

ИНЖЕНЕР В. Л. МАКОВСКИЙ

**СООРУЖЕНИЕ
ТОННЕЛЕЙ
МЕТРОПОЛИТЕНОВ**

МАКОВСКИЙ
—
СООРУЖЕНИЕ
ТОННЕЛЕЙ
МЕТРО-
ПОЛИТЕНОВ

ИЗДАНИЕ "СТРОИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ"

SUBWAYS *and* TUNNELS

by Engineer BENJAMIN MAKOVSKY

Docent of the Moscow Transport Engineers Institute



VOLUM FIRST TUNNELING ENGINEERING *in* EUROPE

(According to the materials collected during his trip
arranged by „Metrostroy“ in England, France, Belgium
and Germany in 1933)

EDITED BY „STROITELSTVO MOSKVV“
MOSKOU, 1935

ИНЖЕНЕР В.Л.МАКОВСКИЙ

Доцент Московского института инженеров транспорта

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
49	2 сверху	6,4 мм	13,0 мм
51	Подпись к рисунку	Испытательный	Исполнительный
59	11 снизу	30	300
76	таблиц	—	читать двумя строками ниже
82	6 снизу	рис. 74	рис. 84
122	3 снизу	2,5	3,7
128	20 сверху	137	138
180	Подпись к рисунку 211	по дну	по оси
186	17 сверху	расширенного типа	Парижского метрополитена
187	3	7,80 см	7,80 м
214	график	схватывание породы	выемка породы
267	9 сверху	резкого городского движения	резкого упадка городского движения
269	13 снизу	рис. 324	рис. 328
337	25 снизу	примерами	приемами
339	4	Анверпене	Антверпене
341	10 снизу	рис. 413	рис. 414

Ссылки в тексте на рисунки на стр. 343—362 все следует читать на один номер большими. Так например, напечатано рис. 424, 425, следует читать рис. 425, 426.

ИЗДАНИЕ „СТРОИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ“
МОСКВА, 1935 г.

14/10

SUBWAYS and TUNNELS

by Engineer BENJAMIN MAKOVSKY

Docent of the Moscow Transport Engineers Institute

ИНЖЕНЕР В.Л.МАКОВСКИЙ

Доцент Московского института инженеров транспорта

СООРУЖЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ



ТОМ ПЕРВЫЙ

ЕВРОПЕЙСКАЯ ТОННЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

(По материалам заграничной командировки 'Метро-
стро' в Англию, Францию, Бельгию и Германию
в 1933 году)

EDITED BY "STROITELSTVO MOSKVY"
MOSKOU, 1935

ИЗДАНИЕ "СТРОИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ"
МОСКВА, 1935 г.

14/10

Отличный
технический
учебник
№ 75
тов. Семёнов А. Н.
В. Бродин
25/11/1937г.

П Р Е Д И С Л О В И Е

Сооружение первого советского метрополитена в Москве представляет исключительно сложную техническую проблему. Пестрота и неоднородность напластований слабых грунтов, часто плывунного характера, и тяжелый гидрогеологический режим создают чрезвычайно неблагоприятную обстановку для прокладки тоннелей.

Вопрос осложняется тем, что работы приходится вести в городе, под узкими извилистыми улицами, при невероятно хаотическом городском подземном хозяйстве, при густой застроенности кварталов.

В свое время проект Московского метрополитена, составленный советскими инженерами, был подвергнут всестороннему рассмотрению советской и иностранных экспертиз. Советская экспертиза была представлена лучшими научно-инженерными силами Союза по горно-строительной, путевой и электротяговой специальностям. В иностранных экспертизах участвовали строители метрополитенов: Лондона, Парижа и Берлина. Подход иностранных специалистов к разрешению задачи создания метрополитена в Москве был своеобразно абстрактным. Каждый из этих инженеров предлагал строить здесь метрополитен так, как это принято в их стране, совершенно не учитывая наших условий. Однако разнообразие и неоднородность геотехнических условий на каждом участке требовали своего специального подхода. В результате был принят проект комбинированного способа заложения тоннелей метрополитена, который в настоящее время в части первоочередных линий уже претворен в жизнь.

Приступая впервые к широкому строительству сети метрополитена, мы должны были естественно поставить вопрос о необходимости полного использования иностранного опыта строительства и эксплуатации мировых метрополитенов. Это и побудило Метрострой командировать группу своих руководящих инженеров за границу.

Автор данной книги инж. В. Л. Маковский (начальник отдела основных работ Метропроекта), принимавший активнейшее участие в создании проекта Московского метрополитена, был направлен в Европу для изучения техники сооружения тоннелей метрополитена в Англии, Франции, Бельгии и Германии.

В результате изучения строящихся и уже построенных тоннелей инж. В. Л. Маковский собрал материалы, являющиеся исключительно ценными для практических целей нашего строительства. Обработав эти материалы, он в результате создал труд, где приведен критический анализ европейской техники сооружения тоннелей, представляющий огромный интерес не только для строителей метрополитенов, но и вообще для всех тоннельщиков Советского союза.

Книга инж. В. Л. Маковского охватывает не только его личные наблюдения за работами, но и иностранные литературные данные. При ограниченности нашей литературы в этой области настоящий труд является ценным вкладом в советскую тоннельную технику.

Книга инж. В. Л. Маковского охватывает первый раздел мирового опыта — европейскую тоннельную технику. Но и американская техника, имеющая большие достижения в постройке рекордных тоннельных сооружений в короткие сроки, должна быть нами также всесторонне практически изучена в самом ближайшем времени.

Вооруженные опытом мировой тоннельной техники и опытом строительства первоочередной линии, мы без сомнения сумеем создать в Москве — в столице мирового пролетариата — такой метрополитен, который будет действительно выдающимся сооружением мировой тоннельной техники. Первая очередь, недавно пущенная — яркое доказательство того, что наше метро действительно есть и будет в дальнейших очередях лучшим в мире.

Начальник строительства Московского метрополитена

инженер П. П. Ротерт

ВВЕДЕНИЕ

Строителями первого советского метрополитена в Москве создается городская внеуличная железная дорога, базирующаяся на социалистических принципах, в отличие от метрополитенов капиталистических столиц, где с пассажиром считаются лишь как с элементом, приносящим доходы.

Советский метрополитен сооружается в период, когда во всех мировых столицах метро уже давно эксплуатируется. В процессе создания нашего метрополитена мы можем и должны использовать весь богатейший опыт мирового метростроения.

Опыт изучения мной за границей условий сооружения и эксплуатации мировых метрополитенов ярко показывает промахи и строительные ошибки, допущенные при строительстве капиталистических метро. Эти промахи и строительные ошибки особенно выпукло выступают в период эксплуатации метрополитена. Исправление их иногда чрезвычайно трудно и дорого, причем не всегда приводит к положительным результатам. Все это является следствием ведения капиталистического метростроительства без плана, по отдельным неувязанным между собой отрезкам линий, которые эксплуатируются в некоторых городах разными транспортными компаниями. Хаотичность и бесплановость трассирования городских внеуличных железных дорог представляют собой общее для всех мировых столиц явление и весьма наглядно иллюстрируются схемами самих сетей метро, в которых отдельные артерии сети друг с другом часто не увязаны. Вот пример, к чему приводит случайное трассирование линий: при пользовании лондонскими городскими дорогами для пересадки с одной линии на другую пассажиру приходится иногда подняться наверх, пересечь улицу, пройти по поверхности минут 5 и снова спуститься на другую линию.

В условиях социалистического строительства, в условиях строительства по незыблемому плану схема линий метро создается и увязывается не только в отдельных своих элементах, но и согласуется с перспективной городской планировкой советской столицы.

При сооружении метро в густо населенных и застроенных городах с интенсивным уличным движением необходимо считаться с жизнью города. Требования обеспечения нормальных условий городской жизни на время сооружения тоннелей приобретают иногда решающее значение, предопределяя тип самого метрополитена.

Огромное значение имеет геология, гидрогеологический режим и физико-механические свойства грунтов, залегающих по трассе создаваемого метрополитена.

Таким образом при сооружении метрополитена приходится считаться с весьма сложным и многогранным комплексом геотехнических городских и эксплуатационных факторов.

Обращаясь к анализу мирового опыта метростроения, не трудно усмотреть, что каждый из городов разрешал встававшие перед строительством задачи своеобразно и часто, совсем не исходя из технической целесообразности.

Так например тоннельные обделки Лондонского Эндерграунда осуществлены из чугуна, главным образом из-за «неразрывной связи» метрополитенных компаний с английскими металлургическими фирмами.

Применение чугуна в условиях мощного водонепроницаемого слоя лондонской глины не вызывает прямой технической необходимости. Конечно нельзя отрицать того положения, что конструкции из заранее заготовленных металлических элементов возводятся быстро и просто. Однако ясно, что в условиях Лондонского Эндерграунда затрата миллионов тонн металла представляет чрезмерное коммерческое расточительство.

Париж создал свою сеть подземных линий метрополитена по типу своей старой большой тоннельной канализации¹. Владельцы Парижского метрополитена стремились получить лишь «трубу» для пропуска поездов и не особенно считались с удобствами пассажиров. Для этой цели они привлекли кадры строителей канализационных коллекторов, которые и построили метрополитен по прототипу канализации.

Парижский метрополитен, несмотря на выдающиеся строительные достиженья — здесь созданы сложнейшие тоннельные сооружения и пересечения, являющиеся рекордными в части тоннельной техники, — чрезвычайно неприятен для пассажиров, попадающих в сырые и плохо вентилируемые его погребы.

Представители компании Парижского метрополитена на вопрос: «Почему метро не приводится в состояние, соответствующее хотя бы минимальным требованиям гигиены?», — всегда отвечают вопросом, полным издевательства над пассажиром: «Зачем вкладывать излишние деньги в изоляцию и вентиляцию тоннелей Парижского метро, когда в нем и так «хорошо» ездят?».

Хозяева метро в Париже интересуются исключительно эксплуатационной стороной дела.

Приведенные примеры указывают, насколько принципы советского метростроения резко расходятся с установками, на которых базируются метрополитены в капиталистических столицах. Как указывалось выше, мы идем по пути создания в Красной столице плановой сети городских внеуличных железных дорог, увязанной со структурой города, его будущей планировкой и высокими требованиями, предъявляемыми возросшими культурными запросами масс к социалистическому транспорту. Поэтому нашему инженерно-техническому коллективу метростроителей необходимо провести большую творческую проектную работу и технически развязать все транспортные узлы, переходы и станционные пересечения намеченной сети Московского метрополитена.

В капиталистических столицах этот вопрос естественно даже и не ставился. В наших условиях он является вопросом первостепенной важности.

Комплекс сооружений советского метро первой очереди создан, так, чтобы сделать перемещение пассажира не только быстрым, но и удобным и приятным. В процессе строительства тоннелей мы обеспечили надлежащую изоляцию и вентиляцию их.

Станции, вестибюли, входы и выходы нашего метро архитектурно сформлены так, что они явились украшением пролетарской столицы.

Тоннели советского метрополитена, строившиеся в сложнейших гидрогеологических условиях, были сооружены совершеннейшими методами, темпами, невиданными в истории тоннельного дела, не стесняя в то же время нормальной жизни города.

При строительстве первой очереди метро нами было много использовано из передового зарубежного опыта метростроения. Однако далеко не все. Необходимо и далее критически осваивать современную технику сооружения тоннелей в Англии, Франции, Германии и Бельгии; которую автор этой книги изучал во время его заграничной командировки в 1933 г.

Английская тоннельная техника, создавшая самую мощную в Европе сеть внеуличных городских железных дорог в 414 км, наиболее совершенно разрешает тоннелирование при глубоком заложении тоннелей и при пересечении ими водных протоков¹. Автор здесь имеет в виду щитовой прием проходки тоннелей.

Щит, изобретенный инженером Брюнелем в 1812 г., был впервые применен им при проходке под р. Темзой. Теперь щит настолько усовершенствован, что представляет совершенное механическое орудие — это в полном смысле слова подземный комбайн. Помощью последнего механизированным путем сооружаются тоннели в самых сложнейших геотехнических условиях при больших давлениях пород.

Кроме того английские инженеры приобрели большой опыт в области проходки шахт и тоннелей тьюбами в слабых водоносных грунтах под сжатым воздухом.

Англичане сооружают подземные станционные вестибюли диаметром до 50 м (станция Пикадилли Серкус) тоннельным путем, проходкой на металлическом креплении, и успешно создают наклонные эскалаторные ходы на большие глубины. Методы работ англичан должны явиться предметом самого тщательного изучения.

Нашим тоннельным техникам, соорудившим первый советский метрополитен, уже приходилось разрешать исключительно сложные технические задачи: таких трудностей, как проходка наклонных тоннелей для эскалаторов через плывуны мощностью более 15 м, не встречали строители Лондонского Эндерграунда.

Созданным на наших советских заводах щитом мы успешно закончили проходку тоннеля через древнее, размытое русло подземной реки Неглинки.

Французская техника сооружения тоннелей чрезвычайно богата весьма крупными тоннельными сооружениями, как например: подземные станции «Опера», «Републик», тоннели-мосты фундированные через каменные карьеры, тоннели под р. Сенной, тоннели-кессоны у моста Мирабо, содержащие внутри мосты и т. п.

Парижская тоннельная техника базируется преимущественно на приемах временного деревянного крепления при постоянной каменной

¹ Коллектор общесплавной канализации «Клиши» по своим размерам подходит к однопутному тоннелю метро и по нему перемещаются в лодках.

¹ Подводное тоннелирование.

обделке. Французы создали богатейшие кадры искусных специалистов-крепильщиков, которые работают в сложнейших городских условиях: под домами, искусственными сооружениями, вблизи поверхности мостовой с интенсивным уличным движением, не допуская сколько-нибудь значительных осадок. Хотя приемы тоннелирования, принятые французами кустарны по своей технической сущности и медлительны, все же опыт и навыки парижских инженеров, методы подземных работ по созданию сложнейших тоннельных профилей в городских условиях чрезвычайно интересны для наших техников.

Грунты Парижа представляют главным образом напластования мергелей, гипса с небольшим включением суглинков и песков естественной влажности¹. Эти условия конечно не могут идти ни в какое сравнение со сложнейшим геотехническим режимом Москвы.

Германская тоннельная техника на современном этапе остановила свое развитие вследствие того, что при фашистском режиме там ныне не ведется развернутых тоннельных работ, если не считать работы по окончанию строительства подземной станции «Юнгфернштик» Гамбургского метрополитена под мостом через канал Альстер.

Берлинский метрополитен в настоящее время используется слабо и эксплуатационная работа метро проходит почти вхолостую. Поэтому приходится изучать германскую технику метростроения главным образом прошлых лет.

В технике сооружения тоннелей открытым способом немецкие инженеры достигли больших успехов. Владея в совершенстве методом искусственного понижения грунтовых вод, немцы работы проводят в сухих котлованах. Здесь надо все же оговориться, что берлинские грунты являются крупнозернистыми песками поймы р. Шпрее, легко отдающими воду. А эти условия несравненно более благоприятны, чем условия московских грунтов.

Основные крепления, применяемые немцами при производстве работ, — металлические. Они не стесняют сечения котлованов и разрешают успешно организовать транспорт породы. Бетон укладывается с помощью бетононасосов.

Изоляцию тоннелей от сырости и блуждающих токов из гудронированного толя на горячей клеемассе немцы осуществляют безупречно. И действительно тоннели Берлинского метро совершенно сухи.

Американская тоннельная техника создала ряд мощных метрополитенных сетей в больших американских городах: Нью-Йорке, Чикаго, Бостоне, Филадельфии и др. Американцы выстроили ряд рекордных подводных тоннелей под р. Гудзон, тоннелей крупных профилей (Хувер Дам) и т. п.

Что особенно интересно для нас в американской тоннельной технике, это размах строительных работ, совершенство механизации их, применение ряда смелых и остроумных технических приемов тоннелирования. Американская тоннельная техника должна быть нами также освоена.

¹ Исключение составляют подходы метро в поймах р. Сены, где грунты весьма слабые. Поэтому здесь приходится прибегать к кессонам-тоннелям, щитам, сжатому воздуху, металлической обделке, замораживанию и т. п.

АНГЛИЙСКАЯ ТЕХНИКА СООРУЖЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРО

СООРУЖЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ ЛОНДОНСКОГО ЭНДЕРТГРАУНДА

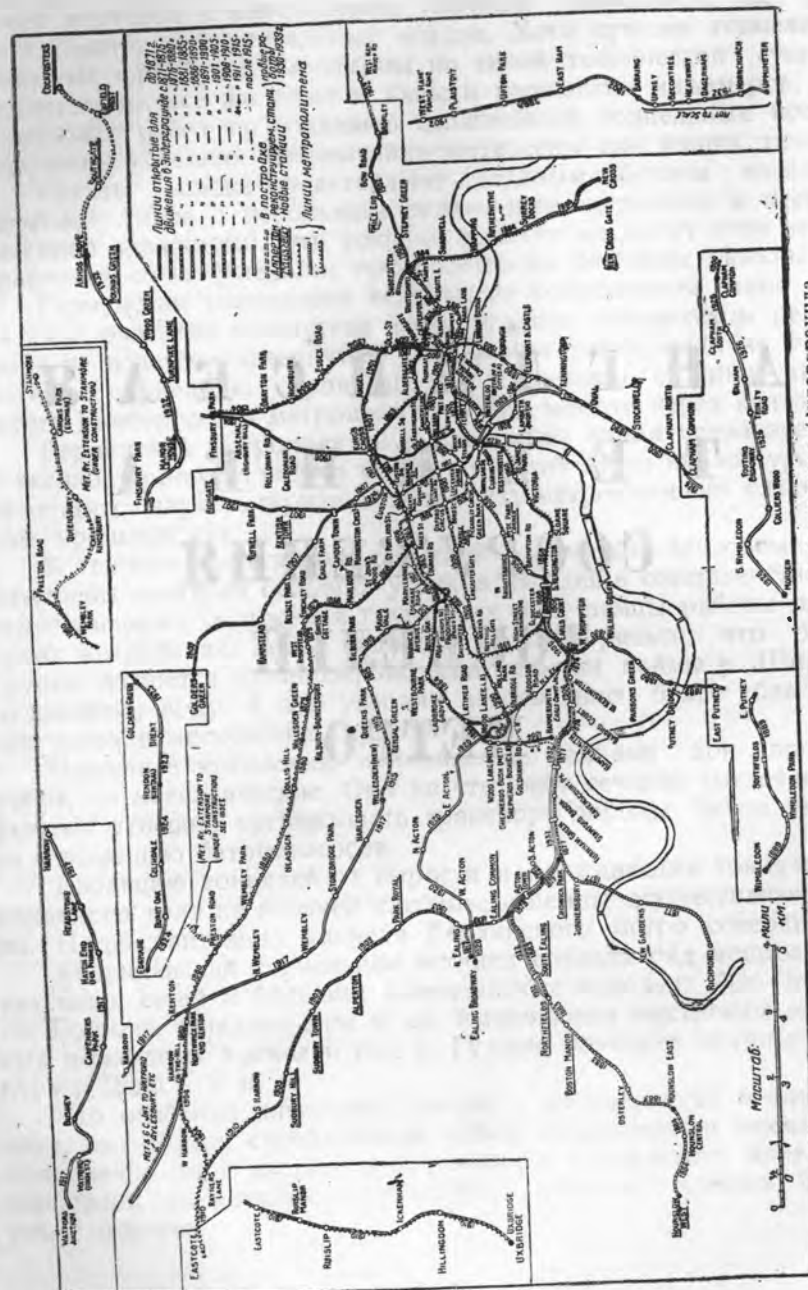


Рис. 2. Хронологическая схема сети Лондонского Эндертграунда

§ 1. Общие данные

Схема Лондонской городской сети железных дорог содержит самые случайные элементы трассы и является печальным свидетельством беспланового развития капиталистической столицы.

