

Монолитные железобетонные обделки применяются при наличии в этих конструкциях больших растягивающих напряжений (припортальные участки метрополитена, пересечение перегонных тоннелями зон геологических нарушений и т.д.). Процент армирования от 0,5 до 2%. Арматура используется в виде сварных каркасов. На распределительную арматуру приходится не более 15% объема рабочей.

За рубежом распространена так называемая крепь Бернольда, в которой используются арматурно-опалубочные щиты из листовой стали толщиной 2-3

мм с образованными штамповкой прорезями и местными изгибами, обеспечивающими жесткость щитов. Щиты могут устанавливаться между арками временной крепи и использоваться как затяжка с дальнейшим покрытием их набрызгбетоном, в результате чего образуется армированная набрызг-бетонная обделка, а также как опалубка при возведении монолитной бетонной обделки. Щиты остаются в теле обделки в качестве арматуры. После бетонирования щиты покрывают защитным слоем набрызгбетона.

Обделка сборная монтируется в подземных сооружениях в кольцо из отдельных элементов (блоков или тюбингов) заводского изготовления.

Сборные железобетонные тоннельные обделки получили в настоящее время преимущественное распространение, так применение их позволяет более полно механизировать проходку тоннелей, повысить производительность труда, увеличить скорость сооружения и уменьшить срок строительства метрополитена.

Попытки применения сборной тюбинговой крепи на шахтах в Донбассе относятся еще к 1911 году. Однако широкому ее применению мешали недостаточная разработанность расчетов конструктивных элементов крепи, несовершенная технология изготовления и монтажа.

В настоящее время для сборных обделок в качестве материала применяют бетон, железобетон, чугун. Ведутся работы по исследованию возможности применения для сборных обделок новых материалов – пластобетона, полимербетона.

Сборные железобетонные обделки из блоков или тюбингов (рис. 5.2) применяют при строительстве тоннелей круглого сечения, а также станций метрополитена. По конструкции элементов различают обделки из гладких блоков (рис. 5.2 а), ребристых блоков (рис. 5.2 б), ребристых тюбингов.

Блок – это элемент сплошного сечения с гладкими поверхностями.

Тюбинг – элемент с ребристой внутренней поверхностью. Грани блоков и тюбингов, по которым они соединяются в кольцо называются продольными. Они расположены параллельно оси тоннеля. Грани соединяющие отдельные кольца называются поперечными или кольцевыми, они расположены перпендикулярно оси тоннеля.

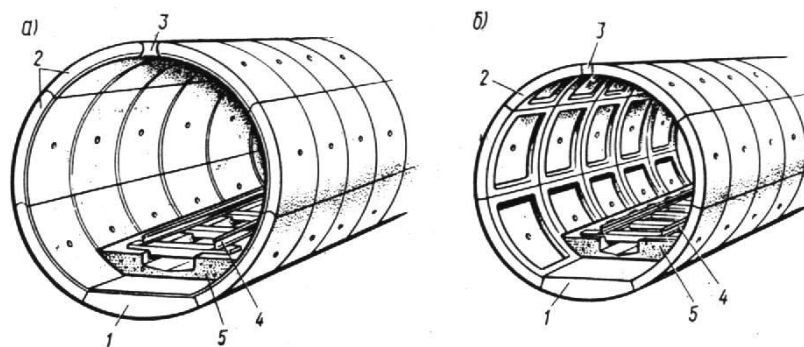


Рис. 5.2. Сборная обделка из железобетонных элементов:

а – блоков сплошного сечения с цилиндрическими стыками; б – блоков ребристого сечения с кольцевыми стыками; 1 – лотковый

(нижний) блок; 2 – нормальные (боковые) блоки; 3 – ключевой вкладыш; 4 – рельсовый путь; 5 – бетонное основание пути.

Конструкция сборной обделки с элементами ребристых блоков (рис. 5.2 б) более удобна для сборки. Кольцевые борта таких блоков имеют отверстия для установки монтажных шпилек, обеспечивающих соединение монтируемых колец друг с другом в продольном направлении.

На кривых участках при сооружении тоннелей из сборных железобетонных обделок применяют специальные угловые кольца или железобетонные угловые прокладки, состоящие из отдельных элементов.

Материал для блоков и тюбингов – бетон марки 400 и выше со сварным арматурным каркасом из стали периодического профиля. Армирование элементов обделки производится по расчету не только на постоянно действующие в эксплуатационных условиях, но и на монтажные нагрузки, в том числе включая усилия щитовых домкратов, упирающихся в кольцевые грани блоков или тюбингов.

Блочная обделка обычно не имеет болтовых связей между элементами в кольце и между кольцами. Поэтому в процессе сборки кольца до его замыкания верхние блоки (выше горизонтального диаметра) должны поддерживаться специальными монтажными устройствами. Применение блоков, соединяемых болтами, не дало положительных результатов, так как в местах углублений для закладки болтов получалась концентрация напряжений в бетоне, приводившая к образованию трещин.

Существует несколько разновидностей конструктивного исполнения блочных обделок. Прежде всего они отличаются по форме. При поиске рациональных конструкций испытывались фигурные блоки с выступающими и впадинами, обеспечивающими взаимную перевязку швов в кольце, что повышало жесткость всей обделки. Однако, обделки из фигурных блоков не получили широкого распространения в связи с трудностью обеспечения высокой точности размеров и формы блоков при их изготовлении. При незначительных отклонениях нормальная сборка обделки становилась невозможной.

В настоящее время во всех применяемых обделках блоки имеют прямоугольную форму. Сборка колец производится с перевязкой или без перевязки швов. Число блоков бывает от 4 до 10. Чем меньше блоков, т.е. чем они крупнее, тем легче обеспечить точную сборку кольца и меньшую трудоемкость работ, выполняемых в тоннеле. Однако оптимальные размеры блоков определяются с учетом габаритов подходных выработок и грузоподъемности монтажного оборудования, принятых при проведении тоннеля.

В каждом кольце обделки блоки могут быть одинаковыми или разными, обычно трех-четырех видов (лотковые, нормальные, смежные и замковые). При одинаковых блоках в кольце продольные грани всех блоков расположены продольно, относительно горизонтальной оси выработки. Такая обделка наиболее проста, но при сборке кольца требуется дополнительная подработка

породы в кровле выработки для установки последнего блока вверху, который заводится со стороны забоя, что особенно затруднительно при щитовой проходке.

При сборе обделки из блоков разного типа (рис. 5.3) кольцо собирается из нескольких нормальных блоков 1 с продольным направлением граней, двух смежных блоков 2 со скошенными в одном торце гранями и одного блока (замкового) 3 с клиновидно направленными продольными гранями. При этом кольцо обделки разбивают так, чтобы суммарная длина двух смежных и замкового блока (по дуге окружности) L равнялась длине двух нормальных блоков. Это позволяет в случае необходимости собирать обделку из однотипных (только нормальных) блоков.

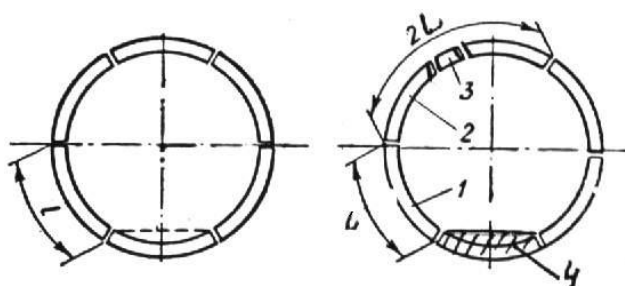


Рис. 5.3. Кольцо блочной обделки:
1 – нормальный блок; 2 – смежный; 3 – ключевой (замковый); 4 – лотковый блок

Для тоннелей метрополитена целесообразно применение сборных обделок с лотковым блоком 4, который облегчает прокладку откаточных путей при проходке тоннеля. В этом случае кольцо обделки собирается без перевязочных швов.

В блочной кольцевой обделке стыки между блоками в кольце (рис. 5.4) могут быть:

а – плоскими с монтажными шпильками;

б – плоскими с цилиндрическими вкладышами;

в – плоскими с болтовыми соединениями;

г – цилиндрическими.

Практика применения сборных железобетонных обделок и стендовые экспериментальные исследования показали, что несущая способность обделки определяется прочностью продольных стыков.

В плоском стыке с монтажными шпильками (рис. 5.4 а) в каждом торце элемента предусмотрены два отверстия глубиной 100 мм для установки в них фиксаторов – стальных шпилек 1 диаметром 30 мм. Диаметр отверстий должен быть на 4-5 мм больше диаметра шпилек, что облегчает монтаж блоков и исключает работу шпилек на изгиб при деформации кольца обделки под

нагрузкой.

В плоском стыке с цилиндрическим вкладышем (рис. 5.4 б) в каждом

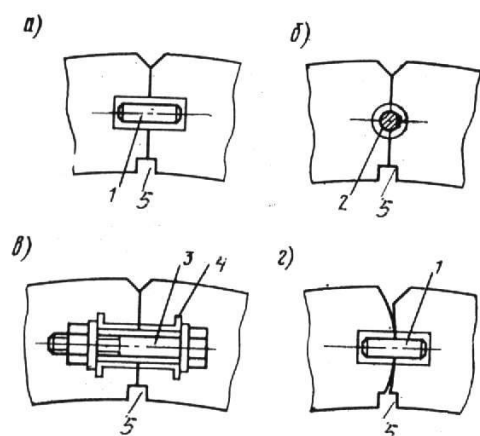


Рис. 5.4. Типы стыков сборной железобетонной обделки:

а – плоский стык с монтажными стыками; б – плоский стык с цилиндрическим вкладышем; в – плоский стык с болтовой связью; г – цилиндрический стык; 1 – стальная шпилька; 2 – цилиндрический вкладыш; 3 – болт; 4 – металлическая труба; 5 – чеканная канавка для гидроизоляции.

торце блока посередине высоты по все ширине предусмотрен цилиндрический паз радиусом 30-40 мм. При монтаже кольца обделки из блоков в образующиеся отверстия вставляются цилиндрические вкладыши 2 в виде железобетонного или из круглого проката стержня. При этом диаметр вкладыша должен быть на 5-8 мм меньше диаметра отверстия, а длина составляет 0,3-0,5 ширины кольца.

Шпильки и цилиндрические вкладыши обеспечивают при монтаже правильное положение блоков в кольце, не препятствуя их взаимному повороту. Приведенные на рис. 5.4 а, б, г стыки не имеют связей растяжения. Поэтому, когда под действием изгибающего момента в кольце обделки возникают растягивающие усилия, например, с наружной стороны кольца, стык в этом месте раскрывается (рис. 5.5) и между стыкуемыми элементами образуется небольшой угол. Раскрытие стыка может получиться и при монтаже блоков за счет отклонения размеров блоков от проектных значений.

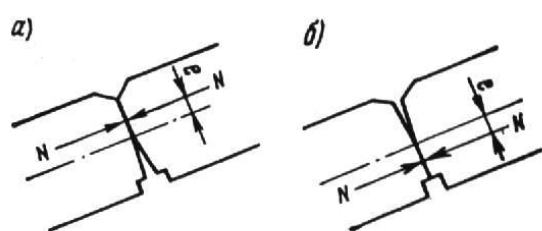


Рис. 5.5. Раскрытие стыка:

а – внутри кольца; б – снаружи кольца

В раскрытом стыке передача внутренних усилий происходит по некоторой площадке смятия, смещенной от центральной оси к внешнему или внутреннему краю кольца. Поэтому нормальные силы N в кольце обделки начинают действовать смещенно, относительно центральной линии кольца с эксцентриситетом e приводит к возникновению

значительного изгибающего момента. Напряжения сжатия возрастают и могут вызвать скалывание бетона. Для создания шарнирности и центрирования нормальных сил в стыках с плоскими гранями могут применяться прокладки. Этот способ эффективен при использовании для прокладок упругого материала, отвечающего требованиям специфических условий его работы. Такими требованиями соответствует прокладка толщиной 5-6 мм и проверенной стойкостью к ползучести, например, винипласт или спецрезина.

Ее ширина должна составлять примерно половину ширины торца стыкуемых элементов. Прокладка обеспечивает возможность некоторого поворота элементов в стыке за счет ее смятия и более равномерного распределения напряжения, уменьшая эксцентриситет нормальной силы. Одновременно она служит дополнительным средством гидроизоляции шва.

Недостаток такого решения – повышенная деформативность обделки и увеличенная трудоемкость монтажа за счет установки прокладок между блоками.

В плоском стыке с болтовой связью (рис. 5.4 в) болт 3 обеспечивает соединение блоков через отверстия, армированные отрезками металлических труб с фальцами 4, что препятствует раскрытию стыка, появлению эксцентриситета e и возникновению изгибающего момента.

Кольцо обделки с такими стыками получает повышенную жесткость, что особенно важно для обделок большого диаметра, заложенных в грунтах с относительно невысоким коэффициентом упругого отпора или над подрабатываемой территорией. К тому же болтовая связь исключает необходимость поддержки верхних элементов кольца, монтируемых выше горизонтального диаметра крепи.

Различие упругих характеристик болтовой стали и бетона при деформациях кольца обделки под нагрузкой в бортах блоков приводит к появлению трещин и отколов в защитном слое бетона. Чтобы не произошли подобные явления и при затяжке болтов в процессе монтажа необходимо применять сбалчиватели с фиксированным значением крутящего момента или динамометрический ключ.

Чтобы исключить появление трещин и отколов защитного слоя бетона в эксплуатационный период работы обделки, болты по продольным стыкам после монтажа обделки и включения ее в совместную работу с грунтом заменяют короткими стальными шпильками с последующей зачеканкой болтовых отверстий с обеих сторон.

Цилиндрический стык (рис. 5.4 г) представляет собой шарнирное соединение, допускающее возможность свободного взаимного поворота сопрягаемых блоков. Обделку с такими стыками принято рассматривать как кольцо с шарнирами. Ее геометрическая неизменяемость обеспечивается совместной работой с окружающим грунтовым массивом. Для фиксации взаимного положения соседних блоков в стыке предусмотрены отверстия со стальными монтажными шпильками 1.

Цилиндрическая выпукло-вогнутая форма стыка снижает изгибающий момент в обделке, обеспечивает хорошее восприятие поперечной силы и удобства монтажа.

В обделках с цилиндрическими стыками связь между кольцами не устанавливается, так как она будет препятствовать свободному взаимному повороту сменных элементов в продольных стыках и сделает бессмысленным их шарнирный характер.

В обделках с плоскими продольными стыками с монтажными шпильками и цилиндрическими вкладышами между блоками в кольце поперечный стык соседних колец железобетонной обделки может быть выполнен со связью или без связи. Связь между кольцами в виде болтового соединения выполняет все свои функции как в период монтажа, так и в период эксплуатации. Связь типа «гребень-паз» (рис. 5.6 а) вступает в работу после замыкания кольца, а связь в виде кольцевой шпонки (рис. 5.6 б) – после замыкания кольца и твердения раствора, нагнетаемого в кольцевой паз 1 между кольцами 2.

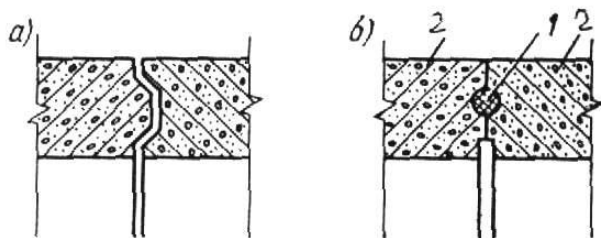


Рис. 5.6. Стыки между кольцами:
а – типа гребень-паз; б – с кольцевой шпонкой; 1 – кольцевой паз; 2 – кольца обделки.

К **достоинствам** блочной обделки относятся:

- простота конструктивных элементов, не требующих сложных формул для их изготовления;
- однородность элементов по всей площади;
- отсутствие мест пониженной водонепроницаемости;
- гладкость внутренней поверхности обделки т.к. уменьшается сопротивление движению струи воздуха при

вентиляции и движении поездов

Недостатки блочной обделки:

- трудность обеспечения точной их сборки;
- сложность обеспечения надежной гидроизоляции, что препятствует их применению в сильно обводненных условиях;
- ограниченная область применения в связи с повышенной деформативностью

В то же время создание универсальных для всех условий обделок считается экономически не целесообразным.

В настоящее время для обделок тоннелей, сооружаемых в породах с достаточно упругим отпором лучшими признаны цилиндрические стыки между блоками и плоские – между кольцами. Такие стыки приняты в унифицированной обделке для перегонных тоннелей метрополитенов.

Обделка из чугунных тубингов – состоит из отдельных элементов-сегментов коробчатого сечения (тубингов). Для изготовления применяют серый чугун, обладающий высокой коррозионной стойкостью и имеющий предел прочности на сжатие – 180 МПа, на растяжение – 60 МПа.

Тубинг (рис. 5.7) представляет собой литое изделие, имеющее спинку 1 с цилиндрической поверхностью и четыре борта, ограничивающих оболочку и направленные внутрь цилиндрического кольца, причем два продольных борта 2 параллельны продольной оси выработки, а два поперечных борта 3 располагаются в плоскости поперечного сечения выработки. Борты тубинга придают ему жесткость и служит для соединения тубинга в кольцо и колец

между собой. Для придания жесткости тьюбингу предназначена продольная диафрагма 4, которая расположена между поперечными бортами. При щитовой проходке в поперечные борта тьюбингов опираются щитовые домкраты, поэтому диафрагма дополнительно служит средством усиления жесткости бортов и всего тьюбинга в целом. Для соединения отдельных тьюбингов в кольцо обделки и колец между собой болтами предназначены болтовые отверстия 5, диаметр которых на 4-5 мм больше диаметра болта, что упрощает монтаж тьюбингов. Диаметр стальных болтов для соединения тьюбингов 20-45 мм. Наружные плоскости бортов, по которым происходит

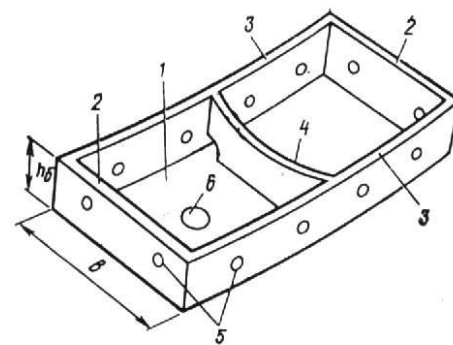


Рис. 5.7. Общий вид тьюбинга: 1 – спинка; 2 – продольный борт; 3 – поперечный борт; 4 – продольная диафрагма; 5 – болтовые отверстия; 6 – отверстие для нагнетания раствора

соединение тьюбингов в кольцо и колец между собой – подвергаются механической обработке (прострожке) для обеспечения плотного примыкания. В тьюбинге предусмотрено нарезное отверстие 6 диаметром 50 мм для нагнетания раствора за обделку, закрываемое чугунной пробкой. Высота борта тьюбинга h_6 зависит от внутреннего диаметра обделки и действующих на нее нагрузок и изменяется в пределах 195-350 мм.

Болты по продольным бортам предназначены для предотвращения раскрытия стыка между тьюбингами внутрь и наружу кольца под действием изгибающих моментов переменного знака. Болты по поперечным бортам выполняют роль монтажных соединений. Они вступают в работу лишь при значительных прогибах всей обделки как трубы на упругом основании.

Кольцо обделки из чугунных тьюбингов, как и кольцо из бетонных блоков (рис. 5.3), состоит из нескольких типов тьюбингов: нормального Н, оба продольных борта которого расположены параллельно горизонтальной оси выработки, смежных С, один продольный торец, примыкающий к нормальному тьюбингу, - параллелен оси выработки, а другой – скошен и ключевого К (замкового) клиновидной формы. Клиновидная форма замкового тьюбинга дает возможность замыкания кольца обделки со стороны выработки.

Число удлиненных тьюбингов (типа Н и С) в кольце обделки зависит от максимально возможной длины дуги по наружной поверхности тьюбинга, которая по условиям механизированной технологии отливки тьюбинга не должна превышать 200 см. Масса тьюбинга при этом не должна превышать 2 т, исходя из условий транспортирования по выработкам метрополитена и монтажа тьюбингов в кольцо обделки.

Недостатком обделки в виде строгого геометрического кольца – это отсутствие плоского основания в лотке, что приводит сложности устройства откаточных путей и прохода для рабочих. Для исключения этого недостатка применяется чугунная тьюбинговая обделка с плоским лотком, и в состав

кольца обделки, помимо тюбингов типа Н, С и К, включен лотковый железобетонный блок Л с плоской внутренней поверхностью. Для обеспечения гидроизоляции плоская поверхность лоткового блока покрыта чугунной плитой, связанной анкерами с арматурным каркасом блока. Ширина плоской поверхности в 2,2 м обеспечивает размещение двух откаточных путей и проход для людей с одной стороны. Соединение лоткового блока с тюбингами – болтовое.

Обделка представленной конструкции не допускает перевязку продольных стыков. Поэтому для обеспечения перевязки в состав кольца вводят еще один тип тюбинга П, половинный от нормального, который поочередно ставят слева и справа от лоткового блока.

На криволинейных участках трассы тоннеля применяются специальные клиновидные чугунные кольца, поперечные грани которых не параллельны, а отклоняются под небольшим углом.

Для обеспечения водонепроницаемости чугунной обделки производят чеканку швов между тюбингами свинцовым шпагатом и гидроизоляцию отверстий для нагнетания цементного раствора подкладкой асбобитумных шайб под ввинчивающиеся стальные или чугунные пробки.

Область применения обделки из чугунных тюбингов:

- тоннели, сооружаемые закрытым способом в неустойчивых обводненных грунтах (пески, илы, супеси, суглинки и т.д.);
- в устойчивых обводненных грунтах при гидростатическом давлении на обделку 100 кПа и более;
- на участках зон тектонических нарушений, где возможно высокое горное давление.

В каждом случае применение чугунной обделки должно быть строго обосновано, так как область применения этого вида крепления ограничивается известным дефицитом чугуна.

Дальнейшее совершенствование чугунной обделки может быть направлено на уменьшение ее массы и снижение излишних запасов прочности.

Обделка из железобетонных тюбингов по конструкции аналогична чугунной тюбинговой. Железобетонный тюбинг представляет собой ребристую конструкцию, аналогичную чугунному, с двумя поперечными бортами толщиной 150 мм и двумя продольными толщиной 80 мм. Высота бортов – 200 мм и толщина оболочки 60 мм. Соединение тюбингов в кольцо осуществляется с помощью четырех болтов в кольцевых бортах и двух в радиальных. Отверстия для болтов укрепляются при помощи стальных закладных трубок с фланцами. Для обеспечения гидроизоляции обделки по внутреннему периметру тюбингов имеются фальцы, образующие в стыках канавки размером 32x12 мм, зачеканиваемые расширяющимся цементом. Для нагнетания цементного раствора за обделку в каждом тюбинге имеется отверстие, закрепленное стальной трубкой с внутренней нарезкой.

Арматура тюбингов представлена сварными каркасами из горячекатаных стержней периодического профиля диаметром 16 мм и круглой стали диаметром 6 мм.

Кольцо обделки внутреннего диаметра 5,1 м, наружного 5,5 м, шириной 100 см – весит 5,2 тонны. Расход бетона марки 600 – 2,14 тонн, стали – 0,78 тонн, вес одного тубинга длиной по хорде 1,70 м – 560 кг.

Кольцо обделки с перевязкой продольных стыков состоит из тубингов трех типов: нормальных Н, смежных С и ключевого К. обделка из таких колец обладает недостатком – отсутствием горизонтального участка в лотке тоннеля, что приводит к сложности устройства откаточных путей. Для исключения этого недостатка в состав кольца вводят железобетонный лотковый блок Л, внутренняя поверхность которого шириной 222 см выполнена плоской, а наружная (примыкающая к породе) может быть гладкой или ребристой. В такой обделке перевязка продольных стыков достигается постановкой в кольцо дополнительного тубинга П, половинного от нормального, устанавливаемого попеременно с левой и правой сторон от лоткового. Все типы обделок из железобетонных тубингов характеризуются наличием монтажных связей между элементами в виде соединений на болтах или штырях, что позволяет собирать кольцо с определенной точностью без вспомогательных устройств по поддержанию элементов в процессе сборки.

Однако монтажные болтовые соединения не рекомендуют использовать как постоянные связи растяжения, так как прочность бортов тубинга недостаточная для восприятия изгибающих моментов от горного давления. Поэтому после нагнетания за обделку раствора болты заменяются короткими стальными шпильками, а торцы отверстий в бортах заполняются расширяющимся цементом. Форма тубингов и количество их в кольце могут быть различными. Например, обделка для Санкт-Петербургского метрополитена состоит из десяти тубингов без внутренних ребер. Шесть тубингов нормальных с продольными гранями, два смежных со скошенной гранью и один ключевой.

Достоинство обделки из железобетонных тубингов заключается в следующем:

- уменьшение в 2 раза объема железобетона по сравнению с обделкой из блоков;
- облегчение транспортных и монтажных работ ввиду небольшого веса элементов (около 500 кг);
- обеспечение удобства и точности сборки обделки благодаря наличию болтовых связей;
- возможность использования обделки как при щитовом, эректором, так и горном способе проходки, ввиду возможности постановки ключевого элемента в плоскости собираемого кольца

К недостаткам обделки относятся:

- увеличение на 30-40% расхода стали по сравнению с обделкой из блоков;
- повышение сопротивления воздушному потоку при вентиляции и движении поездов, вызываемое ребристой внутренней поверхностью тоннеля;
- увеличение водопроницаемости обделки вследствие недостаточной прочности соединений;

- опасность поломки бортов и образования трещин в оболочке тубинга от давления щитовых домкратов;
- возможность возникновения трещин в местах болтовых соединений в процессе изготовления тубингов и их монтажа при затягивании болтов из-за сложной конфигурации тубинга

5.4 Оборудование и технология возведения сборной обделки

Для механизации возведения сборной тоннельной обделки, сооружаемой под защитой хвостовой части оболочки щита, применяют специальные устройства – укладчики. Механизмы, предназначенные для сборки тубинговой обделки называются *тубингоукладчиками*, а для железобетонной блочной обделки – *блокоукладчиками*. По назначению различают укладчики для щитовой проходки тоннелей, бесщитовой (эректорной) проходки и для проведения эскалаторных тоннелей.

По конструктивным признакам укладчики подразделяются на четные группы: рычажные, кольцевые, дуговые и стреловые. По энергии привода на гидроприводные, электроприводные, электрогидроприводные и пневмоприводные. Пневмоприводные применяются редко.

В щитовом проходческом комплексе укладчик размещается непосредственно на щите. В практике сооружения тоннелей тубинго- и блокоукладчики используются как отдельный вид автономного оборудования, которое помимо своего основного назначения – монтажа обделки, используется и для проходческих целей.

В этом случае укладчик представляет собой сложный механизм, способный к самостоятельному передвижению. В зависимости от типа обделки, размеров ее поперечного сечения укладчики перемещаются по опорам-кронштейнам, устанавливаемые на уровне близкому к горизонтальному диаметру кольцевой обделки, на опорах-стойках или на лотковой части тоннеля. Такого типа укладчики получили в последнее время преимущественное применение, как не требующие отдельной операции по переноске и установке опор-кронштейнов и способные к работе в тоннелях как с тубинговой, так и с блочной обделками.

Для монтажа сборной обделки укладочные механизмы должны обладать тремя степенями подвижности, обеспечивающими перемещение монтируемого элемента обделки по радиальному направлению в поперечном сечении тоннеля, кольцевому и продольному вдоль оси тоннеля. Такой набор перемещений монтируемого элемента осуществляется рычажными укладчиками, рабочий орган которых вращается в плоскости поперечного сечения тоннеля и смещается по оси тоннеля.

Рычажные укладчики используются, в основном, при проходке тоннелей немеханизированными щитами, а также при бесщитовой проходке. Кольцевые укладчики входят в состав механизированных щитов.

Рычажный укладчик ТУ-3Гп (рис. 5.8) предназначен для перегонных тоннелей, сооружаемых немеханизированными щитами, т.е. при проходке

тоннелей буровзрывным способом или при разработке грунта отбойными молотками. Укладчики данного типа позволяют монтировать как тубинговую, так и блочную железобетонную обделку. Основным элементом является рычаг 4 с противовесом 5 и выдвижной штангой, на конце которой имеется захват 3 для крепления при монтаже в кольцо тубингов или блоков. Штанга выдвигается гидроцилиндром. Рычаг укреплен на главном валу с гидравлическим приводом вращения 9. Рычаг может совершать поступательное движение в пределах 16 см от гидроцилиндра 10, помещенного в торце главного вала. Несущая металлоконструкция выполнена в виде тележки 2 на стойках с шагающим механизмом перемещения 1. Для опирания на тубинги или блоки под платформой предусматриваются продольные балки.

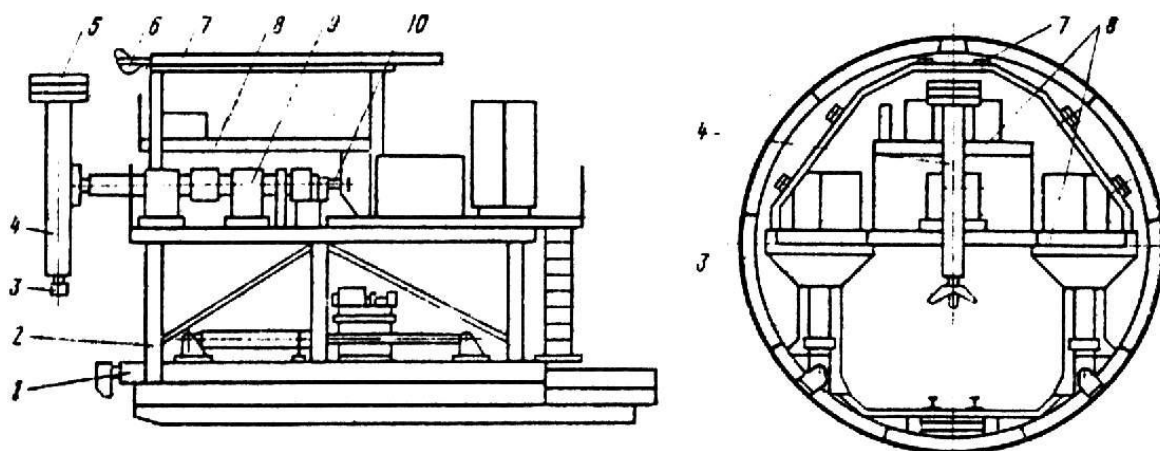


Рис. 5.8. Рычажный укладчик:

1 – механизм перемещения; 2 – стойки тележки; 3 – захват; 4 – рычаг; 5 – противовес; 6 – упоры; 7 – балка; 8 – выдвижная платформа; 9 – привод вращения; 10 – гидроцилиндр.

Для удобства монтажа кольца обделки укладчик оборудован выдвижными рабочими платформами 8, расположенными в двух уровнях. При сборке обделок из железобетонных блоков без связей растяжения используют выдвижные с приводом от гидроцилиндров балки 7, на концах которых закреплены упоры 6, поддерживающие и поджимающие блоки к оболочке щита. Направляющие балок опираются на две арки. На укладчике размещены щитовые насосные установки, пульт управления. Со стороны забоя на укладчике монтируют решетку для защиты оборудования и предотвращения разлетов кусков породы при взрывных работах. Механизм перемещения расположен вдоль опорных стоек и представляет две выдвижные промежуточные балки с откидными захватами на передних концах. Балки перемещаются гидроцилиндрами. Передвижение укладчика происходит в такой последовательности. Подъемными гидроцилиндрами, расположенными в стойках тележки, балки приподнимают, перемещают вперед при помощи гидроцилиндров выдвижения и закрепляют откидными захватами за торец

смонтированного кольца. Затем подъемными гидродомкратами, опирающимися спаренными катками на промежуточные балки, поднимают всю тележку и обратным ходом гидродомкратов перекачивают ее в новое положение.

Укладчик рычажного типа предназначенный для бесщитовой проходки перегонных тоннелей, по своей конструкции не отличается от щитового укладчика. Однако его необходимо оснащать дополнительными устройствами: защитными устройствами для предохранения механизмов укладчика от удара летящей породы при ведении работ буровзрывным способом и выдвигаемым козырьком для защиты проходчиков от вывалов породы из незащищенной кровли тоннеля.

Укладчик обеспечивает доступ к верхней части забоя. Система выдвижения платформ, перекрывающая нижнюю часть забоя, позволяет одновременно вести бурение в верхней части забоя и производить погрузку породы в нижней части автономной погрузочной машиной.

В процессе монтажа обделки рычаг полностью перекрывает поперечное сечение тоннеля. Поэтому, работы по погрузке и выдаче грунта из забоя могут начинаться только после окончания сборки кольца и перевода рычага установщика в горизонтальное положение.

Для сборки обделки прорезных колец монтажных камер и коротких участков тоннелей применяется **рычажный укладчик УКВ** (рис. 5.9) на рельсовом ходу, у которого рычаг 2 имеет двухзвенную конструкцию с шарнирным скреплением звеньев. Рычаг с приводом размещен на подъемной платформе 3, связанной с ходовой тележкой параллелограммным механизмом. Все приводы выполнены в виде гидроцилиндров. Во время работы укладчик прикрепляют захватами 7 к рельсовым путям. С площадок укладчика можно производить обуривание и зарядание забоя. На время взрывания укладчик отгоняют от забоя для защиты от разлетающихся кусков породы. Укладчик перекачивается по инвентарным рельсовым опорам с помощью двух гидроцилиндров. Укладчик обделки УКВ позволяет собирать обделку диаметром 4,5-6,5 м.

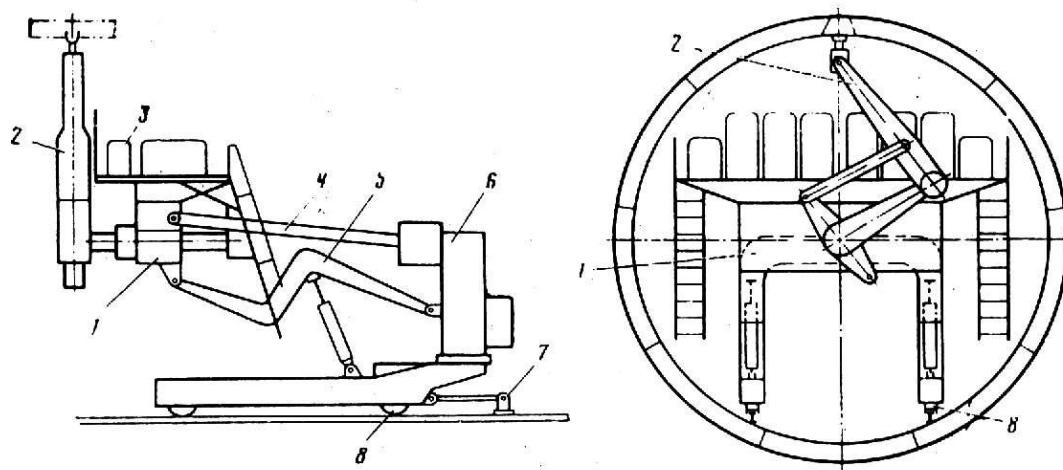


Рис. 5.9. Рычажный укладчик для коротких тоннельных выработок:

1 – опорная балка; 2 – рычаг; 3 – платформа; 4 – тяга; 5 – стрела; 6 – рама; 7 – захват; 8 – ходовая часть.

Достоинство рычажных укладчиков – в простоте их конструкции и надежности в работе.

Кольцевые укладчики имеют рабочий орган в виде кольца (рис. 5.10), внутри которого расположен ленточный конвейер, что позволяет совмещать сборку кольца обделки и транспортирование разработанного грунта с забоя от механизированного щита.

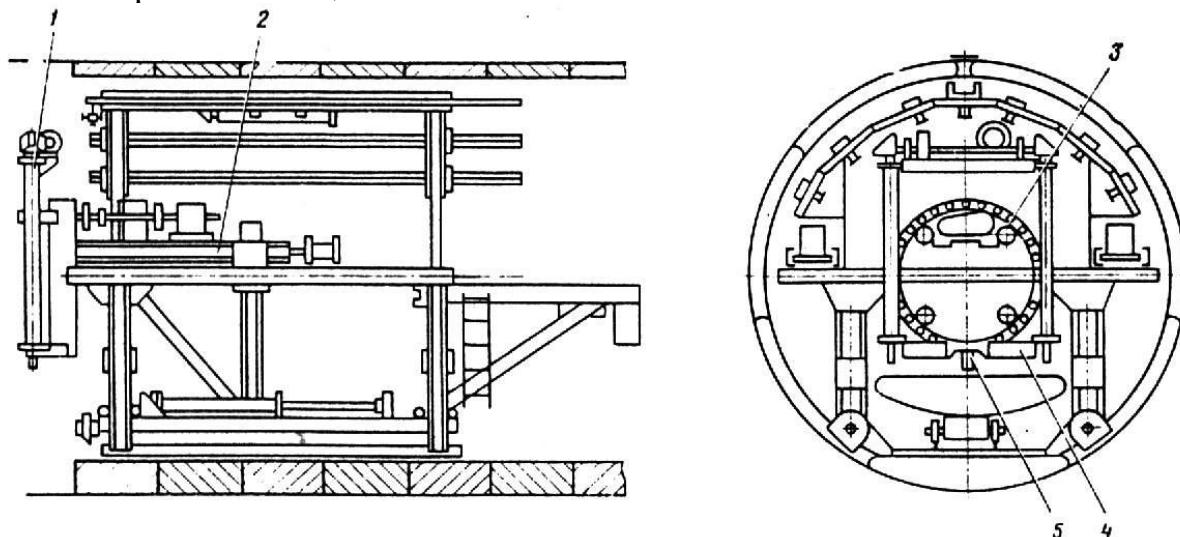


Рис. 5.10. Кольцевой укладчик:

1 – параллельные штанги; 2 – рама; 3 – катковая опора; 4 – траверса; 5 – захват.

Рабочий орган вращается на внутренних катковых опорах 3, закрепленных на раме 2, перемещаемой вдоль оси тоннеля гидроцилиндром. К торцу кольца присоединен механизм выдвижения из двух параллельных штанг 1, на которых навешена траверса 4 с захватом 5.

Штанги выдвигаются гидроцилиндрами. Вращение рабочего органа укладчика совершается при помощи зубчатой передачи с внутренним зацеплением от электропривода.

Для подачи элементов обделки под захват используют платформы или рольганг. Блоки или тубинги подаются на рольганг специальным перестановщиком.

Достоинство кольцевого укладчика в сравнении с рычажным – позволяет совмещать сборку кольца обделки и разработку механизированным щитом и транспортировку грунта из забоя.

Дуговые укладчики (рис. 5.11) применяются преимущественно для сборки обделки из крупных железобетонных блоков. Обнадеживающие результаты получили при установке дугового блокоукладчика на механизированном щите. В таком сочетании дуговой укладчик представляет собой конструкцию в виде дуги 2 с роликами 1, по которым перемещаются блоки обделки. Вначале последовательно два верхних блока, потом

последующие, примыкающие к верхним и в последнюю очередь нижние. Подъем блока по хвостовой оболочке к дуге и перемещение по ней

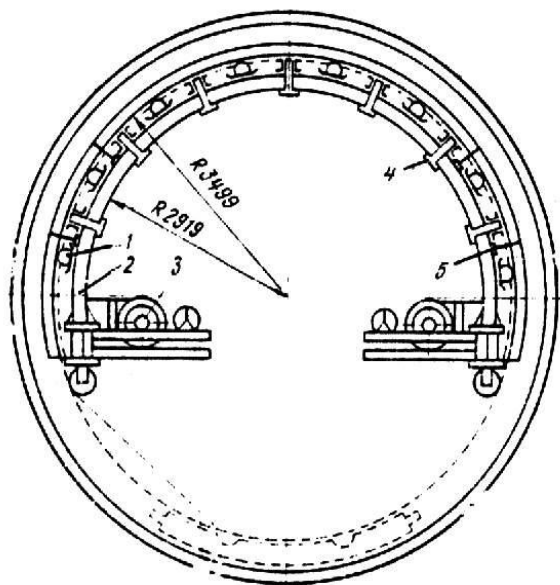


Рис. 5.11. Дуговой укладчик, расположенный на щите:
1 – ролики; 2 – дуга; 3 – лебедка; 4 – домкраты; 5 - фиксаторы

производится при помощи канатов и электроприводных лебедок 3. По мере укладки блоки закрепляются фиксаторами 5. Приведение блоков в проектное положение производится посредством радиальных вспомогательных домкратов 4 после передвижения щита.

Стерловые укладчики тоннельной обделки применяются редко. Им присущи такие недостатки как высокие нагрузки на стрелу и опорную конструкцию, сложность управления вследствие отсутствия фиксированных траекторий перемещения монтируемого элемента обделки.

Для монтажа обделки эскалаторных тоннелей (наклонных ходов) применяют специальный

укладчик ТНУ, в состав которого входит погрузочная машина.

5.5 Способы строительства тоннелей

Тоннели метрополитенов строят в основном способами, которые можно объединить в две группы – закрытые (подземные) и открытые способы.

Открытые способы применяют при сооружении линий метрополитена мелкого заложения на глубине 10-15 м от поверхности земли. Все работы по возведению тоннельных конструкций выполняются в открытых котлованах, которые после завершения строительства засыпаются грунтом.

Закрытые способы применяют при сооружении тоннелей глубокого и мелкого заложения. При этом все работы по строительству ведутся в подземных условиях.

Для ведения проходческих работ и возведения тоннельных конструкций в подземных условиях при закрытом способе в зависимости от горно-геологических условий и размеров тоннелей используются следующие способы:

Горный (способы опертого свода, опорного ядра, раскрытия полного профиля по частям). Основан на последовательной разработке породы в забое и устройстве постоянной обделки по отдельным элементам поперечного профиля тоннеля.

Щитовой способ (щиты механизированные и немеханизированные). Основан на применении щита передвижной металлической крепи, под

защитой которой производится разработка породы в забое на полное сечение и осуществляется возведение тоннельной обделки.

Бесщитовой способ (эректорный, комбайновый, способ пилот-тоннеля (новоавстрийский способ)), представляет проходку с раскрытием полного сечения и установку крепи с помощью крепеукладчика.

Специальные способы (искусственное замораживание, понижение уровня грунтовых вод, цементация, кессонный способ, химическое закрепление грунтов).

Применяются в сложных инженерно-геологических условиях строительства – в водоносных песчано-глинистых грунтах, плывунах, в сильно трещиноватых скальных грунтах с большим притоком подземных вод - цель которых является укрепление неустойчивых грунтов, ликвидация поступления воды или временное осушение грунтов на период проходки тоннеля.

5.6 Горный способ

5.6.1 Общая характеристика способов производства работ

К горным способам сооружения тоннелей относятся такие способы производства работ, при которых разработку грунта и устройство постоянной крепи тоннеля ведут по частям, по отдельным элементам поперечного профиля тоннеля. Применяется в таких условиях, где невозможно раскрыть выработку большого сечения сразу на полный профиль. При этих способах, называемых в отличие от щитового – горными способами, выработку на полное сечение раскрывают посредством проходки отдельных выработок небольшого сечения (штолен, калотт, штросс), разработки ядра с применением деревянного, анкернабрызгбетонного или инвентарного металлического крепления, под защитой которого возводят постоянную обделку.

При строительстве метрополитенов горный способ применяется:

- на подземных работах у стволов метрополитена, околоствольных сооружений (обходных штолен, рудничных дворов, насосных камер, складов ВВ и др.);
- для сооружения монтажных и демонтажных камер для щитов, блоко- и тубингоукладчиков и другого горнопроходческого оборудования;
- для проходки коротких тоннелей длиной до 300 м, где применение щитов экономически нецелесообразно, а способ сплошного забоя применять нельзя.

Горный способ объединяет несколько способов производства работ, каждый из которых характеризуется определенной последовательностью раскрытия частей тоннельного профиля и порядком возведения обделки.

В настоящее время наиболее широко применяются следующие горные способы производства работ:

- способ опертого свода, при котором вначале проходят сводовую часть тоннеля, возводят в ней обделку, а затем разрабатывают ядро, подводят

- стены и устраивают обратный свод;
- способ опорного ядра, при котором вначале возводят стены, потом свод тоннеля, а в последнюю очередь разрабатывают ядро и устраивают обратный свод;
 - способ раскрытия выработки на полное сечение по частям, при котором разработку грунта ведут по элементам тоннельного профиля с установкой временного крепления, а затем под его защитой возводят обделку сразу на все сечение

Выработки, сооружаемые горным способом, вскрываются на полное сечение поэтапно посредством проведения отдельных вспомогательных выработок небольшого сечения (штолен) расположенных в сечении основной выработки.

Поперечное сечение штолен принимают, как правило, трапецеидальной или арочной формы, позволяющими воспринимать вертикальное и боковое давление грунтов, размеры определяются габаритами подвижного состава с учетом безопасных зазоров, согласно Правил безопасности (ПБ). В местах проведения маневровых работ, проход людей должен быть с обеих сторон штольни. Высоту штолен принимают такой, чтобы контактный провод находился не ниже 2,2 м от головки путевых рельсов.

Аварийность при сооружении тоннелей горным способом по данным зарубежной практики в настоящее время не выше, чем при проходке механизированными щитами и составляет в среднем (за 1980-2000 гг.) 0,58 случаев на 1 км линии при среднем объеме обрушенной породы 21 м³/км.

5.6.2 Способ опертого свода

Данный способ именуется как бельгийский, т.к. впервые он был применен в Бельгии в 1828 г. и в дальнейшем получил широкое распространение в мировой практике тоннельного строительства.

Сущность способа заключается в том, что в начале проходят сводовую часть тоннеля, возводят в ней обделку на значительном протяжении, а затем производится выемка штроссы (ядра, т.е. средней части профиля) и отдельными участками подводят стены под свод в шахматном порядке. Последним этапом является устройство лотка или обратного свода тоннеля, замыкающего контур обделки.

Этот способ применяют при сооружении тоннелей в нескальных грунтах

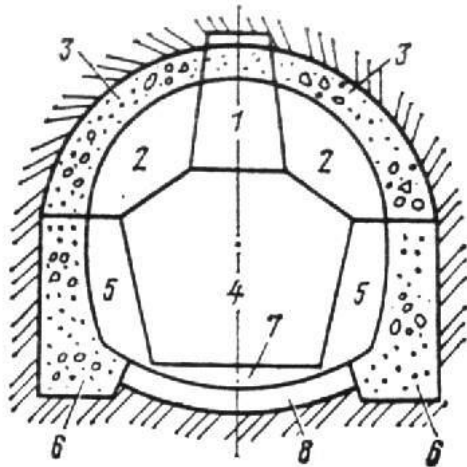


Рис. 5.12. Очередность работ по сооружению тоннеля способом опертого свода

типа твердых глин, плотных суглинков, мергелей, доломитов, известняков с коэффициентом крепости $f_{кр} = 1 - 4$ (III, IV категорий), способных воспринять давление от пят свода обделки с учетом всех нагрузок, действующих на свод. Способ может быть также применен при неоднородном сложении грунтов, когда ниже пят свода расположены необходимые прочные грунты с коэффициентом крепости $f_{кр} > 1$, а в сводовой части – менее прочные грунты.

Работы ведут в такой последовательности (рис. 5.12).

Из подходной выработки проходят верхнюю штольню 1, разрабатывают калотту 2 и бетонируют свод 3. После снятия опалубки свода разрабатывают среднюю штроссу (ядро) 4, затем небольшими заходками в шахматном порядке разрабатывают боковые штроссы 5 и бетонируют стены 6. После бетонирования стен разрабатывают породу в лотке 7 и бетонируют обратный свод 8.

Достоинством способа опертого свода является то, что раскрытие калотты происходит в ненарушенных породах, что в городских условиях имеет особо важное значение.

Недостатком способа являются сложные условия организации работ.

5.6.3 Способ опорного ядра

В зарубежной практике он именуется как германский. Применяется в тех случаях, когда по технологическим условиям порода не обладает достаточной прочностью для восприятия давления от пят свода тоннельной обделки. В основном это породы I-III категории с $f_{кр} \leq 1$ (глины, суглинки, супеси, лес). При этом возникает необходимость в предварительном сооружении стен, на которые впоследствии опирается свод тоннеля.

Сущность способа заключается в первоначальном возведении стен, затем – свода тоннеля, а в последнюю очередь разработке ядра и устройстве обратного свода.

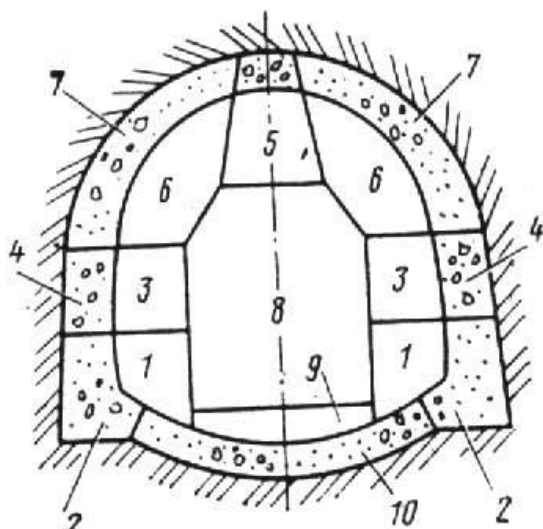


Рис. 5.13. Очередность работ по сооружению тоннеля способом опорного ядра

обратный свод 10.

Главное **достоинство** этого способа заключается в том, что до самого конца возведения обделки в середине сечения тоннеля остается нетронутый целик породы, на который надежно опирается временная крепь на разных этапах проходки. При этом выработка все время имеет минимальный пролет; она как бы обходит контур обделки. Бетонирование обделки ведется снизу вверх, что обеспечивает ее высокое качество.

5.6.4 Способ раскрытия выработки на полное сечение по частям

Способ предназначен для сооружения коротких участков тоннелей и камер поперечным сечением не более 60 м^2 в водоносных породах до IV категории с коэффициентом крепости $f_{кр} = 1-4$, не оказывающих большого давления на крепь и не требующих для разработки применения взрывных работ.

Сущность способа заключается в разработке грунта по отдельным элементам тоннельного профиля с установкой временной крепи, а затем под ее защитой возводят обделку сразу на все сечение.

Этот способ в отличие от рассмотренных выше предусматривает разработку грунта и установку временного крепления по отдельным частям сечения при движении сверху вниз, что обеспечивает в конце разработки раскрытие выработки полностью на все сечение тоннеля в пределах одного кольца шириной 2-4 м в зависимости от геологических условий. После разработки грунта приступают к возведению обделки из монолитного бетона или сборных элементов, двигаясь снизу вверх.

Существует несколько вариантов производства работ по этому способу: раскрытие на полное сечение (полный профиль) с применением веерного

Работы способом опорного ядра ведут в такой последовательности (рис. 5.13). Из подходной штольни рассекают одновременно в месте расположения стен сооружаемого тоннеля две нижние штольни 1 и после окончания проходки обратным ходом бетонируют в них стены 2. Из нижних штолен пробивают фурнель и проходят штольни 3, в которых бетонируют стены 4. К моменту окончания возведения стен проходят верхнюю штольню 5, из которой раскрывают калотты 6 и бетонируют свод 7, опирая его на готовые стены. После снятия опалубки свода производят выемку ядра 8, в последнюю очередь разрабатывают лоток 9 и бетонируют

крепления (так называемый австрийский способ), раскрытие на полное сечение по частям с креплением прогонами и торцовыми фермами (английский способ), способ подсводного разреза и др.

Преимущество этих способов состоит в том, что представляется возможность осуществлять возведение обделки без перерывов (что повышает ее качество), а также использовать сборную обделку. Применяются эти способы в основном в устойчивых необводненных грунтах, глинах, сланцах, мергелях в тех случаях, когда нет большого давления на крепь. Однако способ раскрытия на полное сечение с использованием веерного крепления отличается наибольшей трудоемкостью, большим расходом лесоматериалов, сложностью устройства крепления. Возникающие в процессе строительства работы по перекреплению выработок могут привести (при наличии горного давления на крепь) к деформации горного массива и поверхности. Поэтому этот способ при строительстве метрополитенов применяют редко.

Раскрытие на полное сечение по частям с креплением прогонами и торцовыми фермами применяют при сооружении первых (прорезных) колец сборной обделки камер для монтажа щита или тубингоукладчика, а также при сооружении других камер и участков тоннелей небольшой протяженности, главным образом со сборной обделкой. Предложенные выше горные способы (опертого свода, опорного ядра и раскрытия на полное сечение по частям) являются трудоемкими, поскольку разработку грунта и устройство обделки ведут специальными частями, а не на все сечение тоннеля.

При этих способах, вследствие загромождения сечения тоннеля временным креплением и необходимостью возведения постоянной обделки на узком фронте работ, возможность применения высокопроизводительной горнопроходческой техники ограничивается, а скорость проходки уменьшается.

В практике строительства метрополитенов, особенно на протяженных участках, применяются другие способы работ, которые позволяют раскрывать сечение на возможно больший профиль с возведением сразу постоянной обделки (т.е. без временной крепи) или с установкой временной крепи, не загромождающей сечение, и последующим возведением постоянной обделки на протяженных участках.

5.6.5 Создание щели по контуру

В последнее десятилетие в Японии при проведении тоннелей, расположенных в крепких породах в черте города или вблизи ответственных строений, успешно применяется способ сооружения с предварительным созданием щели по контуру выработки, впервые предложенный для проведения выработок в Донбассе по выбросоопасным породам.

Предварительно созданная щель по контуру выработки является экраном предотвращающим образование технологических трещин в законтурном массиве выработки при любой технологии разрушения пород внутри контура, т.е. ядра выработки, даже при разрушении его буровзрывным

способом. При создании щели по контуру выработки, расположенной в устойчивой породе, крепь выработки теряет свое основное назначение как несущая конструкция и ее роль сводится к предохранению рабочих от возможного обрушения пород кровли выработки, что дает возможность применять более облегченные и экономичные крепи.

В настоящее время в мировой практике проведения выработок известно несколько способов создания оконтуривающей щели по периметру выработки до уровня нижней части свода, которые были нами запатентованы, как способы предотвращения выбросов породы и газа при проведении выработок по выбросоопасным породам.

Создание щели, способами, предложенными и запатентованными кафедрой «Строительство шахт и подземных сооружений» Донецкого национального технического университета в период 1970-91 гг. можно осуществлять:

- бурением шпуров по контуру выработки буровой установкой УЩ, созданной на базе буровых механизмов БУЭ-1 и БУЭ-2;
- бурением скважин, заполнением их водой и ее замораживанием;
- бурением скважин и размещение в одной скважине ферритового порошка, а в смежной - создания перемещающегося магнитного поля;
- бурением скважин и заполнением одной скважины невзрывчатой расширяющейся смесью (НРС) и оставлением смежной скважины свободной;
- бурением скважин, заполнением их водой и размещением в смежных скважинах микроволновых электромагнитных излучателей.

При сооружении тоннелей существует несколько вариантов решения проблемы создания щели по контуру выработки, сущность которых сводится к отделению породы, находящейся внутри контура тоннеля, от окружающего массива. Так для этой цели фирма Фурукава создала оборудование с гидроприводом для выбуривания контурных прорезей ударно-вращательным способом пятью параллельными буровыми штангами одновременно. Оборудование создано в двух типоразмерах: с диаметром коронок 52 мм, шириной захвата щели по контуру тоннеля 250 мм и глубиной 1500 мм и диаметром 60 мм, шириной 270 мм и глубиной 2200 мм. Оборудование монтируется на манипуляторах 2-х или 3-х стреловой самоходной бурильной установке на гусеничном ходу. Техническая скорость бурения щели, по породе прочностью 100-200 МПа оборудованием малого типоразмера, составляет 20-30 см/мин., большого – 10-15 см/мин. В трещиноватых породах щель создавали только по контуру тоннеля, в сплошных – забой «разрезали» на изолированные блоки. Оконтуренную щелью породу ядра тоннеля в дальнейшем разрабатывали навесным гидроударником массой 3,0 т и гидроклиньями. При сечении тоннеля 60 м² в трещиноватой крепкой породе заходка глубиной 2 м, выполнялась за 20 часов (в том числе создание щели – за 10 часов), в сплошных гранодиоритах – за 60 часов (выбуривание щели – 40 часов). Средняя скорость проходки составила 20 м/мес.

По технологии КОМЕТ, предложенной фирмой «Ниппон кукадо

кайцаху», для создания контурного паза вначале бурят обычным оборудованием шпурь диаметром 75 мм с промежутками 75 мм, затем, используя их в качестве направляющих, образуют щель с помощью коронки-расширителя вращательного бурения диаметром 150 мм, а для разрушения породы в ядре тоннеля используют гидроклин, развивающий усилия в 6700 кН.

Перспективным способом для создания щели в породе считается применение абразива. Фирма «Хадзама-гуми» применила его при проходке тоннеля длиной 69,3 м и сечением 2,4х2,5 м для гидроузла Оут и в тупах прочностью на сжатие до 120 МПа. Водоабразивной струей создавали щель по контуру выработки и разрезали ядро на отдельные блоки. Глубина щели – 50-55 см. Для создания высоконапорной водяной струи давлением 210 МПа и расходом 1,7 л/мин., применяли передвижной насосный агрегат с 13 кратным мультипликатором давления. Сопло с датчиком, обеспечивающим его перемещение с постоянной скоростью 5 см/мин., было смонтировано на манипуляторе самоходной базовой машины фирмы «Ниссан» и закрыто экранирующим коробом. Непосредственно у сопла в водяной шланг вводили абразив в количестве 3 кг/мин. Требуемая глубина (50 см) достигалась после двухкратного (прямого и возвратного) прохождения струи. Ширина щели в зависимости от расстояния от сопла до забоя и от степени износа кромки сопла составляла 5-10 см.

Фирма «Ниппон-юси» для образования щели по контуру тоннеля применяют расширяющийся раствор «каммайт», который в ампулах, размещают в шпурь. Масса ампул 300 г., диаметр 30 мм и длина 250 мм. Применяется и ускоритель реакции в 100-граммовых ампулах, который составлен на основе негашеной извести и нагревается за 10 сек. реакции до температуры 100°C. Это способствует ускорению реакции основного состава расширяющегося вещества и сокращает время набора им разрывающего усилия с 12 часов до 15 минут. На экспериментальной проходке, в граните прочностью на сжатие 240 МПа, тоннеля сечением 33 м² и длиной 22 м описанным способом создания щели с применением трехстреловой бурильной установки, гидроударника, гидроклинового оборудования, гусеничного одноковшового погрузчика, технологический цикл при глубине заходки 1,3 м занимал 28 часов. Расход расширяющегося раствора «каммайт» составил 41 кг.

Японские тоннелестроительные фирмы считают, что ограниченные контурными щелями блоки породы можно разрабатывать и буровзрывным способом, если условия допускают применение этого способа. Причем, при использовании контурной щели для разрушения массива породы внутри контура буровзрывным способом достигается значительная экономия ВВ. Так, при проходке тоннеля в крепком граните (прочность на сжатие 150 МПа) с применением водонаполненного ВВ, средний удельный расход ВВ составил 0,7 кг на 1 м³ породы, что в 2,4 раза меньше, чем при обычной буровзрывной проходке. В более крепком граните (прочность на сжатие – 250 МПа), для тоннеля сечением 32,7 м² при наличии контурной щели, удельный расход ВВ

составил – 0,34 против 0,9 кг/м³, количество шпуров на 1 м² площади забоя 2,1 против 2,8.

Таким образом, технология проведения выработок с созданием разгрузочной щели по контуру, разработанная в Донбассе для предотвращения выбросов породы и газа, находит широкое применение при проходке тоннелей в Японии.

Тоннелестроительные фирмы считают, что предлагаемая технология по сравнению с традиционной буровзрывной или комбайновой, имеет следующие преимущества (экономичность, универсальность оборудования, умеренная энергоемкость, свободный доступ к забою) и исключает также недостатки (сотрясение массива и застройки, опасность, большой перебор породы).

5.6.6 Проходка с применением опережающей бетонной крепи

При строительстве тоннелей горным способом в полускальных и мягких породах во избежание нарушений устойчивости окружающего массива в настоящее время применяется опережающая бетонная крепь (ОБК).

Сущность способа заключается в том, что предварительно в забое по контуру тоннеля в массиве породы в направлении оси выработки создается щель глубиной 3-4 м и высотой 10-20 см, которая сразу же после нарезки заполняется бетонной смесью по технологии набрызгбетонирования в торец щели.

Щель прорезается под небольшим углом (4-12°) к продольной оси тоннеля, чтобы обеспечить возможность возведения последующих секций ОБК. в отличие от традиционной арочной, анкерной или набрызгбетонной крепи ОБК стабилизирует породный массив до разработки и предотвращает его деформацию. Исключаются переборы породы из-за ровного очертания контурной щели, сводятся к минимуму деформации породного массива и поверхности земли, повышают темпы проходки. ОБК входит в состав постоянной конструкции тоннеля, в то время как другие виды крепи выполняют лишь временные функции.

Стоимость строительства с ОБК на 40-60% ниже, чем при сооружении традиционным способом. Целесообразная область применения ОБК – некрепкие скальные, полускальные и мягкие породы с коэффициентом крепости по М.М. Протодяконову $f = 2 - 5$. Рассматриваемую технологию успешно применяют на строительстве тоннелей метрополитена, автодорожных и железнодорожных тоннелей во Франции, Италии, Испании и Японии. К настоящему времени с применением ОБК сооружен станционный комплекс «Адмиралтейская» Санкт-Петербургского метрополитена.

Для нарезания контурной щели создано специализированное оборудование с баровым рабочим органом, предназначенное для работы в породах различной крепости. При проходке тоннелей с ОБК во Франции применяли несколько видов щеленарезных машин. Машина для проходки в крепких породах, сконструированная французскими фирмами «Супремек» и «Перфорекс» и выпускаемая фирмой «Сершар», включает смонтированную на гусеничном ходу порталную раму, под которой свободно проходит оборудование для разработки и погрузки породы.

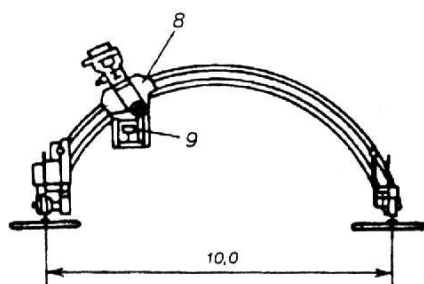
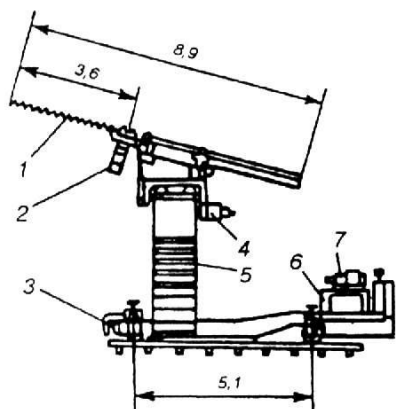


Рис. 5.14. Конструкция щеленарезной машины фирмы «Мицуи микэ сейсакусе» (Япония):

1 – бар; 2 – электродвигатель бара; 3 – ходовой электродвигатель; 4 – гидромотор круговой подачи; 5 – порталная рама; 6 – панель управления; 7 – силовой гидравлический блок; 8 – каретка круговой подачи; 9 – сиденье

устойчивость установки обеспечиваются при помощи гидроцилиндров, распираемых в стены выработки во время работы машины, а также выносными опорами.

Машина позволяет нарезать щель глубиной 1,9 м, высотой 80-100 мм под углом не менее 10^0 к горизонтальной оси.

На строительстве участка тоннеля Акико (Япония) в мелких и средних песках с включениями ила и гравия применили щеленарезную машину, сконструированную и изготовленную фирмой «Ниппон кокудо кайхацу» в

гусеничном ходу порталную раму, под которой свободно проходит оборудование для разработки и погрузки породы. К раме консольно прикреплен сборно-разборный металлический щит, очертание которого соответствует проектному контуру выработки. По двум зубчатым рейкам арочной формы в передней и задней частях рамы перемещается каретка с установленным на ней баровым органом; длина бара 2,27 м.

Перемещение каретки обеспечивается гидродвигателем через ведущую ось с шестернями, входящими в зацепление с рейками. В конструкции машины предусмотрена возможность поворота бара на 90^0 для внедрения его в породу и наклона до 11^0 в продольном направлении. В зависимости от очертания выработки машина может создавать цилиндрическую или коническую прорезь.

Перемещение бара в радиальном направлении позволяет изменять радиус кривизны прорези. В соответствии со свойствами разрабатываемых грунтов режущий орган машины может оснащаться разными цепями с резцами различной твердости и износостойчивости. Жесткость и

сотрудничестве с фирмой «Мицуи микэ сейсакусе». Машина состоит из барового органа, опорно-направляющего организма, сопла набрызгбетономашины, механизмов осевой и круговой подачи бара, ходовой части, гидросистемы и электрооборудования (рис. 5.14).

Баровый орган, опорно-направляющий механизм сопла и механизм осевой подачи смонтированы на каретке, осуществляющей круговую подачу. В конструкции каретки предусмотрена защитная перегородка между соплом и режущей частью, что позволяет устраивать заполнение щели по мере ее нарезания. Перемещение всей машины осуществляется на рельсовом ходу с шириной колеи 10 м. Глубина нарезаемой щели достигает 2,5 м, а ее высота – 150 мм.

Германской фирмой «Вирт» разработано щеленарезное устройство для выработок большого поперечного сечения. Оно состоит из фрезерующего диска и привода и перемещается по направляющим. Высота образуемой щели зависит от диаметра фрезерующего диска и может достигать 2 м. Глубина щели определяется крепостью породы и составляет 0,3-0,5 м.

При строительстве двухпутных перегонных тоннелей метрополитена в г. Мадриде (Испания) для устройства опережающей контурной щели глубиной 3,5 м и высотой 18 см применили мобильную установку «Родио Премилл» с баровым рабочим органом.

В Италии сконструирована и изготовлена щеленарезная машина, которую использовали для проходки с ОБК двухпутных железнодорожных тоннелей в глинистых грунтах и тоннелей метрополитена в г.г. Лилле и Тулузе (Франция) в меловых отложениях. Машина может работать при проходке тоннелей способами как сплошного забоя, так и нижнего уступа.

Большинство из построенных с применением ОБК тоннелей заложены в некоторых скальных, полускальных и мягких породах. Проходку тоннелей осуществляют горными способами нижнего уступа или сплошного забоя с разработкой породы механизированными способами без применения буровзрывных работ.

В зависимости от требуемой толщины крепи высота щели изменяется от 7,5 до 25 см, глубина ее определяется глубиной проникания рабочего органа щеленарезной машины и не превышает 5,0 м. Однако в слабоустойчивых нарушенных породах глубину щели следует уменьшать до 1-1,5 м.

В процессе нарезания щели рабочий орган машины наклонен наружу, так что щель приобретает коническую форму. Это дает возможность «перекрытия» соседних секций ОБК не менее чем на 0,3 м и создания непрерывной крепи. Увеличение длины «перекрытия» до 1-1,5 м хотя и повышает несущую способность обделки, но значительно снижает темпы проходки. Сразу же после нарезки очередной щели ее заполняют бетонной смесью по технологии набрызгбетонирования в торец щели.

Время выстойки в щели изменяется в довольно широких пределах: от 4-6 (Парижский метрополитен) до 10-15 (тоннель Акико, Япония) и 16-17 ч. (тоннели Фонтенэ и Со, Франция). После того как бетон наберет требуемую прочность (порядка 8-10 МПа), под прикрытием ОБК разрабатывают породу в

забое на величину заходки, используя тоннелепроходческую машину с рабочим органом избирательного действия или тоннельный экскаватор. По мере разработки породы ОБК подкрепляют стальными арками, располагая их с шагом 2-2,5 м.

Продолжительность нарезания щели в полускальных и мягких породах определяется возможностями щеленарезной машины и составляет 3-15 мин. при средней скорости резания 1 м/мин, а время цикла устройства одной секции ОБК составляет 3-5 ч. постоянную обделку возводят на расстоянии 15-20 м от забоя в передвижной опалубке. По такой технологии производили проходку тоннеля региональной линии метрополитена Парижа. В процессе строительства тоннеля измеряли осадки поверхности земли. Сравнение полученных данных с результатами измерений, выполненных при проходке тоннеля Гриньи в аналогичных геологических условиях показало, что осадки поверхности земли в случае применения ОБК на 70% меньше, чем при традиционных способах.

Строительство тоннелей с ОБК в несвязных слабоустойчивых породах ведется почти так же, как в мягких. Однако глубина проникания рабочего органа щеленарезной машины уменьшается до 1,5-1, а в некоторых случаях до 0,4 м.

В отдельных случаях до нарезания щели по ее контуру в грунт инъецируют песчано-гравийную смесь. При этом объем инъецирования ограничивается только периферийной зоной тоннеля. После того как в закрепленных инъекцией грунтах нарезана коническая контурная щель, в нее вставляют инъекторы для нагнетания песчано-гравийной смеси на следующую заходку, а затем щель заполняют набрызгбетоном.

В слабоустойчивых грунтах проходку тоннеля осуществляют способом нижнего уступа, расчлняя выработку на 2 части: опережающую калотту и нижнюю ступень (рис. 5.15).

Представляет интерес опыт строительства экспериментального участка железнодорожного тоннеля Акико в Японии. Тоннель сводчатого поперечного сечения площадью 150 м² на длине 300 м заложен на глубине 8 м в слабоустойчивых несвязных грунтах. Работы вели горным способом нижнего уступа под защитой ОБК.

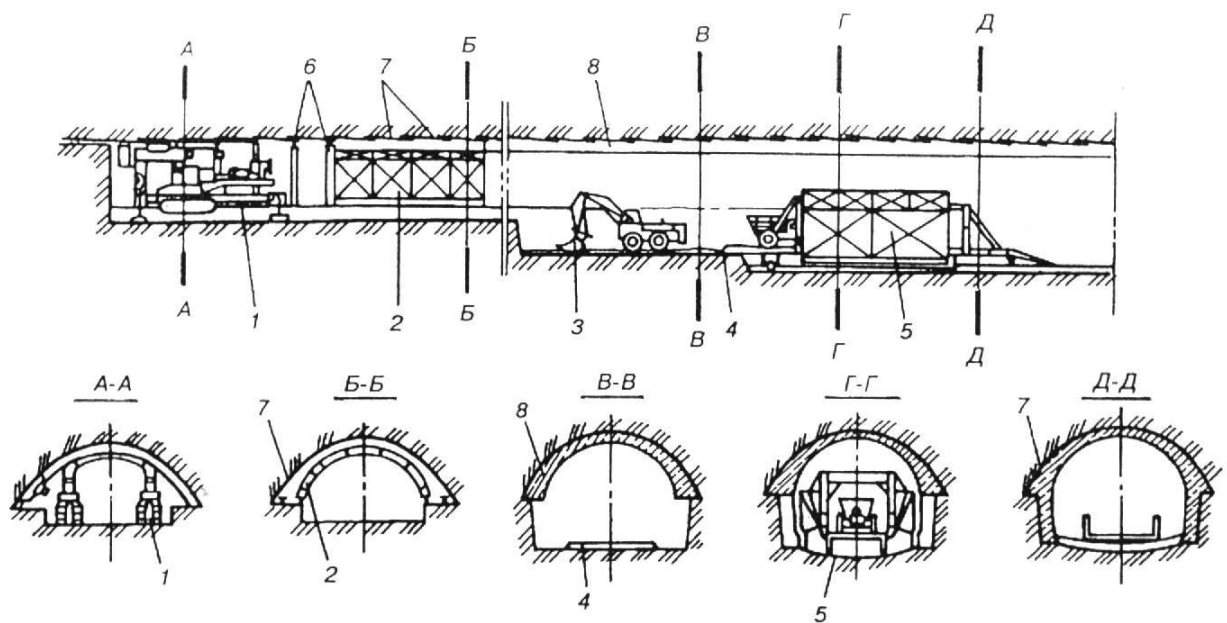


Рис. 5.15. Технологическая схема проходки с ОБК методом нижнего уступа:
 1 – щеленарезная машина; 2 – опалубка свода; 3 – тоннелепроходческая машина; 4 – временные откаточные пути; 5 – опалубка стен; 6 – арки; 7 – ОБК; 8 – обделка.

Контурную щель глубиной 2,5 и высотой 0,15 м нарезали под углом $5-10^{\circ}$ к оси выработки с «перекрытием» соседних секций на 0,5 м. Нарезку вели сегментами по 0,5-3 м и сразу же заполняли щель набрызгбетоном. Грунт в забое разрабатывали гидравлическим экскаватором и откатывали самосвалами. После этого ОБК подкрепляли стальными арками и бетонировали обделку. Скорость проходки калоттного профиля площадью 80 м^2 не превышала 25-30 м/мес. Осадки поверхности земли над тоннелем составляли не более 25 мм и ограничивались зоной с центральным углом 20° .

Метод проходки тоннелей с ОБК имеет большие перспективы там, где применение традиционных технологий сопряжено с риском нарушения породного массива и где важно строгое соблюдение экологических требований. Применение рассмотренной технологии возможно в широком диапазоне инженерно-геологических условий (от скальных до несвязных грунтов) при проходке тоннелей различных форм и размеров поперечного сечения площадью более 30 м^2 . При этом достигается полная механизация операций проходческого цикла, повышается безопасность работ, сводятся к минимуму нарушения окружающей среды, осадки грунтового массива и поверхности земли (в 2-3 раза по сравнению с NATM и в 4-5 раза – с традиционными способами в аналогичных условиях).

К **достоинствам** способа следует отнести также гибкость технологии, хорошую приспособляемость к изменяющимся инженерно-геологическим условиям. Проходка тоннелей с ОБК может составить альтернативу открытым способам строительства тоннелей мелкого заложения на застроенных участках городских территорий.

5.6.7 Создание опережающей крепи из стабилизированного грунта

В последние годы в практике подземного строительства для устройства опережающей крепи в неустойчивых грунтах стали применять струйную цементацию: по контуру будущего тоннеля с определенным интервалом в грунт погружают мониторы с насадками, через которые под большим давлением подают воду и цементный раствор. Окружающий скважину грунт разрушается струей воды и интенсивно перемешивается с цементным раствором. Постепенно извлекая монитор из скважин, создают области закрепленного грунта.

В мелкодисперсных глинах, которые плохо поддаются цементации, применяют несколько видоизмененную технологию, подавая помимо воды и цементного раствора сжатый воздух.

Ориентируя соответствующим образом насадки, можно создавать области закрепленных грунтов в виде вертикальных или наклонных стен, а вращая монитор в скважинах, - отдельно расположенные или взаимнопересекающиеся столбы.

Радиус закрепления зависит от сочетания свойств и типа данного грунта, композиции цементного раствора, давления нагнетания, размеров насадки, скорости извлечения и вращения монитора и изменяется от 0,2 до 0,4 м и более. При предварительном разрушении грунта водно-воздушной смесью радиус можно увеличить до 1 м.

Диаметр насадки обычно составляет 1-1,5 мм, скорость вращения монитора – 10-20 мин⁻¹, скорость его подъема – 20-70 см/мин; расход закрепляющей смеси – 1-3 л/с, давление нагнетания – 20-50 МПа.

Первый опыт устройства опережающей крепи с помощью струйной цементации из припортальной выемки имел место в г. Варалло Помбия (Италия). Здесь по контуру тоннеля сводчатого очертания пролетом 2 и высотой 2,5 м забурили 15 горизонтальных скважин глубиной 12 м с шагом 0,4-0,6 м и создали опережающую крепь из стабилизированного грунта.

Аналогично с помощью десяти наклонных столбов соответствующим образом обратного грунта закрепили лобовой откос подходной выемки. После этого прошли припортальный участок в неустойчивых песчаных грунтах. Существенных деформаций окружающего массива зафиксировано не было; осадки не превышали нескольких миллиметров, а подъем поверхности земли составил 10 мм.

С применением струйной цементации пройдены отдельные участки тоннелей метрополитенов в г.г. Милане, Вене, Лионе, Сингапуре, железнодорожных тоннелей в Италии, Германии, Швейцарии, автодорожных тоннелей в Австрии, Югославии, Швейцарии.

В нашей стране струйную цементацию грунтов применяют для устройства опор, противофильтрационных завес, а также для усиления фундаментов зданий. В России, таким способом были закреплены фундаменты зданий гостиницы «Метрополь» и Малого театра в Москве.

В Италии фирмой «Родио» разработана технология струйной

цементации и создано специализированное оборудование, которое включает в себя буровые агрегаты, автоматические растворосмесители, высоконапорные насосы для подачи воды (до 60 МПа) и цементного раствора (до 12 МПа), компрессоры и различные инъекционные устройства (мониторы, насадки и пр.).

Аналогичное оборудование создано и применяется в нашей стране.

При строительстве тоннелей мелкого заложения под плотно застроенной территорией в условиях интенсивного уличного движения опережающую крепь устраивают из предпортальной выработки, непосредственно из забоя выработки или специальных камер, пройденных по трассе тоннеля.

Анализ опыта применения струйной цементации для устройства опережающей крепи тоннелей свидетельствует о том, что такая технология достаточно универсальна и может успешно использоваться для закрепления широкого класса грунтов – от несвязных крупнообломочных до мелкодисперсных глинистых независимо от степени их проницаемости. Она имеет существенные преимущества по сравнению с традиционными методами искусственного замораживания и химического закрепления грунтов и представляется эффективной при строительстве тоннелей различного назначения в неустойчивых грунтах.

5.6.8 Зарубежный опыт возведения набрызгбетонной крепи

Одним из наиболее перспективных способов поддержания горных выработок является использование несущей способности слоя породы, прилежащего к контуру горной выработки. Зарубежный опыт строительства тоннелей показывает, что в настоящее время сооружение 30% тоннелей осуществляется новоавстрийским способом тоннелестроения, основой которого является сочетание анкерной и набрызгбетонной крепей. Оба данные вида крепей являются упрочняющими крепями, которые позволяют использовать несущую способность свежееобнаженного приконтурного слоя породного массива, упроченного анкерами и набрызгбетоном, для обеспечения устойчивости горной выработки.

Крепление выработок набрызгбетоном вполне технологично с точки зрения механизации процесса, так как все операции, начиная с загрузки набрызгмашин и кончая нанесением набрызгбетонной смеси на поверхность горной выработки, можно механизировать. Очевидные преимущества и широкий спектр возможного применения данного способа крепления позволяет использовать его как для устройства обделок тоннелей, так и для выработок различного назначения в горнорудной промышленности.

Набрызгбетонирование осуществляется с помощью различных специальных установок, которые по гибкому или жесткому трубопроводу нагнетают компоненты набрызгбетонной смеси в сопло. Известны два основных способа набрызгбетонирования – “сухой” и “мокрый”. При “мокрым” способе по трубопроводу к соплу подается обычная бетонная смесь,

при “сухом”-сухая смесь, в которую вода подается на выходе из сопла. Первый способ распространен гораздо шире, чем второй. В обоих случаях при набрызгбетонировании происходит значительное пылеобразование. Однако, пыль, образующаяся при “сухом” способе менее опасна для здоровья, чем тончайшая аэрозоль, возникающая при “мокроем” возведении этого вида крепи.

В Германии разработаны мероприятия по повышению безопасности работ по набрызгбетонированию “сухим” способом. Выделены три основных фактора вредного воздействия этого способа на человека:

- отравление парами ускорителей схватывания бетона;
- поражение компонентами бетонной смеси, отскакивающими от бетонируемой поверхности;
- пылеобразование.

Токсичные ускорители схватывания бетона наиболее вредны для здоровья работающего персонала. При их применении необходимо пользоваться перчатками, закрытой спецодеждой и специальными защитными шлемами. С помощью смонтированного на шлеме вентилятора загрязненный воздух всасывается в фильтр грубой очистки, оттуда попадает во вторичный фильтр.

У рабочего персонала часто поражаются лицо и руки частицами разбрызгиваемой смеси, около 30% которой “отскакивает” от поверхности выработки. Снижение частоты поражения данными частицами сводится к отказу от применения в бетонной смеси заполнителя с острой ломаной поверхностью, оптимизации рабочего давления в набрызгбетонной машине, оптимальному положению сопла по отношению к обрабатываемой поверхности (расстояние около 1,5 м и под углом 90°). Специальный визир защищает лицо рабочего от попадания бетонной смеси. Смонтированный на нем светопрозрачный лист легко можно снять при загрязнении и заменить новым.

Пылеобразование при “сухом” способе набрызгбетонирования в той или иной степени неизбежно. Мелкая пыль попадает в атмосферу как из самой набрызгмашины (например, через уплотнительные детали), так и при выходе смеси из сопла. Часто высокая концентрация мелкой пыли образуется в месте загрузки смеси в бункер набрызгмашины. Пылеобразование можно существенно снизить за счет оптимального увлажнения исходной смеси (но не менее 3%), снижения высоты падения исходной смеси при загрузке бункера, применения жидкого ускорителя твердения вместо порошкообразного, а также дополнительного оснащения бункера защитным кожухом.

При “сухом” способе бетонирования вода подается к распылительному соплу. Время смешивания воды с компонентами смеси определяется временем их полета от сопла до обрабатываемой поверхности выработки, которое составляет примерно 0,1 с. Этого времени явно недостаточно для смачивания пылеобразных частиц смеси. Снижение содержания пыли в районе сопла достигается правильным подбором состава смеси, путем оптимизации рабочего давления в бетонопроводе, совершенствованием конструкции сопла,

а также разработкой нетрадиционных способов нанесения смеси на поверхность выработки. При добавлении специальных вяжущих составов в исходную смесь содержание пылеобразных частиц можно снизить в 10 раз. Рабочее давление в системе должно быть по возможности низким, но достаточным для того, чтобы избежать засорения ее. При этом диаметр бетонопровода должен быть по возможности меньшим, но не менее трехкратного размера наиболее крупной фракции заполнителя. Длина бетонопровода должна быть в пределах 30...100 м.