Непоправимые недостатки схемы Лондонского Эндертграунда видны весьма ярко. Негодная увязка пересекающихся друг с другом станций разных направлений привела к невероятно сложным и причудливым решениям, сопряженным с большими инженерными работами по реконструкции ряда тоннелей, галерей и переходов. Эти работы, в свою очередь, неизбежно вызвали ряд затруднений эксплуатационного порядка.

Лондонская подземная сеть железных дорог состоит из подземных линий глубокого (до 60 м) и мелкого заложений и из открытых участков.

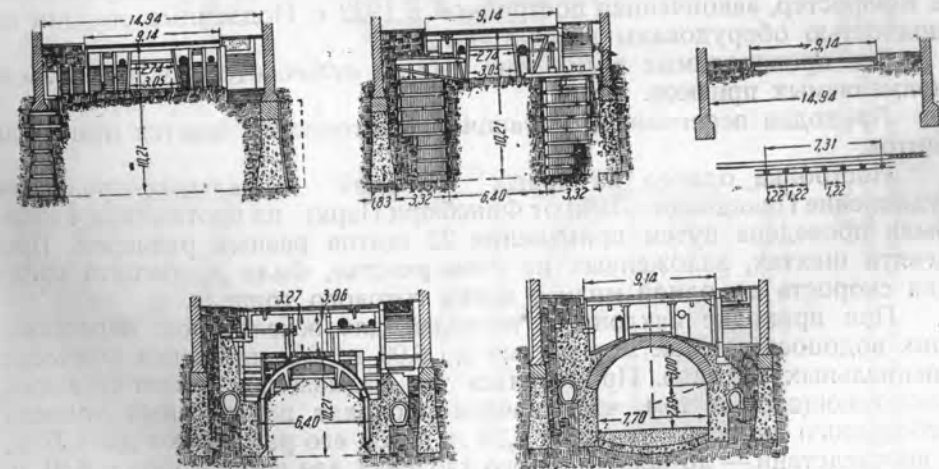


Рис. 3. Метод сооружения тоннелей первых линий Лондонского метрополитена с временным мостом для пропуска движения.

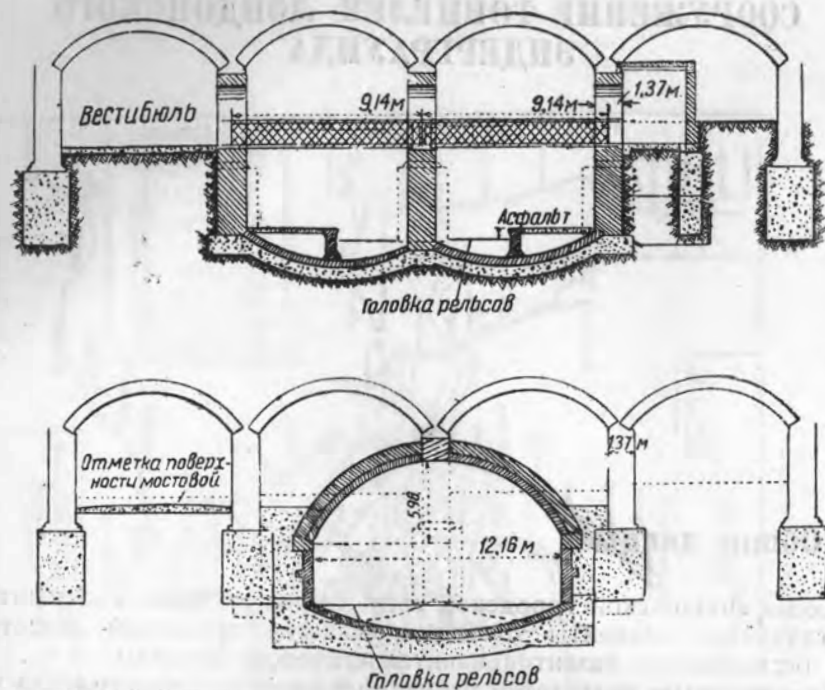


Рис. 4. Типы станций первой линии Лондонского метрополитена.

Линии метрополитена мелкого заложения сооружены были еще в прошлом столетии и естественно уступают линиям более поздних европейских метро. Другое дело Лондонский Эндерграунд с тоннелями глубокого заложения. Здесь станции с эскалаторными ходами в сочетании с нарядными вестибюлями производят довольно эффектное впечатление. Пассажир, перемещающийся эскалатором, испытывает особое «транспортное» удовольствие.

Наиболее интересна линия от Финсбюри Парк по направлению к Кокфостер, законченная постройкой в 1932 г. Подземные станции ее полностью оборудованы эскалаторами.

Все производимые в Лондоне работы отличаются совершенством применяемых приемов.

Проходка перегонных и станционных тоннелей ведется помощью щитов.

Постройка одного из новых глубоких тоннельных участков (удлинение Пикадилли Лайн от Финсбюри Парк) на протяжении 4 миль была проведена путем применения 22 щитов разных размеров. При девяти шахтах, заложенных на этом участке, была достигнута средняя скорость до одной мили в месяц готового тоннеля.

При проходке наклонных тоннелей для эскалаторов, пересекавших водоносный слой мощностью до 6,00 м, был применен комплекс специальных методов. Применялась так называемая «пилот-система», заключающаяся в том, что сначала проводят центральный тоннель небольшого диаметра, порядка 2,75 м, затем его расширяют до 4,27 м, а впоследствии — до необходимого габарита для эскалаторов в 6,94 м. Пилот-тоннель в слабых грунтах проходил под сжатым воздухом. До приступа к его расширению водоносные грунты закреплялись химическим путем по периферии профиля. Дальнейшая разработка

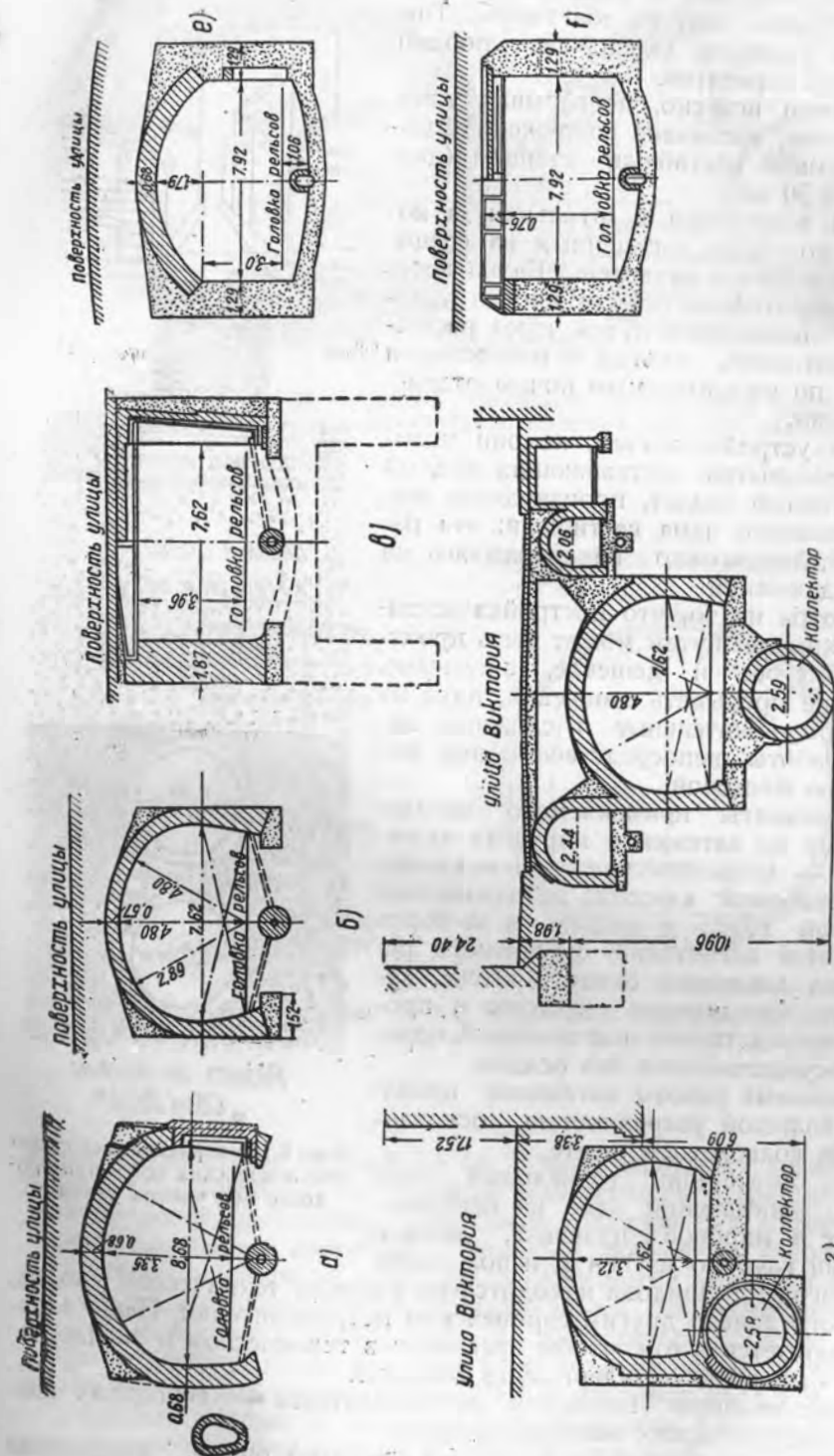


Рис. 5. Типы тоннельных сооружений первых линий Лондонского метрополитена.

Поперечные сечения тоннелей: а) сводчатый профиль линии метрополитена; б) сводчатый профиль линии метрополитена; в) сводчатый профиль линии метрополитена; г) станционный профиль; е) ф) тоннели метрополитена под "Уайтчепел".

тоннеля проводилась с помощью пневматики, отжимая воду со лба забоя. Тоннели всех размеров укреплялись тьюбами из чугунных сегментов.

Особенно искусно, непрерывая уличное движение, англичане сооружают большие подземные вестибюли станций (диаметром до 50 м).

Стены возводятся в штольнях, а колонны в колодцах, опущенных из специальных подходов галерей. Балки несущего перекрытия вестибюля иногда укладываются подземным путем через расширенные штольни, иногда с поверхности мостовой, по раскрываемым ночью отдельным полосам.

После устройства стен, колонн и несущего перекрытия, составляющих полный конструктивный скелет, производится выборка земляного ядра вестибюля; эта работа идет, нисколько не отражаясь на уличном движении.

Несмотря на то, что постройка вестибюлей открытым путем может быть произведена быстрее и дешевле, англичане, стремясь не прерывать движения, идут на более продолжительные и сложные закрытые работы, непосредственно под поверхностью мостовой.

Все элементы применяемого крепления штолен до затяжек и марчеван включительно — металлические. Немедленно после постановки каждой металлической штольневой рамы в кровлю и за борта производится нагнетание цементного раствора под давлением около 3 кг/см^2 . Таким путем заполняются пустоты и проходка непосредственно под мостовой практически осуществляется без осадок.

Тоннельные работы англичане производят с большой уверенностью, основанной на их многолетнем опыте.

Этот богатейший тоннельный опыт англичан, занимающий одно из центральных мест в мировой практике, должен быть нами глубоко изучен и использован.

Эндерграунд Лондона находится на высоком техническом уровне, до которого далеко другим европейским метрополитенам. Наша задача и заключается в том, чтобы превзойти в техническом и эксплуатационном отношениях Эндерграунд Лондона.

Лондон является пионером метрополитенов — городских внеуличных электрических железных дорог.

В 1860 г., не имея в этой области никакого опыта, лондонские инженеры приступили к разрешению сложной проблемы строительства подземных железнодорожных линий. Первая линия метро «Кингс-



Рис. 6. Двухъярусное расположение лондонских тьюбов при проходке под узкими улицами.

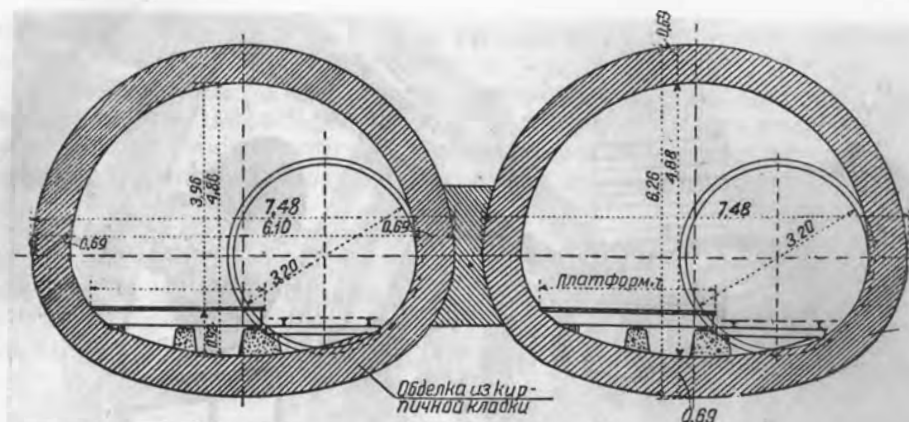


Рис. 7. Станции первых линий Лондонского Эндерграунда, сооруженные при временном деревянном креплении и каменной кладке.

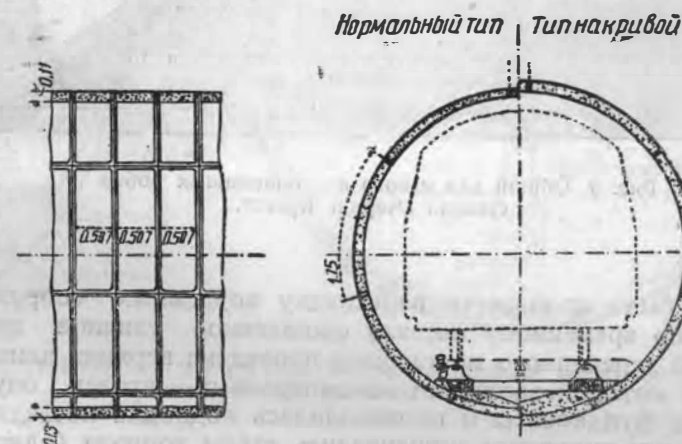


Рис. 8. Тьюб первых линий Лондонского Эндерграунда из чугунных сегментов.

Кросс-Эдгар Роуд», длиной 3,6 км, была сдана в эксплуатацию в 1863 г. При постройке ее возник и был успешно разрешен ряд сложных вопросов, связанных с проходкой тоннелей под домами и укреплением последних, связанных с уличным движением, с сооружениями городского подземного хозяйства, с грунтовыми водами и т. д.

Вначале тоннели строились двухпутными, открытым способом, при каменных стенах и перекрытиях из металлических балок, с кирпичными сводами. Своды устраивались в 3 кирпича, а местами в 5 кирпичей, причем толщина перекрытия доходила до 1,4 м.

Особый интерес в свое время представляли работы по сооружению тоннеля Канон-Стрит. При ширине улицы в 15,0 м требовалось без перерыва уличного движения произвести подводку фундаментов прилегающих домов до подошвы тоннеля. Для этого предварительно



Рис. 9. Общий вид одного из станционных тубов станции „Черинг Кросс“.

необходимо было произвести перекладку подземных сооружений и пропустить по временному настилу оживленное уличное движение. Под защитой деревянного моста была проведена верхняя центральная галлерея, от которой засечками из поперечных штолен опускались колодцы под фундаменты и производилась подводка последних. Далее отдельными участками устраивались стены тоннеля (одновременно шла укладка канализационных труб), по кружалам выкладывался несущий свод тоннельного перекрытия. После создания такой законченной тоннельной конструкции среднее земляное ядро удаляли обычным порядком (рис. 3).

До 1890 г. метрополитен Лондона работал на паровой тяге, но этот год явился переломным для метро. Строительство метро с этого времени стало усиленно развиваться. Электрическая тяга на много облегчила технические условия трассировки метрополитенных линий. Введение ее позволило уменьшить габариты, изменить радиусы кривых, предельных уклонов и т. д. Избавившись от дыма и газов, неизбежных спутников паровой тяги, электрифицированный метро приобрел здоровые условия эксплуатации.

До 1890 г. Лондон вел работы по сооружению тоннелей с поверхности, открытым способом. Для этого предварительно необходимо было проводить сложные и дорогостоящие работы по переустройству коллекторов подземного хозяйства, производить чрезвычайно медленные и кропотливые работы по укреплению оснований и фундаментов, близ расположенных у трассы домов. Кроме того к строителям предъ-

являлись жесткие требования о производстве работ без нарушения уличного движения.

Однако, несмотря на большую осторожность в ведении работ, все же дело не обходилось без повреждения строений. Таким образом помимо значительной стоимости земельных участков появлялись огромные расходы по компенсации убытков за повреждения частных строений.

С целью обойти эти осложнения, неизбежные в условиях капиталистического города при постройке мелко заложённых городских железнодорожных линий, англичане, закончив постройку этих послед-

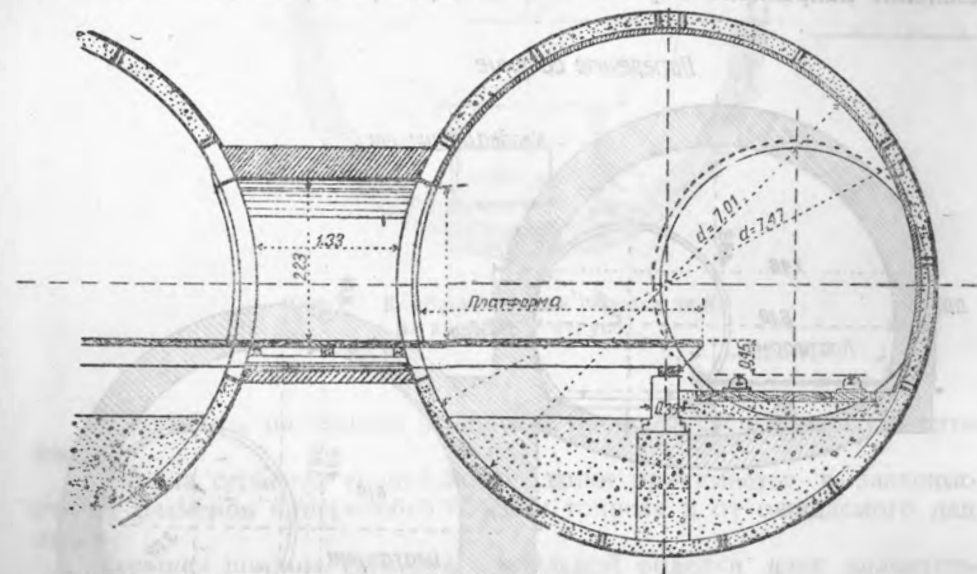


Рис. 10. Станционные тубы с соединительным тоннелем между платформами, построенные шитовым способом.

них, начали в 1884 г. строить подземные дороги на большой глубине. Закладкой линий на значительную глубину англичане избежали больших и дорогостоящих работ по переустройству сооружений подземного хозяйства, по укреплению оснований и фундаментов домов, а главное нарушения уличного движения.

Тоннели глубокого заложения построены однопутными на определенном расстоянии друг от друга. В некоторых местах, где тоннели проходят под улицами небольшой ширины, они расположены один под другим (рис. 6), так как по английским законам домовладельцы владеют землей по своему контуру до... «центра земли».

В 1890 г. был сдан в эксплуатацию первый участок глубокого заложения протяжением в 5,07 км. В дальнейшем при трассировке и проходке линий по новым направлениям английские инженеры уже спокойно заглубляли тоннели до 58 м от поверхности земли. Этому обстоятельству благоприятствовал мощный слой водонепроницаемой лондонской глины, являющейся прекрасным грунтом для прокладки тоннелей, особенно при работе специальным механическим снарядом — системой Гредхэд. Перемещение пассажиров с поверхности

на глубоко расположенные платформы станций осуществлялось помощью вместительных лифтов (около 130 шт.), в настоящее время почти повсюду заменяемых эскалаторами — механическими лестницами, количество которых на сети достигает уже 120 комплектов.

Минимальная глубина станции, оборудованной механизированным подъемом, — 9,14 м, максимальная — 55,17 м, считая до уровня платформы.

Среднее расстояние между станциями около 1 км. Однопутные тоннели Эндерграунда глубокого заложения, так называемые тьюбы, имеют круглое сечение с металлической оболочкой из отдельных сбалчиваемых между собой сегментов (рис. 8). При круглых тьюбах давление направлено нормально к ним, распределяясь равномерно по

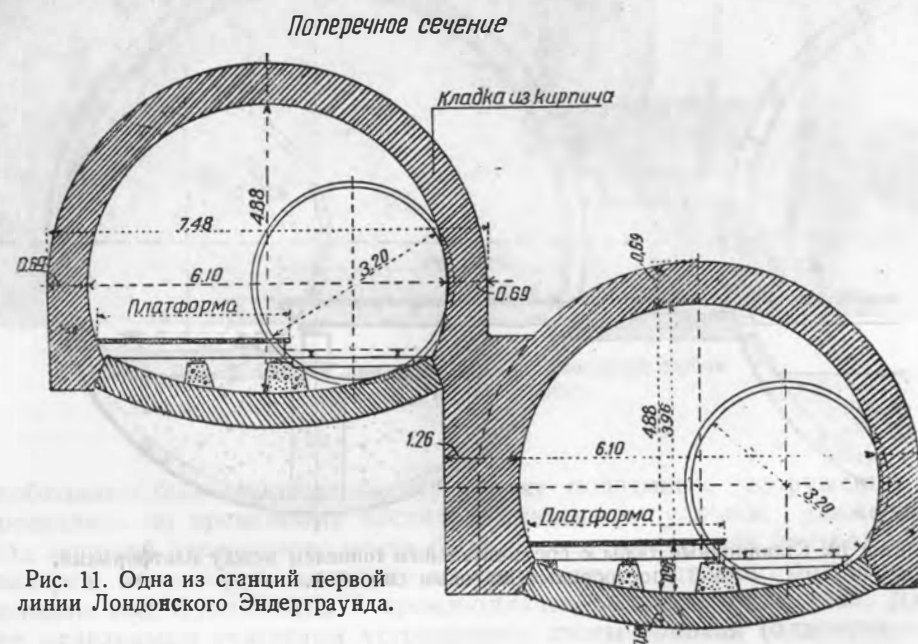


Рис. 11. Одна из станций первой линии Лондонского Эндерграунда.

замкнутому контуру обделки. Сегменты взаимозаменяемы. Вращение щита вокруг своей оси в процессе проходки не влияет на профиль и габариты тьюба. Скорость проходки однопутных тьюбов несравненно выше, чем двухпутных. Однопутные тоннели создают лучшие условия вентиляции при движении поездов, работающих наподобие поршня.

Чугунные кольца однопутных тьюбов большинства тоннелей Лондонского Эндерграунда имеют диаметр 3,56 м и состоят из шести сегментов и одного ключевого блока. Чугунные кольца станционных тоннелей, диаметром в 6,47 м, состоят из 12 сегментов и одного ключевого блока. Ширина сегментов устанавливается в соответствии с ходом поршня гидравлических домкратов щита.

Сегменты тьюбов бывают следующих типов:

- а) ключевые сегменты,
- б) соседние к ключевому сегменту,
- в) сегменты нормального типа,

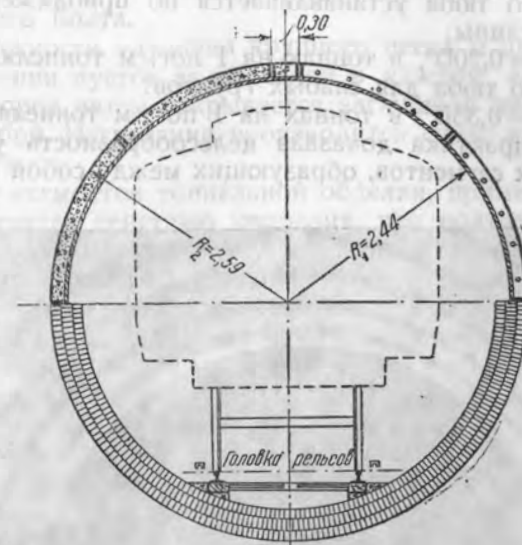


Рис. 12. Комбинированная обделка тьюба из кирпича и чугуна.

г) сегменты на кривой в плане и профиле специального очертания.

Ширина сегмента тоннельной обделки принимается в зависимости от размеров поперечного сечения тоннеля и от ожидаемого давления.

Меньшая ширина сегмента тоннельной обделки дает значительные преимущества:

а) увеличивается число ребер по длине тоннеля, что придает большую жесткость самому тьюбу,

б) перемещение щита осуществляется с уменьшенным ходом поршня, что особенно важно при проходке в слабых грунтах и под большими сооружениями, где опасны осадки,

в) маневренность щита значительно увеличивается, так как при небольших сегментах хвост щита и ход поршня соответственно меньше; при этом щит при продвижении легко вписывается в кривые плана и профиля.

Однако уменьшение ширины сегментов приводит к увеличению числа стыков, количества свинца, смеси «Раст», числа болтов и к возрастанию поверхности просачивания. Поэтому английская практика выработала оптимальные размеры для сегментов тьюбов в зависимости от их диаметров, от веса сегментов, от скорости продвижения щита и монтажа тоннельной обделки. Нормальный ход поршня для перегонного щита принят 50 см, а для станционного щита — 45 см.

Длина сегмента тоннельной обделки не должна превышать радиуса тьюба; практически она бывает не больше 2,13 м.

Высота борта чугунного сегмента f для лондонской глины принимается по эмпирической формуле:

$$f_1 = 3,3D \text{ см},$$

где: D — диаметр тьюба в м.

Для слабых грунтов:

$$f_2 = 4,3D \text{ см}$$

Вес чугунного тюба устанавливается по приближенной формуле для лондонской глины:

$$S_1 = 0,20D^2, \text{ в тоннах на 1 пог. м тоннеля.}$$

Вес чугунного тюба для слабых грунтов:

$$S_2 = 0,33D^2, \text{ в тоннах на 1 пог. м тоннеля.}$$

Английская практика доказала целесообразность устройства углублений в ребрах сегментов, образующих между собой канавку шири-

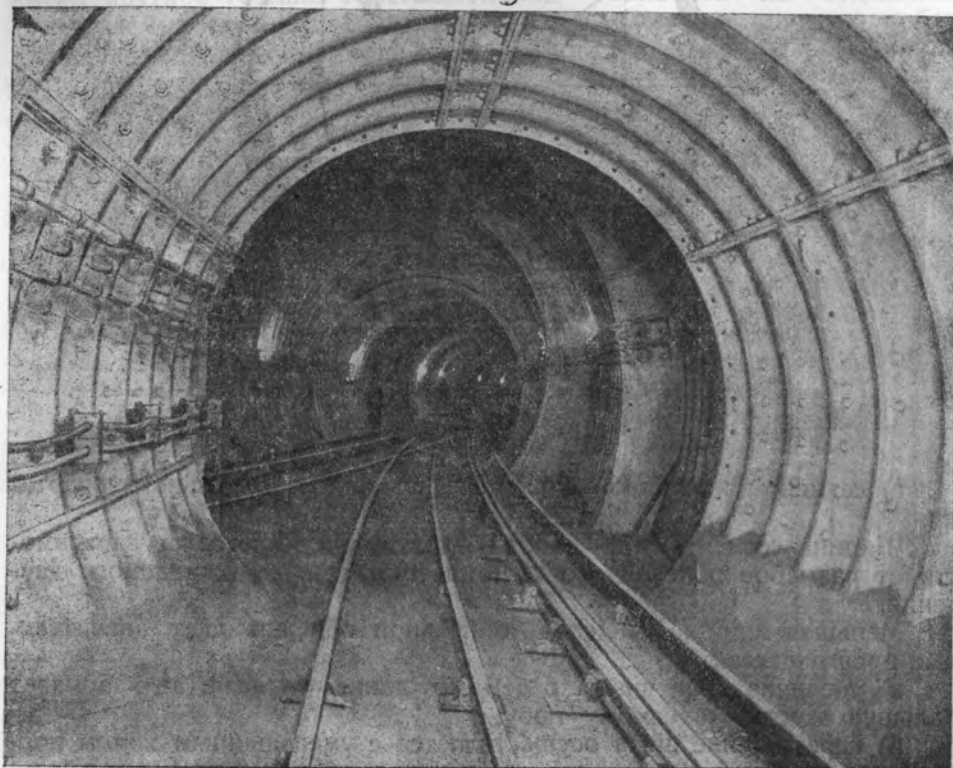


Рис. 13. Тюбы переходных камер Лондонского Эндерграунда из чугунных сегментов у станции „Ист Баунд“.

ной 6 мм и глубиной 25 мм. Эта канавка является одним из существенных элементов, без наличия которого крайне трудно обеспечить водонепроницаемость тубов. На дно канавки загоняется рольный свинец и затем производится тщательная расчеканка стыков смесью «Раст» (смесь чугунных опилок с салимонием с прибавлением серы). Расчеканка производится ручными или пневматическими приспособлениями и представляет собой весьма неприятную и кропотливую работу; особенно трудна расчеканка стыков тюба калоттной части.

В результате получается химическая реакция с выделением тепла, при которой смесь «Раст» обеспечивает неразрывность сегментов между собой, составляющих сплошную тоннельную трубу. Англичане считают, что изоляцией в тюбах является не свинец, а окрепшая, как металл, смесь «Раст», обеспечивающая полную водонепроницаемость тоннелей.

Тюбист расчеканивает за 12 часов до 6,00 пог. м стыков. При размерах канавки 6 мм на 25 мм стыки болтов остаются незащищенными. В этом случае в сегментах в местах отверстий делаются кони-

ческие углубления и производится плотная забивка колец из пропитанной суриком пеньки. Диаметр дыры в сегменте на 6 мм больше диаметра самого болта.

Для возможности вдувания крупного песка и цементного раствора при заполнении пустот за обделкой в каждом сегменте делается отверстие, которое затем закрывается заглушкой диаметром 38 мм с винтовой резьбой. Нагнетание производится снизу вверх от подшвы тюба к шельге.

Чугун для сегментов тоннельной обделки, применяемый в Лондоне, не подвергается действию коррозии, что подтверждается опытом 40—70-летней эксплуатации огромной сети Эндерграунда.

Применение стальных сегментов в тоннельных обделках является значительным шагом вперед в строительстве метро, так как облегчение веса и замена болтовых соединений сваркой дают огромный технико-экономический эффект. Однако в этом случае необходимо будет применять специальные стали с примесью меди и т. п., не подверженные действию коррозии.

И перегонные и станционные тоннели в Лондоне — преимущественно однопутные. Продольный профиль тоннеля проектируется, учитывая требования электротяги. Даже при расположении соседних станций Эндерграунда на одном уровне перегонный тоннель в соответствии с направлением движения поездов имеет уклон от станции в 1:30 на протяжении 90 м и подъем к станции в 1:60 на протяжении 180 м. При таком профиле достигается разгон поезда при отправлении со станции и естественное торможение при подходе к станции.

Благодаря таким профилям одновременно с экономией электроэнергии и возможностью ее рекуперации, уменьшается износ тормозных устройств и путевых рельсов.

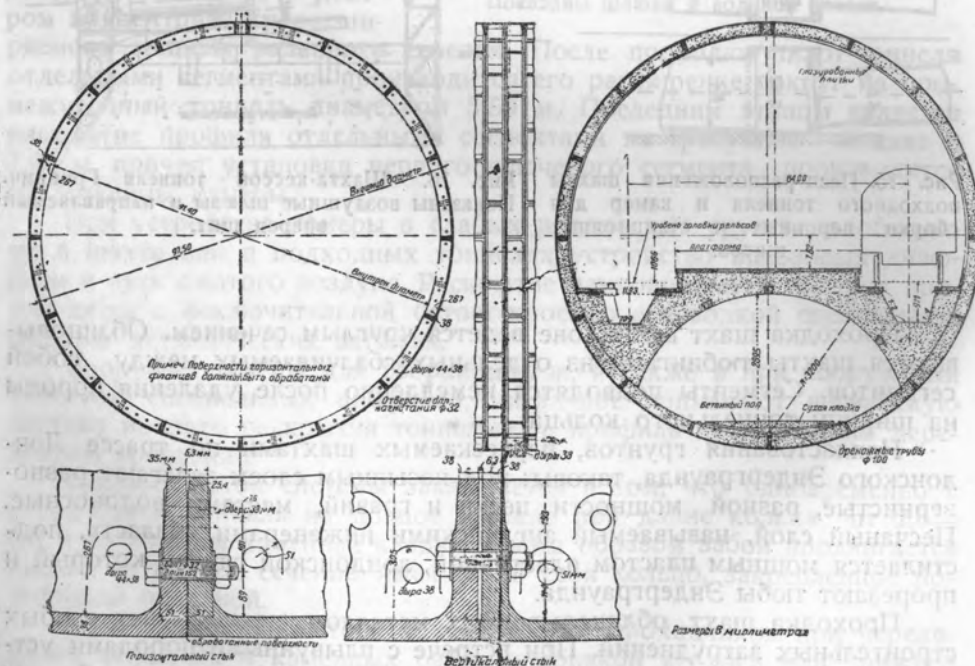


Рис. 14. Туб Лондонского Эндерграунда станции „Остон“ с островной платформой.

§ 2. Методы сооружения тоннелей

А. Проходка шахт

Фронт работ при сооружении тоннелей старых линий Лондонского Эндерграунда открывался из шахт, сечение которых назначалось в зависимости от размеров лифтов и запасных лестниц, обеспечивающих сообщение пассажиров Эндерграунда с поверхностью. Диаметр шахт колебался от 4,90 до 9,80 м.

В настоящее время при постройке линий, где вместо лифтов применяются экскалаторы, диаметр рабочих шахт установлен в 3,66 м. Это сечение достаточно для пропуска крупных элементов щита, которым ведется проходка тоннелей. В тех же случаях, когда приходится опускать щит в собранном виде, сечение шахт соответственно увеличивается.

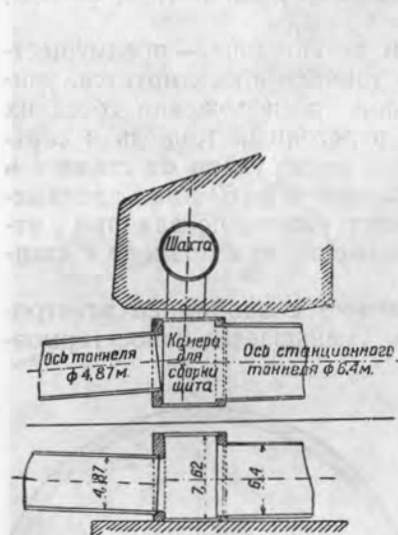


Рис. 15. План расположения шахты подходного тоннеля и камер для сборки перонных и станционных щитов.

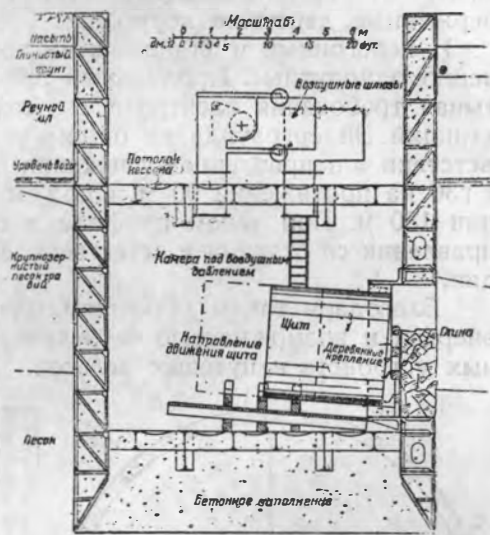


Рис. 16. Шахта-кессон тоннеля Гринвич. Показаны воздушные шлюзы и направляемый вперед щит.

Проходка шахт в Лондоне ведется круглым сечением. Облицовываются шахты тубингами из отдельных сбалчиваемых между собой сегментов. Сегменты подводятся немедленно после удаления породы на ширину тоннельного кольца.

Напластования грунтов, пересекаемых шахтами по трассе Лондонского Эндерграунда, таковы: под насыпным слоем залегают разнородные, разной мощности, пески и гравий, местами водоносные. Песчаный слой, называемый английскими инженерами «баласт», подстилается мощным пластом пластичной, лондонской глины, который и прорезают тубы Эндерграунда.

Проходка шахт, облицовываемых металлом, не вызывает особых строительных затруднений. При встрече с плавунными породами устраивается стационарный потолок по сечению шахты, и углубление последней производится под сжатым воздухом. При шахтах большого

сечения в лондонской практике имеет место и применение опускаемых колодцев и кессонов. В последнем случае в потолок для пропуска частей щитов устраиваются отверстия, заделываемые специальными диафрагмами (рис. 16, 17).

Б. Сооружение камеры для сборки щита

После того, как пройдена шахта, ведутся околоствольные выработки и подходы к основной трассе. Затем приступают к устройству камер для сборки щитов станционного и перегонного профилей (рис. 15, 18).

Для примера привожу порядок сооружения подземной камеры круглого сечения диаметром 7,95 м для монтажа станционного щита.

Предварительно проходится пилот-тоннель диаметром 2,75 м—3,65 м, центр которого совпадает с центром концентрически расширяемого тоннеля заданного сечения. После проходки пилот-тоннеля отдельными сегментами производится его расширение вокруг на промежуточный тоннель диаметром 5,50 м. Последним этапом является раскрытие профиля отдельными сегментами на требуемое сечение в 7,95 м, причем установка первого ключевого сегмента производится из середины камеры.

При устройстве камеры в слабых водоносных грунтах необходимо в шахте или в подходе тоннеля устройство шлюзовых диафрагм и пуск сжатого воздуха. Раскрытие замковой части обделок производится с исключительной осторожностью с заводкой специальной системы металлических затяжек.

Сооружая камеры для сборки щитов, а также и при сооружении тоннелей специальных профилей, англичане применяют английскую систему полного раскрытия тоннельного профиля на временном деревянном креплении.

Сущность этой системы заключается в том, что одновременно с разработкой тоннеля на полное сечение при длине кольца от 2,0—6,0 м возводится каменная кладка. Таким образом забой продвигается вперед на полное сечение, имея сзади себя кольцо, закрепленное постоянной обделкой.