В случае применения очень сухой смеси (влажность менее 1,5%) эффективными могут быть распылители специальной конструкции, которые обеспечивают образование водяной завесы вокруг набрызгиваемой смеси. Для смесей влажностью 3-4% такие распылители не дают ощутимого снижения содержания мелкой пыли.

Традиционный способ возведения набрызгбетонной крепи в сочетании с роботами, отделенными от пульта управления примерно на 10 м, в значительной мере облегчает труд рабочих и позволяет защитить их от пыли и поражения частицами смеси. Однако такой способ не получил широкого распространения из-за высокой стоимости и необходимости выделения значительного пространства в выработке для организации рабочего места.

Фирма **КУМАГАИ-ГУМИ** (Япония) разработала способ возведения набрызгбетонной крепи в подземных сооружениях с пониженным пылеобразованием. Данный способ (метод К-С) может применяться для “сухого” и для “мокрого” набрызгбетонирования. Суть этого метода заключается в применении специальной сухой обеспыливающей добавки, которая вводится в сухую бетонную смесь. Пылеобразование при этом составляет 5 мг/м³ и менее. В настоящее время этот метод беспыльного набрызгбетонирования применяется в Японии на семи объектах подземного строительства.

В практике мирового тоннелестроения при устройстве обделок получил распространение набрызгбетон с примесью стальных волокон. При использовании этого армирующего материала отпадает операция укладки арматурных сеток, а в некоторых случаях установки металлической арочной крепи. В результате каждый цикл проходки тоннеля сокращается примерно на 1 час. При строительстве тоннелей неглубокого заложения, например, в пределах города, такой метод значительно сокращает продолжительность их сооружения и приводит к экономии средств.

При применении в качестве обделки тоннелей бетонных тюбингов или блоков те же набрызгмашины могут быть использованы для тампонажа закрепного пространства, образующегося при перемещении проходческой машины по кривой линии и в связи с наличием хвостовой трубы проходческого щита. В этом случае применяются два метода тампонажа закрепного пространства:

- нагнетание за обделку цементного раствора, повышающего ее жесткость;

- заполнение сыпучим материалом (обычно с окатанными зернами размером 4...8 мм), преимуществом которого является образование слоя, сравнительно мягко подпирающего обделку тоннеля. При этом методе целесообразно использовать машины для «сухого» набрызгбетонирования.

Такие машины могут подавать смесь на расстояние 100 м. В серийное оборудование машин входит устройство дистанционного управления, что позволяет вести работы в автоматическом режиме.

Фирма **ВЕКАЕРТ** (Бельгия) разработала технологию получения бетона DRAMIX, армированного стальными волокнами для применения в строительстве различных сооружений, к которым предъявляются повышенные требования по прочности, износостойкости, ударной прочности, в том числе при возведении крепей и обделок способом набрызгбетонирования.

Для избежания образования комков волокон при приготовлении бетонной смеси было принято решение изготавливать их в виде склеенных пучков и загружать непосредственно в затворенную бетонную смесь. Склеенные пучки волокон при перемешивании смеси перераспределяются в бетонной массе, а затем под действием воды и трения заполнителя разделяются на отдельные волокна. В результате имеет место равномерное и однородное распределение волокон в бетонной смеси стандартным смесительным оборудованием.

Опыт показал, что волокна следует загружать при помощи бункера-дозатора после перемешивания всех компонентов бетонной смеси. Время смешивания последней со стальными волокнами обычно такое же, как и для других бетонных смесей. Транспортирование и укладка бетонной смеси со стальными волокнами осуществляется обычным способом и стандартным оборудованием.

На приготовление 1 м³ бетонной смеси DRAMIX расходуется 20...100 кг стальных волокон, для изготовления которых используют обычную сталь, сталь с антикоррозийным покрытием или нержавеющей. Из обычной стали изготавливают волокна длиной 25, 30, 50, 60 мм, диаметром 0,4; 0,5; 0,8; 1,0 мм. Из стали с антикоррозийным покрытием изготавливают волокна длиной 40, 60 мм, диаметром 0,6; 0,8 мм, а из нержавеющей стали волокна длиной 30, 50 мм диаметром 0,4 мм и 0,5 мм. Прочность такого бетона на одноосное сжатие в зависимости от содержания стальных волокон в смеси составляет 50...60 МПа, при растяжении - 4,2...5,5 МПа.

Фирма **ТЕЙСЕЙ** (Япония) разработала высокопроизводительный (6...12 м³/час) автоматизированный комплекс для приготовления и набрызга бетонной смеси с дистанционно управляемым соплом на стреле экскаватора. Этот комплекс был успешно применен при строительстве ряда железнодорожных тоннелей. Основой технологической схемы являются две параллельные технологические линии, объединенные операцией смешивания SEC-раствора на стадии приготовления бетонной смеси.

На одной технологической линии изготавливается цементный раствор по методу SEC (дозировка, промывка, контроль влажности песка, смешивание

с цементом, водой и добавками, перекачка растворомасосом в нагнетательную установку).

На другой - приготавливаются компоненты для сухого способа нанесения смеси на поверхность (гравий, песок, стальная фибра, цемент, химические добавки-ускорители схватывания и твердения), перемешанные компоненты поступают в набрызгмашину, а затем по трубопроводу в смеситель с SEC-раствором. Из смесителя готовая смесь через сопло наносится на поверхность бетона.

Данная технология позволяет получить однородный со значительным сцеплением с породой высокопрочный бетон, хорошо работающий как на сжатие, так и на растяжение. Прочность на сжатие составляет 50...60 МПа, прочность на растяжение – 10 МПа. Такой бетон устойчив на динамические воздействия (землетрясения) за счет введения стальной фибры и химических добавок. Кроме того при такой технологии значительно уменьшается величина «отскока» бетонной смеси с 30% по традиционной до 10% по предложенной технологии.

В отчете, составленном в 1999 году Японской ассоциацией по строительству тоннелей **Japan Tunnelling Assotiation**, приводятся сведения о строительстве тоннелей в разных странах, где для устройства постоянной обделки применялся метод набрызгбетонирования.

Это железнодорожные тоннели:

- Hohdrich Tunnel (**Швеция**) – обделка толщиной 150 мм;
- Table Tunnel (**Канада**) – обделка толщиной 150 мм;
- Washington D.C. metro (**США**) – обделка толщиной 180 мм;
- French Tunnel (**Франция**) – обделка толщиной 100...200 мм в обычных условиях и 300 мм в слабых породах.

Все разработки по совершенствованию технологии возведения крепи и обделок способом набрызгбетонирования направлены как на улучшение качества получаемого бетона, так и на улучшение условий работы персонала занятого на этих работах. Набрызгбетонная крепь известна и применяется много лет как за рубежом, так и в нашей стране. Однако работы по совершенствованию ее технологии ведутся и в настоящее время.

Как было представлено выше, основными поражающими факторами в процессе набрызгбетонирования, являются отравление парами ускорителей схватывания бетона, механическое поражение отскакивающими компонентами смеси и значительная запыленность рабочего места, обусловленная традиционной технологией.

В **ДонНТУ** (Украина) ведутся исследования и разработка метода набрызгбетонирования, сводящего к минимуму все вредные факторы одновременно. Для этой цели исследуется нетрадиционная взрывная технология набрызга. Этот способ защищен авторским свидетельством на изобретение и основан на нанесении бетонной смеси на поверхность горной породы с помощью энергии взрыва. При этом одновременно производится воздействие ударной волны на компоненты бетонной смеси и стенки выработки, что должно влиять на образование короткоживущих активных

центров, которые повышают гидратационные свойства цемента и адгезию бетона с породой. Разрабатываемый способ исключает нахождение персонала в местах производства работ и практически исключает все перечисленные вредные воздействия на человека. Качество крепи при такой технологии повышается.

5.6.9 Влияние окружающей среды на надежность тоннельных сооружений

В практике строительства тоннельных сооружений метрополитенов (ТСМ) под надежностью понимают вероятность того, что ТСМ будут обеспечивать беспрепятственный пропуск поездов и пассажиропотоков в течение определенного промежутка времени и в общем случае может быть определена из временного процесса, учитывающего изменения в самой конструкции и воздействия на нее других факторов.

Обеспечить абсолютную надежность, какой бы то ни было конструкции, т.е. своевременно исключить возможность отказа работы сооружения, как с теоретической, так и с практической точек зрения невозможно. Общий уровень долговечности ТСМ спустя некоторый интервал времени (годы, десятилетия) после их возведения, определяется не только начальной надежностью, но и теми изменениями, которые произошли в материале конструкций и характере их **взаимодействия с окружающей средой**.

В практике отечественного подземного строительства транспортные тоннели рассматриваются как капитальные сооружения, рассчитанные на длительный срок эксплуатации, не менее 100-150 лет. В течение этого периода они должны удовлетворять требованиям эксплуатационной надежности, обеспечивая безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность сооружения в целом и его составных частей, т.е. обеспечить способность сооружения выполнять заданные функции. Практика показывает, что в первые 10 лет эксплуатации тоннелей обычно никаких серьезных повреждений конструкций и эксплуатационного оборудования не возникает. Через 15-25 лет наблюдаются некоторые дефекты. По прошествии 50-70 лет отмечаются повреждения, являющиеся следствием неудачного проектирования и строительства, нарастает старение материалов конструкций тоннеля, изменение в окружающем его грунте.

В зарубежной практике, при определении срока долговечности тоннелей, в частности, при проектировании и строительстве нового радиуса Юбилейной линии Лондонского метрополитена исходят из следующих положений:

- необходимости учета положительного 140-летнего опыта эксплуатации старинных линий Лондонского метрополитена, сооруженных в 1861 г.;
- учета новой, более современной технологии строительства;

- соблюдения высокой степени водонепроницаемости конструкций перегонных тоннелей и станций метрополитена.

Специалисты считают, что при соблюдении этих основных требований срок службы строящегося Юбилейного радиуса Лондонского метрополитена должен быть около 400 лет.

При этом не учитываются серьезные нарушения эксплуатационной надежности тоннелей, (которые могут произойти практически в любое время) вследствие стихийных природных явлений, несоблюдения условий безопасной эксплуатации, дефектов конструкций и эксплуатационного оборудования, а также несвоевременного проведения осмотров и ремонтов сооружения.

В процессе эксплуатации подземные конструкции метрополитенов на отдельных участках претерпевают значительные изменения. За счет наличия уступов между блоками, неплотной забутовки или пустот за обделкой. Расчетная схема надежности для таких конструкций может быть принята в виде системы со случайными начальными погрешностями, в которой происходят временные изменения, обусловленные изменением нагрузок от расчетной схемы или старением материалов.

Теория надежности рассматривает различные системы. Под каждой из них понимается комплекс элементов, объединенных по какому-либо признаку. Признаки могут быть различными и отражать, в частности, их функциональное объединение для выполнения определенной эксплуатационной задачи как, например, обеспечение несущей способности.

Исходя из такого представления, за систему можно принять все кольца обделки одного радиуса метрополитена. В этом случае, отказ одного из элементов (кольца) означает отказ всей системы, влекущий за собой ограничения или полное прекращение движения поездов. В принятую систему входят конструкции различных типов, каждая из которых также может быть представлена в виде системы, но более низкого уровня. Количество таких конструкций может иметь длинный перечень, в который должны войти перегонные, станционные и эскалаторные тоннели, камеры съездов, пересадочные узлы, шахтные стволы и т.д.

Каждое из перечисленных сооружений строилось в различных конструктивных вариантах и геометрических размерах, из различных материалов и по определенным технологическим схемам.

Размеры системы надежности будут разрастаться, если учитывать погрешности монтажа, дефекты материала и изменчивость инженерно-геологических условий заложения подземных сооружений. В этом случае необходимо рассматривать систему с большим количеством проектных элементов и широким комплексом конструкций. Установить границы такой системы практически невозможно. Поэтому решение задачи в подобной ситуации требует принятия существенных ограничений.

Предельное сопротивление прочности конструкции используемой в качестве несущего элемента в значительной степени определяется пределом прочности конструкционных материалов. Расчетные параметры этих материалов установлены на основании статистической обработки результатов ис-

пытания огромного количества образцов. Результаты испытания используемых материалов представляются в виде гистограмм и обычно довольно плотно группируются около их среднего значения. Кривая распределения аппроксимируется вдоль горизонтальной оси от малых до больших величин нормальным законом распределения.

Аналогичное положение и с усилиями, перемещениями, деформациями от внешних воздействий на подземную конструкцию, главным из которых является давление горных пород, которое представляется в виде статистической величины, подчиняющейся нормальному закону распределения.

Таким образом, сформированное понятие надежности тоннельных сооружений может быть выражено в виде:

$$P \cdot (N < R),$$

где P - знак вероятности;

N - давление горных пород;

R - предельное сопротивление прочности конструкции.

Надежность конструкции обеспечивается при удовлетворении условия:

$$P \cdot (R - N > 0) = A$$

где A - вероятность недостижения предельного состояния.

Поскольку значения R и N подчиняются нормальному закону распределения, функции надежности конструкции будет представлена нормальным законом распределения. Наличие «хвостов» распределения требует, хотя и с малой вероятностью, допущения, что функция $R - N$ находится в пределах от бесконечно больших значений до нуля. Отрицательное ее значение свидетельствовало бы, что конструкция по своим показателям перешла границы предельного состояния.

Практика строительства и эксплуатации тоннелей показывает недостаточную обоснованность принятия значений прочности и нагрузок существенно отличающихся от средних величин. Так, нет оснований ожидать чрезмерно больших значений предела прочности бетона на сжатие. С аналогичных позиций необходимо рассматривать и горное давление. Наряду с этим имеется определенный физический предел, выше которого величины прочности и нагрузок — невозможны.

Материалы, имеющие прочность ниже допустимой нормами, должны рассматриваться как бракованные и использовать их в строительстве - не допустимо. Это требование узаконено существованием сети специальной контрольной службы.

Известно, что микротрещины в сжатом бетоне начинают появляться при уровне напряжений, составляющем 0,3...0,5 от предела прочности в зависимости от марки материала. Это означает, что в обычных железобетонных конструкциях, в которых внутренние усилия не зависят (или мало зависят) от их деформаций, трещины в бетоне образуются при нагрузках в 2-3 раза меньше разрушающих. В сборных же тоннельных обделках трещины и сколы бетона в

отдельных элементах могут появляться при нагрузках в 10-20 раз меньше разрушающих. Образование и раскрытие трещин в тоннельных обделках сопровождаются уменьшением их жесткости и, следовательно, приводит к более выгодному распределению реактивного давления и уменьшению изгибающих моментов. Появление микро и даже макротрещин в обделке не приводит к немедленной аварийной ситуации. В то же время в бетоне и железобетоне интенсивность разрушающего воздействия агрессивных факторов при наличии трещин может увеличиваться в десятки раз.

Применительно к подземным конструкциям решение проблемы обеспечения долговечности при совместном воздействии силовых факторов и неблагоприятном влиянии внешней среды только путем ограничения эксплуатационных напряжений приведет к чрезмерно большому значению начальной надежности или к завышенному значению элементов в кольце. Поэтому, задача создания долговечных и в то же время экономичных железобетонных обделок тоннелей, имеет определенную специфику и требует еще своего решения.

Анализ факторов, влияющих на надежность подземных сооружений метрополитенов, позволяет их условно разделить на три группы:

- начальная надежность;
- условия эксплуатации;
- влияние окружающей среды.

Начальная надежность сооружения зависит от качества проектирования и строительства. Другими словами можно сказать, что начальная — это надежность сооружения сразу после его постройки без учета воздействия окружающей среды. Таким образом начальная надежность напрямую зависит от развития современной техники и технологии строительства. Разграничив это понятие можно выделить три фактора:

- качество строительства;
- соответствие материалов;
- соответствие технологии.

Качество строительства одни из основных факторов, влияющих на начальную надежность. Это обусловлено тем, что как бы ни была запроектирована конструкция, основное, что влияет на надежность - это насколько качественно (насколько приближенно к проекту) она выполнена. Эта проблема должна решаться непосредственно в строительных организациях. На рабочих местах должны использоваться квалифицированные рабочие. Качественное ведение работ не возможно без применения высокопроизводительной техники. Работа должна выполняться в строгом соответствии с документацией. Для увеличения последующего срока надежной эксплуатации сооружений метрополитена состав работ должен включать работы по проверке качества строительства. Это в первую очередь относится к работам, имеющим отношение к поддержанию работоспособности обделки, такие как: работы по гидроизоляции, тампонажу, предварительному обжатию.

Соответствие материалов предусматривает, что ведение работ должно соответствовать проекту и для увеличения долговечности в проекте должны быть предусмотрены материалы, имеющие характеристики необходимые для

гарантии обеспечения работоспособности в конкретных условиях, т.е. качество и необходимость каких-либо материалов должна быть обоснована. Это имеет особо важное значение при проведении тоннелей в породах, содержащих агрессивные воды. Обделка (бетонная или железобетонная) должна быть стойкая к любому виду агрессии среды. Таким образом, качество бетона, т.е. наличие в нем необходимых добавок, имеет весомую роль.

Соответствие технологии при строительстве метрополитенов предусматривает применение тоннелепроходческих щитовых комплексов, позволяющих в забое выработки поддерживать окружающие породы щитом при минимальном обнажении пород в процессе установки кольцевой обделки. Вследствие того, что крепление производится вслед за подвиганием щита и осуществляется обжатие блочной обделки в породу окружающую выработку, производится тампонаж и цементация породного массива, концентрация напряжений на обделку и сдвигание дневной поверхности исключается.

При применении буровзрывной технологии необходимо полностью исключить образование закрепных пустот в горном массиве, прилегающих к обделке, ведущих к неравномерному обжатию, изменению геометрических размеров, разрушению обделки, проседанию дневной поверхности и к разрушению строений расположенных на ней.

В настоящее время в зарубежной практике разработаны технологии проведения тоннелей метрополитенов расположенных на глубинах от 6 до 60 м от поверхности земли в различных горно-геологических условиях, полностью исключающие деформацию дневной поверхности.

Условия эксплуатации влияющие на последующую надежность тоннельных сооружений метрополитенов — многофакторный показатель, включающий:

- своевременный ремонт;
- использование сооружений по назначению;
- своевременная профилактика;
- учет динамических нагрузок, возникающих при эксплуатации метрополитена.

Наибольшее влияние на несущие конструкции оказывают **динамические нагрузки** не предусмотренные статическим расчетом, но возникающие при эксплуатации. Это аварийные нагрузки и нагрузки, возникающие при движении состава, и воздействующие на тоннельную обделку при двух конструкциях пути: с рельсошпальной решеткой на щебеночном балласте и безбалластный с плитным подрельсовым основанием. При прохождении поездов возникают пространственные колебания обделок, сопровождающиеся появлением добавочных динамических напряжений в последних, которые зависят от скорости движения состава и марки бетона обделки. Дополнительные знакопеременные напряжения, возникающие в обделке при движении поездов, безусловно, влияют на надежность и долговечность тоннельных сооружений метрополитенов.

Влияние окружающей среды на надежность тоннельных сооружений сводится к учету многих факторов воздействия горного массива на ограж-

дающие конструкции метрополитена. Придание конструкциям стойкости к внешним воздействиям представляет собой сложную эколого-технологическую проблему. При сооружении метрополитена наиболее распространенным и экономически обоснованным с точки зрения несущей способности является железобетон. Для анализа возможных процессов, возникающих на контакте среды и материала сооружений необходимо знание характеристик окружающей среды, агрессивных по отношению к железобетону и свойств бетона и арматуры различного вида и состава, их поведения в различных средах.

Уменьшению влияния окружающей среды будут способствовать исследования:

- коррозионности материалов;
- гидроизоляции отделки;
- подтопления после закрытия шахт;
- воздействия подрботок.

Перечисленные факторы являются предметом самостоятельных исследований.

Решение проблемы надежности тоннельных сооружений позволит повысить эффективность общественного производства. В области строительства эффективность может быть достигнута за счет уменьшения расчетных коэффициентов запаса при гарантированном качестве конструкции и уменьшения влияния окружающей среды. В области эксплуатации — за счет проведения своевременных и в минимальных объемах ремонтных работ по поддержанию заданного уровня надежности в течение всего срока службы. Сравнительный уровень приведенных затрат является народнохозяйственной мерой экономической оценки качества сооружений и технологического процесса.

5.7 Щитовой способ проходки тоннелей

5.7.1 Сущность и область применения щитового способа

Сущность щитового способа заключается в том, что он предусматривает применение выдвигной металлической конструкции (щита), под защитой которого обеспечивается безопасное выполнение работ в забое тоннеля по разработке породы, погрузке ее на средства подземного транспорта возведение крепи (обделки).

Способ щитовой проходки применяется при сооружении выработок (тоннелей) диаметром от 2 до 10 м в грунтах с коэффициентом крепости по проф. М.М. Протодяконову $f \leq 4$. Проходка ведется на полное сечение с применением щита, т.е. агрегата, представляющего собой передвижную, временную предохранительную крепь. Возводимая постоянная крепь должна устанавливаться как можно скорее после обнажения породы и плотно примыкать к последней. Период пребывания кровли выработки в незакрепленном состоянии должен быть сведен к минимуму, так как необходимо предотвратить деформацию контура выработки и развитие

горного давления. Этим факторам может препятствовать быстрее сооружение постоянной обделки с заполнением закрепного пространства цементным раствором, обеспечивающим стабилизацию напряженного состояния горного массива вокруг тоннеля.

Щит, как правило, круглой, реже прямоугольной формы поперечного сечения, передвигается вслед за разработкой забоя путем отталкивания гидродомкратами от ранее установленной обделки. Внутри щита размещаются механизм разработки забоя (рабочий орган), устройство для погрузки и перегрузки породы из пределов призабойного пространства на транспортные тоннельные средства, устройство для монтажа элементов сборной тоннельной обделки, устройство для передвижения щита на забой и другие механизмы и оборудование.

В мировой практике проходческий щит был запатентован и впервые применен инженером Брюнелем в 1852 г. в Лондоне при строительстве транспортного тоннеля под рекой Темзой. В дальнейшем конструктивные элементы щита существенно изменились, но сама идея, предложенная Брюнелем, осталась неизменной.

Щитовая проходка позволяет уменьшить промежуток времени между раскрытием выработки и закреплением ее постоянной обделкой, а своевременное нагнетание цементного раствора за каждое установленное кольцо обделки повышает устойчивость горного массива. Это позволяет предотвратить развитие горного давления и деформацию пород, расположенных над выработкой, что особенно важно при проведении тоннелей под застроенной территорией.

В настоящее время существует много разновидностей проходческих щитов, предназначенных для сооружения тоннелей различного диаметра в разнообразных геологических условиях. Однако все существующие разновидности имеют единую принципиальную схему сооружения перегонных тоннелей, предусматривающую следующий порядок производства работ (рис. 5.16). под защитой ножевого кольца 1 щита с использованием его горизонтальных перегородок 8 в качестве подмостей забой разрабатывают, например, отбойными молотками с одновременной уборкой породы на одну заходку, равную ширине кольца обделки. После выполнения этих проходческих процессов включают гидравлические домкраты 3, расположенные по всей окружности опорного кольца 2. Отталкиваясь от последнего смонтированного кольца обделки тоннеля 5, щит продвигается вплотную к забою и углубляет ножевое кольцо в породный массив по возможности на глубину заходки.

После выемки грунта внутри ножевого кольца и продвижения его вперед по ходу выработки на глубину заходки, включением обратного хода домкратов, штоки убираются в опорное кольцо 2 и в освобожденном пространстве под защитой оболочки щита 4 монтируют при помощи укладчика очередное кольцо 7 сборной обделки или подают бетонную смесь для монолитно пресованной обделки.

Такими четко определенными циклами ведется проходка тоннеля с возведением обделки сразу после извлечения грунта, т.е. с минимальными деформациями окружающего массива.

Составляющие призабойные элементы немеханизированных щитов имеют следующие назначения:

ножевое кольцо – для защиты проходчиков от обрушения кровли забоя, вдавливания в мягкие грунты и частичной их срезки;

опорное кольцо – для размещения гидравлических щитовых домкратов;

гидродомкраты – для внедрения ножевой части щита;

оболочка щита в виде тонкостенного цилиндра – для ограждения участка монтажа сборной обделки;

горизонтальные и вертикальные перегородки – образуют рабочие ячейки, позволяющие разрабатывать и крепить забой по всей его площади.

На вертикальных перегородках закреплены забойные домкраты, предназначенные для предотвращения вывалов породы из забоя при неустойчивых породах. Горизонтальные площадки образованы выдвигными рабочими платформами, которые служат не только для удобства доступа к забою, но и для защиты находящихся на нижних ярусах проходчиков.

В зависимости от поперечного размера щита могут быть: малые – диаметром до 3,5 м; средние – от 3,5 до 6,5 м; большие – диаметром более 6,5 м.

В разных типах проходческих щитов предусмотрены личные способы разработки забоя, уборки разрушенной породы и возведения обделки, но принципиальная схема циклического продвижения всего комплекса остается единой.

По способу разработки забоя все существующие щиты подразделяются на немеханизированные (иногда их называют «частично механизированные») и механизированные. В немеханизированных щитах отсутствуют какие-либо устройства для разрушения пород забоя. Эти щиты выполняют функции передвижной крепи и рабочих подмостей.

Немеханизированные щиты имеют более широкую область применения (от пльвунов до крепких пород), так как позволяют разрабатывать в забое тоннеля мягкие породы с коэффициентом крепости $f = 1 - 2$ отбойными молотками, а крепкие с коэффициентом крепости $f > 2$ – буровзрывным

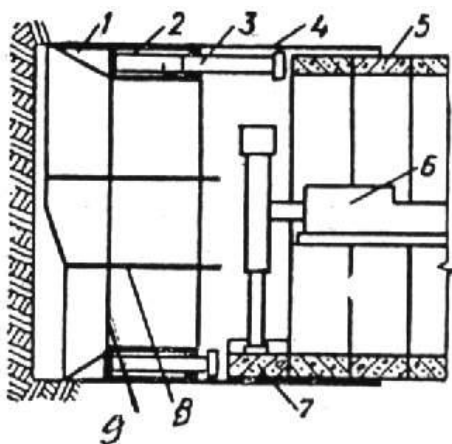


Рис. 5.16. Принципиальная схема щитового способа:

1 – ножевое кольцо; 2 – опорное кольцо; 3 – гидродомкраты; 4 – оболочка щита; 5 – обделка тоннеля; 6 – тюбингоукладчик; 7 – кольцо сборной обделки; 8 – горизонтальные перегородки; 9 – вертикальные перегородки

способом. Отбитая из забоя порода убирается обычно погрузочными машинами или специальными устройствами, смонтированными в нижнюю часть щита. При встрече неустойчивых пород для предотвращения вывала породы из забоя, лоб забоя крепится инвентарной крепью различной конструкции, опирающейся на вертикальные перегородки щита.

Передвигаются проходческие щиты по мере выемки породы в забое, путем отталкивания гидродомкратами от ранее установленной постоянной крепи, расположенными по периметру опорной части щита.

Проходка тоннелей немеханизированными щитами незаменима, если по длине трассы встречаются породы различной крепости, с включением участков крепких пород, разрушение которых механическим способом – невозможна. В таком случае, без применения немеханизированного щита требуется неоднократная смена способов производства работ, резко удлиняющая сроки строительства. Применение немеханизированных щитов позволяет успешно осуществлять проходку тоннелей в условиях, когда в забое залегают породы слоями различной крепости. В таких случаях разработку пород в забое можно производить на каждом ярусе щита разными способами, например, внизу буровзрывным, а наверху – отбойными молотками с установкой временной крепи.

При пересечении пльвунов, водонасыщенных мелкозернистых пород немеханизированные щиты применяются в сочетании с водопонижением, искусственным закреплением и замораживанием пород.

Таким образом, головной агрегат щита – это подвижная металлическая оболочка, под защитой которой выполняются основные операции – разработка и крепление забоя, уборка породы и сооружение постоянной крепи – обделки.

При помощи специальных дополнительных механизмов можно частично или полностью механизировать все эти трудоемкие процессы и тогда щит может быть представлен как механизированный агрегат, обеспечивающий достижение высоких скоростей работ при значительно меньших затратах труда.

Механизированные щиты имеют в головной части устройства, позволяющие разрушать породу в забое механизированным способом, а не ручным или с помощью БВР. Эти щиты обычно имеют более узкую сферу применения, ограниченную определенным видом и состоянием пород.

Для устойчивых пород, требующих принудительной разработки, щиты оснащаются рабочими органами механического действия, что позволяет довести механизацию выполняемых процессов до 85-90%.

Для сыпучих и пльвунных пород применяются удерживающие и дозирующие устройства.

Наибольшее распространение получили щиты с роторным рабочим органом, посаженным на горизонтальный вал, вращающийся вокруг продольной оси тоннеля. Конструкция такого рабочего органа отличается простотой и надежностью. Привод осуществляется от электродвигателя через редуктор непосредственно на рабочий орган.

Роторный рабочий орган дискового типа имеют большинство

механизированных щитов, предназначенных для проходки перегонных тоннелей метрополитена в слабых породах. С роторами барового типа применяются щиты для проходки коммунальных тоннелей в устойчивых породах средней крепости.

Планетарный рабочий орган применяется для разработки пород, способных удерживать длительное время вертикальную плоскость забоя. Рабочий орган этого вида успешно применяется на механизированных щитах при проведении перегонных тоннелей Санкт-Петербургского и Московского метрополитенов. В щитах, предназначенных для проведения тоннелей в более крепких породах нашел применение штанговый рабочий орган. Он представляет собой фрезу, посаженную на штангу и благодаря пространственному вращению штанги с фрезой происходит разрушение пород забоя.

Для проходки тоннелей в сыпучих породах главная часть щита оснащается горизонтальными полками, вдавливаемыми в забой при продвижении щита под действием домкратов. Образующиеся на полках осыпи породы под углом естественного откоса удерживают лоб забоя, исключая необходимость его крепления. Полки оборудуются вибрационными устройствами.

Очень сложной средой для проведения тоннелей являются водонасыщенные плавунные породы. В настоящее время в ряде стран проведены большие работы по созданию герметизированных проходческих щитов, избавляющих людей от работы под сжатым воздухом. Забойная зона в таких щитах герметически изолируется от тоннельного пространства. Разработка и погрузка породы производится в герметичной камере без участия людей. В щите фирмы «Роббинс» (США) в камеру подается сжатый воздух, уравновешивающий гидростатическое давление. Осушенная порода разрабатывается дисковым рабочим органом и убирается транспортером через транспортную трубу со шлюзовым аппаратом.

В щите ЦНИИСа (Россия) рабочая камера заполняется водой под давлением, соответствующим гидростатическому. Плавун в затопленном забое приобретает возможность удерживать достаточно крутой откос. Порода разрабатывается и убирается за пределы щита гидромеханизированным способом.

Таким образом, область применения механизированных щитов все более расширяется. Ведутся работы по созданию систем автоматизированного управления щитовыми агрегатами, что позволит сооружать тоннели в самых сложных гидрогеологических условиях без присутствия людей в забое.

При выборе способа разрушения пород в забое тоннелей метрополитена (механизированным или немеханизированным щитом) следует исходить из положения оптимальных затрат на разрушение 1 м³ породы.

Достоинство щитовой проходки заключается в следующем:

- в отличие от горных способов работ щитовой не требует применения временных крепей, что повышает безопасность и экономическую эффективность выполняемых работ;

- щитовая проходка может быть применена в большом диапазоне геологических и гидрогеологических условий, что делает ее универсальным способом работ;
- применима в любых породных условиях и обеспечивает возможность полной механизации всех процессов тоннельных работ при высоком качестве их выполнения;
- незаменима для городских условий, позволяющая сооружать тоннели круглогодично, без вскрытия поверхности и без нарушения уличного движения

Недостатки – узость фронта работ и необходимость совмещения производства ряда процессов проходческого цикла, что требует строгой увязки всех операций во времени и высокой их механизации.

Проходке тоннелей метрополитена щитами предшествуют подготовительные работы, заключающиеся в сооружении монтажной щитовой камеры, доставке щитового оборудования в разобранном виде с поверхности и монтаж щита.

Камеру для сборки щита располагают по трассе сооружаемого тоннеля и придают ей внутренние размеры, несколько превосходящие внешние очертания щита с учетом размещения монтажного оборудования.

5.7.2 Технология проходки немеханизированным щитом

При сооружении тоннелей немеханизированными щитами решающее значение имеет правильная организация работ непосредственно в забое, т.е. процессов проходческого цикла. Организация работ зависит от устойчивости пород в забое выработки и (независимо от устойчивости пород) включает следующие процессы: разработку забоя, погрузку отделенной от горного массива породы и крепление. Процессы разработки забоя различны для пород неустойчивых, мягких и крепких. Погрузка любой разрыхленной породы выполняется обычно с применением погрузочных машин, заезжающих в нижнюю ячейку щита.

Проходка в неустойчивых породах осуществляется при обязательном удержании забоя от сползания, т.е. с применением временного крепления лба забоя в ячейках щита. Для предотвращения выпуска породы из кровли устраивается выдвижной или постоянный козырек, выступающий вперед относительно ножевого кольца на 1 м. Выдвижной козырек может быть в виде сплошной арки из листового металла или отдельных секций.

В начале разработки забоя козырек выдвигается при помощи гидравлических домкратов, укрепленных на ножевом кольце щита. Когда после разработки всего профиля передвигается щит, козырек остается на месте и по окончании передвижки оказывается в убранном положении.

В сыпучих породах проходку ведут со сплошным креплением лба забоя досками или щитами, которые поддерживаются забойными домкратами щита. Такой вид крепи получил название шандорной. Технология проведения тоннеля с применением этой крепи заключается в следующем. Включением

всех домкратов щит вдавливается в забой на 30-50 см и начинается выемка породы ярусами сверху вниз по всей ширине выработки, причем работы ведутся с горизонтального полка одновременно во всех ячейках щита одного яруса. Вынимаемую лопатами породу сбрасывают через люки в лоток тоннеля. После выемки породы шандарную крепь вставляют в свою ячейку и подпирают ее гидравлическими домкратами, основание которых упирают в горизонтальные или вертикальные перегородки щита.

Во время передвижки щита шандарная крепь поддерживается забойными домкратами, штоки которых благодаря сбрасыванию давления жидкости, постепенно входят в цилиндры. После нескольких передвижек щита на ширину кольца собирают очередное кольцо обделки и цикл повторяется.

При проходке тоннелей щитами в неустойчивых породах большие трудности возникают с обеспечением их перемещения по проектной оси тоннеля, т.к. под действием собственного веса имеется тенденция к его занижению, т.е. щит тонет. Для предотвращения этого явления породу из лотковой части забоя полностью не выбирают, при передвижении щита не включают верхние домкраты.

Проходка в мягких породах предусматривает разработку забоя заходками сразу на ширину кольца обделки с обязательным применением временной крепи (рис. 5.17). Кровлю крепят сплошной затяжкой из досок 1, закладываемых одним концом за кружальную балку 2, подвешенную к щиту 3, а другим – в штыбу выработки. Лоб забоя при необходимости крепят горизонтальными досками вразбежку, которые прижимаются ко лбу забоя забойными домкратами 5. Породу разрабатывают одновременно во всех ячейках щита отбойными молотками со снятием нескольких ограждающих досок и переносом их в новое положение. Работы ведутся с выдвинных платформ 4, которые могут использоваться для временной поддержки крепи до прижатия ее забойными домкратами. После уборки породы передвигают щит с удалением затяжки в кровле.

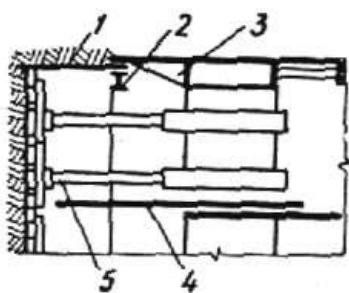


Рис. 5.17. Временная крепь забоя:

- 1 – крепь из досок; 2 – кружальная балка; 3 – нож щита; 4 – выдвинная платформа; 5 – забойный домкрат

При отсутствии необходимости в креплении лба забоя сначала разрабатывают посередине вертикальную прорезь на глубину заходки, затем ведут расширение профиля с обеих сторон ярусами сверху вниз, что позволяет исключить перекидку породы к люкам в ячейки щита.

При проходке тоннелей в глинистых породах целесообразно в ножевой части щита устанавливать режущую решетку из стальных полос. При продвижении щита решетка вместе с ножевым кольцом вдавливается в забой и порода выжимается через ячейки в виде кусков прямоугольной формы при сохранении общей

устойчивости забоя.

В практике метростроения известна технология проходки тоннелей большого сечения в мягких породах *с опережающей штольней*, которая заключается в том, что на все ее протяжении устраивают бетонный лоток с втопленными направляющими рельсами, головки которых устанавливают точно по продольному профилю тоннеля на уровне низа ножевого кольца щита. По этим рельсам щит скользит при продвижении, сохраняя все время проектное положение. В этом случае штольню обычно используют для транспортировки породы из забоя, а элементы обделки и другие материалы подаются со стороны тоннеля. Такое разделение транспортных потоков создает удобство в работе, позволяет ускорить сооружение тоннеля, иметь запасной выход, упростить вентиляцию, но требует дополнительные затраты на проходку сквозной штольни, что приводит к возрастанию стоимости строительства.

Немеханизированный щит при проходке тоннелей *в породах средней крепости* выполняет функции подвижной крепи, выполняет функции подвижной крепи, позволяющей вести проходческие работы одновременно по всему поперечному сечению выработки и поддерживать породу от обрушения по контуру выработки до возведения тоннельной обделки.

Разработка забоя в этом случае ведется буровзрывным способом заходками на одно кольцо обделки. При расположении пород средней крепости в пределах всего сечения забоя и при толщине ее слоя над шельгой свода более 2-3 м можно одновременно разрабатывать породу по всему сечению тоннеля, располагая шпурсы по концентрическим окружностям, согласно паспорта БВР. При расположении пород средней крепости не по всей высоте поперечного сечения щита или при толщине слоя крепкой породы над щитом менее 2 м разрабатывать породу буровзрывным способом одновременно по всей высоте забоя запрещается. Необходимо в таких случаях проводить последовательное разрушение забоя в отдельных ярусах щита. Работы ведутся согласно паспорту буровзрывных работ, проверенному на нескольких опытных взрываниях. Величина зарядов взрывчатых веществ принимается минимальной. Для ограждения разброса кусков породы и предохранения щитового оборудования в каждой ячейке щита устанавливают съемные стальные решетки или навешивают стальные цепи, амортизирующие удары летящей породы после взрыва забоя тоннеля. При ведении взрывных работ необходимо ограничивать величину заряда и снижать эффект выброса породы во избежание повреждений щита.

Целесообразно кроме теоретических расчетов осуществлять проверку паспорта буровзрывных работ в начале работ на нескольких опытных заходках.

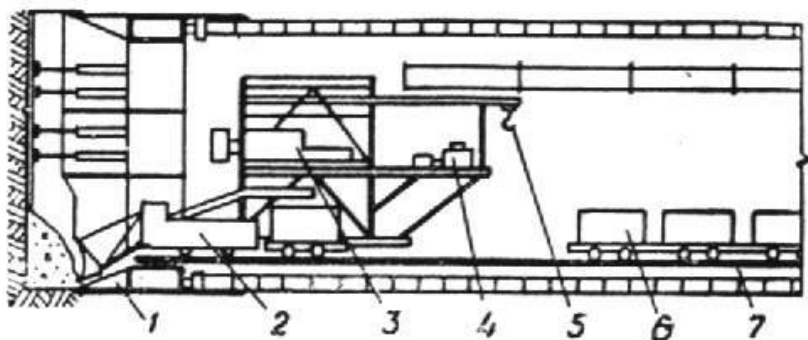


Рис. 5.18. Комплекс оборудования стационарного тоннеля:

1 – проходческий щит; 2 – погрузочная машина; 3 – тьюбингоукладчик; 4 – аппарат для цементации; 5 – электротельфер; 6 – состав вагонеток; 7 – стрелочный перевод

После проветривания забоя, одновременно с погрузкой породы погрузочной машиной, расположенной в нижней ячейке щита, зачищают профиль сечения отбойными молотками. При необходимости крепят кровлю затяжкой, опирающейся на оболочку щита и штрабу в породе.

В практике отечественного метростроения с применением немеханизированного щита и буровзрывных работ чаще всего встречается следующий технологический комплекс оборудования. В этот комплекс входит проходческий щит 1 (рис. 5.18), погрузочная машина 2, тьюбингоукладчик 3, аппарат для нагнетания цементно-песчаного раствора за обделку 4, электротельфер 5 для разгрузки тьюбингов и подачи их к тьюбингоукладчику для монтажа в кольцо крепи 6, состав вагонеток емкостью 1,5 м³ и стрелочный перевод 7 на передвижной платформе. Пути в тоннеле после каждого передвижения щита соединяются вставными звеньями длиной 0,75 м. Вслед за продвижением забоя наращивают вентиляционные трубы.

При сооружении боковых тоннелей станции Таганская Ждановского радиуса Московского метрополитена в забое тоннеля работала бригада в составе 12-14 человек: 3-5 – на оборке породы и креплении забоя, по одному – на бурении забоя и нагнетании раствора за обделку, 2 – на погрузке породы и ее откатке в вагонетках, 4 – на монтаже обделки и подаче тьюбингов. При такой организации работ скорость сооружения тоннелей достигала 54 м/мес.

5.7.3 Технология проходки механизированным щитом

Применение механизированных щитов при проведении тоннелей позволяет исключить ручной труд при выполнении основных процессов проходческого цикла: разрушении породы в забое выработки, ее погрузки, возведении обделки. При такой комплексной механизации работ по проходке и возведению обделки, главной задачей становится обеспечение полного использования технической производительности механизированного щита. Для существующих типов механизированных щитов созданы свои комплексы специального оборудования, технология производства работ которых отличается несущественно. В состав комплекса для проходки перегонных тоннелей метрополитена в породах средней крепости (что соответствует

условиям Донецкого метрополитена), входят (рис. 5.19): механизированный щит 1, блокоукладчик 2 с полым валом, ленточный транспортер 3, пропущенный в полости вала блокоукладчика, толкатель верхнего действия 4 для перемещения вагонеток и тележек с блоками в пределах комплекса, терхсекционный помост 5, опирающийся на передвижные платформы, подъемник контейнеров 6, растворный узел 7, породный бункер 8. Работы производятся в следующем порядке. Пускают основной транспортер комплекса 3 на щите, включением насоса подачи отводят рабочий орган от забоя на 4-5 см. Затем включают привод вращения и после небольшого холостого хода подводят фрезы к забою и начинают его разработку. Разрыхленная порода ленточным транспортером комплекса 3 подается в бункер 8 и грузится в не расцеплен-

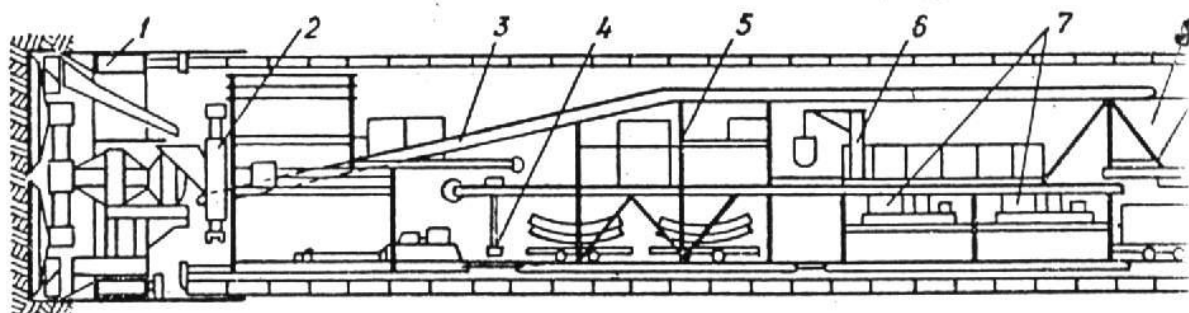


Рис. 5.19. Комплекс оборудования механизированного щита:

- 1 – механизированный щит; 2 – блокоукладчик (тюбингоукладчик);
- 3 – ленточный транспортер комплекса; 4 – толкатель вагонеток; 5 – помост; 6 – подъемник контейнеров с раствором; 7 – растворный узел; 8 – породный бункер.

-ный состав вагонеток. После продвижения забоя на полный ход подачи (50-55 см), рабочий орган отводят от забоя на 10-15 см, не останавливая его вращения, нагнетают передвижку щита. В процессе передвижки щита все время выдерживают это расстояние, необходимое для полной очистки от породы лотка тоннеля. В результате двух передвижек щита освобождается место для очередного кольца обделки, монтаж которого ведут не останавливая процесса разработки забоя. С этой целью через определенные промежутки времени в составе порожних вагонеток должны подаваться тележки с комплектом блоков на кольцо обделки. Первичное нагнетание цементно-песчаного раствора в закрытое пространство установленного кольца обделки ведут сразу же после сборки кольца. Контрольное нагнетание и чеканка швов расширяющимся цементом выполняются за пределами щитового комплекса со специальных передвижных подмостей. Повороты щита в плане и профиле осуществляются в процессе передвижки включением соответствующей группы домкратов с предварительной подкладкой клиньев под нож щита с одной стороны и уширением выработки при помощи копир-резца или копир-шарошки с другой противоположной стороны. Механизированные щиты в процессе проходки приобретают крен, т.е. поворачиваются вокруг оси. Для

предотвращения этого явления в щитах имеются элероны (металлические пластины), которые устанавливаются в специальные щели в сегментах опорного кольца и выдвигаются с помощью гидроцилиндров за пределы корпуса щита.

Для определения и контроля положения щита в плане и в профиле применяют лазерные приборы, которые крепят к обделке с таким расчетом, чтобы лазерный луч был направлен параллельно оси тоннеля и находился ниже свода на 1-1,2 м. Для придания лучу нужного направления в плане и для контроля устойчивости луча применяют не менее двух отвесов, а в профиле не двух горизонтальных линий (с этой целью используют капроновую леску). По мере удаления щита от лазерного прибора, через каждые 100-150 м закрепляют новые отвесы и натягивают нити. При строительстве метрополитенов максимальная скорость сооружения перегонных тоннелей с применением отечественных механизированных щитов достигала 320 м в месяц и 18 м в сутки при средних трудовых затратах на 1 м тоннеля – 10 чел.-часов.

5.8 Бесщитовой способ проходки тоннелей на полное сечение

5.8.1 Краткая характеристика способа

Проходка перегонных и станционных тоннелей метрополитенов, соединительных веток и тоннелей другого назначения в крепких устойчивых грунтах с коэффициентом крепости 1,5 и выше (III и IV категории по СНиП), а также в скальных грунтах, разрабатываемых буровзрывным способом, осуществляется в основном с раскрытием забоя на полное сечение с применением сборной обделки, собираемой специальным укладчиком непосредственно у забоя.

Необходимыми условиями для применения этого способа являются:

- наличие кровлеустойчивых пород достаточной мощности;
- отсутствие со стороны забоя сильного горного давления.

Проходку в таких условиях можно вести эректором способом, проходческими комбайнами, новоавстрийским способом (с устройством податливого свода) и способом пилот-тоннеля.

Раскрытие забоя на полное сечение с одновременным возведением тоннельной обделки позволяет механизировать весь процесс сооружения тоннеля: применять высокопроизводительные механизмы для обуривания забоя, погрузки и уборки грунта, использовать большегрузные вагонетки и электровозы или автомобильный транспорт, полностью механизировать процесс сборки обделки.

Параллельно с проходкой возможно вести гидроизоляционные работы и подготовку тоннеля к монтажным работам. Все это позволяет повысить производительность труда на наиболее трудоемких процессах и ускорить строительство тоннелей. До начала проходки тоннеля раскрытием на полное сечение выполняют ряд подготовительных работ: сооружают камеру для размещения укладчика обделки, монтируют укладчик, сооружают технологический отход (участок тоннеля, где монтируют проходческое

оборудование), прокладывают коммуникации для сжатого воздуха, воды, водоотлива, монтируют электрические кабели и устройства для электровозной откатки. Место расположения камеры для монтажа укладчика при закрытом способе работ выбирают вблизи шахтного ствола с учетом удобства транспортирования грунта и материалов. При закрытом способе работ на мелком заложении блокоукладчик монтируют в котловане станции, у места сопряжения его с тоннелем.

5.8.2 Эректорный способ проходки

Этот способ заключается в разработке на полный профиль без применения щита с монтажом сборной обделки механическим укладчиком (эректором). **Применяется** при сооружении тоннелей в устойчивых породах, не требующих временного крепления.

В щитовом проходческом комплексе укладчики сборной обделки размещаются непосредственно на щите или на отдельной опорной металлоконструкции. Как отдельный вид автономного оборудования укладчик тоннельной обделки помимо своего основного назначения – монтировать обделку, дополнительно используют и для других целей: для размещения различного проходческого оборудования, в качестве подмостей для ведения основных и вспомогательных проходческих работ. В этом случае укладчики представляют собой сложные машины, способные к самостоятельному передвижению. Такие крепеукладочные машины, называемые эректорами, применяют при бесщитовой проходке тоннелей. Они имеют мощную несущую металлоконструкцию и снабжаются защитными устройствами, ограждающими механизмы при взрывных работах. Для ведения работ по разработке и креплению забоя, монтажу обделки укладчика оборудуют на разных уровнях выдвижными рабочими платформами, защитными козырьками.

Для устранения взаимных помех между работами по укладке элементов обделки и выдаче породы применяют укладчики с полым валом, внутри которого помещают транспортер, по которому порода выдвигается из забоя.

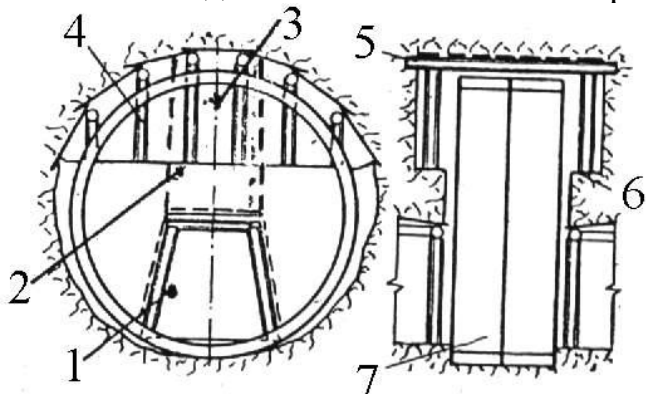
Опыт строительства подземных сооружений показывает целесообразность применения этого способа в соответствующих условиях при незначительной протяженности трассы, в 300-400 м, когда применение щита, требующего значительного времени и средств на монтаж и демонтаж его является нерентабельным.

Проходке тоннеля бесщитовым способом предшествует сооружение монтажной камеры – участка этого же тоннеля небольшой длины для монтажа укладчика обделки (эректора) и другого технологического оборудования.

Сооружение монтажной камеры начинают с проведения нижней штольни малого сечения, расположенной по оси сооружаемого тоннеля. Длина штольни принимается на 2,5-3,0 м больше длины камеры для размещения монтажных лебедок. Длина монтажной камеры зависит от длины тубинга или блокоукладчика.

После проходки нижней штольни 1 (рис. 5.20) производят разработку фурнели 2, верхняя отметка которой на 0,7-0,8 м выше проектной отметки свода тоннеля. В устойчивых породах из фурнели 2 разрабатывают калотту 3 с установкой стоек 4 под концы прогонов 5. Разработку породы производят буровзрывным способом и спускают ее через фурнель в вагонетки. Ядро сечения сразу разрабатывают на ширину двух колец обделки 7. Под стойками крепи оставляют бермы 6.

Для сборки первых 2-3-х колец обделки камеры, в конце пройденной штольни (в ее удлиненной части) устанавливают двухтонную редукторную с электроприводом и трехтонную ручную лебедки, используя последнюю для оттяжки тубингов или блоков. Сборку колец ведут с помощью малогабаритного укладчика тубингов УКВ-1 или с помощью лебедок. Установка тубингов в требуемое место обеспечивается вращением и удлинением рычага укладчика, к которому крепят монтируемый тубинг. При монтаже обделки монтажной камеры тубингоукладчика лебедками их размещают в конце удлиненной



нижней части штольни с тем, чтобы они не мешали транспортировке грунта и материалов. Тяговая лебедка поднимает тубинг вверх, а вторая лебедка через систему блоков и роликов оттягивает его к месту установки.

Перед укладкой первых тубингов грунт в подошве выработки выравнивают по шаблону. Первые три лотковых тубинга укладывают строго по маркшейдерским отметкам, для чего применяют деревянные клинья и прокладки. Одновременно укладывают и сбалчивают тубинги

Рис. 5.20. Схема сооружения монтажной камеры:

1 – нижняя штольня; 2 – фурнель; 3 – калотта; 4 – стойка; 5 – прогоны; 6 – породная берма; 7 – кольцевая обделка.

сразу для двух прорезных колец. В дальнейшем тубинги монтируют попеременно то на одной, то на другой стороне кольца. По мере укладки тубингов в кольцо, измеряют его диаметр и при необходимости тубинги подклинивают. Для предупреждения развала уложенных полуколец устанавливают горизонтальные металлические стяжки. По мере установки тубингов в монтажной камере устраивают временные подмости, укладываемые в ячейки тубингов. Геометрические размеры колец проверяют после установки замковых тубингов. От правильности монтажа первых колец, зависит качество укладки последующих колец обделки. После выверки положения колец пространство за тубингами заполняют породой или бетонной смесью. С этой целью за тубинги нагнетают цементно-песчаный раствор, после затвердения которого продолжают проходку камеры. Разработку забоя ведут по всему сечению заходками на одно кольцо обделки,

раскрепляя выработку с упором в торец смонтированной обделки. Сборку колец выполняют аналогично описанному выше.

В готовой камере монтируют тубинго- или блокоукладчик и начинают проходку тоннеля с разработкой забоя на полный профиль.

Проходка тоннеля осуществляется выполнении работ проходческого цикла с выдвигных платформ, которыми оборудуется укладчик обделки. Величина заходки принимается на одно-два кольца обделки.

Разработка ведется, как правило, буровзрывным способом и только в редких случаях, когда в кровле выработки залегают крепкие породы, а в остальной части сечения мягкие породы, применяется разработка отбойными молотками. При этом работы по проходке тоннеля с применением блокоукладчика (рис. 5.21) выполняются в следующей последовательности.

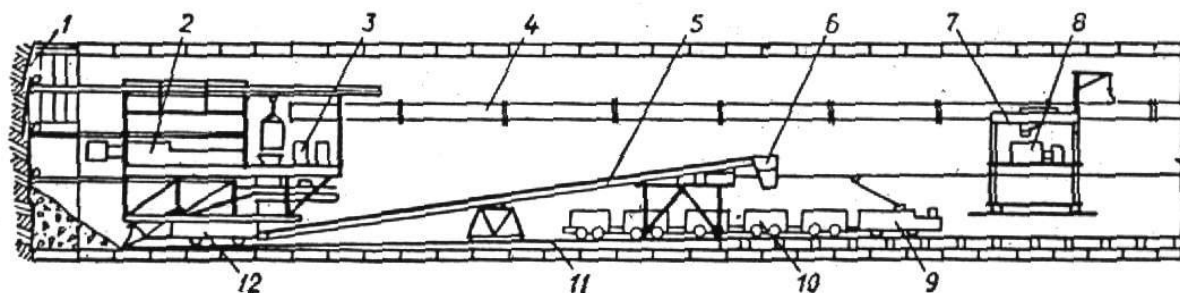


Рис. 5.21. Проходка тоннеля с применением блокоукладчика:

1 – забой тоннеля; 2 – блокоукладчик; 3 – растворный узел; 4 – вентиляционная труба; 5 – транспортер; 6 – бункер; 7 – передвижная тележка; 8 – растворный насос; 9 – электровоз; 10 – вагонетки; 11 – передвижная платформа; 12 – погрузочная машина.

Разработку забоя в мягких породах начинают с образования вертикального вруба в середине верхней части сечения тоннеля. Затем расширяют его в обе стороны, устанавливая временную крепь кровли и лба забоя 1. Разрыхленная порода при помощи погрузочной машины 12 грузится на транспортер 5, перемещается и ссыпается в бункер 6, а из него в нерасцепленный состав вагонеток 10. Перемещение состава производится электровозом 9. Транспортер 5 и погрузочная машина 12 располагаются на передвижной платформе 11.

При взрывном способе проходки, бурение шпуров ведется электросверлами с площадок блокоукладчика. Для защиты механизмов от удара летящих кусков породы при ведении взрывных работ спереди блокоукладчика подвешивают стальные листы, решетки или цепи. Вентиляционную трубу 4 с металлической последней секцией подтягивают ближе к забою. После заряжания, взрывания и проветривания забоя в течение 10-15 мин. приступают к уборке породы. Перед уборкой породы необходимо произвести обorkу кровли и боков выработки (откалывание выступающих и нависших кусков породы) отбойными молотками и установку, при необходимости, временной крепи.

Для четкой организации погрузочных работ всегда должно быть подготовлено достаточное количество порожних вагонеток на весь объем взрываемой за цикл породы. После уборки породы погрузочная машина удаляется из забоя, освобождая пространство для размещения тележек с блоками или тьюбингами.

Монтаж сборной обделки производится после уборки породы с помощью блокоукладчика 2, расположенного непосредственно у забоя, в такой последовательности. Доставленный на тележке к месту укладки блок разворачивают на 90^0 и закрепляют на захвате рычага укладчика. Затем блок поднимают, тележку выталкивают и укладывают его на подготовленную постель из щебня на почву тоннеля, применяя в случае необходимости подкладки. Кроме того, блок принимают к ранее уложенному кольцу расклинкой в забой. Следующие блоки укладывают поочередно с левого и с правого бока тоннеля с применением монтажных шпилек, вставляемых в углубления по торцам блоков. Положение блоков регулируются подбивкой клиньев и распором в забой. Зазор между блоками и контуром массива породы забучивается породой.

Блоки, расположенные выше горизонтального диаметра, после их установки фиксируются выдвигными балками на дугах блокоукладчика по периметру тоннеля и подклинивают, доводя до проектного положения. Верхние блоки в кольце, не имеющем ключевого блока, заводят с некоторым поднятием соседних блоков, имеющих радиальные борта. Для этого свод тоннеля разрабатывают с перебором на 25-30 см.

Нагнетание цементно-песчаного раствора за обделку производится в два приема: после укладки нижних блоков до уровня горизонтального диаметра и по окончании сборки всего кольца. Для этого используют растворный узел 3, установленный на блокоукладчике.

С отставанием от забоя на 25-50 м производится чеканка швов между блоками и затем контрольное нагнетание цементного раствора. Для этих работ используется вспомогательная передвижная тележка 7 и установленный на ней растворонасос 8.

При монтаже обделки из чугунных или железобетонных тьюбингов (со связями растяжения) необходимо обеспечить соосность бытовых отверстий по кольцевым бортам. Для этого каждый устанавливаемый тьюбинг сначала ставят на две-три оправки (конические стрежни), а затем вставляют болты. Сборку колец производят с перевязкой швов и со сдвигом радиальных стыков на два болтовых отверстия. Гайки должны затягиваться пневматическими болчивателями, рассчитанными на определенный крутящий момент.

Нагнетание цементно-песчаного раствора производится после сборки всего кольца одновременно по обе стороны от оси тоннеля, начиная с лотковых тьюбингов. Инъекторы вставляют в отверстия двух симметрично расположенных тьюбингов. Нагнетание производят до появления раствора в отверстиях выше расположенных тьюбингов, после чего нагнетание приостанавливают и инъекторы переставляют выше. Так продвигаются до ключевого тьюбинга.

Бесщитовой способ сооружения тоннелей нашел широкое применение. Так в американской практике тоннель Пассадено-Колорадо сечением 14 м^2 проходил со скоростью 24 м/сутки, тоннель Сент-Поль сечением 22 м^2 со скоростью 19 м/сутки, тоннель Коагелла сечением 25 м^2 со скоростью 25 м/сутки. Высокие скорости проходки тоннелей, достигнутые в американской практике, относятся преимущественно к работам в идеальных горно-геологических условиях: отсутствие подземных вод, устойчивые породы, совершенно исключающие необходимость применения временного крепления выработок.

В отечественной практике при проведении отдельных участков перегонных тоннелей сечением 31 м^2 Московского метрополитена эффективным способом была достигнута максимальная скорость 13 м/сутки.

5.8.3 Способ пилот-тоннеля

Сущность способа пилот-тоннеля заключается в том, что поперечное сечение сооружаемого тоннеля разделяют на две выработки, т.е. сначала проходят тоннель малого диаметра (пилот-тоннель), а затем расширяют его на требуемое сечение.

Этот способ применяется при сооружении станционных тоннелей и камер съезда, если их проходка с раскрытием забоя сразу на полный профиль осложняется горным давлением как со стороны кровли выработки, так и со лба забоя и требует усиленного крепления. Применение щитового способа неэффективно, поскольку протяженность сооружаемого тоннеля не превышает 100-200 м.

В практике строительства метрополитенов из пилот-тоннелей производят искусственное закрепление неустойчивых пород кровли и тем самым обеспечивается полная безопасность раскрытия выработки большого сечения.

Расположение пилот-тоннеля относительно сечения сооружаемого тоннеля определяется в каждом конкретном случае в зависимости от горно-геологических условий, удобства разработки породы в верхней и нижних частях основного тоннеля, размещения откаточных путей. Диаметр пилот-тоннеля выбирают также с учетом гидрогеологических характеристик породы. Исходя из технологических требований, он не должен быть менее 2,5 м. При строительстве метрополитенов в качестве пилот-тоннеля проходят тоннели со сборной железобетонной (реже чугунной) обделкой диаметром 5,6 или 6 м и шириной кольца 1 м. Для основного тоннеля применяют типовые обделки диаметром 8,5 или 9,5 м при ширине кольца 0,75 м.

Для удобства работ по расширению профиля отметку оси пилот-тоннеля принимают такой, чтобы высота разрабатываемой верхней части сечения составляла 2-2,5 м. В связи с этим различают варианты проходки с нижним или центральным пилот-тоннелем.

При строительстве метрополитенов чаще применяют проходку с *нижним пилот-тоннелем*, при которой отметки лотковой части тоннелей

совмещаются или имеют разницу в 0,5-0,7 м. При этом откаточные пути пилот-тоннеля и основного тоннеля располагаются в одном уровне. Объем разрабатываемого грунта основного тоннеля уменьшается от верхней части сечения к нижней, что обеспечивает наилучшие условия для его погрузки, почти исключая перегрузку из лотковой части в вагонетки.

5.8.4 Проведение тоннелей проходческими комбайнами

Зарубежный опыт строительства тоннелей характеризуется за последнее десятилетие значительным расширением использования проходческих комбайнов при строительстве метрополитенов. Так, если общая длина тоннелей, пройденных во всем мире в 1964 году комбайнами составляла 6-7 км, то в настоящее время увеличилась до 70 км в год. Конструкция тоннелепроходческих машин постоянно совершенствуется, увеличивается диаметр режущего органа, возрастает скорость проходки. Тенденция к механизированному способу проходки тоннелей объясняется тем, что по сравнению с буровзрывным механизированный способ имеет следующие **преимущества**:

- непрерывность работ в забое, что способствует при определенных условиях достижению высоких скоростей;
- полностью механизированы и автоматизируются основные процессы проходческого цикла;
- резко снижается степень нарушенности окружающего массива и смещение пород кровли;
- большая возможность приближения трассы к земной поверхности;
- практически ликвидируется перебор породы и перерасход монолитного бетона, что приводит к уменьшению стоимости работ.

Однако тоннелепроходческим комплексам и комбайнам роторного типа присущи и определенные **недостатки**:

- сложность при работе в обводненных и переслаивающихся породах различной крепости;
- большая установочная мощность двигателей (до 600 кВт), позволяющая разрушать породы по всему сечению тоннеля;
- большой расход электроэнергии на разрушение 1 м³ породы (до 200 кВт/час);
- стоимость расходуемых резцов на разрушение 1 м³ породы может составить 70 долл. США;
- высокая стоимость машин роторного типа.

Так по данным машиностроительных фирм США стоимость роторной тоннелепроходческой машины (С) может быть определена по формуле

$$C = 4,3D^2, \text{ долл.},$$

где D – диаметр тоннеля в см.

По данным западноевропейских фирм

$$C = D \cdot 10^4, \text{ долл.},$$

где D – диаметр тоннеля в футах (фут = 30,5 см).

При сплошном разрушении забоя с увеличением диаметра машины резко повышается установочная мощность двигателей, расход энергии на разрушение 1 м^3 породы и стоимость машины. К тому же, с увеличением диаметра выработки резко падает среднемесячная скорость до уровня проведения буровзрывным способом. Поэтому наибольшее распространение в мировой практике тоннелестроения имеют комбайны диаметром 3-5 м, а тоннелепроходческие машины большого диаметра составляют 10-15% от общего числа тоннелепроходческих машин.

С целью снижения затрат на разрушение 1 м^3 породы при сооружении тоннелей большого сечения в настоящее время применяют способ поэтапного проведения с последующим расширением первоначального сечения. Данный способ уменьшает расход электроэнергии и резцов на 1 м^3 разрушения породы по сравнению с проходкой на полное сечение и повышает безопасность работ.

Зарубежные специалисты считают, что одним из реальных вариантов снижения стоимости сооружения тоннелей и упрощения технологии является использование проходческих комбайнов со стреловидным рабочим органом.

Стреловидные комбайны, обрабатывающие забой отдельными участками были созданы в 60-х годах и предназначались первоначально для угольной промышленности. Они нашли широкое применение как в отечественной промышленности (ПК-3м, ПК-9р, 4ПП2), так и за рубежом в Германии (комбайны фирмы Демаг), в Англии (фирма Доско) и в других странах. Общеизвестно, что комбайны с избирательным стреловидным рабочим органом имеют определенные преимущества перед тоннелепроходческими машинами, разрабатывающими забой на полное сечение. К таким **преимуществам** относятся:

- универсальность формы поперечного сечения выработки;
- возможность избирательной обработки забоя;
- возможность постоянного доступа к забою;
- меньшая установочная мощность двигателей, меньший расход электроэнергии на разрушение 1 м^3 породы, меньший удельный расход резцов и, как следствие, меньшая стоимость разрушения 1 м^3 породы;
- малые затраты времени на подготовительно-заключительные операции.

Эти преимущества комбайнов с избирательным рабочим органом обеспечили их экономичную эксплуатацию в различных условиях, в том числе и при строительстве тоннелей метрополитена, когда по мере проходки межстанционного тоннеля его закрепляют временной крепью. Арки или анкера устанавливают под защитой навесного козырька. На расстоянии 30-50 м от забоя возводят постоянную обделку блокоукладчиком и производят нагнетание цементного раствора.

В России ЦНИИподземмаш по заданию института Гидропроект запроектировал и изготовил опытный образец тоннелепроходческой машины ТК-1с для разработки тоннелей диаметром 5,3 м, представляющий собой комплекс из двух машин (установленных одна над другой), в которых

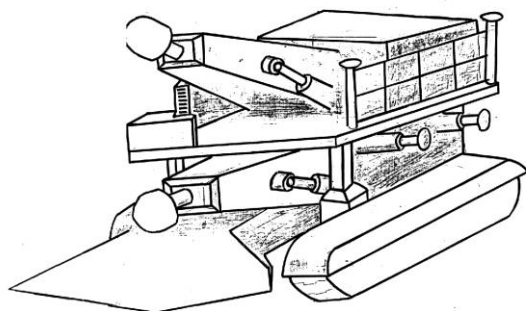


Рис. 5.22. Комбайн ТК-1с

использованы узлы и агрегаты серийно выпускаемого комбайна ПК-9р со стреловидным рабочим органом. Верхняя машина установлена неподвижно на платформе самоходного портала, а нижняя – размещена над порталом на собственном гусеничном ходу (рис. 5.22). Самоходный портал оборудован в верхней части козырьком для обеспечения безопасности работ. На

платформе портала установлено оборудование и механизмы для монтажа временной арочной или анкерной крепи. Средняя производительность выемки породы машины ТК-1с составляла 25 м³/час.

Использование комбайнов со стреловидным исполнительным органом в выработках большого сечения осуществлялось и фирмой Паурат в Германии. На ходовой части экскаватора с гидравлическим управлением массой 100 т размещена стрела с двумя рукоятками, оснащенными фрезерными головками мощностью по 55 кВт каждая (рис. 5.23). Принятое расположение головок позволяет значительно повысить производительность разработки забоя благодаря образованию борозд по горизонтальному направлению на определенном расстоянии друг от друга и последующего откалывания породы между бороздами. Высота выработки, разрабатываемая этой машиной, составляет 8 м. Крепление забоя ведется с рабочей платформы, телескопически выдвигающейся над опорной частью машины. Рассмотренный принцип обработки забоя выработки особенно оправдал себя

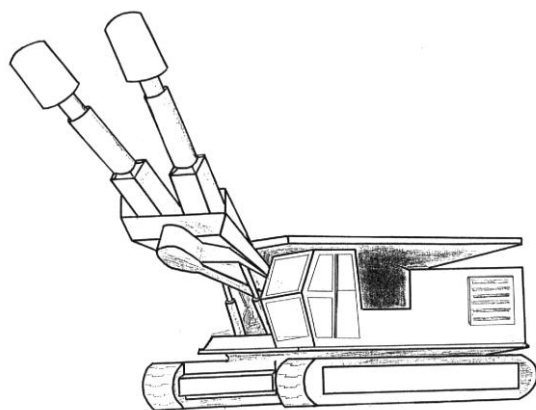


Рис. 5.23. Комбайн фирмы «Паурат»

при проходке в слоистых породах (в слоистых известняках обеспечивалась производительность проходки тоннеля – 120 м³/час.).

Преимущества такого использования проходческих комбайнов со стреловидным исполнительным органом состоят в том, что используемые в качестве опорной конструкции комбайна ходовые части экскаваторов уже оправдали себя в эксплуатации, выпускаются серийно и стоят

сравнительно дешево. Они могут быть предложены потребителю в различных вариантах: с дизельным или электрическим приводом, оснащенными одной

или двумя режущими головками и для выработок различной ширины и высоты обработки забоя. При необходимости комбайн может быть легко демонтирован и от него отделена и использована по прямому назначению ходовая часть экскаватора.

После того, как теперь появилась возможность обеспечить скорость проходки (включая крепление) 12-20 м/сутки в тоннелях сечением 45-60 м², строительные фирмы, использующие подобные комбайны, стремятся приспособить к новым условиям не только выемку породы, но и другие процессы проходческого цикла. Уже высказываются пожелания иметь комбайны избирательного действия, обрабатывающие с одной установки сечение тоннелей высотой до 10 м.

В текущем году в Италии будет работать комбайн, с помощью которого можно вести проходку тоннелей высотой до 11 м. В качестве опорной конструкции комбайна также использована ходовая часть экскаватора с гидравлическим управлением. Для рационального использования комбайнов подобной конструкции необходимо решение вопроса крепления тоннеля, которое не сдерживало бы продвижение комбайна. В настоящее время чистое время работы современных комбайнов, обрабатывающих забой участками, в среднем составляет 30-35%, остальное время комбайн простаивает, так как возводится постоянная крепь. Западноевропейские машиностроительные фирмы работают над конструкциями механизированной крепи, позволяющей непрерывно возводить постоянную крепь за комбайнами.

Отсутствие на проходческих комбайнах передвижной крепи позволяет использовать их лишь в устойчивых породах.

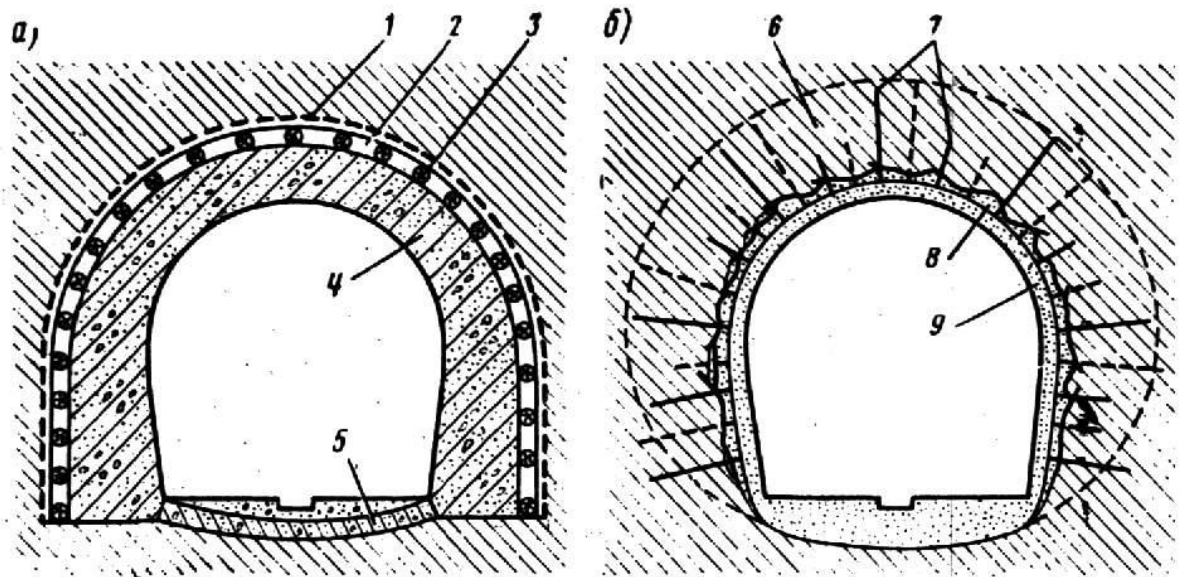
5.8.5 Проходка тоннеля с устройством податливого свода (новоавстрийский способ)

Существующие горные способы проходки межстанционных тоннелей (опертого свода, опорного ядра, раскрытие на полное сечение по частям) являются сложными и трудоемкими, т.к. разработку грунта и сооружение обделки производят не на полное сечение тоннеля, а отдельными участками.

В настоящее время в практике строительства метрополитенов применяются новые технологии сооружения тоннелей, позволяющие раскрывать забой до проектного сечения с установкой временной крепи, не загромаждающей сечение выработки и последующим возведением постоянной крепи на значительном удалении от забоя тоннеля.

Наиболее совершенной такой технологией является новоавстрийский способ тоннелестроения (НАСТ) в основу которого заложены основные положения механики горных пород и давнее стремление горняков и тоннелестроителей использовать потенциальную несущую способность приконтурного массива для увеличения несущей способности выработки. Это возможно за счет предупреждения трещинообразования и расслоения породного массива на контуре выработки, что способствует сохранению несущей способности массива. Согласно механики горных пород после

проведения горной выработки порода в законтурном массиве, постепенно переходит из упругого состояния в состояние потери устойчивости и далее в неустойчивое состояние. Установка временной крепи во время проходки выработки должна обеспечить устойчивость законтурного массива. При этом крепь может работать как жесткая опора для окружающего массива или как податливая конструкция, допускающая деформации совместно с массивом, окружающим выработку. Причем, податливая конструкция крепи дает возможность максимально использовать несущую способность породного массива. Но для этого временное крепление выработки следует выполнять как можно быстрее после выемки породы, с тем, чтобы более эффективно



использовать естественную устойчивость и несущую способность породы до перехода ее в неустойчивое состояние. Данное положение достигается путем создания податливого свода, состоящего из тонкого (2-3 см) слоя набрызгбетона, плотно нанесенного на породу, в случае необходимости армированного сеткой и слоя прилегающей к бетонной оболочке породы, включенной в работу свода путем установки в породу анкеров. В таком искусственно созданном податливом своде оболочка из набрызгбетона является лишь предохранительной и воспринимает незначительные изгибающие нагрузки, а слой породы закрепленной анкерами, воспринимает на себя основное горное давление (рис. 5.24).

Рис. 5.24. Сравнение конструкций обделок, выполненных по различным технологиям:

- а – горный способ; б – новоавстрийский способ; 1 – деревянная затяжка; 2 – стальная арка; 3 – рошпаны (1, 2 и 3 составляют временную крепь, расположенную вне постоянной обделки); 4 – бетонная или железобетонная постоянная обделка; 5 – обратный свод; 6 – несущий породно-анкерный свод; 7 – анкера (в шахматном порядке); 8 – наружный слой обделки из набрызгбетона толщиной 5-15 см (вместе с анкерами служит временной крепью); 9 – внутренний слой постоянной обделки из набрызгбетона или

бетона толщиной 15-35 см.

Возведенное таким образом временное крепление, взаимодействующее с породой по всему периметру выработки, искусственно удлиняет время сохранения устойчивости горных пород окружающих выработку до тех пор, пока не будет возведена постоянная обделка.

Технологический процесс новоавстрийского способа проходки тоннелей представлен на рис. 5.25 и включает следующие основные операции проходческого цикла:

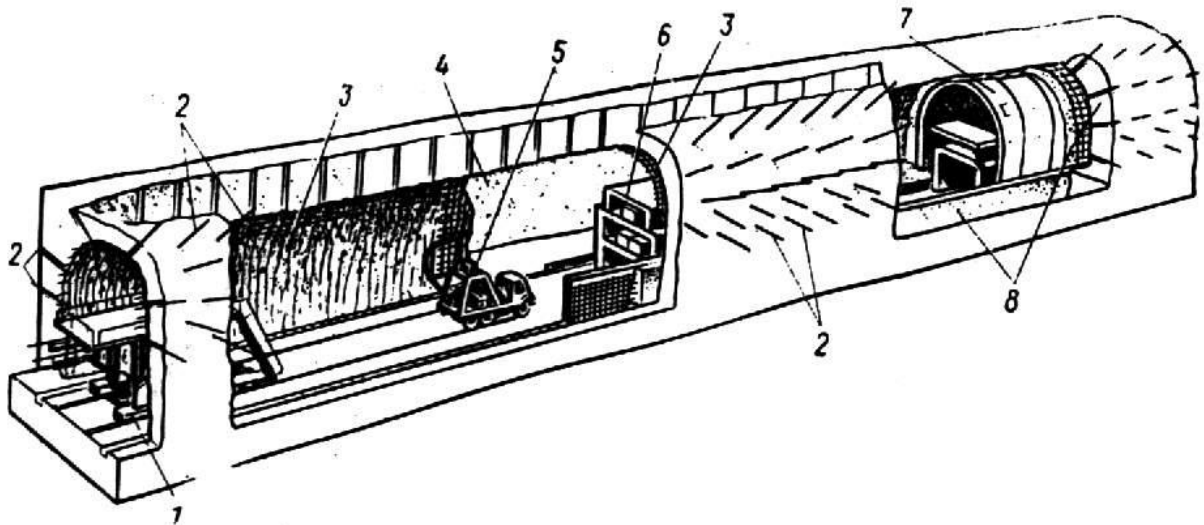


Рис. 5.25. Технологическая схема сооружения тоннеля новоавстрийским методом:

1 – буровой порталный агрегат; 2 – анкеры; 3 – сетка; 4 – слой набрызгбетона; 5 – установка для нанесения набрызгбетона, смонтированная на автомобиле; 6 – тележка с измерительными приборами; 7 – механизированная опалубка; 8 – постоянная обделка тоннеля.

- бурение шпуров, разработка и уборка породы. При выполнении этих работ необходимо по возможности получать более гладкую поверхность выработки для упрощения набрызгбетонных работ, поэтому целесообразно применение комбайновой проходки, а при взрывных работах – способ гладкостенного взрывания;

- нанесение слоя набрызгбетона. Этот процесс должен осуществляться непосредственно после разработки породы свода с минимальным разрывом во времени. Набрызгбетон в зависимости от горно-геологических условий наносится в несколько слоев, при толщине слоя 5-10 см. При нанесении на металлическую сетку, необходимо следить, чтобы она прочно и плотно была прикреплена к породе или ранее уложенному слою набрызгбетона;

- установка анкерной крепи. Этот процесс осуществляют в непосредственной близости от забоя сразу после нанесения набрызгбетона.

При этом необходимо строго соблюдать проектные параметры (глубину, толщину и расположение анкеров);

- проведение контрольных измерений и устойчивое поддержание выработки конструкцией временной крепи до возведения постоянной обделки. Эту работу ведут по заранее разработанной программе, определяющей размещение приборов для измерений, частоту измерения и обработку информации. Данные контрольных измерений используют при усилении набрызгбетонной обделки и при расчетах конструкции постоянной обделки;
- возведение постоянной обделки с учетом данных контрольных измерений.

Новоавстрийский способ проходки тоннелей имеет следующие **преимущества:**

- освобождается сечение тоннеля от поддерживающих временную крепь элементов (стоек), что дает возможность широко применять высокопроизводительные горнопроходческие механизмы;
- постоянную обделку можно возводить на значительном удалении от забоя и одновременно по всему сечению с использованием механизированной передвижной опалубки и бетоноукладочных машин;
- позволяет уменьшить металлоемкость временной крепи и толщину постоянной обделки, которую рассчитывают с учетом восприятия горного давления временной податливой крепью;
- новоавстрийский способ дает возможность скоростного и экономического сооружения тоннелей.

При правильном применении данного способа устойчивость выработок увеличивается в несколько раз по сравнению с выработками, закрепленными обычной арочной крепью.

При этом способе в период проходки тоннеля целесообразно производить систематические контрольные измерения горного давления, нагрузок на крепь и деформаций крепи и массива. Это дает возможность на основании результатов измерений регулировать толщину слоя набрызгбетона, длину и диаметр анкеров.

Область применения новоавстрийского способа:

- в разнообразных и сложных горно-геологических условиях;
- в неустойчивых или подверженных пучению породах;
- при необходимости безосадочной проходки тоннелей метрополитена в условиях подработки.

В благоприятных горно-геологических условиях, например, при проведении транспортных тоннелей в горах в скальных породах, в качестве временной ограждающей крепи можно применять только набрызгбетон.

Преимущество новоавстрийского способа особенно сказывается при сооружении тоннелей в относительно неблагоприятных инженерно-геологических условиях. Так, сооружение автодорожного тоннеля сечением 80 м² в Австрии в сложных геологических условиях новоавстрийским способом позволило снизить стоимость строительства на 20%.