Во избежание простоев каменщиков и проходчиков при чередовании земляных и каменных работ пробивкой верхней или нижней направляющей штольни открывается четное число забоев.

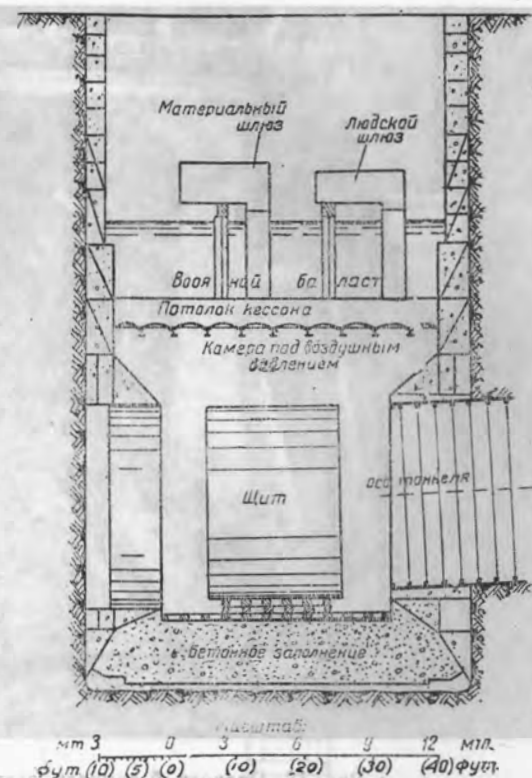


Рис. 17. Вертикальная шахта-кессон Блэкуэльского тоннеля, через которую пропускают щит. Показаны шлюзы и водяной баласт.

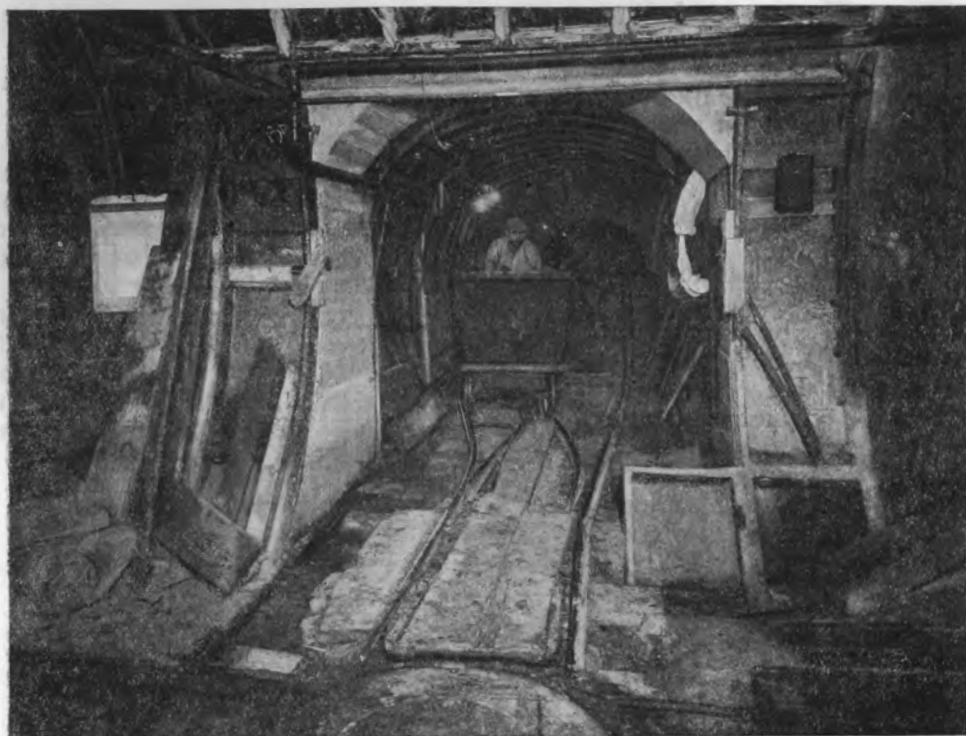


Рис. 18. Подходный тоннель, закрепленный тубингами.

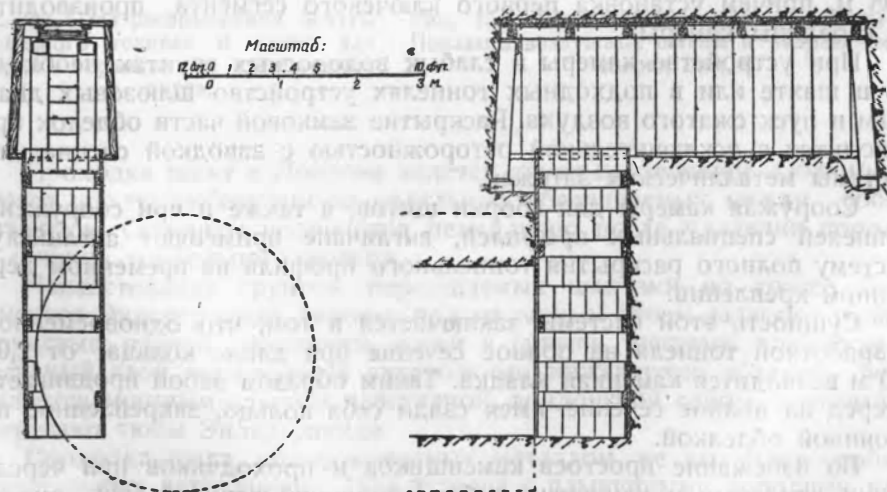


Рис. 19. Сооружение камеры для сборки щита английским методом временного деревянного крепления. Проходка фурнели и верхней штольни.

Разработка профиля ведется горизонтальными уступами, причем лонгарины калоттного профиля опираются, с одной стороны, на каменную кладку обделки, с другой — на временное крепление лба забоя. В зависимости от площади сечения и размеров тоннеля разработка ведется несколькими ярусами горизонтальных швеллеров. Образуемые тоннельные фермы содержат штендера между швеллерами, установленные в большинстве случаев вертикально. Лонгарины — металлические, чаще из брусев. В некоторых случаях лонгарины перемещаются к вновь раскрываемому забою по специальным каналам, образованным в своде в процессе возведения самой кладки. Обычно лонгарины во избежание подвижек грунта не вынимаются, а оставляются за кладкой. Англичанами применяется также метод раскрытия тоннельного профиля на временном деревянном креплении при постоянном закреплении тубингами (рис. 19—23).

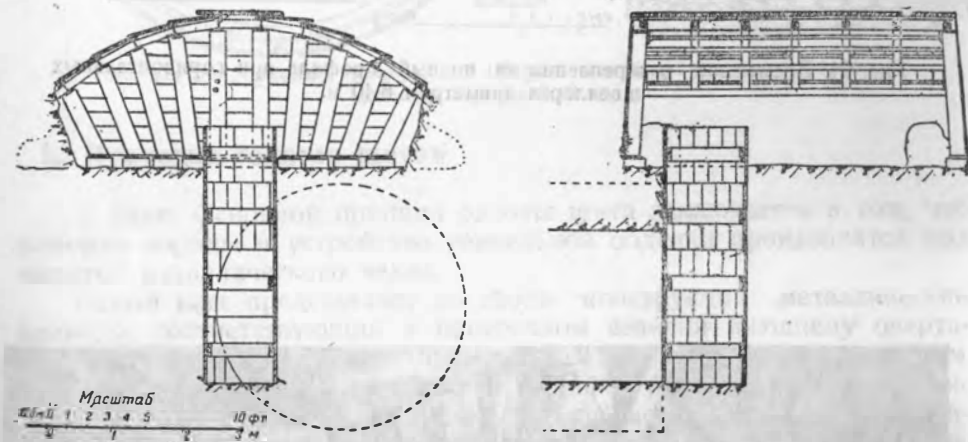


Рис. 20. Раскрытие калоттного профиля камеры для тоннеля диаметром 6,40 м.

Английская система применяется главным образом в мягких грунтах, не оказывающих усиленного давления на крепи и не требующих интенсивного водоотлива. В противном случае условия крепления значительно осложняются и возрастает опасность обвала.

После сооружения тоннельной камеры приступают к монтажу самого щита из отдельных элементов его (рис. 24).

Количество щитов, требуемых для прокладки определенных участков тоннелей, назначается в зависимости от необходимых темпов работ. Подземные станции, состоящие из двух параллельных тоннелей, проходятся обычно одним станционным щитом с запасной оболочкой.

Щитовая проходка никогда не ведется в двух параллельных тоннелях в одном сечении. Работа со вторым щитом начинается лишь тогда, когда щит первого тоннеля удален от камеры на расстояние около 30 м.

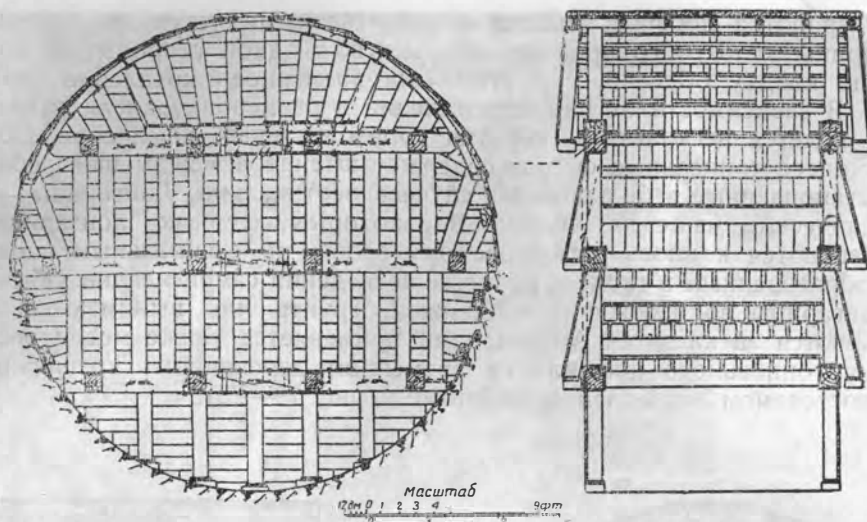


Рис. 21. Временное раскрепление на полный профиль при горизонтальных швеллерах диаметром 6,40 м.

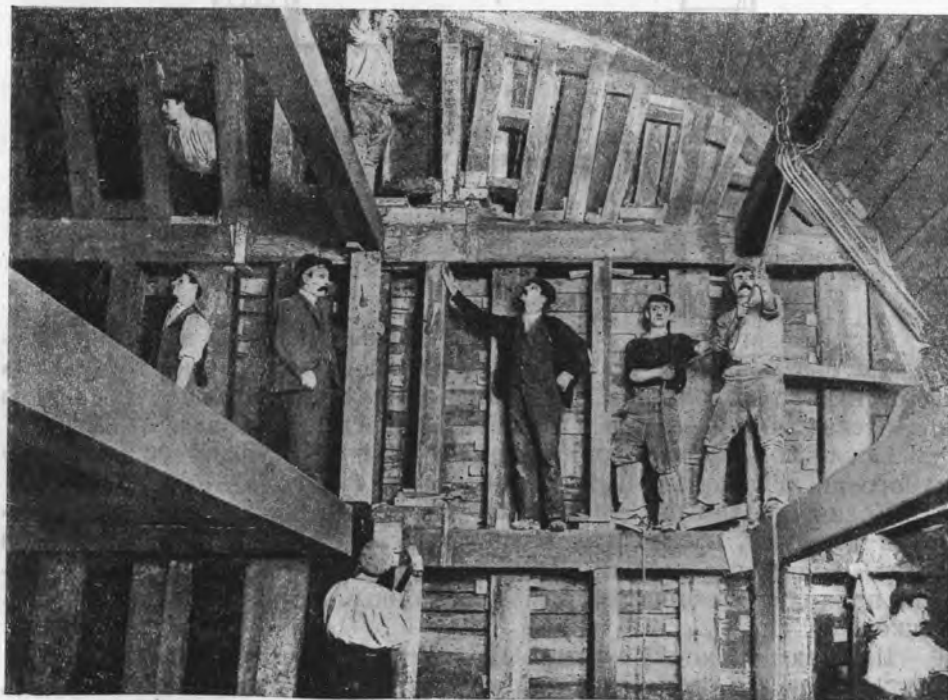


Рис. 22. Крепление лба забоя в камере для сборки щита.

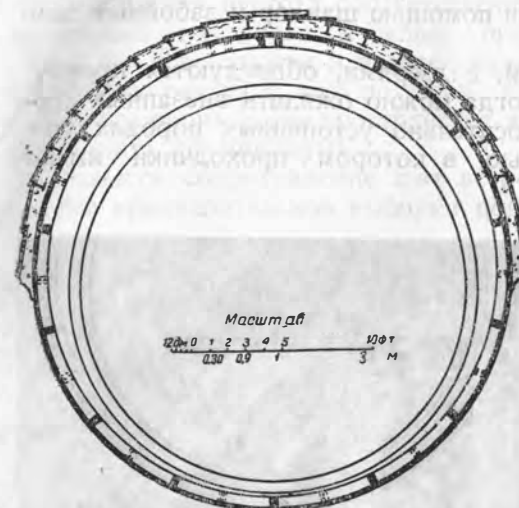
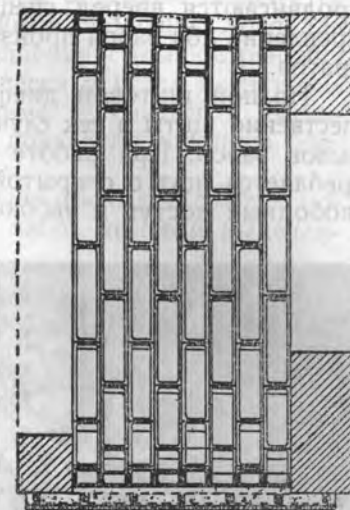


Рис. 23. Закрепление камеры для сборки щита чугунными тубингами диаметр камеры 6,40 м.



Б. Проходка тоннеля щитом

1. **Щит.** Основной принцип работы щита заключается в том, что выборка породы и устройство тоннельной обделки производятся под защитой металлического чехла.

Самый щит представляет по своей конструкции металлический цилиндр, соответствующий в поперечном сечении внешнему очертанию сооружаемого тоннеля. Впереди этот цилиндр снабжен режущим краем, образующим в верхней части аванбек, размеры которого зависят от физико-механических свойств пересекаемых грунтов. Под действием гидравлических домкратов, размещенных по периметру щита, в хвосте его, щит врезается в грунт на ход поршня домкратов. До продвижения щита в зависимости от характера пересекаемых пород, предварительно производится выборка породы на ширину сегмента тоннельной облицовки, назначаемую в соответствии с ходом поршня домкрата. Поступательное движение сообщается щиту при упоре поддонов домкратов в возведенное кольцо тоннельной обделки. Затем плунжеры домкратов втягиваются обратно в цилиндры, благодаря чему в хвостовой части щита представляется возможность укладывать сегменты нового кольца тоннельной обделки.

Щит разделяется системой горизонтальных и вертикальных диафрагм и переборок. Диафрагмы сообщают щиту конструктивную жесткость, необходимую для преодоления давления породы и для сопротивления деформациям, возникающим в щите в процессе его продвижения.

Диафрагмы в зависимости от назначения щита и условий его работы устраиваются открытыми или закрытыми с системой окон и дверей. В последнем случае возможно кессонирование самого щита и шлюзование через диафрагмы щита людей и материалов.

Атака забоя ведется через рабочие ячейки, образованные переборками в сочетании с горизонтальными выдвижными платформами. В зависимости от местных условий работа производится с платформ одновременно в одном или нескольких ярусах. Рабочие платформы

продвигаются вперед специальными платформенными домкратами. Крепление лба забоя производится помощью шандор и забойных домкратов.

Полной щитовой диафрагмой, с дверями, оборудуются преимущественно щиты в тех случаях, когда можно ожидать внезапных прорывов забоя. При работе в относительно устойчивых породах употребляется щит с открытой грудью, в котором проходчики имеют свободный доступ к забою.

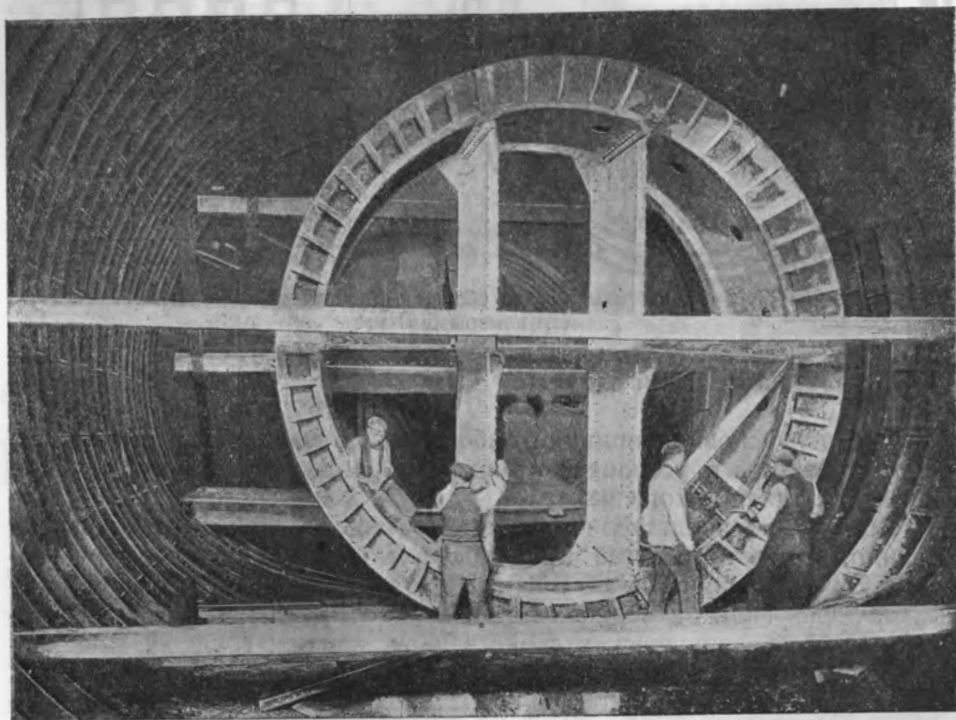


Рис. 24. Монтаж конструкции перегонного щита в закрепленной тубингами щитовой камере.

Мощность ходовых гидравлических домкратов щита рассчитывается, исходя из соображений преодоления следующих основных сопротивлений:

- 1) трения внешней поверхности оболочки щита и аванбека о грунт,
- 2) трения внутренней поверхности хвостовой части оболочки о внешнюю поверхность выложенной обделки,
- 3) местного сопротивления породы в лобовой части у режущего края.

С целью уменьшения величины трения оболочки последняя устраивается из листов, скрепляемых между собой «в потай».

В новейших конструкциях щита стремятся к сведению толщины оболочки щита к минимуму.

Это требование ставится главным образом при проходке городских тоннелей, где вопросу недопущения осадок поверхности придается совершенно исключительное значение. Дело в том, что при прод-

вижении щита вперед за выложенной несущей обделкой образуется кольцеобразная пустота соответственно толщине оболочки. Хотя для заполнения этих пустот с целью предотвращения распространения осадок до поверхности и ведется вдувание песка и вслед нагнетание цементного раствора, тем не менее, необходимо стремиться к уменьшению величины этого пространства за счет доведения толщины оболочки щита до минимума.

Большое сопротивление щит встречает при проходке слабых пород без предварительной выборки породы в забое методом выдавли-



Рис. 25. Работы по разбивке оси тоннеля. Освещение прожекторами.

вания через диафрагму «вслепую». Бывают и случаи обратного порядка, когда грунт стремительно плывет в забой. Обычно в устойчивых породах выборка внутреннего ядра забоя производится на глубину хода поршня ручным или механическим (с применением специального типа забойных экскаваторов) путем; остающаяся же часть породы по периметру срезается краем щита под давлением домкратов.

Пестрота природных условий напластований не дает возможности теоретически определить требуемую мощность домкратов.

Как видно из таблицы на стр. 32 при проходке щита в Лондоне выявлено максимальное гидравлическое давление порядка 430 кг/см^2 . Нормальное давление на основании английского щитового опыта принимается в 240 кг/см^2 .

Первый советский щит имеет 24 домкрата давлением по $56,75$ тонн каждый, общей мощностью в 1362 тонны.



Рис. 26. Лоб забоя в лондонской глине, при работе пневматическими лопатами под защитой щита Гредхэда.

Обычно гидравлические домкраты располагаются, как мы уже указывали, равномерно по периметру щита. Но в специальных условиях, когда щит проявляет усиленную тенденцию «клевать» аванбеком, домкраты ниже горизонтального диаметра щита размещаются чаще.

Таблица размеров домкратов щитов

Наименование тоннеля (А н г л и я)	Внешний диаметр м	Количе- ство дом- кратов	Диаметр домкрата см.	Давление кг/см ² .	Давление на весь круг об- делки (тонны)
1. Лонд онская центральная линия . .	3,86	6	17,8	113	185
2. Гринвичский	3,96	13	17,8	240	850
3. Бекерлу	3,96	14	15,2	170	475
4. Мерсей	3,12	10	17,8	280	770
5. Блэкуэлл	8,43	28/6	20,3/25,4	430	5 785
6. Ротерхайг	9,35	40	22,9	422	6 700

В зависимости от трассы линий щиту приходится вписываться в кривые, давать требуемые уклоны, подъемы. В этих случаях надлежит включать в работу и регулировать ту или иную группу домкратов, направляя тем самым щит по требуемой траектории.

Эти работы надо вести с исключительной тщательностью и умением, ибо неравномерное давление домкратов, упирающихся в выложенную обделку, может вызвать повреждения отдельных элементов последней, а замена поврежденного сегмента или блока приводит к значительной задержке работ.

Установка сегментов в хвосте щита производится специальной механической лапой с захватывающим приспособлением, так называемым эректором. Последний обычно прикрепляется непосредственно к диафрагме щита и в состоянии вращать сегменты обделки по попе-

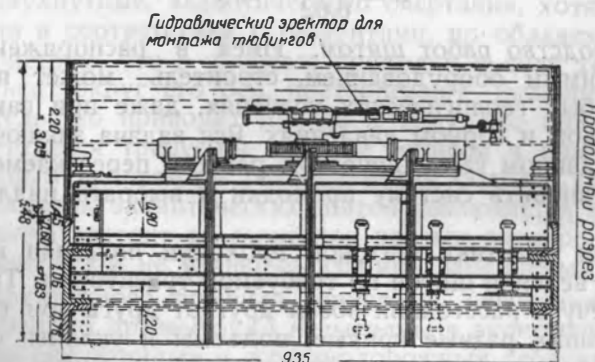
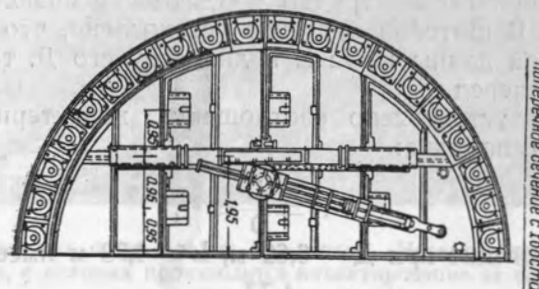
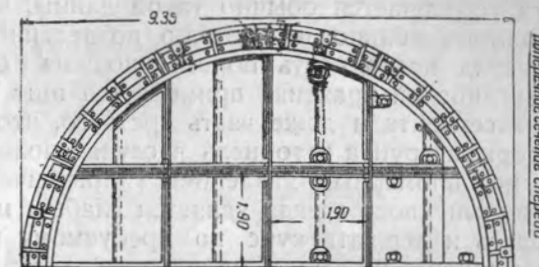


Рис. 27. Сечения стационарного щита диаметром 9,35 м, оснащенного двумя эректорами для монтажа обделки.

речному сечению тоннеля на 360°, а также сообщать им поступательное движение в радиальном направлении. При этом сам эректор имеет необходимую степень свободы поворота вокруг места прикрепления на случай неправильного положения при продвижке щита. Иногда эректор располагается на специальной платформе. В этом случае он приобретает третью степень свободы на значительном протяжении, благодаря чему при перемещении вдоль оси тоннеля блоки захватываются из требуемой точки. В целях форсирования укладки тоннельной облицовки в зависимости от величины поперечного сечения тон-

неля к щиту прикрепляются иногда два эректора, причем каждый из них обслуживает независимо свою полуокружность. Эректоры подвешиваются к щиту эксцентрично, с таким расчетом, чтобы была обеспечена независимость их работы, по радиусам действия.

Станционные щиты снабжены двумя эректорами гидравлического действия. Домкраты их располагаются вертикально или горизонтально (рис. 28).

На укладку сегмента тратится 4 минуты, монтаж кольца при диаметре, равном 9,14 м, производится нормально в полчаса.

Хвост щита устраивается обычно такой длины, чтобы полностью оградить возводимое кольцо и частично возведенное. При продвижении щита вперед поверхность породы должна быть полностью перекрыта. В английской практике применяется щит с хвостом, перекрывающим два сегмента и даже часть третьего, что гарантирует от возможного прорыва грунта в тоннель в случае поломки возведенного кольца под неравномерным давлением гидравлических прессов.

Однако длинный хвост всегда является слабым местом щита, так как маневрировать и держать курс по требуемому направлению гораздо труднее с щитом, имеющим удлиненный хвост. Изгиб и повреждение оболочки весьма трудно поддаются исправлению в тоннельных условиях. В щитовой практике установлено, что чем меньше отношение полной длины щита L к диаметру его D , тем успешнее его продвижение вперед.

Практикой установлено соотношение, характеризующее маневренность щита, порядка:

$$K = \frac{L}{D} = 3/4$$

Московский щит при $D = 6,62$ м, $L = 4,73$ м имеет отношение:

$$K = \frac{4,73}{6,62} = 0,71$$

2. Производство работ щитом. Имея в распоряжении щит со всем необходимым оборудованием, строитель может прокладывать тоннели в любых геологических условиях, даже при самом сильном гидростатическом и горном давлениях. Вся задача заключается в том, чтобы при заданном геотехническом режиме пересекаемого массива правильно установить систему проходки и выбрать надлежащий тип щита.

Английская практика щитовой проходки показала исключительное искусство ведения щитов по требуемой траектории. Так при пуске щитов навстречу в расстоянии 900 м друг от друга при трассе и профиле, содержащих разные кривые, подъемы и уклоны, смычка щитов осуществлена при расхождении центров сечений на величину менее 30 мм.

Столетняя практика щитовой проходки обогатила тоннельную технику, существенно отличающимися друг от друга следующими конструкциями щита: щит замкнутого контура, круглый, эллиптический и других очертаний; щит с открытой грудью; кессонированный щит; щит с постоянным и выдвижным аванбеком; неразрывно связанная система щитов и экскаваторов турбинного типа; полущит замкнутого контура и т. д.

Решающее влияние на выбор системы щита оказывают геотехнические условия грунтового массива, а также размеры поперечного сечения самого тоннеля.

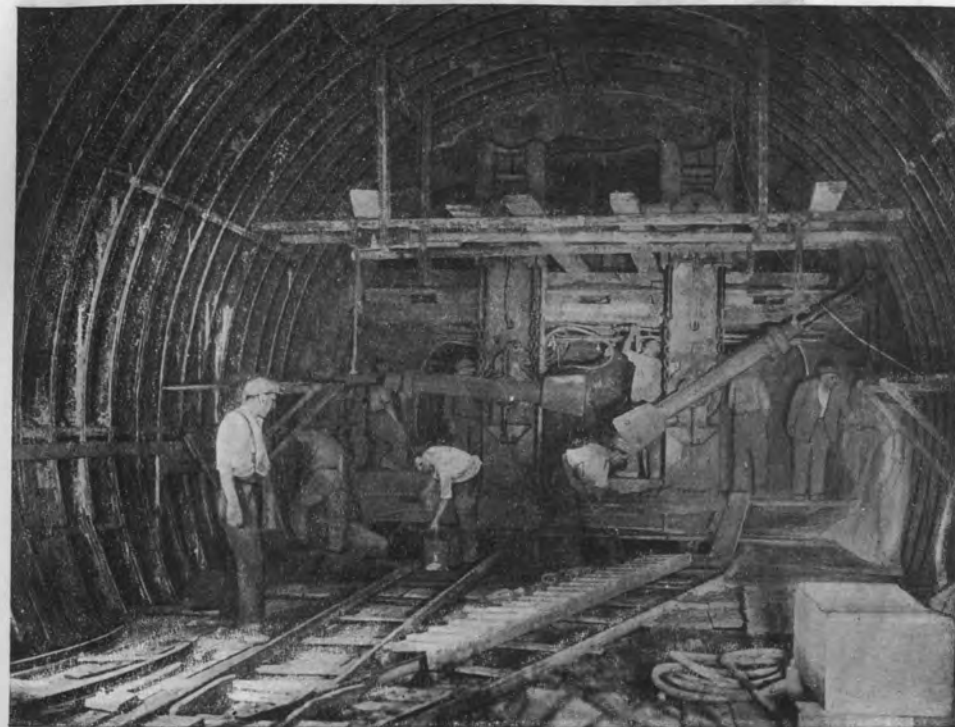


Рис. 28. Вид станционного щита с двумя эректорами. Наверху временные подвесные подмости, с которых производится инъектирование за обделку.

Щиты двухпутные, эллиптического очертания, хотя и имеют площадь сечения в соответствии с габаритами, но обладают тем отрицательным свойством, что в процессе проходки в силу тенденций щита поворачиваться вокруг его оси, претерпевают большие деформации. Это обстоятельство приводит иногда к тому, что при проходке щитом не достигается требуемое сечение тоннеля и приходится прибегать к сложным работам по реконструкции обделки. Другой существенный недостаток эллиптических щитов заключается в том, что тоннельная обделка состоит из сегментов разных размеров и очертаний, причем сегменты эти не являются взаимно заменяемыми.

Щиты двухпутного профиля круглого очертания хотя и являются удобными, но чрезвычайно невыгодны в экономическом отношении. При метрополитенных и железнодорожных габаритах получается излишняя выемка породы и излишние размеры облицовки. Большие круглые щиты выгодно применять при подводном тоннелировании для автомобильных дорог, когда нижние и верхние сегменты мертвой части профиля используются для целей вентиляции. Наиболее правильным решением являются щиты однопутные, круглые — тьюбы, замкнутого контура.

Полущиты незамкнутого контура применяются в двух случаях: при продвижении полущита по крепкой породе или при перемещении его по стенкам, выложенным в штольнях по германской системе. Однако полущитовая проходка связана обыкновенно с деформациями.

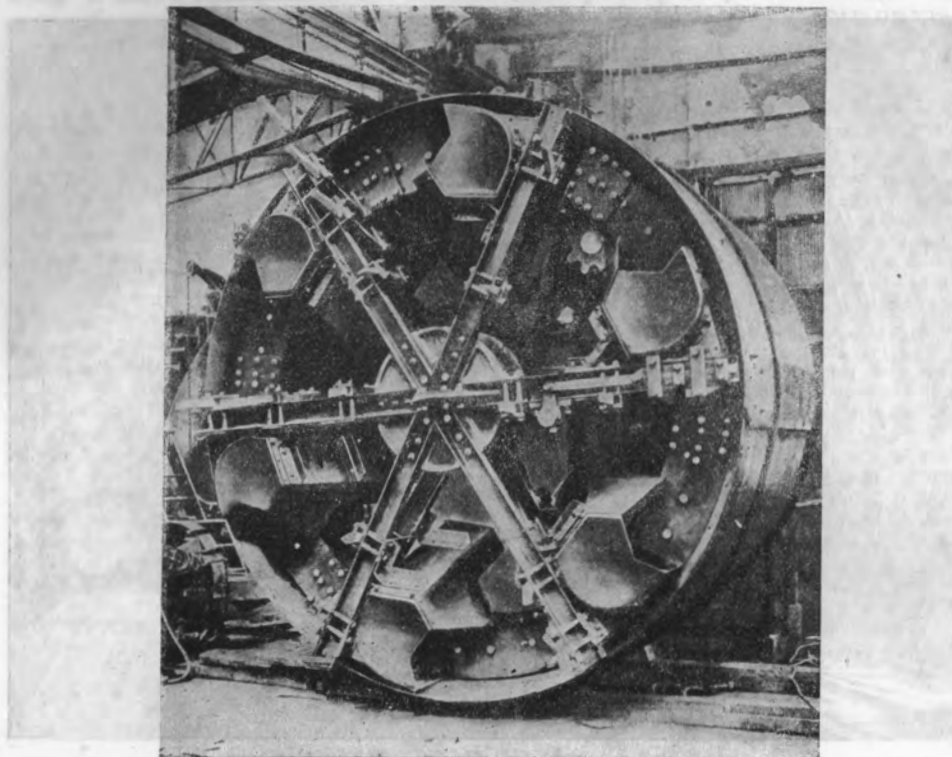


Рис. 29. Общий вид со стороны забоя тоннельного экскаватора турбинного типа системы Прейса для проходки однопутных тубов.

В наших условиях мы рекомендуем установку на щиты с открытой грудью, замкнутого круглого контура, причем в случае необходимости щит должен быть кессонирован специальными шлюзовыми диафрагмами раздельного типа при ступенчатой системе давления сжатого воздуха.

Наиболее неблагоприятным представляется пересечение щитом скалистых пород.

Вести проходку в скале помощью щита технически и экономически нецелесообразно. Но на такую проходку может вынудить природный характер напластований пород. Пересекая слои разнородных образований, можно натолкнуться на скалистый участок, который необходимо пройти с тем, чтобы снова врезаться в слабый грунт. В этом случае атака забоя производится через штольню, при расширении профиля обычными тоннельными приемами, в зависимости от коэффициента крепости породы, пневматическими инструментами или взрывными методами. В последнем случае надо обращать особое внимание на то, чтобы разлетающиеся во время взрыва куски породы не повреждали корпуса щита.

В нижней части разработанного профиля укладывается бетонная подушка толщиной около 10—15 см, в которую втапливаются 2—3 рельса, служащие направляющими для продвижения щита вперед на ход поршня.

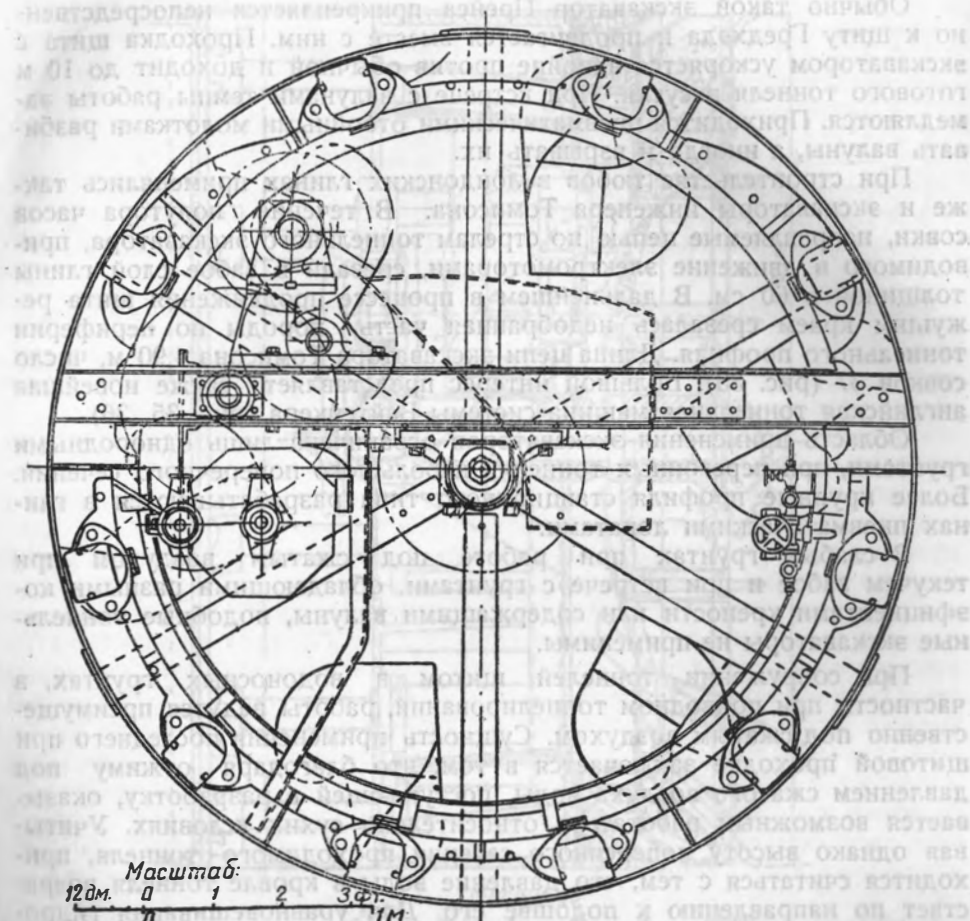


Рис. 30. Поперечное сечение механического турбоэкскаватора системы „Прейса“.

При проходке щитом глинистых пород в условиях Лондонского Эндерграунда работы производятся следующим способом:

На величину хода поршня вынимается центральная часть поперечного сечения туба, а режущий край снимает оставшуюся по периферии породу в процессе продвижения щита.

В практике применяется и такой метод: в забое производится выборка породы центрального ядра размерами $1\frac{1}{2} \times 2$ м. Затем по периметру щита загоняются 10-сантиметровые кольца, заведенные в лунки породы и упирающиеся в корпус щита. При пуске в ход щитовых домкратов кольца врезаются в глину и отколотые куски породы падают на специально выдвинутые рабочие платформы щита.

При прокладке лондонских тубов в глине применяется также и механическая разработка забоя с помощью специальных турбинных экскаваторов Прейса с моторами в 50 HP. Экскаваторы эти звездообразного типа имеют по периферии ряд совков, которые, вращаясь по стрелкам вокруг центральной оси туба, трут лоб забоя и направляют породу через желоб на транспортер, в вагонетки подземной откатки, размещаемые в расстоянии 15 м от забоя. Нормально турбинный экскаватор совершает в работе около четырех оборотов в минуту (рис. 29—32).

Обычно такой экскаватор Прейса прикрепляется непосредственно к щиту Гредхэда и продвигается вместе с ним. Проходка щита с экскаватором ускоряется вдвойне против обычной и достигает до 10 м готового тоннеля в сутки. При встрече с валунами темпы работы замедляются. Приходится пневматическими отбойными молотками разбивать валуны, а иногда и взрывать их.

При строительстве туннелей в лондонских глинах применялись также и экскаваторы инженера Томпсона. В течение полутора часов совки, направляемые цепью по стрелам тоннельного экскаватора, приводимого в движение электромоторами, срезали в забое слой глины толщиной в 60 см. В дальнейшем в процессе продвижения щита режущим краем срезалась недобранная часть породы по периферии тоннельного профиля. Длина цепи экскаватора Томпсона 4,90 м, число совков 37 (рис. 33). Большой интерес представляет также новейшая английская тоннельная машина системы Вайтейкера (рис. 35, 36).