В метростроении Германии новоавстрийский способ применялся на 43%

длины всех строившихся в 1997-2000 г.г. участков, или на 68% участков закрытого способа работ (щиты – на 27%), что составляет около 25 км. типичная скорость сооружения перегонных тоннелей сечением 25-40 м² составляла 4-5 м/сутки, средняя стоимость 15-20 тыс. марок/м. Экономичность новоавстрийского способа по материалоемкости и поперечному сечению выработок в проходке является его основным преимуществом, стимулирующим его распространение. По опыту Сеульского метрополитена, в трещиноватых скальных грунтах новоавстрийский способ дешевле традиционного горного способа с арочной крепью на 10%. На Уэтонском участке Вашингтонского метрополитена, длиной 2,4 км с пилонной станцией в трещиноватых сланцах и гнейсах экономический эффект от применения новоавстрийского способа составил 1,3 млн. долл. При сметной стоимости участка 51,5 млн. долл.

Опыт строительства тоннелей Венского метрополитена при глубине заложения 7-15 м в слабых третичных грунтах (галечниках, песках, глинах, илах) свидетельствует, что и в этих условиях, несмотря на отсутствие анкерной крепи, правильное применение принципов новоавстрийского способа позволяет в значительной мере мобилизовать собственную несущую способность грунтового массива. Так, на участке 6/1, на набрызгбетонную крепь однопутного тоннеля при глубине заложения, равной 2,2 – кратному диаметру выработки, приходилась нагрузка в размере лишь 65% от расчетной, вычисленной по глубине заложения, а на крепь двухпутного тоннеля – 55% от расчетной. Минимальная глубина заложения, при которой удается создать «грунтовой свод», как показывает опыт, равный диаметру выработки.

На строительстве Мюнхенского метрополитена новоавстрийским способом сооружали выработки различных поперечных сечений площадью от 27 до 176 м², включая перегонные, эскалаторные, пешеходные тоннели, станции метрополитенов колонного и пилонного типов, камеры съездов. При сооружении пересадочных узлов имеется опыт врезки выработок, сооружаемые новоавстрийским способом в нарушенные ограждения «стена в грунте» и проведения их под колоннами с нагрузкой до 7500 кН.

В целях повышения безопасности освоено производство горнопроходческих работ новоавстрийским способом под сжатым воздухом. Скорость сооружения однопутного тоннеля в этом случае составляет 50-60 м/мес., стоимость 37-46 тыс. марок за 1 пог. м, расход сжатого воздуха 30-70 м³/мин.

Выработки площадью более 80 м² сооружают вначале с боковыми штольнями, закрепляемые набрызгбетоном и анкерами на полный профиль. Площадь сечения штольни целесообразно назначать равной площади сечения однопутного перегонного тоннеля, что позволяет во многих случаях проходить одну боковую штольню, раскрываемую затем сразу на полное сечение. Специальным расчетом определяют оптимальное опережение для штолен.

5.9 Специальные способы проходки тоннелей

Тоннельные сооружения нередко приходится строить в неблагоприятных инженерно-геологических условиях, улучшение которых достигают, в частности, применением различных способов так называемой технической мелиорации пород, направленной на повышение несущей способности и водостойкости пород, на повышение их устойчивости и на понижение водопроницаемости. Все способы технической мелиорации могут быть сведены в группы: по характеру их воздействия на породы; по времени действия изменений (длительные и временные); по характеру изменения пород.

Для тоннелестроения находят применение способы, изменяющие характер связей между минеральными частицами и структуру породы (цементация, силикатизация, холодная битумизация и др.), а также изменяющие состояние пород тампонирующее трещин, пор и пустот, осушения, уплотнения и пр. (глинизация, горячая битумизация, искусственное водопонижение, замораживание и др.).

Наиболее часто приходится иметь дело с песчаными и крупнообломочными породами (песок, гравий, галька, щебень) с целью изменения их структуры цементированием зерен, уменьшение водопроницаемости и пористости, повышения степени плотности песков. Этого достигают силикатизацией, замораживанием, водопонижением, цементацией, холодной битумизацией и т.п. В равной степени строительство тоннелей часто проводят в скальных и полускальных породах (изверженных, метаморфических, осадочных сцементированных, разбитых трещинами), где необходимо понижать водопроницаемость, повышать монолитность и механическую прочность массива пород. В этих случаях применяют цементацию, глинизацию, замораживание и горячую битумизацию.

Главное препятствие при производстве тоннельных работ, как известно, создают подземные воды, постоянно угрожая затоплением выработки или ослаблением окружающего грунтового массива. К числу эффективных методов борьбы с водой, кроме проходки щитом с закрытым забоем и работы под сжатым воздухом, относятся замораживание, химическое закрепление (силикатизация), водопонижение, цементация, глинизация и битумизация грунтов. Существующую роль при выборе одного из перечисленных приемов играет степень водопроницаемости грунта, характеризуемая величиной коэффициента фильтрации k .

Сущность способа искусственного **замораживания** водоносных пород заключается в создании временного льдогрунтового ограждения любого требуемого очертания для защиты выработки от прорыва воды или плывуна и для восприятия боковых нагрузок.

Замораживание водоносных пород для строительных целей основано на их свойстве приобретать высокую механическую прочность и полную водонепроницаемость при низких температурах. Вода, находящаяся в порах, замерзает и образующийся лед служит связью, соединяющей отдельные частицы грунта. Причина замерзания воды – теплообмен при циркуляции

рассола низкой температуры в трубчатых колонках, заложенных в замораживаемом массиве. искусственное замораживание может быть отнесено к наиболее совершенным и универсальным методам укрепления водоносных пород; оно дает хорошие результаты в самых неблагоприятных условиях.

Процесс химического закрепления грунтов *силикатизация* связан с взаимодействием преимущественно растворов жидкого стекла и хлористого кальция, последовательно нагнетаемых в поры грунтов. При нагнетании в насыщенный водой грунт жидкое стекло вытесняет воду из пор, заполняя их примерно на 90%. Раствор хлористого кальция в свою очередь вытесняет из грунта часть раствора жидкого стекла, одновременно вступая с ним в химическую реакцию. При этом выделяется гель кремниевой кислоты, удерживающаяся на поверхности частиц грунта в виде тонкой пленки и связывающая их в прочную монолитную массу с замкнутыми порами. Химическому закреплению поддаются грунты, способные адсорбировать кремниевую кислоту на своей поверхности. В высокой степени этому условию соответствуют пески, которые превращаются в породу (силикат), сходную с песчаником, и обладают высокими механической прочностью, водонепроницаемостью и стойкостью против агрессивных вод.

Этот способ применим в грунтах, имеющих коэффициент фильтрации от 2,5 до 80 м/сутки, и особенно эффективен в мелко- и среднезернистых песках. Химическое закрепление глинистых грунтов, имеющих коэффициент фильтрации меньше 2,5 м/сутки, не дает удовлетворительного результата.

Недостаток закрепленного грунта – его малая морозоустойчивость, исключая целесообразность силикатизации в пределах глубины промерзания. Механическая прочность химически закрепленного грунта зависит от прочности его частиц и качеств нагнетаемых растворов. Наибольшую прочность приобретают мелкозернистые грунты, имеющие большую суммарную поверхность соприкосновения зерен с цементирующим веществом. Примерно 50% прочности грунт приобретает через 2 часа после закрепления. Дальнейшее нарастание прочности заканчивается в основном в течение 15-20 суток.

Оборудование, применяемое для нагнетания растворов, состоит из инъекторов с механизмами для их забивки и насосов для нагнетания. Инъектор – это толстостенная (стенки толщиной 7-8 мм) труба диаметром 33-41 мм с заостренным концом, нижняя часть которой по длине 0,8-1,0 м имеет раззенкованные отверстия диаметром до 1,5 мм. Труба состоит из звеньев длиной 1-1,5 м, соединенных ниппелями, и в верхней части снабжена наголовником, к которому присоединяют резиновый шланг, идущий к насосу.

Забивку инъекторов производят отбойными молотками тяжелого типа со скоростью забивки 6-10 м/ч или электрокопрами – 20 м/ч.

Растворы нагнетают гидравлическим насосом с производительностью до 3 л/мин или при большем объеме работ – плунжерными насосами, например типа Е. Разводящая сеть состоит из резиновых шлангов внутренним диаметром 13-25 мм, рассчитываемых на давление до 3 МПа.

При нагнетании растворов в грунт закрепление происходит на некотором расстоянии от инъектора, называемом радиусом закрепления R (от 25 до 80 см). Закрепленный при одной заходке грунт имеет форму эллипсоида. Каждая последующая заходка наращивает по высоте 50-70 см закрепленного грунта. При этом в неоднородном грунте заходки располагают таким образом, чтобы каждая из них заканчивалась в пределах одного грунтового слоя.

Применение способа силикатизации при проходке штольни и тоннеля иллюстрируется на рис. 5.26.

Для получения монолита достаточных в плане размеров инъекторы располагают в вершинах равносторонних треугольников с размером сторон $1,73 R$.

Объем каждого из растворов, вводимых в грунт (в литрах), должен составлять около $5 ar$, где a – объем закрепляемого грунта, m^3 , а p – пористость грунта, %.

Забивку инъекторов в песчаных грунтах производят обычно на глубину до 12 м. При больших глубинах предварительно идет бурение, заканчиваемое на 2-3 м выше верха закрепляемого массива, а потом забивка инъекторов через дно скважины. Отклонение при забивке не должно превышать 2° . По мере забивки наращивают новые звенья труб с перестановкой наголовника.

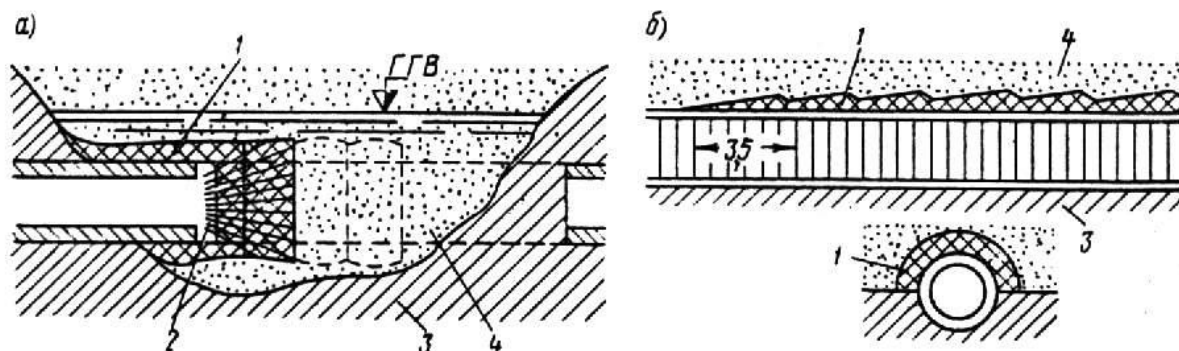


Рис. 5.26. Схемы расположения силикатизированного слоя при проходке: а – штольни; б – тоннеля:

1 – силикатизированный слой; 2 – инъекторы; 3 – глина; 4 – песок.

Порядок нагнетания растворов зависит от скорости движения грунтовых вод, которые могут иногда частично выносить жидкое стекло за пределы укрепляемой зоны до начала нагнетания хлористого кальция. При скорости грунтового потока до 1 м в сутки применяют последовательное нагнетание, заключающееся в следующем: сначала нагнетают жидкое стекло, отдельными заходками с постепенным заглублением последних до проектной отметки; затем инъектор заменяют новым, через который нагнетают хлористый кальций, также отдельными заходками от проектной отметки с постепенным выдергиванием инъектора. Чрезвычайно важно, чтобы перед нагнетанием второго раствора из насосов и всей разводящей сети были удалены промыванием все следы первого раствора.

При скорости грунтового потока от 1 до 3 м в сутки применяют нагнетание по заходкам. В этом случае после нагнетания жидкого стекла в

верхнюю заходку заменяют иньектор и нагнетают хлористый кальций. Затем забивают первый иньектор на глубину второй заходки и процесс повторяют.

При скорости грунтового потока более 3 м в сутки раствор нагнетают в каждую заходку почти одновременно (хлористый кальций нагнетают через 5-10 мин после окончания нагнетания жидкого стекла) через два иньектора, забитые на расстоянии 15-20 см один от другого. Давление нагнетания не должно превышать 15-20 атм. Во избежание прорыва растворов, верх перфорированной части иньектора должен быть расположен не менее чем на 1-1,5 м от поверхности.

Открытый водоотлив как наиболее простой способ борьбы с грунтовыми водами ограничен случаями вскрытия котлованов и проведения выработок в скальных, гравийно-галечниковых и других крупноблочных породах. Этот способ нельзя также применять при наличии в основании сооружения напорных вод.

При ведении работ в котлованах, находящихся в условиях пород с низкой водоотдачей, открытый водоотлив проводят под защитой шпунтового ограждения.

Для понижения уровня грунтовых вод наибольшее распространение имеет искусственное **водопонижение**. При строительстве тоннелей открытым и закрытым способами этот способ применяют в следующих случаях: при осушении водоносных слоев породы в пределах разрабатываемой выемки (котлованы, траншеи и т.п.); при уплотнении плохо отдающих воду пород, залегающих в основании возводимого сооружения; для обеспечения устойчивости пород и сохранности зданий при сооружении тоннелей мелкого заложения закрытым способом; для упразднения сжатого воздуха как средства отжатия воды при щитовой проходке в водонасыщенных породах.

Искусственное водопонижение основано на применении систем водопонижающих скважин, располагаемых вне контура сооружения на взаимных расстояниях, обеспечивающих гарантированное снижение уровня грунтовых вод до отметки основания котлована.

Естественный уровень грунтовых вод понижают в результате одновременной и непрерывной в течение всего строительного периода работы водопонижающих устройств – преимущественно иглофильтровых установок разнообразных видов и систем. К ним могут быть отнесены легкие иглофильтровые установки малой и большой производительности, а также установки глубокого понижения (вакуум-эрлифтные и эжекторные установки); кроме того, применяют электроосмотическое водопонижение. Легкие иглофильтровые установки (ЛИУ) имеют несколько разновидностей, отличающихся насосными агрегатами и их мощностью или диаметром всасывающего коллектора. Например, установки ЛИУ-2 и ЛИУ-3 оборудованы самовсасывающими насосами вихревого типа с электродвигателями соответственно 5,5 и 10 кВт. Вихревые насосы при напоре до 40 м обеспечивают расход воды 10 л/сек. Установка ЛИУ-5 оборудована центробежным насосом с электродвигателем мощностью 20 кВт и вакуум-насосом.

5.10 Нетрадиционные и перспективные способы сооружения тоннелей

5.10.1 Продавливание тоннельных конструкций

В практике строительства тоннелей, особенно в зарубежной, кроме рассмотренных традиционных способов (горного, щитового и бесщитового) нашли применение и нетрадиционные технологии.

Способ продавливания тоннельных конструкций является одной из таких нетрадиционных технологий, применяемой для сооружения тоннелей, расположенных на незначительной глубине от поверхности и проходящих в непосредственной близости под существующими ответственными сооружениями (дамбами, реками, железными дорогами, подземными коммуникациями), абсолютно не допускающих деформаций и оседание грунтового массива. Сущность этого способа заключается в том, что обделка тоннеля в виде колец или прямоугольных секций продавливают в грунт домкратной установкой, расположенной в специальном «забойном» котловане.

В результате полного совпадения размеров поперечного сечения выработки и тоннельной обделки полностью устраняются деформации и осадок грунта в массиве. По технологии производства работ и применяемому оборудованию этот способ близок к щитовому. Так же как при щитовом способе, продавливающее устройство, в большинстве случаев, состоит из проходческого немеханизированного щита, оборудованного несколькими гидравлическими домкратами. Разработку грунта производят различного вида породоразрабатывающие механизмы. Грунт из разработанной выработки удаляется транспортерами, вагонетками.

Принципиальное отличие, делающее способ продавливания более эффективным по сравнению со щитовым, состоит в том, что выработку закрепляют пространственными конструкциями круглой или иной формы. Это упрощает работы по устройству крепи по сравнению с монтажом обделки из штучных блоков, сокращает трудоемкость заделки шва из штучных блоков, сокращает трудоемкость заделки шва, ликвидирует транспортировку блоков в забой.

Принципиальная схема продавливания (рис. 5.27) отличается тем, что по мере разработки забоя тоннельная обделка 2, оснащенная головной ножевой секцией 1, целиком продвигается вперед через проем 3 при помощи гидравлических домкратов 5, размещенных в котловане и опирающихся на стену 7. Сборка кольца 4 обделки вынесена из призабойной зоны в открытый котлован 6.

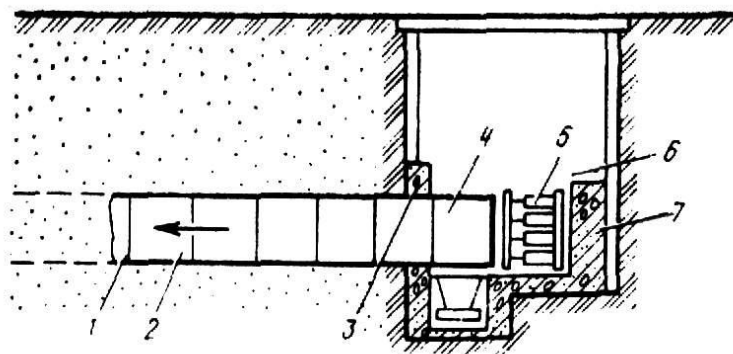


Рис. 5.27. Проходка тоннеля способом продавливания:

1 – ножевая секция; 2 – тоннельная обделка; 3 – направляющий проем; 4 – кольцо обделки; 5 – гидравлические домкраты; 6 – котлован; 7 – опорная стена.

Форма поперечного сечения продавливаемых тоннелей чаще всего круговая или прямоугольная. Площадь сечения достигает 90 м^2 . Протяженность участков продавливания составляет от 5-20 до 100-120 м. С уменьшением площади поперечного сечения плечо продавливания возрастает. До последнего времени использование способа было ограничено прямыми участками

продавливания. Сейчас уже решена сложная задача продавливания тоннелей на криволинейных участках трассы с помощью передвижных промежуточных домкратных установок.

Конструкцию продавливаемых обделок принимают стандартной (например, из чугунных тубингов перегонного тоннеля) или проектируют специально преимущественно в виде замкнутых железобетонных секций длиной 1-4 м.

Осложняют работы по продавливанию произвольное отклонение тоннеля от проектного направления и быстро увеличивающиеся сопротивления по наружной поверхности обделки.

Для обеспечения точного направления продавливания используют одностороннюю подработку забоя, ножевую секцию оснащают выдвижными элеронами или поворотными плитами, применяют ножевую секцию по типу проходческого щита, способную независимо продвигаться на заходку, отталкиваясь от обделки.

Сопротивления трения грунта по обделке сильно ограничивают длину участка продавливания. Сопротивления можно снизить разными методами: нагнетанием за обделку антифрикционных составов (суспензии бетонитовой глины и др.), нанесением на внешнюю поверхность специальных покрытий (например, эпоксидной смолы), размещением между грунтом и обделкой стальных лент, заменяющих трение пары грунт – бетон, порой сталь – сталь. Для уменьшения усилия продавливания между контуром выработки и

наружной поверхностью сооружаемого тоннеля предусматривают зазор, образуемый за счет клиновидной формы кольцевого ножа, имеющего наружную и внутреннюю скошенные поверхности.

Наиболее радикальное средство заключается в применении одной или нескольких промежуточных домкратных установок, последовательно монтируемых в составе обделки.

В отечественной практике метростроения освоен современный агрегат для продавливания перегонных тоннелей с чугунной тьюбинговой обделкой внешним диаметром 6 м. Ножевая секция с элеронами снабжена двумя основными и тремя вспомогательными горизонтальными перегородками. Домкратная установка имеет кольцевую металлоконструкцию, в которой размещены 30 щитовых перегонных домкратов, развивающих суммарное усилие 30000 кН, рассчитанное на продавливание участка тоннелей длиной 30 м.

При продавливании тоннелей с обделками из железобетонных элементов стремятся к их максимальному укрупнению. Так, например, при сооружении двухполосного тоннеля под железнодорожными путями были изготовлены две крупногабаритные секции на железобетонных плитах, закрепленных анкерами. После продавливания стык между секциями бетонировали по месту.

Способ продавливания тоннельных обделок нашел применение как в отечественном, так и в зарубежном тоннелестроении.

Так в Гамбургском пригороде Харбурге успешно продавлен пространственный железобетонный блок длиной 14,75 м, шириной 8,1 м и высотой в свету 3,6 м. Прокладка выполнена за 30 ч. без прекращения движения поездов, лишь с ограничением скорости до 70 км/час.

В США способом продавливания построены отдельные участки тоннелей различного диаметра из железобетонных секций. Так в г. Лос-Анджелесе проложен тоннель наружным диаметром 13,5 м и длиной 72 м. При продавливании использован щит, оснащенный 8 домкратами, которые развивают усилие 5,6 МН. Точность продавливания в устойчивых грунтах достигала ± 2 см, в водонасыщенных песчаных и илистых отклонение от проектной оси доходило до ± 30 см на участках протяженностью 100 м.

Подобный способ работ был применен в Москве при строительстве пешеходного перехода длиной 110 м, шириной 6 м между станциями метрополитена «Варшавская» и «Коломенская».

В последние годы наряду с продавливанием отдельных сравнительно коротких тоннельных элементов применяют продавливание крупных тоннельных обделок длиной 10-15 м и более и массой порядка 300-500 т. Продавливание крупных секций позволяет получить высококачественную конструкцию тоннеля с минимальным количеством швов, сократить сроки строительства.

Принцип продавливания находит применение для создания временной крепи тоннелей, сооружаемые под различными препятствиями. При этом вначале продавливаются стальные или железобетонные оболочки или балки,

образуя сплошное ограждение, под защитой которого разрабатывается грунт и возводится постоянная тоннельная обделка.

5.10.2 Бурение и раскатка без удаления грунта

Способ продавливания тоннельных конструкций, обладая существенными преимуществами, требует значительных энергетических и трудовых затрат на удаление грунта и устройства котлованов. Поэтому в практике строительства тоннелей разработана технология проходки выработок способом горизонтального бурения без удаления грунта. Это весьма перспективное направление позволяет резко повысить скорость проходки, снизить энергетические и трудовые затраты, разработать самодвижущиеся аппараты для проходки самозакрепляющихся выработок большой протяженности.

Предлагаемая технология основана на применении раскатки пройденных выработок для образования необходимого пространства на укладку разработанного грунта, т.е. увеличение диаметра выработки происходит за счет уплотнения грунта. Но в отличие от способа уплотнения грунта проколом или пневмопробойником, раскатка выработки основана на циклическом режиме приложения нагрузки не по всему периметру, а лишь на полосе, образующейся вдоль раскатывающего рабочего органа. Рабочий орган совершает поступательное движение и, таким образом, вследствие конусности его поверхности, происходит перемещение грунта в каждой точке раскатываемой выработки на одно и то же расстояние при каждом обороте раскатывающего устройства. При этом по длине раскатывающего устройства абсолютное перемещение точки на контуре выработки увеличивается пропорционально длине раскатывающего органа.

Перемещение грунта при раскатке выработки вызывает сопротивление массива, которое в основном зависит от угла контакта катка с выработкой и от физико-механических свойств грунта.

В практике тоннелестроения проходку выработок с использованием способа раскатки выполняют из вариантов конструктивного решения установки с режущей рабочей головкой, оборудованной ножами попеременного типа (рис. 5.28).

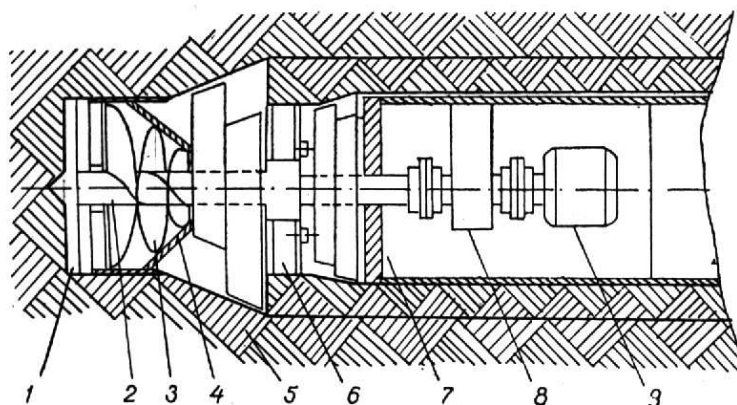


Рис. 5.28. Грунтораскатывающая установка:

1 – нож; 2 – вал привода; 3 – шнек; 4 – кожух; 5 – раскатывающее устройство; 6 – смесительное отделение; 7 – устройство вторичной раскатки; 8 – редуктор; 9 – электродвигатель.

За прототип режущей головки принята конструкция используемая в установках типа «Запорожье», в которой непосредственно за режущей головкой размещен шнек с переменным диаметром секций, заключенный в защитный кожух, составленный из двух усеченных конусообразных частей, которые соединены меньшими отверстиями.

Раскатывающее устройство состоит из двух конических по наружной поверхности цилиндров, перекачиваемых по выработке цилиндрическими роликами при помощи рукояток, закрепленных на валу. Вал приводится во вращение электродвигателем через редуктор, размещенный в передней части металлического кожуха. За кожухом смонтирован механизм уборки грунта в затрубное пространство. Он состоит из лопастей, посаженных на валу защитной диафрагмы, которая отделяет механизм уборки грунта от вторичного раскатывающего устройства, создающего необходимый зазор между кожухом трубопровода и выработкой. Вторичное раскатывающее устройство, аналогичное по конструкции первичному, отделено диафрагмой от электродвигателя с редуктором.

Разработанный при помощи шнека грунт по защитному кожуху подается в затрубное пространство, образованное раскатывающим устройством. Уложенный в затрубном пространстве грунт уплотняется и при необходимости смешивается с закрепителем для образования жесткой грунтовой оболочки.

Подача кожуха производится установкой. Усилие от нажимной плиты передается на кожух трубопровода, на переднем конце которого смонтирован рабочий орган, производящий резание, раскатку и укладку грунта в затрубное пространство. Горизонтальную составляющую усилия раскатки погашают гидравлические домкраты, расположенные на установке. Металлический кожух выполняет роль звена, передающего нажимное усилие и удерживающего контур выработки от обрушения.

Первая функция кожуха недолговечна. Практика показывает, что он теряет полностью свою несущую способность через 10 лет, а в первое время она используется только частично. Вторая функция кожуха связан с наличием нажимной установки, расположенной в котловане. Установка представляет собой сложное устройство и вызывает дополнительные затраты на ее изготовление и эксплуатацию, а также на устройство котлована. С учетом этих замечаний предложен вариант самодвижущейся установки, которая предназначена для проходки горизонтальных выработок и самозакрепления их грунтовой оболочкой вместо труб, применяемых в настоящее время. Несущая оболочка создается из грунта, разработанного при проходке выработки и смешанного с химическим закрепителем.

Состав несущей оболочки	Объем в частях
Порода (грунт)	5,0
Сланцевый фенол	1,0
Формалин	0,6
Щелочь	0,2
Древесный спирт	0,01

Лабораторные исследования показали, что эти растворы обеспечивают кубовидную прочность 8-10 МПа в возрасте 15-20 дней, водостойки и не разрушаются в агрессивных средах.

Исследование физико-механических свойств пород по трассам тоннелей метрополитенов показывают возможность применения изложенных нетрадиционных способов проведения тоннелей.

Проходка выработки без удаления грунта осуществляется за счет увеличения диаметра выработки раскаткой ее на толщину необходимую для размещения грунта, разработанного при проходке. При этом в прилежащем к выработке массиве происходит деформация грунта с разной степенью уплотнения.

При приложении нагрузки вначале возникают упругие деформации грунта в пределах его структурной прочности. При возрастании усилия возникают пластические деформации с уменьшением объема грунта и, наконец, при дальнейшем увеличении нагрузки происходят деформации сдвига. В зоне, непосредственно прилегающей к контуру выработки образуется жесткий слой, в котором имеют место все виды деформаций. Дальнейшее перемещение грунта этого слоя происходит без изменения объема, вызывая деформацию сжатия следующего слоя в пределах упругих и пластических свойств. В последней зоне происходят только упругие деформации в пределах структурной прочности. Таким образом, при проходке выработки в массиве образуются три зоны грунта с различным деформированным состоянием. Исследования показали, что деформации грунта реализуются в основном в первой и второй зоне, а деформации третьей наиболее удаленной от контура выработки зоне, весьма малы по сравнению с двумя первыми.

За объем выполненных при проходке выработки частиц грунта с некоторым допущением можно принимать разность между объемом грунта и пор в нем, предполагая, что суммарный объем пор равен объему вытесненных твердых частиц грунта.

Основываясь на вышеизложенном, можно вывести формулу для приближенного определения величины зоны деформации грунта, прилежащей к выработке в зависимости от радиуса последней и пористости грунта.

$$\pi r^2 \cdot (1 - \Pi_o) = (\pi R^2 - \pi r^2) \cdot \Pi_o,$$

где r – радиус выработки, м;
 R – радиус сжимаемой зоны грунта, м;
 Π_o – пористость грунта.

Отсюда: $R = \left(\frac{r^2}{\Pi_o}\right)^{1/2}$

Или толщина сжимаемого слоя

$$a = R - r = \left(\frac{r^2}{\Pi_o}\right)^{1/2} - r$$

$$a = r \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\Pi_o}} - 1\right), \text{ м}$$

В таблице 5.1 приведены величины уплотненного слоя грунта вокруг проходной выработки для некоторых значений r и Π_o , определенных данным методом.

Таблица 5.1

Радиус выработки, r , м	Пористость, Π_o				
	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
1	1,0	0,83	0,7	0,59	0,41
2	2,0	1,66	1,4	1,18	0,82
3	3,0	2,49	2,1	1,77	1,23
4	4,0	3,32	2,8	2,36	1,64
5	5,0	4,15	3,5	2,95	2,05
6	6,0	4,98	4,2	3,54	2,46

Анализируя полученные величины можно сделать вывод, что толщина уплотнения слоя грунта закрепленного соответствующими химическими составами, может служить крепью для проходной выработки.

Процесс проходки горизонтальных выработок с несущей грунтовой оболочкой следующий. Режущей головкой разрабатывают грунт и шнеком

подают в смесительный отсек, куда вместе с грунтом поступает закрепляющий раствор по шлангам от насосной станции, расположенной на поверхности. Перемешанная с раствором грунтовая смесь подается в затрубное пространство, образованное раскаткой выработки.

Рабочий орган, состоящий из режущей головки со шнеком, раскрывающего устройства, смесительного отсека, механизма вторичной раскатки и привода, помещенного в защитный кожух, подается гидравлическим домкратом вдоль выработки. При этом шток гидравлического домкрата выходит из цилиндра и за счет конической насадки на конце штока поднимает вертикальные стержни и плотно прижимает раздвижную опалубку к грунтовой оболочке, уплотняя ее, и выдерживая некоторое время в закреплённом состоянии.

Опалубка представляет собой два цилиндра, одетых один на другой. Передний цилиндр перемещается вдоль выработки по мере проходки, а задний выдерживает грунтовую оболочку до приобретения ей необходимой прочности. Задний цилиндр перемещается циклично с шагом 1 м и имеет длину в два-три раза больше, чем передний. При обратном движении штока домкрата задний цилиндр подается вперед на длину штока домкрата. При средней скорости проходки выработки 6 м/ч оболочка находится в закреплённом состоянии в течение одного-двух часов, приобретая прочность до 0,3 МПа. Как показали лабораторные испытания, грунтовая оболочка после снятия опалубки не разрушается и со временем становится прочнее.

5.10.3 Уплотнение грунта взрывной проходкой

Взрывная проходка – получение выработок в грунтах для различных инженерных целей за счет пластических деформаций пород – коренным образом отличается от буровзрывного способа проходки. Если суть буровзрывного способа сводится к взрывному отделению частей породы от массива и удалению ее из выработки, то при взрывной проходке ни отделения части породы массива, ни удаления ее из выработки не требуется. Выработка получается уплотнением грунта за счет использования энергии взрыва и пластических деформаций породы.

Исключение из процессов проходческого цикла трудоемких работ по бурению, погрузке и транспортированию породы может ускорить проходку выработок минимально в 30 раз и удешевить в 10 раз.

Взрывной проходкой можно проходить открытые и закрытые вертикальные, наклонные и горизонтальные выработки в связных пластичных однородных и слоистых грунтах.

Известен промышленный эксперимент проведения выработки методом уплотнения грунта (взрывным способом). Так в 1954 г. на Юрковском бурогольном разрезе был пройден ствол глубиной 54 м и диаметром 5,2 м, за счет внутреннего действия взрыва заряда в скважине диаметром 300 мм и глубиной 46 м. При опытном взрывании подобных зарядов в песчаниках и песчаных сланцах достигалось уширение скважины диаметром 100-250 мм

и глубиной 40-100 м в 5-8 раз. В стенках скважины порода сильно разрушалась и легко раскалывалась. Далее от оси скважины породы имеют заколы, прочность их мало уменьшалась.

Опыт использования энергии взрыва в строительстве показывает, что с помощью взрывной проходки возможно создавать выработки диаметром 2,5-5 м. В табл. 5.2 приведены размеры полостей, которые можно получить взрывной проходкой по расчетным данным И.И. Даниленко.

Таблица 5.2

Размер полостей, которые можно получить взрывной проходкой

Грунты, породы	Полости, м			
	вертикальные		горизонтальные	
	диаметр	глубина	диаметр	глубина
1	2	3	4	5
Глины тяжелые, плотные	6-7	60-100	4,5-6	60-100
Суглинки тяжелые, плотные	3,5-5	60-100	3,5-4	60-100
Суглинки лессовидные	3,0-3,5	40-60	2,5-3,5	40-60
Супески в массивах	0,8-1,2	40-60	0,8-1,0	25-30
Пески в массиве	0,5-1,0	40-60	0,1-0,3	10-15

Свойства пород, расположенных по трассам метрополитенов Украины, во многом соответствуют породам, приведенным в табл. 5.1. Следовательно, возможно использовать взрывную проходку для перегонных тоннелей метрополитена, диаметр которых не превышает 4-5 метров.

Следует иметь в виду, что взрывной проходкой получают участки незакрепленных выработок большой протяженности (длиной 50-60 м и более). Это требует разработки скоростных способов укрепления.

Стенки выработок, полученных взрывной проходкой, имеют неровную трещиноватую, шероховатую поверхность, способствующую ее сцеплению со слоем вяжущего материала.

Полученные выработки в связных грунтах и глинистых сланцах обладают повышенной устойчивостью и водонепроницаемостью вследствие наличия слоя уплотненного грунта вокруг выработок. Этот вид проходки позволяет одновременно с получением выработки взрывом получить уплотнение прилегающих к выработке пластичных пород, которое способствует увеличению устойчивости выработок. Опыт применения взрывной проходки показывает, что эти выработки, пройденные в глинах и тяжелых суглинках, способны годами сохранять устойчивость без крепления.

5.10.4 Проходка пневмопробойниками и реактивными бурами

В 80-х годах XIX века Институтом горного дела Сибирского отделения Академии наук России разработан, испытан и запатентован землепроходческий пневматический снаряд (пневмопробойник), исключая необходимость создания траншей при прокладке городских коммуникаций, разводки различных видов кабелей и трубопроводов на территории действующих предприятий и городских застроек.

В настоящее время создано пять видов пневмопробойников, создающих скважины диаметром от 150 до 600 мм, при скорости проходки 10-30 м/час.

Академик А.А. Трофимчук считает, что пневмопробойниками с использованием наружных головок-расширителей можно создавать выработки диаметром до 6 м, пригодных для тоннелей метрополитена.

Описанные нетрадиционные способы сооружения тоннелей (продавливания, раскатки грунта, уплотнения грунтов взрывом и пневмопробойником), могут быть применены только в пластичных грунтах.

Для проведения выработок нетрадиционным способом по любым грунтам, в том числе и по скальным, еще в начале 40-х годов инженер А.И. Требелев сконструировал «механического крота», максимально приблизив машину к живому прототипу. Чтобы подсмотреть рабочие приемы крота А.И. Требелев соорудил своеобразный «полигон» для этих животных, где и наблюдал за их жизнедеятельностью с помощью рентгеновского аппарата. Оказалось, что крот зубами разрыхляет землю, затем, быстро вращая головой, утрамбовывает ее, прижимая к стенкам норы. Была создана действующая модель работающая по принципу крота. Зубы «механического крота», изготовленные из твердого сплава, вгрызались в землю. Электромотор приводил в действие «лапы» и машина продвигалась со скоростью 10 метров в час.

В 1946 году М.И. Циферов изобрел «пороховой бур», принцип действия которого отличался от «взрывного бурения». Это было нечто среднее между кротом и ракетой. Головка бура напоминала внешне сверло. Но вместо режущих кромок – две радиальные щели. Из порохового отсека через самоуплотняющийся затвор в камеру сгорания подавалась шашка пороха. пороховые газы создавали в камере сгорания давление в 2-3 тысячи атмосфер. Раскаленные газы с чудовищной силой вырываются из узких щелей головки и отверстий боковых дюзов. Как незатупляющиеся зубы крота, они размалывают любые горные породы, превращая их в щебенку. А поскольку дозы направлены тангенциально оси те же газы создают турбинный эффект и вращают бур, сообщая всему устройству поступательное движение. Подобно лапам крота, они уплотняли стенки скважины и выбрасывали высверленную породу радиальными струями. Реактивный бур стремительно погружался в крепкие породы. опыты показали, что энергия пороха, сфокусированная на небольшую площадь, с легкостью и быстротой разрушала самые твердые материалы. Десять сантиметров в секунду (6 м/мин.) – вот крейсерская скорость огневой фазы. Изобретением века назвал академик А.А. Скочинский, не очень щедрый на похвалы, реактивный бур М.И. Циферова. Конструкцией предусмотрено, что пороховые газы бура и бурят, и гонят снаряд вперед. По

команде можно менять направление движения снаряда. Он может, если последует команда, в земных недрах сделать «метровую петлю» или любую фигуру высшего пилотажа. В гранитных глыбах, в базальтах реактивный бур замедляет свое движение до 1-2 м/мин. Когда же запас взрывчатки подойдет к концу, взрывается последний заряд, предназначенный для самоэвакуации и бур возвращается к устью выработки.

В настоящее время данный способ проходки выработок запатентован во многих высокоразвитых странах: США, Германии, Англии, Японии, Италии и т.д. Американская фирма «Флейм Джет партнерс» изготавливает реактивные буры в Калифорнии. Ими *пройденны сотни метров скважин диаметром 600-800 мм*. При увеличении диаметра реактивных буров и емкости зарядной камеры возможно увеличение создаваемых выработок до $2\div 2,5$ метров.

В перспективе поэтапное проведение выработок реактивными буровыми машинами может увеличить *их диаметр до 4 метров*, и данный способ может быть приемлемым для создания перегонных тоннелей метрополитенов.

5.10.5 Сверхслабые взрывы в непрерывном режиме

В США ведутся работы по созданию способа буровзрывной разработки забоев горных выработок сверхслабыми взрывами в непрерывном режиме. Так, фирмой «Машин Дизайн Инженерс Инк» проводились эксперименты, показавшие, что разработка забоя в крепких скальных породах возможна с помощью шпуров диаметром 10 мм и глубиной 91 см. По сетке 46x46 см с зарядами ВВ по 90 г в каждый шпур и удельным расходом ВВ 490 г на 1 м³ породы. Малое расстояние между шпурами гарантирует гладкое оконтуривание выработки. При непрерывном процессе заряжания и взрывания таких шпуров продвижение забоя выработки диаметром 4,6 м со скоростью 1,2 м/ч требует приготовления 10,9 кг ВВ в час и связано с выделением 0,9 м³/мин взрывных газов; то и другое вполне допустимо при существующем уровне техники. В то же время даже при условии работы одновременно по четырем шпурам, технологический цикл бурения, зарядки и взрывания одного шпура должен в этом случае занимать не более 2 мин. Это потребовало создания специального оборудования и, в частности, решения проблем позиционирования исполнительных механизмов, безопасности манипуляций с ВВ и взрывания без использования промышленных патронов и детонаторов (что было бы неэкономично).

Оборудование было предложено выполнить в виде трехпозиционной револьверной головки с полуавтоматическим управлением, защищенной от повреждения при взрывах кожухом из стальной брони. Применена серийная бурильная машина вращательно-ударного действия; буровая штанга диаметром 7,6 мм с промывочным каналом и выкованным на ее конце одноперым долотом с твердосплавной вставкой была изготовлена для опытного образца оборудования специально. В результате специального исследования на выявление взрывчатого вещества, представляющего собой смесь двух взрывобезопасных компонентов, удобно закачиваемого в шпур

малого диаметра, допускающего адиабатическую детонацию, и притом экономического, выбрали гидроокись гидразина. Зарядка шпура с приводом электродетонатора вместимостью 450 г производится в алюминиевую трубку, снабженную полиэтиленовым вкладышем и телефонным наконечником, которые предотвращают распространение детонации в контейнер при самопроизвольном взрыве; задача механизации операций замешивания ВВ и загрузки контейнера на стадии конструирования опытного образца не ставилась. Для детонации ВВ в шпуре испытывали пневматический ударник рабочим давлением сжатого воздуха 206 кПа и массой поршня 0,65 или 1,29 кг, а также обычное охотничье ружье, стреляющее пулями калибра 0,22; поскольку в случае применения ударника требует надежного решения проблема мгновенного извлечения бойка из шпура после детонации, опытный образец оборудования оснастили ружьем с пневматическими механизмами зарядки патрона и выстрела. Эффективная детонация в этом случае обеспечена на расстоянии до 50 см от дула до ВВ, что позволяет экономить ВВ, оставляя примерно 15 см у устья шпура пустыми.

Система автоматизированного управления техническим процессом с портативного пульта реализована в форме релейной логической схемы с блокировкой взаимоисключающих операций. Скорость подачи устанавливалась индивидуально для каждой операции. Оборудование в сборе имеет габаритную длину 2,4 м, диаметр 35 см и массу около 550 кг.

На основании результатов испытаний разработана исходная техническая документация на одно-, двух- и четырехстреловую самоходные проходческие установки, каждый манипулятор которых оборудован блоком из четырех единиц описанного оборудования.

На установках предусмотрен породопогрузочный транспортер и регулируемый приемный лоток с нагребными лапами; на конце последних имеются проволочные щетки для зачистки подошвенной части лба забоя. Для проходки тоннеля сечением 7x5,5 см предлагается двухстреловая установка, габаритные длина и ширина которой в транспортном положении составят 6 х/м; при условии частичной автоматизации позиционирования манипуляторов (что позволит выполнять его за 2x20 с) и 10-секундного интервала между включением каждого из 8 рабочих органов. Полный технологический цикл на 4 шпурах занимал бы 230 с., т.е. производительность установки по породе можно оценить в 9,4 м³/ч. Стоимость подробной конструкторской проработки и изготовления таких установок составила бы:

	Срок разработки , мес.	Стоимость разработки, млн. долл.	Примерная масса, т	Стоимость изготовления, тыс. долл.
1-стреловая	18	0,5	7,25	176
2-стреловая	30	1,5	27,2	780

3-стреловая	36	2,0	45,4	1400
-------------	----	-----	------	------

Расчетная скорость проведения тоннеля в породах с крепостью на сжатие 150 МПа сечением 20 м² в зависимости от применяемого оборудования составит 100 м/мес. (1 стреловая установка) и 400 м/мес.(3-х стреловая) при 2-х сменном рабочем дне.

5.11 Технология возведения монолитно-прессованных и обжатых обделок

При сооружении перегонных тоннелей щитовым способом, когда образуется выработка правильной цилиндрической формы, создаются условия благоприятные для применения предварительно-напряженных обделок. За последние годы в мировой практике тоннелестроения наибольшее развитие получили работы по внедрению предварительно-напряженных обделок, создаваемых двумя способами:

- прессованием монолитного бетона за опалубку;
- распором бетонных блоков обделки в породу.

Возведение **монолитно-прессованной обделки** заключается в нагнетании под давлением бетонной смеси в свободное кольцевое пространство между сооружаемой опалубкой и поверхностью породного массива, образованного после прохождения щита.

Прессованием бетонной смеси в процессе ее укладки достигается высокая прочность, водонепроницаемость, ровность и гладкость поверхности бетонной обделки, которая немедленно вступает в совместную работу с окружающим горным массивом. Благодаря плотному заполнению бетонной смесью всего кольцевого пространства исключается необходимость в нагнетании цементно-песчаного раствора и полностью устраняется опасность осадок поверхности. Высокая несущая способность обделки достигается без применения арматуры, что дает значительную экономию. По сравнению со сборной обделкой, трудовые затраты снижаются в среднем на 30%.

Эти преимущества монолитно-прессованной обделки давно привлекали внимание специалистов. Поэтому еще в начале XX века в Западной Европе было построено несколько тоннелей щитовым способом с прессованием бетона. В 50-х годах аналогичные работы были развернуты и на Украине. Реализация ряда проектов показали техническую возможность получения высококачественной обделки, но вследствие несовершенства применяемого оборудования скорость сооружения тоннелей не превышала 25-30 м/месяц. И только в 60-х годах были успешно завершены опытные работы по сооружению тоннеля под р. Неглинной в центре Москвы с применением нового комплекса оборудования для проходки и прессования бетонной смеси, позволившие достигнуть приемлемой скорости сооружения тоннелей – 100 м/месяц.

Одновременно проводились работы по возведению обделки из монолитно-прессованного бетона на строительстве перегонного тоннеля Тбилисского метрополитена в породах средней крепости с применением

механизированного щита. Результаты этой проходки оказались также положительными и легли в основу дальнейшего совершенствования технологического оборудования.

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике тоннелестроения полностью отработаны и применяются комплексы оборудования и схемы организации работ двух типов для возведения монолитно-прессованных обделок: в мягких и слабых породах и в породах средней крепости и крепких. Принципиально различие этих схем заключается в технологии прессования бетонной смеси.

В слабых породах (рис. 5.29) бетонную смесь укладывают в кольцевое пространство между кольцевой переносной опалубкой 5 и оболочкой щита 17. Прессование осуществляется в процессе передвижки щита реактивным усилием от щитовых домкратов 18, упираемых в прессующее кольцо 2. Технологией предусмотрено параллельно с бетонированием обделки разработка породы в забое. По мере продвижения щита кольцевое пространство между возводимой передвижной опалубкой и поверхностью породного массива немедленно заполняется бетонной смесью 4, что позволяет сохранить окружающие породы в ненарушенном состоянии и предотвратить развитие горного давления. Прессующее кольцо 2 представляет собой жесткую металлическую конструкцию, рассчитанную на восприятие и передачу на бетон 4 максимального усилия щитовых домкратов 18 и допускающую поворот относительно оси тоннеля при проходке на закруглениях. В верхней части сделан патрубок 16 с затвором для подключения бетоновода 6. Отвод прессующего кольца в исходное положение осуществляется несколькими щитовыми домкратами, штоки которых соединены шарнирно с кольцом.

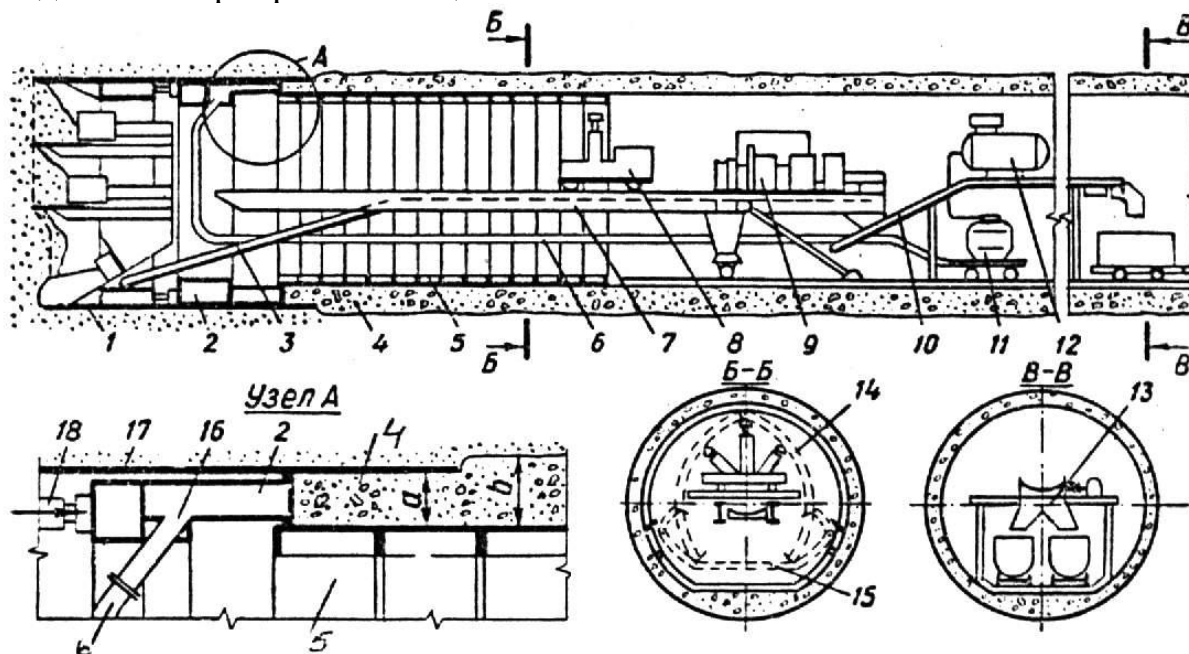


Рис. 5.29. Организация работ при возведении монолитной обделки в слабых породах:

1 – щит; 2 – прессующее кольцо; 3 – щитовой транспортер; 4 –

обделка монолитного бетона; 5 – переносная опалубка; 6 – бетонопровод; 7 – транспортный мост; 8 – перестановщик опалубки; 9 – насосная установка; 10 – перегружатель; 11 – пневмобетонодатчик; 12 – баллон сжатого воздуха; 13 – бункер; 14 – верхнее звено опалубки; 15 – нижнее звено; 16 – патрубок бетоновода; 17 – оболочка щита; 18 – щитовые домкраты.

Переносная опалубка состоит из секций шириной 60 см. каждая секция представляет собой шарнирную конструкцию, разбираемую при перестановке на два крупных складывающихся звена. Перестановщик опалубки 8 передвигается по транспортному мосту 7 в виде двутавровых балок, опирающихся впереди на металлоконструкцию щита, а сзади – на специальную тележку. Количество секций опалубки устанавливается в зависимости от скорости возведения обделки и минимального времени твердения бетона до распалубочной прочности (10 МПа).

Сооружение тоннеля ведется заходками, длина которых соответствует ширине прессуемого кольца обделки (в перегонных тоннелях метрополитенов – 60 см).

За начало цикла принимается следующее исходное положение проходческого комплекса. Щит передвинут на заходку, хвостовая часть его оболочки перекрывает отформованную обделку на 3-5 см, щитовые домкраты убраны и вместе с ними отодвинуты вперед прессующее кольцо.

В этом положении отрывают от бетона при помощи домкратов перестановщика верхние звенья 14 задней секции опалубки, в сложном виде перемещают его вперед и устанавливают на место, скрепляя болтами с предыдущей секцией. Затем повторяют те же операции с нижним звеном 15.

Закончив монтаж опалубки, вводят в зазор между ней и оболочкой щита пуансон прессующего кольца, подключают бетоновод 6, навешивают к опалубке съемный вибратор и из пневмобетоноподатчика 11, подключенного к баллону сжатого воздуха 12, подают бетонную смесь.

Заполнив заопалубочное пространство, перекрывают подачу бетона затвором патрубка 16, включают щитовые домкраты и начинают прессование бетонной смеси с одновременной передвижкой щита.

Разрабатываемая в забое порода со щитового транспортера 3 поступает на главный транспортер, расположенный между балками транспортного моста, затем на перегружатель 10 и в бункер 13 с перекидным шибером, позволяющим загружать вагонетки, стоящие на обоих путях. По окончании заходки отводят прессующее кольцо и приступают к следующему этапу.

Питание гидравлических систем осуществляется от насосных установок 9 высокого и среднего давления, расположенных на специальной платформе транспортного моста.

Устройство плоского лотка в обделке перегонных тоннелей метрополитена осуществляется путем укладки бетонных тюбингов или формированием его вместе с обделкой. В последнем случае нижнее звено опалубки имеет соответствующую конфигурацию.

Сущность *возведения сборных обделок распираемых в породу* состоит в том, что диаметр контура выработки принимают несколько меньшим наружного диаметра обделки в ее проектном положении. Смонтированная в выработке обделка усилиями домкратов доводится до проектного диаметра, что приводит к возникновению по наружной поверхности обделки упругого отпора породы, обжимающей кольцо обделки.

Впервые сборные обделки, обжатые в породу были применены в 1953 г. в Лондоне при сооружении гидротехнического тоннеля диаметром 2,8 м. Обделка составлялась из бетонных блоков трапецевидной формы и из прямоугольных блоков с клиновым замком сверху. В обоих случаях кольцо обделки собиралось за пределами оболочки щита и распиралось вдавливанием клиновых элементов щитовыми домкратами. В 1957 г. на строительстве железнодорожного тоннеля в Англии был применен другой метод обжатия бетонной обделки: на уровне горизонтального диаметра кольца обделки устанавливались специальные домкраты в нишах блоков и после разжатия полуколец зазор заполняется жестким бетоном.

С 1960 г. широко применяются обжатые в породу сборные бетонные и чугунные обделки при строительстве перегонных тоннелей Лондонского метрополитена, которые расположены, как правило, в плотных глинах небольшой влажности. Практическая реализация обжатия обделки возможна не только в пластичных глинах, но и в других грунтах при выполнении следующих условий:

- контур выработки должен иметь строго круговое очертание необходимого диаметра и гладкую поверхность, что может быть выполнено при проведении тоннеля механизированным щитом;
- проходка щита по трассе должна производиться с минимально возможными отклонениями от проектной оси тоннеля;
- колебание рабочего органа щита в процессе разработки грунта должно быть минимальным;
- в конструкции обжимаемой обделки должны быть предусмотрены конструктивные меры, обеспечивающие строго кольцевую форму к концу обжатия, например, цилиндрические стыки между блоками без связей между кольцами, что обеспечивает возможный взаимный поворот соседних элементов в кольце по мере выполнения обжатия;
- обделка тоннеля должна иметь максимально приближенное к проектному круговое очертание, что требует повышенной точности соблюдения всех размеров элементов кольца при их изготовлении.

Соблюдение перечисленных условий позволяет рационально использовать сборные железобетонные тоннельные обделки и исключить растягивающие напряжения в сечениях грузонесущего кольца, как в период строительства, так и в период эксплуатации тоннелей. Это и достигается предварительным (до начала работы обделки на основные нагрузки) обжатием обделки, т.е. распором бетонных блоков в грунт. В результате этого действия в сечениях обделки создаются сжимающие напряжения.

Обжатие обделки в грунт достигается, кроме перечисленных,

следующими **преимуществами**:

- немедленное включение в работу элементов крепи совместно с окружающим массивом, что предотвращает развитие деформаций контура выработки;
- стабилизирует грунтовой массив вокруг тоннеля и тем самым снижает горное давление на обделку;
- исключает или сводит к минимуму осадки поверхности земли под тоннелем;
- исключает необходимость первичного нагнетания и сводит к минимуму контрольное;
- способствует принудительному закрытию начальных зазоров в продольных стыках кольца, которые образуются при монтаже;
- уплотнение продольных стыков улучшает гидроизоляционные свойства обделки.

Опыт применения обделок предварительно обжатых в грунт позволил выявить следующие **недостатки**:

- практически невозможно получить равномерное обжатие по периметру кольца из-за возникающих сил трения по наружной поверхности обделки, т.к. силы трения снижают реализуемое при обжатии значение упругого опора грунта до 2-3 раз на максимальном удалении от точки кольца, в которой прикладывается усилие обжатия;
- созданное обжатием в грунт предварительное напряжение обделки может быть частично или полностью потеряно из-за релаксационных явлений в грунтовой массиве.

В силу перечисленных недостатков в настоящее время обделки, обжатые в грунт, не рассматриваются как предварительно напряженные.

Конструкции обжатых в грунт обделок могут быть бетонными, железобетонными и чугунными с шарнирными продольными стыками без связей между кольцами. Наибольшее распространение получили железобетонные обделки.

Конструктивные решения обжатых в грунт железобетонных обделок зависят от принятого способа обжатия, которое может осуществляться:

- нагнетанием раствора за обделку;
- обжатием обделки в грунт.

5.12 Нагнетание раствора за обделку и устройство гидроизоляции

Основное назначение нагнетания раствора за обделку заключается в заполнении пустот с целью создания упругого отпора породы, предупреждения развития горного давления и оседания поверхности и улучшения гидроизоляции обделки. Нагнетание подразделяется на первичное и контрольное.

При применении чугунной или железобетонной сборной обделки.

Первичное нагнетание производится цементно-песчаным раствором по гибкому шлангу и через специальное нарезное отверстие в тубинге или блоке

для нагнетания раствора. Раствор за обделку подается пневматическим или механическим растворомасосом под давлением 0,3-0,5 МПа.

Для увеличения подвижности раствора, регулирования сроков схватывания, уменьшения усадки в нагнетаемый раствор вводят специальные добавки. Так, добавка бетонитовой глины – повышает гидроизоляционные свойства обделки, хлористый кальций уменьшает срок схватывания (твердения) раствора, мылонафт – способствует увеличению подвижности раствора.

Зазор со стороны забоя между обделкой и породой, а также швы между элементами обделки перед нагнетанием раствора тщательно заделываются уплотняющим материалом (стружкой, паклей, деревянными клиньями).

В настоящее время для уплотнения зазора со стороны забоя между обделкой и породой применяют уплотнительное прижимное стальное кольцо, расположенное в хвостовой части оболочки щита или пневматическое торцевое устройство, представляющее собой камеру, плотно облегающую изнутри щитовую оболочку.

Тампонажный раствор нагнетается в первое, выходящее из-под оболочки, т.е. в последнее смонтированное кольцо. Нагнетание производят в нижнюю часть кольца после установки блоков до горизонтального диаметра, а на втором кольце в его верхнюю часть. При проведении тоннелей по устойчивым породам с коэффициентом крепости по Протоdjаконову М.М. два и более допускается в первое кольцо нагнетать раствор до горизонтального диаметра, а во втором-третьем – на всю высоту кольца. Нагнетание обычно начинают с лоткового блока, а затем одновременно в два вышележащих блока и далее до замкового элемента в своде. После появления раствора в отверстиях выше расположенных блоков нагнетание приостанавливают и инъекторы переставляют выше.

Для нагнетания используют передвижную тележку, оборудованную растворомнагнетателем. Раствор от аппарата для нагнетания поступает по гибкому шлангу, снабженному на конце соплом с уплотнительным кольцом. Растворный узел обычно устанавливают на блокоукладчике.

Контрольное нагнетание цементным раствором имеет целью повысить водонепроницаемость обделки путем заполнения трещин от усадки и других причин в затвердевшем растворе первичного нагнетания, обеспечить полное соединение обделки с окружающими породами, улучшающее ее статическую работу. При сборной железобетонной обделке контрольное нагнетание производят после чеканки швов, а при чугунной тубинговой – до чеканки. Давление нагнетания 0,8-1,0 МПа. Контрольное нагнетание производят по всему периметру кольца обделки на расстоянии 30-50 м от щита с передвижной тележки при помощи механического насоса с производительностью 1 м³/час. Такое давление оказывает в некоторых случаях эффект сосредоточенной нагрузки вследствие наличия пустот за обделкой. В таких случаях давление необходимо снизить.

После окончания всех работ по нагнетанию, отверстия в обделке должны быть плотно закрыты при помощи металлических пробок с

асбоцементными шайбами или путем зачеканивания замазкой из расширяющегося цемента.

Нагнетание за монолитную обделку производят при усадке бетона под действием собственного веса или расслоении пород кровли. Тампонаж в этом случае осуществляется главным образом в сводчатую часть тоннеля. Шпур, предназначенный для нагнетания раствора, бурятся в массив породы через бетонную крепь и располагаются по поверхности выработки в шахматном порядке, с расстоянием между рядами 2,5 м и между скважинами в ряду 3-4 м. Первичное нагнетание производят после достижения обделкой проектной прочности на участке длиной 20-30 м. Нагнетание ведут одновременно по обе стороны от оси тоннеля за стенки и свод. Инъектор при этом крепится на резьбе к стальным трубкам, закрепленным обжатием резинового кольца в шпуре, пробуренном в обделке (рис. 5.30). За обратный свод нагнетание не производят.

Первичное нагнетание за стены ведут горизонтальными рядами, начиная с нижнего на высоте 1 м от подошвы тоннеля, до отказа поглощения раствора при предельном давлении. По окончании первичного нагнетания за стены, начинают нагнетание за свод кольцевыми рядами.

Контрольное нагнетание делают после отвердения раствора первичного нагнетания, но не ранее чем через 2 суток и продолжают до прекращения поглощения цементного молока в течение 10-15 мин. при предельном давлении (0,4 МПа).

После окончания нагнетания отверстия заполняют раствором на всю глубину и заштукатуривают.

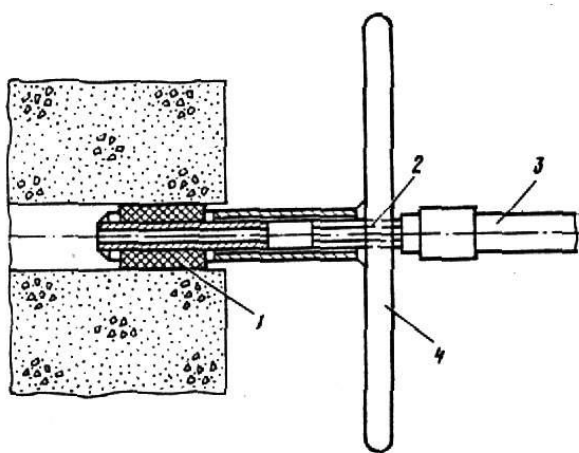


Рис. 5.30. Закрепление штуцера в шпуре:
1 – резина; 2 – резьба; 3 – шланг; 4 – рукоятка

полимерных), устанавливаемых при сбалчивании тубингов. Отверстия для нагнетания очищают и изолируют постановкой пробки с гидроизоляционной асбобитумной или пластмассовой шайбой.

Качество работ по нагнетанию проверяют нагнетанием цементного раствора через дополнительно пробуренные шпур, которые не должны принимать его при предельном давлении.

Гидроизоляция сборных обделок состоит в герметизации швов между элементами обделки, болтовых соединений и отверстий для нагнетания. Гидроизоляцию болтовых соединений выполняют с использованием гидроизоляционных шайб (асбобитумных или

Гидроизоляцию швов сборных обделок производят на расстоянии 30-50 м от щита путем заполнения чеканочных канавок гидроизоляционными материалами с последующей их чеканкой. Укладку замазки и чеканку швов ведут в два-три слоя толщиной по 2 см участками длиной по 3-4 м. гидроизоляционные работы ведут с чеканочной тележки.

В целях обеспечения водонепроницаемости железобетонной сборной обделки после чеканки швов и отверстий в блоках выполняют нагнетание в стыках в месте пересечения швов через пробуренные скважины. Нагнетание ведут через иньектор чистым цементным раствором под давлением 0,4 МПа. Отверстия в крестообразных сетках потом зачеканивают.

При большом гидростатическом давлении для чеканки швов между чугунными тьюбингами применяют свинцовую проволоку или освинцованный шнур. Стыки проволоки или шнура выполняют внахлестку. После чеканки шнура через 10-15 часов поверх свинца укладывают замазку из водонепроницаемого расширяющегося цемента (ВРЦ) или быстротвердеющего уплотняющего состава (БУС).

Гидроизоляция монолитной бетонной обделки при применении ее в водоносных породах осуществляется торкретированием или оклеичным способом.

Торкретирование заключается в нанесении плотного цементно-песчаного раствора на внутреннюю поверхность обделки с помощью пневматической цемент-пушки производительностью до 1,5 м³/час. давлением сжатого воздуха сухая смесь цемента и песка подается по гибкому шлангу и после увлажнения водой с силой набрызгивается на изолируемую поверхность бетона. Торкретирование ведут слоями 5-10 мм с общей толщиной покрытия 20-40 мм. Каждый последующий слой наносят после затвердения предыдущего (обычно через 6-8 часов). Для предотвращения появления усадочных трещин используют водонепроницаемый безусадочный цемент. Целесообразно для торкретных покрытий применять аэрированные пенорастворы, изготавливаемые в специальных смесителях с последовательной загрузкой воды и вспенивающей добавки, цемента и песка. Такие растворы при низком водоцементном отношении отличаются высокой пластичностью, не расслаиваются и хорошо прилипают к бетонной поверхности. Торкретное покрытие наносят на внутреннюю поверхность обделки, предварительно очищенную. При гидростатическом давлении более 0,5 МПа к обделке крепится арматурная сетка из проволоки диаметром 3-5 мм.

К недостаткам торкретирования относятся:

- большой расход цемента 750-850 кг/м³ смеси;
- значительный отскок частиц от поверхности, достигающий 40-60% при торкретировании кровли обделки.

Оклеичная гидроизоляция состоит из нескольких слоев рулонного материала, соединенных и наклеенных на изолирующую поверхность пластичной водонепроницаемой мастикой. В качестве прочной основы оклеичной гидроизоляции принимаются материалы неорганического происхождения, не подверженные гниению, например, гидроизол,

получаемый пропиткой асбестового картона мягким битумом. Число слоев рулонного материала в изоляционном покрытии определяется в зависимости от напора подземных вод, но обычно принимают не менее трех слоев гидроизола.

Битумная мастика, являющаяся собственно изолирующим материалом, изготавливается из нефтяных безпарафинных битумов. Мاستику наносят при температуре не менее 150⁰С и в случае необходимости подогревают электрическим способом.

Прогрессивным является внедрение безмастичной (термопластичной) гидроизоляции из рулонных битумизированных материалов на стекловолоконистой основе. Применяемый в этом случае гидростеклоизол представляет собой высокопрочную стекловолоконистую ткань, покрытую с двух сторон слоями термопластичной массы из тугоплавкого битума, легко переходящего капельножидкое состояние при нагревании газовыми (пропановыми) горелками. Подготовка гладкой поверхности к нанесению термопластичной изоляции заключается в очистке и окраске битумным лаком поверхности обделки. Прогрев изолируемой поверхности и рулона обеспечивает хорошее сцепление между ними и исключает возможность оставлять пузырьки воздуха.

Наиболее перспективным направлением в области гидроизоляции тоннельных обделок является применение водонепроницаемых покрытий из компаундов эпоксидных смол, наносимых механизированным способом на изолируемую поверхность. Высокое сцепление, характерное эпоксидных смол, позволяет отказаться от устройства внутренней поддерживающей конструкции.

Глава 6. Строительство станций глубокого заложения

6.1 Общая характеристика и классификация

Станции на линиях метрополитенов предназначаются для обслуживания пассажиров и осуществления функций, связанных с движением поездов.

Обслуживание пассажиров заключается в обеспечении входа на станции, посадки, высадки, пересадки на станции других линий в местах их пересечений и выхода со станций.

Функции станций, обеспечивающие движение поездов, заключается в приеме и отправлении поездов по графикам, а также в их осмотре в случае необходимости.

На станции обычно имеются два пути одной линии метрополитена и одна или две пассажирские платформы, обслуживающие эти пути. Различают два вида платформ: островные и боковые. Островными называются платформы, по обе стороны которых расположены пути метрополитена. Боковыми являются платформы, к которым путь примыкает только с одной стороны.

На станциях отечественных метрополитенов, как правило, применяются

островные платформы и лишь в виде исключения допускается применение боковых платформ.

В качестве материала для станционных обделок используются монолитный бетон и железобетон, железобетонные прямолинейные и криволинейные элементы, блоки и чугунные тубинги.

Станции с плоскими перекрытиями (двух и трехпролетные) имеют обделки из монолитного железобетона с применением железобетонных прямолинейных элементов заводского изготовления. Для обделок одно, двух и трехсводчатых станций используются все перечисленные выше материалы.

Способ сооружения станций также до некоторой степени определяет их конструктивную форму. Так, станции с плоскими перекрытиями не сооружаются закрытым способом, зато открытым способом могут быть возведены станции любой конструктивной формы, как с плоскими перекрытиями, так и сводчатые.

Опускными секциями сооружаются, как правило, станции со сводчатыми обделками, но и здесь могут быть исключения.

На линиях метрополитенов Украины преобладают мелко заложенные трехпролетные станции с обделками из монолитного и сборного железобетона и глубоко заложенные трехсводчатые двух основных конструктивных типов (пилонные и колонные), с обделками из тубингов.

Планировочные решения станций метрополитенов определяются следующими основными факторами: числом и расположением путей и платформ, конструктивным решением станций, примыканием к станции эскалаторных тоннелей и лестниц и расположением служебных помещений в пределах станции.

Классификация станций, существующая в мировой практике, определяется числом и расположением платформ на станциях метрополитенов.

Одноплатформенные станции – это станции с одной островной платформой, обслуживающей два пути противоположного направления, принадлежащих одной линии метрополитена (рис. 6.1 а).

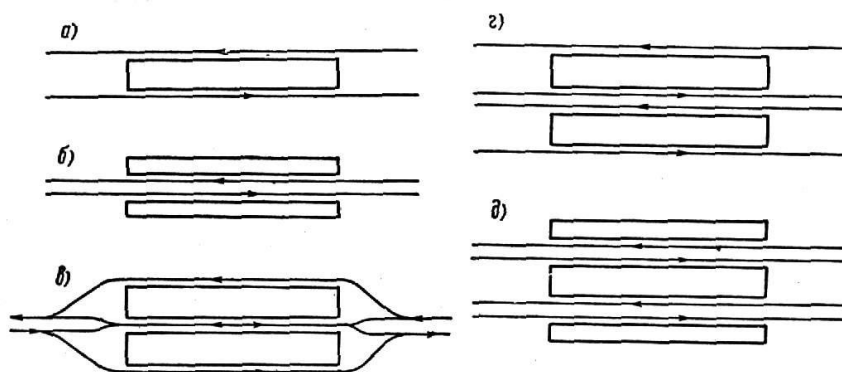


Рис. 6.1. Схемы станций:

а – с одной островной платформой; б – с двумя боковыми платформами; в – с двумя островными платформами (3 пути); г – с

двумя островными платформами (4 пути); д – с двумя боковыми и одной островной платформами (4 пути).

Преимущество станций с островной платформой – удобство для пассажиров, простота сообщения с поверхностью, простор для архитектурного оформления.

Станции с одной островной платформой имеют преимущественное распространение как в отечественных, так и в зарубежных метрополитенах. Одноплатформенными являются почти все станции Берлинского метрополитена, многие станции Парижского метрополитена, а также большая часть Лондонского, Нью-Йоркского и других метрополитенов мира.

Двухплатформенные станции могут быть с двумя боковыми и двумя островными платформами (рис. 6.1 б, в).

Станция с двумя боковыми платформами, обслуживающими два пути одной линии метрополитена, являются распространенным типом станций зарубежных метрополитенов. Две боковые платформы имеют большинство станций Парижского, Лондонского и Нью-Йоркского метрополитенов, а также многие станции других городов.

К достоинствам бокового расположения платформ относятся:

- общее полотно для путей обоих направлений в пределах станций, что упрощает эксплуатацию;
- отсутствие в необходимости в раструбах при переходе от двухпутного перегонного тоннеля к двум однопутным, примыкающим к станциям с островной платформой;
- возможность создания большого числа входов с тротуаров улиц на боковые платформы.

Недостатком станций с боковыми платформами является необходимость дополнительных устройств для перехода с одной платформы на другую и неудобства для пассажиров при таком переходе.

Станции с двумя островными платформами могут обслуживаться тремя или четырьмя путями. Дополнительный путь и вторая островная платформа (рис. 6.1 г) сооружаются на станциях со значительными пассажиропотоками в часы «пик» для ускорения посадки и высадки пассажиров. В этом могут нуждаться станции, расположенные у стадионов, парков, вокзалов и других местах с интенсивным пассажиропотоком. Такое расположение платформ и путей могут иметь станции, на которых происходит разветвление одной линии метрополитена на две. Станции с двумя островными платформами, обслуживающие четыре пути располагаются обычно на пересечениях линий метрополитена между собой или с железнодорожными вводами, которые характерны для зарубежных метрополитенов. Так на линиях Нью-Йоркского, Лондонского и Парижского метрополитенов такие станции используются для линий местного и экспрессного сообщения.

Преимущества станций с двумя островными платформами:

- возможность ускоренной посадки и высадки пассажиров.

Недостатки – сложность сооружения и большая стоимость.

Трехплатформенные станции (рис. 6.1 д), обслуживающие четыре пути рациональные для объединенных пересадочных станций с большим потоком пассажиров. Так, на одной из станций метрополитена Барселоны средняя островная платформа обслуживает железнодорожные пути электрички, а две боковые платформы – пути метрополитена. Такие станции имеются и на линиях Нью-Йоркского метрополитена, когда островная платформа предназначена для экспрессных линий, а боковые – для местных.

Многоплатформенные станции – это станции с четырьмя и более платформами. На линиях существующих метрополитенов мира такие станции встречаются крайне редко. Примером может служить одна из Нью-Йоркских станций метрополитена, в состав которой входят две боковые и четыре островные платформы.

Конструктивная форма станций зависит от геологических условий заложения, способа сооружения, материала отделки, а иногда и от условий эксплуатации. В практике строительства и эксплуатации метрополитенов имеются следующие конструктивные формы станций метрополитенов: односводчатые, двухсводчатые, трехсводчатые и многосводчатые.

Односводчатые станции имеют большое распространение на линиях зарубежных метрополитенов. За последние годы односводчатые станции находят все большее применение как на Украине, так и в остальных странах. Односводчатая конструктивная форма (рис. 6.2 а) более всего применима для станций с одной островной или двумя боковыми платформами.

На линиях зарубежных метрополитенов одним сводом перекрываются станции с двумя островными и тремя (одна островная и две боковые) платформами, расположенными в одном уровне. Пролеты таких станций в свету составляют до 30 м.

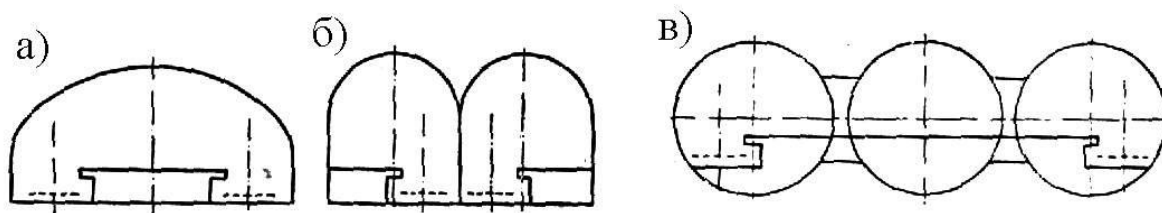


Рис. 6.2. Конструктивная форма станций:

а – односводчатая; б – двухсводчатая; в – трехсводчатая.

Преимущества односводчатых станций:

- отсутствуют соединительные выработки между станционными тоннелями (крайне необходимые в трехсводчатых пилонных станциях), приводящих к неравномерным нагрузкам и суммированию осадок поверхности по мере раскрытия забоев соединительных выработок;
- конструкция отделки односводчатой станции из сборных железобетонных элементов создается вслед за разработкой забоя и немедленно вступает в работу как несущая;

- большие размеры поперечного сечения 25x10 м позволяют широко применять комплексную механизацию как для погрузки породы (высокопроизводительная машина ПНБ-3), так и для возведения обделки (дуговой блокоукладчик с подъемным столом);
- позволяет повысить темпы строительства и снизить их стоимость;
- создают эксплуатационные и архитектурные преимущества.

Двухсводчатые станции (рис. 6.2 б) могут сооружаться при наличии одной островной или двух боковых платформ. В практике строительства метрополитенов не получили большого распространения и тем не менее встречаются на линиях метрополитенов Москвы, Парижа, Лондона, Стокгольма.

Трехсводчатые станции (рис. 6.2 в) могут быть колонного и пилонного типа, имеют конструктивную форму приемлемую для заложения на любой глубине, в различных горно-геологических условиях. Это позволило в отечественном и зарубежных метрополитенах найти широкое применение. Трехсводчатые станции имеют следующие **преимущества**:

- относительная простота сооружения, т.к. станционные тоннели имеют одинаковое сечение и тип обделки;
- независимость работ при сооружении станционных тоннелей.

Недостатки:

- сложность сооружения межстанционных проемов.

6.2 Определение основных размеров станции

Основными размерами станции метрополитена являются:

- длина станции;
- ширина посадочных платформ;
- длина и ширина среднего зала станции;
- высота станции в свету;
- ширина и высота проходов или пролетов.

Длину станции принимают равной длине посадочных пассажирских платформ L , которая зависит от числа вагонов в составах, проходящих через станцию поездов.

$$L = \ell_{\text{в}} \cdot m + a, \text{ м}, \quad (6.1)$$

где $\ell_{\text{в}}$ - длина вагона между центрами сцепки, м;

m – число вагонов в составе поезда;

a – запас на неточность остановки поезда, принимаемый не менее 6 м.

Для определения **ширины посадочных платформ** можно воспользоваться формулой, определяющей площадь посадочной платформы F :

$$F = n_{\text{пл}} \cdot \eta, \text{ м}^2, \quad (6.2)$$

где $n_{пл}$ – число пассажиров, одновременно находящихся на платформе в часы «пик», определяется по формуле:

$$n_{пл} = 170 \cdot m \cdot (P_v + P_n) \cdot \frac{1}{100}, \text{ м}^2, \quad (6.3)$$

где 170 – расчетная величина заполнения вагонов;

m – число вагонов в составе поезда;

$P_v + P_n$ – высадка и посадка пассажиров на данной станции, % по отношению к общему числу пассажиров в поезде;

η – плотность заполнения платформы.

Опыт эксплуатации станций метрополитенов в Киеве, Харькове, Днепропетровске показывает, что обычно суммарные проценты высадки и посадки ($P_v + P_n$) пассажиров составляет от 20 до 50% общего числа пассажиров поезда.

Исключения составляют станции, расположенные у театров, вокзалов, парков и стадионов, для которых в часы «пик» высадка и посадка пассажиров могут составить от 50% (для театров, вокзалов), до 100% (для стадионов).

Наибольшей плотностью заполнения платформ, при котором допустимо встречное движение пассажиров, является плотность $\eta = 0,33 \text{ м}^2$ на человека.

Встречное движение пассажиров при такой плотности может происходить с минимальной скоростью 0,7 км/час.

Плотность заполнения платформы принимается в пределах от 0,33 до 0,75 м^2 на человека в зависимости от условий эксплуатации станций. Нормальной плотностью заполнения платформы считается плотность $\eta = 0,75 \text{ м}^2$ на человека. При такой плотности и встречном движении скорость передвижения пассажиров равна 3 км/час.

При определении требуемой площади посадочной платформы по формуле (6.2) может быть принята плотность заполнения платформы от 0,33 до 0,75 м^2 на человека в зависимости от условий эксплуатации станции. Так, например, для станций, расположенных у стадионов, с массовыми пассажиропотоками, соответствующими полной пропускной способности всех эскалаторов, т.е. в период «пиковой» нагрузки, при расчете площади платформы следует принимать $\eta = 0,33 \text{ м}^2$ на человека. Для станций, расположенных в центре города плотность заполнения платформы следует принимать $\eta = 0,55 \text{ м}^2$ на человека.

При определении ширины пассажирской платформы по найденной ее площади F необходимо учитывать, что расчетная длина посадочной платформы ℓ_p принимается равной длине поезда между крайними дверями, включая их ширину.

Ширина платформы, вычисленная исходя из найденной площади F и

расчетной длине посадочной платформы ℓ_p должна быть увеличена на 0,5 м (на ширину полосы, ограниченной предохранительной линией).

Таким образом, необходимая ширина посадочной платформы определяется по формуле:

$$e = \frac{F}{\ell_p} + 0,50, \text{ м}$$

Величина e представляет собой ширину одной посадочной пассажирской платформы для трехсводчатой станции пилонного типа, когда посадочные платформы расположены в боковых тоннелях станции.

Для односводчатых станций, не имеющих среднего зала, платформы служат не только для высадки пассажиров из поезда и посадки в поезд, но и для продольного движения к эскалаторам или лестницам и в обратном направлении. Поэтому ширина посадочной платформы односводчатой станции определяется по формуле:

$$B_{остр} = 2 \cdot e + e_0, \text{ м,}$$

где e_0 – дополнительная ширина платформы, учитывающая продольное движение пассажиров по платформе, $e_0 = 3 - 4$ м в зависимости от числа эскалаторов (3 или 4) или ширины лестницы, связывающей станцию с поверхностью земли.

Ширина посадочной платформы трехсводчатой колонной станции определяется как и для односводчатой станции с островной платформой, но увеличивают ее на 2 м при расположении на платформе двух рядов колонн.

В практике проектирования строительства метрополитенов принято положение, согласно которому, независимо от расчета, минимальную ширину платформ принимают равной:

- для односводчатых станций с одной островной платформой – не менее 10 м;
- для станций с двумя боковыми платформами – не менее 4 м каждая;
- для колонных станций с двумя рядами колонн – не менее 12 м;
- посадочные платформы в беспроемной части пилонных и колонных станций должны иметь ширину не менее 3,2 м.

Длина среднего зала станции должна составлять не менее 1/3 длины посадочных пассажирских платформ и позволять разместить необходимое число проходов (обычно от шести до десяти) между средним залом и боковыми платформами.

Высоту станции в свету определяют для пилонных станций метрополитенов исходя из габаритов приближения строений к расчетной ширине посадочной пассажирской платформы.

Высоту проходов соединяющих средние и боковые тоннели станций

между собой, устанавливают в зависимости от конструкции станционных тоннелей и изменяются они от 2,3 до 4,0 м.