Область применения экскаваторов ограничена лишь однородными грунтами, при перегонных туннелях небольшого поперечного сечения. Более крупные профили станционного типа разрабатываются в глинах пневматическими лопатами.

В слабых грунтах при работе под сжатым воздухом при текущем забое и при встрече с грунтами, обладающими разными коэффициентами крепости или содержащими валуны, подобные тоннельные экскаваторы не применимы.

При сооружении туннелей щитом в водоносных грунтах, в частности при подводном туннелировании, работы ведутся преимущественно под сжатым воздухом. Сущность применения последнего при щитовой проходке заключается в том, что благодаря отжиму под давлением сжатого воздуха воды, поступающей в разработку, оказывается возможным работать в относительно сухих условиях. Учитывая однако высоту поперечного сечения проходимого туннеля, приходится считаться с тем, что давление воды в кровле туннеля возрастает по направлению к подошве его. Для уравнивания гидростатического давления сжатым воздухом теоретически необходимо давление последнего изменить по закону треугольника. Практически однако это осуществить трудно. При балансировании сжатого воздуха по давлению воды в подошве получается избыточное давление воздуха в потолке и он приобретает тенденцию прорваться наружу. В этом случае неизбежно понижение давления воздуха в туннеле, прорыв воды в рабочие камеры и затопление работ. Ориентируя же давление сжатого воздуха по гидростатическому давлению в кровле, неизбежно интенсивное поступление воды снизу, при мокром, ползучем забое.

В английской практике проходки туннеля с пневматикой принято уравнивать давление сжатого воздуха по центральной осевой линии щита. В зависимости от гидрологических условий — повышение или понижают воздушное давление, идя на некоторое поступление воды снизу. В некоторых случаях давление балансируется на высоте одной трети диаметра туннеля, считая от его подошвы.

Лоб забоя при проходке щитом крепится системой шандор и забойных домкратов. Разработка производится с большой осторожностью и во избежание осадок грунт выбирается между отдельными шандорными досками. Когда опасаются большой утечки воздуха, например в водоносных песчаных грунтах, прибегают к глине, которой обволакивается головная часть щита в процессе его продвижения.

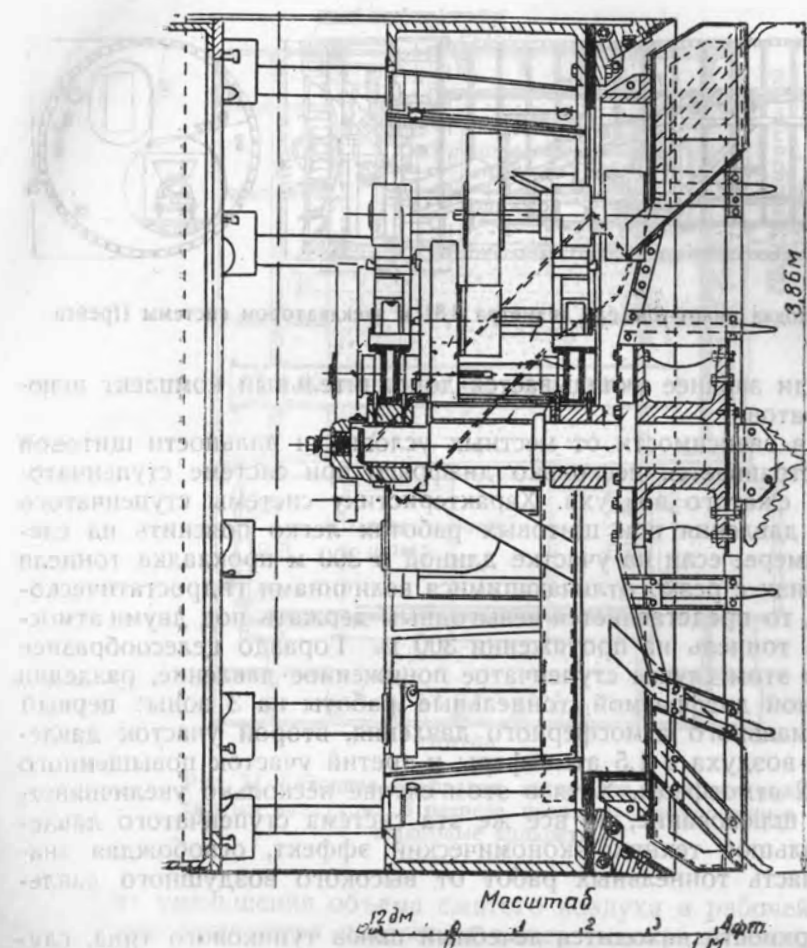


Рис 31. Продольный разрез тоннельного экскаватора Прейса по оси щита.

Иногда бурятся скважины, через которые производится глинизация или нагнетание известкового раствора с целью уменьшения текучести грунта и сообщения ему некоторой связности.

Рабочая часть туннеля с повышенным давлением отделяется от атмосферного давления специальными диафрагмами, в которые заделаны шлюзовые аппараты. Диафрагмы устраиваются из бетона, кирпича или металла, непосредственно в шахте или в туннеле. Для шлюзования материалов и породы предусматриваются материальные шлюзы, а для людей — людские шлюзы. Кроме того диафрагмы оборудуются спасательными шлюзами, которые используются в экстренных случаях: при авариях, затоплении туннеля и т. п., куда рабочие устремляются по ведущим спасательным мосткам (рис. 34).

Через диафрагму же пропускаются трубопроводы низкого и высокого воздушного давления, гидравлические трубопроводы для щитовых домкратов, осветительные и телефонные провода, кабели и т. п. При проходке щитом туннеля под сжатым воздухом, в зависимости от его сечения и геотехнических условий, через каждые 150—300 м диафрагмы приходится перемещать вперед. Во избежание остановки

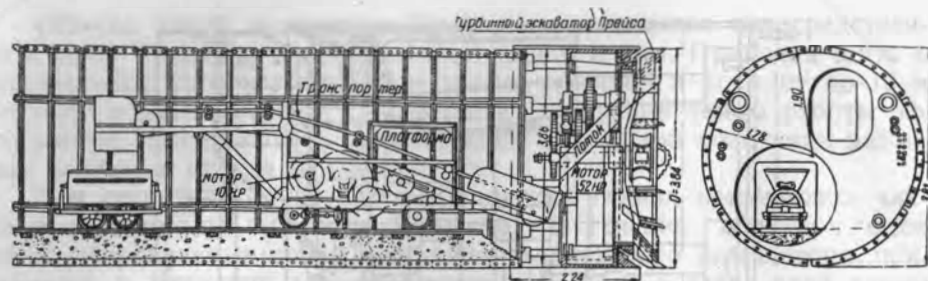


Рис. 32. Проходка пилот-тоннеля диаметром 3,81 м экскаватором системы Прейсса.

работ впереди заранее укладывается дополнительный комплект шлюзовых аппаратов.

Иногда в зависимости от местных условий и дальности щитовой проходки устраивается несколько диафрагм при системе ступенчатого давления сжатого воздуха. Характеристику системы ступенчатого воздушного давления при щитовых работах легко пояснить на следующем примере: если на участке длиной в 300 м прокладка тоннеля ведется в зонах с резко отличающимися величинами гидростатического давления, то представляется невыгодным держать под двумя атмосферами весь тоннель на протяжении 300 м. Гораздо целесообразнее применить в этом случае ступенчатое пониженное давление, разделив промежуточной диафрагмой тоннельные работы на 3 зоны: первый участок нормального атмосферного давления, второй участок давления сжатого воздуха в 1,5 атмосферы и третий участок повышенного давления в 2 атмосферы. Хотя в этом случае несколько увеличивается время на шлюзование, но все же эта система ступенчатого давления дает большой технико-экономический эффект, освобождая значительную часть тоннельных работ от высокого воздушного давления.

На поверхности находится лечебный шлюз тупикового типа, служащий для помещения в нем людей, заболевших кессонной болезнью.

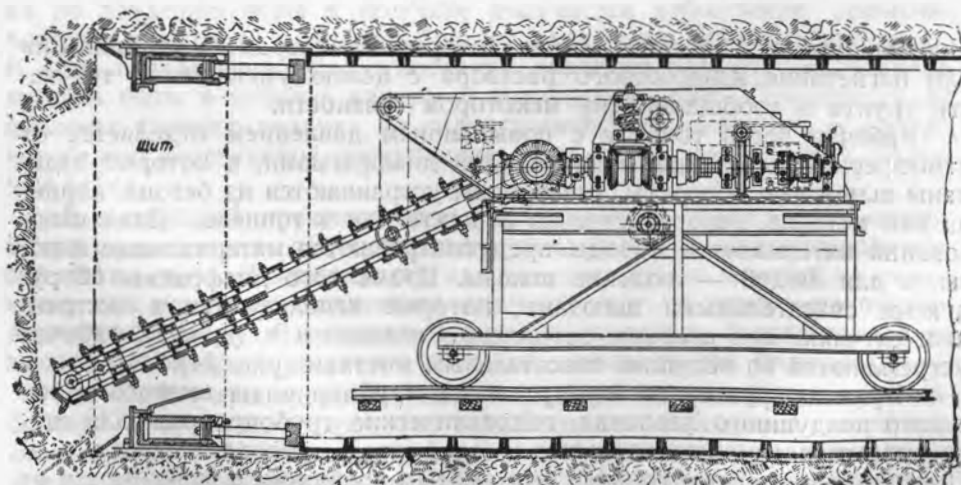


Рис. 33. Сооружение однопутного тунеля щитом в лондонской глине, при работе тоннельного экскаватора системы Томпсона.

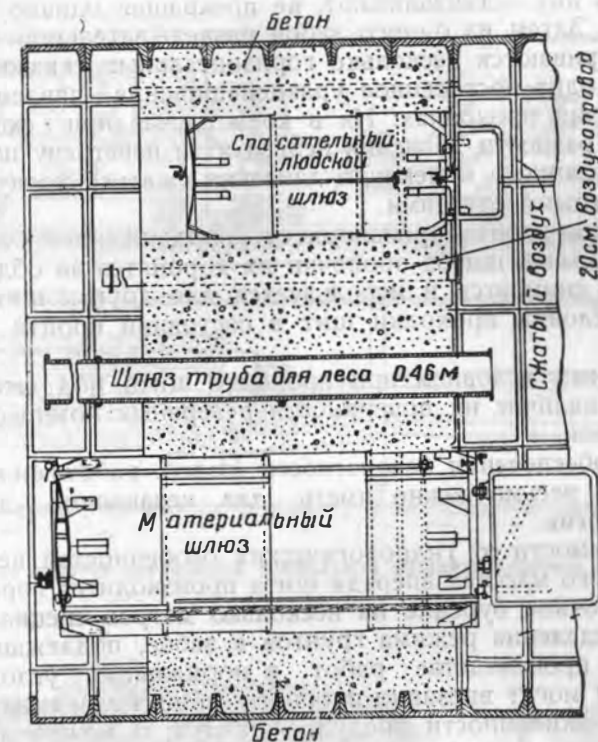


Рис. 34. Бетонная диафрагма щита для проходки под сжатым воздухом. В разрезе показаны замурованные шлюзовые аппараты.

Опыт уменьшения объема сжатого воздуха в рабочей части тоннеля путем устройства шлюзовых камер непосредственно в теле самого щита, как это применялось в Блэкуэльском щите кессонированного типа, работавшем в 1892 г., не получил в дальнейшем развития в силу следующих, осложняющих работу обстоятельств:

1. Ограниченность и скученность забойного фронта щитовых работ.
2. Опасность, угрожающая работающим в забое, при внезапном прорыве воды или грунта.
3. Замедленность процесса удаления породы и снижение темпов продвижения щита вперед.
4. Значительный собственный вес щита, требующий для своего продвижения увеличенной мощности гидравлических домкратов и силовых установок.
5. Необходимость идти тяжелым кессонированным щитом через те участки, где работы могут производиться при поддержке нормального водоотлива, легким щитом.

Наоборот щит с открытой грудью в сочетании с отдельными шлюзовыми диафрагмами представляет гибкую систему, с которой можно проходить массивы с отличающимися геотехническими свойствами однако лишь до величины воздушных давлений, не лимитирующих нормальную работу человека.

Смычка щитов в водоносных грунтах производится следующим образом: когда щиты сойдутся на взаимное расстояние от 8,00 м до

10 м, один из них останавливают, не прекращая однако подачи сжатого воздуха. Затем из одного забоя разведывательной штольни в другой пробуриваются несколько горизонтальных скважин, через которые происходит постепенное уравнивание давления сжатого воздуха в обоих проходках. Ни в коем случае при сколько-нибудь значительной разности давления нельзя идти навстречу штольнями во избежание внезапного изменения давления сжатого воздуха, что связано с несчастными случаями.

Дальнейшая работа производится продвижением лишь одного щита. После смычки щитов оболочки их хоронятся за обделкой, а все оборудование снимается и используется для других щитов. В зависимости от условий проходки щит в состоянии пройти до двух км тоннеля.

Непременным условием при проходке щита под сжатым воздухом является наличие на поверхности резервных компрессоров и силовых установок.

В целях обеспечения безопасности людей, работающих под сжатым воздухом, весьма важно иметь два, независимо действующих источника энергии.

Вне зависимости от гидрологических особенностей пересекаемого щитом земляного массива впереди щита производится горизонтальное рекогносцировочное бурение на несколько метров специальными бурами для определения режима грунтов в забое, подлежащего выборке. Часто при производстве работ в нормальных условиях водонесные грунты могут внезапно прорвать забой. Разведывательным бурением эти неожиданности предупреждаются, и можно заранее принять все необходимые технические меры предосторожности.

При работе под сжатым воздухом рекогносцировочное бурение еще важнее, поскольку оно может нам заранее сигнализировать о возможном прорыве сжатого воздуха, а с последним обстоятельством неизбежно связано понижение давления в тоннеле, прорыв воды и вызванное им затопление тоннельных работ. Особым родом тоннельных работ, требующим специального подхода, является проходка щитом в разнородных грунтах с резко отличающимися коэффициентами крепости.

При производстве щитовых работ необходимо следующее основное оборудование:

1. Компрессорные установки низкого давления до 3 атмосфер.
2. Компрессорные установки высокого давления до 9 атмосфер.
3. Гидравлическая установка.
4. Шлюзовые диафрагмы и аппаратура.
5. Рабочие платформы с приспособлениями для нагнетания за обделку.
6. Телефон и освещение.
7. Спасательный экран.

Последний является необходимым при производстве щитовых работ по сооружению подводных тоннелей, а равно там, где ожидаются внезапные прорывы воздуха. Экран, состоящий из металлических листов, толщиной в 6 мм, располагается в верхней части сечения тоннеля.

При подъеме воды в тоннеле образуется вроде воздушного запора, не позволяющего заливать место у спасательных шлюзов. Экран перемещается в соответствии с продвижением щита, выдерживая расстояние около 30 м.

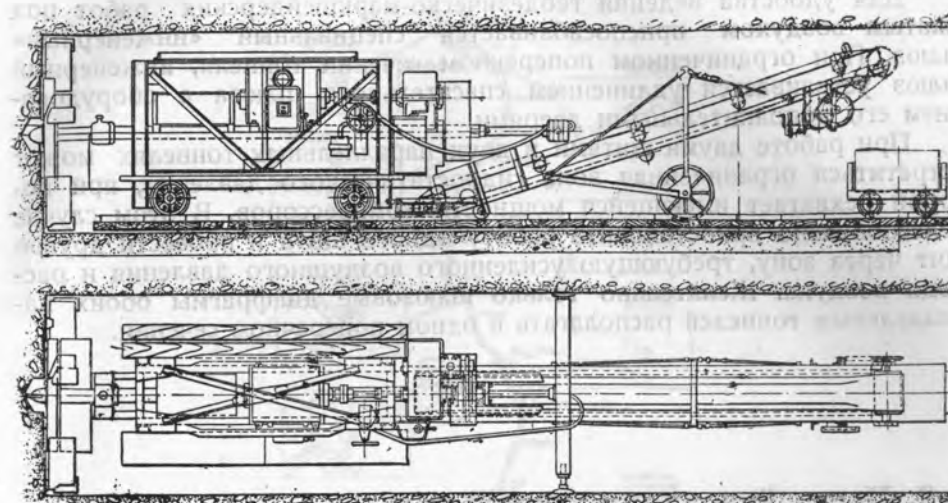


Рис. 35. Работа в забое английской тоннельной машины системы Вайтекера.



Рис. 36. Новейшая английская тоннельная машина для разработки тоннелей системы Вайтекера. Общий вид.

При прокладке подводных тоннелей приходится учитывать колебания горизонта воды в реке, так как оно влияет на регулирование воздушного и гидростатического давлений. Диапазон колебаний при проходке под р. Темзой был около 3,5 м.

Устройство полных экранов непосредственно в щитах не нашло еще до сих пор окончательного решения. Применяемые в практике типы дверей, открытых в процессе работ по экскавации грунта, не обеспечивают требуемого плотного прикрытия в период прорыва.

При большой воздухопроницаемости пересекаемого грунта применяется штукатурка поверхностей по сетке известковым или цементным раствором. Хорошие результаты дает в этом случае и запрессовка глины у аванбека щита.

При работе под сжатым воздухом категорически запрещается применение сена, соломы, пакли и др. легко воспламеняющихся материалов. От малейшей искры неизбежны катастрофы и пожары.

Для удобства ведения геодезическо-маркшейдерских работ под сжатым воздухом приспособляется специальный «инженерный» шлюз. При ограниченном поперечном сечении тоннеля, инженерный шлюз устраивается удлинением спасательного шлюза с оборудованием его дополнительных дверями.

При работе двумя щитами в двух параллельных тоннелях может встретиться ограниченная зона гидростатического давления, при которой нехватает имеющейся мощности компрессоров. В этом случае целесообразно приостановить работу одного щита и провести другой щит через зону, требующую усиленного воздушного давления и расхода воздуха. Желательно только шлюзовые диафрагмы обоих параллельных тоннелей располагать в одном поперечном сечении.

§ 3. Постройка линии „Финсбюри-Парк—Кокфостер“

Наиболее интересными тоннельными работами в Лондоне в последнее время являлись работы по постройке линии «Финсбюри-Парк—Кокфостер», где сконцентрировался весь опыт англичан.

Участок этот протяжением около 12 км представляет собой продолжение линии «Пикадилли» Лондонского Эндерграунда. От станции «Финсбюри» до Арнос Гров тоннели заложены на глубину 20—30 м; далее же за пределами города до конечной станции Кокфостер участок проходит в открытой выемке.

От станции Финсбюри Парк через станции Манор Хауз, Торн-пик Лайн, Вуд Грин, Бондс Грин линия трассирована при отдельных однопутных тубах на протяжении около 6,10 км. Далее она выходит на поверхность к надземной станции Арнос Гров и, идя на протяжении 1,8 км. по поверхности, снова через портал, врезается тоннелем к подземной станции Саузгейт. Длина второго тоннельного участка 1,0 км. Остальной открытый участок длиной в 3,0 км. идет через надземную станцию Энфильд Вест, к конечной станции. Из 8 станций 5 станций глубокого заложения и 3 на открытых участках.