6.3 Общие сведения об организации и технологии строительства

Строительство станций метрополитена глубокого заложения относится к наиболее сложным видам работ в метростроении, поскольку оно связано с устройством комплекса взаимосвязанных подземных сооружений и раскрытием подземных полостей большого сечения. Строительство ведут в такой технологической последовательности, чтобы не допустить осадок земной поверхности, опасных для сохранности зданий и сооружений, а также осадок подземных коммуникаций городского хозяйства, расположенных выше станции. Подвижки грунтового массива и проседание кровли выработок должно быть минимальным. Это требование может быть выполнено при сооружении станций в устойчивых породах. Поэтому станции глубокого заложения располагают, как правило, в возможно крепких грунтах или твердых глинах при необходимой толщине их над станцией. Такое расположение станций дает возможность вести проходку станционных тоннелей без применения щитов, использование которых для относительно коротких станционных тоннелей не всегда рационально.

При строительстве станций подземным способом для выдачи грунта, спуска материалов и вентиляции используют рабочие или вентиляционные стволы, расположенные рядом. Могут быть использованы для этих целей наклонные (эскалаторные) тоннели.

Выбор способа строительства станции зависит от инженерно-геологических условий, типа станции, ее конструктивных особенностей и материала обделки. Разработки станционного профиля и возведение обделки станций осуществляют всегда по частям.

Основную (платформенную) часть станции сооружают поточным методом, обеспечивающим непрерывность ведения всего комплекса работ в строгой технологической последовательности. При этом используют принцип максимального совмещения отдельных видов работ во времени.

Такая организация работ обеспечивает наименьшую продолжительность строительства.

Способ разработки и крепления забоя при сооружении станций устанавливают в зависимости от свойств разрабатываемых грунтов. Разработку связных грунтов крепостью до IV категории включительно, ведут обычно отбойными молотками или пневматическими лопатами, а грунтов крепостью V категории и выше – буровзрывным способом. При проходке станционных тоннелей уступным способом и сооружении станций способом опорного ядра, грунты V и IV категорий разрабатывают более эффективно-проходческими комбайнами, экскаваторами с ковшом активного действия и другими высокопроизводительными машинами и механизмами.

До начала работ по сооружению станций должны быть выполнены все работы по обустройству строительной площадки:

- пройдены стволы;
- околоствольные и подходные выработки к местам сооружения тоннелей для фундаментов станций;
- при сооружении боковых фундаментных штолен односводчатой станции щитами сооружены камеры для монтажа щитового комплекса;
- завершен монтаж технологического оборудования щитового комплекса;
- проложены силовые кабели и трубопроводы сжатого воздуха, воды, вентиляции;
- проложены узкоколейные пути с обустройством под обкатку вагонеток и блоквозок электровозом.

6.4 Конструкция и технология сооружения односводчатых станций

Односводчатая конструктивная форма станции нашла широкое применение в практике строительства метрополитенов. Особенно много односводчатых станций на линиях Парижского метрополитена, чему способствуют инженерно-геологические условия. В последнее десятилетие односводчатые станции глубокого заложения нашли широкое применение в метрополитенах Украины.

При ширине платформы 9-10 м пролет односводчатых станций составляет 25 м, высота до 10 м. при таком обнажении возникает значительное горное давление на свод станции (до 50 т/м²). Целесообразно, чтобы односводчатая станция полностью или хотя бы ее нижняя часть располагалась в крепких породах, которые могли бы воспринимать значительную нагрузку. В случаях заложения станции в относительно слабых породах, необходимо сооружать мощный обратный свод, способный равномерно передавать на породу горное давление, возникающее немедленно при обнажении такого пространства. При опирании односводчатой станции на сравнительно крепкие, но трещиноватые породы, содержащие напорные воды, обратный свод проектируется только для восприятия гидростатического давления. Кроме геологических и гидрогеологических условий заложения применение односводчатых станций ограничивается условиями применения к ней наклонных эскалаторных тоннелей, которые должны располагаться в торце станции под углом 30° к продольной ее оси.

Конструкция свода односводчатой станции может быть различной в зависимости от геологических и гидрогеологических условий заложения станций, влияющих на выбор способа ее сооружения. При расположении свода станции в слабых породах, разработка его должна производиться способами, не допускающими большого обнажения породы, т.е. применять трудоемкие способы разработки забоя по частям. Для крепления в этом случае наиболее целесообразно применение сборных элементов из железобетона или чугуна.

В конструкциях односводчатых станций, применяемых в настоящее время, круговое очертание верхнего и нижнего сводов выбрано исходя из

желания сделать блоки одинаковыми (для каждого свода), что удобно при их изготовлении и монтаже.

Станционный комплекс односводчатой станции объединяет под единым сводом технологически связанные обустройства станции:

- натяжную камеру с эскалатором;
- пассажирский зал станции со служебными помещениями под платформой и в торце станции;
- санитарный узел;
- совмещенную тягово-понижительную подстанцию (СТП), расположенную на продолжении свода станции на двух этажах и подвальном помещении;
- вентиляционный узел;
- камеру пересадки при условии необходимости примыкания второго эскалаторного тоннеля или пересадочного узла.

Полная длина станционного узла (без камер съездов) для восьмивагонного состава – 230 м, шестивагонного – 190 м. Длина платформенного участка пассажирского зала для шестивагонного состава – 120 м.

Платформа односводчатой станции имеет ширину 9-12 м. под ней размещены служебные помещения, кабельные коллекторы и местная водоотливная установка.

Сооружение односводчатых станций

Последовательность работ при сооружении односводчатых станций показана на рис. 6.3 и включает следующие процессы:

- проходка боковых штолен 1, используемых в дальнейшем для расположения в них бетонной опоры 2 свода станции;
- проходка криволинейной штольни;
- проведение калотты 3;
- возведение обделки свода станции 4;
- разработка грунта ядра станции 5;
- разработка зоны обратного свода 6;
- возведение обделки обратного свода 7.

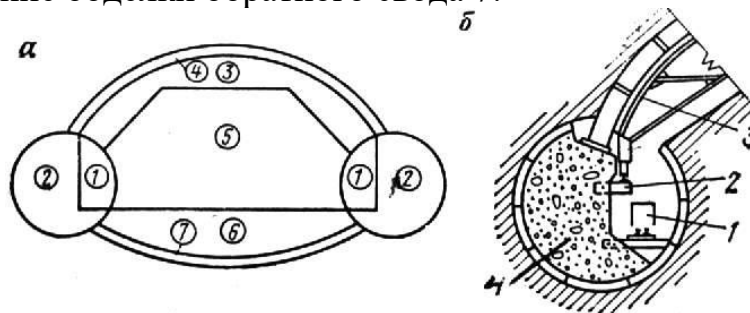


Рис. 6.3. Схема сооружения односводчатой станции:

а. 1,2... - последовательность сооружения станции;

б. Конструктивный элемент фундамента односводчатой станции:

1 – рельсовый путь; 2 – двутавровая консоль; 3 – дуговой крепеукладчик; 4 – бетонная опора.

Общий порядок производства работ односводчатых станций имеет аналогию с практикой сооружения камер по способу опорного ядра, т.е. разработки в первую очередь ее сечения по контуру.

Основные этапы производства работ по сооружению односводчатой станции заключаются в следующем.

Проходка боковых штолен по обеим сторонам станции на длину, принятую проектом, предназначается для устройства опорных фундаментов, воспринимающих нагрузку от верхнего и обратного сводов конструкции станции, и ведется последовательно в связи с их незначительной протяженностью. Для проходки боковых штолен целесообразно применять механизированный щитовой комплекс КТ-1-5,6, который обеспечивает высокие скорости проходки (до 250 м/месяц) с минимальными затратами ручного труда. Этот комплекс можно использовать для проведения примыкающих к станции перегонных тоннелей. В этом случае нет необходимости в монтаже-демонтаже комплекса для проходки боковых фундаментных штолен в пределах станции и соответственно сооружения монтажно-демонтажных камер.

До начала сооружения опорных фундаментов должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- смонтирована передвижная металлическая опалубка;
- смонтирован и опробован технологический комплекс для бетонирования опорного тоннеля;
- произведена тщательная очистка и промывка места укладки бетона.

После проходки тоннеля на всю предусмотренную длину, сечение его частично заполняется монолитным бетоном 4 (рис. 6.3 б), который после схватывания служит опорой для обделки свода станции. При заполнении тоннелей бетоном предусматривается заложение закладных металлических листов в виде опор для будущих арок свода. В тоннелях также оставляются свободные проходы для размещения рельсовых путей 1 и прохода людей, а также устройство консолей 2 из металлических двутавровых балок для укрепления монорельса, по которому перемещается дуговой крепеукладчик 3.

Проходка криволинейной штольни по заданному радиусу между боковыми штольнями предназначена для дальнейшей разработки калоттной прорези верхнего свода станции, т.е. для проведения калотты. В подготовленной криволинейной штольне устанавливают блокоукладчик обделки свода и монтируют первые три арки под защитой крепления штольни. Сечение штольни определяется проектом для размещения оборудования и возможности монтажа первых арок обделки станции. Исходя из опыта сооружения односводчатых станций глубокого заложения площадь штольни принимается 12-14 м². Штольню проходят в торце станции с обеих опорных тоннелей со сбойкой по оси свода станции. В сводах обеих опорных тоннелей устраивают подмости с маршевыми лестницами, имеющими ограждающие

перила. Криволинейную штольню крепят металлическими рамами из двутавра № 36. Неполный дверной оклад опирается на деревянные лежни из круглого леса, уплотнение в подошве штольни в канавки. По всему периметру сечения штольню крепят досками.

Грунт при проходке штольни разрабатывают отбойными молотками с установкой и креплением металлических рам через 0,75 м.

Рамы штольни используют при монтаже оборудования для сооружения верхнего свода станции.

График работ предусматривает такую последовательность сооружения криволинейной штольни:

- разработку грунта отбойными молотками;
- разборку и установку временного крепления лба и кровли забоя;
- перекидку разработанного грунта от забоя до желоба для породы;
- загрузку разработанного грунта через желоб в вагонетки;
- доставку в штольню элементов металлической рамы крепления;
- монтаж металлической рамы крепления.

Для облегчения перекидки грунта на подошву штольни укладывают металлические листы или применяют четырехметровый ленточный транспортер.

После завершения работ по проведению и креплению криволинейной штольни и монтажа в ней дуговой блокоукладочной фермы приступают к следующему этапу сооружения односводчатой станции – **проведению калотты**.

Калоттную прорезь 6 (рис. 6.4) разрабатывают от середины забоя к ее краям отбойными молотками заходками длиной 1 м. Разработку грунта в верхней ее части производят с площадок блокоукладочной фермы, а в нижней части – с уступа грунта. Разработанный грунт сбрасывают на ленточный транспортер 3 длиной 6 м, размещенный в средней части призабойного пространства между блокоукладочной фермой и временным креплением забоя. Транспортер оборудован высокими съемными бортами для более полного улавливания разработанного грунта. От конвейера (влево и вправо) устанавливаются решетки 4, по которым отбитый грунт поступает в состав вагонеток 5 без их расцепления. Вагонетки в процессе загрузки перемещаются

лебедкой. Состав с грунтом подается к стволу электровозом.

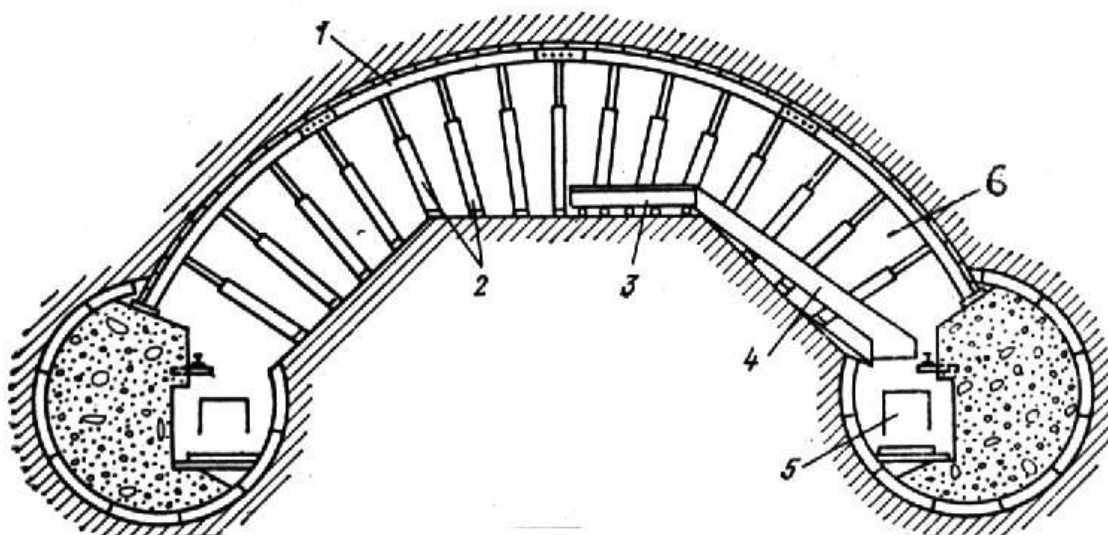


Рис. 6.4. Сечение калоттной прорези:

1 – швеллерная дугообразная балка; 2 – поддерживающие стойки; 3 – ленточный транспортер; 4 – рештак; 5 – вагонетка; 6 – калоттная прорезь.

Разработку грунта калотты начинают с устройства вруба шириной 3 м и высотой 2,8 м. Кровлю забоя вруба калотты закрепляют сплошной деревянной затяжкой, которая с одной стороны опирается на смонтированную арку, а с другой – заводится в штрабу в породе забоя и подхватывается составной (в виде дуги) швеллерной балкой 1, которая в свою очередь поддерживается стойками 2. После разработки грунта вруба калотты и установки крепления разрабатывается остальная часть калотты в обе стороны от вруба в направлении к опорным тоннелям с аналогичным временным креплением кровли деревянными затяжками (марчеванами).

Более прогрессивным направлением, по которому ведутся исследования и опытные работы, является разработка калоттной прорези **роторным рабочим органом**, перемещающимся по дуговым направляющим и автоматически выдерживающим заданный контур выработки. При данной технологии вслед за продвижением рабочего органа непрерывно монтируется обделка и свод прорези и в незакрепленном состоянии находится минимальное время.

Возведение обделки свода станции начинается с передвигки на забой калотты блокоукладочной фермы 1 (рис. 6.5). Для передвигки этой фермы производится частичная разборка железобетонных блоков обделки опорных тоннелей. Блокоукладочная ферма представляет собой пространственную ферму, перемещаемую на колесах по одному рельсу в каждом опорном тоннеле, уложенному на консолях из двутавровых балок, заделанных в бетон опорных фундаментов. Внутри фермы блокоукладчика размещается металлическая дуга-лекало 2, оснащенная двумя рядами рольгангов: нижний для подъема блоков обделки из опорного тоннеля, верхний – для спуска

блоков по обе стороны фермы и установки их на место. Блоки подаются на монтаж только из одного опорного тоннеля. Поступивший блок закрепляют тросом лебедки 3 блокоукладочной фермы и через систему поддерживающих роликов подается по направляющей конструкции на нижний рольганг и по нему – подтягивается до середины фермы к подъемнику 4, который имеет конструкцию четырехзвенного параллелограмма и расположен в центральной части дуги-лекала. При помощи подъемника блок 5 поднимают в разъем верхнего пояса фермы 6 оборудованного рольгангами, которые полностью охватывают ферму и далее по ним с помощью канатного привода лебедки блоки опускаются и удерживаются на рольгангах до полного замыкания арки. Блоки в арке устанавливаются равномерно направо и налево в направлении от пят к замку свода.

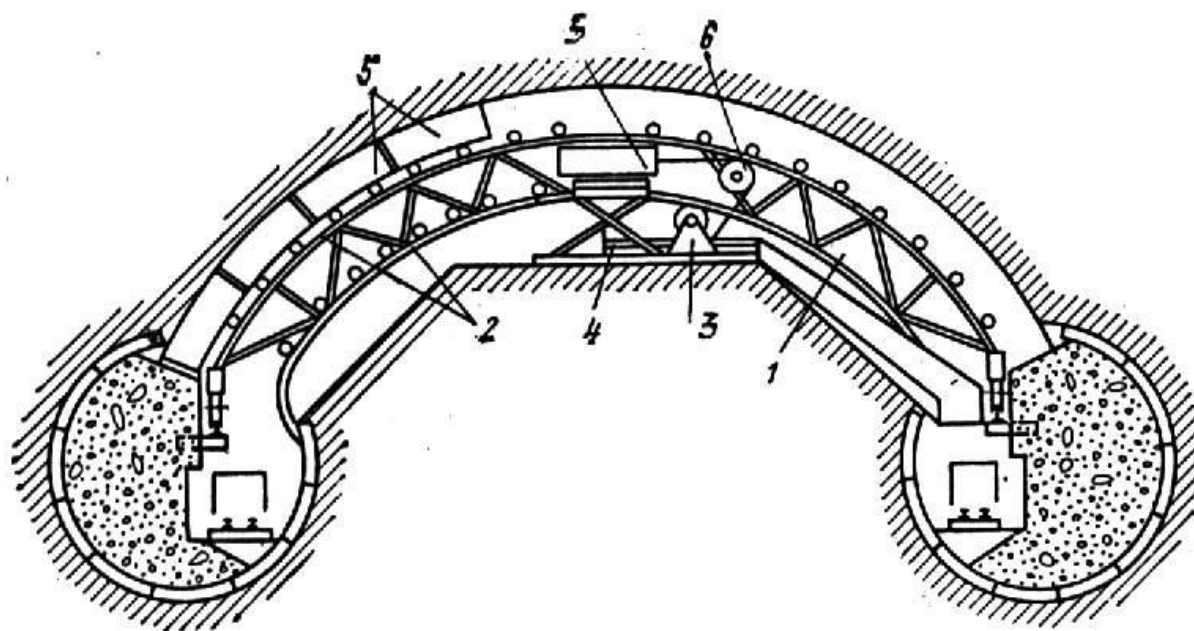


Рис. 6.5. Технология сооружения обделки свода:

1 – блокоукладочная ферма; 2 – дуга –лекало; 3 – лебедка; 4 – подъемник; 5 – блок; 6 – верхний пояс фермы.

Первые пятовые блоки устанавливаются на металлические поверхности несущих фундаментов в опорных тоннелях.

Арка свода состоит из 14 железобетонных блоков толщиной 0,7, шириной 0,5 и одного замкового (распорного) блока, который устанавливается последним, в теле которого расположены два плоских гидравлических домкрата (домкраты типа Фрейссине). Блоки с плоскими радиальными стыками имеют виниловые прокладки и отверстия центрирующих торцевых шпилек, устанавливаемых при монтаже арки, а также отверстия для первичного нагнетания за опалубку цементно-песчаной смеси.

После монтажа всех блоков арки перед обжатием, блокоукладочную ферму поднимают на 100 мм при помощи семи гидродомкратов на приводных тележках с установкой тормозящих башмаков и стопоров.

Каждый блок собранной арки тщательно распирается в лоб забоя

винтовыми домкратами для предотвращения нарушения вертикальности арки при разжатии.

Разжатие каждой арки домкратами Фрейссине производится в два приема. Сначала производится нагнетание цементного раствора с ускорителями схватывания и твердения в полость одного домкрата при давлении $7,5 \div 8,0$ МПа. Величина раздвижки при этом – не более 80 мм. После предварительного обжатия заполняют пустоты нагнетанием песчано-цементного раствора в закрепное пространство. После твердения раствора первичного нагнетания (2-2,5 часа) производят вторичное обжатие арки нагнетанием раствора такого состава во второй домкрат под давлением до 20 МПа и заканчивают нагнетание цементно-песчаной смеси за обделку. Величина раскрытия второго шва замкового блока не должна превышать 30 мм.

Контрольное нагнетание и чеканка швов обделки верхнего свода должны производиться не ближе 10-15 м от забоя. Нагнетание производят одновременно с двух сторон арки двумя аппаратами.

Разработка ядра и сооружение обратного свода станции производят после возведения 30-40 м верхнего свода станции с завершением работ по контрольному нагнетанию за обделку цементного раствора и расчеканки швов между блоками обделки.

В состав работ входят следующие основные процессы (рис. 6.6):

- разработка грунта верхнего яруса ядра экскаватором с погрузкой через транспортер в вагонетки;
- доработка грунта в лотке с разборкой нижних блоков опорных тоннелей;
- монтаж обделки обратного свода.

До начала работ по разработке грунта ядра и сооружения обратного свода должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- установлен транспортер с бункером для загрузки вагонов грунтом;
- подготовлена площадка для монтажа экскаватора;
- завезен и смонтирован экскаватор;
- завезена и смонтирована кран-балка грузоподъемностью 5 т, которую используют для монтажа блоков обделки обратного свода.

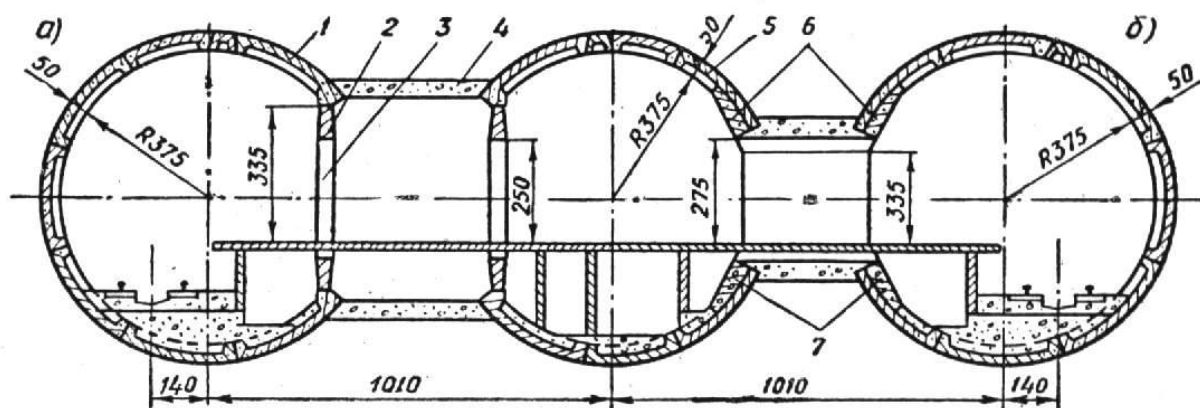


Рис. 6.6. Пилонные станции с обделкой из сборного железобетона:

1 – опорные тубинги; 2 – балка-перемычка; 3 – опорная стойка; 4 – обделка прохода; 5 – фасонный тубинг; 6,7 – сквозные монолитные железобетонные балки.

Разработку грунта ядра на заходку 2 м осуществляют в два яруса: верхний, высотой около 6 м, разрабатывают сверху вниз до уровня установки экскаватора; нижний ярус – 3,7 м до отметки наружного контура обратного свода разрабатывают снизу вверх. Разработку грунта нижнего яруса производят с отставанием от забоя верхнего яруса на 15-20 м. разработку грунта целесообразно производить экскаватором с ковшом активного действия (с пневматическими зубьями) с погрузкой грунта в бункер транспортера, а из него в вагонетки, установленные в боковом опорном тоннеле (рис. 6.7). При более крепких грунтах, не поддающихся разработке экскаватором, необходимо предварительное рыхление с помощью буровзрывных работ. Для монтажа кольца обратного свода станции необходимо произвести разборку нижних блоков обделки опорных тоннелей.

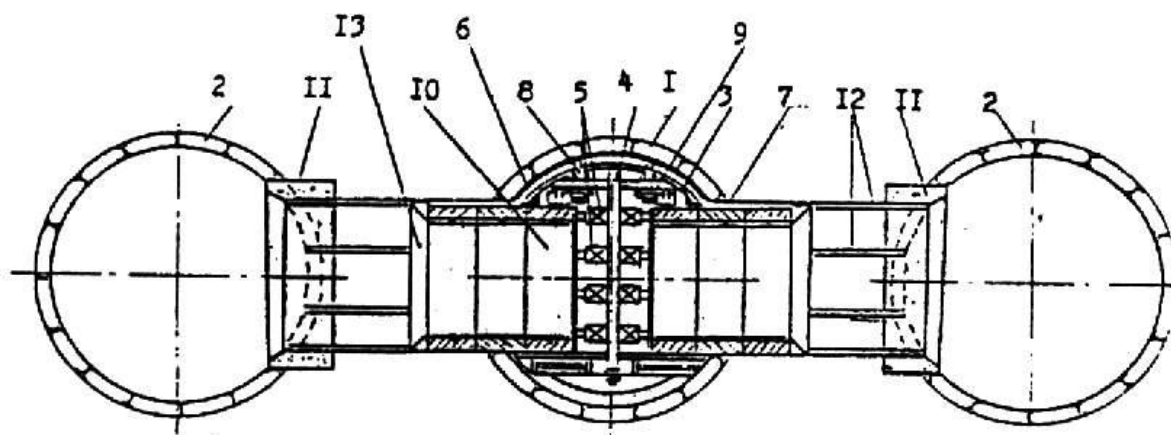


Рис. 6.7. Гидрофицированный комплекс для сооружения проемов в станциях пилонного типа:

1 – средний тоннель; 2 – боковые тоннели; 3 – гидравлический цилиндр; 4 – центральная перегородка; 5 – система рабочих гидродомкратов; 6 – сегментобразное перекрытие; 7 – боковой проем; 8 – распорные гидродомкраты; 9 – поперечные балки; 10 – вдавливаемая секция; 11 – крепь сопряжения; 12 – направляющие скважины; 13 – ножевое кольцо.

Кольцо обратного свода состоит из десяти блоков шириной 1,0 м и трех вкладышей. Блоки кольца устанавливают при помощи кран-балки в направлении от нижнего узла опорного тоннеля с правой и левой стороны к центру лотка, соединяя их между собой металлическими шпильками и винипластовыми ластами. После монтажа кольца обделки в лотковой части между торцами блоков устанавливают домкрат ДГ-100 и осуществляют их разжатие с упором в опорные узлы фундаментов. Далее устанавливают

вкладыши и вынимают домкрат.

По окончании установки двух колец обратного свода производят контрольное нагнетание за опалубку цементно-песчаного раствора.

Опыт сооружения односводчатых станций метрополитенов показывает, что общий объем извлекаемого грунта составляет около 30 тыс. м³, время порядка 6 мес. при средней сменной скорости подвигания от 0,32 до 0,42 м и максимальной скорости до 1,54 м/сутки. Затраты труда на 1 м станции 25-30 человеко/смен.

В заключение можно отметить, что односводчатые станции метрополитена глубокого заложения более экономичны в сравнении с другими конструкциями, значительно обогащают архитектурный облик и имеют эксплуатационные преимущества на станциях с большим пассажирским потоком.

6.5 Конструкция и технология сооружения станций пилонного типа

Неблагоприятные геологические условия при глубоком заложении станций метрополитена заставляют специалистов-проектировщиков отдавать предпочтение трехсводчатым станциям пилонного типа.

Конструкция трехсводчатых станций пилонного типа состоит из трех тоннелей одинакового диаметра 8,5 м (рис. 6.8), расположенных в одном уровне параллельно друг другу, которые сооружаются в три последовательных этапа:

- проходка одного бокового тоннеля;
- с отставанием на 30-50 м – второго бокового тоннеля;
- с отставанием на 30-50 м от второго бокового, проходка среднего тоннеля.

Это соответствует обычному способу ведения работ по проходке параллельных тоннелей, обеспечивающему наименьшее нарушение естественного равновесия горного массива, и, следовательно, сохранность устойчивости обделки станций. Расстояние между осями тоннелей зависит от геологических условий заложения станции и определяет размер промежутка между тоннелями (пилонов). Чем слабее грунт, тем больше размер целика (пилона). Для большинства осуществленных станций пилонного типа пилоны, т.е. целик грунта между проходами по длине станции изменяются от 0,9 до 3,0 м. Так в типовых проектах станций Московского и Петербургского метрополитенов это расстояние принято 1,35 м для чугунных обделок и 2,6 м для железобетонных. В проектах станций Киевского метрополитена – 1,6 м. Боковые тоннели соединяются со средним обычно 6-12 проходами шириной 3 м, т.е. равна четырем кольцам обделки тоннелей. В последнее время обделка этого типа получила дальнейшее усовершенствование. На станции Таганская Московского метрополитена ширина пилонов уменьшена до 2,25 м (трех колец обделки), что позволило увеличить число проходов, соединяющих боковые тоннели с центральным распределительным залом до 12 пар.

В настоящее время для типовых пилонных станций проектируются

узкие пилоны длиной в два кольца (1,5 м), применение которых создает значительные эксплуатационные преимущества и улучшает архитектурное оформление станции.

Наиболее распространенным типом отделки станций пилонного типа являются железобетонные тубинги и только в исключительных случаях в особо сложных условиях, в виду большой стоимости, может быть применена отделка из чугунных тубингов. Станционные тоннели имеют наружный диаметр 8,5 м. Кольцо отделки шириной 0,75 м состоит из десяти тубингов: восьми – нормальных, одного смежного и одного ключевого. Высота ребер тубингов – 500 мм. Для сооружения проходов между центральным и боковыми тоннелями, т.е. для подхода к посадочным платформам, существует два варианта устройства проемов.

В одном варианте (рис. 6.8 а) разомкнутые в местах проема кольца отделки опираются на сборные железобетонные рамы, состоящие из блок-перемычек 2 и опорных стоек 3, которые размещаются внутри замкнутых отделок тоннелей. При проходке тоннелей в отделку закладываются специальные опорные тубинги 1 и проем заполняется временными тубингами. В готовых тоннелях устанавливаются рамы, а затем раскрываются проемы. Отделка проходов 4 выполняется из монолитного бетона. Пилоны образуются четырьмя замкнутыми кольцами каждой из смежных отделок тоннелей и четырьмя входящими в состав пилона колонами, выступающими внутрь тоннеля. Пилоны получают массивными, так как их контур ограничивается стойками, расположенными в свободном пространстве тоннелей.

Рассмотренное конструктивное решение пилонной станции отличается простотой выполнения, элементы, обрамляющие проемы и фасонные блоки мало отличаются от нормальных блоков, их изготовление и монтаж просты.

Основными и очень существенными **недостатками** данного конструктивного решения являются:

- уменьшение (в пределах проемной части станции) ширины боковых пассажирских платформ и ширины среднего зала станции, вследствие выступления рам за пределы отделок;

- массивность конструкции пилонов.

В другом варианте (рис. 6.8 б) вместо сборных рам применены сквозные монолитные железобетонные балки 6 и 7 на всю длину приемной части станции, бетонируемые в замкнутых тоннелях до раскрытия проемов. Арматура балок соединяется с выпусками арматуры фасонных тубингов 5. Эти тубинги изготавливаются без одного радиального борта, со срезанными наполовину кольцевыми бортами и утолщенной спинкой. Проходы сооружаются также как и в первом варианте. Конструкция такой станции отличается большой трудоемкостью, но лишена недостатков первого варианта.

Главным **достоинством** рассмотренного конструктивного решения пилонной станции является – увеличение ширины боковых пассажирских платформ и ширины среднего зала по сравнению с первым из рассмотренных

конструктивных решений сооружения проемов пилонной станции.

Описываемое конструктивное решение может быть усовершенствовано, если продольные балки опереть на специальные опорные блоки, входящие в состав пилонных колец обделки (это позволит отказаться от пилонов из монолитного бетона), и заменить неразрезные балки из монолитного железобетона однопролетными балками-перемычками заводского изготовления. Последние могут быть введены в работу путем тщательного заполнения фибробетоном зазоров между балками-перемычками и блоками опирающихся на них разомкнутых колец (сверху) и опорными блоками пилонов (снизу).

Возможно также применение сборных клинчатых перемычек из железобетона или существующих чугунных тубингов. В последнем случае создается комбинированная обделка станции, вполне отвечающая возникающим в ней усилиям, так как в местах концентрации наибольших и сосредоточенных усилий употребляется материал, обладающий большой прочностью. Расход чугуна на рамы проемов невелик, а статическая работа станционной обделки надежна.

Другим конструктивным решением может быть решение, при котором пилоны и проходы станции сооружаются в первую очередь (рис. 6.9).

Обделки проходов и пилоны каждого продольного ряда в этом случае представляют собой единую конструкцию из монолитного бетона в виде аркады, расположенной вдоль станции в пределах ее приемной части, и сооружаются горным способом в штольнях.

Сборка обделок станционных тоннелей в пределах проемной части производится после сооружения пилонов и проходов, при этом разомкнутые обделки боковых тоннелей и верхний и нижний своды среднего тоннеля опираются на готовые бетонные конструкции.

Такое конструктивное решение дает возможность отказаться от изготовления фасонных железобетонных блоков для рам проемов и, кроме того, представляет преимущества также в отношении архитектурного оформления станций.

Несущие аркады, выполняемые из монолитного бетона, позволяют придать любое очертание проемам и любую форму пилонам, размеры которых в этом варианте могут быть значительно сокращены по сравнению с вариантами конструктивных решений станций, рассмотренными выше.

Существенный **недостаток** описываемого конструктивного решения пилонной станции заключается в необходимости предварительного сооружения опорных конструкций горным способом.

Учитывая трудности, связанные с применением горного способа работ даже в небольшом объеме, а также последующего сооружения станционных тоннелей в уже нарушенных породах, такое конструктивное решение может быть рекомендовано только для сравнительно благоприятных геологических условий, не требующих применения щитовой проходки.

Проблема создания оптимальной конструкции пилонных станций из сборного железобетона не получила еще окончательного решения. Проводятся

работы по применению сборных пилонов и перемычек над проемами, что позволит сблизить станционные тоннели между собой, уменьшить объем работ и исключить применение монолитного бетона. В результате будет достигнуто значительное снижение трудоемкости и стоимости строительства.

Кафедрой «Строительство шахт и подземных сооружений» Донецкого национального технического университета предложено новое конструктивное решение сооружения проемов, которое позволяет избежать существующих недостатков и уменьшить срок сооружения станций пилонного типа.

Основополагающим элементом конструктивного решения (рис. 6.10) является гидрофицированный щитовой комплекс 3 представляющий собой металлический цилиндр с центральной перегородкой 4 по вертикальной оси симметрии окружности щита, к которой с обеих сторон крепится система рабочих гидродомкратов 5. В верхней части комплекса расположено сегментообразное перекрытие 6, предназначенное для поддержания тубингов верхней части тоннеля при ведении работ по разработке проема 7. Перекрытие может перемещаться по вертикали при помощи распорных гидродомкратов 8 для обеспечения удержания тубингов, за счет прижима их перекрытием 6 к массиву. С обеих сторон перегородки, в верхней части комплекса, на поперечных балках 9 крепится монорельс, на котором подвешен тельфер, необходимый для установки вдавливаемой секции крепи 10 в пазы приемной площадки на уровень нажимного упора системы гидродомкратов.

Передвижка комплекса по тоннелю осуществляется при помощи лебедки, установленной в конце главного тоннеля.

Вдавливаемые элементы крепи в отличие от обычных имеют особенность – внутри их находится металлический контейнер. Он фиксируется внутри элемента крепи при помощи стержнеобразных упоров, входящих в пазы расположенные по периметру вдавливаемого элемента, которые препятствуют выходу контейнера из секции при воздействии касательных напряжений породного керна на его стенки в момент задавливания секции в породный массив.

Технология проведения проемов осуществляется в следующей последовательности.

В предполагаемом месте проведения проема, с боковых тоннелей возводится крепь сопряжения 11, после чего бурятся направляющие скважины 12 в направлении из бокового тоннеля к центральному и обсаживаются металлическими прутьями. Контур расположения скважин должен быть больше наружного размера секции на величину, учитывающую отклонение скважины от проектного значения (горизонтали).

Комплекс подвигается к месту выполнения проема.

Производится, при помощи тельферов, установка крепежных секций на левую и правую монтажные платформы. Вдавливание элементов на всю его длину. При этом необходимо вдавливание левой и правой секций производить одновременно, для того чтобы поперечные напряжения не передавались на обделку тоннеля, а взаимокompенсировались.

После выхода направляющей крепежной секции с ножевым кольцом в

область крепи сопряжения бокового тоннеля на определенную величину, работы по вдавливанию завершаются, и демонтируется ножевое кольцо 13.

При помощи выталкивающего гидродомкрата производится удаление металлических контейнеров в боковые тоннели, где осуществляется их разборка и погрузка породных (грунтовых) кернов в средства транспорта.

Таким образом, данная технология ликвидирует применение ручного труда при проведении проема, а также механизмирует процесс выемки породы из проема.

6.6 Конструкция и технология сооружения станций колонного типа

Конструкция станций колонного типа состоит из двух боковых тоннелей с разомкнутыми обделками, двух продольных металлических прогонов, расположенных внутри тоннелей и опирающегося на них свода кругового очертания среднего тоннеля, что создает трехсводчатую конструкцию с двумя рядами колонн и островной платформой (рис. 6.8).

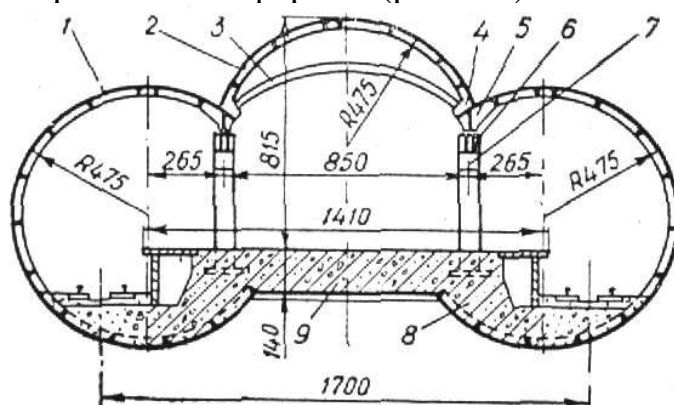


Рис. 6.8. Станция со стальными колоннами и прогонами:

- 1 – боковой тоннель; 2 – средний тоннель с повышенным сводом; 3 – стальные комбинированные распорки; 4, 5 – фасонные тубинги; 6 – продольные прогоны; 7 – колонны; 8 – ленточный железобетонный фундамент; 9 – монолитная железобетонная плита.

Несущая конструкция такой станции состоит из разомкнутых обделок трех параллельных тоннелей и поставленных между ними двух рядов колонн. междупутье на колонных станциях обычно принимается 17-19 м. благодаря такому сближению тоннелей контуры их обделок пересекаются и общий объем выработки получается меньше, чем для пилонных станций.

Конструкции станций выполняются комбинированными из чугуна, стали и железобетона. В редких случаях применялись цельночугунные сборные конструкции. Рационального решения таких станций полностью из сборного железобетона пока не найдено. В известных предложениях исключительно интенсивные нагрузки на колонны и перемычки между ними приводили к неприемлемо большим сечениям этих элементов. При заложении станций в крепких скальных породах возможно применение монолитного бетона и железобетона.

Существуют две конструктивные схемы трехсводчатых колонных станций. По первой схеме (сооружение станций с прогонами, рис. 6.9 а) разомкнутые обделки тоннелей опираются на колонны 2 через сплошные продольные прогоны 1, при этом средний свод располагается выше сводов боковых тоннелей. По второй схеме (сооружение станции без прогонов, рис. 9 б) своды опираются на колонны 4 через арочные тубинговые перемычки 3, входящие в состав колец обделки тоннелей, аналогично пилонным станциям. Отсутствие прогонов позволяет уменьшить диаметр тоннелей и не поднимать средний свод.

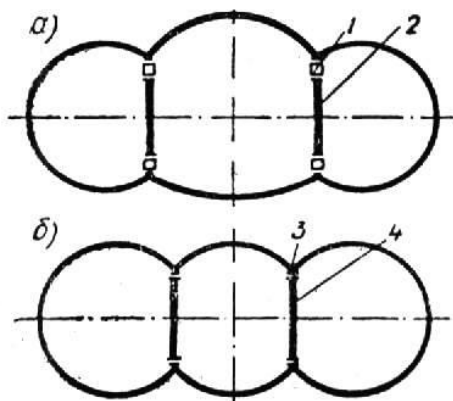


Рис. 6.9. Конструктивные схемы колонных станций:
1 – продольные прогоны; 2,4 – колонны; 3 – арочные тубинговые перемычки

В конструктивном отношении к группе колонных станций обычно относится **станция закрытого типа**. Обделки боковых и среднего тоннеля этой станции сближены и сопряжены как в колонной станции, но внутренние пространства тоннелей разделены сплошной стенкой с проемами, закрываемыми раздвижными дверями.

Технология сооружения **станции с прогонами** осуществляется в следующем порядке (рис. 6.10 а). В первую очередь сооружаются боковые тоннели 1, производится монтаж внутренних конструкций (колонн) 2 и разработка калотты среднего тоннеля 3, возводится обделка. Далее разрабатывается ядро центрального тоннеля 4 и демонтируются крепи боковых тоннелей, примыкающих к ядру 4. Сооружение станций завершается разработкой породы и возведением обделки основания среднего тоннеля 5.

Разработка боковых тоннелей производится с помощью стационарных щитов или эректоров. В каждом тоннеле укладываются нижние фигурные блоки (лотковые) или сооружается железобетонный ленточный фундамент 8 (рис. 6.11) до отметки опорных плит по всей длине станции. В процессе возведения обделки боковых тоннелей в плоскости будущего ряда колонн устанавливаются фасонные тубинга 5 (рис. 6.11) со специальными опорными плоскостями, назначение которых – передача усилий от пят свода центрального тоннеля на колонны. Нижние грани фасонных тубингов по всей длине станции должны лежать в одной горизонтальной плоскости с отклонениями не более ± 15 мм.

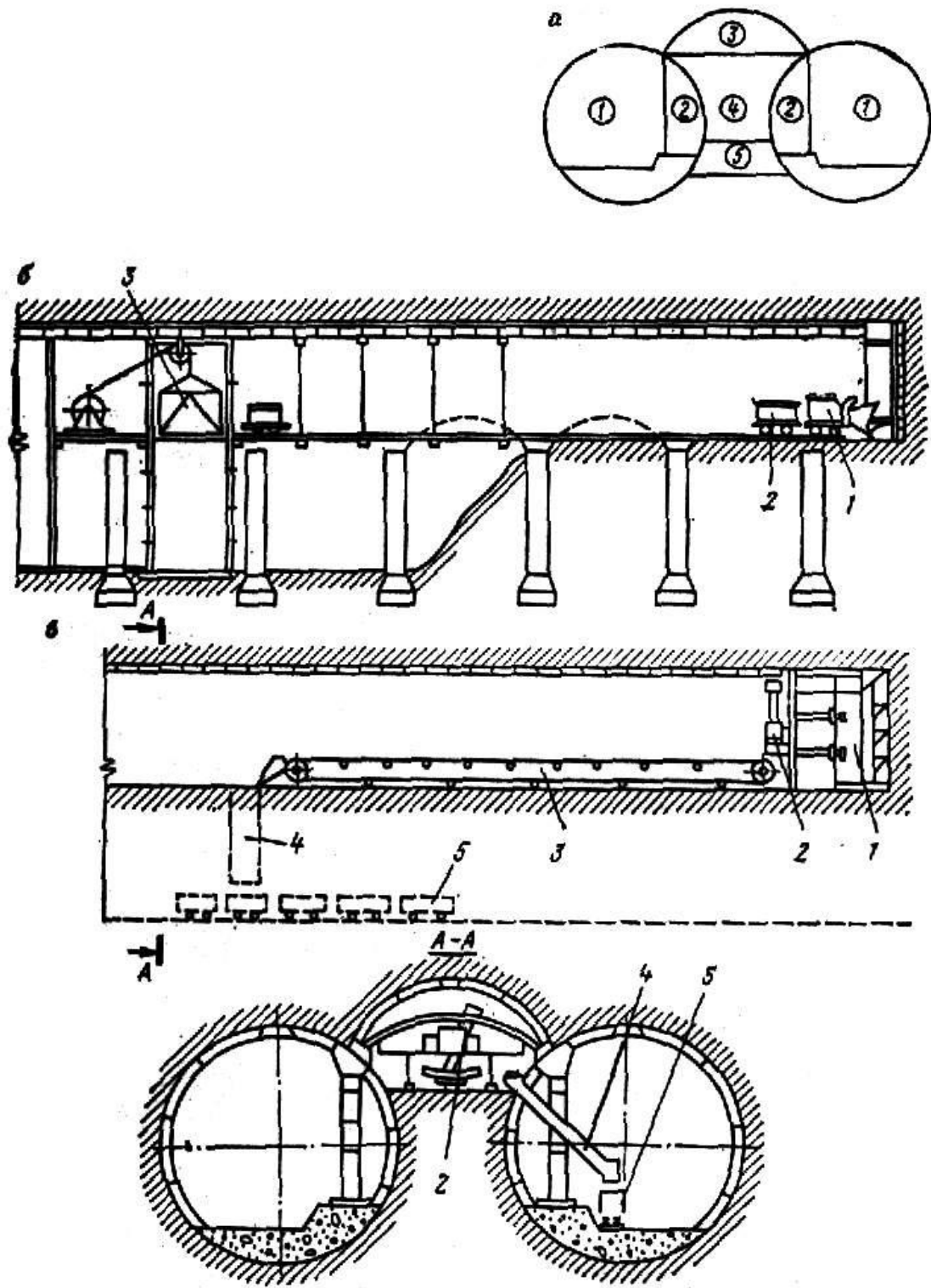


Рис. 6.10. Схема сооружения станции метрополитена колонного типа.

Высокая точность сборки необходима для правильной установки прогонов и колонн. Монтаж колонн производится при помощи специальных кранов, раскрепляемых во время работы в обделку. Монтаж ведут параллельно в обоих тоннелях, с включением в статическую работу одновременно пары колонн, расположенных в одном поперечном сечении станций.

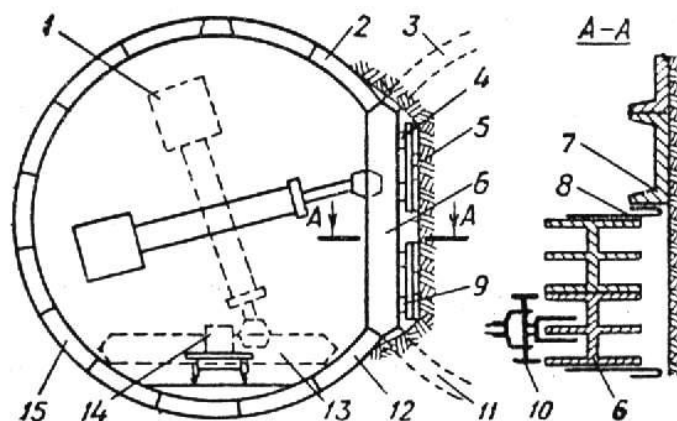


Рис. 6.11. Монтаж обделки колонной станции без прогонов:

1 – рычаг тубингоукладчика; 2 – верхний пятовый тубинг бокового тоннеля; 3 – верхний пятовый тубинг среднего тоннеля; 4 – клин деревянный верхний; 5 – вертикальная стенка ниши; 6 – проектное положение колонны; 7 – тубинг временного заполнения проема; 8 – вставка из листовой стали; 9 – клин деревянный нижний; 10 – приспособление для захвата; 11 – нижний пятовый тубинг среднего тоннеля; 12 – нижний пятовый тубинг бокового тоннеля; 13 – колонна в монтажном положении; 14 – колонна в транспортном положении; 15 – нормальный (стандартный) тубинг.

Разработка калотты среднего тоннеля обычно осуществляется горным способом или с помощью полущита.

На рис. 6.11 б представлена схема разработки калотты горным способом. Забой разрабатывается отбойными молотками или буровзрывным способом с погрузкой породы машиной 1 в вагонетки 2, которые подаются к подъемнику 3 и опускаются на нижний горизонт. На рис. 14 в, показана схема разработки калотты с помощью полущита 1 и эректором 2 для установки тубингов. Порода от забоя подается конвейером 3 вверху ядра на длину 20-40 м с последующим сбрасыванием ее по наклонному лотку 4, пропущенному через проем в обделке. Из лотка порода сыпается в вагонетки 5, подаваемые электровозом по откаточному пути в одном из боковых тоннелей.

Забой калотты продвигается заходками на ширину одного кольца обделки. В неустойчивых породах применяется шандарная крепь, поддерживаемая забойными домкратами полущита. После очередной заходки при помощи тубингоукладчика 2 монтируют арку свода. Подача тубингов осуществляется по верхнему горизонту. По мере продвижения забоя транспортер 3 наращивают. Когда его длина достигает 30-40 м, устраивают новый проем в обделке и переставляют наклонный лоток.

Скорость сооружения свода станции при такой организации труда на строительстве Московского метрополитена составила 2,25 м в сутки.

Разработка ядра среднего тоннеля производится одновременно с удалением тубингов временного заполнения боковых тоннелей обычным сплошным забоем с применением мощных средств погрузки породы. В последней фазе работ производится разработка основания среднего тоннеля и

бетонирование обратного свода. Для исключения возможности боковых смещений тоннелей необходимо разработку основания среднего тоннеля производить сплошным забоем, а поперечными траншеями с креплением их до отметки основания фундаментной плиты. По мере производства работ ведется первичное и контрольное нагнетание цементно-песчаного раствора за обделку.

Таким образом, при сооружении колонных станций из-за многостадийности сборки несущих конструкций происходит несколько раз перераспределение усилий в конструктивных элементах. Особенно велика опасность деформации обделок боковых тоннелей в момент включения в работу колонн и в процессе возведения среднего свода.

Технология сооружения *станций без прогонов* разработана позднее с целью упрощения и удешевления строительства. Такая схема позволяет расположить все три тоннеля в одном уровне, как в пилонных станциях (рис. 6.12 б). Общая планировка станции соответствует наиболее распространенным и рациональным типам пилонных станций. Боковые тоннели наружным диаметром 8,5 м имеют длину 160 м, средний тоннель диаметром 95 м – 63 м.

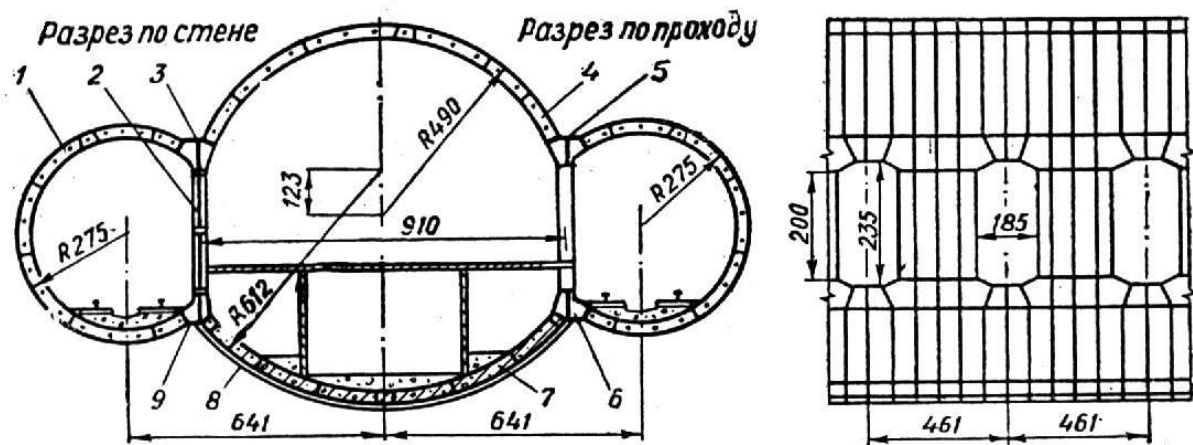


Рис. 6.12. – Станция закрытого типа:

- 1 – обделка боковых тоннелей; 2 – сборная стена; 3 – опорный верхний тьюбинг; 4 – обделка среднего тоннеля; 5 – фасонный тьюбинг верхний; 6 – фасонный тьюбинг нижний; 7 – лотковый железобетонный блок; 8 – бетонная подготовка (подушка); 9 – опорный нижний тьюбинг.

По принятой схеме производства работ сначала сооружался средний тоннель при помощи специального стационарного щита и тьюбингоукладчика. В конструкции этого щита предусмотрены съемные боковые части ноже-опорного кольца и оболочки, после удаления которых остаются верхний и нижний цилиндрические своды и две вертикальные несущие стенки.

В процессе проходки среднего тоннеля (полным щитом) в кольцо обделки закладываются фасонные тьюбинги перемычек и временного заполнения проемов, а также монтируются полуколонны. Зазор между породой и обделкой заполняется нагнетанием цементно-песчаного раствора.

После окончания работ в среднем тоннеле этим же щитом, но со снятой с одной стороны боковой частью ведется поочередно проходка боковых тоннелей. Впереди щита из обделки среднего тоннеля удаляются тубинги, временно заполняющие проемы (только с одной стороны сооружаемого бокового тоннеля). Одновременно с монтажом обделки устанавливаются вторые половины колонн.

При сооружении такой станции возникает опасность деформаций обделки среднего тоннеля при удалении тубингов временного заполнения. Очень трудно обеспечить высокую точность сборки конструкций для совпадения болтовых отверстий в пятовых перемычках и полуколоннах в смежных тоннелях, сооружаемых последовательно.

Значительно проще производство работ по сооружению новой станции со стальными колоннами, предложенной Метрогипротрансом. Благодаря тому, что тубинги перемычек и колонн входят в состав только боковых тоннелей и полностью вписываются в наружный контур их обделок, основная несущая конструкция станции монтируется сразу при проходке боковых тоннелей.

Тубинги среднего свода опираются непосредственно на спинки тубингов перемычек и не имеют болтовых соединений, что облегчает условия монтажа. Проходка среднего тоннеля может осуществляться с применением полущита или горным способом.

При сооружении станции Площадь Ногина Московского метрополитена боковые тоннели проходились способом пилот-тоннеля. Монтаж обделки и колонн (рис. 6.13) выполнялись при помощи усиленного тубингоукладчика в такой последовательности. После укладки трех лотковых тубингов устанавливали тубинг 15 и пятовый тубинг перемычки 12. Затем собирали половину кольца со стороны, противоположной колонне (до ключевого тубинга). Далее на двух платформах по узкоколейному пути подавали ветвь колонны 14, закрепляли к ней специальное приспособление 10 для захвата, приподнимая рычагом 1 тубингоукладчика, разворачивали ветвь колонны 13 на 90^0 и заводили ее в проектное положение 6.

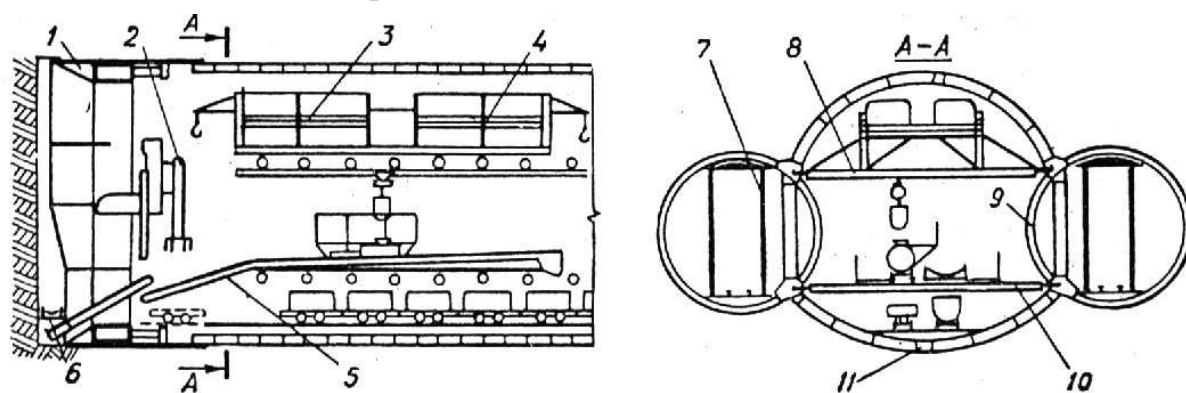


Рис. 6.13. Сооружение среднего станционного тоннеля:

- 1 – щит; 2 – тубингоукладчик; 3, 4 – монтажные тележки; 5 – скребковый конвейер; 6 – ленточный конвейер; 7 – стальные рамы; 8 – верхняя трубчатая распорка; 9 – демонтируемая обделка

боковых тоннелей; 10 – нижняя трубчатая распорка; 11 – замковый тубинг.

Первая ветвь колонны крепится четырьмя болтами к нижнему пятовому тубингу и через коробчатую вставку 8 из листовой стали к тубингу 7 временного заполнения проема. Как показал опыт вместо стальной вставки зазор можно перекрывать деревянной затяжкой. С наружной стороны колонна распирается в поруду деревянными клиньями 4 и 9. Для постановки клиньев сбоку подрабатывается ниша с вертикальной стенкой 5. После установки, выверки и закрепления колонны укладывали верхний пятовый тубинг 2 и замыкали кольцо. В таком же порядке монтировали кольцо обделки со второй ветвью колонны.

Монтаж колец в проемных частях не имеет каких-либо особенностей. В каждое кольцо устанавливают фасонные тубинги перемычек и тубинги временного заполнения проема.

Средний тоннель сооружается также горным способом с раскрытием выработки на полный профиль и монтажом обделки этим же тубингоукладчиком. Пятовые тубинги верхнего 3 и нижнего 11 сводов устанавливались непосредственно на опорные площадки колонн. Монтаж сводов вели симметрично от пят к замку. Забой крепили поперечными телескопическими трубами и дощатой затяжкой. Нагнетание производилось сразу после замыкания свода.

Технология сооружения колонных станций закрытого типа отличается от других тем, что ее боковые тоннели предназначены только для движения поездов и не имеют посадочных платформ. Это позволило принять их диаметр таким же, как и перегонных тоннелей – 5,5 м.

Боковые тоннели имеют обделку 1 (рис. 6.15) из усиленных железобетонных тубингов с высотой бортов 25 см при ширине кольца 0,77 м. Обделка среднего тоннеля в своде – из железобетонных тубингов 4 с высотой бортов 35 см, в лотке – из железобетонных блоков 7 той же толщины, укладываемых на бетонную подготовку 8 с обжатием домкратами. В стыках между элементами обделки помещены упругие прокладки, играющие роль шарниров.

Несущей конструкцией между разомкнутыми обделками среднего и боковых тоннелей является сборная стена 2 из чугунных элементов с опорными тубингами вверху и внизу 3 и 9. Проемы в стене имеют перемычки из фасонных тубингов 5 и 6. Число проемов и расстояния между ними соответствуют числу и расположению дверей в вагонах поездов – против каждой двери остановившегося поезда должен быть проем. Ширина проемов принята 1,8 м с запасом на неточность остановки поезда ± 40 см.

При отсутствии поездов на станции проемы плотно закрыты раздвижными дверями. Когда к станции приближается поезд, вступает в действие автоматическая централизованная блокировка: поезд затормаживается по заданной программе и останавливается в назначенном месте с допуском ± 15 см, машинист открывает вагонные двери, одновременно

с которыми автоматически открываются двери в проемах. По окончании посадки и те и другие двери закрываются автоматически.

Объемистое подплатформенное пространство этой станции используется не только для служебных помещений, но и для тягово-понижительных подстанций.

Опыт строительства и семилетней эксплуатации станций этого типа на Санкт-Петербургском метрополитене подтвердил их технико-экономическую эффективность и целесообразность применения.

Благодаря одинаковому диаметру перегонных и боковых станционных тоннелей стала возможной их сквозная проходка перегонными щитами без производства монтажно-демонтажных камер в пределах станции.

При монтаже обделки в состав колец включаются фасонные тубинги опорных частей стен и перемычек проемов (см. рис. 6.15), а также боковые тубинги обделок, подлежащие удалению. В готовых боковых тоннелях монтируют чугунные стены, используя тот же тубингоукладчик.

Средний тоннель сооружается с применением специально предназначенного для этой цели щита с вогнутыми боковыми поверхностями, а в достаточно устойчивых породах горным способом. Благодаря особому профилю щита он свободно проходит между боковыми тоннелями при замкнутых кольцах их обделок.

При щитовом способе требуется сооружение монтажной камеры больших размеров. Она размещается обычно в пределах камеры для натяжной станции эскалаторов. Повышенный свод камеры возводится из монолитного бетона в калоттной выработке. Затем разрабатывается ядро (между обделками боковых тоннелей) и укладываются тубинги лотковой части.

По окончании монтажа щита начинается сооружение среднего станционного тоннеля (рис. 6.16). Забой разрабатывают отбойными молотками с уборкой породы скребковым 6 и ленточным 5 транспортерами, расположенными в нижней ячейке щита 1. Сзади тубингоукладчика 2 устанавливают через одно кольцо трубчатые распорки 8 и 10. На верхних распорках помещаются монтажные тележки 3 и 4 для работ по сбалчиванию тубингов, первичному нагнетанию, чеканке швов и контрольному нагнетанию. На нижние распорки опирается ленточный транспортер 5. По мере продвижения щита распорки переносят вперед.

После продвижения щита на одну заходку монтируют верхний и обратный своды. Под блоки обратного свода предварительно устраивают бетонное основание. Уложенные блоки распирают гидравлическим домкратом, помещаемым в зазор 11, который затем заполняют бетонными вкладышами и замоноличивают. Одновременно при помощи того же тубингоукладчика разбирают участки колец обделки боковых тоннелей 9.

Для предотвращения деформаций обделок боковых тоннелей в них устанавливают и расклинивают стальные рамы 7 с опережением щита на 10-20 м.

При сооружении среднего тоннеля горным способом с применением тубингоукладчика работы выполняют в две стадии. Вначале разрабатывают

калотту и монтируют верхний свод, затем раскрывают остальную часть профиля и сооружают обратный свод. В этом случае для сохранения устойчивости боковых тоннелей установку стальных рам чередуют с устройством кирпичных диафрагм толщиной в три кирпича. В середине диафрагмы оставляют проемы для пропуска транспорта.

Сооружение верхнего свода станций закрытого типа целесообразно осуществлять способом, разрабатываемым для односводчатых станций – с применением механизированной проходки калоттной прорези и обделки, обжигаемой в породу.

Преимущество калоттных станций закрытого типа заключается в том, что благодаря одинаковому диаметру перегонных и боковых станционных тоннелей стала возможной их сквозная проходка перегонными щитами без производства монтажно-демонтажных работ около станции, что значительно уменьшает объем станционных сооружений и снижает стоимость строительства.

Зарубежный опыт строительства и многолетней эксплуатации станций такого типа (в том числе и Петербургского метрополитена) подтвердил их технико-экономическую эффективность и целесообразность применения.

Глава 7. Связь станций глубокого заложения с поверхностью

7.1 Общие сведения о эскалаторном комплексе

Входы и выходы на станциях метрополитенов могут осуществляться двумя способами:

- сооружением наземного вестибюля с входными и выходными дверями;
- сооружением подходных подземных коридоров и лестничных маршей, ведущих в подземный вестибюль.

Выбор того или иного решения зависит главным образом от числа входов и выходов, которое определяется местом расположения с пассажиропотоком станции. При выборе решения учитывают температуру воздуха зимних месяцев.

На линиях как отечественных так и зарубежных метрополитенов некоторые станции имеют до девяти входов и выходов.

Наземные вестибюли не дают возможности устройства большого числа входов и выходов в различных местах городского квартала или площади, но имеют то преимущество, что эскалаторы связывают пассажирскую платформу станции непосредственно с полом вестибюля, т.е. с поверхностью тротуара.

Лестничные марши могут быть расположены в любых пунктах городского квартала, отстоящих не более чем на 100 м от станции метрополитена. Ширина лестниц зависит от ширины тротуаров и планировки зданий, в которых они могут быть расположены, и обычно принимаются равной 3-4 м. Лестницы, минимальная высота которых равна 4 м, состоят из двух маршей, разделенных площадками шириной 1,5-2 м. Наземные

вестибюли сооружают в виде отдельно стоящих павильонов или располагают в первых этажах зданий.

Подходные подземные коридоры связывают лестницы с подземными вестибюлями. Ширина коридоров на существующих метрополитенах мира колеблется от 2 до 6 м, высота не менее 2,5 м. Минимальная глубина заложения принимают равной 4 м с таким расчетом, чтобы над перекрытием оставался слой засыпки толщиной не менее 1 м. при меньшем слое засыпки над перекрытием устраивают теплоизоляцию. Современные конструкции подходных коридоров обычно состоят из цельносекционных элементов.

Подземные вестибюли устраивают при наличии подземных переходов, т.е. когда вестибюли должны принимать пассажиров с нескольких участков большой площади или сложных уличных пересечений. Предназначены для объединения всех входов и выходов, расположенных в различных пунктах городского квартала и соединения их с платформой станции метрополитена при помощи лестниц. Располагаются непосредственно под поверхностью земли. Их конструкция, объем и планировка в большой степени зависит от глубины заложения станции метрополитена. Подземные вестибюли просты по конструкции. Их можно сооружать из монолитного бетона при глубоком заложении станции или из сборного железобетона.

Эскалаторный комплекс состоит из эскалаторов, приводной станции и натяжной камеры (рис. 7.1).

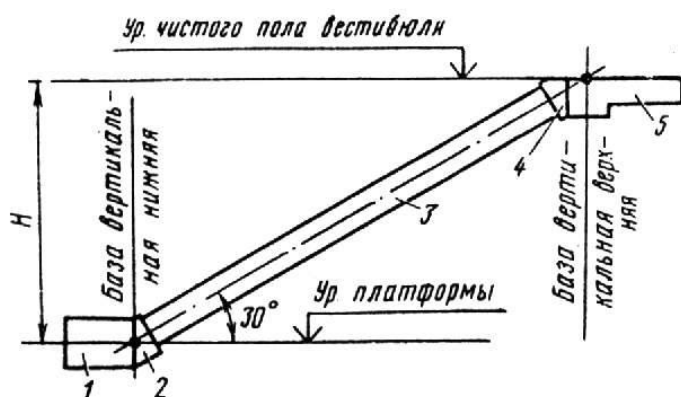


Рис. 7.1. Схема эскалаторного комплекса:

- 1 – натяжная камера; 2 – нижний оголовок эскалаторного тоннеля; 3 – эскалаторный тоннель; 4 – верхний оголовок эскалаторного тоннеля; 5 – приводная станция (машинное

Эскалатор представляет собой лестницу с движущимися ступеньками и поручнями, размещенную в наклонном тоннеле и предназначенную для спуска и подъема пассажиров. Ступени связаны между собой в замкнутую линию тяговыми цепями, перекинутыми вверху через приводные, а внизу – через натяжные звездочки. Металлический каркас эскалатора представляет собой две продольные фермы, соединенные поперечными связями. На отечественных метрополитенах в настоящее время применяют эскалаторы

высотой до 15, 45 и 65 м. В зарубежной практике в случаях, когда глубина заложения превосходит высоту 65 м, устраивают двухмаршевые эскалаторы.

Наклонный эскалаторный тоннель служит для размещения ферм, балюстрад и ступеней эскалаторов. Его располагают под углом 30° к горизонту для возможности в случае необходимости использования эскалаторов как

лестниц. Верхняя часть наклонного эскалаторного тоннеля соединяется с машинным помещением через верхний оголовник, обделку которого выполняют из бетона с внешней гидроизоляцией и сооружают в открытом котловане.

При расположении вестибюля в слабых грунтах, что может привести к его осадке, в сопряжении эскалаторного тоннеля с оголовником устраивают компенсатор.

Для размещения трех эскалаторов в отечественных метрополитенах служит эскалаторный тоннель 3 наружным диаметром 7,5 м с обделкой из чугунных (в перспективе железобетонных) тубингов, т.к. все ответственные сооружения, пересекающие разнородные, в том числе неустойчивые обводненные грунты, требующие надежной гидроизоляции. Такую же обделку в большинстве случаев имеют и натяжные камеры. С наклонными тоннелями они сопрягаются монолитной железобетонной конструкцией с металлоизоляцией или специальными веерными кольцами.

Если эскалаторный тоннель имеет вентиляционный канал, то создают эллиптическую обделку из тех же тубингов и двух дополнительных специальных тубингов на каждое кольцо, устанавливаемых на уровне горизонтального диаметра и образующих вертикальную вставку высотой 0,6 м. обделку четырехленточного эскалаторного тоннеля собирают из тубингов наружным диаметром $D_n = 9,5$ м.

К внутренним конструкциям в наклонных тоннелях относятся фундаменты под металлоконструкцию эскалаторов, лестницы и водозащитные зонты.

Основной несущей конструкцией фундаментов под металлоконструкции эскалаторов являются поперечные железобетонные плиты, которые укладывают на боковые опоры из монолитного бетона. При этом образуется сплошное наклонное перекрытие вдоль всего тоннеля.

На поверхности фундаментных плит по продольным их кромкам предусмотрены стальные закладные детали для стоек-компенсаторов под прогоны ферм эскалаторов. Стойки-компенсаторы (куски швеллера) приваривают к закладным деталям поперечных плит, а к ним, в свою очередь, с высокой точностью по маркшейдерским отметкам приваривают продольные прогоны из уголковой стали, по которым спускают фермы эскалаторов. Прогоны служат постоянным основанием эскалаторных ферм.

Лестницы устраивают в проходах между эскалаторами по бокам тоннеля и в нижней лотковой части. Боковые лестницы делают со ступенями из монолитного бетона, а лотковую собирают из предварительно изготовленных ленточных блоков, по 4-5 ступеней в блоке.

Водозащитные зонты, как и на станциях, монтируют обычно из асбоцементных панелей, подвешиваемых на шпильках к тубинговой обделке. Концы нижних панелей примыкают к асбоцементным желобам, подвешиваемых с боков тоннеля. По этим желобам вода отводится в водосборник (колодец) в натяжной камере.

Приводная станция 5 (рис. 7.1), т.е. машинное отделение эскалаторов

предназначена для размещения электроприводов с редукторами, приводных и вспомогательных устройств. Входит в состав вестибюля и является его нижним этажом. Размер машинного отделения зависит от числа и типа эскалаторов. Для монтажа и демонтажа оборудования машинное помещение должно иметь проем не менее 2,5x2 м. Вход в машинное отделение оборудуют лестницей шириной не менее 90 см.

Натяжная камера 1 (рис. 7.1) служит для размещения натяжных устройств эскалаторов, имеет эллиптическое сечение с увеличенным на 1 м вертикальным сечением. Такая обделка составленная из тубингов станционного кольца диаметром $D_n = 8,5$ м, что позволяет разместить в нижней части тоннеля натяжные устройства трех эскалаторов. Натяжная камера для размещения натяжных устройств четырех эскалаторов представляет собой тоннель эллипсообразного очертания с чугунной обделкой, собираемой из стандартных тубингов, кольца диаметром $D_n = 9,5$ м, с таким использованием ключевых тубингов и прокладок, чтобы получить тоннель большего поперечного сечения.

Нижний оголовок наклонного эскалаторного тоннеля имеет обделку из металлических листов.

7.2 Организация строительства и подготовительные работы

К особенностям организации строительства эскалаторного комплекса следует отнести сооружение наклонного эскалаторного тоннеля. Его наклонное расположение в профиле предполагает и пересечение разнообразных пород, в том числе слабых и водоносных. Так в Лондонском метрополитене пласты пльвунов, пересекаемых эскалаторными тоннелями, имели мощность около 6 м. На Московском метрополитене толщина пльвунов достигала 20-30 м.

При сооружении наклонных тоннелей в слабых грунтах обычно приходится сталкиваться с двумя неразрывно связанными между собой задачами:

- искусственным закреплением пересекаемого грунтового породного массива;
- методом проходки и креплением наклонного тоннеля.

При пересечении наклонным тоннелем слабых неустойчивых грунтов используют метод предварительного искусственного их замораживания. Этот метод обеспечивает безопасность работающих в забое, сохранность городских сооружений, расположенных над тоннелем, и позволяет вести работы в сухом забое без водоотлива.

В отличие от шахтных стволов при строительстве наклонных тоннелей грунты замораживают обычно только в пределах участков слабых водонасыщенных грунтов. Нижерасположенные скальные водообильные грунты не замораживают, так как при глубоком бурении увеличиваются отклонение скважин от заданного направления и общее время замораживания (при увеличении длины замораживаемого участка в 2 раза период активного

замораживания возрастает в 4 раза).

Так как эскалаторный тоннель конструктивно связан с наземным вестибюлем и машинным отделением под ним, то это обуславливает необходимость ведения работ по сооружению наклонного тоннеля и поверхностного комплекса с использованием одной строительной площадки. Поэтому в практике строительства метрополитенов применяются две схемы общей организации работ: последовательная и параллельная.

Последовательная – предусматривает вначале сооружение эскалаторного тоннеля, а затем – машинного отделения и вестибюля.

Параллельная схема сооружения эскалаторного комплекса предусматривает выполнение всех основных подземных и наземных работ одновременно, т.е. проходку наклонного тоннеля совмещают с сооружением машинного помещения с вестибюлем.

При последовательной организации работ упрощается ведение подготовительных и основных работ, исключаются взаимные помехи и излишнее загромождение строительной площадки материалами и оборудованием, уменьшаются проявления деформаций и осадок.

Отечественный и зарубежный опыт сооружения эскалаторных тоннелей по той и другой схемам показывает, что разрыв между окончанием сооружения эскалаторного тоннеля и началом бетонирования плиты машинного помещения при последовательной схеме может достигать до двух лет и более.

Отсюда следует, что параллельная схема признана более целесообразной.

Подготовительные работы при сооружении эскалаторного комплекса предусматривают:

- освоение строительной площадки;
- разработку котлована для возведения оголовника.

При наличии слабых обводненных пород, требующих замораживания для проходческих работ, в подготовительные работы входит бурение наклонных скважин, монтаж замораживающей сети и активное замораживание. Эти работы при последовательной схеме осуществляются около устья наклонного тоннеля. Скважины располагают вокруг эскалаторного тоннеля на расстоянии 1-1,2 м одна от другой, их общее количество 42-45 (с учетом четырех контрольных). Глубина скважин должна быть установлена из расчета их заглубления в устойчивые породы на 2-4 м.

Для обеспечения контроля за качеством буровых работ необходимо составлять схемы фактического расположения скважин для разных сечений наклонного тоннеля. В случае отклонений скважин на величину, большую 2% их длины, необходимо пробуривать дополнительные скважины. Обычно общие затраты времени на бурение скважин достигают 1-1,5 месяца, а продолжительность замораживания – 45-50 суток.

При расчетной толщине замороженного массива вокруг тоннеля 2,5-3 м только небольшая его часть (20-30 см) должна входить внутрь контура тоннеля. Такое требование объясняется технико-экономическими и

производственными соображениями. Первые заключаются в ограничении периода времени активного замораживания и, следовательно, в меньших затратах энергии. Вторые сводятся к недопущению перезамораживанию пород в пределах будущей проходки, что повлекло бы затруднение разработки пород.

При ведении работ по параллельной схеме бурение скважин ведется одновременно не только вокруг эскалаторного тоннеля, но при необходимости и по контуру котлована вестибюля.

Процесс замораживания разделяется на 2 этапа. Вначале замораживание ведется в сводовой части наклонного тоннеля по периметру котлована. Чтобы порода в основании котлована осталась незамороженной, ниже колонки наклонного тоннеля временно не включаются в общую систему.

По мере разработки котлована необходимо вначале удалить часть нижних колонок, а затем провести полный перемонтаж всей наземной части замораживающей сети (в положение, параллельное плоскости забоя) с подключением к ней нижних колонок.

В период активного замораживания пород ведется сооружение железобетонной конструкции вестибюля с таким расчетом, чтобы к моменту окончания замораживания можно было возводить на фундаментной плите проходческий горный комплекс (бункерную и тельферную эстакады) и собирать полукольца обделки, а в последствии – тьюбингоукладчик.

Соответствующая этой схеме строительная площадка показана на рис. 7.2, где показаны конструктивные контуры машинного помещения и вестибюля, внутри которых расположены бункерная и тельферная эстакады с их оборудованием. Порода и тьюбинги перемещаются через соответствующие конструктивные и монтажные проемы.

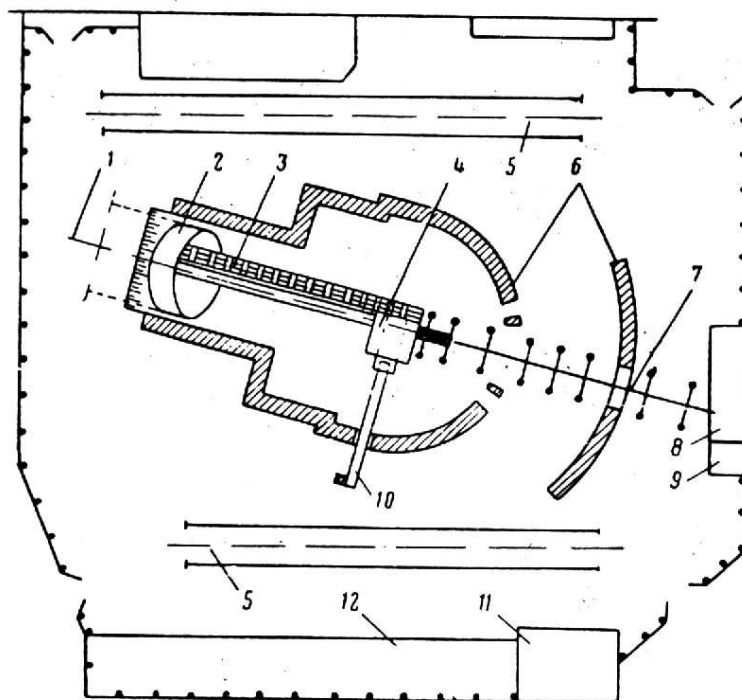


Рис. 7.2. Строительная площадка при сооружении наклонного тоннеля и вестибюля по параллельной схеме:

1 – ось наклонного тоннеля, скипового подъема и тельферной эстакады; 2 – обделка тоннеля; 3 – лестничное отделение; 4 – бункер; 5 – подкрановые пути; 6 – стены машинного помещения; 7 – монорельс тельферной эстакады; 8 – механическая мастерская; 9 – склад; 10 – транспортер; 11 – контора; 12 – арматурный двор.

Очевидно, что размещение элементов горного комплекса зависит от ряда таких местных условий, как конфигурация строительной площадки, расположение подъездных путей, конструкция вестибюля и т.п., и поэтому приведенную схему следует рассматривать лишь как примерную.

Конструкция эскалаторных тоннелей выполняется из тубингов, скрепляемых болтами. До начала основных работ по проходке наклонных тоннелей предварительно выполняют в зависимости от принятой схемы организации работ разработку котлована для возведения оголовника или разработку котлована с укладкой бетонной подушки.

В первом случае (при возведении оголовника) после вскрытия котлована обычным способом на глубину 8-9 м укладываются от забоя к поверхности земли 8-14 полуколец обделки, необходимых для сборки тубингоукладчика. Все пустоты за обделкой заполняют бетоном или цементно-песчаным раствором. Первое постоянное кольцо обделки наклонного тоннеля обычно закрепляется в кольцеобразном оголовке, обеспечивающем неизменное проектное положение кольца на весь период работ. Такое закрепление может быть выполнено при помощи выпускаемых в наружную сторону стальных диафрагм или анкеров. Возведением оголовника преследуется цель обеспечить точность монтажных работ в начальной и последующих стадиях и возможности удобства сопряжений наклонного тоннеля и вестибюля, так как впоследствии оба эти элемента объединяются в единую железобетонную конструкцию.

Во втором случае вместо оголовника в котловане укладывается бетонная подушка, в пределах которой собирается 7-8 полуколец обделки, используемых в дальнейшем в качестве опор для тубингоукладчика.

Скрепление полуколец обделки с бетонной подушкой производится при помощи анкерной связи, устанавливаемой через отверстия в оболочке тубингов.

Для обеспечения правильной формы поперечного сечения полуколец обычно внутри устанавливаются стяжки, а с внешней стороны – клинья.

Дополнительная жесткость закрепления полуколец достигается также путем постановки стальных тяжей, закрепляемых в бетонные массивы.

Первое кольцо обделки собирают с высокой точностью по маркшейдерским отметкам.

Разнородность грунтов, пересекаемых наклонным тоннелем, затрудняет применение механизированных проходческих агрегатов. Поэтому проходку наклонных тоннелей ведут при помощи тубингоукладчиков, отличающихся от обычных укладчиков тем, что выдвигные горизонтальные площадки в них установлены на раме под углом 30° к оси тоннеля, а перемещение по уклону

происходит под действием собственного веса по кронштейнам, укрепленным на тубингах. В заданном положении тубингоукладчик удерживается двумя лебедками, установленными на его раме, тросы от которых закреплены на тубингах обделки. При перемещении укладчика на очередное кольцо барабаны лебедок оттормаживают. Более точно положение укладчика регулируют установленными на нем гидравлическими домкратами. Лебедки дают возможность производить и некоторый подъем по уклону, что необходимо для устранения перекосов.

Выдача грунта из забоя тоннеля на поверхность осуществляется скиповым подъемом. Скип представляет собой опрокидывающийся кузов, укрепленный на тележке, перемещаемой по пути с колес 1560 мм.

Для механизированной погрузки грунта в автомобили на поверхности по оси тоннеля устраивают наклонную эстакаду (рис. 7.3), на которой укладывают путь для скипа. Под эстакадой в ее конце устанавливают бункер с пластинчатым транспортером-питателем. Над бункером устраивают специальный разгрузочный проем. Скип, поднятый на эстакаду, автоматически опрокидывается над бункером. Грунт из бункера грузится транспортером в кузов автомобиля. Производительность скипового подъема достаточна при челночных перемещениях скипа вместимостью 1,5 м³ по одному пути.

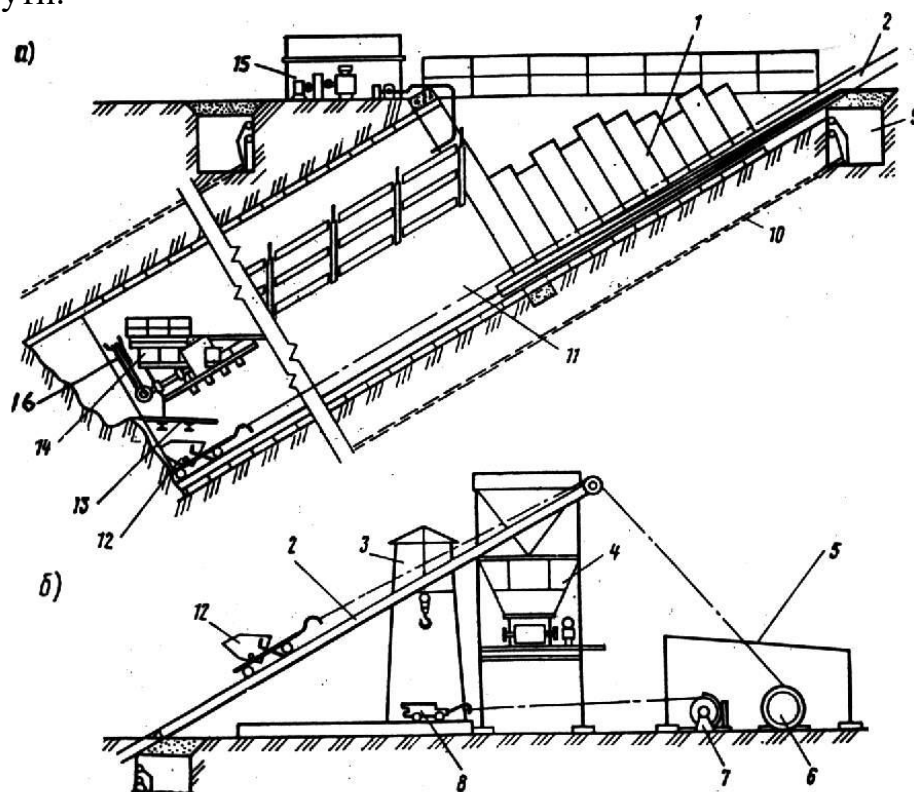


Рис. 7.3. Схема организации работ по проходке наклонного тоннеля:

- а – зона подземных работ; б – поверхностный комплекс; 1 – временный оголовок; 2 – наклонная эстакада; 3 – тельферная эстакада; 4 – бункерная секция; 5 – машинное помещение; 6 – лебедка скипового подъема; 7 – лебедка для спуска тубингов; 8 – тубинговозка; 9 – галерея; 10 – замораживающая колонка; 11 –

наклонный тоннель; 12 – скип; 13 – погрузочная платформа; 14 – тьюбингоукладчик; 15 – компрессорная; 16 – рычаг эректора.

Помимо наклонной эстакады и бункера, в горный комплекс для проходки наклонного тоннеля входят еще машинное помещение и тельферная эстакада, располагаемая поперек наклонной эстакады. В машинном помещении устанавливают две редукторные лебедки (одну для скипового подъема, другую для спуска тьюбингов).

Тьюбинги подают в тоннель на специальных тьюбинговозках – тележках на двух полускатах с поворотной платформой и бортами. Тьюбинговозка перемещается по узкоколейному пути, уложенному внутри колеи скипового пути на одной с ним оси и по тем же шпалам. По выходе на поверхность путь тьюбинговозки переходит на короткий горизонтальный участок под эстакаду. Этот участок находится в зоне действия тельфера поперечной тельферной эстакады.

Механизированную погрузку грунта в скип выполняют при помощи породопогрузочной машины ППМ или погрузочной платформы, подвешенной на тросах к раме тьюбингоукладчика. Платформа представляет собой сборную раму из швеллеров, покрытую стальным листом, с люком в середине. Разрабатываемый грунт скатывается по наклонной плоскости забоя на платформу и при частичной подправке его лопатами подает в скип, установленный под люком. Перемещают платформу установленными с боков лебедками.

Обеспечение водоотлива в наклонном тоннеле является более сложной задачей, чем при проходке шахтных стволов. Поэтому если строительство основной части станции ведется с некоторым опережением, то нижнюю часть наклонного тоннеля в незамоороженных скальных обводненных грунтах сооружают с передовой штольной. Штольню проходят снизу вверх со стороны станции на уровне лотка тоннеля. Это позволяет освободиться от притока воды в забой тоннеля. В отдельных случаях воду из забоя сбрасывают в стационарные выработки через пробуренную скважину.

Проходка наклонного тоннеля *с передовой штольной* имеет и другое преимущество. Более полно в этом случае механизмуется уборка грунта в забое, так как грунт можно сбрасывать вниз по штольне. С этой целью штольню по ширине разделяют на два отсека. В одном отсеке устраивают деревянный настил, обшитый листовой сталью; по нему грунт сбрасывают в стационарную выработку, где он грузится породопогрузочной машиной в вагонетки. В другом отсеке оборудуют лестницу для прохода людей. Транспортные потоки, таким образом, разделяются: тьюбинги и другие элементы конструкций, а также материалы подаются сверху, а грунт идет вниз. Все это упрощает организацию работ и позволяет ускорить строительство.

При совмещенном строительстве наклонного тоннеля и вестибюля для монтажа конструкций вестибюля и подачи материалов в верхнюю зону работ используют обычно козловый кран ККТС-20. Монтируют кран обычно в процессе проходки наклонного тоннеля.

Проходка встречной штольни со стороны среднего стационарного тоннеля, позволяющая разделить транспортные потоки, дает возможность раньше освободить площадку от основных устройств горного комплекса и приступить к строительству вестибюля. Дальнейшую подачу тубингов, деталей внутренних конструкций и материалов в наклонный тоннель ведут козловым краном. Для этого в месте будущего сопряжения наклонного тоннеля и машинного помещения устраивают горизонтальную площадку, куда переносят лебедку тубинговозки. При неглубоком котловане, когда часть колец является временной и подлежит разборке, над горизонтальной погрузочной площадкой устраивают проем в своде тоннеля, через который подают в тоннель строительные детали и материалы.

7.3 Технология сооружения эскалаторного тоннеля

Основными этапами технологии сооружения наклонного эскалаторного тоннеля являются:

- разработка и уборка породы;
- подача и монтаж элементов обделки;
- нагнетание раствора за обделку;
- чеканка швов;
- сооружение внутритоннельных конструкций.

Разработка и уборка породы является одной из основных операций проходческого цикла.

Ввиду того, что эскалаторные тоннели пересекают неоднородные породы: неустойчивые и водонасыщенные (замораживаемые) – на первой, обычно большей части длины тоннеля и устойчивые, крепкие – на второй части, принимают соответственные приемы проходки.

Разработку забоя в пределах слабо замороженных пород ведут пневматическими инструментами – отбойными молотками с применением специальных лопаток, заменяемых в процессе работы в зависимости от степени промороженности породы.

Существуют два варианта последовательности разработки забоя. По первому варианту вначале ведется рассечка верхней части забоя, а затем осуществляется разработка забоя с уступа до уровня погрузочной металлической платформы, подвешиваемой снизу тубингоукладчика, на которую сбрасывается порода. Затем ведется разборка нижней части забоя.

По второму варианту вначале разрабатывается вертикальный разрез посередине забоя от кровли до уровня погрузочной платформы. Ширина этого разреза, используемого в качестве направляющего желоба для сбрасываемой породы, принимается до 2 м и глубина – до 0,75 м. дальнейшая разработка ведется пятью-шестью уступами высотой 1,3-1,5 м с обеих сторон разреза.

На участках искусственного замораживания неустойчивых пород, а также при проходке в глинах необходимо осуществлять крепление кровли забоя при помощи закладных досок, одним концом заводимых за тубинги, а другим укрепляемых в разрабатываемой по контуру забоя штрабе глубиной

10-15 см.

При необходимости крепления всего забоя применяют стальные трубы $d = 100$ мм, располагаемые горизонтально в трех ярусах, между которыми заводят затяжку из досок. Концы труб углубляют в породу и опирают на тубинги при помощи бревен-коротышей. Погрузка породы в скип осуществляется путем ее сбрасывания с металлической платформы, прикрепляемой на четырех подвесках к тубингоукладчику – с верхней части забоя и путем непосредственной погрузки – с нижней.

Конструкция такой платформы представляет собой раму из швеллеров, покрытую 5-ти мм стальным листом, с отверстием для сбрасывания породы. Кроме того, применяются откидные стальные площадки, при помощи которых обеспечивается связь с забоем.

При разработке нижней части забоя погрузочную платформу оттягивают от забоя и разрабатываемую породу грузят непосредственно в скип.

При емкости скипа $1,5 \text{ м}^3$ транспортные работы по наклонному тоннелю вполне обеспечивают требуемую скорость проходки (применение двухскипового подъема с ковшами меньшей емкости положительных результатов не дает).

При большом притоке воды в забой в случае проходки незамороженной зоны может быть применен другой способ перемещения разработанной породы – по опережающей сквозной штольне.

Порода в нижнем конце тоннеля погружается через бункер в вагонетки и выдается через ствол метрополитена. Такая технология ускоряет транспортные работы и обеспечивает осушение забоя.

Подача и монтаж элементов обделки. Подачу тубингов к забою наклонного тоннеля ведут при помощи специальных тележек. По мере погрузки тубингов под наклонной эстакадой при помощи тельфера такие тележки опускают к забою по путям, уложенным внутри колеи скипового подъема. Для этой цели используют 2-т редукторную лебедку.

Монтаж обделки ведут при помощи специального тубингоукладчика, помещаемого на съемных кронштейнах.

Укладчик имеет основную стальную конструкцию, на которой расположена надстройка и пять выдвижных платформ. Электроприводной рычаг эректора находится в наклонном положении, параллельном плоскости забоя.

Укладчик удерживается в требуемом положении при помощи лебедки и тросов, прикрепляемых к обделке. Поступательное перемещение осуществляется теми же лебедками, а также гидравлическими домкратами.

На сборку одного кольца необходимо 2-2,5 ч.

Допустимое смещение колец вдоль тоннеля ± 1 мм, а отклонение по диаметру ± 30 мм. Все отклонения тубинговой обделки от проектного положения корректируются при помощи стальных клиновидных прокладок.

В зависимости от степени устойчивости пород принимают соответствующие меры по гидроизоляции болтовых отверстий.

В породах, не требующих замораживания, обделку собирают на постоянных болтах с постановкой стальных сферических шайб с асбобитумным заполнением.

При проходке эскалаторных тоннелей в замороженных породах применяют монтажные болты с плоскими шайбами без асбобитума. Этим предохраняются от повреждения асбобитумные шайбы, чувствительные к влиянию низких температур. Последующее перебалчивание и гидроизоляция ведутся в таком случае после оттаивания пород и приобретения ими положительной температуры.

В случае сжатых сроков строительства возможна одновременная со сборкой постановка асбобитумных шайб, но с последующей выборочной заменой поврежденных шайб при гидроизоляционных работах. В отдельных случаях такое решение может быть экономически обосновано.

Нагнетание раствора за обделку. Этот процесс необходимо вести немедленно вслед за укладкой колец с тщательным уплотнением зазора между тубингами и породой.

Обычный состав раствора 1:3 с добавкой 5-7% хлористого кальция при нагнетании за обделку в зоне замороженных пород.

В растворный узел, располагаемый на поверхности, входит растворонагнетатель с непрерывным перемешиванием, запасы сухой смеси и устройства для подогревания воды в зимнее время.

Раствор подается к месту работ нагнетанием по стальной трубе ($d = 50$ мм), обычно подвешиваемой в верхней части тоннеля. Нарращивание этой трубы по мере проходки ведется звеньями по 5-6 м; головная часть трубы оканчивается гибким шлангом с наконечником. В зимнее время стальная труба утепляется.

Контрольное нагнетание цементным молоком под давлением до 1 МПа ведется до выключения замораживающей станции. Для этой цели применяют поршневые насосы.

Чеканка швов. Для полного обеспечения водонепроницаемости обделки эскалаторного тоннеля требуется проведение чеканочных работ на стыках тубингов.

Эти работы выполняются после окончания проходки тоннеля и искусственного оттаивания замороженной зоны.

Для работ по очистке чеканочных канавок и отверстий в оболочке тубингов, выполняемых пескоструйными аппаратами, обычно выделяются ночные смены.

Чеканка очищенных швов и гидроизоляция отверстий для нагнетания проводятся в последующие смены.

Все гидроизоляционные работы ведутся поточно, снизу вверх.

В особых случаях, при интенсивном притоке воды, применяют предварительную зачеканку канавок освинцованным асбобитумным шнуром.

Для работ в верхней части сечения тоннеля необходимо устройство инвентарных подвесных подмостей или использование вспомогательных тележек.

Для опускания в тоннель материалов и для выдачи на поверхность строительного мусора используется имеющийся скиповой подъем. Наиболее целесообразно организовывать ведение гидроизоляционных работ по принципу сквозной комплексной бригады широкого профиля. Это способствует достижению высоких темпов, улучшения качества гидроизоляционных работ и снижению трудовых затрат. Следует отметить, что при сооружении эскалаторных тоннелей в породах, дающих осадку, необходимо все гидроизоляционные работы проводить лишь после прекращения интенсивных осадок наклонного тоннеля, т.е. непосредственно перед монтажом эскалаторов.

Сооружение внутритоннельных конструкций. После окончания основных работ по гидроизоляции отделки бетонируют жесткое основание и возводят фундаменты под эскалаторы.

При этом могут быть два варианта, зависящих от вида внутритоннельных конструкций.

Первый соответствует выполнению фундаментов под эскалаторы из монолитного бетона, а второй – из сборного железобетона.

Работы по бетонированию ведутся в направлении снизу вверх с применением инвентарной сборно-щитовой опалубки. При четырех-пятикратной оборачиваемости достаточно иметь 8 комплектов такой опалубки для сооружения фундаментов эскалаторного тоннеля средней длины.

При сооружении фундаментов из сборного железобетона организация работ существенно изменяется. Вначале заполняют бетоном лотковую часть и ячейки тюбингов до отметки низа опор балок. После этого бетонируют боковые лестницы и продолжают бетонирование ячеек тюбингов выше опор. Вслед за бетонными работами ведут монтажные работы с установкой снизу вверх поперечных железобетонных балок перекрытия коробчатого сечения.

Одновременно с сооружением сборных фундаментов эскалаторов ведется монтаж водозащитного зонта. В случае применения фундаментов монолитной конструкции эти монтажные работы проводятся после окончания бетонирования.

Монтаж водозащитного зонта ведется со специальной тележки или с использованием имеющихся подмостей.

7.4 Сооружение вестибюлей

Строительство вестибюлей станций глубокого заложения ведут с учетом особых требований к этим сооружениям. Для обеспечения надежной работы подъемных механизмов эскалаторов осадки их фундаментов должны быть минимальными и равномерными. Машинное помещение и примыкающий к нему оголовок, как и наклонный тоннель, должны иметь надежную гидроизоляцию. Сопряжение оголовка с наклонным тоннелем должно допускать некоторое их взаимное смещение. Перекрытие машинного помещения, являющееся полом эскалаторного зала, должно быть рассчитано

на восприятие больших нагрузок, передаваемых на него при монтаже и ремонте эскалаторов.

Вестибюли сооружают открытым способом. Поскольку станции глубокого заложения сооружают преимущественно в условиях плотной городской застройки, строительство вестибюлей ведут, как правило, с креплением стен котлованов.

При возведении подземных вестибюлей в районах с большим транспортным движением приходится преодолевать значительные трудности, связанные с необходимостью не нарушать нормальное пассажирское движение. Сложность работ усугубляется в ряде случаев необходимостью совмещения проходки и наклонного тоннеля со строительством вестибюля и общей стесненностью работ.

Крепление стен котлованов выполняют забивными или буронабивными сваями в зависимости от условий строительства и наличия близко расположенных жилых или производственных зданий.

Исходя из необходимости обеспечения равномерных осадок фундаментов подъемных механизмов эскалаторов, фундаментную плиту вестибюля и машинного помещения делают в виде жесткой монолитной железобетонной конструкции толщиной 1 м и более.

Большая общая высота сооружения, особенно при подземном расположении вестибюля, вызывает необходимость производить работы в глубоком котловане при расположении основания сооружения ниже уровня грунтовых вод. Основанием котлована во многих случаях являются слабые грунты. Эти условия заставляют использовать самые разнообразные способы производства работ. Широкое применение находят при этом и специальные методы работ.

При уровне грунтовых вод выше основания вестибюля работы ведут с водопонижением. Если гидрогеологические изыскания показывают, что водопонижение не может быть эффективным, а на небольшом расстоянии от основания вестибюля находится водоупор, то котлован ограждают металлическим шпунтом, погружаемым до водоупора. При глубоком расположении водоупора грунты закрепляют путем искусственного их замораживания по всему контуру вестибюля.

При слабых грунтах в основании вестибюля в ряде случаев применяют фундаментные столбы или сваи, опускаемые до плотных грунтов. Чтобы исключить недопустимые осадки близко расположенных зданий, иногда предусматривают забивку двух рядов шпунта – основного и вспомогательного.

Для предотвращения просачивания грунтовой воды в машинное и другие помещения подземного вестибюля по всему их наружному контуру устраивают оклеечную гидроизоляцию. Подготовку под изоляцию и ее устройство осуществляют обычным для открытого способа работ приемами. После устройства гидроизоляции и защитного покрытия по ней устанавливают арматуру и укладывают бетонную смесь в сплошную фундаментную плиту машинного помещения. Затем возводят стены,

перекрытия и другие конструкции, используя при этом общестроительные средства механизации бетонных, каменных и монтажных работ.

После прекращения осадок устраивают сопряжение машинного помещения с эскалаторным тоннелем в виде монолитного железобетонного оголовка, обеспечивающего некоторое взаимное перемещение конструкций.

7.5 Предупреждение осадок vestibюлей и эскалаторных тоннелей

При пересечении эскалаторными тоннелями водоносных пород и плывунов в последних при замораживании и последующем оттаивании нарушается естественная структура, что приводит к уменьшению их несущей способности. Такое явление особенно характерно для ленточных глин и суглинков с прослойками водонасыщенных пылеватых песков.

Эти породы после замораживания и оттаивания приобретают большую способность к сжатию, что оценивается приведенным коэффициентом уплотнения.

В таких условиях возникают значительные осадки верхних частей эскалаторных тоннелей и vestibюлей.

При этом в зависимости от принятой схемы организации строительных работ (последовательной или параллельной) на осадки эскалаторных тоннелей могут оказать существенное влияние осадки vestibюлей после объединения этих конструкций.

Осадки эскалаторных тоннелей возникают под влиянием нескольких факторов.

Прежде всего в начальный период – от собственного веса обделки и веса тубингоукладчика – происходит обмятие породы и некоторая деформация кольца обделки (уменьшение вертикального диаметра, увеличение горизонтального).

После нагнетания раствора кольцо включается в совместную работу с окружающей породой, а на участках замороженных пород подвергается воздействию пучения. Последнее проявляется главным образом в верхних кольцах, которые поднимаются вверх (на 100-150 мм).

По мере оттаивания замороженных пород развивается действие горного давления, что приводит к осадкам эскалаторного тоннеля на некотором его протяжении. В результате таких осадок продольная ось тоннелей изгибается.

По характеру деформации в продольном направлении тоннель аналогичен консоли, упруго заземленной в более плотных породах.

По мере присоединения наклонных тоннелей к vestibюлям верхняя часть тоннелей приобретает дополнительную осадку, протекающую более интенсивно. Исследования причин осадок vestibюлей показали, что помимо свойств сжимаемых пород и величины давления в основании vestibюлей, существенное влияние на осадки оказывает способ ограждения котлована для машинного здания.

Отрицательное влияние на величину осадок vestibюлей оказывает замораживание пород по контуру котлована. Это может быть объяснено

попаданием части замороженного массива в сферу напряженной зоны под фундаментной плитой вестибюля. Увеличение осадки фундамента в таких случаях обуславливается нарушением естественной структуры пород после их оттаивания.

С целью улучшения строительных и эксплуатационных показателей эскалаторных тоннелей, пересекающих неблагоприятные породы, необходимо: уменьшать контактное давление на породу в основании вестибюлей; исключать замораживание как средство крепления стен котлованов для машинных зданий; принимать меры к сохранению естественной структуры пород в основании вестибюлей (ручная доработка проектного контура котлована с укладкой предохранительных щитов); принимать меры к уменьшению величины осадок первых колец наклонных тоннелей (не превышать осадок вестибюлей).

Глава 8. Строительство перегонных тоннелей и станций метрополитена открытым способом

8.1 Условия применения открытого способа

Открытый способ работ, при котором вскрывается поверхность земли, применяется при мелком заложении линий метрополитенов. Глубина от поверхности земли до основания тоннеля составляет 10-12 м. открытым способом на линиях мелкого заложения сооружаются перегонные (однопутные или двухпутные), станции, раструбы, камеры съездов и тупиков и все притоннельные и пристанционные сооружения (вентиляционные камеры, тягово-понижительные подстанции и т.д.).

Открытые способы значительно облегчают условия строительства, т.к. полностью исключают специфические трудности подземных работ. Тоннели сооружаются общестроительными методами с применением высокопроизводительных машин и крупноразмерных конструкций при неограниченном фронте работ. Особенно ощутимы эти достоинства при строительстве станций, камер съездов и других сооружений больших пролетов. По сравнению с закрытыми способами работ темпы строительства значительно выше, а стоимость возведения непосредственно тоннельных конструкций ниже.

Все это обусловило широкое распространение открытых способов сооружения мелкого заложения не только на линиях отечественных метрополитенов, Европы, США, но и Индии, Мексики, Бразилии.

Недостатки открытых способов заключаются в следующем:

- в неизбежности нарушения нормальной жизни города на длительный период;
- в необходимости перекладки значительной части городских коммуникаций, попадающих в зону производства работ;
- в усилении фундаментов зданий, расположенных вблизи трассы тоннелей;
- в устройстве временных мостов через котлованы строительства.

Вызванное этими дополнительными работами удлинение срока и удорожание строительства, даже без учета убытков от нерационального перепробега городского транспорта на обходах, может свети на нет всю экономию на основных строительномонтажных работах при открытых способах сооружения тоннелей метрополитена.

Закрытые способы не имеют перечисленных недостатков. Жители города вообще не замечают строительство метрополитена. Однако темпы подземных работ всегда медленнее открытых, а стоимость 1 м тоннеля существенно выше.

Практика отечественного и зарубежного строительства метрополитенов показывает, что открытый способ целесообразно применять на малозастроенных, открытых или свободных от застройки территориях.

В спальнях районах больших городов необходимо спланировать и соорудить трассу метрополитена открытым способом, а потом приступить к застройке района. Такой вариант строительства был предложен и опробован при строительстве новой станции Бразилии г. Бразилио.

Оптимальным решением является во многих случаях сочетание закрытого способа сооружения перегонных тоннелей с открытым способом строительства станций и пристанционных сооружений. Число перекладываемых городских подземных коммуникаций в этом случае резко сокращается, а нормальная жизнь города нарушается в значительно меньшей степени.

В перечисленных случаях сооружение тоннелей открытым способом является безусловно рациональным и не требует какого-либо технико-экономического обоснования.

Если намечается применение открытого способа при строительстве целой линии метрополитена в городских условиях, где трасса пересекает благоустроенные жилые кварталы с большим количеством зданий, сооружений и подземных коммуникаций, на состояние которых оказывает влияние строительство тоннелей, вопрос о выборе способов производства работ необходимо решать на основе сопоставления их достоинств и недостатков и тщательного технико-экономического обоснования.

8.2 Общие сведения о технологиях строительства тоннелей

Открытый способ сооружения тоннелей метрополитена имеет несколько разновидностей: котлованный, траншейный и щитовой.

Котлованный – способ работ, при котором открывается котлован, на дно его опирается возводимое сооружение, после чего котлован засыпается. Строительство в котлованах с откосами более предпочтительно, так как организация земляных работ в этом случае проще и появляется возможность использовать наиболее производительные землеройные машины. Однако для такого строительства необходимо иметь большие свободные территории.

Траншейный способ применяют в тех случаях, когда линия мелкого заложения проходит под сравнительно узкой улицей или вблизи от зданий и сооружений и когда время перерыва движения городского транспорта должно быть максимально сокращено. Этот способ заключается в том, что в первую очередь сооружают стены тоннеля в узких траншеях, а затем вскрывают поверхность на всю ширину и небольшую глубину, быстро сооружают перекрытие, опирающееся на готовые стены. Оставленное ядро выбирают позже под защитой перекрытия и восстановленным покрытием проезжей части над ним.

Щитовой способ предназначен для сооружения перегонных тоннелей с цельносекционной обделкой при помощи комплекса оборудования, состоящего из проходческого щита прямоугольного сечения, технологической платформы, механизмов для выемки грунта и козлового крана.

При уровне грунтовых вод выше основания тоннеля или станции работы

ведут с искусственным водопонижением, а за счет открытого водоотлива, дренажа (отвода грунтовых вод), иглофильтровым, вакуумным или другими способами, которые применяют как самостоятельно, так и в различных сочетаниях. В слабых водонасыщенных грунтах с низким коэффициентом фильтрации, когда водопонижение сильно затруднено, используют искусственное замораживание грунтов с расположением замораживающих скважин в один или два ряда.

Основной принцип организации работ при открытом способе состоит в обеспечении комплексного строительного потока, при котором полностью исключаются взаимные помехи при выполнении отдельных технологических процессов.

Строительный поток начинается с *подготовительных работ*, предусматривающих в зависимости от местных условий следующие работы:

- снос зданий или других строений, попадающих в зону строительства;
- вырубку и пересадку зеленых насаждений;
- расчистку и планировку территории;
- устройство автодорог и временных водоотливных канав;
- усиление фундаментов зданий близко расположенных к котлованам;
- перенос подземных коммуникаций;
- искусственное понижение грунтовых вод или замораживание слабых водонасыщенных грунтов.

После выполнения подготовительных работ приступают к *основным работам*, которые предусматривают:

- выемку грунта и крепление котлована;
- возведение несущих конструкций с устройством гидроизоляции;
- монтаж внутренних конструкций;
- обратную засыпку котлована;
- планировку территории;
- восстановление покрытий поверхности улиц и площадей;
- восстановление зеленых насаждений.

При ведении основных работ строительный участок разбивают на захватки длиной не менее 6 м, на каждом из которых последовательно выполняют отдельные технологические операции. В результате на участке протяженностью 130-150 м одновременно производят работы, обеспечивающие весь технологический цикл сооружения перегонного тоннеля или станции.

8.2.1 Котлованный способ

При применении котлованного способа возводимое сооружение (межстанционный тоннель) опирается на дно предварительно разработанного котлована.

Стены котлована могут быть с откосами или вертикальные, поддерживаемые временной крепью. Котлован с откосами может быть применен только на незастроенном или малозастроенном участке города или

на очень широких улицах при наличии плотных грунтов.

Широкий котлован выгодно отрывать с откосами, чтобы избежать большого расхода материалов по креплению стен. При большой глубине котлованов иногда верхняя часть их отрывается с откосами, а нижняя – с вертикальными стенами. Угол откоса котлованов зависит от физико-механических свойств грунта и принимается не более угла естественного откоса. Крепление вертикальных стенок котлованов производится одним из следующих способов:

- металлическими сваями и расстрелами;
- шпунтовым ограждением;
- анкерным креплением;
- нагельным креплением;
- стальным шпунтовым ограждением;
- способом замораживания грунта.

Крепление котлована металлическими сваями производится в нескольких грунтах естественной влажности или осушенных водопонижением.

Сущность способа заключается в том, что до начала производства земляных работ по обеим сторонам трассы тоннеля на определенном расстоянии друг от друга забиваются в грунт металлические сваи, пространство между которыми (для предотвращения высыпания грунта) перекрывается досками или затяжками. Верхние концы свай симметрично расположенных по противоположным сторонам распираются специальными распорками (расстрелами). Такая конструкция препятствует сползанию грунта вертикальных стенок котлована, что позволяет сооружать его на участках с ограниченной шириной.

Забивке свай предшествует устройство контрольных траншей шириной 0,8 м и глубиной 1,2 м, назначение которых заключается в уточнении расположения подземных городских коммуникаций и облегчении забивки свай.

Металлические сваи представляют собой двутавровые балки № 36-60, погружаемые вдоль котлована на расстоянии 1,2-2,0 м одна от другой. Профиль двутавровых балок зависит от глубины котлована и числа рядов распорок (расстрелов) между ними; наибольшее применение имеют двутавры № 40-55.

Ширина котлована принимается на 30-50 см больше ширины возводимого сооружения на случай отклонения свай при их забивке и для того, чтобы при выдергивании свай не повредить обделку тоннеля.

При строительстве двухпутных перегонных тоннелей применяется инвентарная крепь котлована (рис. 8.1), которая состоит из металлических свай 5, затяжки 4, инвентарных металлических расстрелов 1 с выдвижной частью 3, продольных поясов 10 из швеллера № 24 приваренных к сваям, подкосов 8 и ригелей 9, соединенных между собой. Расстрелы 1 устанавливаются выше внешнего контура обделки 2 не менее чем на 50 см. Металлические расстрелы могут быть изготовлены из двутавровых

(швеллерных) балок или рубчатые, диаметром 300-600 мм, устанавливаются между продольными поясами с расстоянием 3,6-6,0 м и располагаются выше внешнего контура обделки не менее чем на 50 см, чтобы обеспечить возможность укладки плиты перекрытия или бетонирования.

Для котлованов глубиной до 10 м, в которых возводят большинство сооружений мелкозаложенной линии метрополитена, при благоприятных условиях ставят один ряд расстрелов. При глубине котлована 4-5 м возможно

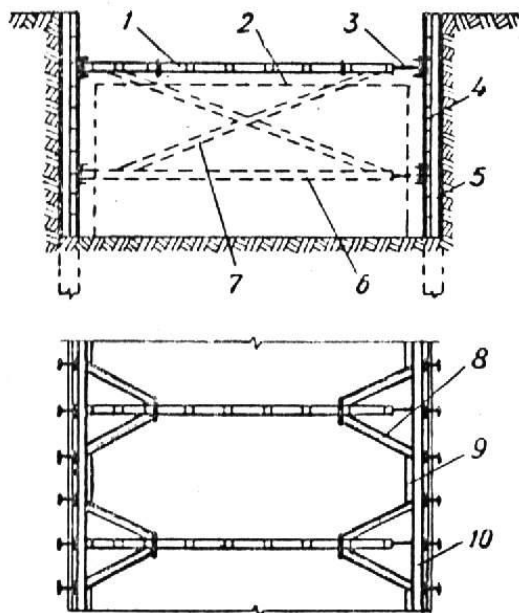


Рис .8.1.

Инвентарная крепь котлована:

1 – расстрелы; 2 – внешний контур обделки; 3 – выдвижная часть расстрела; 4 – затяжки; 5 – сваи; 6 – второй ярус расстрелов; 7 – диагональные связи; 8 – подкос; 9 – ригель; 10 – продольный пояс.

применение свай консольного типа.

При глубине котлована более 10 м или при большом боковом давлении грунта устанавливают второй ярус расстрелов 6 и диагональные связи 7 из швеллеров № 24. Расстояние нижнего яруса расстрелов от верха лотка тоннеля должно быть не менее 50 см.

При ширине котлованов более 20 м (для станций метрополитена и камер съездов) применяются расстрелы в виде сквозных ферм из двутавровых балок или крепь с дополнительными рядами свай 1 (рис. 8.2). В последнем случае в среднем пролете устанавливают инвентарные металлические расстрелы 2 в боковых – расстрелы 4 и подкосы 3.

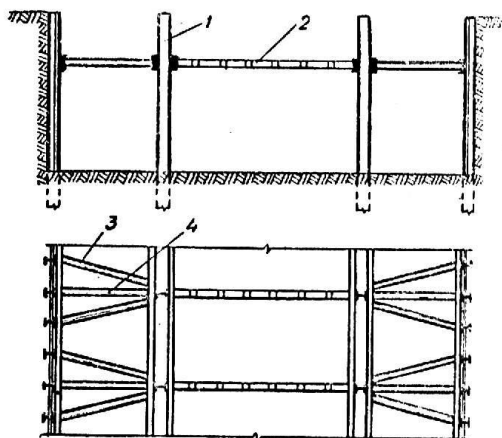


Рис. 8.2. Крепь с дополнительными рядами свай:
1 – дополнительный ряд свай;
2 – центральный расстрел; 3 –

630 мм.

При любых вариантах применения расстрелов на их установку и последующее извлечение затрачивается много времени. Поэтому в практике строительства метрополитенов применяются другие виды крепления котлованов.

Крепление котлованов шпунтовым ограждением целесообразно при сооружении тоннелей в водонасыщенных и не отдающих воду породах, имеющих в основании водоупорный слой.

Шпунт – это металлические сваи, имеющие гребень и паз той же формы и забиваемые вплотную друг к другу для образования сплошной стенки с малой водопроницаемостью.

Сущность шпунтового способа ограждения котлована заключается в том, что до начала создания котлована по обеим сторонам трассы тоннеля сооружается временно шпунтовое ограждение, состоящее из отдельных элементов – шпунтин, забиваемых вплотную друг к другу. Под защитой этого ограждения производится выемка грунта и создание котлована.

Расположение крупных зданий на призме сползания, при сооружении тоннелей котлованным способом, также вызывает необходимость применения шпунтового ограждения как более надежного против осадок зданий.

Порядок производства работ при сооружении тоннелей мелкого заложения с применением стального шпунта остается таким же, как и при креплении котлована сваями. После сооружения тоннеля шпунты выдергивают.

Наличие расстрелов внутри котлована является существенным недостатком данного вида крепления котлована, т.к. они затрудняют работу землеройных машин, осложняют условия монтажа тоннельных конструкций. Поэтому стараются применять такую конструкцию крепления котлована, при которой можно было бы допустить наибольшее расстояние между расстрелами в плане. Для этого устраивают мощные пояса из двух двутавровых балок такого же сечения, как и сваи. Балки укладывают плашмя одна на другую, приваривая их полки к полкам свай. С этой целью в качестве расстрелов используют стальные трубы диаметром до

В настоящее время как в отечественной, так и в зарубежной практике тоннелестроения мелкого заложения получает распространение крепление вертикальных стенок котлованов анкерами.

Анкерное крепление применяют взамен крепления котлованов расстрелами в тех геологических условиях, которые позволяют осуществить заделку анкеров в грунт.

Сущность этого способа состоит в том, что обычную свайную крепь или шпунтовое ограждение котлованов заанкеривают в грунт за линией возможного обрушения грунта 6 (рис. 8.3). Необходимость в установке расстрелов отпадает, что значительно облегчает производство работ по разработке грунта и возведению обделки.

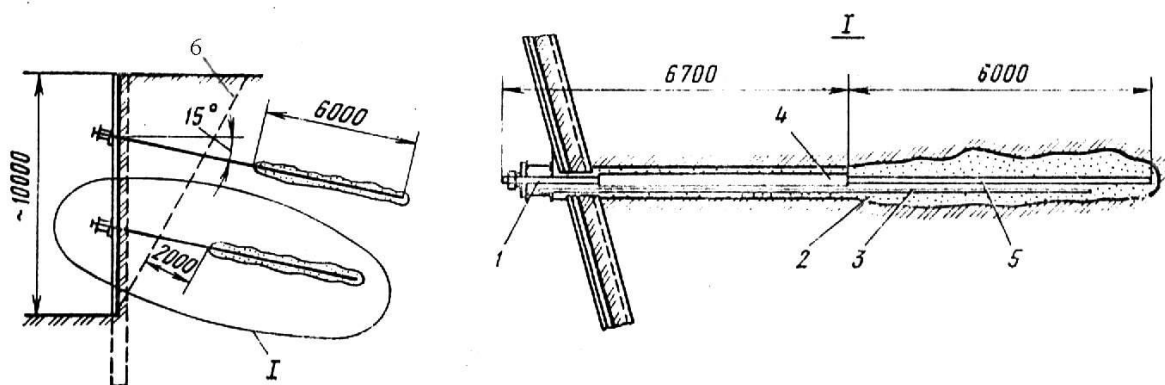


Рис. 8.3. Анкерное крепление котлована и конструкция анкера:

1 – головная часть; 2 – рабочая зона; 3 – трубка вторичного нагнетания; 4 – защитная трубка; 5 – стержень; 6 – линия возможного обрушения грунта.

Конструкция и технология изготовления применяемых анкеров отличаются большим разнообразием.

В качестве примера приведен анкер (см. рис. 8.3) в виде стержня 5 из высокопрочной стали диаметром 26-32 мм. На его переднюю часть надевается защитная трубка 4; к анкеру прикрепляется трубка 3 для вторичного нагнетания цементного раствора через сутки после первичного. Первичное нагнетание производится при помощи гибкой резиновой или стальной трубы, которая тут же извлекается. Цементным раствором заполняется рабочая зона 2 анкера. После схватывания цементного раствора производится натяжение анкера и затем его закрепление в головной части анкера 1.

Анкерное крепление котлована было применено при сооружении монтажной камеры тоннелепроходческого щита при строительстве Донецкого метрополитена.

Нагельное крепление откосов котлована состоит из стальных стержней-нагелей, забиваемых в грунт откосов или вставляемых в просверленные скважины (рис. 8.4). Нагели придают массиву грунта устойчивость, что позволяет увеличить крутизну откосов котлована ($75-80^{\circ}$), а в отдельных случаях при благоприятных геологических условиях – сделать стены котлована вертикальными. Нагели располагаются в шахматном порядке с шагом 1,0-1,2 м в обоих направлениях.

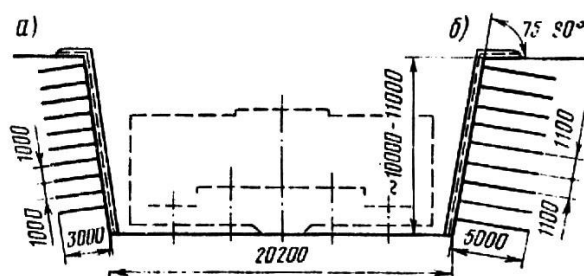


Рис. 8.4. нагельное крепление откосов котлована

Для защиты от атмосферных влияний поверхности откосов, покрывают набрызгбетоном толщиной 50 мм по металлической сетке из проволоки диаметром 3-6 мм с ячейками $150 \times 150 \div 250 \times 250$ мм.

На рис. 8.4 показаны два варианта устройства нагельного крепления. В одном варианте (рис. 8.4 а) нагели диаметром 30 мм и длиной 3,0 м забивают в заранее пробуренные скважины диаметром 24 мм. В другом варианте (рис. 8.4 б) нагели диаметром 18 мм и длиной 5,0 м вставляют в скважины диаметром 105 мм, которые заполняют затем цементным раствором. В обоих вариантах бурение скважин производится электросверлом после схватывания набрызгбетона. В местах расположения нагелей перед нанесением набрызгбетона устанавливают деревянные пробки. Перед сверлением скважин пробки извлекают. Установленные нагели в обоих вариантах закрепляют на набрызгбетоне приваркой к ним фиксаторов.

Разработку грунта и закрепление откосов производят последовательными заходками на глубину 1,0-1,5 м.

Котлованный способ сооружения перегонных тоннелей метрополитена неглубокого заложения предусматривает следующий порядок производства работ.

По длине сооружаемого участка проходят разведочные траншеи по обеим сторонам котлована шириной 0,8 м и глубиной 1,2 м, уточняющих расположение городских коммуникаций и облегчающих забивку свай.

Сваи погружаются до необходимой глубины, превышающей глубину котлована на 3-5 м, вибраторами или молотками, установленными на копрах, передвигающихся вдоль котлована по специально уложенным путям. Погружение свай на глубину 12-14 м ведет бригада из 4-5 чел., производительность такой бригады от 8 до 12 свай в смену. Сваи, имеющие длину, превышающую стандартную, свариваются.

Котлован глубиной до 10 м разрабатывается в 2 приема (рис. 8.5). Первая заходка делается на глубину не более 4 м с разработкой в средней части котлована траншеи глубиной 2,5 м для пропуска эскалатора под расстрелами (рис. 8.6). Разработка грунта первой заходки производится драглайном. Вторая заходка до полной глубины котлована разрабатывается экскаватором (прямая

лопата) или грейфером.

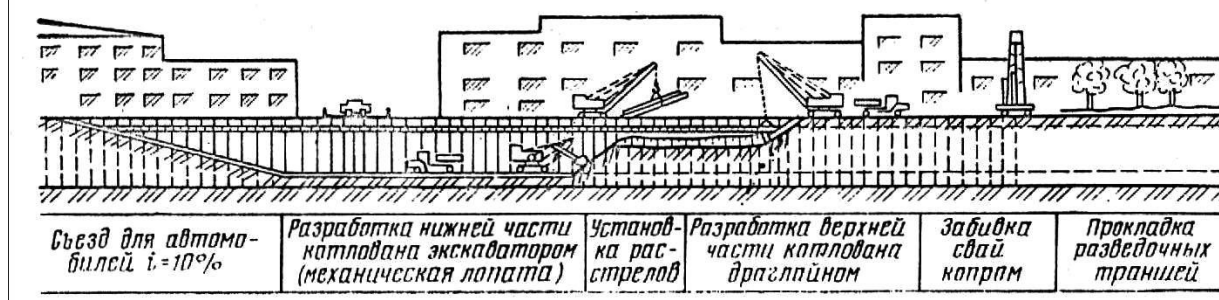


Рис. 8.5. Схема производства земляных работ в котловане.

Наиболее целесообразно применять для разработки котлована экскаваторы универсального типа, которые могут использоваться как механические лопаты, драглайны и краны.

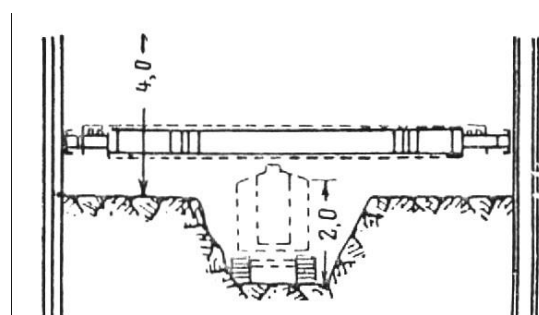


Рис. 8.6. Разработка грунта (первый этап)

При наличии воды применяется искусственное водопонижение.

Крепление стен котлована производится одновременно с разработкой грунта. За полки двутавров заводятся доски и расклиниваются. После разработки котлована до отметки расстрелов верхнего ряда устанавливается продольная связь между сваями в виде поясов из швеллеров. Затем кран опускает расстрелы, устанавливаемые на каждую третью сваю.

Для разработки грунта второй заходки делается съезд для автомашин с уклоном до 0,01 (см. рис. 8.5), по которому опускаются экскаваторы и автомашины. Вслед за разработкой котлована сооружается обделка с одновременным выполнением гидроизоляционных работ.

Обделки из монолитного бетона или железобетона сооружаются в 3 приема: сначала делается лоток, затем стены и перекрытие. Бетон подается краном в ковшах по деревянным лоткам или металлическому шарнирному желобу; при этом используется инвентарная подвижная опалубка.

Элементы сборных обделок укладываются козловым или стреловым краном.

После сооружения тоннеля производится обратная засыпка котлована грунтом, выдаваемым из котлована на головных участках.

Зазор между тоннелями и креплением котлована засыпается песком слоями 30-50 см, а песок поливается водой и утрамбовывается. Сваи вытаскиваются приспособленным для этой цели самоходным краном.

Заключительной работой является планировка строительной площадки, снос временных сооружений и асфальтирование поверхности.

8.2.2 Траншейный способ

Технология сооружения перегонных тоннелей траншейным способом предусматривает в первую очередь разработку траншей для стен тоннеля. Ширина траншей поверху обычно принимается из расчета, чтобы при всех видах временной крепи, включая забивку шпунтового ограждения (при необходимости в водонасыщенных неустойчивых грунтах) – ширина понизу была не менее 2 м. Глубина траншей – до 15 м. Короткие траншеи (длиной до 6 м) разрабатываются горизонтальными слоями, длинные – вертикальным забоем с уступами высотой до 2 м и длиной обычно 3 м. Вслед за разработкой устанавливают крепь траншеи, размещая стойки через 1,5 м и расстрелы в несколько ярусов.

Бетонирование стен в траншеях 1 (рис. 8.7 а) ведется отдельными столбами на ширину расстояния между стойками крепи. На этом небольшом участке укладывают бетонную подготовку, устанавливают защитную стенку из асбестоцементных или тонких железобетонных плит, наклеивают гидроизоляцию, устанавливают опалубку 4 и укладывают бетонную смесь на всю высоту обеих стен 5. Для связи столбов между собой в их торцовых поверхностях делают штрабы. После выдержки бетона, не снимая опалубки, стойки крепи котлована распирают в столб стены и, убрав прилегающие расстрелы, повторяют все операции по изоляции и бетонированию примыкающего столба. Так продвигаются по обеим траншеям на полную

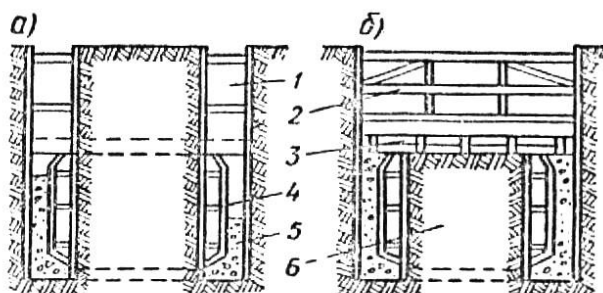


Рис. 8.7. Очередность работ при траншейном способе:
1 – траншея; 2 – временная крепь перекрытия тоннеля; 3 – опалубка свода; 4 – опалубка стен; 5 – бетон; 6 – ядро тоннеля.

длину.

Затем разрабатывают котлован для перекрытия (рис. 8.7 б), применяя также временную крепь 2. На спланированной подошве котлована устанавливают опалубку 3, монтируют арматурный каркас и бетонируют перекрытие. По достижении бетоном 75% проектной прочности наносят выравнивающий слой цементно-песчаного раствора с необходимым уклоном, наклеивают гидроизоляцию, соединяя ее с изоляцией стен, и укладывают защитный слой. Целесообразно применение для перекрытия сборных железобетонных плит заводского изготовления. На этом все работы, связанные со вскрытием поверхности, кончаются. Удаляя элементы крепи, засыпают котлован также с послойной поливкой и уплотнением, делают планировку и восстанавливают проезжую часть улицы.

Ядро тоннеля 6 разрабатывают закрытым способом под защитой возведенной обделки с применением экскаваторов и автомобилей-самосвалов, устраивая наклонный въезд с одной стороны тоннеля. Лоток бетонируют поперечными полосами с предварительной наклейкой гидроизоляции по

бетонной подготовке.

Таким образом, при траншейном способе только первый этап работ – возведение стен обделки тоннеля – не поддается полной механизации и ведет к возрастанию трудоемкости и стоимости строительства.

Для устранения этого недостатка разработан более совершенный способ «стена в грунте».

8.2.3 Щитовой (открытый) способ

Щитовой способ имеет преимущество перед котлованным и траншейными способами, так как не требует специального крепления стен котлована и в большей степени механизует все производственные процессы.

Высокая степень механизации строительства перегонных тоннелей обеспечивается применением передвижной крепи со сплошными стенками. Такая крепь позволяет сооружать тоннели по схеме щитовой проходки с полным исключением крепления стен котлована связями. При использовании передвижной крепи обделку собирают из цельных секций заводской готовности, получивших большое распространение при строительстве перегонных тоннелей открытым способом.

В состав комплекса механизированного оборудования для сооружения двухпутного перегонного тоннеля, помимо передвижной крепи (щита), входит козловой кран грузоподъемностью не менее 20 т или стреловые краны, экскаватор, оснащенный ковшом-обратной лопатой, и бульдозер.

Двухпутный тоннель образуется двумя рядами секций, установленных с зазором 60 мм, который заполняют цементно-песчаным раствором или песком.

Конструкция щита (рис. 8.8) имеет прямоугольное поперечное сечение. Нижняя и боковые части щита, образующие корпус 3, - жесткие сварные элементы, соединяемые на болтах. Впереди предусмотрена ножевая часть 2, назначение которой частично подрезать и перемещать грунт к оси щита.

В щите имеются вертикальные и горизонтальные перегородки 1 и поперечная стена – диафрагма с люками, отделяющая зоны разработки породы и монтажа конструкции. Листы оболочки щита выступают за пределы основной его конструкции. В дополнение к ним для ограждения зоны монтажа конструкции предусмотрены боковые металлические листы 4, скрепленные с конструкцией щита.

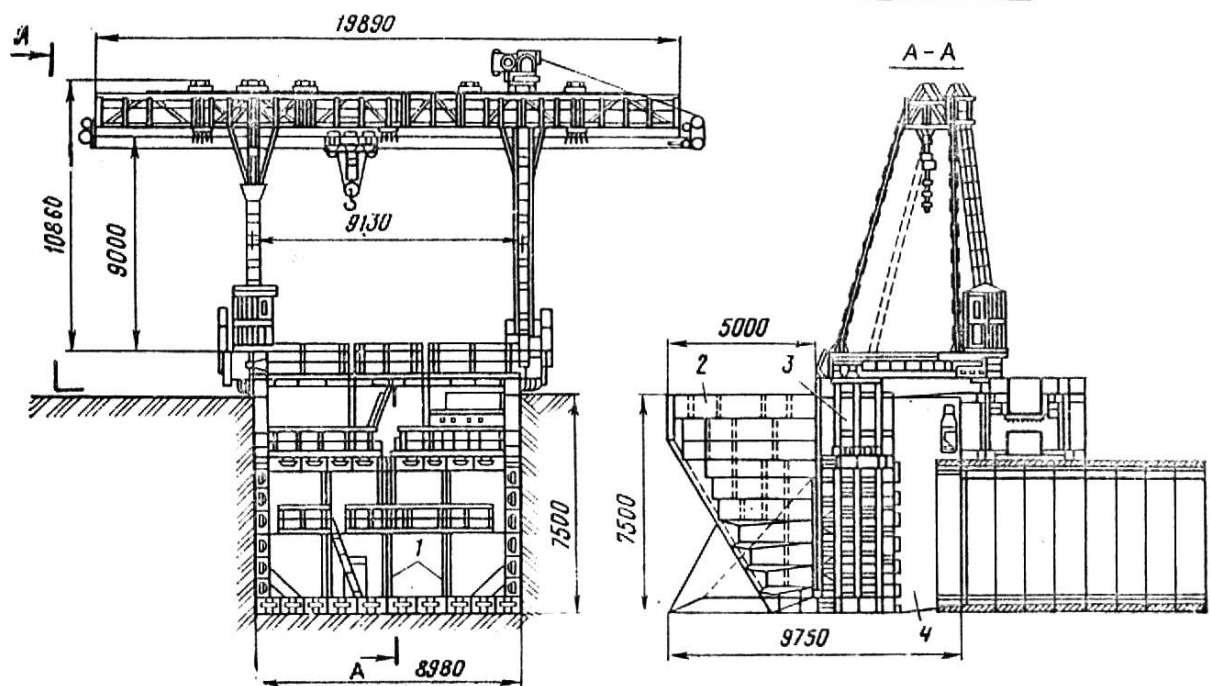


Рис. 8.8. Конструкция щита прямоугольного сечения:

1 – перегородка щита; 2 – ножевая часть; 3 – корпус; 4 – металлические листы.

Таким образом щит представляет собой пространственную конструкцию прямоугольного сечения, состоящую из трех основных частей: ножевой, опорной и хвостовой. Ножевая и хвостовая части открыты сверху и снизу, так как выполнены в виде вертикальных металлических стенок. Передние кромки ножевой части имеют заострение для внедрения в грунт и выполнены со скосом соответственно лобовому откосу разрабатываемой перед щитом выемки. Для придания необходимой жесткости ножевым стенкам предусмотрены трубчатые раскосы, установленные так, что они не препятствуют разработке грунта экскаватором.

В опорной части щита по его периметру расположены 30 щитовых домкратов, штоки которых с башмаками выдвигаются в сторону уложенной обделки с возможностью упора в нее. Здесь же расположены станция из трех гидронасосов и электродвигателя и место машиниста с пультом управления.

Щит монтируют в котловане с вертикальными стенками. Позади щита возводят упорную стену, рассчитанную на нагрузку от воздействия щитовых домкратов.

Передвижение щита ведется при помощи 30 гидравлических домкратов общим усилием до 900 т (9000 кН) при давлении рабочей жидкости до 75 атмосфер (7,5 МПа). Питание домкратов жидкостью осуществляется от трех гидронасосов, расположенных в нижней ячейке щита.

Производство работ щитом (рис. 8.9) складывается из следующих процессов. Покрытие проезжей части улицы на ширину выемки и длину 30-40 м снимают бульдозером 1. Грунт в забое перед щитом разрабатывают при помощи ковшовых стругов или экскаватора-драглайна 2. В случае применения

стругов грунт выдается на поверхность при помощи ковшей на пластинчатый транспортер и далее на подвижной транспортер-перегрузатель. С последнего грунт может быть направлен в самосвалами в отвал и частично на засыпку готовой конструкции. Во втором случае экскаватор-драглайн (ковш емкостью 1-1,5 м³) обеспечивает разработку грунта перед щитом 3 на глубину до 8 м и выдачу его на поверхность с погрузкой в самосвалы.

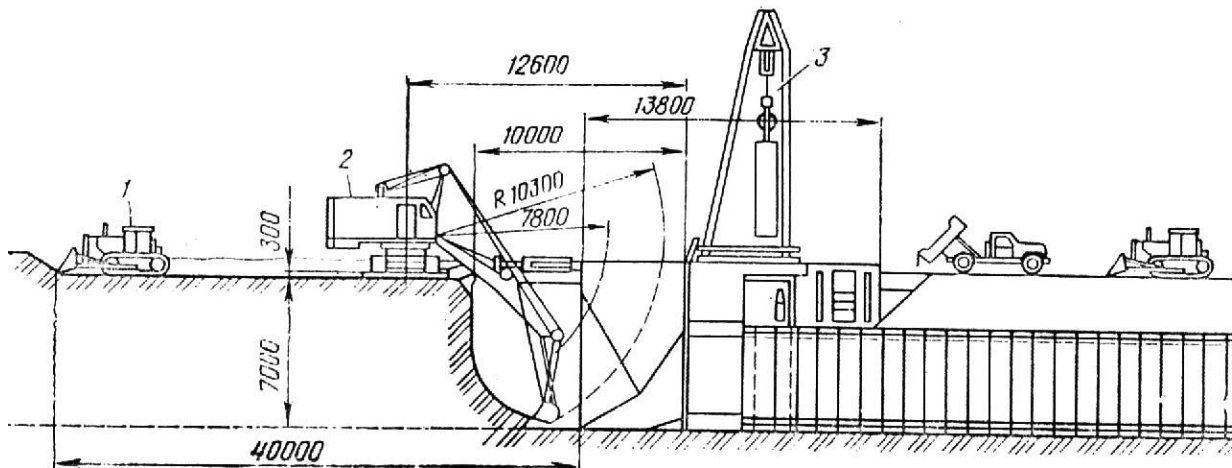


Рис. 8.9. Сооружение тоннелей с цельносекционной обделкой щитовым способом:

1 – бульдозер; 2 – экскаватор-драглайн; 3 – кран.

При ширине выработки до 9 м, что соответствует двухпутному тоннелю, техническая производительность экскаватора с ковшом емкостью 1 м³ достигает 72 м³/ч, а скорость продвижения забоя доходит до 1 м/ч.

Разрабатываемый грунт грузят в автомобили-самосвалы и транспортируют в зону обратной засыпки или в отвал.

Щит продвигается по мере разработки забоя с помощью щитовых домкратов, опирающихся в торец последней установленной секции обделки через распределительные рамы. В зависимости от требуемого направления продвижения, определяемого по маркшейдерским данным, включают ту или другую группу домкратов. При продвижении щита его ножевые секции срезают грунт, оставленный экскаватором в пределах стен и в подошве котлована. Общая длина заходки равна длине секции обделки (1,5 м).

На подошве котлована, выровненной ножевными секциями щита, устраивают основные обделки тоннеля из жесткой бетонной смеси толщиной 15 см. Смесь подают краном в специальных емкостях – кубелях, распределяют в зоне оболочки щита по подошве котлована, уплотняют и выравнивают по маркшейдерским отметкам.

Секцию устанавливают на подготовленное основание с выверкой ее положения в плане и по высоте тоннеля. Установленную секцию прижимают щитовыми домкратами к торцу другой, ранее установленной секции. Взаимное их положение фиксируют металлическими накладками, привариваемыми к симметрично расположенным закладным деталям.

Водонепроницаемость секций обеспечивается оклеичной

гидроизоляцией, наносимой на все наружные поверхности секций в заводских условиях. Гидроизоляцию выполняют на механизированном стенде, который имеет поворотный стол, установку по разогреву изоляционного материала и механизм прижатия изоляции к секции. Изоляцию загибают на борта (торцы) секции. Для защиты изоляции от механических повреждений при транспортировании, монтаже и эксплуатации секций по периметру оклеивают асбошиферными листами.

Гидроизоляцию стыков между секциями обделки выполняют из тоннеля с отставанием от устанавливаемых секций на 6-8 м, сваривая (с помощью газовой горелки) выпуски гидроизоляции с торцов секций. Сваренные выпуски укладывают в образованную сочленением секций канавку, оставшуюся часть которой зачеканивают быстросхватывающейся уплотняющей смесью (БУСом). Таким образом гидроизоляция образует замкнутый контур. Стыки в зоне верхних ригелей секций заполняют горячей битумной мастикой.

Пазухи между секциями обделки тоннеля и стенами котлована заполняют песком с уплотнением его путем увлажнения водой до насыщения.

Строительный зазор между стенами выработки и конструкцией тоннеля заполняется сухим просеянным песком, который в последующем смачивается. Необходимое количество сухого песка помещается в специальных бункерах, прикрепленных к оболочке щита. Песок, непрерывно выпускаемый из выходного отверстия бункера через прорези в боковых листах, автоматически заполняет строительный зазор.

Засыпка конструкции тоннеля ведется вслед за гидроизоляцией при помощи самосвалов или транспортеров с последующим разравниванием грунта бульдозерами.

Применение щитового способа сооружения двухпутных перегонных тоннелей с цельносекционной обделкой выявило его преимущества по сравнению с котлованным и траншейным, заключающиеся:

- в увеличении скорости и сооружения тоннеля;
- в уменьшении числа трудоемких процессов;
- в повышении уровня индустриализации работ.

8.3 Технология сооружения станций открытым способом

Станции метрополитенов при глубине их заложения до 10 м, а в единичных случаях до 20 м, сооружаются в котлованах. Поэтому работы по выемке грунта и возведению конструкций из железобетонных элементов для двухпутных перегонных тоннелей и такие же работы, выполняемые для станций, не имеют принципиальных отличий.

В зависимости от места расположения станции в городе, котлован отрывается с откосами или со свайным (реже шпунтовым) способом крепления его стен.

Городские подземные коммуникации, расположенные в пределах котлована, перекладываются или подвешиваются к креплению котлована. Ширина котлована для сооружения станции достигает 18-20 м, и его крепь обычно состоит из свай – двутавровых балок № 55, забиваемых на расстоянии 1,2 м одна от другой и одного ряда расстрелов (рис. 8.10).

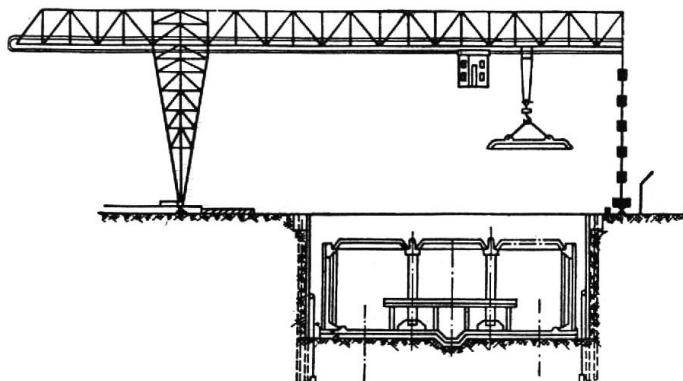


Рис. 8.10. Монтаж сборной обделки станции

Разработка грунта котлована для станции производится обычно в 2, а иногда в 3 яруса. Последнее может быть продиктовано необходимостью водопонижения, которое нельзя осуществить сразу на нужную глубину. При этом глубина заходки первого яруса определяется уровнем

грунтовых вод, от которого осуществляется погружение иглофильтров.

Разработка грунта котлована производится экскаватором (см. рис. 8.5); для котлована после окончания разработки грунта зачищается бульдозером перед укладкой бетонной подготовки.

Гидроизоляция лотка станции наклеивается или наносится на цементно-песчаную стяжку, уложенную по бетонной подготовке, и покрывается сверху такой же стяжкой для предохранения от повреждений. Затем укладываются лотковые блоки на цементно-песчаном растворе или устанавливается арматура и бетонируется лотковая плита станции, по длине которой устраиваются 2-4 деформационных шва.

Монтаж сборной обделки станции осуществляется обычно козловым и реже стреловым краном, грузоподъемность которого определяется весом элементов обделки. Кран перемещается по рельсам, уложенным на бровках котлована. Тем же краном и одновременно с обделкой собираются внутренние конструкции станции: путевые и подплатформенные стены и пассажирская платформа.

При сборке обделки применяются монтажные тележки, передвигающиеся по лотковой плите и предназначенные для выверки правильности положения блоков обделки и соединения их между собой сваркой закладных деталей.

Колонны, стеновые блоки и прогоны удерживаются краном до окончания процесса подклинки и сварки закладных деталей. После выверки правильности положения элементов обделки все швы между ними заливаются цементно-песчаным раствором. Устойчивость станции до ее засыпки грунтом обеспечивается постановкой временных связей.

Гидроизоляция стен и перекрытия станции осуществляется после окончания монтажа всех конструкций и их замоноличивания; она

наклеивается или наносится на наружные поверхности стен и по перекрытию, покрытому предварительно слоем цементно-песчаного раствора, которым создаются уклоны от середины к краям для стока воды. Гидроизоляция защищается стенками из кирпича, бетонных плит или асбоцементных листов и армированной цементно-песчаной стяжкой толщиной 4-5 см (по перекрытию).

Демонтаж водопонизительной установки, извлечение иглофильтров и выдергивание свай крепления котлована производится после окончания изоляционных работ.

Зазоры между стенками котлована и станционной обделкой засыпаются песком с обеих сторон одновременно. Каждый слой песка толщиной 50 см поливается водой и тщательно утрамбовывается. Слой засыпки над перекрытием утрамбовывается специальными катками.

8.4 Строительство тоннелей и станций способом «стена в грунте»

Современной разновидностью траншейного способа является способ, при котором траншеи для их временного закрепления заполняют специальным глинистым раствором.

Впервые этот способ был осуществлен в Милане, а затем на строительстве некоторых зарубежных метрополитенов.

В практике отечественного метростроения «миланский способ» был частично преобразован и получил название «стена в грунте». В качестве глинистого раствора, выполняющего функции временного крепления, используют бентонитовые глины. Бентонит – это разновидность глины, очень гигроскопичен и при соединении с водой образует глинистый коллоидный раствор. Количество бентонита в растворе принимается от 4 до 18% в зависимости от условий. Плотность его в пределах 1,05-1,25 г/см³ препятствует проникновению грунтовой воды и обрушению стенок траншеи.

Сущность способа «стена в грунте» заключается в производстве работ вдоль трассы участками длиной 3-5 м (рис. 8.11).

Работы начинают с устройства неглубокой пионерной траншеи вдоль будущей стены тоннеля. Стенки траншеи укрепляют оголовником в виде двух рядов железобетонных элементов прямоугольного сечения, укладываемых на расстоянии, соответствующем толщине сооружаемой стены. Пионерная траншея может быть образована двумя рядами железобетонных плит, уложенных с заданным расстоянием между ними на точно спланированной поверхности. Плиты служат основанием для перемещаемых вдоль траншеи механизмов.

Пионерная траншея постоянно заполнена глинистым раствором. По мере разработки грунта в пределах очередной захватки выработка непрерывно заполняется глинистым раствором, поступающим из пионерной траншеи. При бетонировании захватки вытесняемый раствор перетекает в другую захватку или откачивается насосом.

Разработку траншей под глинистым раствором обычно ведут

грейферным экскаватором, однако в отдельных случаях применяют специальные буровые агрегаты.

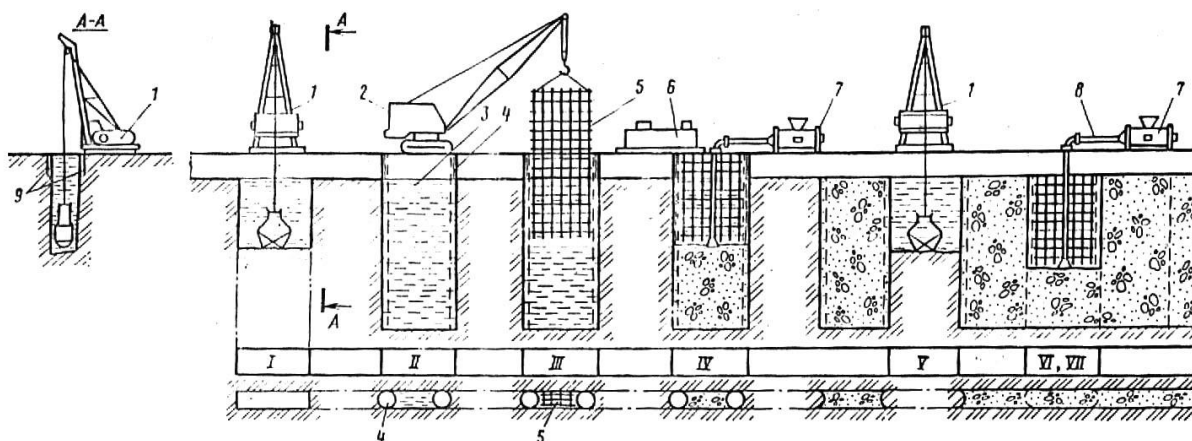


Рис. 8.11. Технологическая схема возведения стен подземного сооружения в траншеях под глинистым раствором:

I – разработка грунта под глинистым раствором; II – опускание разделительных элементов; III – установка арматуры; IV – бетонирование и извлечение разделительных элементов; V – разработка грунтовых целиков; VI – установка арматуры в траншее; VII – бетонирование стены; 1 – грейферный кран; 2 – стреловой грузоподъемный кран; 3 – глинистый раствор; 4 – разделительные элементы; 5 – арматурный каркас; 6 – отстойник для глинистого раствора; 7 – бетононасос; 8 – бетоновод; 9 – бетонные блоки.

Разработку грунта грейферным экскаватором ведут аналогично разработке его при способе подводного землечерпания. Для обеспечения необходимой точности разработки траншеи применяют плоские двухчелюстные грейферы на направляющих штангах с принудительным вдавливанием в грунт. В процессе разработки грунта глинистый раствор постепенно загрязняется и требует периодической очистки.

Смешанный с глинистым раствором грунт выкачивается из захватки всасывающим насосом или эрлифтом в очистную установку, где под действием центробежных сил происходит отделение частиц грунта от глинистого раствора. Отделенный от раствора грунт с помощью транспортера подается в контейнер, выгружается в автотранспорт и вывозится к месту отвала.

Ограничители захваток бывают инвентарные, извлекаемые после бетонирования захватки, и стационарные, которые оставляют в конструкции стены. В качестве инвентарных ограничителей применяют, как правило, трубы, имеющие диаметр, равный ширине траншей. К трубам на диаметрально противоположных сторонах приваривают в продольном направлении уголки (полками к образующей трубы). При погружении трубы выступающие части уголков врезаются в борта траншеи и снижают утечку бетона из захватки в процессе бетонирования. Получаемая после извлечения

трубы полукруглая форма боковой грани участка стены способствует совместной работе соседних участков.

В качестве стационарных ограничителей используют обычно железобетонные сваи, устанавливаемые таким образом, чтобы своими ребрами они врезались в стенки траншеи.

После разработки грунта в пределах очередной захватки в нее опускают арматурные каркасы и приступают к бетонированию участка стены.

Бетонирование траншеи под глинистым раствором ведут методом вертикально перемещаемой трубы. Установка для бетонирования этим методом включает комплект металлических бетонолитных труб из отдельных звеньев с быстроразъемными замками, бункер и опорную раму для фиксации бетонолитных труб с приспособлением для удержания их в подвешенном состоянии при демонтаже очередного звена.

Перед бетонированием очередной захватки в нее опускают арматурные каркасы.

Арматурные каркасы обычно имеют большую длину, поэтому их собирают из отдельных секций прямо на строительной площадке. Вначале опускают в траншею нижнюю секцию и подвешивают ее к оголовку траншеи, затем приваривают к ней вторую секцию, опускают ее и приваривают третью. Для обеспечения постоянного защитного слоя бетона каркасы опускают по направляющим рейкам, отделяющим каркас от стенки траншеи.

В арматурных каркасах оставляют специальные проемы для спуска и подъема трубы бетонолитной установки. Если в захватку опускают два каркаса, то бетоновод вводят в зазор между ними.

В процессе бетонирования следят за тем, чтобы оно было непрерывным и не происходило прорыва глинистого раствора в бетоновод. По мере бетонирования бункер с бетоноводом периодически поднимают так, чтобы труба оставалась заглубленной в бетон в пределах от 0,8 до 1,2 м. Бетонирование одной захватки следует вести без перерывов.

Стены тоннеля или станции бетонируют выше уровня будущего перекрытия или пяты свода. В последующем избыточный слой бетона, загрязненный глинистым раствором, скалывают до требуемой отметки.

Если тоннель перекрывается сборными железобетонными элементами, то по верху стен устраивают продольные монолитные железобетонные пояса. После выстойки бетона и разработки грунта между стенами до уровня перекрытия тоннеля устанавливают железобетонные элементы перекрытия, соблюдая определенное расстояние между ними. При разработке грунта в пределах сечения тоннеля эти элементы служат распорками для стен.

По окончании разработки грунта выполняют планировку дна котлована и бетонируют лоток. По мере бетонирования лотка ведут укладку железобетонных элементов перекрытия в оставленных промежутках с омоноличиванием мест примыкания их к продольным поясам и швов между ними. После этого устраивают гидроизоляцию перекрытия, укладывают защитный слой и производят обратную засыпку котлована.

В практике отечественного метростроения метод «стена в грунте»

используется не только при строительстве однопролетных двухпутевых перегонных тоннелей, но и при сооружении односводчатых станций мелкого заложения. В ряде случаев возводимые таким методом стены используют в качестве ограждения котлованов, располагаемых в непосредственной близости от многоэтажных зданий и других ответственных сооружений.

При строительстве станций стены заглубляют на 4-5 м ниже лотковой части с тем, чтобы они работали как конструкции, заземленные нижним концом в толще грунта. При водоносных грунтах и наличии близко расположенного водоупора стены целесообразно заделывать в водоупор, так как в этом случае отпадает необходимость в применении специальных способов работ – водопонижения или искусственного замораживания грунтов.

Односводчатые станции со стенами, возводимыми методом «стена в грунте», сооружают с монолитным железобетонным сводом и лотком. Разработаны варианты конструкций со сводом и лотком из укрупненных железобетонных элементов, омоноличиваемых в процессе их монтажа.

В конструкции пространственных арматурных каркасов стен станций предусматривают штрабы и специальные элементы для сопряжения стен со сводом и лотком станции. Кроме того, каркасы оборудуют соединительными элементами замкового типа для обеспечения жесткости конструкции и герметичности стыков отдельных участков стен. При бетонировании свода используют инвентарные передвижные опалубки.

8.5 Особенности сооружения наземных и надземных участков линий метрополитена

8.5.1 Наземные участки

Наземные участки линий метрополитена располагаются обычно на периферии города и вдоль существующих пригородных линиях железных дорог, где имеется возможность выделить полосу, ось которой удалена от жилой застройки на расстояние не менее 60 м.

В общей протяженности всех линий метрополитенов мира протяженность наземных линий составляет около 40%. В отечественной практике метростроения на долю наземных участков приходится десятая часть общей длины всех линий и в перспективе эта часть несколько возрастает в связи с расширением новых застроек на окраины городов.

На наземных линиях метрополитена земляное полотно располагается на нулевых местах профиля, насыпях высотой не более 2-х метров и в выемках небольшой глубины.

Ширина земляного полотна однопутных линий должна быть не менее 5 м для двухпутных не менее 9 м. для обеспечения быстрого стока воды, поступающей от дождей и таяния снега через балластный слой, площадка земляного полотна в поперечном сечении планируется в виде призмы с возвышением средней части на 15-20 см. Вдоль линии на перегонах

устанавливают дренажные каналы с прокладкой снизу перфорированных в верхней части асбоцементных труб с уклоном к сточным колодцам. Канавки до уровня основной площадки засыпаются гравием.

Земляное полотно наземных линий метрополитена является нижним строением железнодорожного пути и проектируется по общим нормам для сети железных дорог. Оно должно быть прочным, стабильным, предохранено от деформаций и защищено от разрушающего воздействия природных факторов.

Станции наземных линий метрополитена обычно размещаются в местах пересечений линий метрополитена с другими транспортными линиями.

Основными элементами таких станций являются пассажирские платформы, крытые навесы, переходные мостики с лестницами или подземные переходы и наземные вестибюли. Объемно-планировочные решения станций наземных линий зависят от расположения платформ. По этому признаку станции наземных линий подразделяются на одноплатформенные с островными платформами, двухплатформенные с боковыми платформами. Опыт эксплуатации показывает преимущество одноплатформенных станций с островными платформами. Такие станции (рис. 8.12) имеют более простое решение сообщения с поверхностью, позволяют пассажиру в пределах одной платформы изменить направление проезда без перехода на другую платформу. Недостаток станций такого расположения в наличие встречных потоков пассажиров в пределах одной островной платформы, особенно в часы «пик» на станциях с большим пассажирооборотом.

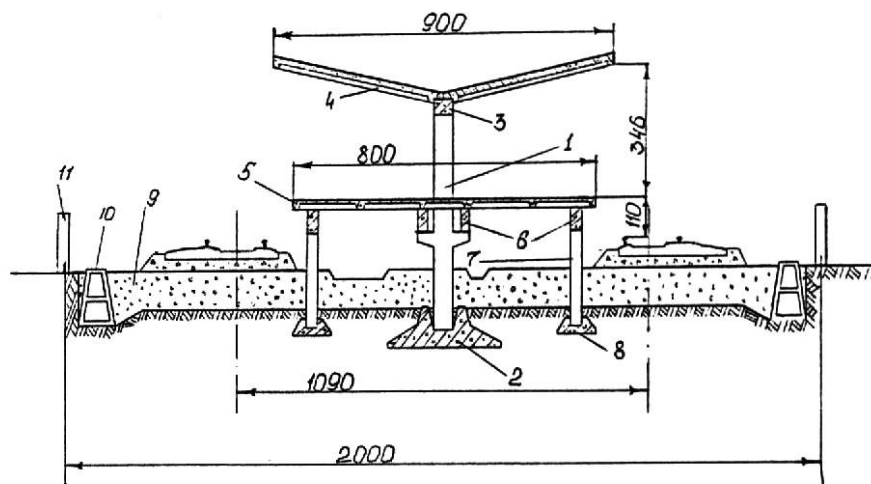


Рис. 8.12. Наземная островная одноплатформенная станция:

- 1 – центральная железобетонная колонна; 2 – фундаментный блок;
- 3 – прогон; 4 – ребристая плита покрытия; 5 – плита основания; 6 – балки основания; 7 – стойки железобетонные; 8 – опорный башмак;
- 9 – песчаная подсыпка; 10 – дренажная канава; 11 – ограждающий забор.

Одноплатформенные островные станции состоят из центральных железобетонных колонн 1 (рис. 8.1), которые устанавливаются на фундаментные блоки 2. По верху прокладываются прогоны 3 из обычного или предварительно напряженного железобетона, стыкуемые над колоннами. Покрытие навеса собирается из ребристых плит 4. Платформы станций настилаются из ребристых плит 5 по железобетонным балкам 6, которые укладываются с одной стороны на консоли колонн, с другой на железобетонные стойки 7 с опорными башмаками 8. Грунт площадки земляного полотна заменяется песчаной подсыпкой 9. По бокам устраиваются дорожные канавы 10 из лотков сборного железобетона. Станции огораживаются забором 11.

В двухплатформенных станциях с боковыми платформами (рис. 8.13) отсутствует пересечение встречных потоков пассажиров, но возникает необходимость в создании дополнительных устройств для перехода с одной платформы на другую, что является существенным недостатком.

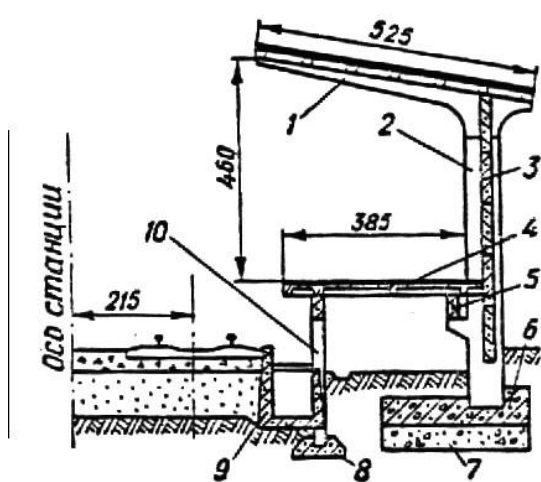


Рис. 8.13. Наземная станция с боковой платформой:

1 – консоль покрытия; 2 – колонна; 3 – плита ограждения (межколейная); 4 – плита платформы; 5 – железобетонная балка; 6 – фундаментный блок; 7 – бетонная подушка; 8 – башмак; 9 – дренажная канава; 10 – стойка платформы.

Станции с боковыми платформами имеют два навеса, расположенных над пассажирскими платформами. Несущая конструкция навеса состоит из Г-образных рам, расположенных через 3,5 м и собираемых из трех элементов: фундаментного блока 6, колонны 2 и консоли покрытия 1. Фундаментный блок укладывается на бетонную подушку 7. По верху платформенных консолей укладываются железобетонные блоки 5. Пассажирские платформы также сборные – из железобетонных плит 4, стоек 10, башмаков 8. Станционные пути укладываются на общий балластный слой, по бокам которого устраиваются дренажные канавы 9.

На станциях как с островными, так и с боковыми платформами по длине через каждые 36 м устраивают температурные швы с установкой сдвоенных колонн на отдельные фундаментные блоки.

Вестибюли наземных станций и переходные мостики располагаются в торце или в середине пассажирской платформы с увязкой с городской планировкой и рельефом местности. Иногда вместо переходных мостиков сооружают подземные тоннели с выходом на середину платформы.

Основные размеры посадочной платформы зависят от проектируемой интенсивности пассажиропотока. Так, общая длина платформы L определяется в зависимости от расчетной длины поезда по формуле

$$L = n \cdot \ell + a, \text{ м}, \quad (8.1)$$

где ℓ - длина вагона, м;
 n - число вагонов в поезде;
 a - запас длины платформы, согласно СНиП не менее 3 м.
 Расчетное число вагонов в поезде определяется по формуле

$$n = \frac{P_{\text{ч}}}{N \cdot W}, \quad (8.2)$$

где $P_{\text{ч}}$ - наибольшее расчетное значение пассажиропотока, чел./час;
 N - пропускная способность линии метрополитена в одном направлении, 40-48 поездов в час;
 W - вместимость вагона, 170 пассажиров.
 Расчетная ширина $B_{\text{остр.}}$ Посадочных островных платформ определяется по формуле:

$$B_{\text{остр.}} = 2B_{\text{бок}} + m, \text{ м}, \quad (8.3)$$

где $B_{\text{бок}}$ - ширина посадочных боковых платформ, м;
 m - дополнительная ширина платформы, учитывающая продольное движение пассажиров по платформе, $m = 2 - 3$ м.
 Расчетную ширину посадочных боковых платформ $B_{\text{пл}}$ определяют из выражения:

$$B_{\text{пл}} = \frac{A \cdot \eta \cdot f}{k \cdot N \cdot L} + v, \text{ м}, \quad (8.4)$$

где A - максимальное расчетное значение пассажирооборота станции, пассажиров/час;
 η - коэффициент неравномерности пассажиропотока, $\eta = 0,6$;
 f - плотность заполнения платформы, $\text{м}^2/\text{чел.}$;
 k - коэффициент неравномерности движения поездов, $k = 0,5 - 1,0$;
 v - ширина полосы безопасности, $v = 0,4$ м.

Основные размеры посадочных платформ, наземных станций определенные по формулам 8.1-8.4 должны быть увязаны с рекомендуемыми СНиП. Так, минимальная длина платформы допускается 100 м, что обеспечивает пропуск пятивагонного состава. Ширина островной платформы одноплатформенной станции должна быть не менее 8 м, а боковых в

двухплатформенной станции – не менее 4 м каждая. Высота платформы от уровня головки рельсов должна быть не менее 1,1 м.

Наземные станции целесообразно размещать в местах образования больших потоков пассажиров: пересечения городских магистралей, в районных центрах, а также на пересечениях автодорожных и железнодорожных линий. В этом случае возможен прямой выход поездов метрополитена на пригородные железнодорожные участки.

Пассажиры платформы наземных станций должны оборудоваться навесами, которые защищают территорию платформы от атмосферных осадков. При этом для боковых платформ применяются одноконсольные Г-образные навесы, а для островных двухконсольные навесы. Возможно также расположение платформы наземной станции в закрытом помещении. Примером такого конструктивного решения может быть станция «Калужская» Московского метрополитена, которая имеет одну островную платформу, расположенную в закрытом помещении.

Платформы и навесы обычно сооружаются из типовых сборных железобетонных изделий. Настил платформы выполняется из сборных крупноразмерных железобетонных ребристых плит по железнодорожным предварительно-напряженным подплатформенным балкам-прогонам, которые опираются на отдельно стоящие колонны, шаг которых 3-6 м. Фундаменты под колонны проектируются сборными, стаканного типа.

Навесы над платформами выполняются или из сборных железобетонных плит покрытия или асбошиферными.

Наземные станции такого типа, практически полностью выполнены из типовых сборных железобетонных элементов, нашли применение при строительстве Московского, Санкт-Петербургского и Тбилисского метрополитенов.

Вестибюли наземных метрополитенов предназначены для обеспечения входа и выхода в станционные помещения метрополитена. Наземные вестибюли предусматриваются в тех случаях, когда не требуются подуличные переходы. Располагаются наземные вестибюли, как правило, у обоих концов станции. Выбор местоположения и размеры их зависят от архитектурно-планировочного решения застройки района города, размера пассажиропотоков, удобства обслуживания пассажиров.