Тоннельные станции Манор Хауз и Торнпик Лайн, где предусматриваются пересадки пассажиров на другие виды транспорта без пересечения улиц, оборудованы подземными вестибюлями; отметка первой ступени эскалатора на 4,57 м ниже поверхности мостовой. Тоннельные станции Вуд Грин, Бондс Грин и Саузгейт оборудованы надземными вестибюлями, причем эскалаторы идут от поверхности мостовой непосредственно к платформам станций.

Подземные станции состоят из двух тубов диаметром 7,07 м. Обычный диаметр станционных тоннелей 6,46 м при длине платформ 117 м (рис. 44).

В плане один из станционных тубов трассирован по прямой, другой — в конце платформы проложен по кривой для сближения тоннелей на перегоне.

Между станционными тоннелями входит до уровня платформы эскалатор с распределительной камерой по два отверстия с каждой

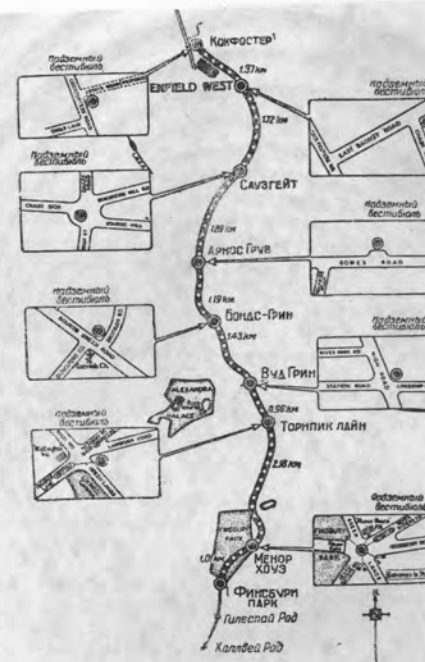


Рис. 37. Трасса последней линии Лондонского Эндерграунда „Финсбюри-Парк Кокфостер“, с показанием расположения подземных и надземных станционных вестигблей.

стороны, шириной по 2,74 м. В конце станций имеется тоннельный коридор, соединяющий обе платформы (рис. 49).

Открытый участок сооружен с таким расчетом, чтобы при застройке полосы, прилегающей к трассе, выемку можно было перекрыть и метрополитен пустить в крытой траншее, имея сверху мостовую.

Открытый участок в отношении методов производства работ ничем не отличается от обычной железнодорожной выемки, а потому этот вопрос, не представляющий особого интереса, здесь не рассматривается.

Перегонные тоннели, в основном однопутные, сооружены в виде круглых чугунных тубов, которые при минимальном радиусе закругления около 400 м, имеют в диаметре 3,66 м. Имеются также участки тубов диаметром 3,57 м. На порталных участках на протяжении 15,00 м тоннели имеют диаметр 4,88 м с целью уменьшения вынужденных движений от поездов (рис. 43).

Производство работ по сооружению тоннелей и станций на участке Финсбюри-Парк—Арнос Гров было осуществлено помощью щитовой проходки.

Тоннели в основном пересекали лондонскую пластичную глину и только в некоторых местах наблюдались выклинивания ее.

Фронт работ был открыт из 9 шахт, откуда через подходные штольны были раскрыты камеры для сборки станционных и перегон-

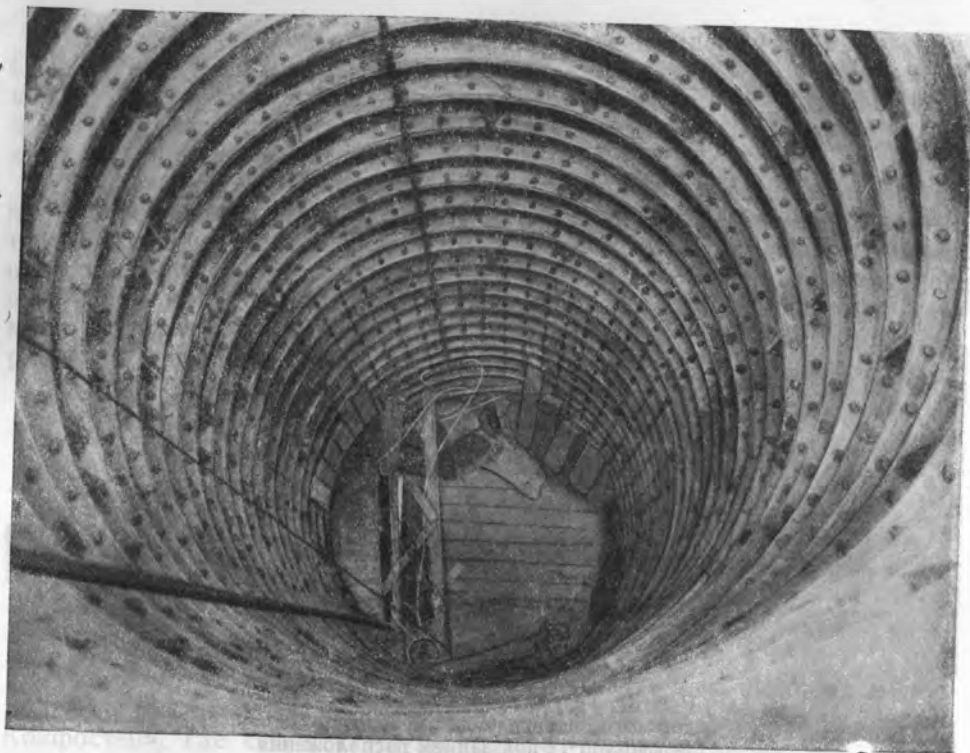


Рис. 38. Вертикальная шахта с закрепленным тубингами стволом диаметром 3,6 м, на постройке последней линии Лондонского Эндерграунда.

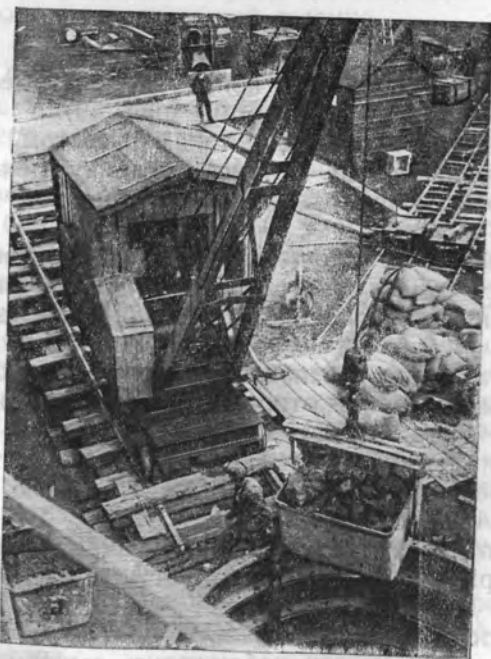


Рис. 39. Выемка глины из шахты помощью крана, установленного у устья.



Рис. 40. Оборудование поверхности шахты.

ных щитов. В период максимального развития работ действовали 22 щита. Из них:

3 станционных щита диаметром	7,07 м
1 станционный щит диаметром	6,46 "
2 щита для перегонных тоннелей диаметром	3,57 "
16 щитов для перегонных тоннелей диаметром	3,66 "

Всего . . . 22 щита.

Исключительно благоприятные геологические и гидрологические условия дали возможность осуществить постройку тоннелей без применения сжатого воздуха.

Работы были начаты в сентябре 1930 г. Через месяц были пройдены девять рабочих шахт и в конце декабря началась щитовая проходка тоннелей.

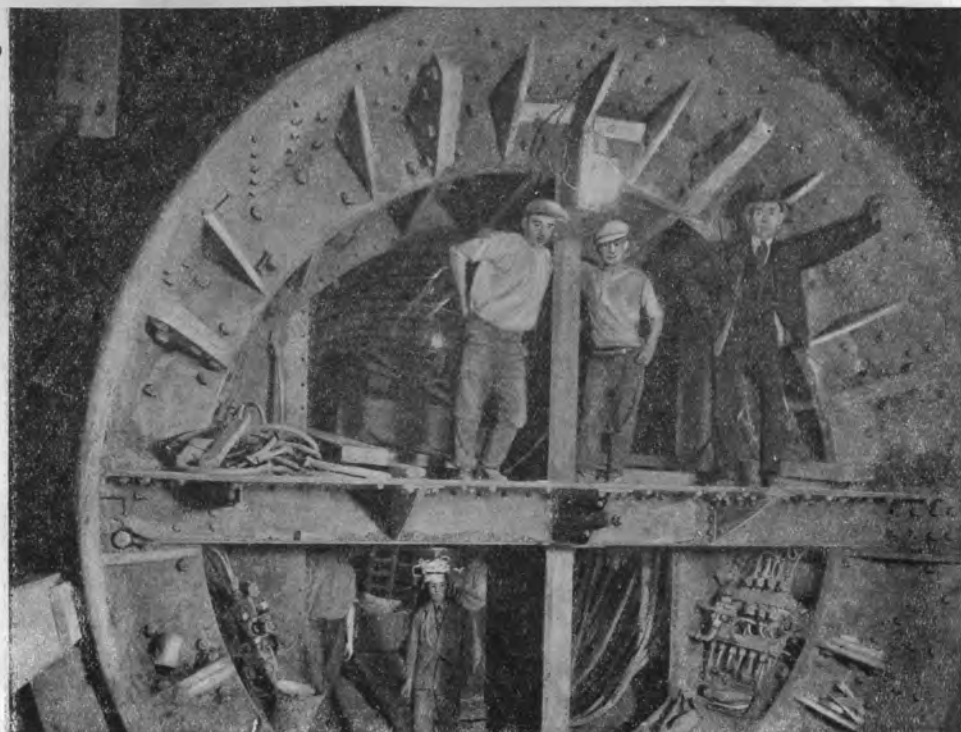


Рис 41. Вид со стороны аванбека щита для перегонного тоннеля, собранного в камере.

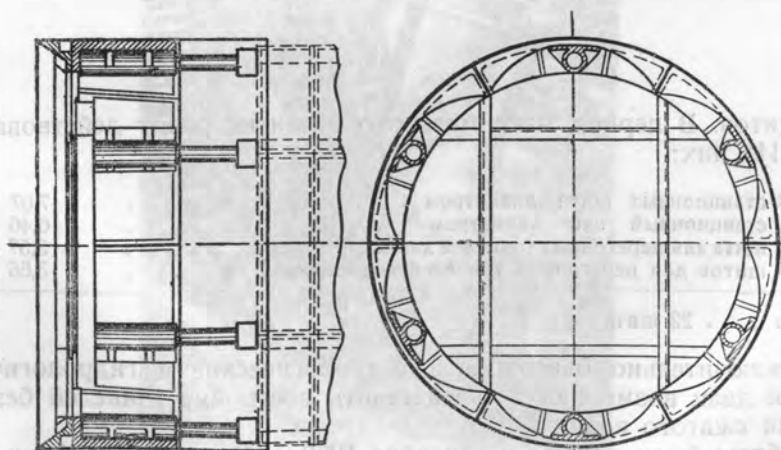


Рис. 42. Схема щита Гредхэда с открытой грудью для проходки однопутных туннелей

Перегонный щит диаметром 3,66 м имел оболочку из четырех сегментов толщиной в 6,4 мм и был оборудован десятью гидравлическими домкратами общей мощностью в 385 тонн.

Станционный щит имел толщину оболочки 19 мм и был оборудован 22 домкратами общей мощностью в 847 тонн. Малая мощность гидравлических домкратов является характерной для английских щитов, предназначенных для проходки в глине.

Каждая подземная станция, состоящая из двух отдельных тоннелей, сооружалась помощью одного щита с запасной оболочкой. После проходки одного станционного тоннеля щит демонтировался. Оснадив затем запасную оболочку полным оборудованием, снятым

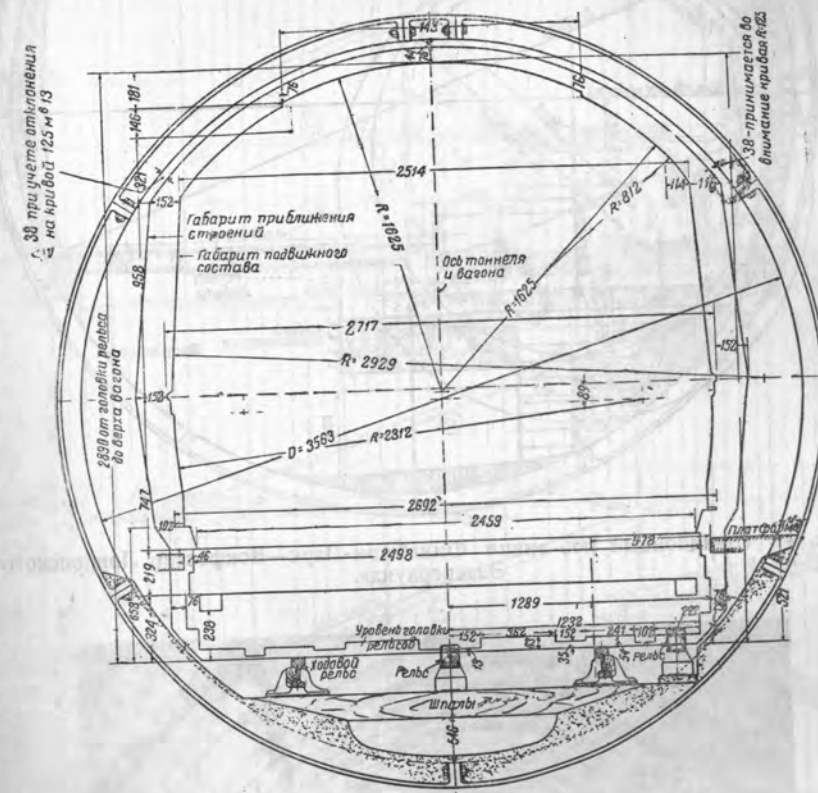


Рис. 43. Перегонный туннель из чугунных сегментов последней линии Лондонского Эндерграунда.

с первого щита, приступали к проходке второго параллельного станционного тоннеля.

Как видно из прилагаемого исполнительного графика работ (рис. 46), щиты 2, 3, 8 и 13, сооружавшие перегонные тоннели, перебрасывались для использования на другие участки проходки. Тоннельные участки небольшой протяженности проходились вручную, без щита, помощью пневматических лопат при облицовке чугунными сегментами.

При одновременной работе всех щитов средняя скорость сооружения тоннелей по всему фронту составляла около одной мили в месяц.

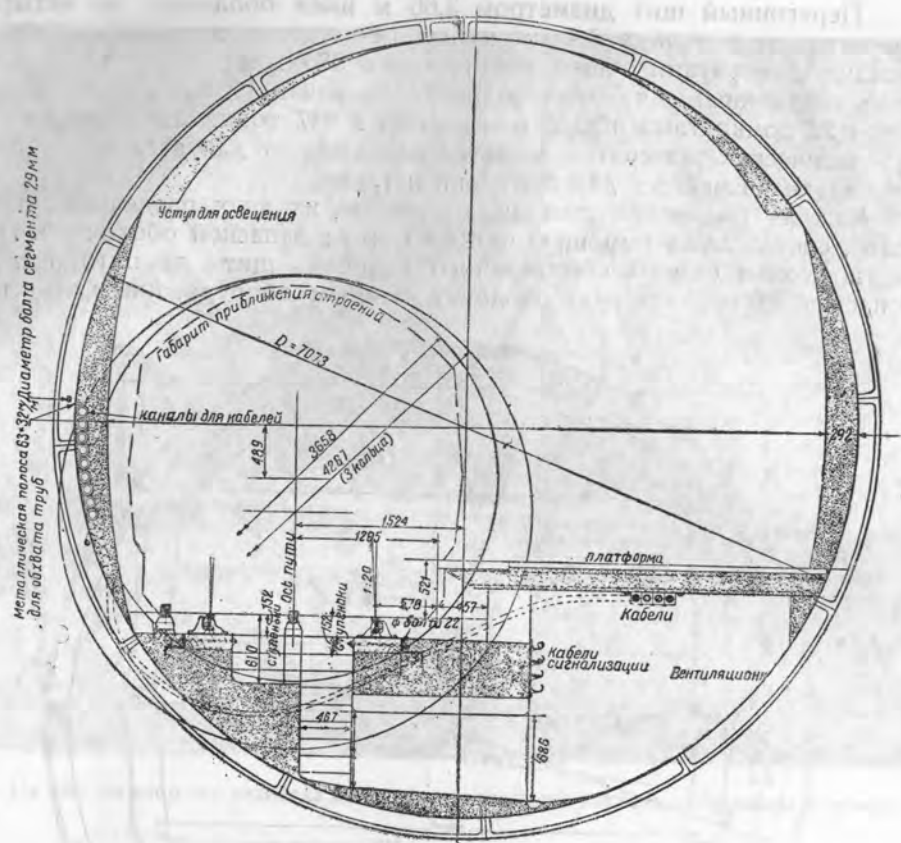


Рис. 44. Станционный туб линии Финсбюри-Парк—Кокфостер Лондонского Эндрегранда.