По расположению наземные вестибюли разделяются на отдельно стоящие в виде павильонов, либо встроенными в первые этажи зданий. В последнем случае необходимо предусматривать специальные мероприятия, исключающие вибрацию здания и снижающие шум от движущихся поездов. Для предотвращения возможных деформаций конструкций, возникающих из-за неравномерной осадки опор, здания в этом случае должны иметь осадочные швы.

Объемно-планировочное и конструктивное решение наземных вестибюлей должно учитывать условия эксплуатации и быть увязано с другими элементами станционных сооружений. По связи с платформенными залами станции наземные вестибюли могут быть связаны непосредственно с

ними или через промежуточные подземные вестибюли.

Первый тип подземных вестибюлей, т.е. когда их связь с платформенными залами станции осуществляется непосредственно, имеет наибольшее распространение в практике строительства наземных участков метрополитенов, так как при этом отпадает необходимость устройства промежуточных подземных вестибюлей при незначительном углублении уровня пола платформы станции.

Второй тип наземных вестибюлей сооружается при незначительном углублении уровня платформы метро относительно уровня земной поверхности и служит для ограждения лестничных спусков, которые связывают входы и выходы, расположенные на поверхности земли, с заглубленным вестибюлем.

В компоновочном отношении вестибюли наземных станций выполняются прямоугольными в плане размером 17x10 м и представляют собой легкие сооружения, опирающиеся на стены заглубленного вестибюля. Колонны применяются полые железобетонные или металлические. Перекрытие выполняется из типовых сборных железобетонных ребристых плит по железобетонным прогонам, ограждение в виде витражей.

При проектировании наземных вестибюлей необходимо обеспечивать раздельное движение пассажиров, не допускающее пересечения встречных пассажиропотоков. Входы и выходы должны устраиваться раздельно, на уровне уличного тротуара.

Наземные тяговые подстанции предназначены для преобразования трехфазного переменного тока в постоянный.

На линиях метрополитенов электроэнергия используется для электропоездов, эскалаторов, санитарно-технических установок, электрического освещения и т.д. Основными потребителями электроэнергии являются электропоезда, тяга которых осуществляется двигателями постоянного тока. На метрополитенах Украины питание тяговой сети производится постоянным током напряжением 825 В.

Наземные тяговые подстанции линий метрополитена представляют собой здания городского типа. Они располагаются на поверхности вдоль линий на расстоянии, зависящем от тяговых нагрузок. Такие подстанции содержат распределительные устройства, трансформаторы, кремниевые выпрямители, аккумуляторы. Питание тяговых подстанций осуществляется от центров энергосистемы города высоковольтными кабелями и реже воздушными сетями напряжением 6-10 кВ. Через вводы высокого напряжения электроэнергия поступает в распределительные устройства высокого напряжения, затем – в трансформаторы и выпрямители. Далее электроэнергия постоянного тока через распределительные устройства, питающие и отсасывающие линии поступает в тяговую сеть для питания подвижных составов. Для гарантии бесперебойной работы электрический ток к тяговым подстанциям подводится по двум параллельным линиям. Кроме того, между двумя соседними тяговыми подстанциями устраивают кабельную перемычку, которая несет нагрузку в случае прекращения питания подстанции по

основным линиям.

Вагонное депо линий метрополитенов предназначены для выполнения функций технического обслуживания, текущего, периодического и мелкого ремонта подвижных составов, а также для их отстоя. Емкость вагонного депо должна обеспечивать размещение инвентарного парка вагонов эксплуатируемых линий, кроме вагонов, оставляемых на ночную стоянку в оборотных и отстойных тупиках и на одном из главных путей конечных станций.

В объемно-планировочном решении комплекс зданий вагонного депо должен содержать в себе отстойную часть, мотодепо, производственные мастерские, подсобные цехи и служебно-бытовые помещения. Мотодепо при этом предназначается для отстоя и ремонта мотовозов, используемых для ремонтных работ в ночное время, и для размещения оборудования скорой технической помощи. Если в депо осуществляется централизованный планово-подъемный ремонт вагонов, то в комплексе зданий предусматривается подъемочный пролет, оборудованный мостовым краном. Кроме того, в депо следует предусматривать устройства для механической обмывки и сушки вагонов (моечную), камеру для обдувки от пыли составов (продувочную), а на его территории – котельную и склады различного назначения.

Кроме вышеуказанных объектов на территории депо обычно размещаются котельная, склад материалов, грязеотстойники с бензомаслоуловителем, площадка для рельс, шпал и других материалов.

Территория вагонного депо огораживается и оборудуется воротами для пропуска на территорию депо подвижного состава.

8.5.2 Надземные участки

Метрополитен **надземного типа**, устроенный в виде эстакад, получил распространение преимущественно в конце XIX века в начальный период зарождения метрополитенов в крупных городах, главным образом, в Нью-Йорке, Чикаго и Берлине. Следует учесть, что распространение надземного, а не подземного типа метрополитена вызывалось главным образом теми трудностями технического порядка, с которыми была связана прокладка тоннелей. Приходилось считаться и с наличием паровой тяги, при которой тоннели заполнялись дымом, делая пребывание людей под землей весьма напряженным.

В Нью-Йорке и Берлине надземный метрополитен создавался в виде металлических эстакад. По мере совершенствования проходческой тоннельной техники, особенно с введением электрической тяги, стали переходить к прокладке метрополитенов в тоннелях.

Этому способствовало исключительное стеснение уличной территории опорами эстакады метрополитена, которые загромождали улицы, являясь помехой для городского движения.

Вместе с тем, следует отметить, что к началу XX века в Нью-Йорке было

построено 130 км (из 280 км) метрополитена на эстакадах. В Берлине строительство надземного метрополитена было прекращено еще в 1911 г. и в дальнейшем строительство было только подземным.

В настоящее время надземные линии метрополитена обычно имеют небольшую протяженность. Проектируются и сооружаются при сложном рельефе местности, при пересечении рек, автодорожных и железнодорожных магистралей. Пути метрополитена в этих случаях прокладываются на мостах и эстакадах. Обычно мосты проектируются для комбинированного движения по ним нескольких видов транспорта, но могут быть предназначены только для путей метрополитена. Конструкции их ничем не отличаются от обычных для железнодорожных или автодорожных путей сообщения.

Эстакады служат только для путей метрополитена, их конструкции состоят из металлических или железобетонных опор, располагаемых с шагом от 10 до 25 метров. Пролеты между опорами перекрываются железобетонными или металлическими балками или фермами, низ которых располагается на высоте не менее 4 м от поверхности земли.

В редких случаях оказывается необходимым располагать станцию в пределах надземных участков линий метрополитена. Надземные станции в компоновочном отношении выполняются двухэтажными, прямоугольными в плане, размером 17x10 м. Первый этаж находится на уровне земли, а второй – на уровне пола платформы. На первом этаже располагаются все основные элементы вестибюля – кассовый зал, служебные помещения. Для подъема на второй этаж к вагонам метрополитена, служат лестничные марши или эскалаторы.

Ограниченность применения и небольшая протяженность участков надземного метрополитена объясняется сложностью прокладывания надземных линий в густонаселенных районах города со сложившейся капитальной застройкой (где метро больше всего и необходимо) в силу размещения громоздких опор, занимающих большую уличную площадь. К тому же существующие сети подземных коммуникаций создают большие помехи при размещении фундамента под опоры эстакады. Эксплуатация надземных линий создает большое шумовое и вибрационное воздействие на расстояние 50-100 м, длительное воздействие которых недопустимо существующими нормами на человека. К тому же сооружение железобетонных или металлических эстакад для линий надземного метрополитена мало гармонирует со сложившимся архитектурным обликом города.

8.5.3 Монорельсовый транспорт

Монорельсовый транспорт является разновидностью внеуличного скоростного надземного вида транспорта и представляет собой транспортную систему, в которой вагоны с пассажирами перемещаются по установленной на эстакаде или отдельных опорах балке-монорельсу.

Различают монорельсовые дороги *навесные* – вагоны опираются на

ходовую тележку, расположенную над путевой балкой (рис. 8.14 а) и *подвесные* – вагоны подвешены к ходовой тележке и перемещаются под монорельсом (рис. 8.14 б).

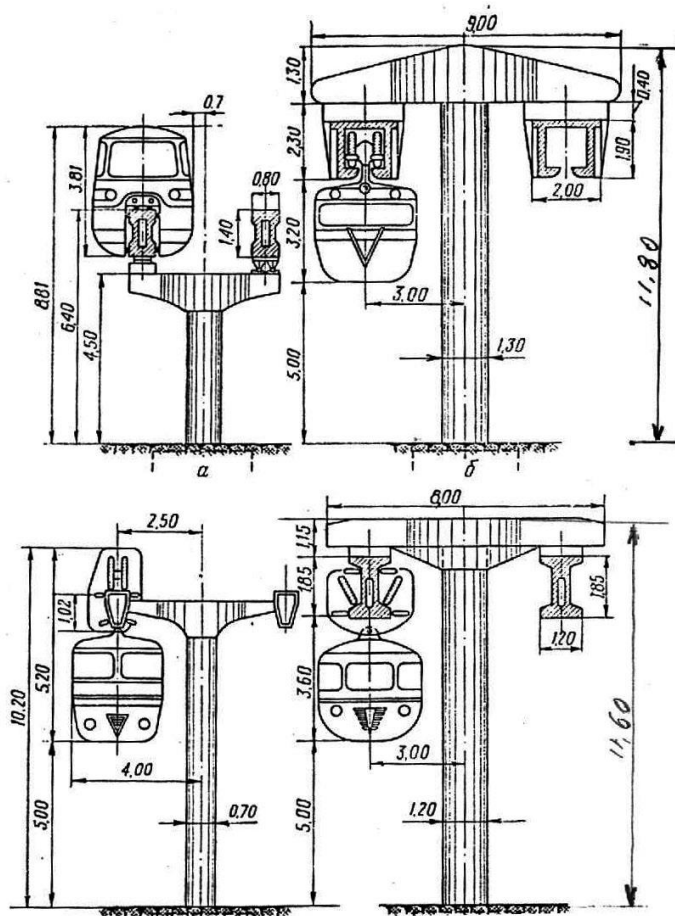


Рис. 8.14. Типы монорельсовых дорог различных систем:
а – навесная дорога системы «Альвег»; б, в, г – подвесные дороги.

Малые габаритные размеры эстакады, небольшая площадь под опоры и фундаменты, возможность преодоления больших подъемов и независимость пути от ландшафта и условий планировки – все это позволяет прокладывать трассу как в условиях плотной городской застройки (Япония, Токио), так и для международных сообщений (Париж-Орлеан).

Сравнительно малая металлоемкость и высокая энергетическая экономичность, возможность полной автоматизации делают монорельсовые дороги прогрессивным видом промышленного, городского и пригородного транспорта.

Впервые монорельсовая дорога с конной тягой была построена в начале XIX в. под Москвой механиком Эльдемановым И.К. В конце XIX в. в Гатчине электротехником Романовым И.В. был построен опытный участок электрифицированной монорельсовой дороги.

Однако широкого распространения монорельсовые дороги в России не получили.

За рубежом одной из старейших является *подвесная* пассажирская монорельсовая дорога предложенная инженером Лангеном (система «Скайвей») и построена в 1901 г. в городе Вупперталь (Германия) и эксплуатируемая в настоящее время после реконструкции в 1953 г. Протяженность ее 15 км. Перевозка осуществлялась двухвагонными секциями вместимостью 120 пассажиров со скоростью 40 км/час. и провозной способностью 4 тыс. пассажиров/час. Шаг металлических опор 21-33 м, интервал движения – 2 мин.

Столетний опыт эксплуатации этой монорельсовой дороги, где на

миллиард перевезенных пассажиров не было зарегистрировано ни одного несчастного случая, подтверждает высокую степень надежности и безопасности этого вида транспорта.

В настоящее время применяется и *навесная* система, предложенная шведским инженером А. Грином (систем «Альвег»), которая получила наибольшее распространение.

Линии монорельсового транспорта считаются целесообразными при больших и устойчивых пассажиропотоках (не менее 7-10 тыс. пассажиров/час).

Провозная способность монорельсового транспорта может достигать 30 тыс. пассажиров/час. (максимальная провозная способность троллейбуса и автобуса 6-8 тыс. пассажиров/час, трамвая – 12-14 тыс. пассажиров/час, скоростного трамвая 20-33 тыс. пассажиров/час, метрополитена достигает 60 тыс. пассажиров/час). Скорость движения наземного транспорта в часы «пик» не превышает 15-20 км/час, вагонов монорельсовой дороги 60 км/ч и более (максимальная – 140-150 км/час).

Еще в 70-х годах нашего столетия начались работы по совершенствованию монорельсового транспорта для пассажирского сообщения в двух направлениях:

- создания монорельсовых дорог с вагонами на резиновых пневмошинах при скоростях движения до 150 км/час;

- создания монорельсовых дорог с бесколесным подвижным составом на воздушной или магнитной подушке при расчетной скорости движения 300-1000 км/час, которая может быть обеспечена турбореактивными двигателями или линейными электродвигателями.

Каждая из существующих систем монорельсовой дороги (подвесная и навесная) обладает определенными преимуществами и недостатками.

Преимущества подвесной монорельсовой дороги системы «Скайвей»:

- защищенность поверхности качения от атмосферных воздействий;
- более простое устройство стрелочных переводов;
- более высокая степень устойчивости вагона, поскольку центр тяжести его расположен ниже колесной оси, что позволяет применять кривые меньших радиусов на поворотах.

Недостатки подвесной системы – более сложные и дорогие несущие балки и опоры по сравнению с навесной монорельсовой дорогой, т.к. эстакады всех построенных подвесных дорог выполнены в металле, а навесных – в железобетоне.

Преимущества навесной монорельсовой дороги системы «Альвег» заключаются в следующем:

- более простое, чем при подвесной системе, устройство несущей балки;
- меньшая высота опор;
- эстакады навесных монорельсовых дорог изготавливаются из бетона и на 30-40% дешевле эстакад подвесных, изготовленных из металла.

Недостатки навесной системы:

- поверхность качения не защищена от атмосферных влияний (дождь,

снег), что ухудшает условия сцепления;

- уменьшен полезный объем вагона, так как колеса размещаются в габаритах кузова;

- устойчивость вагона относительно невелика, так как центр тяжести его расположен выше колесной оси;

- масса тары вагона больше, чем при подвесной системе.

Практика эксплуатации систем навесных и подвесных монорельсовых дорог показала, что более перспективными являются навесные монорельсовые дороги, на которых возможно применение линейных двигателей, исключающих влияние погодных факторов на условия движения (в связи с отсутствием ведущих колес в вагоне).

Бесколесный высокоскоростной монорельсовый транспорт на воздушной или магнитной подушке с линейными электродвигателями, питающиеся переменным трехфазным током наиболее перспективен, так как скорости такого вида транспорта могут достигать 400-600 км/час и более.

применение линейного двигателя, работающего на переменном трехфазном токе, имеет ряд преимуществ по сравнению с обычным электродвигателем. В линейном электродвигателе ротор – не замкнутый круг вокруг статора двигателя, а является развернутым и представлен в виде металлической полосы, смонтированной на балке эстакады. Поэтому отсутствуют редукторные передачи для преобразования вращательного движения двигателя в поступательное движение вагона, отсутствуют ведущие колеса, исключающие пробуксовывание, что позволяет вагонам двигаться, практически, на любых подъемах, нет необходимости в сооружении по линии трассы электроподстанций, преобразующих переменный ток, передаваемый по линиям электропередач, в постоянный, потребляемый обычными электродвигателями. Колеса и путь меньше изнашиваются, так как вагоны имеют только несущие колеса и практически являются прицепами, что исключает их скольжение по пути.

Эстакада монорельсовой дороги состоит из фундаментов и опор, располагаемых на расстояниях 20-40 м друг от друга, ригелей опор, балок и опорных частей (подвижных и неподвижных), предназначенных для крепления балок к ригелям опор. Фундаменты, опоры ригеля опор по своей конструкции и назначению принципиально не отличаются от аналогичных частей путепроводов мостов и автодорожных эстакад. Балки – наиболее ответственная часть эстакады – по своим конструкциям и методам расчета значительно отличаются от балок мостов автодорожных эстакад и путепроводов. Принципиальное отличие имеется и в устройстве подвижных и неподвижных опорных частей.

Станции монорельсовых дорог предназначены для посадки и высадки пассажиров, сооружаются как и для надземных участков метрополитена на высоте 5-6 м над проезжей частью улиц в виде крытых или открытых платформ. На станциях предусматривают удобные подходы для пассажиров и эскалаторы для подъема.

В мировой практике строительства монорельсовых дорог наибольшее

распространение получили станционные платформы островного типа, длина которых на 10 м больше длины поезда (в расчете на неточность остановки). Ширина платформы зависит от объема пассажиропотоков. Станционные платформы сооружают в городах над улицами или внутри застроенных кварталов. Имеются случаи, когда монорельсовая дорога проходит и через существующие здания. На станциях возможно устраивать павильоны и служебные помещения для размещения аппаратуры устройств сигнализации и связи.

За рубежом монорельсовый транспорт получил особое развитие в период 1957-70 гг., когда в США, Японии, Франции, Германии, Швейцарии и Канаде было построено 30 монорельсовых дорог, из них 23 были навесными системами «Альвег» с эстакадой в железобетоне и только 7 подвесной системы «Скайвей» с эстакадой в металле.

Из построенных за рубежом монорельсовых дорог наибольший интерес в конструкторском и технологическом плане представляют следующие:

- подвесная двухпутная в Вуппертале (Германия), построенная в 1901 г., протяженностью 15 км, которая проходит над улицами города, над каналом, пересекает железнодорожные пути. Эксплуатационные расходы при использовании этой дороги на 20% меньше, чем при использовании трамвая;
- навесная двухпутная монорельсовая дорога в Сиэтле (США), построенная в 1962 г., протяженностью 4 км, по которой курсируют четырехвагонные бесшумные поезда (построенные в Германии) с интервалом 3 мин. и со скоростью 110 км/час и провозной способностью 10 тыс. пассажиров/час. каждый вагон снабжен двумя ходовыми тележками и двумя двигателями мощностью 73,6 кВт. Станции оборудованы эскалаторами, расположенными на высоте 7 м от уровня проезжей части улицы;
- навесная монорельсовая дорога Токио-Ханеда (Япония), построенная в 1964 г., она соединяет конечную станцию метрополитена с аэропортом Ханеда. Дорога на участке 6 км пересекает жилые и промышленные районы Токио на высоте 25 м, далее на участке 7 км пересекает морской залив, проходит тоннели под каналом и взлетно-посадочными полосами аэропорта Ханеда. Эта монорельсовая дорога построена за 17 месяцев, по дороге курсируют шестивагонные поезда, провозная способность которых при интервале 4 мин. составляет 10 тыс. пассажиров/час. Скорость движения поездов 110 км/час. Опоры эстакады установлены на расстоянии 20-37 м одна от другой;
- навесная опытная монорельсовая дорога вблизи Парижа протяженностью 7 км предназначенная для испытания аэропоезда на воздушной подушке с реактивной тягой, была построена в 1966 г. Скорость аэропоезда достигала 303 км/час. В 1970 г. для продолжения испытания был построен однопутный участок протяженностью 18 км, оснащен вагоном аэропоезда, вместимостью 100 пассажиров. Скорость аэропоезда на воздушной подушке с реактивным двигателем достигала 450 км/час. Эти экспериментальные работы проводились в целях отработки конструкций

пути для намечаемой к строительству высокоскоростной монорельсовой дороги Париж-Орлеан протяженностью 120 км. Испытания показали стабильность системы воздушной подушки и управления, легкость торможения.

В последние десятилетия в *США* построено несколько экспериментальных участков для испытания вагонов монорельсовых поездов большой вместимости до 600 пассажиров на воздушной подушке с реактивной тягой и расчетной скоростью 600-800 км/час. Учитывая большой шум от реактивных двигателей, за рубежом в последние годы исследуют возможность в промышленном масштабе применения бесшумных линейных электродвигателей, позволяющих достигать скоростей 600-800 км/час.

В настоящее время в *Японии* разрабатывается проект высокоскоростной монорельсовой дороги Токио-Осака протяженностью 500 км с поездами на воздушной подушке с линейными электродвигателями. Скорость поездов будет достигать 900 км/час.

В странах ближнего зарубежья ведутся работы по освоению монорельсового транспорта.

Так в *России* выполнены проекты подвесных монорельсовых дорог для московских станций метро: Юго-Западная – аэропорт Внуково и Автозаводская – Коломенская. В проектах два варианта эстакады с железобетонными и металлическими блоками.

Однако ряд факторов: сокращение объема пассажиропотоков на линии Юго-Западная – аэропорт Внуково, нецелесообразность строительства эстакады подвесной дороги в железобетоне без длительных экспериментальных работ и производства испытаний, сложность рельефа и многочисленные застройки, сооруженные в процессе проектирования, на трассе Автозаводская – Коломенская не позволили пока осуществить эти проекты.

В *Грузии* выполнен проект навесной монорельсовой дороги для г. Рустави протяженностью 19,4 км с 11 станциями и провозной способностью 17 тыс. пассажиров/час, перевозка которых будет осуществляться в трехвагонных секциях вместимостью 360 чел. со скоростью 50-90 км/час. Предусмотрена высота эстакады 5-17 м. Дорога будет связывать жилые районы города, расположенные на правом берегу реки Куры, с промышленным районом, где размещены крупные предприятия металлургической и химической промышленности, а также предприятия строительной индустрии.

В жилых районах на участке 5 км дорога будет проходить по улицам города, где предусмотрено строительство станций Тбилисская, Палеошвили и Вокзал. Общая стоимость дороги около 20 млн. долл. США и примерно на 8 млн. долл. дорожке строительства дороги для троллейбусного сообщения и закупки 125 сочлененных вагонов, но эта разница компенсируется меньшими эксплуатационными расходами монорельсовой дороги и вдвое меньшей потерей времени при поездках.

В *Казахстане* намечается ввод в эксплуатацию первой

электромагнитной линии монорельсового транспорта пересекающего г. Алма-Ата. Дорога позволит за 10 мин. пересечь город из конца в конец через центр.

На *Украине* разработан проект экспериментальной навесной монорельсовой дороги в г. Киеве от станции метро Гидропарк до станции Мост им. Патона протяженностью 1,8 км и двумя станциями. Перевозку пассажиров намечено осуществлять в вагоне вместимостью 120 чел. со скоростью 100 км/час. Привод будет осуществляться двумя линейными электродвигателями мощностью 120 кВт. Предусмотрена высота опор 6-11 м и длина пролетов между ними 21-24 м.

Для отработки конструктивных решений и для испытания конструкций пути и вагона с линейным двигателем на территории Киевского завода электротранспорта в 1970 г. была построена опытная модель дороги протяженностью 100 м, а на выставке передового опыта Украины экспериментальная кольцевая монорельсовая дорога протяженностью 0,5 км и высотой эстакады 6-11 м.

Несмотря на прогрессивность монорельсового транспорта в настоящее время он не может заменить существующие виды городского транспорта, в том числе и метрополитен, т.к. опыт строительства и эксплуатации монорельсовых дорог выявил следующие *недостатки*:

- сложность трассирования линий в районах со сложившейся капитальной застройкой из-за больших радиусов поворота;
- необходимость размещения громоздких опор, которые занимают большую площадь;
- сети подземных коммуникаций, расположенные под улицами, создают большие помехи при размещении фундаментов опор;
- сооружение монорельсового транспорта, как правило, не гармонирует со сложившимся архитектурным обликом города;
- эксплуатация монорельсовых линий оказывает большое шумовое и вибрационное воздействие при малой ширине улицы (необходима ширина 70-80 м, но не менее 50 м);
- конструктивные сложности устройства стрелочных переводов для переключения движения с одного пути на другой и для заезда в депо.

Преимуществом монорельсовых дорог являются:

- высокие скорости сообщения;
- большая провозная способность;
- меньшая по сравнению с метрополитеном стоимость строительства;
- меньше габариты и занимаемая опорами площадь по сравнению с надземным метрополитеном.

Учитывая изложенное, можно определить целесообразную *область применения* монорельсовых дорог, это:

- по улицам города, над оврагами и реками, над железнодорожными, автомобильными дорогами и другими коммуникациями;
- в направлении больших и устойчивых пассажиропотоков численностью не менее 10 тыс. пассажиров/час;
- связь периферийных станций метрополитена с аэропортами или местами

- массового отдыха;
- жилых районов с крупными промышленными предприятиями, удаленными на 10-20 км;
 - короткие линии экспериментального и аттракционного характера.

Стоимость строительства монорельсовых дорог включает стоимость строительства отдельных объектов и приобретения подвижного состава.

Зарубежные данные о первоначальных затратах на устройство монорельсовой дороги трудно сопоставимы вследствие различной методики учета капиталовложений. По американским данным стоимость 1 км монорельсовой дороги в Хьюстоне, включая и стоимость подвижного состава, составила 312,5 тыс. долл. против 1000 тыс. долл. за 1 км обычной автомобильной дороги, 4000 тыс. долл. за 1 км автострады и 7500 тыс. долл. за 1 км линии метрополитена.

Стоимость 1 км линии монорельсовой дороги в Шатонефе (Франция) составила 12-15 млн. фр. Против 70-100 млн. фр. за 1 км подземной линии метрополитена. Немецкие специалисты считают, что если за 100% принять стоимость устройства подземного метрополитена с учетом расходов на подвижной состав, то сооружение монорельсовой дороги составит всего 15%, трамвайной линии – 30%, железной дороги – 50%. Эксплуатационные расходы на монорельсовом транспорте на 15-20%, а по некоторым данным на 20-30% ниже, чем на трамвайном транспорте.

По данным отечественных проектов стоимость монорельсовых дорог меньше стоимости строительства метро мелкого заложения в 2-2,5 раза и метро глубокого заложения в 3 раза. Строительство подвесной монорельсовой дороги дороже строительства навесной монорельсовой дороги на 10-15%. Эксплуатационные расходы на монорельсовый транспорт, как по зарубежным данным, так и по разработкам ПромтрансНИИпроекта, на 15-20% ниже, чем самый дешевый вид городского транспорта – трамвай и метрополитен.

Глава 9. Санитарно-технические устройства и электрооборудование метрополитена

9.1 Вентиляция метрополитена

Для создания нормальных условий воздушной среды метрополитена (на станциях и линиях, в производственных и служебных помещениях) – необходима вентиляция, т.к. наличие углекислого газа, пыли, влаги и повышенной температуры не должно превышать предельно допустимые значения.

Обычно на линиях метрополитена применяется искусственная (принудительная) вентиляция и только в некоторых случаях при мелком заложении – естественная.

Естественная вентиляция тоннелей происходит за счет поршневого действия поездов, а также за счет гравитационного напора, создаваемого разницей в температуре наружного и тоннельного воздуха. Естественная вентиляция сопряжена с необходимостью строительства большого числа вентиляционных стволов при расстоянии между ними не более 150 м и при удаленности их от стен тоннелей не более 10 м. Именно при таких условиях поршневое действие поездов оказывается эффективным, т.к. большая часть воздуха выбрасывается в ближайший вентиляционный ствол впереди поезда и засасывается благодаря образованию вакуума из ближайшего ствола за поездом.

В условиях плотной городской застройки трудно расположить такое количество вентиляционных стволов на линии метрополитена, поэтому приходится чаще всего прибегать к искусственной вентиляции даже при мелком заложении метрополитена.

Искусственная вентиляция представляет собой принудительное нагнетание воздуха в выработки метрополитена вентиляционными установками расположенными на каждой станции и в середине каждого перегона.

Для метрополитенов городов Украины (со средней температурой самого холодного месяца ниже 0°C) существует два режима искусственной вентиляции – зимний и летний.

В зимний период вентиляционные узлы, расположенные на перегонах, работают на приток, а вентиляционные узлы, расположенные на станциях – на вытяжку (рис. 9.1 а). Таким образом, зимой на станции подается более теплый воздух по сравнению с наружным, согревшийся при прохождении по тоннелям перегонов.

Летом вентиляционные узлы, расположенные на перегонах, работают на вытяжку, а станционные – на приток (рис. 9.1 б), т.е. в летний период на станции, где имеется наибольшее скопление людей, поступает свежий воздух.

Для метрополитенов городов со средней температурой самого холодного месяца выше 0°C воздух и зимой и летом может подаваться через станцию и вытягиваться на перегоне или подаваться через одну станцию, а

вытягиваться через другую.

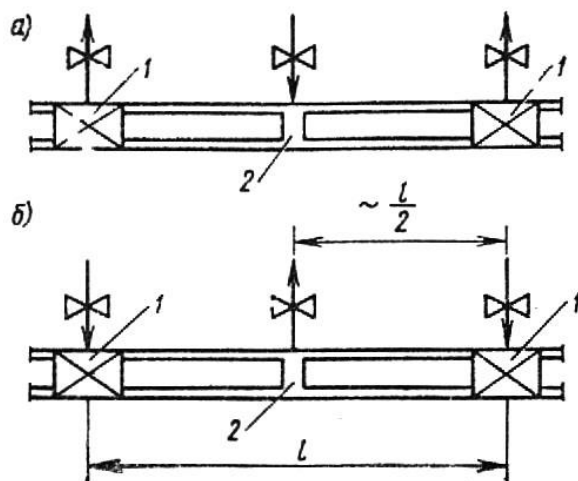


Рис. 9.1. Схемы вентиляции линии метрополитена:

а – зимний режим; б – летний режим; 1 – станция; 2 – сбойка между тоннелями.

предварительно очищается в противопыльных фильтрах. Отработанный воздух выбрасывается в перегонные тоннели за станцией по ходу движения поездов. Воздух из аккумуляторных, душевых и санузлов должен удаляться на поверхность.

Количество воздуха, необходимое для вентиляции линий метрополитена, определяют расчетом на излишнее количество тепла (теплоизбытков). Обычно этого объема достаточно для поглощения влаговыделений и разбавления углекислого газа и других вредных газов (в условиях Донецка - метана) до безопасной концентрации.

Определение расчетной величины воздухообмена производится для отдельных участков линии метрополитена длиной, соответствующей расстоянию между соседними станциями и для конечных тупиковых участков линии.

Для вентиляции метрополитенов принимаются осевые реверсивные вентиляторы, отличающиеся компактностью и экономичностью, сниженной звуковой мощностью.

Вентиляционные сооружения на перегонах метрополитена включают:

- киоск для забора воздуха;
- вентиляционный ствол;
- верхний вентиляционный канал, соединяющий киоск с вентиляционным стволом;
- тоннель нижний вентиляционный между стволом и вентиляционной камерой;
- тоннель, соединяющий вентиляционную камеру с перегонными тоннелями метрополитена.

Все внутренние углы поворота в вентиляционных каналах, тоннелях и

Для вентиляции метрополитенов используется обычный наружный городской воздух без какой-либо очистки. Воздух забирают из зеленых массивов города, парков и скверов.

В городах с сухим жарким климатом в летнее время целесообразно использовать систему орошения воздуха.

Для вентиляции производственных и служебных помещений на станциях и перегонах служат местные вентиляционные системы, оборудованные вентиляторами, работающими на приток и вытяжку. Воздух для этих целей забирается со станций или из перегонных тоннелей и

Стволы оборудуются лестницами пожарного типа с промежуточными площадками через 6 м.

Верхний вентиляционный канал 7 (рис. 9.2), соединяющий вентиляционный киоск со стволом, имеет прямоугольное сечение, высота которого постоянна и равна 2,5 м, а ширина зависит от расчетного количества воздуха при условии, что скорость его движения не превысит 8 м/с. Конструкция канала представляет собой обычную раму из железобетонных элементов или монолитного железобетона.

Тоннель нижний вентиляционный 8 (рис. 9.2) имеет круглое сечение. Площадь поперечного сечения этого тоннеля определяют исходя из скорости движения воздуха 7-8 м/с. она обычно составляет 10-12 м², что соответствует площади тоннеля диаметром 3,5-4,0 м. Обделку такого тоннеля собирают из железобетонных блоков или чугунных тубингов.

Вентиляционную камеру 4 глубокого заложения располагают на близком расстоянии от ствола шахты в нижнем вентиляционном тоннеле. В этом случае вентиляционный ствол соединяют сначала с вентиляционной камерой, а затем с подплатформенными каналами станции.

Другое решение предусматривает использование нижней части наклонного эскалаторного тоннеля в качестве вентиляционного канала. Необходимую площадь поперечного сечения канала получают за счет вертикальной вставки, размером 60 см в отделку эскалаторного тоннеля диаметром 7,5 м. Скорость движения воздуха в таком канале увеличивается до 11 м/с. Вентиляционную камеру располагают под наклонным эскалаторным тоннелем на уровне подплатформенных каналов, с которыми она соединяется.

Вентиляция станций пилонного типа осуществляется через каналы, отверстия и решетки в пилонах.

Вентиляция односводчатых станций, трехпролетных и колонных осуществляется за счет подвода свежей струи воздуха к их торцам и выпуска его через отверстия в торцевых стенах над путями таким образом, чтобы он мог проталкиваться на станцию поршневым действием поездов.

Вентиляционные сооружения на станциях метрополитенов могут иметь различные конструктивные решения в зависимости от глубины заложения станции.

Для станции мелкого заложения вентиляционные сооружения состоят из:

- киоска для забора воздуха;
- канала, соединяющего киоск с вентиляционной камерой;
- вентиляционной камеры.

Ее располагают в торце станции между параллельными перегонами тоннелей в средней части раструба.

9.2 Отопление, водоснабжение и канализация

Отопление на линиях метрополитенов в городах со средней температурой самого холодного месяца ниже 0⁰С применяется центральное

водяное, как правило, от городской теплофикационной сети и, как исключение, от специальной котельной.

Водяное отопление используют только для наземных вестибюлей. Входы и выходы этих вестибюлей оборудуют тепловыми воздушными завесами.

Служебные и производственные помещения станции, кассовые залы и служебные помещения вестибюлей наземных линий оборудуются электрическим отоплением.

Для лестничных маршей под ступенями существует система подогрева электрическими нагревателями, используемая во время снегопадов. В настоящее время для подогрева ступеней прокладывают электрообогревательный кабель.

Управление тепловыми завесами и подогрев лестниц производится дистанционно из помещения дежурного по станции.

Водоснабжение линий метрополитена осуществляется от городской водопроводной сети.

Вода в метрополитенах необходимо в служебных помещениях, для противопожарных целей, для мытья перегонных тоннелей, полов платформ, для охлаждения воздуха машинных помещений, эскалаторов и пр. С этой целью в тоннелях, перегонах и станциях прокладывают тоннельный водопровод из стальных цельнотянутых труб диаметром 80 мм на стороне, противоположной контактному рельсу (с правой стороны по ходу поезда). На каждой станции метрополитена имеется водопроводный ввод, отделенный от сети разделительными задвижками. Станции, вестибюли, переходы имеют пожарные краны диаметром 50 мм при длине рукава 20 м. Поливочные краны диаметром 20 мм располагают в перегонных тоннелях через 30 м, в эскалаторных тоннелях и переходах через 20 м и в торцах станций.

Специальные краны для мытья путей и платформ устанавливают через 500 м в перегонных тоннелях и в конце каждой платформы на станциях.

Водоотвод в системе метрополитена необходим для удаления грунтовых вод, просачивающихся через обделку, воды из служебных и производственных помещений, от мытья станций и перегонных тоннелей. Для удаления воды самотеком предусматривают поперечные и продольные уклоны станционных платформ, полов вестибюлей и служебных помещений, коридоров и переходов.

На всем протяжении перегонных тоннелей с бетонным основанием путей по оси пути устраивают открытую водоотводную канаву. Поверхности бетона придают поперечный уклон не менее 0,020 и продольной не менее 0,003. На станциях водоотливные лотки располагают под платформой и в путевом бетоне.

Для стока воды от мытья служебных помещений под платформой станции служат водоотливные лотки под полом или в полу служебных помещений и коридоров.

Вестибюли, эскалаторные тоннели, переходы, пристанционные и притоннельные сооружения также имеют водоотливные лотки или трубы.

Собираемая всеми лотками и трубами вода поступает в водоприемники водоотливных установок, имеющих на линиях метрополитенов. Эти установки бывают трех типов: основные, транзитные и местные.

Основные водоотливные установки располагают в пониженных местах трассы перегонных тоннелей. Они собирают воду с участка линий метрополитена длиной не более 3 км и откачивают ее в систему городских водостоков.

Транзитные (перехватывающие воду) водоотливные установки предусматривают в тех случаях, когда расстояние между основными водоотливными установками превышает установленную норму 3 км и емкость водоотводных лотков недостаточна. Эти установки перекачивают воду также в городскую сеть.

Местные водоотливные установки располагают во всех пониженных точках трассы и перекачивают воду в лотки перегонных тоннелей (за исключением установок, расположенных на линиях мелкого заложения, которые перекачивают воду в городской водосток). Местные водоотливные установки, как правило, имеются на станциях и в конце тупиковых тоннелей со смотровыми канавами.

Основные и транзитные водоотливные установки на линиях глубокого заложения размещаются в самостоятельных сооружениях, представляющие собой тоннели овальной формы, располагаемые между двумя однопутными тоннелями или сбоку. Помещения этих установок располагают в два этажа: на верхнем размещают насосы, на нижнем – камеры водосборников рабочей емкостью для основных перекачек от 15 до 30 м³ и для транзитных – 15 м³. Аварийная емкость перекачек должна быть соответственно 70 и 40 м³. При наличии двух камер водосборника очистка одной из них может выполняться без перерыва работы установки.

Местные водоотливные установки на станциях располагаются под платформой среднего зала, вблизи натяжных камер эскалаторов или в отдельных выработках, связанных с вентиляционной камерой, и имеют водосборники емкостью не менее 4 м³.

Основные водоотливные установки оборудуются тремя насосами: рабочим, резервным и находящимся в ремонте. Каждый из них должен обеспечить выдачу полного расчетного количества поступающей воды.

Насосы включаются и выключаются автоматически: первым при определенном уровне воды включается рабочий насос, потом, если уровень воды повышается до предела, поплавковое реле включает в работу резервный насос. Вода из водосборника по трубопроводу подается в специальный контрольный колодец, расположенный под поверхностью земли, а из него самотеком поступает в городской водосток.

Канализация метрополитенов является составной частью санитарно-технического устройства. На станциях и в вестибюлях подземных и наземных линий метрополитена, а также в тупиках, депо и мастерских оборудуют санузлы и душевые для обслуживающего персонала.

Канализационная жидкость откачивается в городскую канализацию

автоматически действующим насосом из фекальных камер, расположенных под санузлом.

9.3 Электрооборудование метрополитенов

Электроснабжение метрополитенов осуществляется от городских электростанций или подстанций. Электроэнергия, поступающая от источников электроснабжения в виде трехфазного переменного тока напряжением 6-10 кВ, преобразуется при помощи тяговых и понизительных подстанций в электрический ток более низкого напряжения и подается к потребителям, расположенным на линиях метрополитенов. Электроэнергия используется для движения поездов, освещения и работы технологического оборудования метрополитена: эскалаторов, санитарно-технических установок и связи, устройств автоматики телемеханики для движения поездов (АТДП), установок для ремонтных и бытовых целей.

Движение электропоездов осуществляется при помощи тяговых двигателей постоянного тока, которые получают электроэнергию от контактной (тяговой) сети. На метрополитенах Украины применяется постоянный ток напряжением 825 В. Метрополитены большинства зарубежных городов используют постоянный ток напряжением 600 В. Метрополитены Берлина, Гамбурга, Осаки пользуются постоянным током напряжением 750 В. Постоянный ток напряжением 1200 и 1500 В применяется на метрополитенах Барселоны, Рима, Сиднея и Буэнос-Айреса.

К электроприводам эскалаторов и санитарно-технических установок подводят переменный ток напряжением 380 и 220 В. Для освещения тоннелей метрополитена лампами накаливания или люминесцентными применяется переменный ток напряжением 220 В. Устройства системы централизованной безопасности (СЦБ) и связи, обеспечивающие пропускную способность линий и безопасность движения поездов, потребляют электроэнергию переменного тока напряжением 380 или 220 В, устройства АТДП – 220 В.

В мировой практике эксплуатации метрополитенов существуют две системы электроснабжения:

- централизованная;
- децентрализованная (распределенная).

Централизованная система питания электроэнергией заключается в том, что тяговые подстанции располагаются на поверхности вдоль линий метрополитена (возле стволов) на расстоянии от другой, зависящем от тяговых нагрузок. Понизительные подстанции размещаются у станции метрополитенов, на которых сосредоточено большое число потребителей электроэнергии.

Децентрализованная система электроснабжения линий метрополитена отличается тем, что число тяговых подстанций увеличивается и они располагаются вместе с понизительными подстанциями возле станций метрополитена. Так образуются совмещенные тягово-понижительные подстанции (СТП), питающие и поезда и все электроустановки.

Децентрализованная система электроснабжения имеет следующие достоинства:

- значительное сокращение длины высоковольтной кабельной сети, так как отпадает необходимость в высоковольтных линиях между тяговой и понизительными подстанциями;
- значительное сокращение длины электротяговой сети постоянного тока, идущей от тяговых подстанций;
- снижение потерь напряжения в тяговой сети;
- уменьшение блуждающих токов.

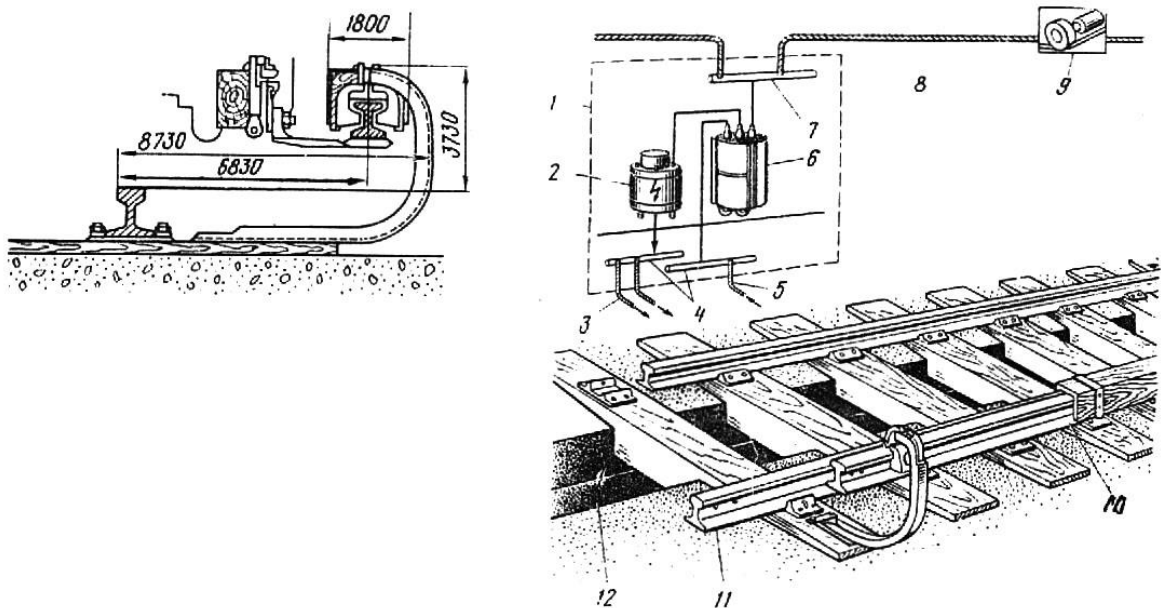
На метрополитенах Украины применяется только децентрализованная система электроснабжения.

Источником питания поездов могут служить:

- воздушный канатный провод;
- контактный (третий) рельс.

Применение воздушного контактного провода связано с необходимостью увеличения высоты межстанционных тоннелей, что приводит к удорожанию их сооружения. Поэтому на метрополитенах Украины, США, Великобритании, Франции и многих других стран в качестве токоприемного устройства используется контактный (третий) рельс, позволяющий значительно снизить высоту тоннелей.

Для метрополитенов Украины третий (контактный) рельс изготавливают из малоуглеродистой стали высокой электропроводимости. Рельс крепят при помощи кронштейнов (рис. 9.3), устанавливаемых с интервалом не превышающим 5,5 м. В местах крепления контактного рельса применяют фарфоровые изоляторы. Токосъем может быть верхним, нижним и боковым. Это зависит от того, каким образом токоприемники вагонов электропоездов будут прикасаться к контактному (третьему) рельсу: сверху,



снизу или сбоку.

Рис. 9.3. Схема питания электроэнергией контактного (третьего) рельса:

1 – тяговая подстанция; 2 – ртутный или кремниевый выпрямитель; 3 – кабели, питающие третий рельс; 4 – шины постоянного тока 825 В; 5 – обратный кабель от ходовых рельсов; 6 – трансформатор; 7 – шины высокого напряжения; 8 – кабель; 9 – электростанция; 10 – третий рельс; 11 – ходовой рельс; 12 – дренажный лоток.

На метрополитенах мира применяется верхнее, нижнее и боковое токоснимание. Нижнее токоснимание является наиболее безопасным, так как при этом имеется возможность прикрыть контактный рельс сверху защитным коробом. В настоящее время на Украине применяют защитные короба из негорючего стеклопластика. Низ короба не доходит до уровня контактной поверхности на 23 мм.

Токоприемники вагонов во время движения поезда скользят по третьему рельсу и прижимаются к нему с силой 250 Н, обеспечивая постоянный контакт. Третий рельс, как правило, располагается с левой по ходу движения поездов стороны. В местах разрывов участки контактного рельса соединяются между собой отрезками кабелей.

Контактный рельс каждого пути линии метрополитена делится на участки с таким расчетом, чтобы иметь возможность отключить любой участок контактного рельса в случаях повреждений или ремонта.

Питание третьего рельса электроэнергией осуществляется при помощи кабелей, идущих от шин постоянного тока тяговых подстанций. Обратными проводами являются ходовые рельсы, от которых электрический ток по обратным кабелям возвращается к шинам тяговых подстанций (рис. 9.3).

Совмещенные тягово-понижительные подстанции (СТП) располагаются при мелком заложении линий метрополитена за станциями в средней части тоннеля, при глубоком заложении – чаще всего под наклонным эскалаторным тоннелем станции в тоннеле кругового очертания диаметром 8,5 или 9,5 м.

На метрополитенах Украины во многих случаях СТП расположены в тоннеле, являющимся продолжением среднего тоннеля станции. При односводчатых конструкциях станции как мелкого, так и глубокого заложения СТП размещают внутри станционного объема за пределами станции. Внутреннее пространство подстанции обычно разбивается на два этажа. На нижнем этаже устанавливают кислотные аккумуляторные батареи напряжением 220 В, емкость которых рассчитывают из условия обеспечения аварийного освещения станции и прилегающих к ней участков перегонных тоннелей в течение 30 мин.

На СТП размещают сухие трансформаторы необходимой мощности, преобразующие ток высокого напряжения в ток более низкого напряжения, кремневые выпрямители и шины распределительных устройств (РУ) напряжением 825, 380, 220 В.

Совмещенные тягово-понижительные подстанции автоматизированы и телеуправляемы с диспетчерского пункта электроснабжения.

Глава 10. Исходные данные для проектирования подземных сооружений в подрабатываемом горном массиве

10.1 Систематизация основных понятий, терминов и обозначений параметров сдвижений и деформаций массива

Проведение выработок в горном массиве нарушает равновесие горных пород, в результате чего последние деформируются и сдвигаются. Обычно сдвижение пород достигает земной поверхности, и она также претерпевает деформации.

Сдвижение горных пород может происходить и под влиянием тектонических процессов, выщелачивания, водопонижения, изменения механических свойств пород (при увлажнении или обезвоживании) и других причин.

Таким образом, под сдвижением и деформациями горных пород и земной поверхности понимают их перемещение и деформирование в результате нарушения равновесия пород под влиянием горных разработок или различных естественных (природных) процессов.

Ожидаемые сдвигения и деформации – величины сдвижений и деформаций, определяемые в условиях, когда имеются календарные планы развития горных работ и известны необходимые для расчетов исходные данные.

Вероятные сдвигения и деформации – величины сдвижений и деформаций, определяемые в условиях, когда отсутствуют календарные планы развития горных работ.

Расчетные сдвигения и деформации – величины сдвижений и деформаций, получаемые путем умножения ожидаемых или вероятных сдвижений и деформаций на коэффициенты перегрузки.

Расчетные сдвигения и деформации принимаются для разработки мер охраны зданий и сооружений.

Сдвижение пород начинается обычно с прогиба кровли выработок, пройденных по пласту или залежи полезного ископаемого. По мере увеличения площади выработанного пространства прогиб пород растет, в сдвижение вовлекается все большее число слоев, происходит сдвиг пород по плоскостям напластования, в толще появляются секущие трещины и трещины расслоения, при этом слои непосредственной кровли разбиваются обычно на отдельные блоки и обрушаются.

Под влиянием горных работ в движение приходят также породы почвы, испытывающие поднятие. Поднятие почвы и выдавливание ее в сторону выработанного пространства объясняется снятием с нее нагрузки от вышележащих пород и перераспределением горного давления.

В процессе сдвижения происходит изменение объема пород: в зоне повышенного (опорного) давления породы уплотняются, а в зоне обрушения разрыхляются. Разрыхленная порода, увеличиваясь в объеме, заполняет выработанное пространство и создает подпор вышележащим слоям.

В области влияния очистной выработки выделяют до 9 характерных зон.

С боков выработанного пространства образуется зона нарушения угля и пород, распространяющаяся на 2-3 м, и зона повышения напряжений (опорного давления), обусловленная передачей на целик части веса зависающих над выработкой пород. Размеры зоны опорного давления зависят от перечисленных выше факторов и составляют от 10 до 240 м.

Над выработанным пространством процесс деформирования охватывает, как правило, всю толщу пород вплоть до земной поверхности. Здесь исследователями наиболее часто выделяются 3 характерные зоны: обрушения, прогиба пород с разрывом сплошности в виде трещин, плавного прогиба пород без разрыва сплошности (рис. 10.1). Непосредственно над очистной выработкой располагается зона обрушения пород, высота которой не превышает 4-6 кратной мощности разрабатываемого пласта. Над зоной обрушения располагается зона прогиба пород с разрывом сплошности. Высота этой зоны равна 30-40 мощностям пласта. Далее следует зона прогиба пород без разрыва сплошности, распространяющаяся до земной поверхности.

Рис. 10.1 Схема деформирования подрабатываемой толщи пород

1 – зона обрушения пород; 2 – зона прогиба пород с разрывом сплошности в виде трещин; 3 – зона плавного прогиба пород без разрыва сплошности; 4 – зона опорного давления; 5 – угольный пласт.

Инструментальные наблюдения за сдвижением толщи горных пород и земной поверхности показывают, что изменение напряженного состояния и сдвижение породного массива, вызываемые подземными горными работами, распространяются на значительные расстояния, нередко в несколько раз превышающие размеры выработок.

Часть породного массива, подвергшуюся сдвижению под влиянием горных разработок, принято называть *областью сдвижения горных пород*, а участок земной поверхности, подвергшейся сдвижению – *мульдой сдвижения* (рис. 10.2).

Рис. 10.2 Главные сечения мульды сдвижения вкрест простирания (а, в) и по простиранию (б, г) при неполной (а, б) и полной подработке (в, г)

1 – полезное ископаемое; 2 – выработанное пространство; 3 – земная поверхность до подработки; 4 – мульда сдвижения; 5 – участок с «плоским дном».

Вертикальные сечения мульды по простиранию и вкрест простирания пласта, проходящие через точки с максимальным оседанием земной поверхности, называют *главными сечениями мульды сдвижения*.

Границы мульды сдвижения определяются *граничными углами*. Это внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды горизонтальной линией

и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с граничными точками сдвижения (в качестве которых принимают обычно точки, получившие оседания 10-15 мм). Различают граничные углы по простиранию δ_0 , по падению β_0 и по восстанию γ_0 пласта или залежи.

Углы, образованные с горизонтом линиями, соединяющими границы горных работ и внешние границы зоны опасных деформаций, носят название *углов сдвижения*. Определяют их так же, как и граничные углы (на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения). Различают углы сдвижения в коренных породах и наносах.

При определенном соотношении размеров выработанного пространства и глубины разработки в мульде сдвижения образуется *плоское дно*, т.е. участок с максимально возможными оседаниями при данной мощности и угле падения пласта (залежи). На этом участке сдвижения носят в основном равномерный характер. Условия, при которых в мульде сдвижения образуется плоское дно, принято называть *полной подработкой* земной поверхности.

Границы плоского дна определяются *углами полных сдвижений* ψ_1 , ψ_2 и ψ_3 . При неполной подработке положение точки, имеющей максимальное оседание, определяется *углом максимального оседания* θ .

Сдвижение точек земной поверхности, возникающие под влиянием горных разработок, могут иметь разные значения и направления. Принято вертикальную составляющую вектора перемещения точки поверхности называть *оседанием* и обозначать η . Соответственно горизонтальные составляющие называют *горизонтальными сдвигами* и обозначают ξ (в направлении вкrest простирания) и ζ (по направлению простирания).

В условиях неполной подработки максимальное оседание наблюдается, строго говоря, в одной точке мульды сдвижения и обозначается η_{\max} , а при полной подработке значения максимальных оседаний характерны для множества точек плоского дна, они обозначаются η_0 .

Длина полумульды – расстояние в главном сечении на разрезе вкrest простирания или по простиранию (см. рис. 1) между границей мульды и точкой пересечения с земной поверхностью линии, проведенной под углом полных сдвижений (при полной подработке) или под углом максимального оседания (при неполной подработке). Участок плоского дна при расчете сдвижений и деформаций в длину полумульды не включается.

Различают длины полумульд, м:

- по падению – L_1 ;
- по восстанию – L_2 ;
- по простиранию – L_3 .

Неравномерность сдвижения горных пород вызывает деформации земной поверхности. Для характеристики деформаций используют следующие параметры:

а) *наклоны интервалов в мульде сдвижения* i – отношения разности оседаний двух точек мульды к расстоянию между ними, выраженные безразмерной величиной; при расчете деформаций *наклон* характеризует неравномерность распределения оседаний в сечении мульды

сдвигения и определяется как первая производная функция оседания;

б) кривизна мульды сдвигения K_p – отношение разности наклонов двух соседних интервалов мульды к полусумме длин этих интервалов; кривизна характеризует неравномерность распределения наклонов в сечении мульды сдвигения и определяется как вторая производная функция оседания: различают измеренную кривизну мульды, получаемую непосредственно по данным измерений, и расчетную кривизну мульды, полученную расчетным путем (сглаженная кривизна);

в) радиус кривизны мульды сдвигения – величина, обратная кривизне мульды сдвигения, выраженная в метрах $R_{Kp} = 1/K_p$;

г) относительные горизонтальные деформации в мульде сдвигения ε – отношения разности горизонтальных сдвижений двух точек мульды к расстоянию между ними, выраженное безразмерной величиной; при растяжении ε положительно, при сжатии отрицательно; горизонтальные деформации характеризуют неравномерность горизонтальных сдвижений в мульде и определяются как первая производная этих сдвижений.

В мульде сдвигения выделяют зону опасных деформаций, за пределами которой деформации не превышают следующих критических значений: наклоны мульды сдвигения $i = 4 \cdot 10^{-3}$; кривизна $K_p = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$; горизонтальные деформации $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$.

В зависимости от условий разработки деформации горных пород и земной поверхности носят плавный или же сосредоточенный характер. Концентрация деформаций на отдельных участках вызывает образование в толще пород и на земной поверхности трещин и уступов, оказывающих крайне неблагоприятное влияние на подрабатываемые объекты. Иногда на земной поверхности образуются провалы. В условиях горизонтального и пологого залегания пластов трещины, уступы и провалы возникают при отработке мощных залежей полезного ископаемого на небольших глубинах. Провалы появляются и на выходах под наносы крутопадающих пластов средней мощности.

При разработке свит пластов наклонного, и особенно крутого, падения трещины и уступы могут образоваться практически при любой известной глубине разработки.

Образуются уступы преимущественно в зоне растяжения (в полумульде по падению пластов L_1) и бывают двух видов (рис. 10.3): прямые (обращенные в сторону выхода пласта) и обратные (обращенные в противоположную сторону). Прямые уступы образуются в условиях крутого падения, когда слои крепких пород зависают или сдвигаются меньше, чем слои слабых пород. При этом обычно появляются трещины значительной ширины. Обратные уступы образуются под действием касательных напряжений, возникающих по плоскостям напластования при изгибе слоев. Как правило, сдвиг происходит по прослойкам, имеющим значительно меньший коэффициент трения, чем остальные коренные породы. При обратных уступах в большинстве случаев трещины наблюдаются не в коренных породах, а в наносах.

Рис. 10.3 Виды уступов при разработке крутопадающих пластов.

I – прямой уступ; II – обратные уступы.

1 – песчаник; 2 – песчаный сланец; 3 – известняк; 4 – глинистый сланец; 5 – слои горных пород до деформирования; 6 – слои горных пород после деформирования; 7 – земная поверхность до деформирования.

Большое значение при выборе мер охраны подрабатываемых объектов имеет характер развития процесса сдвижения во времени. Период, в течение которого земная поверхность над выработанным пространством находится в состоянии сдвижения, принято называть *общей продолжительностью процесса сдвижения*. Она делится на три стадии: начальную, интенсивную и затухания.

Начальная стадия занимает около 30% общей продолжительности процесса сдвижения. Оседание земной поверхности за этот период достигает $0,15 \eta_{\max}$.

Интенсивная стадия начинается при подходе забоя непосредственно под рассматриваемую точку. Она занимает около 40% общей продолжительности процесса сдвижения. За этот период земная поверхность оседает до $0,7 \eta_{\max}$.

Стадия затухания охватывает период, равный примерно 30% общей продолжительности процесса сдвижения. Заканчивается эта стадия, как правило, при отходе забоя от рассматриваемой точки на расстояние $(1,2 \div 1,4) H$, где H – глубина выработки от поверхности.

Из общей продолжительности процесса сдвижения обычно выделяют период опасных деформаций, т.е. период, в течение которого наиболее вероятно появление повреждений в подрабатываемых объектах. Нередко его связывают со скоростью оседаний земной поверхности. Так, в ряде нормативных документов под периодом опасных деформаций понимают промежуток времени, в течение которого земная поверхность оседает со скоростью не менее 50 мм в месяц при пологом и наклонном залегании пластов или рудных тел и не менее 30 мм в месяц в условиях крутого залегания. При такой формулировке понятие «период опасных деформаций» является несколько условным, поскольку оно не увязано с конструктивными и эксплуатационными особенностями подрабатываемых объектов. Тем не менее замечено, что во многих сооружениях существенные деформации появляются именно в этот промежуток времени. Поэтому, несмотря на условность такого понятия в указанной формулировке, оно получило широкое распространение.

10.2 Исходные параметры сдвижений и деформаций горного массива для проектирования подземных сооружений

Воздействиями от подработки, учитываемыми при проектировании сооружений, являются сдвижения и деформации земной поверхности следующих видов:

оседание η , мм;

наклон i , мм/м;

кривизна (выпуклости, вогнутости) ρ , 1/км, или радиус кривизны $R = 1/\rho$, км;

горизонтальное сдвигение ξ , мм;

относительная горизонтальная деформация растяжения или сжатия ε , мм/м;

уступ высотой h , см.

При диагональном расположении здания или сооружения относительно линии простирания пласта дополнительно следует учитывать воздействия от подработки в виде деформаций земной поверхности:

скручивание S , 1/км;

скашивание γ , мм/м.

В случаях, предусмотренных проектом, учитывается скорость нарастания деформаций земной поверхности v мм/м, мес.

В качестве исходных данных при проектировании сооружений на разрабатываемых территориях следует принимать максимальные ожидаемые (при имеющихся календарных планах развития горных работ) или вероятные (при отсутствии календарных планов горных работ) величины сдвижений и деформаций земной поверхности на участке строительства в направлении вкрест и по простиранию пластов.

При погоризонтной и панельной подготовках шахтного поля (пологое залегание) все намеченные к разработке пласты разделяют на две группы:

- пласты, разрабатываемые в первые 20 лет после начала эксплуатации объектов;

- пласты, разрабатываемые после 20 лет с момента начала эксплуатации объектов.

От каждой группы пластов рассчитывают ожидаемые (вероятные) деформации; в качестве исходных данных для проектирования принимают максимальные ожидаемые (вероятные) деформации земной поверхности.

В тех случаях, когда под участком строительства горные работы планируются в сроки более, чем через 20 лет после начала эксплуатации объектов, то в качестве исходных данных для проектирования принимают вероятные деформации земной поверхности, полученные от влияния всех намеченных к разработке пластов, уменьшенного до среднего значения в соответствующей группе.

При этажной подготовке шахтного поля (наклонном или крутом залегании) в качестве исходных данных для проектирования принимают максимальные деформации земной поверхности, определяемые с учетом выполнения горных работ по горизонтам от всех влияющих пластов в течение всего срока эксплуатации сооружений.

Во всех случаях при прогнозе деформаций необходимо учитывать планируемые особенности подготовки и развития горных работ в свите пластов, способы управления горным давлением, число одновременно разрабатываемых пластов и наличие целиков у крупных нарушений, а также у технических границ шахтных полей.

Ожидаемые (вероятные) деформации земной поверхности должны рассчитывать горные инженеры-маркшейдеры по методикам, разработанным организациями, специализирующимися в этой области.

Деформации земной поверхности для неизученных месторождений и для районов с особо сложными горно-геологическими условиями подработки должны рассчитывать организации, специализирующиеся в этой области.

Подрабатываемые территории подразделяются на группы в зависимости от значений деформаций земной поверхности в соответствии с табл. 10.1

Таблица 10.1

Подразделение подрабатываемых территорий на группы в зависимости от деформаций земной поверхности

Группа территорий	Деформации земной поверхности подрабатываемых территорий		
	относительная горизонтальная деформация e , мм/м	наклон l , мм/м	радиус кривизны R , км
I	$12 > e > 8$	$20 > i > 10$	$1 < R < 3$
II	$8 > e > 5$	$10 > i > 7$	$3 < R < 7$
III	$5 > e > 3$	$7 > i > 5$	$7 < R < 12$
IV	$3 > e > 0$	$5 > i > 0$	$12 < R < 20$

Подрабатываемые территории, на которых при выемке пластов полезного ископаемого образуются уступы земной поверхности, подразделяются на группы в соответствии с табл. 10.2.

Таблица 10.2

Подразделение на группы подрабатываемых уступных территорий

Группа территорий	Iк	IIк	IIIк	IVк
Высота уступа h , см	$25 > h > 15$	$15 > h > 10$	$10 > h > 5$	$5 > h > 0$

Расчетные значения деформаций земной поверхности, учитываемые при расчете зданий и сооружений как факторы нагрузки, следует определять умножением ожидаемых (вероятных) значений деформаций земной поверхности на соответствующие коэффициенты n , принимаемые по табл. 10.3.

Таблица 10.3

Значение коэффициента n для расчета деформаций земной поверхности

Виды сдвижений и деформаций	Коэффициенты n		
	обозначение	для расчета сдвижений и деформаций	
		ожидаемых	вероятных
Оседание η	n_η	1,2 (0,9)	1,1 (0,9)
Горизонтальное сдвижение ξ	n_ξ	1,2 (0,9)	1,1 (0,9)
Наклон i	n_i	1,4 (0,8)	1,2 (0,8)
Относительная горизонтальная деформация растяжения или сжатия e	n_e	1,4 (0,8)	1,2 (0,8)
Кривизна ρ	n_ρ	1,8 (0,6)	1,4 (0,6)
Уступ h	n_h	1,4 (0,8)	1,2 (0,8)
Скручивание S	n_S	1,8	1,4
Скашивание γ	n_γ	1,4	1,2

П р и м е ч а н и е. Коэффициенты n меньше единицы следует учитывать при расчете сооружений на одновременное действие максимальных деформаций земной поверхности двух видов и более, в том случае, когда уменьшение значения деформаций какого-либо вида может ухудшить условия работы конструкций.

При расчете зданий и сооружений на воздействия деформаций земной поверхности необходимо вводить соответствующие коэффициенты условий работы m , принимаемые при выполнении горных работ на глубине до 500 м по табл. 10.4 на глубине более 500 м – равными единице.

Таблица 10.4

Коэффициенты условий работы в зависимости от вида деформаций земной поверхности

Деформация	Коэффициенты условий работы m		
	обозначение	при длине здания (сооружения) l , м	
		до 15	15-30

Относительная горизонтальная m	m_e	1,0	0,8	0,7
Наклон i	m_i	1,0	0,8	0,7
Кривизна ρ	m_ρ	1,0	0,7	0,5
Скручивание S	m_S	1,0	0,7	0,5
Скашивание γ	m_γ	1,0	0,8	0,7

Примечания:

1. При рассмотрении поперечного сечения сооружения за ℓ следует принимать его ширину.

2. Для круглого в плане сооружения за ℓ следует принимать его внешний диаметр.

3. Для сооружения башенного типа при $\ell < 15$ м следует принимать $m = 1,5$.

4. Для подкрановых путей мостовых кранов, имеющих длину 60 м, следует применять $m = 0,5$.

Глава 11. Проектирование и строительство метрополитена и подземных сооружений на подрабатываемых территориях

11.1 Проблемы строительства метрополитена на подрабатываемых территориях

Практическая реализация проекта строительства сооружений Донецкого метрополитена на подрабатываемых участках и в зонах геологических нарушений является ряд технических и производственных осложнений,

вызывающих удорожание строительно-монтажных работ. При этом проблемными для конкретных условий строительства остаются такие вопросы, как допустимость проходки перегонных тоннелей необжатыми в породу обделками; целесообразность применения связевых (чугунных или железобетонных) обделок для проходки в зонах тектонических нарушений; допустимость замены чугунных обделок железобетонными.

Для однозначных ответов на эти вопросы необходимо переосмыслить конкретные условия строительства Донецкого метрополитена, касающиеся геомеханики, механики подземных сооружений и строительных конструкций.

С геомеханической точки зрения строительство метрополитена в Донецке на подрабатываемых территориях осложняется следующими факторами: массив горных пород и земная поверхность многократно подработаны в разное время на различных глубинах подземными горными выработками; возможно частичное воздействие горных работ на сооружения метрополитена в перспективе; по трассе метрополитена большое число разрывных геологических нарушений, которые сами по себе являются осложняющим фактором, а при подработке нарушений этот фактор становится преобладающим; массовое закрытие нерентабельных шахт с частичным или полным затоплением может вызвать активизацию процессов сдвижения массива горных пород, а следовательно, и земной поверхности.

Рассмотрим общий подход к оценке влияния этих факторов.

Трасса Донецкого метрополитена на большей части проходит в зонах выветривания пород карбона. Глубина нижней границы этой зоны увеличивается с ростом степени метаморфизма горных пород. В антрацитовых районах она распространяется до глубины 35-40 м, а на площадях распространения газовых углей – до 100-110 м. Горный массив в данной зоне структурно ослаблен, а его прочностные свойства резко снижены. Наиболее ослабленными являются аргиллиты (глинистые сланцы) и алевролиты (песчаные сланцы), в меньшей степени – песчаники. Для пород этой зоны характерна повышенная естественная трещиноватость и пористость по сравнению с глубокими горизонтами. В результате многократных подработок трещиноватость еще более увеличилась. *Поэтому массив горных пород по трассе строительства метрополитена можно рассматривать как дискретную среду, состоящую из отдельных блоков различных размеров.* Целенаправленное изучение трещиноватости в зоне выветривания не производилось. Поэтому невозможно даже приближенно определить размеры блоков и трещин.

Еще более сложное строение имеет массив в зонах тектонических нарушений. Преобладающей формой этих нарушений в Донбассе являются надвиги. Сбросы значительно менее развиты и характеризуются меньшими амплитудами.

Общепризнанно, что надвиги (скользящие разрывные смещения толщи пород по наклонной поверхности) Донбасса образовались в условиях горизонтального сжатия. Поэтому надвиги всегда определенным образом связаны с отдельными складками или целыми складчатыми зонами и

представляют в совокупности однотипную деформацию – сокращение размеров участка в горизонтальном направлении. Так, по результатам геодезических измерений в районе Французского надвига получено сжатие земной поверхности со скоростью в среднем 1-2 см/год. Косвенным доказательством интенсивного сжатия является скопление газов в этих зонах.

Сравнительно крупные нарушения в большинстве случаев представлены не одним сместителем, а серией меньших по амплитуде сближенных субпараллельных или кулисообразно расположенных разрывных нарушений, формирующих зону, вытянутую в направлении разрывов. В литературе эту зону часто называют «зоной дробления» или «зоной перемятых пород», что не вполне соответствует характеру их состояния.

Собраны материалы о пересечении нарушенных зон горными выработками, например, в зоне Французского надвига (рис. 11.1). Анализ показывает, что надвиги имеют сложное строение. Отдельные мелкие нарушения перемежаются участками с ненарушенным залеганием пород. В периферийных частях зоны нарушения представлены разобщенными единичными сместителями, располагающимися на расстоянии до 50 м друг от друга. В центральной части имеются небольшие по мощности зоны дробления, а расстояния между ними сокращаются до 20 м. Породы между отдельными нарушениями сильно дислоцированы. Мелкоамплитудные нарушения (с амплитудой меньше 10-15 м) могут быть представлены единичной трещиной или состоять из серии отдельных разрывов, то есть представляют собой вытянутую тектоническую зону.

Рис. 11.1 Схема пересечения тектонических зон горными выработками Французского надвига на шахте им. М. Горького (г. Донецк)

Наиболее отчетливо структурные изменения пород в зонах разрывов проявляются при формировании сопутствующей им трещиноватости. Число систем трещин в зоне влияния разрыва может достигать 10-15. Причем, для большинства нарушений, независимо от их амплитуды, наблюдается постепенное увеличение числа систем трещин по мере приближения к сместителю. Одновременно с ростом числа систем трещин в пределах зоны разрыва возрастает и интенсивность трещиноватости, причем для всех трещин независимо от их генезиса. Такое явление отмечено при исследовании разрывных нарушений разных масштабов. Суммарная интенсивность трещиноватости (количество трещин данной системы на один погонный метр) зависит от полной амплитуды нарушения и расстояния от сместителя.

Таким образом, можно считать, что тектонические зоны представляют собой сложные геологические структуры, разбиты многочисленными системами трещин, имеют блочное строение, а отдельные зоны дробления имеют, как правило, небольшую мощность.

Многолетними наблюдениями на земной поверхности и специальными исследованиями установлено, что при подработке нарушений горными работами может фиксироваться аномальное распределение сдвижений и

деформаций по сравнению с ненарушенным массивом. Степень влияния нарушения зависит от большого числа факторов, но прежде всего, от положения в пределах всей зоны влияния выработки. При выполнении исследований, как правило, основное внимание уделяется центральной части мульды сдвижения. Однако, учитывая, что сооружения метрополитена планируется охранять с помощью целиков угля, рассмотрены также случаи, когда выход нарушения располагается в краевой части мульды сдвижения.

Результаты наблюдений показывают также, что при расположении выхода нарушения над целиками, уступы не образуются, а фиксируются знакопеременные деформации. Кроме того, имеются случаи проявления нарушения, когда выход располагался за пределами мульды, построенной по граничным углам.

На рис. 11.2 показаны результаты подработки крупнейшего тектонического нарушения Донецко-Макеевского района Донбасса - Французского надвига. Они интересны тем, что нарушение пересекает всю зону влияния выработки, выходя в граничную часть и за пределы мульды сдвижения, построенной по нормативным значениям граничных углов. Несмотря на то, что значительных концентраций деформаций не зафиксировано, в распределениях сдвижений и деформаций наблюдаются существенные отличия от условий ненарушенного залегания. Сдвигения распространяются далеко за пределы стандартной мульды, а в породах висячего крыла оседания меньше ожидаемых. Это приводит к растянутой мульде сдвижения, в результате чего фактические наклоны меньше ожидаемых. *Обращает на себя внимание тот факт, что в пределах всей полумульды преобладают горизонтальные деформации сжатия с двумя четкими участками концентрации сжатий на границах тектонической зоны как с породами висячего, так и лежащего крыльев нарушения.* К этим участкам приурочено изменение направления векторов сдвижения. Как следует из рис. 11.2, над породами висячего крыла (часть массива над нарушением) векторы направлены примерно по нормали к напластованию, а на границе тектонической зоны принимают направления, согласующиеся с ее падением.

Рис. 11.2 - Результаты наблюдений при подработке Французского надвига на шахте им. Горького: а) графики оседаний; б) разрез по профильной линии и векторы сдвижения реперов; 1 - измеренные оседания; 2 - ожидаемые оседания без учета влияния нарушения; 3 - векторы смещений реперов профильной линии.

На рис. 11.3 показаны графики оседаний и деформаций на участке А-В (см. рис. 11.2), ограниченном углом сдвижения, который принимается при построении целиков. Характерным для данного участка, где реперы заложены с интервалом 5-10 м, являются знакопеременные горизонтальные и вертикальные деформации. Наклоны на отдельных интервалах достигают $i = \pm 1,2 \cdot 10^{-3}$, горизонтальные деформации - $\varepsilon = \pm 1,2 \cdot 10^{-3}$, кривизна - $\rho = \pm 3 \cdot 10^{-4}$, минимальные радиусы кривизны - $R \approx \pm 3$ км. Сглаженные значения горизонтальных деформаций и наклонов составляют $\pm (0,2 - 0,3) \cdot 10^{-3}$, а радиус кривизны - $R \approx 400$ км.

Рис. 11.3 Распределение сдвижений и деформаций в краевой части зоны влияния выработки

Данная профильная линия расположена на земной поверхности, поэтому неравномерные составляющие деформаций, безусловно, несколько сглаживаются наносами. В коренных породах они могут быть более выраженными.

Приведенный пример позволяет констатировать следующее: при ведении горных работ за пределами охранных целиков, построенных по принятым углам сдвижения, на участке выхода нарушения возможны сдвижения, даже за пределами стандартной мульды; сдвижения и деформации имеют четко выраженный неравномерный характер. Поэтому при проектировании сооружений метрополитена необходимо учитывать «плавные» и дискретные деформации; целесообразно выполнить детальный анализ результатов наблюдений при подработке различных видов тектонических нарушений, когда выхода нарушений расположены в краевых частях мульды сдвижения; необходимы специальные исследования по обоснованию параметров при построении охранных целиков под сооружения метрополитена. Они должны быть связаны с исследованиями допустимых деформаций обделки и оборудования перегонных тоннелей.

В последние годы в регионе остро стоит проблема, связанная с закрытием угольных шахт. При «мокрой» консервации, когда отключают шахтный водоотлив и происходит затопление массива, возможна активизация процессов сдвижения в ранее пройденных горных выработках. Кроме того, водонасыщение крупных тектонических зон, которые являются местами ослабления массива, может привести к снижению прочностных свойств пород в этих зонах и, следовательно, к активизации процесса в зонах нарушений. На таких участках возможны сдвижения и деформации, связанные с геодинамическими явлениями.

Данный вопрос является наименее изученным в теории и практике сдвижения горных пород. В настоящее время только начаты исследования на ряде шахт Донбасса. Так, на поле закрытой шахты «Мушкетовская» в 1997 году были заложены 2 наблюдательные станции с целью изучения поведения нарушения при затоплении шахты. Профильные линии расположены в районе начатого строительства метрополитена на расстоянии около 1 км от трассы. На рис. 11.4 приведены результаты 2-х летних наблюдений на профильной линии, имеющей длину более 700м, с расположением реперов через 20 м.

Анализ полученных результатов позволяет констатировать, что в массиве и на земной поверхности имеют место сдвижения и деформации. Хотя процесс характеризуется небольшими величинами, но они постепенно возрастают. За 2 года оседания увеличились в пределах 27 мм, горизонтальные деформации и наклоны возрастают до 0,4 мм/м в год, а минимальные радиусы кривизны на отдельных интервалах составляют 25-40 км. Безусловно, этих наблюдений недостаточно для окончательных выводов, но продолжение исследований в данном направлении является целесообразным и необходимым.

К геомеханическим проблемам следует также отнести изучение, обобщение и разработку методов прогноза оседаний и деформаций земной поверхности над трассами метрополитена. *Учитывая специфику условий строительства (интенсивную подработанность массива горными работами, значительное число тектонических нарушений, слабые породы карбона)* следует считать целесообразным уже в настоящее время начать планомерные исследования сдвижения земной поверхности над тоннелями метрополитена с тем, чтобы при проходке в центральной части города иметь достаточно надежную методику прогнозирования повреждений поверхности.

Рис. 11.4 - Результаты наблюдений в зоне выхода Мушкетовского надвига на поле закрытой шахты «Мушкетовская»: 1 - сдвижения и деформации за период с июля 1998 по июль 2000 г. 2 - оседания за период с июля 1998 по июль 1999 г.

Анализ горно-геологической информации показывает, что участок перегонного тоннеля ст. «Красный Городок» - ст. «Мушкетовская» пересекает Заперевальный и Мушкетовский надвиги. Эти нарушения существенно отличаются по своим параметрам.

Заперевальный надвиг выделен по несоответствию литологического состава пород в пробуренных скважинах, что подтверждается геологическим разрезом. Однако, ни одна скважина не перебурила нарушение. УкрНИМИ по данным геофизических исследований оценивает зону влияния данного надвига в 70 м, хотя скважины на данном участке расположены через 20 м по трассе тоннеля.

Мушкетовский надвиг является одним из крупнейших тектонических нарушений Донецко-Макеевского района. На рассматриваемом участке он перебурен одной скважиной № 547. Согласно инженерно-геологической

колонки он описывается зоной щебенистых грунтов мощностью 16 м и выходит непосредственно под наносы. По данным УкрНИМИ мощность зоны интенсивно измененных пород составляет по трассе 63 м. Вместе с тем, возникает сомнение относительно приводимых величин, так как расстояние между соседними скважинами составляет 30-40 м, а нарушение перебурено только одной скважиной. Определение физико-механических свойств пород в зоне Мушкетовского надвига не производилось, поскольку исследования были направлены на получение (уточнение) местоположения выходов нарушений. Для цели строительства эта задача не является основной, так как их положение может быть уточнено в процессе проходки. Вместе с тем, задача определения свойств пород в зоне нарушений не была решена.

Анализ физико-механических характеристик грунтов показывает, что для пород в зонах нарушений коэффициент крепости и коэффициент упругого отпора в 3-4 раза меньше, чем вне этих зон. Надо полагать, что эти данные получены на других участках, так как не удалось установить, проводились ли испытания образцов из скважины № 547. В целом имеющихся материалов для оценки возможного влияния горно-геологических факторов при проходке и эксплуатации перегонных тоннелей недостаточно.

Степень влияния нарушения зависит, прежде всего, от его положения. На характер проявления разрывов на земной поверхности влияет большое число факторов, основными из которых являются: расположение нарушения относительно границ выработки и местоположения выхода нарушения в мульде сдвижения; угол падения нарушения и степень его изменения на разрезе вкрест простирания; углы падения крыльев нарушения, их взаимное соотношение, а также соотношение с углом падения тектонической зоны; мощность и длина тектонической зоны; размеры очистной выработки, направление ведения горных работ относительно простирания нарушения, место нарезки и остановки лавы относительно нарушенной зоны; наличие приразрывной складчатости.

Формы проявления разрывов при отработке пологих пластов могут выражаться: в увеличенных сдвижениях над породами активного (отрабатываемого) или пассивного крыла; в укорочении мульды сдвижения со стороны висячего крыла; в асимметричной картине распределения сдвижений в различных полумульдах; концентрации деформаций и, в первую очередь, горизонтальных деформаций сжатия на участке выхода нарушенных зон.

Итак, можно сформулировать предпосылки к разработке строительных мер защиты перегонных тоннелей от влияния неравномерных деформаций грунтового массива:

- в зонах нарушений коэффициент крепости пород и коэффициент упругого отпора в 3-4 раза, а модуль упругости - в 3-5 раз меньше, чем вне этих зон;

- для крупных тектонических нарушений, которым является Мушкетовский надвиг, характерным является блочное строение. Поэтому, кроме распределенной нагрузки, рекомендуется учесть и нагрузки от влияния отдельных блоков пород. Представляется, что обделка обжатая в породе является более эффективной с точки зрения недопущения смещений блоков, непосредственно прилегающих к контуру выработки, и провокации смещений

других блоков. По этой же причине применение буровзрывного способа проходки крайне опасно;

- блочное строение тектонических зон может вызвать деформирование вышележащей толщи в виде перемежающихся зон растяжения-сжатия. Поэтому обделка тоннеля и деформационные швы должны конструктивно воспринимать знакопеременные вертикальные и горизонтальные деформации как в поперечном, так и в продольном направлении. В связи с тем, что размеры отдельно смещающихся породных блоков неизвестны и могут изменяться в широком диапазоне, целесообразно при проектировании перегонных тоннелей длину жестких отсеков принимать минимально возможной;

- блочность строения, а также низкая надежность тектонических зон вызывает необходимость опережающего контрольного бурения, а также обеспечения повышенных требований к технике безопасности, так как в этих зонах возможны вывалы блоков горных пород. При подходе к нарушениям необходим надежный контроль водопритоков и газопритоков. Ситуация с повышенными водопритоками и скоплениями газов может усугубляться при подъеме подземных вод в связи с затоплением шахты «Мушкетовская»;

- учитывая, что сооружения метрополитена будут охраняться от влияния горных работ и тектонических нарушений целиками, образование уступов по трассам не ожидается. Наиболее опасными с точки зрения концентрации деформаций являются участки нарушений «входа» и «выхода»;

- радиус кривизны $R_p = 3,1$ км, использованный при проектировании, принят с запасом. Из предварительного анализа имеющихся результатов наблюдений можно констатировать, что минимальные «слаженные» радиусы кривизны в граничных частях мульды сдвижения с $Z > 0,8$ - $R_p \geq 10$ км даже при непосредственной подработке нарушений. Для более надежного прогноза необходимо выполнить детальный и обстоятельный анализ этих данных. Имеются также предпосылки для смягчения приведенных величин. Для этого необходимы непосредственные маркшейдерские наблюдения в зонах тектонических нарушений вдоль трассы метрополитена. Это позволит получить обоснованные данные для перепроектирования других участков в зонах нарушений, например, Калининского надвига и др.;

- рассматриваемый участок строительства располагается над старыми горными работами, в основном, шахты «Мушкетовская», которая закрыта с применением «мокрой» консервации в 1997 г. Имеются предположения, что затопление горных выработок может вызвать активизацию геомеханических процессов, а, следовательно, и активизацию процессов сдвижения, особенно в зоне выхода Мушкетовского надвига, который активно проявлялся при подработке горными работами;

- в связи со слабой изученностью влияния затопления шахт на сдвижение земной поверхности целесообразно до горнопроходческих работ в зоне Мушкетовского надвига заложить наблюдательную станцию вдоль трассы метрополитена и выполнять периодические наблюдения;

- учитывая специфику условий строительства Донецкого метропо-

литена следует считать целесообразным уже в настоящее время начать планомерные исследования сдвижения земной поверхности над сооружениями с тем, чтобы при проходке в центральной части города иметь достаточно надежную методику прогнозирования повреждений объектов строительства на поверхности;

- действующие нормы (ДБН В.1.1-5-2000 Часть 1) предусматривают поведение строительных объектов на неравномерно деформируемом основании, в частности - "веерное" расхождение незакрепленных между собой отсеков при искривлении основания (рис. 11.5 а). Поведение же подземных сооружений в искривленном грунтовом массиве существенно отличается. С учетом изложенного анализа геомеханических процессов в преимущественно сжатом грунтовом массиве и имея в виду стесненные условия работы блочной обделки, наиболее вероятным характером ее деформирования в продольном направлении является пласкопараллельное перемещение незакрепленных между собой блочных колец с раскрытием или закрытием кольцевых швов (рис. 11.5 б).

Реализация ряда предпосылок непосредственно при проектировании линий Донецкого метрополитена затруднена из-за объективно существующих научно-технических пробелов.

Недостаточно изучен механизм деформирования блочного массива горных пород в окрестности перегонных тоннелей при прямом и остаточном их воздействии вне зон и в зонах разрывных тектонических нарушений. Распространенные представления о взаимодействии такого массива с обделкой являются недостоверными. Опыты показали, что в виду проявления арочного эффекта в гибкой обделке исходные величины горизонтальных деформаций сжатия по мере приближения к выработке уменьшаются до нуля, меняют знак, а в зоне контакта с обделкой - формируют лобовое давление при деформациях сжатия в 2-3 раза ниже исходных.

Рис. 11.5 - Схемы деформирования блочного тоннеля в подрабатываемом грунтовом массиве: а) - по ДБН В.1.1-5-2000. Часть 1 (для заглубленных и наземных сооружений); б) - гипотетические для подземных сооружений

Применяемые расчетные модели системы «обделка-подрабатываемый массив» исходят, как правило, из представлений упругости, сплошности и изотропности грунта и материалов обделки. В отношении грунта это меньше всего соответствует подработанному массиву, который изменил свое природное напряженно-деформированное состояние, разбит большим числом трещин на блоки различных размеров и ориентации, особенно в зонах тектонических нарушений.

На подрабатываемых территориях особое значение приобретает своевременный ввод обделки в работу, поскольку в блочном массиве даже минимальное отставание возведения обделки от образования выработки может

спровоцировать контурное вывалообразование. Здесь нужны с одной стороны - безосадочные технологии, исключаящие эти явления, и с другой - достоверные расчетные модели, адекватно отражающие указанные особенности нарушенной среды и нелинейные эффекты в работе среды, материалов и конструкции в целом.

Чтобы обеспечить эксплуатационную надежность сооружений метрополитена в рассматриваемых условиях необходимо продолжить комплекс экспериментально-теоретических исследований.

В области геомеханики с целями:

определения возможно точного местоположения и параметров тектонических нарушений и старых горных выработок по трассам перегонных тоннелей;

получения исходных данных по сдвигениям и деформациям подрабатываемых грунтовых массивов в окрестностях обделки на участке вне зон и в зонах тектонических нарушений и старых горных выработок;

установления оптимальных горных мер защиты, в том числе оптимальных размеров целиков для охраны сооружений или параметров систем разработок угольных пластов, снижающих их вредное воздействие.

В областях механики подземных сооружений и строительных конструкций с целями:

разработки достоверной расчетной модели взаимодействия обделок с подрабатываемым грунтовым массивом, адекватно отражающей технологию проходки в нарушенном блочном массиве горных пород;

оптимального проектирования обделок на основе современных методов расчета, учитывающих нелинейные эффекты (физическую, геометрическую и конструктивную) в работе системы "обделка-подрабатываемый массив";

разработки практически осуществимых эффективных строительных мер защиты, позволяющих частично компенсировать неравномерные воздействия за счет контролируемой податливости тоннелей в поперечном и продольном направлениях для возможности применения сборных конструкций, предназначенных для обычных условий эксплуатации, в том числе замены стальных и чугунных обделок на железобетонные;

разработки эффективных технологий безосадочной проходки тоннелей, обеспечивающих своевременный ввод обделки в работу в сложных горно-геологических условиях.

Получение указанных результатов позволит существенно снизить затраты на строительство Донецкого метрополитена на подрабатываемых территориях при одновременном обеспечении его эксплуатационной надежности.

11.2 Зарубежный опыт сооружения транспортных тоннелей на подрабатываемых территориях

В настоящее время нормативных мер защиты при строительстве

подземных сооружений на подрабатываемых территориях ни в Украине, ни за рубежом – не существует. Однако, применительно к конкретным условиям имеются попытки решения как проектных, так и технологических вопросов данной проблемы.

Так, в Германии в Рурском и Саарском угольных бассейнах имеются районы, где возникали аналогичные задачи, связанные с влиянием горных работ на устойчивость транспортных тоннелей. В этих районах при разработке угольных пластов и под влиянием других горных работ деформации породного массива приближаются к поверхности и воздействуют на обделки тоннелей.

Мульды оседания простираются повсюду в районах, где добывается каменный уголь. Естественно, они являются причиной оседаний, растяжения и сжатия на поверхности земли. Для тоннельных конструкций они проявляются в разновременных продольных деформациях, оседаниях, наклонах и кривизне. Эти воздействия могут происходить повторно, если несколько пластов под тоннелем будут подрабатываться один после другого. Их протяженность в большей степени зависит от глубины добычи, мощности пласта и пластичности покрывающих слоев породы. Зоны разрушения могут образовываться в особых случаях.

Напряжения, возникающие в конструкции тоннеля под влиянием горных работ, зависят, в решающей степени, от неподатливости (жесткости) конструкций и твердости окружающих горных пород.

Обеспечивая конструкции запасом «податливости» и эластичной упругости большим, чем величина пластических деформаций горного массива, вызванных подработкой, можно компенсировать перемещения породного массива, тем самым ограничивая напряжения.

Тоннельная обделка должна быть не только податливой, но и иметь возможность сопротивляться оседаниям, растяжению и сжатию, возникающим вследствие ведения очистных работ. Кроме того она должна быть такой, чтобы деформации, вызванные ее противодействием не вызывали какие-нибудь дополнительные деформации на поверхности земли, которые могли бы привести к повреждениям собственности над ними в густо застроенных промышленных районах.

В этом отношении конструкции, изготовленные из стали, особенно подходят, благодаря их большой эластичной гибкости и пластичности. Они проектируются в соответствии с теорией ортотропного отклонения от сопротивления.

Из зарубежного опыта известно строительство в 1978-1982 гг. транспортных тоннелей в подрабатываемом горном массиве, имеющим вне зон тектонических нарушений продольные деформации $\epsilon_p = \div 10$ мм/м, наклон $i_p = \div 30$ мм/м, кривизну $R_p = \div 10$ км; в зонах тектонических нарушений – вертикальные уступы $h_y = 15$ см, ширина трещин $a_6 = 10 - 20$ см, шаг $l = 0,5 - 5,0$ мм.

Обделки тоннелей выполнены податливыми из стальных элементов.

На участке Шальке-Север (рис. 11.6), где проходка велась бесщитовым

способом, применен волнообразный профиль из сваренных между собой 5-ти горячештампованных стальных сегментов и расположенного в замке свода активно компенсирующего элемента в виде дисковой пружинной системы.

Рис. 11.6 Гельзенкирхенская пригородная железная дорога (Германия).
Транспортный тоннель на подрабатываемой территории. Участок Шальке-Север (1979-82 гг.). Обделка из стального силфона с компенсирующим элементом в своде: w – заводской шов; м – монтажный шов; в – сварка на месте.

На участке Шальке-Юг (рис. 11.7) обделка щитовой проходки выполнена из сварных стальных сегментов, шарнирно соединенных между собой в поперечнике и на связях растяжения в продольном направлении. Здесь группы пружин, компенсирующие горизонтальные деформации сжатия, размещены на стеновых участках снаружи обделки. В продольном направлении герметичные деформационные швы между жесткими отсеками выполнены с применением компенсатора в виде петлеобразного эластичного профиля типа ОМЕГА на основе текстильных листов (вставок), пропитанных полиэфиром (рис. 11.8). Компенсатор закрепляется на краях смежных отсеков, фиксируется металлическими фланцами и закрепляется болтами. Скрепляющий эффект обеспечивается сжатием гребнеобразного профиля в нижней части элемента и напряжением сжатия в верхней части скрепленной зоны. Широко применяемые компенсаторы ОМЕГА имеют диаметр 90 мм с компенсационной способностью $K = \pm 80$ мм.

Рис. 11.7 Гельзенкирхенская пригородная железная дорога (Германия).
Транспортный тоннель на подрабатываемой территории. Участок Шальке-Юг (1978-81 гг.). Обделка из стальных литых сегментов с размещением снаружи компенсирующих элементов: 1 – бетон; 2 – стальные сегменты; 3 – податливый элемент; 4 – вспененный полимер; 5 – накладка; 6 – пружинные элементы; 7 – литая рама; 8 – болтовое соединение без зазора; 9 – болтовое соединение с зазором.

Как видно, в зарубежной практике большое внимание уделяется компенсации горизонтальных деформаций подрабатываемого грунтового массива как в поперечном, так и в продольном направлениях сооружения.

Рис. 11.8 Гельзенкирхенская пригородная железная дорога (Германия).
Транспортный тоннель на подрабатываемой территории. Участок Шальке-Юг (1978-81 гг.). Устройство деформационного шва с применением ленты «ОМЕГА» со свободными концами,

закрепленными фланцами.

Исследованиями, проведенными автором на грунтовых массивах конечной жесткости, смоделированных по методу эквивалентных материалов, устанавливались особенности развития относительных горизонтальных деформаций сжатия ($-\varepsilon$) в окрестностях гибкой обделки, соответствующей реальной для Донецкого метрополитена. Данные опытов сравнивались с результатами исследований аналогичных моделей грунтовых массивов без выработки и с обделкой бесконечной жесткости. Основные результаты заключаются в следующем.

Зона доверительных результатов l_d , свободная от влияния граничных условий моделей, установлена по участку с неизменной (исходной) величиной $\varepsilon = -2,75$ мм/м в грунтовом массиве без выработки. Длина этой зоны особенно четко прослеживается по горизонтальной оси модели и составляет $l_d = 5,5R$ от центра выработки. С учетом этих данных удалось установить влияние жесткости обделки на изменение исходных значений $-\varepsilon$.

Как видно, в случае обделки бесконечной жесткости величины $-\varepsilon$ начиная с $l_{a.z.} = 2,7R$ по мере приближения к выработке резко возрастают и в зоне контакта массива с выработкой составляют $\varepsilon = -24$ мм/м. В случае обделки конечной жесткости величины $-\varepsilon$ начиная с $l_{a.z.} = 5R$ по мере приближения к выработке уменьшаются до нуля ($x = 1,6R$) и затем переходят в деформации растяжения, достигая в ближайшей к обделке точке массива ($x = 1,2R$) экстремального значения $\varepsilon = +12$ мм/м, что соответствует значению перемещения грунта по направлению горизонтального диаметра $\Delta_r = 1,08$ мм. С приближением к контактной поверхности происходит увеличение деформаций до $\varepsilon = -1,2$ мм/м (в 2,3...2,5 раза меньше исходной). При этом прогиб обделки по этому же направлению составил $f_r = 0,63$ мм. Так называемая «зона отлипания» не зафиксирована. Наоборот, в связи с тем, что $\Delta_r > f_r$, непосредственно в контакте произошло уплотнение материала массива, сопровождаемое увеличением относительных горизонтальных деформаций.

Проверка опытных данных численными исследованиями по программе «Сombain» (ДонпромстройНИИпроект) показала совпадение размеров активной зоны сжатия и качественное сходство развития ε , что соответствует представлениям о взаимодействии обделки и деформирующегося грунта.

Опыты показали, что в отличие от зарубежного опыта имеется реальная возможность снизить материалоемкость и стоимость защитных мероприятий.

11.3 Особенности строительства Донецкого метрополитена

В Украине (г. Донецк) впервые в отечественной практике предпринято строительство метрополитена на подрабатываемых территориях.

Обоснованием необходимости сооружения метрополитена является интенсивность пассажиропотоков, увеличивающаяся с развитием города и

ростом его населения, составляющим в настоящее время более 1 млн. чел. Город Донецк вместе с примыкающей Макеевкой образует единую взаимосвязанную городскую систему протяженностью 60 км и шириной 40 км.

Необходимость в постройке линий метрополитена возникает в тот момент, когда исчерпывается провозная способность существующего городского транспорта и скорость его движения приводит к затрате на передвижение от периферии к центру более 30 мин. В Донецке этот параметр для 20% жителей составляет 60 мин., а для 60% - 40 мин.

Экономически оправданным считается (при существующей оплате проезда) сооружение линий метрополитена при перевозке на 1 км пути в одном направлении не менее 6-6,5 млн. пассажиров в год. Это соответствует максимальной интенсивности пассажиропотока в одном направлении в часы пик 20-30 тыс. чел. в час. С такой интенсивностью пассажиропотока не может справиться ни один из видов городского транспорта. В г. Донецке по данным обследования пассажиропотоки в центральном районе в настоящее время составляют 25 тыс. чел. в час, а в направлении Пролетарского и Петровского районов – свыше 15 тыс. чел. в час, что уже значительно превышает провозную способность существующего наземного транспорта и к 2010 г. увеличится в 1,5 раза.

Кроме того, уровень загрязнения атмосферы этого региона не позволяет развивать виды транспорта с двигателями внутреннего сгорания на углеводородном топливе, а сложившаяся застройка препятствует внедрению в существующую проезжую часть дополнительных видов электротранспорта.

На основе анализа альтернативных вариантов решения проблемы внутригородского транспорта, в Донецке с населением 1,2 млн. чел. было признано, что наиболее эффективным видом транспорта является метрополитен, включающий три линии (см. рис. 11.9).



Рис. 11.9 Линии Донецкого метрополитена, совмещенные с выходами тектонических нарушений

Первая линия – (Пролетарско-Киевская) 20,5 км – 14 станций, проходит через Пролетарский, Буденновский, Ворошиловский, Киевский и Куйбышевский районы;

Вторая линия – (Петровско-Красногвардейская) 30,7 км – 19 станций, проходит через Петровский, Кировский, Ворошиловский, Ленинский, Калининский районы Донецка с выходом в Красногвардейский район Макеевки;

Третья линия – (Горняцко-Макеевская) 35,8 км – 22 станции, соединяет Куйбышевский, Ворошиловский, Калининский районы Донецка с выходом в центр Макеевки.

В местах пересечения линий предусмотрено устройство пересадочных узлов:

- первой и второй линии на станции «Политехнический институт»;
- первой и третьей линии на станции «Белый лебедь»;
- второй и третьей линии на станциях «Марипольская» и «Проспект Мира».

Проектом строительства метрополитена предусмотрены наземные линии и подземные: глубокого (30-40 м) заложения, сооружаемые горным

способом и мелкого (8-10 м), сооружаемые открытым способом производства работ.

Первая очередь включает строительство первой линии метрополитена на наиболее пассажиронапряженном направлении юго-восток – северо-запад, общей протяженностью 20,5 км. Ввод этой линии в эксплуатацию намечен тремя пусковыми комплексами (см. схему):

1 – ст. «Пролетарская» - ст. «Политехнический институт» (10,3 км, 6 станций);

2 – ст. «Политехнический институт» - ст. «Белый лебедь» (2,6 км, 2 станции);

3 – ст. «Белый лебедь» - ст. «Октябрьская» (7,6 км, 5 станций).

Существующие технические решения и нормы проектирования не предусматривают учета дополнительных воздействий от неравномерно деформирующихся грунтовых массивов, возникающих в период эксплуатации метрополитена. Отсутствие аналогов, исследований, законченных разработок и нормативной базы для проектирования и строительства такого вида сооружений на подрабатываемых территориях выдвинуло задачи по приспособлению применяемых типовых обделок тоннелей к условиям подработки с образованием целесообразности введения горно-строительных защитных мероприятий и созданию новых конструктивных решений, техники и технологии.

Проектируемые трассы Донецкого метрополитена находятся в непосредственной близости от выходов под наносы и на земную поверхность смесителей разрывных тектонических нарушений или пересекают их. Наличие этих нарушений, а также прохождение трассы на подработанных ранее территориях, возможность проведения новых горных работ при частичной отработке целиков может приводить к существенным подвижкам грунтовых массивов и недопустимому деформированию сооружений метрополитена. Задачи оценки параметров сдвижений и их влияния на обделки тоннелей не имеют общего решения вследствие многообразия схем отработки пластов и наличия других отрицательных факторов (старые горные работы, совместная отработка свит пластов и т.д.), что потребовало проведения ориентированных исследований для конкретных участков трассы с соответствующими параметрами подработанного пространства.

На стадиях «ТЭО» и «Проект» (УкрНИМИ, ВНИМИ, ДПСНИИП, Донгипрошахт) установлено следующее.

В тектоническом отношении территория относится к сложному району. Она расположена между «Первомайским» на востоке и «Французским» на западе надвигами и рассечена в центральной части «Мушкетовским» и «Калининским» надвигами. Основные надвиги сопровождаются более мелкими, являющимися их апофизами. Из других дезъюнктивных нарушений, развитых в этом районе, отмечаются сбросы, выбросы и флексурные перегибы. Углы падения пород 5-15 градусов, в зонах флексурных перегибов – до 20-36 градусов.

Крупные надвиги сопровождаются значительными по мощности зонами дробления пород, в которых угольные пласты теряют свое промышленное значение. Зоны тектонических нарушений представлены глинисто-щебенисто-дресвяным материалом с обломками песчаника, алевролита и аргиллита. Массив в зоне тектонических нарушений приобретает блоковое строение.

В табл. 11.1 приведен перечень тектонических нарушений, которые пересекают трассы Донецкого метрополитена (см. схему).

Таблица 11.1

Перечень тектонических нарушений пересекаемых трассами Донецкого метрополитена

Линии метро	Наименование тектонических нарушений
I. Пролетарско-Киевская	1. Сброс № 2 2. Первомайский надвиг 3. Заперевальный надвиг 4. Мушкетовский надвиг 5. Французский надвиг
II. Петровско-Красногвардейская	1. Надвиг № 1 2. Сброс «А» 3. Французский надвиг (пересечение в двух местах) 4. Надвиг № 4 5. Мушкетовский надвиг 6. Пастуховский надвиг
III. Горняцко-Макеевская	1. Надвиг № 6 2. Французский надвиг 3. Ливенский сброс 5. Серия нарушений в Куйбышевском районе 6. Серия нарушений в Киевском районе

Исходными данными для проектирования являлись деформации подрабатываемого грунтового массива по следующим вариантам отработки запасов угля: I – с полным обрушением кровли; II – с закладкой выработанного пространства; III – оставление целиков с работой лав в их границах с полным обрушением кровли; IV – оставление целиков с работой лав на их границах с закладкой выработанного пространства.

При выборе строительных мер защиты подземных сооружений метрополитена от горных подработок руководствовались следующими требованиями:

1. На участках трассы, пересекающих геологические нарушения, где в следствие подработок прогнозируются уступы, горными способами защиты

ограничивается их величина: до 20 мм – для тоннелей глубокого заложения; до 40 мм – для тоннелей мелкого заложения открытого способа работ;

2. Положением очистных забоев и порядком отработки лав в местах расположения станций метрополитена обеспечиваются только равномерные оседания, соответствующие опусканию станций на плоское дно мульды сдвижения;

3. Проектные уклоны и вертикальный габарит перегонных тоннелей принимаются с учетом возможных продольных наклонов тоннеля и максимальных неравномерных оседаний в результате подработки с тем, чтобы посредством вертикальной рихтовки и перепроектирования профиля рельсового пути обеспечить его нормальную эксплуатацию;

4. Все протяженные подземные сооружения метрополитена разрезаются поперечными деформационными швами на отсеки с введением между отсеками гибких вставок и компенсационных водонепроницаемых устройств;

5. Все сооружения отделяются деформационными швами от примыкающих перегонных, станционных и эскалаторных тоннелей;

6. Для герметизации стыков между сборными элементами обделок используются составы с повышенной деформативностью;

7. Для полной или частичной компенсации деформационных воздействий подрабатываемого грунтового массива на сооружения метрополитена предусматривается создание узлов податливости между элементами обделки, шов скольжения между обделкой и окружающим грунтом, а также введение компенсационных элементов на контакте обделки с грунтом.

На основе вышеприведенных материалов сделан концептуальный вывод о том, что строительство первой очереди метрополитена принципиально возможно. При этом критерием для выбора варианта подработки является сохранение эксплуатационной пригодности метрополитена по уровню рельсового пути. Поскольку решение о его рихтовке принимается в результате анализа изменений проектного профиля трассы в результате подработки, необходимость применения соответствующих мер защиты устанавливается при проектировании.

Анализ величин относительных горизонтальных деформаций (ε – до $- + 0,004$), радиусов кривизны ($R = - + 10 - 15$ км), наклонов (i – до $- + 0,007$) и уступов (h – до 50 мм) грунтовых массивов по участкам трассы I очереди метрополитена и предложенных строительных мер защиты сооружения позволил предварительно рекомендовать варианты отработки запасов угля (табл. 11.2).

Варианты отработки запасов угля по трассе I-й очереди Донецкого метрополитена (Пролетарско-Киевская линия)

Участки трассы по станциям	Вариант отработки
Депо «Октябрь» - ст. «Октябрьская»	I
«Октябрьская» - «Вокзальная»	II
«Вокзальная» – «Ветковские пруды»	I
«Ветковские пруды» - «Шахтерская»	I
«Шахтерская» - «ДонУГИ»	II
«ДонУГИ» - «Белый лебедь»	II
«Белый лебедь» - «пл. Ленина»	III
Ст. «пл. Ленина»	IV
«пл. Ленина» - «Политехнический институт»	III
«Политехнический институт» - «Левобережная»	II
«Левобережная» - «Мушкетовская»	I
«Мушкетовская» - «Красный городок»	I
«Красный городок» - «Чумаковская»	II
«Чумаковская» - «Пролетарская»	I
«Пролетарская» - «Восточная»	I
«Восточная» - «Донская сторона»	I

Трасса I-й очереди метрополитена от ст. «Пролетарская» до ст. «Октябрьская» размещена на площади залегания угля с балансовыми запасами 30,8 млн. т, в том числе первый пусковой участок от станции «Пролетарская» до ст. «Политехнический институт» располагается на территории с запасами 6,4 млн. т. Из них 4,5 млн. т оставляется в целиках под центральной частью города. Оставшиеся запасы в объеме около 2 млн. т размещены под участком трассы между станциями «Пролетарская» - «Левобережная».

Учитывая отсутствие отечественного опыта эксплуатации метрополитенов на подрабатываемой территории, сложность осуществления защитных мероприятий, необходимость применения индивидуальных конструктивных и технологических решений, создание нового оборудования, а также сравнительно небольшие объемы консервируемого угля, принято решение для дальнейшего проектирования пускового участка, осуществить консервацию запасов в целиках под трассой. При этом под центральной частью города (участок ст. «Политехнический институт» - ст. «Белый лебедь») целики приняты по граничным углам (вариант V). На участке мелкого заложения открытого способа работ ст. «Пролетарская» - ст. «Красный городок» - по углам сдвижения (вариант III - VI). На участке ст. «Красный городок» - ст. «Левобережная» деформации практически не ожидаются.

Окончательное решение о целесообразности подработки метрополитена по каждому из рассмотренных вариантов принимается на основе технико-экономического анализа при рабочем проектировании.

Проектирование и строительство сооружений метрополитена в таких неординарных условиях выполняется на основе результатов, проведенных в 1988-1994 гг. комплексных исследований по двум направлениям: геолого-маркшейдерское (УкрНИМИ), механика подземных сооружений (Донецкий ПромстройНИИпроект, НТЦ «Метродон»).

К наиболее важным относятся:

- методика расчета сдвижений и деформаций грунтового массива в зонах тектонических нарушений и старых горных работ;

- методика статического расчета обделок тоннелей (одиночных и параллельных) метрополитена на особое сочетание нагрузок и воздействий с учетом контактного взаимодействия с грунтовым массивом в режиме взаимовлияющей деформации;

- рациональный комплекс горных, строительных и технологических мер защиты;

- техника и технология: оперативного (при проходке) определения деформативных параметров грунтового массива непосредственно в выработке измерительной обделкой и испытания обделки (а.с. SU № 1430524; а.с. SU № 1492049; а.с. SU № 1481416; а.с. SU № 1704521);

- технология безосадочной щитовой проходки тоннелей (а.с. SU № 1268733; а.с. SU № 1749463; доложена и одобрена на Международном Конгрессе тоннельщиков, проведенной ИТА 19-22 апреля 1993 г., Амстердам, Голландия);

- новые конструктивные решения обделок перегонных тоннелей для подрабатываемых территорий (а.с. SU № 1453028; а.с. SU № 1571255);

- обоснование возможности устройства искусственного основания на больших площадях под сооружения метрополитена из горелой породы шахтных отвалов.

Начато создание нормативной базы для проектирования и строительства объектов метрополитена на подрабатываемых территориях (ДПСНИИП, НТЦ «Метродон», ВНИМИ, Укрметротоннельпроект).

Строительство метрополитена на 1-ом пусковом комплексе производится по нескольким направлениям. По трассе метрополитена сооружаются вертикальные стволы с околоствольными выработками и вентиляционными камерами для разворота строительства станций глубокого заложения и межстанционных тоннелей. На станции «Красный городок» сооружена монтажная камера, в которой собран проходческий комплекс тоннельный КТ-5,6 Е 22 и в направлении станции «Политехнический институт» ведется одновременно проходка двух перегонных тоннелей (левого и правого), трасса которых залегает в толще выветрелых аргиллитов, алевролитов и песчаников. Это позволяет для проведения тоннелей использовать как механизированный комплекс, так и буровзрывные работы.

В левом тоннеле разработку грунта, погрузку его, монтаж сборной блочной обделки осуществляется механизированным комплексом КТ-5,6Е22.

В правом - разработку грунта производят буровзрывными работами, погрузку его – породопогрузочной машиной, монтаж блочной обделки -

блокоукладчиком.

Все станции на первом пусковом комплексе островного типа с длиной посадочной платформы 102 м под пятивагонные составы.

Перегонные тоннели мелкого заложения открытого способа производства работ (между ст. «Пролетарская - Красный городок») сооружаются с целонесекционной обделкой, закрытого (горного) способа производства работ (между ст. «Красный городок - Октябрьская») – со сборной железобетонной блочной обделкой обжатой в породу и чугунной – в зонах тектонических нарушений.

При строительстве Донецкого метрополитена вне зон тектонических нарушений применена железобетонная блочная обделка Ø 5,65 м. На правом перегонном тоннеле – обжатая в породу, на левом – не обжатая. Максимальные деформации грунтовых массивов на этих участках составляли: наклоны на отдельных интервалах $i_p = \pm 2,5$ мм/м; горизонтальные деформации $E = \pm 2$ мм/м; радиусы кривизны $R_p = \pm 15$ км.

Обделка представляет собой блочные кольца длиной 1 м, собираемые из лоткового, шести нормальных ($\delta = 200$ мм) и одного клинового блоков. Бетон класса В30, рабочая арматура класса А-III. Соединения блоков в кольце осуществляется на цилиндрических стыках.

Связевая железобетонная обделка представляет собой блочные кольца длиной 1 м, собираемые из аналогичных по наименованию, количеству, классам бетона и арматуры блоков. Каждый блок в заводских условиях оснащается по торцам цельнозамкнутой упругой уплотнительной прокладкой. При монтаже блоки в кольце между собой и блочные кольца друг с другом соединяются по типу чугунных – на болтах (связях растяжения), обжимая уплотнительные прокладки и организуя отсеки в продольном направлении тоннеля. Стыки блоков в кольце выполнены плоскими.

При строительстве I-го пускового комплекса на участке ст. «Красный городок» - ст. «Мушкетовская» проектом из общей длины рассматриваемого участка 818 м в зонах тектонических нарушений (Заперевальный и Мушкетовский надвиг) применена чугунная связевая блочная обделка диаметром 5,5 м и длиной 220 м. По уточненным данным УкрНИМИ максимальные деформации грунтового массива в этой зоне: $i_p = \pm 4$ мм/м; $E = \pm 3$ мм/м; $R_p = \pm 3,1$ км /2/.

При проходке перегонных тоннелей щитовым способом с применением не обжатой в породу обделки и буровзрывным способом с применением связевой обделки возникает проблема своевременного ввода блочных колец в работу с грунтовым массивом с целью исключения вывалообразования, снижения осадок земной поверхности и обеспечения эффекта взаимодействия системы «обделка-массив».

При строительстве Донецкого метрополитена этот эффект достигается обжатием обделки по одной из двух технологий – «распорная обделка» или распорный тампонаж.

По технологии «распорная обделка», т.е. обделка обжатая в породу, реализуемая на правом перегонном тоннеле, проводимого с помощью БВР,

предусматривается увеличение наружного диаметра блочного кольца до величины равной диаметру контура выработки или незначительно больше его. По технологии «распорный тампонаж», реализуемой в левом перегонном тоннеле, сооружаемым щитовым комплексом, обжатие блочного кольца осуществляется равномерным распорным давлением тампонажного раствора между контуром выработки и наружной поверхностью обделки.

Обжатием обделки в грунт достигается предотвращение развития деформаций контура выработки за счет более быстрого включения кольца обделки в совместную работу с окружающим грунтом. Это стабилизирует грунтовой массив вокруг тоннеля и тем самым снижает горное давление на обделку, исключая или сводя к минимуму осадки поверхности земли над тоннелями метрополитена.

Для исследования особенностей деформирования подработанного массива по трассе строительства метрополитена было произведено бурение разведочных скважин с целью пересечения очистных и подготовительных выработок, пройденных на глубине до 80 м от отметки заложения тоннелей метрополитена, произведен анализ физико-механических свойств пород и состояния старых горных выработок.

Выявлено три участка, зафиксировавших старые горные выработки и потенциально опасных с точки зрения возможного образования провалов.

Первый участок (район станции «Пролетарская»), где выявлено, что все очистные и подготовительные выработки полностью обрушены и тампонирующие горных выработок не требуется.

Второй участок (перегон «Левобережная» - «Политехнический институт»), где выявлено, что старые выработки обрушены с незначительным локальным разуплотнением до 0,3 м, которое не должно оказывать большого отрицательного влияния при строительстве и эксплуатации тоннелей метрополитена.

Третий участок (перегон «Площадь Ленина» - «Белый лебедь»), где выявлено, что очистные выработки обрушены (заполнены просевшей непосредственной кровлей), подготовительные выработки обрушены не повсеместно, зафиксированы пустоты высотой 1,8 м. На данном участке возможно образование провалов и, как следствие, деформация конструкций и осадка путей метрополитена.

Учитывая изложенные горно-геологические факторы необходимо выделить **особенности сооружения** Донецкого метрополитена:

- впервые в отечественной практике предпринято строительство метрополитена на подрабатываемой территории;
- проектируемые трассы метрополитена находятся в непосредственной близости от выходов на поверхность разрывных тектонических нарушений или пересекают их;
- наличие геологических нарушений, а также прохождение трассы на ранее подработанных территориях и подрабатываемых в настоящее время (в связи с частичной отработкой целиков угля) с большой вероятностью приведет к существенным подвижкам породного массива и недопустимому

деформированию сооружений метрополитена за счет блокового строения массива в зоне тектонических нарушений;

- по трассе метрополитена выявлены участки бывших горных работ расположенных на глубинах до 80 м, на которых горные выработки обрушены не повсеместно и существующие пустоты могут привести к деформации конструкций и осадке путей метрополитена;
- отсутствие нормативной базы для проектирования и строительства метрополитена на подрабатываемой территории выдвигает новые задачи по приспособлению существующих типовых обделок тоннелей к условиям подработки с обоснованием необходимости проведения горно-строительных защитных мероприятий;
- в процессе строительства и эксплуатации метрополитена не исключена возможность появления газа метана в выработках при пересечении ими угольных пластов и пропластков особенно на участках дробления пород в зонах тектонических нарушений;
- территория прохождения трассы метрополитена расположена в пределах полей многих бывших шахт, выработки которых были пройдены в конце XIX и в начале XX веков на небольших глубинах (30-100 м), часть из которых в настоящее время являются коллекторами воды и представляют опасность прорыва, особенно при закрытии шахт, прекращении откачки воды и подъеме ее на верхние горизонты;
- в настоящее время в регионе возникла проблема закрытия шахт, что связано с затоплением их и активизацией процесса сдвижения породы как в ранее пройденных выработках, так и в зонах тектонических нарушений (которые являются местами ослабления массива), что явится причиной дополнительных, трудноопределяемых сдвижений и деформаций горного массива;
- оценка параметров сдвижения и их влияний на обделки тоннелей не имеют общего решения вследствие многообразия схем неизбежной отработки угольных пластов и наличия старых горных выработок под трассой метрополитена.

Исходя из особенностей строительства Донецкого метрополитена на подработанной территории в настоящее время разработаны и предложены следующие **меры защиты** сооружений метрополитена:

- проектные вертикальные габариты перегонных тоннелей принимаются с учетом максимальных неравномерных оседаний (20 мм для тоннелей глубокого заложения и 40 мм для тоннелей мелкого заложения) в результате подработки с тем, чтобы посредством вертикальной рихтовки и перепроектирования профиля рельсового пути обеспечить его нормальную эксплуатацию;
- в местах расположения станций метрополитена при необходимости подработки обеспечивается равномерное оседание соответствующим положением очистных забоев и порядком отработки лав;

- при проведении тоннелей используется технология безосадочной проходки, которая достигается обжатием обделки;
- для создания безопасных условий труда по газовому фактору при строительстве и эксплуатации метрополитена рекомендуется обеспечивать непрерывное проветривание тупиковых выработок сооружений метрополитена в соответствии с существующими требованиями и осуществлять контроль содержания метана и углекислого газа переносными автоматическими приборами в соответствии с требованиями, изложенными в /3/ для шахт первой категории по газу. При подходе на расстоянии до 10 м к зонам дробления пород (геологическим нарушениям) и к старым выработанным пространствам для определения состава газа, его количества и соответствующих мер борьбы с ним необходимо осуществлять бурение передовой разведочной скважины длиной до 10 м с неснижаемым опережением 5 м, которые могут быть использованы и для предотвращения прорыва воды;
- для предотвращения осадок сооружений метрополитена все выработанное пространство в пределах зоны воздействия сооружений метрополитена должно быть затампонировано песчано-цементным раствором;
- на участках открытого способа работ предусмотрено устройство деформационных швов, обеспечивающих компенсацию возможных напряжений и деформаций в продольном направлении, а также устройство армированной железобетонной разгрузочной плиты под всеми сооружениями метрополитена;
- на участках закрытого способа работ – устройство деформационных швов и сооружение обделок со связями растяжений;
- в местах чрезвычайной сложности осуществление защитных мероприятий при строительстве и эксплуатации метрополитена принято решение о консервации запасов угля под трассой метрополитена.

На основании изложенного можно сделать концептуальный вывод о возможности строительства первой очереди Донецкого метрополитена. При этом ключевым критерием надежности являются разработанные и предложенные меры защиты подземных сооружений метрополитена от горных подработок.

Согласно проекту сметная стоимость возводимого сооружения равна 84 млн. долл. Намеченный срок его пуска уже перенесен с 2000 на 2005 г.

На 01.01.2002 г. на сооружение Донецкого метрополитена израсходовано около 40 млн. долл. В настоящее время для проходки межстанционных тоннелей и строительства станций метрополитена подготовлено 11 строительных площадок и еще 6 находятся в стадии строительства. Дальнейшее строительство и ввод в эксплуатацию первой очереди зависит от финансирования, которое осуществляется нерегулярно и в не должном объеме. При нынешнем финансировании этот важнейший для города объект может быть пущен в лучшем случае в 2007 г.

В то же время консервация созданных сооружений метрополитена –

нецелесообразна, т.к. на это мероприятие необходимо израсходовать не менее 8 млн. долл. С ежегодными затратами на обслуживание законсервированных объектов в сумме около 2,5 млн. долл., в то время как на успешное строительство необходимо 5-6 млн. долл./год.

В настоящее время разработана программа финансирования строительства Донецкого метрополитена, которая предусматривает ассигнование как за счет городского, областного так и государственного бюджета на реструктуризацию угольной промышленности Украины. При этом часть бюджетных средств, предусмотренных на закрытие шахт, будет использована для трудоустройства высвобождающихся шахтеров на строительство метрополитена.

11.4 Концепция защиты перегонных тоннелей от влияния горных разработок и тектонических нарушений

Настоящая концепция защиты разработана на основе более детального рассмотрения некоторых проблем в областях геомеханики, механики подземных сооружений и строительных конструкций, возникших при реализации проекта Донецкого метрополитена.

Обобщим сформированные предпосылки к разработке строительных мер защиты перегонных тоннелей от влияния неравномерно деформируемого грунтового массива.

1. Массив горных пород по трассе строительства метрополитена представляет собой дискретную среду, состоящую из отдельных блоков различных размеров.

2. Тектонические зоны представляют собой сложные геологические структуры, разбиты многочисленными системами трещин, имеют блочное строение, а отдельные зоны дробления имеют, как правило, небольшую мощность.

3. Из пункта 2 следует, что при проектировании обделки перегонных тоннелей необходимо учитывать, кроме распределенных нагрузок, сосредоточенные - от вероятного вывалообразования отдельных породных блоков с контура выработки. Однако, как показали результаты расчетов различных железобетонных необжатых обделок (связевых и бессвязевых) по соответствующему этому состоянию методу «заданных нагрузок», ни одна из них не проходит по несущей способности. Альтернативой может служить чугунная обделка, которая, в свою очередь, неприемлема по экономическим соображениям.

4. Железобетонная обжатая (прижатая) в породу обделка является эффективным решением с точки зрения недопущения смещений породных блоков с контура выработки и провокации смещений других блоков. По этой же причине применение буровзрывного способа проходки крайне опасно.

5. В тектонических зонах в пределах всей полумульды сдвижения преобладают горизонтальные деформации сжатия с двумя четкими наиболее опасными участками концентрации на границах нарушений - «входа» и

«выхода». В то же время блочное строение массива может вызвать деформирование вышележащей толщи в виде перемежающихся зон растяжения-сжатия. Поэтому конструкция обделки должна воспринимать знакопеременные вертикальные и горизонтальные деформации как в поперечном, так и в продольном направлении. В связи с тем, что размеры отдельно смещающихся породных блоков неизвестны и могут изменяться в широком диапазоне, целесообразно длину жестких отсеков перегонных тоннелей принимать минимально возможной. При этом компенсационная способность деформационных швов между отсеками должна предусматриваться двузначной.

6. Учитывая, что метрополитен охраняется от влияния горных работ и тектонических нарушений целиками, образование уступов по трассам не ожидается. Радиус кривизны $R_p = 3,1$ км, использованный при проектировании, принят с запасом. Из предварительного анализа имеющихся результатов наблюдений можно констатировать, что минимальные «слаженные» радиусы кривизны в граничных частях мульды сдвижения - $R_p \geq 10$ км даже при непосредственной подработке нарушений. Имеются также предпосылки для смягчения приведенных величин. Для этого необходимы непосредственные маркшейдерские наблюдения в зонах тектонических нарушений вдоль трассы метрополитена. Это позволит получить обоснованные исходные данные для перепроектирования других участков в зонах нарушений, например, Калининского надвига и др.

7. В преимущественно сжатом грунтовом массиве в виду стесненных условий работы блочной обделки, наиболее вероятным характером ее деформирования в продольном направлении является плоскопараллельное перемещение незакрепленных между собой блочных колец с раскрытием или закрытием кольцевых швов.

8. Напряженно деформированное состояние сечений блочной обделки перегонных тоннелей, своевременно введенной в работу с массивом грунта, характеризуется внецентренным сжатием с малыми эксцентриситетами. Этот факт дает основание конструировать блоки с симметричной рабочей арматурой от усилий особого сочетания нагрузок и воздействий.

9. В зонах тектонических нарушений целесообразно заменить чугунную связевую обделку на сборную железобетонную обделку со связями монтажа между блоками в блочных кольцах.

Реализация приведенных предпосылок нашла отражение в скорректированном рабочем проекте перегонных тоннелей на участке ст. «Красный Городок» - ст. «Мушкетовская».

На всей трассе указанного участка, вне зон и в зонах тектонических нарушений, применена железобетонная блочная обделка $\varnothing 05,65$ м с цилиндрическими стыками между блоками. При этом перегонный тоннель в продольном направлении выполняется податливым, состоящим из податливых отсеков L_0 и деформационных вставок $L_{дв}$ между ними (рис. 11.10).

Рис. 11.10 Строительные меры защиты перегонных тоннелей Донецкого

метрополитена от влияния горных разработок и тектонических нарушений: 1 - податливый отсек; 2 - деформационная вставка; 3 - ж.б. блок обделки; 4 - тампонажный раствор; 5 - предварительно обжатая зазорообразующая резиновая уплотнительная прокладка РПЦ-40; 6 - разомкнутый чеканочный компенсатор; 7 - полимербетон

В податливых отсеках соединительно-деформационные швы между блочными кольцами обеспечивают их одностороннюю работу - только на горизонтальные деформации растяжения, при которой длина жесткого отсека становится равной длине одного блочного кольца l_0 и, следовательно, требуемая компенсационная способность шва даже при максимальных значениях $\varepsilon = \pm 12 \cdot 10^{-3}$ составляет не более $[K] = \pm 12$ мм. При действии горизонтальных деформаций сжатия блочные кольца, перемещаясь в продольном направлении относительно друг друга, выбирают монтажные зазоры a_m , смыкаются и организуют жесткий отсек длиной равной сумме длин блочных колец на участке податливого отсека. При этом длина организовавшегося жесткого отсека при действии усилий сжатия (~ 7200 кН/пог. м) ограничивается только расчетным сопротивлением бетона на смятие $R_{b,loc}$ торцевых поверхностей блочных колец.

Дальнейшие перемещения отсека L_0 сбрасываются в деформационную вставку, в которой между блочными кольцами предусмотрены деформационные швы, работающие в двух направлениях - на сжатие-растяжение. В этом случае длина жесткого отсека в деформационной вставке в любом из двух направлений работы равна длине одного блочного кольца l_0 , а зазоры a_d между ними подбираются таким образом, чтобы их сумма в деформационной вставке была не меньше величины деформационного зазора $\Delta_{ш}$ между расчетными отсеками L_{01} . Это дает возможность, исходя из наличия упругих герметичных уплотнителей с заданной компенсационной способностью, принять любое количество блочных колец в деформационной вставке.

Таким образом, податливый отсек L_0 работает по двум схемам: как единый жесткий отсек длиной L_0 при действии $- \varepsilon$, и отдельными жесткими отсеками каждый длиной одного блочного кольца l_0 при действии $+ \varepsilon$. А деформационная вставка $L_{д.в.}$ работает отдельными жесткими отсеками l_0 как при действии $+ \varepsilon$, так и $- \varepsilon$.

Технический результат нового конструктивного решения состоит в том, что компенсация значительных деформаций грунтового массива, действующих на тоннель, происходит при минимальных зазорах между блочными кольцами в деформационной вставке, заполненных упругими герметичными материалами массового изготовления.

Для корректировки проектного решения перегонного тоннеля на рассматриваемом участке *длины податливого отсека и деформационных вставок* устанавливались из нижеследующих соотношений.

Длина податливого отсека –

$$\frac{L_0}{\delta} \leq \frac{\eta \cdot R_{b.loc}}{\tau}, \quad (11.1)$$

где L_0 - длина податливого отсека,

$$L_0 = \Sigma l_0;$$

l_0 - длина блочного кольца; δ - высота сечения блока; η - коэффициент компенсации горизонтальных деформаций сжатия,

$$\eta = k \cdot \varepsilon / \varepsilon - \varepsilon_m;$$

k - параметр контактной поверхности обделки и грунта, $2 \leq k \leq 4$;
 ε - расчетные относительные горизонтальные деформации сжатия;
 ε_m - относительное значение монтажных зазоров между блочными кольцами на участке податливого отсека,

$$\varepsilon_m = a_m / l_0;$$

a_m - монтажный зазор между блочными кольцами в податливом отсеке;
 $R_{b.loc}$ - расчетное сопротивление бетона смятию;
 τ - предельное сдвигающее напряжение в грунте от горизонтальных деформаций сжатия (ДБН В.1.1-5-2000. Часть 1).

Длина деформационной вставки –

$$\frac{L_{d.o}}{L_0} \geq \frac{\varepsilon}{\varepsilon_d - \varepsilon},$$

(11.2)

где $L_{d.o}$ - длина деформационной вставки;
 ε_d - относительное значение деформационных зазоров между блочными кольцами на участке деформационной вставки,

$$\varepsilon_d = a_d / l_0;$$

a_d - деформационный зазор между блочными кольцами в деформационной вставке,

$$\Sigma a_d \geq \delta_{ин};$$

$\delta_{ш}$ - величина деформационного зазора между расчетными отсеками,

$$\delta_{ш} = \varepsilon \cdot L_{01};$$

L_{01} - длина расчетного отсека,

$$L_{01} = L_0 + L_{д.в.}$$

В качестве примера использованы исходные данные по перегонному тоннелю на участке ст. «Красный Городок» - ст. «Мушкетовская»: обделка из сборных железобетонных блочных колец, $l_0 = 1$ м, $\delta = 0,2$ м; бетон тяжелый кл. В30, $R_{b,loc} = 21$ МПа; грунт - аргиллит, $\varphi_{II} = 22^\circ$, $c_{II} = 0,028$ МПа; параметр контактной поверхности обделки и грунта $k = 3$; расчетные относительные горизонтальные деформации $\varepsilon = \pm 3$ мм/м; среднее нормальное напряжение по периметру тоннеля от горного давления $\sigma_{II} = 0,81$ МПа; монтажные и деформационные зазоры между блочными кольцами соответственно $a_m = 2$ мм, $a_d = 20$ мм.

Расчет:

1. Длина податливого отсека

$L_0 = \eta \cdot \delta \cdot R_{b,loc} / \tau$; $\varepsilon_m = a_m / l_0 = 2/1 = 2$ мм/м; $\eta = k \cdot \varepsilon - \varepsilon_m = 3 \cdot 3/3 - 2 = 9$; $\tau = \sigma_{II} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{II} + c_{II} = 0,81 \cdot \operatorname{tg} 22^\circ + 0,028 = 0,35$ МПа; $L_0 = 0,2 \cdot 9 \cdot 21/0,35 = 107$ м [L_n] = 60 м; [L_n] - длина отсека, принятая в исходном проекте. Далее принято $L_0 = [L_n] = 60$ м.

2. Длина деформационной вставки

$L_{д.в.} = \varepsilon L_0 / \varepsilon_d - \varepsilon$; $\varepsilon_d = a_d / l_0 = 20/1 = 20$ мм/м; $L_{д.в.} = 3 \cdot 60/20 - 3 \approx 10$ м.

3. Длина расчетного отсека

$L_{01} = L_0 + L_{д.в.} = 60 + 10 = 70$ м; Деформационный зазор между расчетными отсеками $\Delta_{ш} = \varepsilon \cdot L_{01} = 3 \cdot 70 = 210$ мм.

4. Проверка

$\Sigma a_d \geq \Delta_{ш}$; $\Sigma a_d = 20 \cdot 11 = 220 > \Delta_{ш} = 210$ мм.

Таким образом, применение вместо одного практически неосуществимого деформационного шва с зазором между расчетными отсеками $\Delta_{ш} = 210$ мм с компенсационной способностью $K = \pm 210$ мм, предложенного технического решения (Декларационный патент на полезную модель № 1061 UA) приводит к равноценной компенсационной способности сооружения при зазорах между блочными кольцами в деформационной вставке $a_d = 20$ мм. При этом длина податливого отсека $L_0 > 60$ м, а деформационной вставки $L_{д.в.} = 10$ м.

Для рассматриваемого участка перегонного тоннеля в скорректированном рабочем проекте принято: вне зон тектонических нарушений соотношение длин податливых отсеков и деформационных вставок - 10:1, соответственно $L_0 = 60$ м и $L_{д.в.} = 6$ м; в зонах тектонических нарушений

указанное соотношение - 1:1, соответственно $L_0 = L_{д.в.} - 6$ м. При этом зазоры между блочными кольцами в деформационных вставках составляют $a_d = 5 - 7$ мм (см. рис. 11.10).

Как видно, предложенное техническое решение перегонного тоннеля адекватно отражает концепцию его защиты от влияния горных разработок и тектонических нарушений и обеспечивает качественно новые условия его работы, позволяющие при минимальных затратах повысить эксплуатационную надежность сооружения.

Глава 12. Основные результаты исследовательских и проектно-конструкторских работ по строительству метрополитена на подрабатываемых территориях

12.1 Способ безосадочной щитовой проходки тоннелей

Проходка тоннелей и коллекторов щитовым способом вызывает осадки земной поверхности, что имеет негативные последствия для зданий, сооружений и коммуникаций, особенно при плотной застройке населенных пунктов и промышленных предприятий. Уменьшения осадок можно добиться применением эффективных технологии проходки, обеспечивающих своевременный ввод обделки в работу и тем самым ее взаимодействие с грунтовым массивом в режиме взаимовлияющих деформаций, который позволяет максимально использовать несущие свойства грунта. В свою очередь этот режим должен быть адекватно примененной технологии отражен в проектировании обделок.

Существующие способы снижения осадок земной поверхности увязаны с обжатием обделок по технологиям условно названным "распорная обделка" и "распорный тампонаж". По технологии "распорная обделка" используются различные варианты обжатия клиновым блоком, домкратами и др., предусматривающие увеличение наружного диаметра блочного кольца до величины, превышающей первоначальный диаметр контура выработки. По технологии "распорный тампонаж" обжатие блочного кольца равномерным распорным давлением создается между контуром выработки и обделкой тампонажным материалом. Эта технология имеет очевидные преимущества: исключение трудоемких операций по обжатию обделки в породе и более эффективное снижение осадок земной поверхности.

В первом случае распорное давление предварительно организуется торовой пневмооболочкой, которая в последующем передается на тампонажный материал, инъецируемый в заобделочное пространство через отверстия в блоках обделки.

Во втором случае распорное давление организуется непосредственно тампонажным материалом, который запрессовывается в заобделочное пространство одновременно с установкой блочного кольца в проектное положение. Остановимся подробнее на этом способе и особенностях конструктивного решения проходческого щита, реализующего его.

Проходческий щит (рис. 12.1-12.3) включает корпус 1, в хвостовой части которого смонтированы механизмы подачи тампонажного материала 2. Каждый механизм состоит из корпуса 3, имеющего открытую со стороны возводимой обделки полость 4, в которой размещен конгруэнтный корпусу 3 пресегмент 5, перемещаемый прессующим домкратом 6. Пресегмент снабжен отверстием, которое перекрыто клапаном 7, дистанционно управляемым в процессе подачи тампонажного материала по материаловоду 13. На корпусе 1 имеется также щитовой домкрат 8. При сборке механизмов подачи тампонажного материала их корпуса образуют калибровочную оболочку 9.

После передвижки щита на очередную заходку (рис. 12.3, начало цикла) в калибровочной оболочке собирается блочное кольцо обделки 10 (рис. 12.4), после чего в полость 4 по гибким материальным шлангам 14, соединенным с материалопроводами, подается тампонажный материал 11. Дистанционно управляемые клапаны, перекрывающие отверстия в

прессегах, открыты. По завершении подачи тампонажного материала клапаны закрываются. Щитовые домкраты осуществляют передвижку щита в выработанное пространство (рис. 12.5).

Рис. 12.1 Проходческий щит. Продольный разрез

Одновременно с прессегами, перемещаемыми прессующими домкратами, тампонажный материал из полостей 4 вытесняется в освобождаемый по мере движения щита кольцевой зазор между контуром выработки 12 и блочным кольцом обделки и спрессовывается с заданным усилием прессующими домкратами (фигура б, конец цикла). При этом предотвращается повреждение движущимся щитом свежеложенного тампонажного материала, так как его формование осуществляется за пределами щита на внешнем контуре, уже смонтированного и фиксированного в проектном положении блочного кольца. Преимуществами конструктивного решения щита являются и отсутствие в корпусах инжекторов движущихся относительно друг друга частей, зазоров сложной формы, в которых могли бы задерживаться абразивные частицы тампонажного материала, а также возможность оперативной замены вышедших из строя инжекторов непосредственно в процессе эксплуатации щита без длительной остановки проходки.

Рис. 12.2 Проходческий щит, разрез по А-А

Технологией обеспечивается образование и сохранение кольцевой формы заобделочного пространства, а использование прессегах и прессующих домкратов позволяет равномерно и качественно произвести заполнение кольцевой полости тампонажным материалом.

При полной передвижке щита на очередную заходку в проектное положение устанавливается блочное кольцо предыдущего цикла, которое уже зафиксировано на половине своей длины набравшим достаточную прочность тампонажным материалом. Блочное кольцо рассматриваемого цикла выходит из калибровочной оболочки только наполовину длины (рис. 12.6), что позволяет предотвратить просадки свежеложенного тампонажного материала под весом обделки.

Таким образом, контур выработки всегда остается закрепленным, в результате чего исключается возможность вывалообразования и практически устраняются осадки земной поверхности.

Рис. 12.3 – 12.6 Взаимное положение конструктивных элементов проходческого щита в процессе возведения обделки тоннеля

К тампонажному материалу должны быть предъявлены требования водонепроницаемости, податливости, набора не менее 50% прочности за время одного цикла проходческих работ, а также экономичности. Таким

требованиям отвечают специальные рецептуры на основе традиционных бетонных смесей и новые низкомодульные глиноцементные и глинодоломитные растворы с упругими и упруго-пластическими наполнителями типа латексов. В этом случае тампонажный слой, являясь демпферным элементом обделки, способен частично регулировать горное давление, что имеет особое значение при строительстве тоннелей в неравномерно-деформируемых грунтовых массивах.

Область применения рассматриваемых техники и технологии может быть существенно расширена за счет коллекторостроения. В большинстве случаев после крепления выработки сборной обделкой ее облицовывают изнутри монолитной железобетонной рубашкой, выполняющей функции гидроизоляции. Монолитная тампонажная рубашка кольцевого поперечного сечения с вышеуказанными свойствами, выполненная на внешнем контуре сборной обделки по предлагаемой технологии, исключает необходимость устройства материалоемкой и трудоемкой внутренней облицовки. Кроме того, устранение жесткого ядра, каким являлась железобетонная рубашка, увеличивает податливость системы «обделка-массив», что позволяет эффективно регулировать горное давление.

Разработан инженерный способ расчета обделок тоннелей с учетом контактного взаимодействия с грунтовым массивом, который отражает предлагаемую технологию проходки и крепления выработки. Нагружение обделки происходит в два этапа. На первом - обделка испытывает распорное давление тампонажного материала P (рис. 12.7 а), которое моделируется в расчетной схеме заданием радиальным стержневым элементом, связывающим внутреннее и наружное кольца схемы (имитирующие соответственно обделку и контур выработки), относительной деформации растяжения E (рис. 12.7 б). Величина E определяется расчетным путем в зависимости от свойств тампонажного материала и усилия его запрессовки в заобделочное пространство. В результате обжатия обделка включается в совместную работу с массивом и начинается второй этап ее нагружения.

Рис. 12.7 Конструктивная схема обделки (а) и расчетная схема системы "обделка-массив" (б) на первом этапе нагружения

На этом этапе обделка испытывает остаточное давление обжатия и давление грунта. Величина остаточного давления обжатия, определяемая опытным путем, моделируется в расчетной схеме (рис. 12.8 а) заданием радиальным стержневым элементом относительной деформации растяжения E_r . Давление грунта на обделку предлагается определять по разработанному инженерному способу, отражающему их взаимодействие в режиме взаимовлияющей деформации.

По этому способу нагрузки на обделку определяются в процессе расчета в зависимости от величины начальных напряжений в массиве, сложившихся к моменту ввода обделки в совместную работу,

механических и деформационных свойств конструкции обделки и грунта. Достигается это следующим образом.

Рис. 12.8 Расчетная схема системы «обделка-массив» на втором этапе нагружения в исходном (а) и равновесном (б) состоянии

При закрепленных контактных узлах нормальных и касательных грунтовых связей их опорным узлам задаются перемещения U_i и V_i (рис. 12.8 а), определенные в зависимости от величины начальных напряжений σ_0 и τ_0 в массиве и коэффициента упругого отпора грунта. В результате в этих связях создаются усилия, соответствующие начальным напряжениям в массиве, а в обделке - напряжения пока отсутствуют. Это соответствует состоянию обделки вблизи забоя, который оказывает сдерживающее влияние на смещения поверхности выработки. Подвигание забоя моделируется снятием закреплений контактных узлов грунтовых связей (рис. 12.8 б), в результате чего происходит деформирование системы "обделка-массив" под действием снимаемых напряжений.

Таким образом, при заданных перемещениях в опорных узлах расчет обделки сводится к определению перемещений контактных узлов грунтовых связей, соответствующих переходу системы "обделка-массив" в равновесное состояние. По найденным перемещениям определяются усилия в элементах расчетной схемы, а по усилиям в связях - нормальные σ и касательные τ контактные напряжения (нагрузки на обделку).

12.2 Исследование взаимодействия подрабатываемого горного массива и обделки перегонного тоннеля метрополитена

Строительство метрополитена на подрабатываемых территориях, предпринятое в г. Донецке, не имеет аналогов в отечественном метростроении.

Зарубежный опыт, накопленный в Рурском и Саарском угольных бассейнах в 1978-1981 гг., показывает насколько серьезно проектировщики относятся к восприятию и компенсации деформационных воздействий подрабатываемого породного массива. Так, сборная стальная обделка перегонного тоннеля 0,63 м защищена от лобового давления грунта по боковым поверхностям (симметрично на длину дуг 3 м) системой упругих и податливых элементов с применением пружин, вспененных полимеров и др. В связи с этим поставлена задача по приспособлению применяемых типовых обделок перегонных тоннелей к условиям подработки при экономической целесообразности введения конструктивных мер защиты.

Ниже приводятся методика и результаты экспериментальных исследований на моделях особенностей формирования лобовых нагрузок на обделку однопутного перегонного тоннеля метрополитена при воздействии горизонтальных деформаций сжатия в плоскости поперечного сечения сооружения. Работа выполнена в Донецком

ПромстройНИИпроекте и ДонУГИ под руководством автора.

Трасса Донецкого метрополитена глубокого заложения пересекает различные инженерно-геологические элементы, характерные участки которых объединены в три основные группы:

I. Скальные породы (песчаники мелко- и среднезернистые слюдистые крепкие трещиноватые) с усредненными характеристиками – расчетное сопротивление пород в массиве сжатию $R_c = 111 \text{ кг/см}^2$; модуль деформации $E_r = 20600 \text{ кг/см}^2$; удельный вес $\gamma = 2,39 \text{ т/м}^3$; коэффициент крепости по Протодяконову $f_{кр} = 3,5$; кажущийся угол внутреннего трения $\varphi_k = 64^0$; коэффициент Пуассона $\mu = 0,25$.

II. Полускальные породы (аргиллиты тонкослоистые выветрелые сильнотрещиноватые) с усредненными характеристиками: $R_c = 31,2 \text{ кг/см}^2$; $E_r = 7000 \text{ кг/см}^2$; $\gamma = 2,28 \text{ т/м}^3$; $f_{кр} = 1,75$; $\varphi_k = 45^0$; $\mu = 0,27$.

III. Два или более геологических элементов.

Обделка перегонного тоннеля $\varnothing 5,65 \text{ м}$ состоит из блочных колец длиной 1 м. В каждом кольце – 7 блоков, соединенных между собой шарнирно – на цилиндрических стыках, и один клиновой блок. Толщина обделки (кроме лоткового блока) – 200 мм, класс бетона по прочности на сжатие – В30.

Экспериментально на моделях грунтового массива конечной жесткости исследовались особенности развития относительных горизонтальных деформаций сжатия ($-\varepsilon$) в окрестности выработки. Полученные результаты сравнивались с результатами исследований аналогичных моделей грунтовых массивов без выработки и с обделкой бесконечной жесткости (рис. 12.9).

В соответствии с требованиями моделирования по методу эквивалентных материалов множитель геометрического подобия принят $\alpha_L = 1/40 = 0,025$ (по опыту ВНИМИ, ДонУГИ, ЛИИЖТ принимается в интервале $\alpha_L = 1/20 \div 1/100$). При этом диаметр модельной обделки составил $d_r^M = 150 \text{ мм}$ (принят $d^H = 6000 \text{ мм}$). Исходя из того, что влияние краевого эффекта на взаимодействие обделки и массива резко снижается при размерах массива от центра выработки $L/2$ ($H/2$) $\geq 3d$ размеры моделей фрагмента грунтового массива приняты $L^M \cdot H^M = 2400 \cdot 1500 \text{ мм}$, а толщина – $\delta^M = 200 \text{ мм}$, что обеспечивает работу массива в условиях плоской задачи.

Материал моделей грунтового массива подбирался по условиям подбоя средних значений прочностных (R_c) и деформативных (E_r) характеристик натурального грунта II группы на глубине заложения перегонного тоннеля $H_3 = 50 \text{ м}$. Состав – смесь песка, слюды и парафина, разработан лабораторией управления кровлей ДонУГИ со следующими параметрами:

$$R_c^M = \alpha_v \cdot R_c^H = 0,0175 \cdot 57,7 = 1,01 \text{ кг/см}^2;$$

$$E_r^M = \alpha_v \cdot E_r^H = 0,0175 \cdot 11430 = 200 \text{ кг/см}^2.$$

(α_v - множитель подобия для напряжений). Допускаются отклонения от приведенных значений при условии соблюдения соотношения $E_r^M / R_c^M \approx 200$.

Рис. 12.9 Модели грунтовых массивов

Железобетонная обделка смоделирована по условиям подобия жесткости с учетом линейной работы на всех стадиях загрузки вплоть до исчерпания несущей способности грунтового массива:

жесткость при изгибе

$$B_n^M = \alpha_{ев} \cdot B_n^H = 6,84 \cdot 10^{-9} \cdot 11 \cdot 10^6 = 75,24 \text{ кг/см}^2;$$

жесткость при растяжении-сжатии

$$B_p^M = \alpha_{еп} \cdot B_p^H = 1,09 \cdot 10^{-5} \cdot 3,3 \cdot 10^7 = 3597 \text{ кг/см}^2;$$

($\alpha_{вм}, \alpha_{еп}$ - множитель подобия по жесткости обделки при изгибе и растяжении-сжатии).

Рис. 12.10 Центральная измерительная секция модели гибкой обделки.

Модель обделки жесткости выполнена из оргстекла ($E = 3,3 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2$, $\mu = ,35$) в виде трех секций, конструктивно не связанных друг с другом в продольном направлении. Длина крайних секций – 80 мм каждая, длина центральной измерительной секции – 40 мм (рис. 12.10). Толщина определена исходя из вышеприведенных значений жесткостных характеристик и принята $\delta_r^M = 1,9 \text{ мм}$. Модель обделки бесконечной жесткости с наружным диаметром $d_{жс}^M = 150 \text{ мм}$ выполнялась цельной на всю толщину модели фрагмента грунтового массива в виде тостостенного металлического цилиндра. Выработки выполняли в моделях сформированных грунтовых массивов до их пригруза. Форма выработок повторяла форму нужного контура модели обделки, а зазоры между ними не превышали 1 мм.

Конструкция испытательной установки (рис. 12.11) обеспечивала:

Подобие вертикальных напряжений в массиве от горного давления на глубине заложения обделки при $\gamma^H = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^3$ ($\gamma^M = \alpha_v \cdot \gamma^H = 0,7 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} = 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^3$) за счет равномерно распределенного по верхней грани модели массива вертикального пригруза $q_{гр}^M = (\alpha_v \cdot \sigma_B^H - \gamma^M \cdot H^M/2) \cdot \delta^M = (0,0175 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3 - 1,47 \cdot 10^{-3} \cdot 75) \cdot 20 \approx 1,48 \text{ кг/пог. см}$;

подобие горизонтальных напряжений в массиве от горного давления на этой же глубине за счет горизонтального пригруза по боковым граням модели массива исходя из условий реализации в вертикальных сечениях горизонтальных напряжений σ_x^M , соответствующих напряжениям в натурном массиве при $\mu = 0,25$ (значение пригруза P_i , кг приведены на рис. 12.11);

реализацию в модельном массиве относительных горизонтальных деформаций сжатия за счет симметричных ступенчатых перемещений ($\Delta =$ до 11 мм) боковых штампов.

В процессе проведения опытов регистрировались: перемещения штампов (индикаторами с ценой деления 0,01 мм); деформированное состояние модели грунтового массива (зеркальными тензодатчиками на лицевой поверхности модели по рис. 12.9, ошибка измерения при $\Delta = 5$ мм не более 0,02%; измерение изменений формы и размеров контура модели обделки конечной жесткости (блоком индикаторов с ценой деления 0,01 мм).

Испытания каждой модели грунтового массива проводились в два этапа. На этапе 1 модели нагружались вертикальными и горизонтальными пригрузами; на этапе 2 в массиве путем перемещения штампов создавались горизонтальные деформации

Рис. 12.11 Принципиальные схемы экспериментальной установки и нагружения грунтового массива

сжатия, максимальные значения которых при одинаковых $\Delta = 11$ мм составили: в массиве без выработки $\varepsilon = - 3,17$ мм/м; в массивах, вмещающих обделки бесконечной и конечной жесткостей $\varepsilon = - 4,54$ мм/м. Эксперименты прекращались при обнаружении местного разрушения материала моделей в области действия боковых штампов.

Обработка опытных данных включала:

усреднение значений вертикальных и горизонтальных перемещений точек массива, симметричных относительно вертикальной оси грунтовой модели;

вычисление средней поправки для вертикальных перемещений точек массива, отклонившихся вследствие асимметрии граничных условий по верхней и нижней граням грунтовой модели;

приведение деформационного нагружения к пяти ступеням (рис. 12.12), на каждой из которых во всех трех моделях вне активной зоны сжатия (определение см. ниже) возникли одинаковые относительные деформации – ε_i .

Рис. 12.12 График деформационного нагружения моделей

Таким образом, исключая ряд погрешностей за счет местных условий экспериментов, устанавливалась картина перемещений частиц грунта в каждой модели.

Отмечено, что наиболее активное отклонение траекторий в вертикальном направлении происходит в окрестностях выработки. Причем, в моделях массива, окружающего обделку конечной жесткости, движение грунтовых частиц направлено к центру, а в массиве с обделкой бесконечной жесткости - от центра выработки. Это согласуется с положением упругой оси обделки и связанных с ним

соответственно разрежением и уплотнением грунта. Участок модели в окрестности выработки, где проявляется влияние жесткости обделки на деформированное состояние грунтового массива, назван активной зоной сжатия - $l_{аз}$.

Для выявления ее границ построены эпюры перемещений точек массивов, включающих обделки различных жесткостей относительно перемещений соответственных точек массива без выработки (рис. 12.13). Таким методом исследовано деформированное состояние массивов на расстояниях $R \div 6R$ (R - радиус обделки) от вертикальной оси обделки. Как видно, наличие в массиве обделки конечной жесткости вызывает увеличение значений перемещений фиксируемых точек на расстоянии до $5R$ от вертикальной оси модели. Наличие в массиве обделки бесконечной жесткости вызывает, наоборот, уменьшение значений перемещений этих точек на расстоянии до $2,7R$. Очевидно, измеренные расстояния и являются величинами активной зоны сжатия, зависящими от изгибной жесткости помещенных в выработку обделок.

Рис. 12.13 Перемещения точек массивов с жесткой и гибкой обделками относительно перемещений соответственных точек массива без выработки

Рис. 12.14 Развитие относительных горизонтальных деформаций ε в грунтовых массивах при $\Delta = 10$ мм

Рис. 12.15 Развитие относительных горизонтальных деформаций - ε при $\Delta = 10$ мм в грунтовых массивах: а – без выработки; б – с жесткой обделкой; в – с гибкой обделкой

Рассмотрим развитие относительных горизонтальных деформаций в моделях грунтовых массивов на пятой ступени нагружения при $\Delta_5 = 10$ мм. Зона достоверных результатов $l_{д}$, свободная от влияния граничных условий моделей, установлена по участку с неизменной (исходной) величиной $\varepsilon = - 2,75$ мм/м в грунтовом массиве без выработки (рис. 12.14) Длина этой зоны особенно четко прослеживается по горизонтальной оси модели и составляет $l_{д} = 5,5R$ от центра выработки. С учетом этих данных удалось установить влияние жесткости обделки на изменение исходных значений - ε .

Как видно, в случае обделки бесконечной жесткости (рис. 12.15 б), величины - ε начиная с $l_{аз} = 2,7R$ по мере приближения к выработке резко возрастают и в зоне контакта массива с выработкой составляют $\varepsilon = - 24$ мм/м. В случае обделки конечной жесткости (рис. 12.15 в) величины - ε начиная с $l_{аз} = 5R$ по мере приближения к выработке уменьшаются до нуля ($x = 1,6R$) и затем переходят в деформации растяжения, достигая в ближайшей к обделке точке массива ($x = 1,2R$) экстремального значения $\varepsilon = + 12$ мм/м, что соответствует значению перемещения грунта по направлению горизонтального диаметра $\Delta_r = 1,08$ мм. При этом прогиб обделки по этому же направлению составил $f_r = 0,63$ мм. Так называемая "зона отлипания" не зафиксирована. Наоборот, в связи с тем, что $\Delta_r > f_r$, непосредственно на контакте произошло уплотнение

материала массива, сопровождаемое увеличением относительных горизонтальных деформаций.

Отмечено также, что участки обделки, примыкающие к главным диагоналям (под углом 45° к вертикальной оси модели), деформируются в основном за счет угловых перемещений, в то время как участки обделки, примыкающие к горизонтальной оси модели - за счет линейных. То есть, отмечено проявление арочного эффекта в формировании бокового давления: его концентрация на диагональных и разряжение на горизонтальных участках обделки. Это подтверждается и характером развития горизонтальных деформаций массива.

Проверка опытных данных проводилась численными исследованиями по программе "COMBAIN" (Донецкий ПромстройНИИпроект) нелинейного расчета стержневых систем, работающих во взаимодействии с подрабатываемым грунтовым массивом. Выполнено 3 расчета моделей грунтового массива: без выработки, с обделками бесконечной и конечной жесткости. Деформационные воздействия сжатия задавались последовательно в три этапа: $\Delta_1 = 1,7$ мм, $\Delta_2 = 3,4$ мм, $\Delta_3 = 5,1$ мм ($\Sigma\Delta = 10,2$ мм).

Из рис. 12.15, где развитие деформаций в грунте показано на уровне горизонтального диаметра выработки, следует:

в массиве без выработки (рис. 12.15 а) $\varepsilon = - 2,7 \cdot 10^{-3}$ мм/м распространяется по его длине равномерно;

в массиве с бесконечно жесткой обделкой (рис. 12.15 б) в непосредственной близости от нее - ε резко (в 1,5 раза) возрастают, при этом $l_{a.з.} = 2,3R$;

в массиве с обделкой конечной жесткости (рис. 12.15 в) в ее окрестности ($1,5R$) деформации понижаются до $\varepsilon = + 1,5 \cdot 10^{-3}$ мм/м, а с приближением к контактной поверхности происходит увеличение деформаций до $\varepsilon = - 0,8 \cdot 10^{-3}$ мм/м, при этом $l_{a.з.} = 4,5R$.

Сравнение результатов опытов и расчетов (см. рис. 12.15) показывает, что размеры активной зоны сжатия $l_{a.з.}$ практически совпадают. Качественно сходно также развитие ε , что соответствует представлениям о взаимодействии обделки и деформирующегося грунта. Существенные же различия в экстремальных величинах ε следует отнести за счет неполного соответствия расчетной схемы системы реальному объекту, а также погрешностей, характерных при моделировании.

В целом полученные данные имеют существенное значение для разработки новой методики расчета обделок перегонных тоннелей на рассматриваемое деформационное воздействие. В отличие от зарубежного опыта имеется реальная возможность снизить материалоемкость и стоимость защитных мероприятий.

12.3 Анализ работы конструкций обделки перегонных тоннелей в зонах тектонических нарушений

В практике строительства межстанционных тоннелей вне зон тектонических нарушений применяется железобетонная блочная обделка $\varnothing 5,65$ м обжатая и необжатая в породу. Максимальные деформации грунтовых массивов на этих участках: $i_p = \pm 2,5$ мм/м; $\varepsilon_p = \pm 2$ мм/м; $R_p = \pm 15$ км.

Базовая сметная стоимость железобетонной блочной обделки на 1 п.м

составляет 842 грн., с учетом рынка – 4598 грн.; чугунной блочной обделки - соответственно 2500 грн. и 21055 грн.

В связи с высокой стоимостью чугунной обделки НТЦ «Метродон» предложено разработать железобетонную связевую обделку вместо чугунной для использования в зонах тектонических нарушений.

Железобетонная обделка необжатая в породу представляет собой блочные кольца длиной 1 м, собираемые из лоткового, шести нормальных ($\delta = 200$ мм) и одного клинового блоков. Бетон класса В30, рабочая арматура класса А-III, косвенная арматура - 4 сетки из арматуры $\varnothing 8$ А-I. Соединения блоков в кольце осуществляется на цилиндрических стыках.

Связевая железобетонная обделка представляет собой блочные кольца длиной 1 м, собираемые из аналогичных по наименованию, количеству, классам бетона и арматуры блоков. Каждый блок в заводских условиях оснащается по торцам цельнозамкнутой упругой уплотнительной прокладкой. При монтаже блоки в кольце между собой и блочные кольца друг с другом соединяются по типу чугунных — на болтах (связях растяжения), обжимая уплотнительные прокладки и организуя отсеки в продольном направлении тоннеля. Стыки блоков в кольце выполнены плоскими.

Проведен сравнительный численный анализ статической работы и несущей способности указанных двух типов железобетонных обделок на особое сочетание нагрузок и воздействий по программе, приведенной в таблице.

Рассмотрим идеологию примененных методов расчета, адекватно отражающих технологию строительства.

Таблица 12.1

Исходные данные численных исследований

Метод статического расчета по программе «Сотбаин» (Донецкий ПромстройНИИпроект)	Заданных нагрузок Упругий расчет	Взаимовлияющих деформаций	
		Упругий расчет	Нелинейный расчет
Вид обделки,	Железобетонная блочная необжатая в породу - «ОН»		

маркировка		Железобетонная блочная связевая - «ОС»
Инженерно-геологическое описание пород в зоне	Заперевального надвига	Песчаники выветрелые пониженной прочности, малопрочные, средней плотности – $\rho = 2,38 \text{ т/м}^3$; $k = 25 \text{ кг/см}^3$. Заглубление верха тоннеля – $H = 31, 7 \text{ м}$
	Мушкетовского надвига	Полускальные грунты - аргиллиты весьма низкой прочности, размягчаемые в воде, тонкослоистые сильно трещиноватые ожелезненные – $\rho = 2,25 \text{ т/м}^3$; $k = 15 \text{ кг/см}^3$. Заглубление верха тоннеля – $H = 43 \text{ м}$
Горно-геологические данные в зоне	Заперевального надвига	$i_p = \pm 4 \text{ мм/м}$; $\epsilon_p = \pm 3 \text{ мм/м}$; $R_p = \pm 3,1 \text{ км}$
	Мушкетовского надвига	

При проходке перегонных тоннелей щитовым способом с применением необжатой в породу обделки и буровзрывным способом с применением связевой обделки возникает проблема своевременного ввода блочных колец в работу с грунтовым массивом с целью исключения вывалообразования, снижения осадок земной поверхности и обеспечения эффекта взаимовлияющих деформаций системы «обделка-массив». Принципиально, этот эффект достигается обжатием обделки по одной из двух технологий - «распорная обделка» или «распорный тампонаж».

По технологии «распорная обделка» (обделка обжатая в породу) предусматривается увеличение наружного диаметра блочного кольца до величины, равной (или большей) первоначальному диаметру контура выработки.

По технологии «распорный тампонаж», реализуемой в зонах тектонических нарушений, обжатие блочного кольца равномерным распорным давлением создается между контуром выработки и обделкой тампонажным материалом. Здесь возникают серьезные производственные трудности, связанные с неравномерным заполнением заобделочного пространства, а также снижением давления его подачи в связи с недостаточной герметичностью заделки торцевых сечений выработки при буровзрывном способе проходки. Несоблюдение технологии, обеспечивающей своевременный ввод обделки в работу, вынужденно приводит к необходимости ее расчета по методу Метрогипротранса - заданных нагрузок с ограниченным учетом поддерживающего влияния среды.

Строгое соблюдение технологии проходки по одному из указанных вариантов — «распорная обделка» или «распорный тампонаж», позволяет обоснованно применять методы расчета обделок во взаимодействии с грунтом в режиме взаимовлияющих деформаций. Этот метод нами реализован на основе достаточно приемлемого приближенного решения контактной задачи.

Используется дискретная расчетная схема, в которой обделка представлена стержневой системой, а грунтовый массив - упругими опорами (связями),

ориентированными по нормали и касательной к контуру выработки. Характерной особенностью метода является моделирование в расчетной схеме начального (к моменту ввода обделки в работу) напряженного состояния массива путем нагружения нормальных и касательных связей соответствующим фиксированным перемещением их опорных узлов. Деформации сжатия подрабатываемого грунтового массива задаются аналогично дополнительным фиксированным перемещением.

Рис. 12.16 Результаты статических расчетов (M , t_m) железобетонных блочных обделок необжатой в породу («ОН») и связевой («ОС») на особое сочетание нагрузок и воздействий по методам а – заданных нагрузок, упругий расчет, б, в – взаимовлияющих деформаций – соответственно упругой и нелинейный расчет

Переход системы «обделка-массив» в равновесное состояние сопровождается частичным снятием с контура выработки напряжений за счет перемещений контактных узлов связей - прогибов обделки. При этом определяют соответствующие им усилия в элементах расчетной схемы. Результирующие усилия в связях являются действительными нагрузками на сооружение, поскольку они устанавливаются в зависимости от природных напряжений в массиве, технологии крепления выработки с учетом отставания возведения обделки от образования выработки и соотношения жесткостных характеристик грунта и обделки. В сравнении с результатами расчета по методу заданных нагрузок усилия в обделке оказываются в два и более раз меньше.

Описанная методика расчета ориентирована на использование программы «Сомбайн» (Донецкий ПромстройНИИпроект), позволяющая определять напряженно-деформированное состояние конструкций и контактирующего грунтового массива, для которых применима плоская конечно-элементная дискретизация. Расчет может быть выполнен в упругой и нелинейной постановках.

Рис. 12.17 Результаты конструктивных расчетов плоских стыков связевой обделки на усилия по методу заданных нагрузок (упругий расчет по рис.) при работе а – на местное сжатие (смятие), б – в момент шарнирообразования

Режим сложного (знакопеременного с разгрузкой) нагружения задается методом последовательного нагружения на базе реальных диаграмм сопротивления материалов. Физическая нелинейность реализуется путем последовательного использования кусочно-линейных участков исходных и трансформированных циклических диаграмм сопротивления бетона, арматуры и грунта. Конструктивная нелинейность расчетной схемы - специально введенными участками диаграмм сопротивления грунтовых элементов,

символизирующих нарушение контакта сооружение-грунт при горизонтальных и вертикальных деформациях подрабатываемого массива. Расчетная схема составляется пространственными (разделенными на бетонные и арматурные слои по высоте сечения) и стержневыми конечными элементами (железобетонными и грунтовыми).

Результаты численных исследований железобетонных блочных обделок с цилиндрическими и плоскими стыками между блоками в зоне геологических нарушений приведены в рис. 12.16.

Расчетная схема связевой обделки - «ОС», как и необжатой - «ОН» принимается проектировщиками как шарнирная система. Однако наличие плоских стыков между блоками в «ОС» в отличие от цилиндрических стыков между блоками в «ОН» наряду с фактором всестороннего обжатия перегонных тоннелей горным давлением, не создает условий для взаимного поворота блоков в связевой обделке. Поэтому статические расчеты обделок выполнены: по шарнирной схеме для «ОН» и бесшарнирной схеме для «ОС».

Рис. 12.18 Результаты конструктивных расчетов плоских стыков связевой обделки на усилия по методу взаимовлияющих деформаций (упругий расчет по рис.) при работе а – на местное сжатие (смятие), б – в момент шарнирообразования

Расчет по методу заданных нагрузок показывает, что несущие свойства как шарнирной необжатой в породу, так и связевой обделок недостаточны. Так, в необжатой обделке отмечена потеря устойчивости поперечника - перемещения между блоками в замковом шарнире достигают $\Delta_z = - 216$ мм. В связевой обделке возникает необходимость существенного пере-конструирования узлов и сечений.

Упругий расчет по методу взаимовлияющих деформаций показывает, что в связевой обделке по сравнению с необжатой расход арматуры больше до 30%. Из нелинейного расчета следует, что при одинаковой исходной рабочей арматуре в обделках «ОН» и «ОС» (внутренняя грань - 6Ø18АШ; наружная грань - 4Ø18АШ) в необжатой (при $[\varepsilon_p] = - 3$ мм/м) не наступает исчерпание несущей способности сечений, в то же время в связевой обделке несущая способность исчерпывается уже при $\varepsilon_p = - 2,5$ мм/м. То есть исходная арматура в необжатой обделке допускает оптимизацию за счет учета нелинейных эффектов, а в связевой обделке требуется ее увеличение.

На рис. 12.17-12.19 приведены результаты конструктивных расчетов плоских стыков связевой обделки при двузначном действии $M_{изг}$ и $N_{соот}$.

Рассмотрены две стадии работы плоского стыка: I - на местное сжатие (смятие); II - в момент шарнирообразования.

Рис. 12.19 Результаты конструктивных расчетов плоских стыков связевой обделки на усилия по методу взаимовлияющих деформаций (нелинейный расчет по рис.) при работе а – на местное сжатие (смятие), б – в момент шарнирообразования

Как видно из расчетов по методу заданных нагрузок на стадии I (рис. 12.17 а) максимальные напряжения смятия в стыке $R_{b,lok} = 466 \div 577 \text{ кг/см}^2 > [R_{b,lok}]_8$ (проектная косвенная арматура - Ø8АІ) и $> [R_{b,lok}]_{10}$ (усиленная косвенная арматура - Ø10АШ). То есть, опорное сечение в стыке не проходит по несущей способности на смятие.

Из расчетов по методу взаимовлияющих деформаций на стадии I (рис. 12.18 а; 12.19 а) следует: упругий расчет - максимальные $R_{b,lok} = 284 \div 336 \text{ кг/см}^2 > [R_{b,lok}]_8$ и $> [R_{b,lok}]_{10}$, нелинейный расчет - максимальные $R_{b,lok} = 277 \text{ кг/см}^2 > [R_{b,lok}]_8$ и $< [R_{b,lok}]_{10}$. Однако последние данные получены при $\varepsilon_p = - 2,5 \text{ мм/м} < [\varepsilon_p] = - 3 \text{ мм/м}$, поскольку принятое косвенное армирование оказалось недостаточным.

На виртуальной стадии II работы плоского стыка устанавливались условия, при которых возможно шарнирообразование (взаимный поворот смежных блоков с частичным отрывом по контакту наружной или внутренней граней плоского стыка) при минимальных значениях изгибающих моментов - $M_{ш}$ (рис. 12.17 б; 12.18 б; 12.19 б). В результате, по всем методам расчета шарнирообразование в плоском стыке возможно при $M_{ш} = + (36; 26,4; 20,8) \text{ тм}$; $- (19,4; 16,5; 14,9) \text{ тм} > M_{max} = + (11,92; 5,02; 0) \text{ тм}$; $- (17,7; 5,04; 2,84) \text{ тм}$, где M_{max} - изгибающий момент от реального особого сочетания нагрузок и воздействий. При этом шарнирообразование сопровождается разрушением стыка по всем методам расчета, поскольку максимальные значения $R_{b,lok} = 650 \div 1125 \text{ кг/см}^2 > [R_{b,lok}]_{10}$. Таким образом подтверждается вышеприведенное заключение о том, что связевая обделка на реальное особое сочетание нагрузок и воздействий работает как бесшарнирный замкнутый контур.

Рис. 12.20 Результаты конструктивных расчетов радиальных стыков необжатой в породе обделки на усилия по методам а – заданной нагрузки, упругий расчет, б – в взаимовлияющих деформаций, соответственно упругий и нелинейный расчет (по рис.)
 $[\varepsilon_p] = - 3 \text{ мм/м}$

На рис. 12.20 приведены результаты конструктивных расчетов цилиндрических стыков необжатой (обжатой) в породе обделки. Как видно, цилиндрический стык работает значительно лучше плоского, поскольку площадка смятия расположена в центральной части сечения. Несущей способности сечения недостаточно только при расчете по методу заданных нагрузок. В других случаях максимальные значения $R_{b,lok} = 245 \div 335 \text{ кг/см}^2 < [R_{b,lok}]_8$, то есть конструкция стыка проходит без изменения исходного косвенного армирования.

В ы в о д ы

1. Недопустимо нарушение технологии проходки перегонных тоннелей любой из рассмотренных обделок, так как несвоевременный их ввод в работу вызывает вывалообразование с контура выработки. Это, в свою очередь,

приводит к необходимости применения чугунной обделки как альтернативы железобетонных необжаты в породу и связевой обделок, которые в этих условиях непригодны.

2. Применение железобетонной связевой обделки в зонах тектонических нарушений при соблюдении технологии «распорный тампонаж» связано с необходимостью существенного изменения армирования сечений, а также разработки специального конструктивного решения опорных частей блоков, поскольку их предельно допустимое косвенное армирование недостаточно.

3. Перегонные тоннели в зонах тектонических нарушений как и вне этих зон следует проектировать из сборной железобетонной обделки (предпочтительно обжаты в породу) с цилиндрическими стыками между блоками. В этом случае конструкция блоков не претерпит существенных изменений.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Обоснование и расчеты горнопроходческих работ при строительстве метрополитенов

1. Основные сведения о проектировании горнопроходческих работ

Проектирование горнопроходческих работ начинается с выбора и обоснования местоположения строительной площадки. Площадка выбирается, в основном, в черте города. Поэтому ее место должно быть выбрано таким образом, чтобы ее здания и сооружения не мешали жизнедеятельности города.

В поверхностный комплекс входят следующие здания и сооружения: копер, бункерная и тельферная эстакады, помещение подъемной машины, ремонтные мастерские, трансформаторная подстанция, материальный склад, душевой комбинат, медпункт, контора и другие. Обычно здания и сооружения принимаются типовые. Возводят их индустриальными способами. Работа на поверхности должна быть механизирована.

Проектированию проходки вертикального ствола предшествуют изыскания. До начала проходки устраиваются необходимые водостоки, выполняют все работы по планированию и устройству проездов, стройплощадку обеспечивают сжатым воздухом, электроэнергией, водой, телефонной связью.

Способ выемки породы и проходческое оборудование зависит, в основном, от глубины ствола, его диаметра и гидрогеологических характеристик пород. При необходимости проектируются работы по предварительному замораживанию пород или другим специальным способам проходки.

В проекте должно быть описано производство работ по выемке породы, креплению, армированию.

Проходческий подъем должен обеспечивать максимальный разворот работ при строительстве. Обычно он двухбадьевой. После проходки ствола шахтный подъем оснащается клетями. Он должен обеспечить строительство станции метрополитена. В состав шахтного подъема входят: копер со шкивами, подъемная машина с электродвигателями и пускорегулирующей аппаратурой, клетки. Канаты и тросы рассчитываются на девятикратную нагрузку. Скорость движения клетей – 3 м/с. Тросы должны иметь прочность на разрыв 1400:1600 Н/см.

Диаметр барабана D_{δ} отвечает условию:

$$D_{\delta} = D_{шк} \geq 70d_{\kappa},$$

где d_{κ} – диаметр каната, мм;

$D_{шк}$ – диаметр шкива, мм.

Мощность подъемного двигателя $N_{дв}$

$$N_{\text{дв}} = \frac{K \cdot Q_{\text{н}} \cdot V_{\text{мак}}}{102 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}$$

где $K = 1,2$ – грузовой коэффициент;

$Q_{\text{н}}$ – полная концевая нагрузка на канат, Н;

$V_{\text{мак}}$ – максимальная скорость подъема, м/с;

$\eta_1 = 0,85$ – коэффициент полезного действия передачи;

$\eta_2 = 1,8 - 2$ – коэффициент перегрузки двигателя в пусковой период.

Подъемная установка должна иметь звуковую сигнализацию, обеспечивающую согласованность ее работы, прием и отправление бадей и клетей.

Различные станции метрополитенов глубокого заложения в зависимости от свойств пород сооружают горным, щитовым, комбинированным способами или с применением полущитов. В крепких породах лучше применять горный способ с раскрытием каждого тоннеля станции на полный профиль и возведение сборной крепи (обделки) эректором. Щитовой способ следует применять в слабых породах.

Возможны несколько схем расположения строительных подходов (вспомогательных выработок). При щитовом способе станционные тоннели заканчиваются камерами для монтажа щита. При строительстве станций в крепких породах тоннели проходят буровзрывным способом на полное сечение. Последовательность выполнения работ может быть различной. Эффективной является параллельная схема, при которой тоннели проходят с отставанием друг от друга на 25-35 м. При последовательной схеме удлиняются сроки строительства. Выбор схем производства работ определяется сравнением технико-экономических показателей.

Станция обычно строится через отдельный ствол. Иногда станция глубокого заложения строится через эскалаторный тоннель.

На строительство станции составляется детальный проект производства работ (ППР).

Строительство одностводчатой станции ведется в следующей последовательности: проходка опорных штолен диаметром 2,5-5,5 м, возведение опор из монолитного или сборного железобетона, чугуна, раскрытие калотты свода станции и монтаж обделки или каркаса, разработка ядра, монтаж внутренней конструкции станции.

При строительстве колонных станций возможна независимая проходка трех одинаковых по сечению параллельных тоннелей с последующим соединением их проходами. Тоннели можно проходить щитовым или горным способами с разработкой забоя на полный профиль и монтажом обделки при помощи укладчика тубингов или блоков.

Щитовая проходка тоннелей выполняется в следующей последовательности. С подходной выработки от ствола строится монтажная

камера первого бокового тоннеля, монтируется щит и начинается проходка. Далее сооружается монтажная камера второго бокового тоннеля, монтируется щит и начинается его проходка. После этого сооружается камера среднего тоннеля, монтируется щит и начинается проходка. После проходки тоннелей на всю длину станции поочередно строятся демонтажные камеры.

Таким же порядком проходят тоннели горным способом, но монтажные и демонтажные камеры здесь не нужны. Для монтажа укладчиков обделки применяются короткие выработки.

Работы по сооружению проходов между тоннелями являются весьма ответственными, так как малейшее нарушение технологии работ может привести к деформации крепи станции. Порядок производства работ в проходах зависит от конструкции обделок и инженерно-геологических условий.

Схемы сооружения колонных станций отличаются большим разнообразием в зависимости от их конструктивного исполнения. Так как колонная станция является единой пространственной конструкцией, возведение ее отдельных частей должно быть подчинено сохранению устойчивости конструкции на всех стадиях сборки.

Колонная станция сооружается по частям. Сначала сооружают боковые тоннели с отставанием одного забоя от другого на 40-50 м, затем – средний тоннель. Иногда вначале проходят средний тоннель, а потом боковые. Монтаж колонн станции выполняется в соответствии с их конструктивными особенностями.

Сооружение колонной станции с прогонами выполняется в следующей последовательности: проходка боковых тоннелей, установка колонн и прогонов, разработка верха средней части и монтаж свода обделки, разработка ядра с постоянной разборкой части обделки боковых тоннелей, бетонирование плиты.

После проходки боковых тоннелей в них устанавливается арматура ленточных фундаментов и укладывается бетонная смесь до отметки опорных плит.

Детально технология проходческих работ излагается в технологических картах, которые составляются на отдельные выработки или их части (стволы, горизонтальные или наклонные подходы, околоствольные дворы, перегонные тоннели, штольни, калотта при строительстве станции и другие).

После обоснования и описания технологии работ, определяются организационные параметры (длина заходки при горном способе, суточное подвигание забоя, состав бригады, объем работ, время выполнения работ, графики работ по проходке и строительству горных объектов). Составляются календарные или сетевые графики строительства.

Заканчивается проектирование горнопроходческих работ определением технико-экономических показателей. При проектировании горнопроходческих работ обязательно следует учитывать требования нормативных документов при строительстве метрополитенов (СНиПы, технологические схемы сооружения метрополитенов, правила техники

безопасности и промышленной санитарии при строительстве метрополитенов и тоннелей и др.).

2. Содержание технологических карт при строительстве односводчатой станции глубокого заложения

Технологические карты разработаны с учетом обобщения передового опыта и научной организации труда сооружения односводчатой станции метрополитена глубокого заложения с размещением пристанционных обустройств под единым сводом со сборной железобетонной обделкой, обжатой в грунт.

Сооружению станций предшествует разработка следующих технологических карт:

№ 1. Сооружение боковых тоннелей диаметром 5,5 м для опорных фундаментов сводов станций;

№ 2. Бетонирование монолитных опорных фундаментов станции с применением передвижной металлической опалубки;

№ 3. Проходка криволинейной по вертикали штольни между опорными тоннелями станции;

№ 4. Сооружение верхнего свода станции с железобетонной сборной обделкой, обжатой в грунт;

№ 5. Разработка ядра и сооружение обратного свода станции;

№ 6. Сооружение торцевой стены станции;

№ 7. Сооружение пассажирской платформы станции из сборных железобетонных элементов;

№ 8. Сооружение натяжной камеры эскалаторного тоннеля;

№ 9. Сооружение санитарного узла и служебных помещений станции;

№ 10. Монтаж армоцементной станции.

С горнопроходческими работами связаны технологические карты №№ 1, 3, 4, 5, 8, 9.

Технологическая карта № 1 предназначена для проходки двух тоннелей на длину станции при помощи укороченного щита КТ-1-5,6 с блокоукладчиком, с доставкой материалов электровозом и вывозкой грунта.

Проходка тоннелей для опорных фундаментов ведется последовательно одним комплектом оборудования в связи с их незначительной длиной.

Технология рассчитана на средние скорости 200-250 м/мес. проходки тоннелей.

Технологическая карта должна быть привязана к местным условиям.

До начала проходки тоннелей должны быть выполнены все работы по обустройству строительной площадки: пройдены ствол, околоствольный двор и подходные выработки, сооружены камеры для монтажа щита и комплекса за ним, завершен монтаж щита КТ-1-5,6, проложены силовые кабели и трубопроводы сжатого воздуха, воды, вентиляции, проложены узкоколейные

пути.

Работы по сооружению тоннеля состоят из следующих операций:

выемка грунта режущим органом щита;

погрузка грунта в вагонетки;

подборка грунта в лотке между режущим органом и диафрагмой;

профилактический осмотр механизмов;

передвижка щита;

наращивание откаточных путей;

разгрузка блоков обделки;

монтаж кольца обделки и первичного обжатия;

окончательное обжатие с установкой клиньев, вкладыша и с омоноличиванием узла обжатия.

Схема механизированного комплекса КТ-1-5,6 показан на рис. 1.

Технические данные щита:

Скорость разработки забоя, м/ч..... 3

Минимальная скорость сооружения тоннеля в смену, м..... 5,5

Длина щита, мм..... 4500

Число щитовых домкратов..... 19

Ход домкрата, мм..... 1200

Производительность конвейера-перегрузателя, м³/ч..... 250

Управление щитом..... дистанционное

Механизированный комплекс обеспечивает совмещение разработки забоя с погрузкой грунта и монтажом сборной железобетонной обделки.

Работа по проходке тоннеля начинается с разработки грунта режущим органом щита на длину подачи органа 0,5 м. Затем производят передвижку щита гидродомкратами с надвигкой рабочего органа на забой. Отбитый грунт грузится ковшами на перегружатель, с которого грузится на основной конвейер в основной бункер и дальше в вагонетки. Откатка вагонеток производится контактным электровозом 7 КР-600.

После подвижки забоя на 1 м монтируется кольцо обделки.

Обжатие кольца обделки производится в два приема: после монтажа кольца, находящегося в пределах оболочки щита, и после схода кольца в грунт выработки. Блоки обделки подают на блоковозках к месту монтажа.

Профилактический осмотр и мелкий ремонт щита выполняют по графику, более серьезные работы – в два нерабочих дня недели отдельной бригадой ремонтников.

Проветривают забой по нагнетательной схеме вентилятором, установленным на поверхности. Диаметр трубопровода – 500 мм.

После проходки первого тоннеля аналогично сооружается второй тоннель.

Работы производятся со скоростью 1 м/час. при продолжительности смены 7,2 час. и пятидневной неделе. Комплекс обеспечивает проходку до 450 м/мес.

Проходка тоннелей осуществляется комплексной бригадой в составе трехсменных звеньев по подрядному договору. Состав сменного звена: проходчики – 5-й разряд – 1 чел., 4-й разряд – 4 чел.; машинист щита – 6-й разряд – 1 чел. Один проходчик 4-го разряда имеет квалификацию машиниста электровоза.

Цикл работ по монтажу кольца обделки начинают после обжата предыдущего кольца и омоноличивания вкладышей лотка. На монтаже кольца заняты: один проходчик 5-го разряда, два проходчика 4-го разряда. Один проходчик 4-го разряда имеет квалификацию тельфериста, второй – стропальщика и машиниста блокоукладчика.

График организации работ по сооружению 1 м тоннеля приведен на рис. 2.

При производстве работ должны выполняться правила техники безопасности в соответствии с «Правилами техники безопасности и производственной санитарии при строительстве метрополитенов и тоннелей», «Техникой безопасности в строительстве», «Типовой инструкцией по охране труда для машиниста породопогрузочных машин».

В технологической карте № 1 также приведены технико-экономические показатели, потребность в материалах, потребность в машинах, оборудовании, инструментах, приспособлениях, инвентаре; карта операционного контроля качества сооружения тоннеля диаметром 5,5 м комплексом КТ-1-5,6.

В *технологической карте № 3* представлена разработка калоттной прорези верхнего свода станции. В прорези устанавливают блокоукладчик обделки свода и монтируют первые три арки свода под защитой крепления штольни.

До начала проходки криволинейной штольни (прорези) выполняются следующие работы:

установлены подмости в своде для проходки фурнели;

пройдена фурнель на всю высоту с полным деревянным креплением венцами;

подведены трубопровод сжатого воздуха, силовой электрический и осветительный кабели;

сечение штольни определяется из условия размещения оборудования и возможности монтажа первых арок обделки станции (около 14-15 м²).

Штольню проходят в торце станции с обеих опорных тоннелей со сбойкой по оси свода. В сводах опорных тоннелей устраивают подмости с лестницами и перилами. После рассечения штольни в нижней части фурнели сечение делят для установки желоба для породы, отделения для рабочих и для подачи материалов.

Штольни крепят металлическими рамами из двутавра № 36. Стойки рамы опираются на деревянные лежни. Затяжки из досок толщиной 40 мм (рис. 3). Грунт разрабатывают отбойными молотками с установкой рам через 0,75 м. По графику работы выполняют в следующей последовательности: разработка грунта отбойными молотками с временной крепью груди забоя и

кровли; перекидка грунта от забоя до желоба для породы; загрузка грунта в вагонетки, погрузка просыпавшегося грунта вручную; доставка в штольню элементов крепи; установка рамы с лежнем.

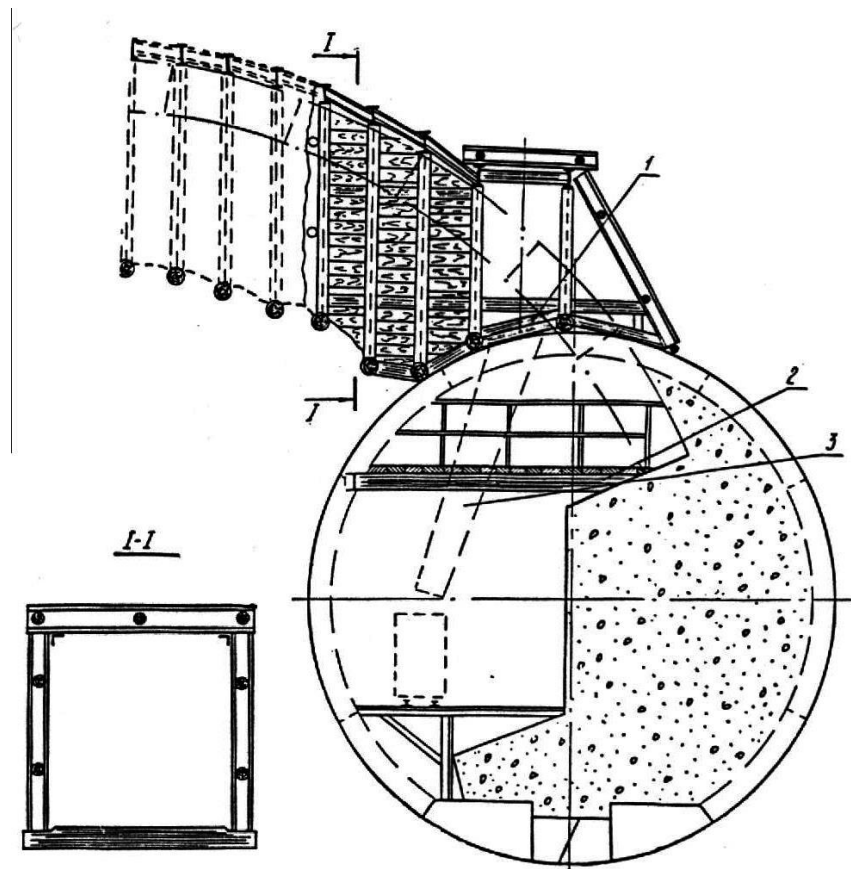


Рис. 3. Проходка криволинейной штольни:

1 – закрывающая ляда; 2 – подмости; 3 – желоб породоспуска.

Разработка верхней части груди забоя производится с устроенных подмостей, потом с уступа высотой 0,75 м. Разработанный грунт загружают в вагонетки, которые в составе 8-10 электровозом доставляются к стволу для выдачи на поверхность. После подвигания забоя на 0,75 м устанавливается рама и крепится грудь забоя, наращивают трубопровод сжатого воздуха, подводят освещение, укладывают на почву штольни металлические листы для облегчения перекидки грунта.

Работы по проходке штольни выполняет комплексная бригада в составе 24 чел. (3 звена, продолжительность смены 7 час.). В звене 1 проходчик 5-го разряда и 7 проходчиков 4-го разряда.

График организации работ на подвигание забоя штольни на 0,75 м в смену (рис. 4).

В технологической карте № 3 имеются указания по технике безопасности, технико-экономические показатели, материально-технические ресурсы, карта операционного контроля.

В технологической карте № 4 приведено сооружение верхнего свода

станции с железобетонной сборной обделкой, обжатой в грунт. Сооружение односводчатой станции с большим пролетом производится по частям. Вначале разрабатывается калоттная прорезь и монтируется железобетонная обделка. Далее с отставанием 30-40 м разрабатывается грунт ядра и лотковой части и монтируется железобетонная обделка обратного свода, обжатая в грунт. Схема производства работ приведена на рис. 5.

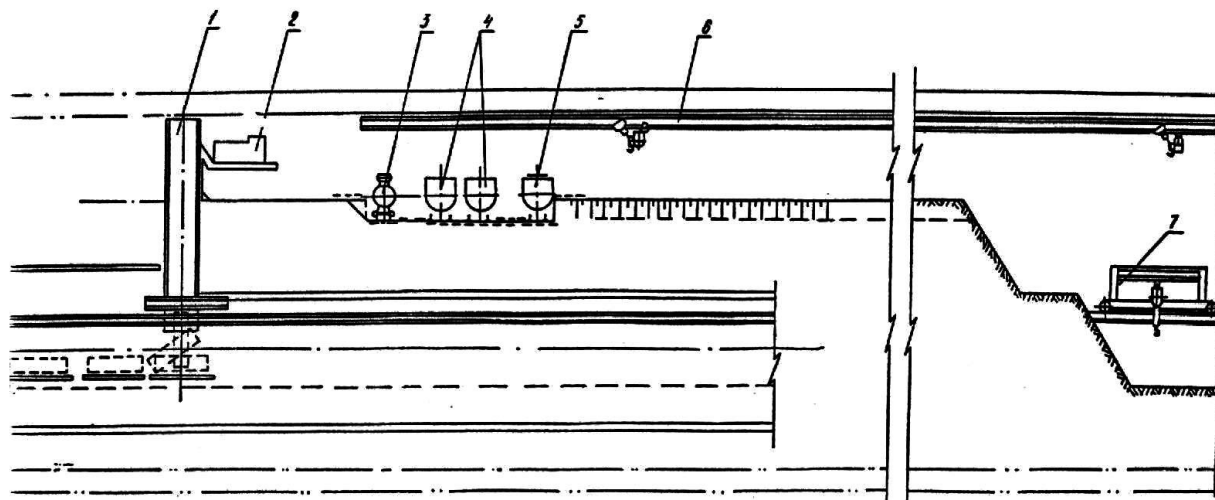


Рис. 5. Схема организации производства работ:

1 – блокоукладочная ферма; 2 – лебедка блокоукладочной тележки фермы; 3 – растворонагнетатель; 4 – вагонетки с сухой цементно-песчаной смесью; 5 – растворонагнетатель для контрольного нагнетания; 6 – монорельс с тельфером; 7 – электрокран-балка с тельфером.

В состав работ по технологической карте № 4 входят: разработка грунта в прорези с временным креплением кровли и груди забоя; погрузка грунта в вагонетки и перестановка конвейера; передвижка блокоукладочной фермы вперед; монтаж обделки из сборных железобетонных блоков; первичное разжатие арок из блоков; передвижка блокоукладочной фермы назад.

До начала сооружения верхнего свода выполняются следующие подготовительные работы: пройдена криволинейная штольня и выполнено ее крепление; смонтирована блокоукладочная ферма; собрано не менее 3 арок свода из блоков с тщательным забучиванием и нагнетанием цементно-песчаного раствора состава 1:3; собранные арки разжаты при помощи домкратов, расположенных в замковой части арки, и закреплены с одного из торцов выработки.

Калоттную прорезь разрабатывают от середины забоя к его краям двумя ярусами отбойными молотками заходками 1 м. Разработку верхней части прорези производят с площадок блокоукладочной фермы, а в нижней – с уступа грунта. Грунт сбрасывают на ленточный конвейер длиной 6 м. Конвейер размещен в средней части призабойного пространства. Грунт подается конвейером к желобам и течкам в правый и левый опорные тоннели для загрузки в нерасцепленный состав вагонеток. Перемещение состава при

погрузке производится лебедкой. Составы транспортируются к стволу электровозом 7КР-600.

Разработку грунта в прорези начинают с устройства вруба шириной 3 м и высотой 2,8 м. После разработки грунта и установки крепи вруба разрабатывается остальная часть калоттной прорези.

После разработки грунта по всему сечению калоттной прорези с ее временным креплением, блокоукладочную ферму двигают на забой для монтажа первой арки. Блокоукладочная ферма представляет собой пространственную конструкцию из стального проката. Она передвигается на колесах по одному рельсу, в каждом опорном тоннеле, уложенному на консолях из двутавровых балок, заделанных в бетон опорных фундаментов.

На ферме блоки устанавливают в направлениях от пят к замку поочередно с каждой стороны. Последним устанавливают замковый блок с распорными домкратами.

Разжатие каждой арки выполняют в два приема. Сначала производят нагнетание раствора с ускорителями схватывания и твердения в полость одного домкрата.

Величина раздвижки менее 80 мм.

Вторичное разжатие выполняется через 2-2,5 час. Нагнетают раствор такого же состава во второй домкрат под давлением до 20 МПа и заканчивают нагнетание цементно-песчаной смеси за обделку.

Контрольное нагнетание и чеканка швов обделки производится не ближе 10-15 м от забоя отдельной бригадой чеканщиков.

Работы по сооружению верхнего свода производятся комплексной суточной бригадой в составе 27 чел., состоящей из трех сменных звеньев (продолжительность смены – 7,2 час.). В звене 1 проходчик 6 разряда, 2 проходчика 5 разряда и 4 проходчика 4 разряда. График организации работ на сооружение 1 м верхнего свода представлен на рис. 6.

В технологической карте также представлены указания по технике безопасности, технико-экономические показатели, потребность в материалах, потребность в машинах, оборудовании, инструменте, приспособлениях, инвентаре, карта операционного контроля качества верхнего и обратного сводов станции.

В *технологической карте № 5* изложена технология и организация разработки ядра и сооружение обратного свода.

Разработку ядра и сооружение обратного свода выполняют с совмещением отдельных процессов. Разработку грунта ядра производят после крепления верхнего свода станции на 30-40 м с завершение контрольного нагнетания за обделку цементного раствора и зачеканки швов между блоками.

В состав работ технологической карты № 5 входят: разработка грунта верхнего яруса ядра экскаватором с погрузкой через конвейер в вагонетки; доработка грунта в лотке с вырубкой нижних блоков опорных тоннелей; монтаж обделки обратного свода; наращивание эстакады с настилкой пути; перестановка конвейера; разработка нижнего яруса (лотка) экскаватором с погрузкой через конвейер в вагонетки; выемка блоков обделки опорных

тоннелей.

Технология и организация строительного процесса (рис. 7). До начала вышеуказанных работ выполняются следующие подготовительные работы: смонтированы пути для подачи порожних и вывозки груженных вагонеток, доставки блоков обратного свода; установлен конвейер с бункером для загрузки вагонеток грунтом; разработан грунт для площадки, завезен и смонтирован на ней экскаватор; завезена и смонтирована кран-балка грузоподъемностью 5 тонн.

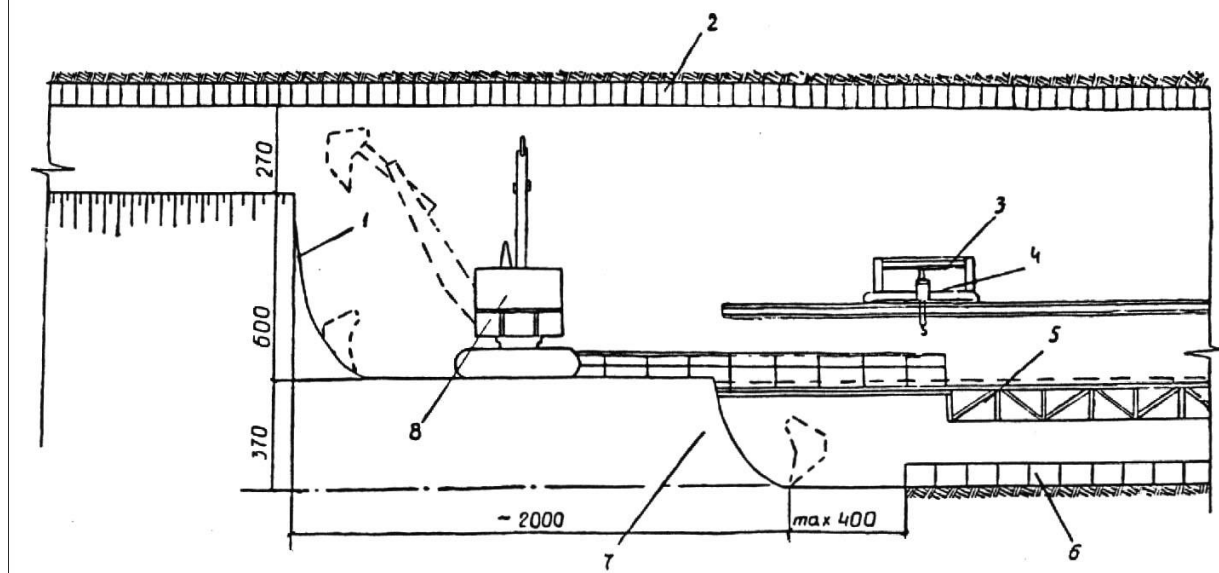


Рис. 7. Схема организации производственного процесса:

1 – ядро грунта забоя; 2 – обделка верхнего свода станции; 3 – кран-балка; 4 – тельфер; 5 – транспортная эстакада; 6 – обделка обратного свода станции; 7 – забой лотка; 8 – экскаватор с виброковшом.

Указания по технологии работ. Разработку грунта ядра на заходку 2 м осуществляют в два приема: верхний ярус высотой 6 м разрабатывают сверху вниз до уровня установки экскаватора; нижний ярус высотой 3,7 м с недобором грунта 15-20 см до отметки наружного контура обратного свода разрабатывают снизу вверх.

Разработку грунта нижнего яруса производят с отставанием от забоя верхнего яруса на 15-20 м.

Погрузку грунта производят экскаватором в бункер конвейера, с которого порода грузится в вагонетки, установленные в опорном тоннеле. Кольцо обратного свода состоит из 10 блоков шириной 1 м трех вкладышей. Блоки устанавливают при помощи кран-балки. После монтажа кольца в лотковой части между торцами блоков устанавливают домкратом ДГ-100 их разжатие с упором в опорные узлы фундаментов перегонных тоннелей. По окончании установки двух колец обратного свода производят контрольные нагнетания цементно-песчаного раствора.

После разработки грунта верхнего яруса ядра начинают удаление блоков опорных тоннелей, наращивают эстакаду с укладкой рельсового пути,

переставляют конвейер и заканчивают монтаж двух колец обратного свода.

После перестановки конвейера приступают к разработке грунта нижнего яруса (лотковой части). В процессе разработки вынимают блоки опорных тоннелей.

Указания по организации труда. Работы выполняет сквозная комплексная бригада в три смены по 7,2 часа по бригадному подряду. Бригада состоит из трех звеньев. В звене: машинист экскаватора (6 разряд), 1 проходчик 5 разряда и 5 проходчиков 5 разряда.

Технология сооружения обратного свода станции предусматривает циклическую поточную организацию работ. Цикл работ начинают одновременно в двух местах: разработку грунта ядра и доработку его в лотке с удалением нижних блоков обделки перегонного тоннеля.

Машинист экскаватора устанавливает его на спланированной площадке и разрабатывает грунт сверху вниз. Затем он грузит грунт в приемный бункер конвейера, а из него в вагонетки в боковом тоннеле. Проходчик 4 разряда управляет конвейером, подбирает просыпавшийся грунт и грузит его. Машинист электровоза с откатчиком, не входящие в звено, подают порожние и отвозят груженные вагонетки. Экскаватор можно использовать для удаления блоков обделки опорных тоннелей.

Проходчик 5 разряда и 4 проходчика 4 разряда дорабатывают грунт в лотковой части с отставанием от забоя ядра 15-20 м.

После доработки грунта в лотке и удаления блоков проходчики приступают к монтажу двух колец обратного свода на подготовленную почву. Монтаж блоков производят кран-балкой. Уложенные блоки домкратом ДГ-100 разжимают и устанавливают клиновые вкладыши КД-1 и КД-2. После разжатия, установки вкладышей и удаления домкрата на его место устанавливают вкладыш ВО-1 и омоноличивают бетонной смесью М 400. Таким же образом производят монтаж второго ряда обратного свода.

После разработки грунта верхнего яруса проходчики звена удаляют блоки обделки перегонных тоннелей, заканчивают монтаж двух рядов обратного свода, наращивают эстакады в перегонных тоннелях с укладкой пути с использованием кран-балки.

После наращивания эстакады кран-балкой переставляют ближе к забою ядра конвейер с бункером. После этого звено разрабатывает грунт нижнего яруса ядра.

Разработка грунта нижнего яруса заканчивается одновременно с выемкой блоков перегонных тоннелей и является окончанием цикла по сооружению двух метров обратного свода.

График организации работ по разработке грунта ядра и сооружению двух метров обратного свода станции представлен на рис. 8.

Калькуляция затрат труда на разработку ядра и сооружение 1 м обратного свода представлена в табл. А.1.

Таблица А.2.1

Калькуляция затрат труда на 1 м

Содержание работ	Состав звена	Ед. изм.	Объем работ	Нормативная трудоемкость, чел./час.	Нормативное использование машин, маш./час.
1	2	3	4	5	6
Разработка грунта ядра экскаватором с погрузкой на конвейер	Экскаваторщик, 6 разряд, 1	м ³	77,6	5,43	5,43
Разработка грунта лотка экскаватором с погрузкой на конвейер	Экскаваторщик, 6 разряд, 1	м ³	31,7	2,22	2,22
Разработка грунта отбойными молотками с откидкой на 3 м.	Проходчик 5 разряда, 1	м ³	3,8	3,7	-
Погрузка грунта конвейером в вагонетки	Откатчик 2 разряда, 1	м ³	113,1	10,18	10,18
Обслуживание конвейера	Проходчик 4 разряда, 1	м ³	113,1	7,29	-
Разгрузка блоков кран-балки	Откатчик 2 разряда, 1	шт.	10	1,5	1,5
Удаление железобетонных оди-ночных блоков с использованием экскаватора	Проходчики 6 разряда, 1; 5 разряда. 1; 4 разряда, 4	шт.	4	9,6	1,6

Разломка блоков отбойным молотком	Проходчик разряда, откатчик разряда, 1	4 1; 2	м ³	0,4	20,8	-
1	2	3	4	5	6	
Снятие лекал опалубки опорных фундаментов с двух сторон	Проходчики разряда, 1; 4 разряда, 1	5	шт.	2	0,6	-
Снятие опалубки опорных фундаментов с двух сторон	Проходчик разряда, 1	4	м ²	3,2	0,48	-
Установка конструкции эстакады для путей	Проходчик разряда, крепильщик разряда, 1	4 1; 3	м	1	0,46	0,23
Укладка рельсов пути	Проходчик разряда, крепильщик разряда, 1	4 1; 3	м	2	0,56	0,28
Перестановка конвейера	Проходчик разряда, 3	4	м	1	3,0	-
Монтаж арки обратного свода из блоков с разжатием	Проходчик разряда, 1; 4 разряда, 3	5	арка	1	10,65	2,5
Всего на один метр					75,82 или 10,53 чел./смен	9,25 (экскаваторов) 10,18 (конвейеров) 4,51 (кран-балок)

Указания по технике безопасности. При производстве работ должны выполняться требования техники безопасности, изложенные в соответствующей литературе.

Каждую землеройную машину нужно оборудовать звуковой

сигнализацией. Экскаваторы во время работы во избежание самопроизвольного перемещения должны закрепляться инвентарными опорами. При работе экскаватора запрещаются какие-либо работы со стороны забоя, и находиться людям в радиусе действия экскаватора плюс 5 м. Запрещается передвижение экскаватора с нагруженным ковшом.

На месте работ надо иметь запас материалов, инструмента и приспособлений. Проход людей в зоне загрузки вагонеток грунтом и движение электровоза запрещается. Машинист электровоза трогает состав с места только по сигналу проходчика – оператора у конвейера. Машинист тельфера кран-балки обязан выполнять перемещение груза только по сигналу стропальщика.

Таблица А.2.2

Технико-экономические показатели

<i>Наименование показателей</i>	Количество
Затраты труда на 1 м обратного свода чел./смен	9,23
Выработка на одного рабочего в смену, см	10,8
Стоимость затрат труда на 1 м свода, грн. – коп.	780-83

Таблица А.2.3

Потребность в материалах (конструкциях, деталях)

Наименование	ГОСТ, марка	Кол-во, шт.
1	2	3
Железобетонные блоки лотка	2,270 НБО	8
Железобетонные блоки лотка	2,270 КБО	2
Вкладыш	ВО-1	1
1	2	3
Клинья	КО-1	2
Клинья	КО-2	2
Шпильки стальные (Ст-3) диаметр 28 мм	МС-2	16
Виниловые листы для прокладки, тип II	ВН	9
Бетонная смесь	М 400	0,1

Таблица А.2.4

Потребность в машинах, оборудовании, инструменте, приспособлениях

Наименование	Тип, марка	Кол-во, шт.
1	2	3
Экскаватор с ковшом активного действия вместимостью 1 м ³	Костромской завод	1
Кран-балка грузоподъемностью 5 тонн с тельфером ТЭЗ-631	Чертеж № 1011 ЛМП	1
1	2	3
Бункер с конвейером	Изготовлен Ленметростроем	1
Домкрат	ДТ-100	1
Вагонетки глухие вместимостью 1,5 м ³	-	24
Электровоз	7КР-600	1
Блоковозки	-	10
Отбойные молотки	МО-6	6
Ручные строительные инструменты	-	5

Содержание других технологических карт строительства объектов или их частей метрополитенов аналогичное.

3. Определение продолжительности строительства объектов метрополитена

Продолжительность строительства объектов метрополитена зависит от вида сооружения конструкции крепи, способа проходки. Она будет определяться продолжительностью выполнения последовательных этапов работ на главном направлении строительства.

Продолжительность строительства трехсводчатой станции колонного типа определяется следующим выражением:

$$T_{n.m.} = t_n + t_{m.o.} + t_m + t_e + t_d + t_{np} + t_3, \text{ мес.},$$

где t_n - продолжительность подготовительных работ к началу строительства станции, мес. t_n зависит от типа строительных подходов, горные работы будут определять t_n , другие работы должны выполняться параллельно:

$$t_n = \frac{\Sigma \cdot V_{выр}}{pn_{я.с} \cdot n_{Д}}, \text{ мес.},$$

где $\Sigma V_{выр}$ - общий объем строительных подходов на главном направлении (вертикальные, горизонтальные или наклонные), м³ в свету;

p – производительность труда проходчиков, м³ в свету; по данным строительства аналогичных выработок $p = (0,8 \div 1,5)$ м³/выход;

$n_{я.с.}$ - явочный состав комплексной суточной бригады, чел.;

$n_{Д}$ - количество рабочих дней в месяц;

$t_{m.o.}$ - проходка части тоннелей станции для монтажа щитов или для монтажа эректоров, мес.

Если проходка тоннелей будет производиться последовательно, то $t_{m.o.}$ надо умножить на 3.

$t_{m.o.}$ может быть определено по формуле:

$$t_{m.o.} = \frac{V_{m.o.}}{P_{m.o.} \cdot n_{я.с.} \cdot n_{Д}}, \text{ мес.},$$

где $V_{m.o.} = \ell_{m.o.} \cdot S_{св}$, м ($\ell_{m.o.}$ - длина технологического отхода, м;

$S_{св}$ - площадь поперечного сечения отхода в свету, м²);

$P_{т.о.}$ – производительность проходчиков с креплением, м³/выход;

t_m - продолжительность монтажа щитов или эректоров; при последовательной работе t_m нужно утраивать; t_m - нужно принимать по данным практики;

t_v - продолжительность выемки горной массы, крепления и тампонирувания, мес.;

$$t_B = \frac{k_c \cdot (V_c - 3V_{m.o.})}{P_c \cdot n_{я.с.} \cdot n_{Д}}, \text{ мес.},$$

где k_c – коэффициент совмещения проходки тоннелей станции, если тоннели проходят одновременно, то $k_c = 1$, если последовательно, то $k_c = 3$;

V_c – объем станции в свету, м³;

p_c – производительность труда проходчиков на проходке тоннелей, м³/выход;

t_d – продолжительность демонтажа щитов, эректоров, мес.;

t_{np} – продолжительность устройства проходов между тоннелями и залом, мес.;

$$t_{np} = \frac{n_{np} \cdot V_{np}}{p_{np} \cdot n_{я.с} \cdot n_D}, \text{ мес.},$$

где n_{np} – количество проходов;

V_{np} – объем прохода, м³;

p_{np} – производительность рабочего, м³/выход;

t_3 – продолжительность заключительных работ, мес. (отделка, ремонт, монтаж оборудования).

Производительность труда метростроевцев надо принимать по данным передовых строек и рассчитывать по нормам выработки.

После подстановки общий вид формулы для определения продолжительности строительства станции примет следующий вид:

$$T_{н.м.} = \frac{\Sigma V_{выр}}{p_{выр} \cdot n_{я.с} \cdot n_D} + \frac{V_{м.о.}}{p_{м.о.} \cdot n_{я} \cdot n_D} + t_m + \frac{\kappa_c \cdot (V_c - 3V_{м.о.})}{p_c \cdot n_{я.с} \cdot n_D} + t_D +$$
$$+ \frac{n_{np} \cdot V_{np}}{p_{np} \cdot n_{я.с} \cdot n_D} + t_3$$

Продолжительность строительства односводчатой станции глубокого заложения в крепких породах. Методика определения продолжительности строительства станции разрабатывается применительно к последовательности работ сооружения станции, представленной на рис. 5.3.

В общем виде формула имеет вид:

$$T_{о.с.} = t_n + t_{м.о.}^I + t_n^I + t_{м.б.}^I + t_{м.о.}^{II} + t_n^{II} + t_{м.о.}^{III} + t_n^{III} + t_n^{IV} + \Sigma t_{ig} + t_3, \text{ мес.},$$

где t_n – продолжительность подготовительных работ. Определяется так же, как и при строительстве колонных станций;

$t_{т.о.}^I$ – продолжительность проходки технологического отхода в боковых штольнях и монтажа щитов или эректоров, мес.;

$$t_{м.о.}^I = \frac{V_{м.о.}^I}{p_{м.о.}^I \cdot n_{я.с} \cdot n_D} + t_m^I, \text{ мес.},$$

где $V_{т.о.}^I$ – объем технологических отходов, м³;
 $p_{m.o.}^I$ – производительность труда проходчиков, м³/выход;
 t_m^I – продолжительность монтажа в отходах, мес.;
 t_n^I – продолжительность проходки боковых штолен, мес.;

$$t_n^I = \frac{V_{ш} - V_{m.o.}^I}{p_{ш} \cdot n_{я.с.} \cdot n_D}, \text{ мес.},$$

где $V_{ш}$ – объем штолен, м³;
 $p_{ш}$ – производительность труда проходчиков при проходке штолен, м³/выход;
 $t_{т.б.}^I$ – продолжительность укладки и твердения бетона в штольнях, мес.,
 $t_{т.о.}^{II}$ – продолжительность проходки технологического отхода в калотте и монтажа оборудования t_m^{II} , мес.;

$$t_{m.o.}^{II} = \frac{V_{m.o.}^{II}}{p_{m.o.}^{II} \cdot n_{я.с.} \cdot n_D} + t_m^{II}, \text{ мес.},$$

где $V_{т.о.}^{II}$ – объем технологических отходов, м³;
 $p_{m.o.}^{II}$ – производительность труда проходчиков, м³/выход;
 t_n^{II} – продолжительность проходки верхней части калотты, мес.;

$$t_n^{II} = \frac{V_k - V_{m.o.}^{II}}{p_k \cdot n_{я.с.} \cdot n_D}, \text{ мес.},$$

где V_k – объем верхней части калотты, м³;
 p_k – производительность труда проходчиков при проведении калотты, м³/выход;
 $t_{m.o.}^{III}$ – проходка технологического отхода в ядре и монтаж оборудования, мес.;

$$t_{m.o.}^{III} = \frac{V_{m.o.}^{III}}{p_{m.o.}^{III} \cdot n_{я.с.} \cdot n_D} + t_m^{III}, \text{ мес.},$$

где $V_{m.o.}^{III}$ - объем технологических отходов, м³;
 $p_{m.o.}^{III}$ - производительность труда проходчиков, м³/выход;
 t_n^{III} - продолжительность разработки ядра, мес.;

$$t_n^{III} = \frac{V_{я} - V_{m.o.}^{III}}{p_{я} \cdot n_{я.с} \cdot n_{Д}}, \text{ мес.},$$

где $V_{я}$ - объем выемки породы в ядре, м³;
 $p_{я}$ - производительность труда проходчиков, м³/выход;
 t_n^{IV} - продолжительность устройства обратного свода или плоского лотка, мес.;

$$t_n^{IV} = \frac{V^{IV}}{p_{IV} \cdot n_{я.с} \cdot n_{Д}}, \text{ мес.},$$

где V^{IV} - объем по устройству обратного свода или плоского лотка в единицах норм выработки;
 p^{IV} - производительность труда рабочих в единицах норм выработки;
 $\sum_{t_{ig}}$ - продолжительность демонтажных работ после проходки всех частей станции, мес.;

t_3 - продолжительность заключительных работ, мес.

Продолжительность строительства любой станции может быть определена по количеству трудозатрат на выполнение всех работ по формуле:

$$T_c = \frac{\sum N_{iT_3}}{K_{II} \cdot n_{я.с} \cdot n_{Д}}, \text{ мес.},$$

где $\sum N_{iT_3}$ - суммарные трудозатраты по строительству станции, чел./смен;

K_{II} - средний коэффициент перевыполнения норм выработки.

Продолжительность строительства перегонного тоннеля метрополитена T_T в общем виде может быть определена из следующего выражения:

$$T_T = t_n + t_{m.o.} + t_M + t_{np.} + t_g + t_3, \text{ мес.},$$

где t_n - продолжительность подготовительных работ к проходке тоннеля,

мес.;

$t_{m.o.}$ - продолжительность проходки технологического отхода, мес.;

Если тоннель проходится теми же щитами или эректорами, которые применялись при проходке станции, $t_{m.o.} = 0$;

$$t_{m.o.} = \frac{V_{m.o.}}{P_{m.o.} \cdot n_{я.с.} \cdot n_{Д}}, \text{ мес.},$$

где $V_{т.о.}$ – объем технологического отхода, м³;

$P_{m.o.}$ - производительность труда проходчиков, м³/выход;

$t_{м}$ – продолжительность монтажа щитов или эректоров, мес.;

$t_{м}$ – продолжительность монтажа щитов или эректоров, мес.;

$t_{пр}$ – продолжительность проходки основной части тоннеля, мес.;

$$t_{пр.} = \frac{V_T - V_{m.o.}}{P_T \cdot n_{я.с.} \cdot n_{Д}}, \text{ мес.},$$

где V_T – объем тоннеля, м³;

P_T - производительность труда проходчика, м³/выход;

t_g – продолжительность демонтажа щита или эректора, мес.;

t_3 – продолжительность заключительных работ (в основном монтаж постоянного оборудования), мес.

4. Определение технических показателей строительства метрополитена

Порядок расчета технических показателей следующий.

Определяем трудоемкость работ проходческого цикла $n_{ц}^I$, чел./смен (табл. А.4.1).

Таблица А.4.1

Расчет трудоемкости работ $n_{ц}^I$

Наименование работ	Ед. Изм.	Объем на цикл	Расчет нормы выработки			Количество чел.смен
			H_E	К	$H_{пр}$	
1	2	3	4	5	6	7

Бурение шпуров	М	$V_{\delta} = \frac{Nl}{\cos \alpha}$	$H_{E\delta} = \frac{6}{t_{i\delta}}$	K_{δ}	$H_{\delta} = K_{\delta}H_{E\delta}$	$n'_{\delta} = \frac{V_{\delta}}{H_{\delta}}$
Погрузка породы	М ³	$V_n = S_{np} \cdot l_{зах}$	$H_{E\Pi} = \frac{6}{t_{i\Pi}}$	K_{Π}	$H_{\Pi} = K_{\Pi}H_{E\Pi}$	$n'_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{H_{\Pi}}$
Настилка временного пути	М	$V_H = l_{зах}$	$H_{EH} = \frac{6}{t_{iH}}$	K_H	$H_H = K_H H_{EH}$	$n'_{H} = \frac{V_H}{H_H}$
Крепление ж.б. блоками	Кольцо	$V_{к.} = \frac{l_{зах}}{0,75}$	$H_{EK} = \frac{6}{t_{iK}}$	K_K	$H_K = K_K H_{EK}$	$n'_{K} = \frac{V_K}{H_K}$
Чеканка швов	М	$V_{к}$ смотри примечание	$H_{EЧ} = \frac{6}{t_{iЧ}}$	$K_{Ч}$	$H_{Ч} = K_{Ч} H_{EЧ}$	$n'_{Ч} = \frac{V_{Ч}}{H_{Ч}}$
Тампонаж закрепного пространства	М ³	$V_{\Pi} = \pi D_{вч} \cdot l_{зах} \cdot T_3$	$H_{ET} = \frac{6}{t_{iT}}$	K_T	$H_T = K_T H_{ET}$	$n'_{T} = \frac{V_T}{H_T}$
Итого $n'_y = n'_{\delta} + n'_{\Pi} + n'_{H} + n'_{K} + n'_{Ч} + n'_{T}$						

Состав работ проходческого цикла тоннеля приведен применительно к проходке тоннеля буровзрывным способом с помощью эректора. Вообще, состав работ и длина заходки определяется принятой технологией проходки.

Примечания к табл. А.4.1

1. N – количество шпуров в забое; l – глубина шпуров, м; глубина шпуров должна быть согласована с шириной блока 0,75 м, т.е. она может быть определена так: $l = 0,75 \cdot \frac{n_k}{\eta}$, (n_k – количество колец, устанавливаемых за цикл, η – к.и.ш.); $\cos \alpha = 0,9 - 0,95$ – коэффициент, учитывающий наклон шпуров.

2. S_{np} – площадь забоя в проходке, м²; $l_{зах} = l_{\eta}$ – длина заходки, м; или $l_{зах} = 0,75 n_k$.

3. H_E – норма выработки, рассчитанная по сборнику норм на

горнопроходческие работы; $H_E = \frac{6}{t_i}$, (6 час. – продолжительность смены; t_i -

время в часах на выполнение единицы i -ой работы; оно выбирается из сборника норм на горнопроходческие работы в зависимости от категории пород, типа проходческого оборудования и других данных).

4. $K \leq 1,2$ – поправочный коэффициент на более совершенные технику и технологию.

5. $H_{пр}$ – принятая норма выработки; $H_{пр} = KH_E$.

6. Количество чел./смен определяется делением объема работ на принятую норму выработки.

7. D – диаметр тоннеля по оси блока, м; $D = D_{св} + T_б$, м ($D_{св}$ – диаметр тоннеля в свету, м; $T_б$ – толщина блока, м).

8. Объем работ по чеканке швов $V_ч$.

$$V_ч = \frac{ПД_{св} n_K}{l_б} + ПД_{св} n_k = ПД_{св} n_k \cdot \left(\frac{1}{l_б} + 1\right), \text{ м} (l_б - \text{длина блока, м}).$$

9. $D_{вч}$ – диаметр тоннеля вчерне, м;

$$D_{вч} = D_{св} + 2 T_б, \text{ м};$$

$T_з$ – толщина закрепного пространства, м.

Среднее количество проходчиков в смене определяется из выражения:

$$n = \frac{n'_ч}{T_ц \cdot K_n}, \text{ чел.},$$

где $T_ц$ – продолжительность цикла в сменах;

$K \leq 1,2$ – планируемый коэффициент выполнения норм выработки.

Явочный состав суточной комплексной бригады $n_{я.с.}$ определяется по формуле:

$$n_{я.с.} = n \cdot n_{р.с.}, \text{ чел.},$$

где $n_{р.с.}$ – количество рабочих смен в сутки.

Списочный состав суточной комплексной бригады $n_{с.с.}$ равен:

$$n_{с.с.} = K_{сп} \cdot n_{я.с.}, \text{ чел.},$$

где $K_{сп}$ – коэффициент списочного состава, $K_{сп} = 1,3 \div 1,4$.

Комплексная норма выработки:

$$K_{н.в.} = \frac{l_{зак}}{n'_ч}, \text{ м/чел./смену}$$

Производительность труда проходчика:

$$\Pi = K_{н.в.} \cdot K_n, \text{ м/ВЫХОД}$$

Суточная скорость проходки:

$$V_{сут} = l_{зах} \cdot n_{ц}, \text{ м/сутки}$$

где $n_{ц}$ – количество циклов в сутки.
Месячная скорость проходчика:

$$V_{мес.} = V_{сут} \cdot n_{Д}, \text{ м/мес.}$$

5. Расчет времени и составление графика выполнения горнопроходческих работ

При буровзрывной технологии расчет выполнения горнопроходческих работ производится в следующем порядке.

Определяем коэффициент α , учитывающий ненормируемые работы.

$$\alpha = \frac{T_{ц} - t_{н.с.} - t_{зар} - t_{пр} - t_{рез}}{T_{ц}},$$

где $T_{ц}$ – продолжительность цикла, час.;
 $t_{п.с.}$ – время приема, сдачи смены, $t_{п.с.} = 0,2 - 0,3$ час.;
 $t_{зар.}$ – продолжительность зарядания шпуров, час.;

$$t_{зар} = \frac{t_{шп} \cdot N}{60 \cdot n_{зар}}, \text{ час.},$$

где $t_{шп} = 2 - 4$ мин. – время зарядания шпура;
 $n_{зар}$ – количество заряжающих (взрывник, помощник и 1-2 проходчика, имеющих на это право);
 $t_{п.р.}$ – время проветривания после взрыва, $t_{п.р.} = 0,25 - 0,5$ час.
Определяем продолжительность бурения шпуров.

$$t_{\delta} = \frac{n'_{\delta} \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_{\delta} \cdot K_n}, \text{ час.},$$

где n'_{δ} – см. табл. А.4.1;
 $T_{см} = 6$ час. – продолжительность смены;

n_{δ} - количество проходчиков на бурении.

Определяем время погрузки породы:

$$t_n = \frac{n'_{\Pi} \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_{\Pi} \cdot K_{\Pi}}, \text{ час.},$$

где n'_{Π} - см. табл. А.4.1;

n_{Π} - количество проходчиков на погрузке.

Определяем время настилки временного пути:

$$t_{\Pi} = \frac{n'_H \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_H \cdot K_{\Pi}}, \text{ час.},$$

где n'_H - см. табл. А.4.1;

n_H - количество проходчиков на настилке пути.

Настилка пути может осуществляться параллельно бурению.

Определяем время крепления железобетонными блоками:

$$t_k = \frac{n'_k \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_k \cdot K_{\Pi}}, \text{ час.},$$

где n'_k - см. табл. А.4.1;

n_k - количество проходчиков на креплении.

Определяем время чеканки швов.

$$t_{\text{ч}} = \frac{n'_{\text{ч}} \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_{\text{ч}} \cdot K_{\Pi}}, \text{ час.},$$

где $n'_{\text{ч}}$ - см. табл. А.4.1;

$n_{\text{ч}}$ - количество проходчиков на чеканке швов.

Чеканка швов производится параллельно с креплением и другими работами.

Определяем время тампонирования закрепного пространства.

$$t_{\frac{\circ}{T}} = \frac{n_{\frac{\circ}{T}} \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_T \cdot K_{II}}, \text{ час.},$$

где $n_{\frac{\circ}{T}}$ - см. табл. А.4.1;

$n_{\frac{\circ}{T}}$ – количество проходчиков на тампонировании.

После этого производится проверка расчетов времени. Она заключается в том, чтобы продолжительность цикла была равна времени выполнения последовательных процессов и операций; после этого составляется график организации работ.

Пример. Рассчитать технические показатели и время выполнения работ проходческого цикла при следующих условиях. Тоннель проходят эректором способом по буровзрывной технологии по породам $f = 5$.

Диаметр тоннеля в свету $D_{св} = 6$ м. Тоннель крепят железобетонными блоками размерами: ширина 0,75 м, толщина 0,2 м, длина по внутренней дуге 1,5 м.

Показатели рассчитывать на установку одного кольца блоков.

Параметры БВР, необходимые для определения объемов работ.

ВВ – аммонит бЖВ. Способ взрывания – электрической машинкой ПИВ-100.

Электродетонаторы короткозамедленные, удельный расход по Н.М. Покровскому.

$$q = 0,1 \cdot f \cdot S_1 \cdot \frac{6,5}{\sqrt{S_{вч}}} \cdot \frac{380}{P}, \text{ кг/м}^3,$$

$S_1 = 1,4$ (принимается в среднем);

$$S_{вч} = \frac{\pi \cdot (D_{св} + 0,4)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (6 + 0,4)^2}{4} = 32 \text{ м}^2;$$

$$q = 0,1 \cdot 5 \cdot 1,4 \cdot \frac{6,5}{\sqrt{32}} \cdot \frac{380}{360} = 0,85, \text{ кг/м}^3.$$

Количество шпуров с учетом контурного щадящего взрывания:

$$N = 1,15 \cdot \frac{1,27 \cdot q \cdot S_{вч} \cdot \eta}{\alpha \Delta d^2_{II}} = \frac{1,27 \cdot 0,85 \cdot 32 \cdot 0,9}{0,5 \cdot 1000 \cdot 0,036^2} = 56$$

Глубина шпуров:

$$\ell = \frac{0,75}{\eta} = \frac{0,75}{0,9} = 0,83 \text{ м}$$

Расход ВВ на цикл:

$$Q_{ц} = q \cdot S_{вч} \cdot \ell_{зах} = 0,85 \cdot 32 \cdot 0,75 = 20,4 \text{ кг}$$

Средний заряд шпура:

$$q_{ср} = \frac{Q_{ц}}{N} = \frac{20,4}{56} = 0,36 \text{ кг}$$

Шпуры бурят ручными электросверлами. Верхние шпуры бурят с площадок эректорами.

Расчет трудоемкости работ цикла представлен в табл. А.5.1.

Таблица А.5.1

Расчет трудоемкости работ

Наименование работ	Ед. изм	Объем на цикл	Расчет нормы выработки			Количество чел.смен
			Н _Е	К	Н _{пр}	
Бурение шпуров	м	$V_{\delta} = \frac{N\ell}{\cos \alpha}$ $= \frac{56 \cdot 0,83}{0,95}$ $= 49$	$\frac{6}{0,26} = 23,1$	1	23,1	$n_{\delta} = \frac{49}{23,1} = 2,12$

Погрузка породы машиной 1ППН5	м ³	$V_n = 1,03 \cdot S_{гч} \cdot \ell_{зах} = 1,03 \cdot 32 \cdot 0,75 = 24,6$	$\frac{6}{0,66} = 9,1$	1	9,1	$n_{\Pi} = \frac{24,6}{9,1} = 2,70$
Настилка временного пути	м	$V_H = 0,75$	$\frac{6}{0,73} = 8,22$	1	8,22	$n_H = \frac{0,75}{8,22} = 0,09$
Крепление ж.б. блоками	ко-лец	$V_k = 1$	$\frac{6}{7,6} = 0,79$	1	0,79	$n_K = \frac{1}{0,79} = 1,27$
Передвижка эректора	пер.	$V_{пер.} = 1$	$\frac{6}{1,5} = 4$	1	4	$n_{пер} = \frac{1}{4} = 0,25$
Нарращивание рельсов для передвижки	м	$V_{нар.} = 1$	$\frac{6}{0,8} = 7,5$	1	7,5	$n_{нар} = \frac{1}{7,5} = 0,14$
Чеканка швов	м	$V_{ч} = 28,4$	$\frac{6}{0,29} = 20,5$	1	20,5	$n_{ч} = \frac{28,4}{20,5} = 1,38$
Тампонаж закрепного пространства	м ³	$V_T = 2,91$	$\frac{6}{3,6} = 1,67$	1	1,67	$n_T = \frac{2,91}{1,67} = 1,75$
Итого $n_{\Sigma} = 9,7$						

Технические показатели

Примем количество проходчиков в смене $n = 9$ чел.

Тогда $K_n = \frac{9,7}{9} = 1,07$.

Продолжительность цикла:

$$T_{\Sigma} = \frac{n_{\Sigma}}{n \cdot K_{\Pi}} = \frac{9,7}{9 \cdot 1,07} = 1 \text{ смена} = 6 \text{ час.}$$

Явочный состав суточной комплексной бригады

$$n_{я.с.} = n \cdot n_{р.с.} = 9 \cdot 3 = 27 \text{ чел.},$$

где $n_{р.с.}$ – количество рабочих смен в сутки.

Списочный состав бригады:

$$n_{с.с.} = K_{сн} \cdot n_{я.с.} = 1,3 \cdot 27 = 35 \text{ чел.}$$

Комплексная норма выработки:

$$K_{н.в.} = \frac{l_{зах}}{n_{ц}} = \frac{0,75}{9,7} = 0,077 \text{ м/чел./смену}$$

Производительность труда проходчика:

$$\Pi = K_{н.в.} \cdot K_{\Pi} = 1,07 \cdot 0,077 = 0,082 \text{ м/выход или } 1,72 \text{ м}^3/\text{выход}$$

Суточная скорость проходки:

$$V_{сут} = l_{зах} \cdot n_{ц} = 0,75 \cdot 3 = 2,25 \text{ м/сутки}$$

Месячная скорость проходчика:

$$V_{мес} = V_{сут} \cdot n_{Д} = 2,25 \cdot 25 = 56,5 \text{ м/мес.}$$

Расчет времени выполнения работ цикла

$$\alpha = \frac{T_{ц} - t_{н.с.} - t_{зар} - t_{пр} - t_{рез}}{T_{ц}} = \frac{6 - 0,25 - 0,38 - 0,33 - 0,3}{6} = 0,79$$

Время бурения шпуров

$$t_{\delta} = \frac{n'_{\delta} \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_{\delta} \cdot K_n} = \frac{2,12 \cdot 6 \cdot 0,79}{7 \cdot 1,07} = 1,34 \text{ час.} = 1 \text{ час } 20 \text{ мин.}$$

Время погрузки породы:

$$t_{\Pi} = \frac{n'_{\Pi} \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_{\Pi} \cdot \kappa_{\Pi}} = \frac{2,7 \cdot 6 \cdot 0,79}{7 \cdot 1,07} = 1,7 \text{ час.} = 1 \text{ час } 42 \text{ мин.}$$

Время настилки временного пути:

$$t_{\Pi} = \frac{n'_H \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_H \cdot \kappa_{\Pi}} = \frac{0,09 \cdot 6 \cdot 0,79}{2 \cdot 1,07} = 0,2 \text{ час.} = 12 \text{ мин.}$$

Время наращивания рельсов для передвижки эректора (параллельно бурению шпуров):

$$t_{нар} = \frac{n'_{нар} \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_{нар} \cdot \kappa_{\Pi}} = \frac{0,14 \cdot 6 \cdot 0,79}{2 \cdot 1,07} = 0,3 \text{ час.} = 18 \text{ мин.}$$

Время передвижки эректора:

$$t_{пер} = \frac{n'_{пер} \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_{пер} \cdot \kappa_{\Pi}} = \frac{0,25 \cdot 6 \cdot 0,79}{2 \cdot 1,07} = 0,14 \text{ час.} = 8 \text{ мин.}$$

Время крепления железобетонными блоками:

$$t_{к} = \frac{n'_к \cdot T_{см} \cdot \alpha}{7 \cdot 1,07} = 0,81 \text{ час.} = 48 \text{ мин.}$$

Время чеканки швов (параллельно погрузке, креплению, настилке пути, наращиванию рельсов):

$$t_{ч} = \frac{n'_ч \cdot T_{см} \cdot \alpha}{n_{ч} \cdot \kappa_n} = \frac{1,38 \cdot 6 \cdot 0,79}{2 \cdot 1,07} = 3,08 \text{ час.} = 3 \text{ час. } 3 \text{ мин.}$$

Тампонаж выполняется последовательно и совмещенно с другими работами.

Время несовмещенного тампонажа:

$$t_{н.т.} = T_{ц} - t_{н.с.} - t_{зар} - t_{пр} - t_{рез} - t_{\delta} - t_{н} - t_{нар} - t_{пер} - t_{к} = 0,26 \text{ час.} = 15 \text{ мин. (после подстановки всех составляющих)}$$

Время совмещенного тампонажа:

$$t_{с.м.} = (t_{\delta} + t_n + t_n + t_{нар} + t_k - t_{ч}) + t_n + t_{нар} = 1,79 \text{ час.} = 1 \text{ час. } 47 \text{ мин.}$$

(после подстановки всех составляющих)

После этого составляется график организации работ на цикл (на подвигание забоя на ширину одного кольца 0,75 м) (рис. 9).

6. Определение стоимости проходки выработки

Стоимость проходки выработки вначале рассчитывают на 1 м ее длины. Порядок расчета следующий.

Определяется стоимость 1 м выработки по забойным (прямым нормируемым) расходам:

Операции и процессы	N _i	Время		1-я смена						
		ч	мин	1	2	3	4	5	6	
Прием, сдача смены	9	-	15							
Бурение шпуров	7	1	20							
Заряжание	5	-	23							
Взрывание и проветривание	-	-	20							
Погрузка породы	7	1	42							
Настилка временного пути	2	-	12							
Наращивание рельсов для передвижки эректора	2	-	18							
Передвижка эректора	9	-	8							
Крепление тоннеля	7	-	48							
Чеканка швов	2	3	3							
Тампонаж	2.9	2	3							
Резервное время	9	-	18							

Рис. 9. График организации работ по сооружению тоннеля (n_i – количество проходчиков).

$$C_{п.н.} = C_3 + C_M + C_{м.с.}, \text{ грн.},$$

где $C_3, C_M, C_{м.с.}$ – соответственно стоимость 1 м выработки по зарплате проходчиков, материалам и эксплуатации забойных машин и механизмов, грн./м.

Расчет C_3 производится по формулам:

$$\text{при БВР } C_3 = \frac{T \cdot n_{\psi}'}{l_{зах}},$$

$$\text{при щитовой проходке } C_3 = \frac{T \cdot n_{мз}^k}{e},$$

где T – средняя тарифная ставка проходчика, грн.;

n_{ψ}' – количество чел./смен на цикл;

$n_{мз}^k$ – трудоемкость работ на кольцо крепи;

e – ширина блока (тубинга), м.

Расчет стоимости проходки по материалам вначале производят на заходку при БВР или на кольцо при щитовой проходке (табл. А.6.1).

Таблица А.6.1

Расчет проходки по материалам

Материал	Расход на цикл или кольцо	Процент использования	Фактический расход	Цена единицы, грн.	Суммарная стоимость, грн.
.....
				Итого	ΣC_M

Стоимость 1 м по материалам с учетом неучтенных

$$C_M = 1,05 \cdot \frac{\Sigma C_M}{l_{зах}} \text{ или } C_M = 1,05 \cdot \frac{\Sigma C_M}{e}$$

Расчет стоимости проходки по эксплуатации забойных машин и механизмов вначале производят на заходку при БВР или на кольцо при щитовой проходке (табл. А.6.2).

Таблица А.6.2

Расчет проходки по эксплуатации машин и механизмов

Машины и механизмы	Количество	Время использования, час.	Общий расход машино-смен	Полная цена машино-смены, грн.	Суммарная стоимость, грн.
.....
				Итого	$\Sigma C_{м.с.}$

Стоимость 1 м по эксплуатации забойных машин и механизмов с учетом неучтенных.

$$C_{м.с} = 1,05 \cdot \frac{\Sigma C_{м.с}}{l_{зах}} \text{ или } C_{м.с} = 1,05 \cdot \frac{\Sigma C_{м.с}}{e}$$

Затем определяют стоимость 1 м выработки по общеобъектным расходам (содержание обслуживающих проходку участков)

$$C_o = K_o \cdot C_{п.н.}, \text{ грн./м,}$$

где K_o – коэффициент, учитывающий общеобъектные расходы,
 $K_o = 0,5 \div 0,9$.

Дальше вычисляют стоимость 1 м выработки по накладным расходам (содержание административного аппарата, охраны, выполнение депутатских обязанностей и т.д.)

$$C_n = 0,283 \cdot (C_{п.н.} + C_o), \text{ грн./м}$$

Полная стоимость 1 м выработки с учетом необходимых накоплений равна:

$$C_{пол} = 1,08 \cdot (C_{н.н.} + C_o + C_n), \text{ грн./м}$$

Сводные технико-экономические показатели приведены в табл. А.6.3.

Таблица А.6.3

<i>Показатель</i>	Формулы	Количество
Суточная скорость, м/сутки	$V_{сут} = l_{зах} \cdot n_{ц}$ или $V_{сут} = e \cdot n_{к}$	
Месячная скорость, м/мес.	$V_{мес} = V_{сут} \cdot n_{Д}$	
Явочный состав суточной бригады, чел.	$n_{я.с.} = n \cdot n_{р.с.}$	
Списочный состав суточной бригады, чел.	$n_{с.с.} = K_{сп} \cdot n_{я.с.}$	
Комплексная норма выработки, м/чел./смену	$K_{н.в} = \frac{l_{зах}}{n_{ц}}$ или $K_{н.в} = \frac{e}{n_{тз}^к}$	
Производительность труда проходчика, м/выход	$\Pi = K_{н.в} \cdot K_{\Pi}$	
Полная стоимость 1 м выработки, грн.	$C_{пол} = 1,08 \cdot (C_{н.н.} + C_o + C_n)$	
Стоимость проходки всей выработки, грн.	$C = C_{пол} \cdot l_{выр}$	
Продолжительность проходки выработки, мес.	$T_{выр} = \frac{l_{выр}}{V_{мес}}$	

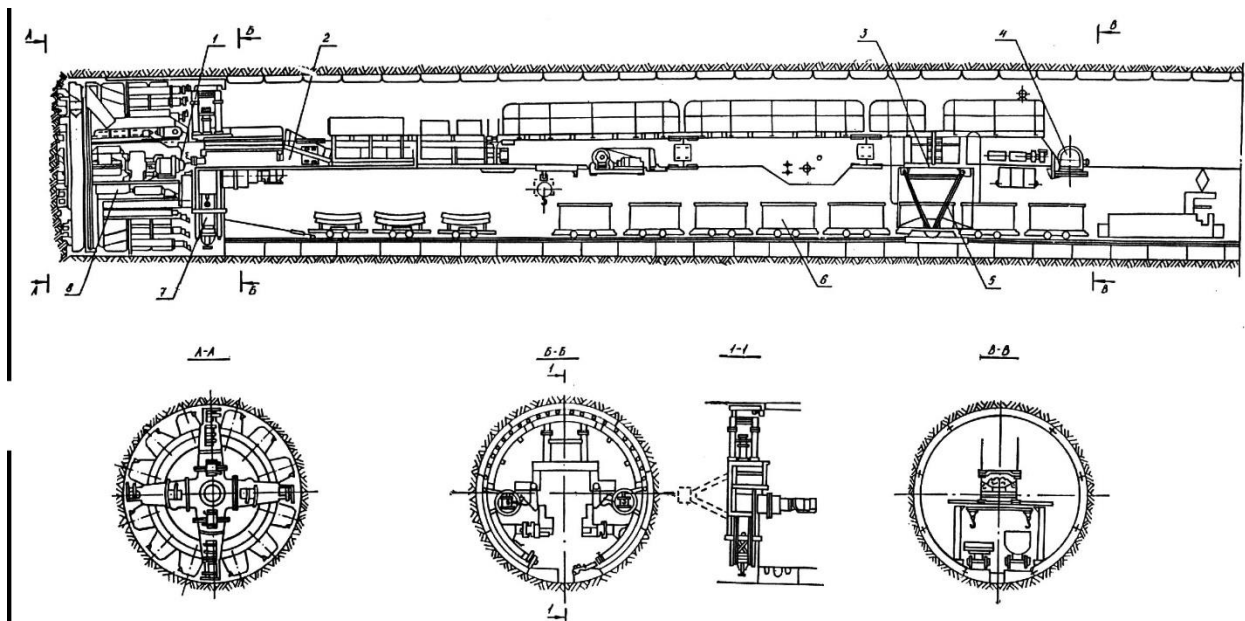


Рис. 1. Укороченный проходческий комплекс КТ-1-5,6:

1 – переходная опора моста; 2 – транспортный мост; 3 – задняя опора моста; 4 – троллейные барабаны; 5 – технологическая платформа; 6 – подвижной состав; 7 – укладчик блоков обделки; 8 – щит.

Наименование работ	Единица измерения	Объем работ	Трудоёмкость на единицу измерения, чел-ч.	Трудоёмкость на весь объем работ, чел-ч.	Состав бригады (звена) и используемые механизмы	Продолжительность производственного процесса					
						10	20	30	40	50	60
Разработка грунта режущим органом щита	м	1	0.7	0.7	Машинист щита 6 разр. - 1	1 21		1 21			
Погрузка грунта в вагонетки	-//-	1	1.4	1.4	Проходчики 4 разр. - 2	2 21		2 21			
Подборка грунта в вагонетке между режущим органом и диафрагмой	-//-	1	0.4	0.4	То же	2 6				2 6	
Профилактический осмотр механизмов	-//-	1	0.2	0.2	Машинист щита 6 разр. - 1	1 6				1 6	
Передвижка щита	-//-	1	0.6	0.6	Машинист 6 разр. - 1 проходчики: 5 разр. - 1 4 разр. - 4			6 3		6 3	
Нарращивание откаточных путей	-//-	1	0.3	0.3	Проходчики: 5 разр. - 1 4 разр. - 2					3 6	
Разгрузка блоков обделки	1 кольцо	1	1.05	1.05	То же			3 21			
Монтаж кольца обделки и первичное обжатие	То же	1	0.95	0.95	-//-	3 19					
Окончательное обжатие с установкой клиньев, вкладыша и с омоноличиванием	-//-	1	0.4	0.4	-//-	3 8					

Итого:

6,0 чел.-ч

0,83 чел.-дня

Рис. 2. График сооружения 1 м тоннеля со сборной железобетонной обделкой, обжатой в грунт, механизированным комплексом КТ-1-5,6 за 1 ч линейного времени.

Примечание. Цифры над линиями – количество рабочих, занятых в операции; под линиями – продолжительность операции в минутах.

Наименование работ	Единица измерения	Объем работ	Трудоёмкость на единицу измерения, чел-ч	Трудоёмкость на весь объем работ, чел-ч	Состав бригады (звена) и используемые механизмы	Часы смены											
						1	2	3	4	5	6	7	8				
Разработка грунта отбойными молотками, разборка и установка временного крепления лба забоя. Затяжка кривли маршевыми	м ³	10,54	1,21	12,8	Проходчики: 5 разр. - 1 4 разр. - 2	3											
Перекидка грунта от забоя до желоба для породы	"	10,54	1,60	16,85	Проходчики 4 разр. - 3	3											
Спуск грунта по желобу для породы в вагонетки	"	10,54	0,91	9,63	Проходчики 4 разр. - 2	2		1	2			1					
Погрузка просыпавшегося грунта в вагонетки	"	2,6	0,62	1,6	Проходчик 4 разр. - 1			1				1					
Подъем и доставка к забою металлической рамы, элементов крепления и досок	т	2,2	2,19	4,6	Проходчики: 5 разр. - 1 4 разр. - 2 Таль						3						
Монтаж металлической рамы с распределением рошпанами и установкой в канавку лежня	"	0,5	8,4	4,2	То же										3		
Устройство лесов и настила по ним	м ²	6	0,79	4,76	Проходчик 4 разр. - 3										3		
Затяжка бортов штольни с забутовкой пустот, подготовительные работы к следующей заходке	"	5,4	0,35	3,16	Проходчики 4 разр. - 2										2		

Итого:

57,6

8 чел.-дней

Рис. 4. График производства работ по проходке криволинейной штольни между опорными тоннелями односводчатой станции.

Примечание. Цифры над линиями – количество рабочих, занятых в операции; под линиями – продолжительность операции в минутах.

Наименование работ	Единица измерения	Объем работ	Трудоемкость на единицу измерения, чел-ч	Трудоемкость на весь объем работ, чел-ч	Состав бригады (звена) и используемые механизмы	Часы смен																					
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Разработка грунта с установкой и разборкой крепления кровли и лба забоя	м ³	56,7	1,5	85,0	Проходчики: 6 разр. - 1 5 " - 2 4 " - 2	<div style="text-align: center;">5</div> <hr style="width: 100%;"/> <div style="text-align: center;">1020</div>																					
Погрузка грунта с переносками в вагонетки и перестыковками транспортера	"	56,7	1,2	68,0	Проходчики 4 разр. - 4 Транспортер	<div style="text-align: center;">4</div> <hr style="width: 100%;"/> <div style="text-align: center;">840</div> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">4</div> <hr style="width: 20px;"/> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">60</div>																					
Разломка железобетонных блоков для освобождения опорных узлов	м ³ /шт.	$\frac{0,2}{2}$	$\frac{40}{4}$	8,0	Проходчики 4 разр. - 4	<div style="text-align: right; margin-right: 20px;">4</div> <hr style="width: 20px;"/> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">120</div>																					
Передвижка блокоукладочной фермы вперед	м	I	3,0	3,0	Проходчики: 6 разр. - 1 5 " - 2 4 " - 6 Блокоукладочная ферма	<div style="text-align: right; margin-right: 20px;">9</div> <hr style="width: 20px;"/> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">10</div> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">9</div> <hr style="width: 20px;"/> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">10</div>																					
Монтаж обделки	Г арка	2	13,5	27,0	То же	<div style="text-align: right; margin-right: 20px;">9</div> <hr style="width: 20px;"/> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">90</div> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">9</div> <hr style="width: 20px;"/> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">80</div>																					
Первичное разжатие арок из сборных железобетонных блоков	То же	2	4,5	9,0	"	<div style="text-align: right; margin-right: 20px;">9</div> <hr style="width: 20px;"/> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">30</div> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">9</div> <hr style="width: 20px;"/> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">30</div>																					
Передвижка блокоукладочной фермы назад	м	I	1,8	1,8	"	<div style="text-align: right; margin-right: 20px;">9</div> <hr style="width: 20px;"/> <div style="text-align: right; margin-right: 20px;">12</div>																					

Итого:

201,8

28,17 чел.-дней

Рис. 6. График производства работ на сооружение 1 м верхнего свода односводчатой станции.

Примечание. Цифры над линиями – количество рабочих, занятых в операции; под линиями – продолжительность операции в минутах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов В.Н. Промышленные здания и сооружения. Часть 1. Учебное пособие. – М.: Изд. МГИ, 1982. С. 41.
2. Фишельсон М.С. Городские пути сообщения. – М.: Высшая школа, 1980. С. 293.
3. Гузеев А.Г., Гудзь А.Г., Пономаренко А.К. Технология строительства горных предприятий. – К.: Вища школа, 1986. С. 390.
4. Мостков В.М. Подземные сооружения большого сечения. – М.: Недра, 1974. С. 320.
5. Даниленко И.И. Использование энергии взрыва в строительстве. Киев, Будівельник, 1981. С. 264.
6. Таранов П.Я. Буровзрывные работы. – М.: Углетехиздат, 1958. С. 287.
7. Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов. Сб. тезисов докладов Международной конференции. Днепропетровск, ГГА, 1996. С. 137.
8. Величкин Е.А., Ленец Л.Т. Строительство тоннелей и метрополитенов. – М.: Транспорт, 1971. С. 390.
9. Храпов В.Г., Демешко Е.А., Наумов С.Н. и др. Тоннели и метрополитены. – М.: Транспорт, 1989. С. 383.
10. Власов С.Н., Торгалов В.В., Виноградов Б.Н. Строительство метрополитенов. – М.: Транспорт, 1987. С. 278.
11. Меркин В.Е., Маковский Л.В. Прогрессивный опыт и тенденции развития современного тоннелестроения. – М.: ТИМР, 1997. С. 190.
12. Волков В.П., Наумов С.Н., Пирожкова А.Н. Тоннели и метрополитены. – М.: Транспорт, 1964. С. 630.