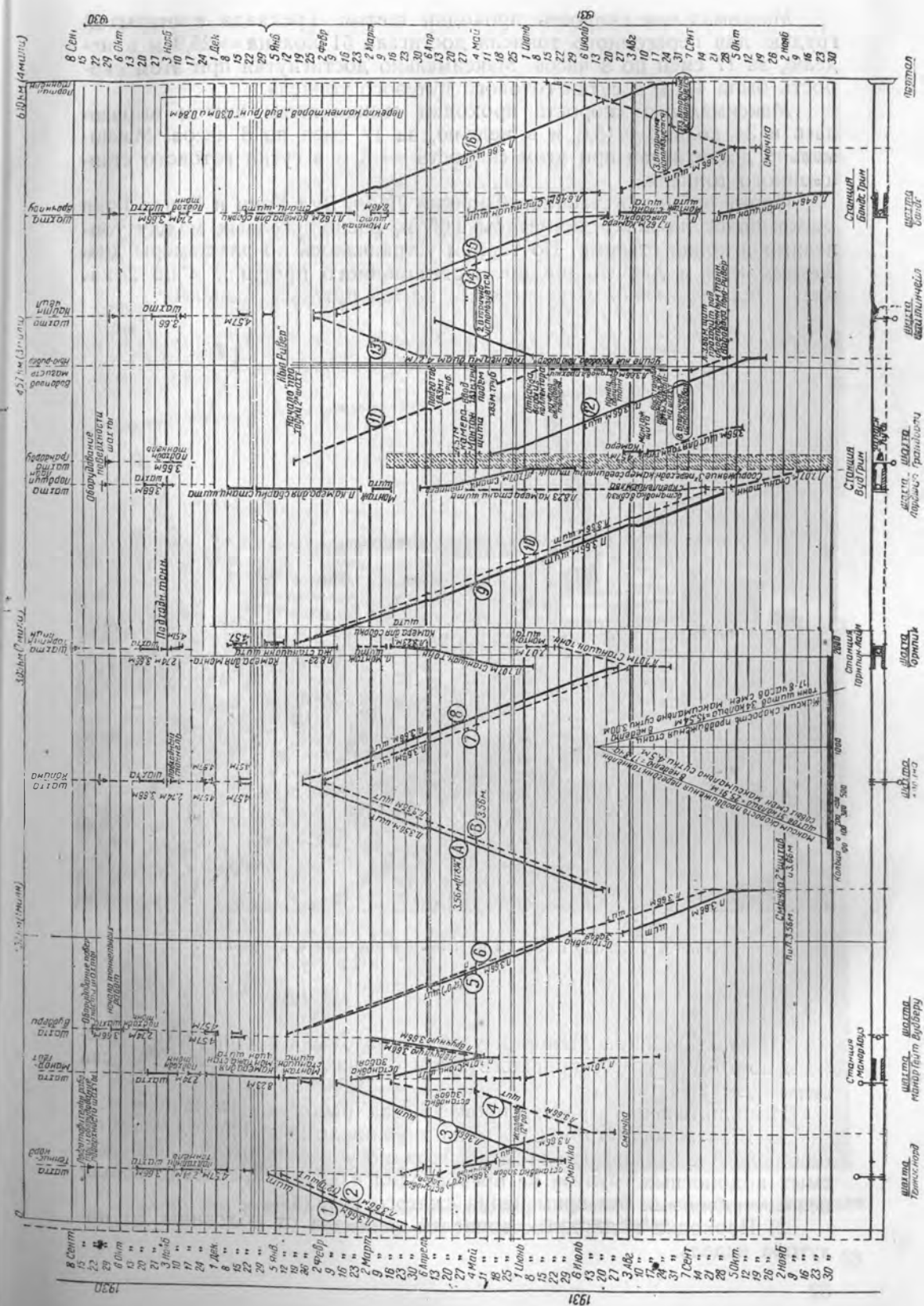
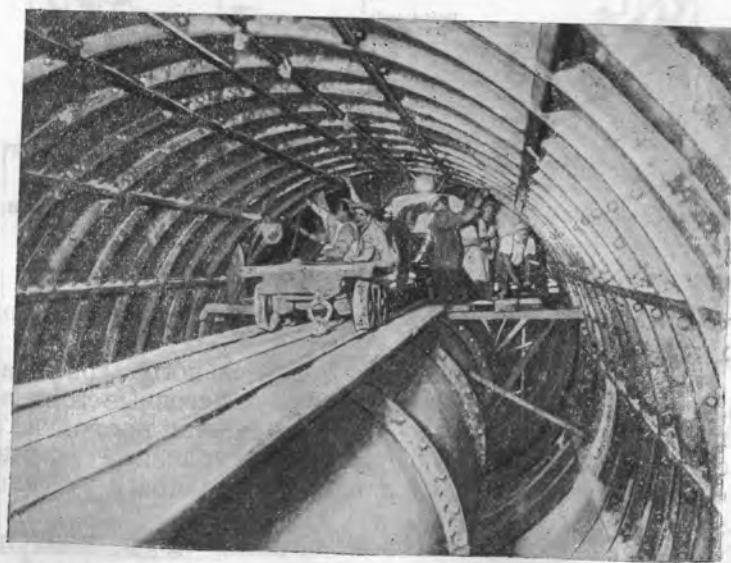


Рис. 46. Испытательный график производства тоннельных работ 22 щитами, линии Лондонского Эндергрунда протяжением 6,1 км.

Максимальная скорость проходки щитом Гредхэда с открытой грудью для перегонного тоннеля достигала 51 кольца = 25,9 м в неделю, за 17 смен по 8 часов. Максимально достигнутая при этом скорость была 4,5 м в сутки готового путевого тоннеля.

Максимальная скорость проходки стационарным щитом выразилась в 34 кольца = 15,6 м в неделю, за 17 смен по 8 часов. Максимально достигнутая при этом скорость — 3 м в сутки готового станционного тоннеля.

Фронт работ по станциям Торнпик Лайн, Вуд Грин и Бондс Грин раскрывался из шахт диаметром 3,66 м, расположенных между тоннелями в конце станции. По торцам устраивалось по две камеры диаметром 8,23 м для сборки щита станционного профиля и по 2 камеры диаметром 4,57 м для сборки щитов путевых тоннелей.

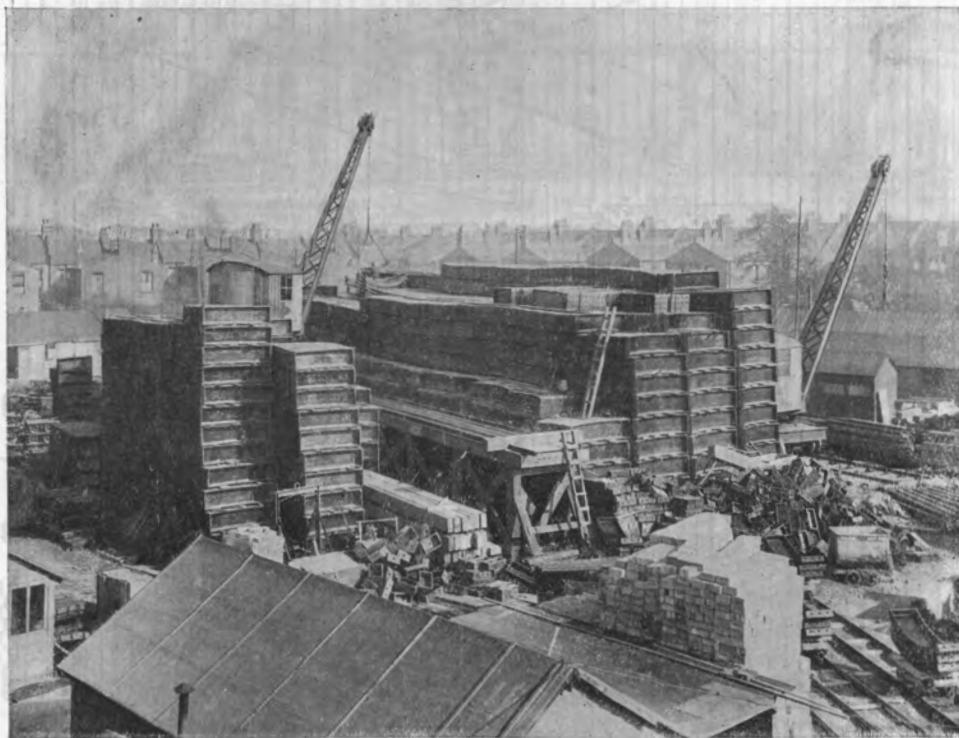


Рис. 47. Склад тубингов на шахтной площадке „Торнпик“.

Шахта у станции Манор Хауз была заложена в стороне от трассы и поэтому к трассе пришлось вести от шахты подходный тоннель диаметром 2,74 м.

Исполнительный график производства работ показывает, что:

1) Шахты диаметром 3,66 м на глубину до 30 м проходились от одной до 3-х недель; при этом необходимо учесть, что слой пересекаемых водоносных грунтов не превосходил 4,00 м и крепление ствола велось тубингами без применения сжатого воздуха.

2) Проходка подходных тоннелей занимала от половины до полутора недель.



Рис. 48. Внешний вид надземного вестибюля станции линии „Илинг-Коммон“.

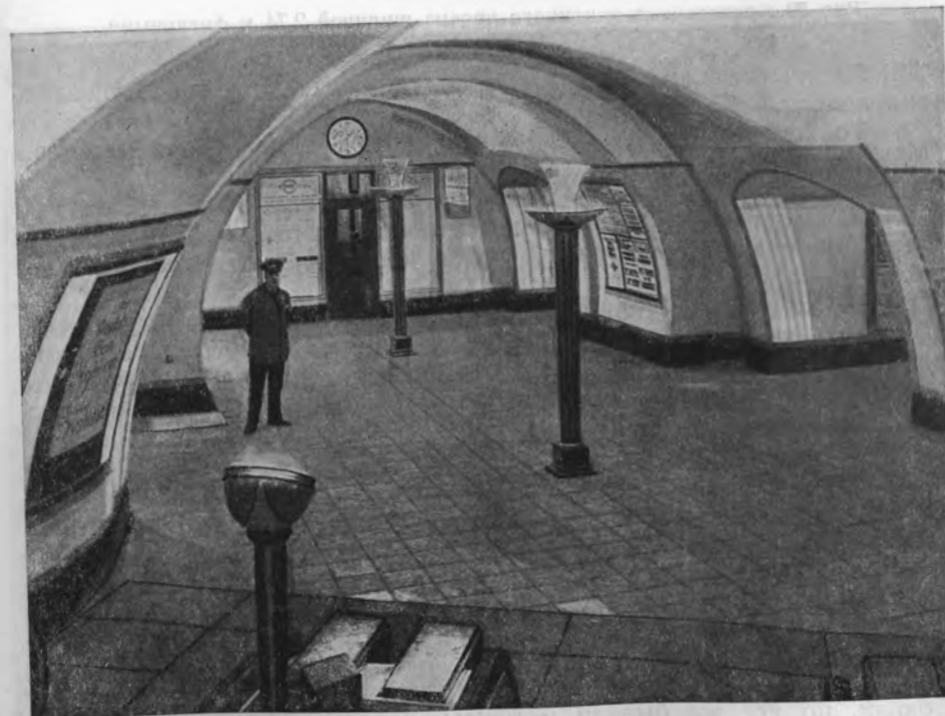


Рис. 49. Вид нижнего подземного вестибюля у эскалатора и проемов для переходов на платформы станции „Торнпик-Лайн“.

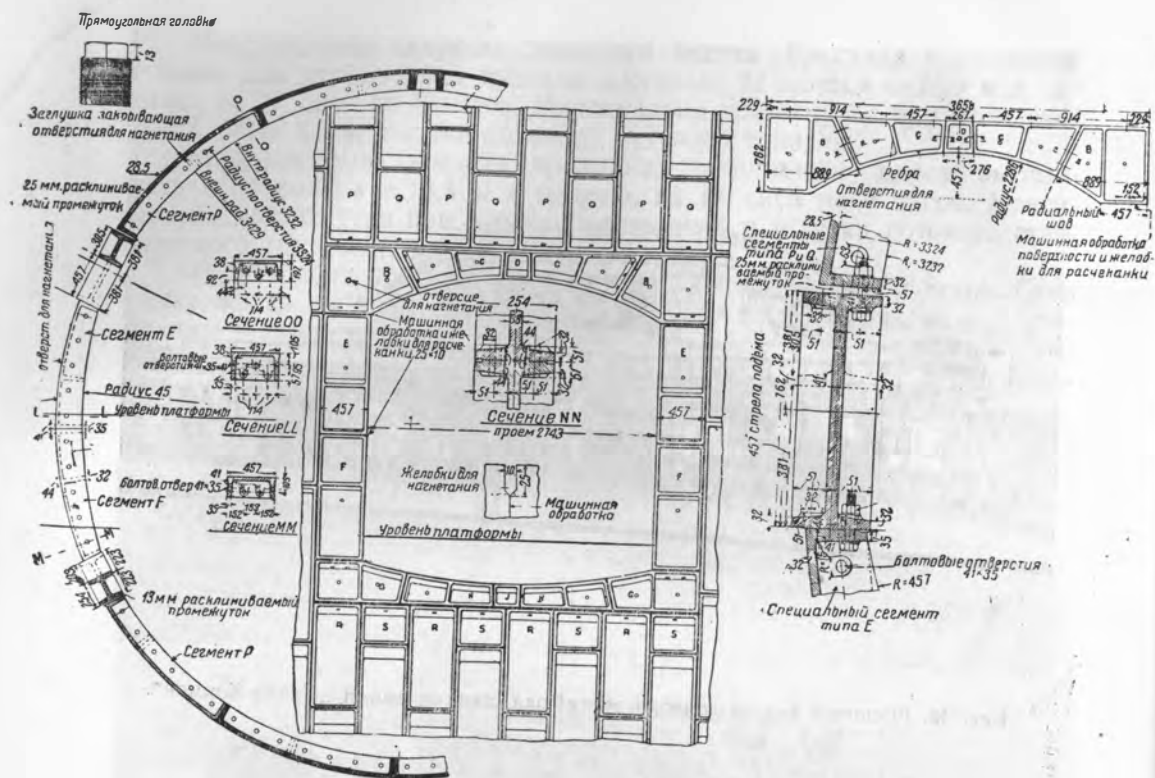


Рис. 50. Крепление стационарного проема шириной 2,74 м фигурными тубингами.

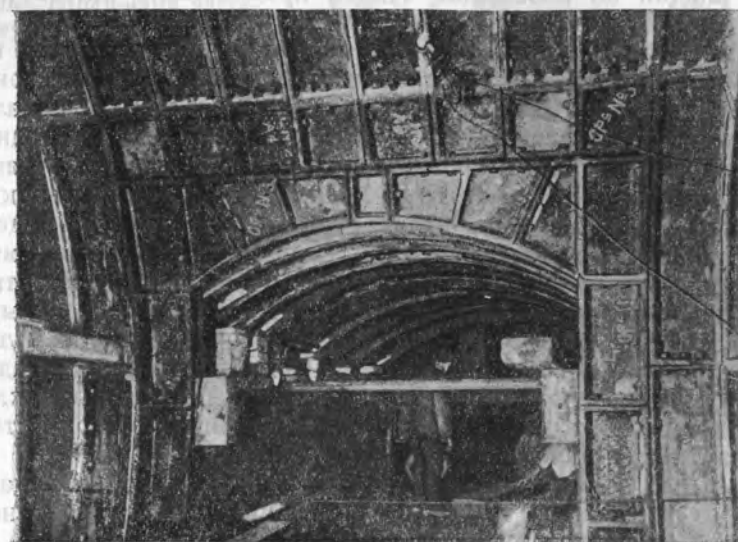
- 3) Раскрытие камеры для сборки путевого щита продолжалось около недели.
- 4) То же для станционного щита — от 5 недель до 2 месяцев.
- 5) Монтаж путевого щита занимал около недели.
- 6) Монтаж станционного щита занимал от 1½ до 3 недель.
- 7) Начало работы путевого щита непосредственно на перегоне с момента окончания сборки его, считая испытание от недели до месяца.
- 8) То же для станционного щита — от недели до 7 недель.

Работы велись таким порядком, что щиты одного перегонного тоннеля находились впереди другого примерно на 20—30 м. Разность скоростей щитов однако приводила к тому, что иногда два путевых щита оказывались в одном поперечном сечении. Это положение корректировалось в процессе проходки.

Смычка щитов, несмотря на значительный путь каждого из них, доходивший иногда до 900 м, происходила при максимальных отклонениях центров поперечного сечения тубов в 30 мм, что не имело практического значения.

Разработка породы велась как пневматическими лопатами, так и тоннельным экскаватором Прейса, турбинного типа. Откатка породы производилась электрической тягой.

Хотя работы и производились в исключительно благоприятных условиях, но все же бывали моменты, когда выявлялась необходимость в приостановке работы щитов. Так например при пересечении сверху под углом к трассе речного тоннеля с обделкой из кир-



ис. 51. Фигурные сегменты в месте перехода из одного станционного тоннеля в подземный вестибюль.



Рис. 52. Общий вид одного из стационарных тубсов станции „Вуд Грин“.

пичной кладки во избежание осадок продвижение щитов пришлось прекратить до окончания работ по укреплению речного тоннеля. Задача заключалась в том, чтобы, не прекращая движения воды по каналу, укрепить чугунными тьюбингами сечение речного тоннеля на протяжении 27,5 м. Для этой цели на берегу канала, недалеко от портала тоннеля, была смонтирована металлическая труба диаметром 1,83 м, способная под напором пропустить расход воды канала. По принципу опускных секций, труба, герметически закрытая по торцам специальными задвижками, была опущена в канал и по воде заведена в речной тоннель. Пользуясь двумя шахтами, заложенными сверху через своды существующего тоннеля, трубу удалось подвесить и установить на специальные подставки. После этого в порталных частях речного тоннеля были устроены перемычки. Воду из существующего тоннеля откачали и через рабочие шахты повели укладку внутренних чугунных сегментов в тоннеле, заполняя пустоты между чугунной и кирпичной обделкой бетоном. Внутренняя поверхность тьюбинов была забетонирована и протокретирована (рис. 45).

Пока шли работы по укреплению речного тоннеля вода подавалась через уложенную трубу. По окончании укрепления тоннеля, перемычки были убраны, временная труба удалена и сейчас же были начаты щитовые работы по сооружению тоннелей Эндерграунда.

Работы по укреплению тоннеля-канала отняли, как видно из графика работ, около 7 месяцев, приостановив при этом продвижение шита примерно на 3 месяца.

Работы по проходке первого подземного участка протяжением 6,10 км были закончены в конце ноября 1931 г., т. е. в 15 месяцев при круглосуточной трехсменной работе.

Полная стоимость участка Финсбюри-Парк—Кокфостер с оборудованием и подвижным составом **выразилась** в 11 млн. фунтов стерлингов.

§ 4. Реконструкция подземных станций

Лондонский Эндерграунд находится в настоящее время в стадии реконструкции.

Лифты на станциях Эндерграунда уступают место несравненно более совершенным мощным подвижным лестницам — эскалаторам.

В связи с этим производятся следующие работы:

- 1) удлинение станций, что связано с реконструкцией поперечного профиля перегонных тоннелей на станционный;
- 2) сооружение надземных и подземных вестибюлей;
- 3) сооружение новых входов и выходов;
- 4) устройство наклонных тоннелей для эскалаторов;
- 5) сооружение камер, галлерей и переходов на станцию.

В результате этих работ по станциям Лондонского Энтерграунда. Холборн, Пикадилли Серкус, Хайд Парк Корнер, Оксфорд Серкус, Бэнк и др. создан комплекс просторных, хорошо оформленных сооружений, привлекающих пассажиров.

По удобствам и внешнему оформлению Лондонский Эндерграунд несравненно выше других метрополитенов капиталистических европейских столиц.

Рис. 53. Схематический разрез реконструируемой станции „Ченсери Лайн“. (Подземный вестибюль и двухмаршевый эскалатор).

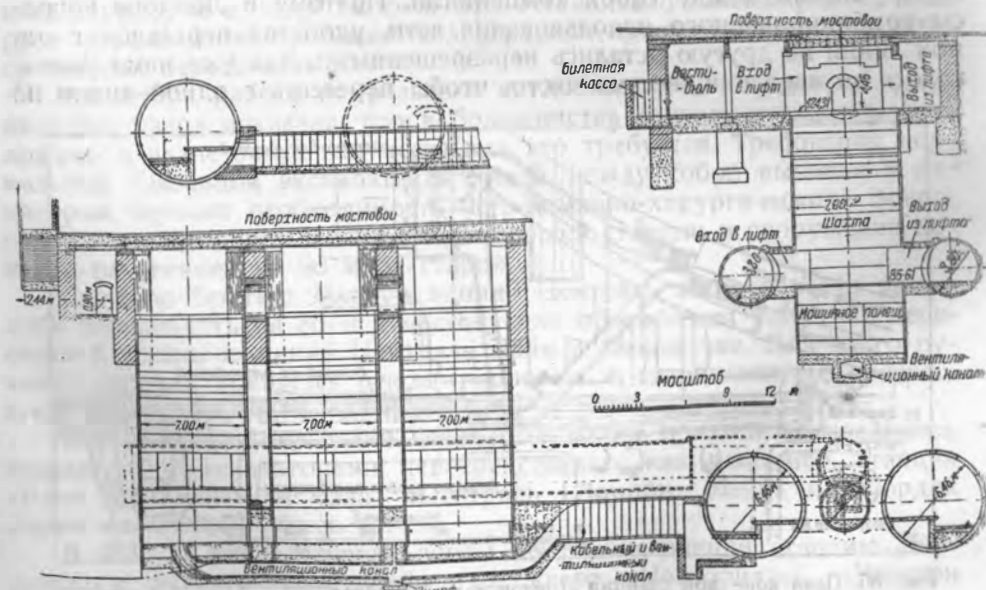
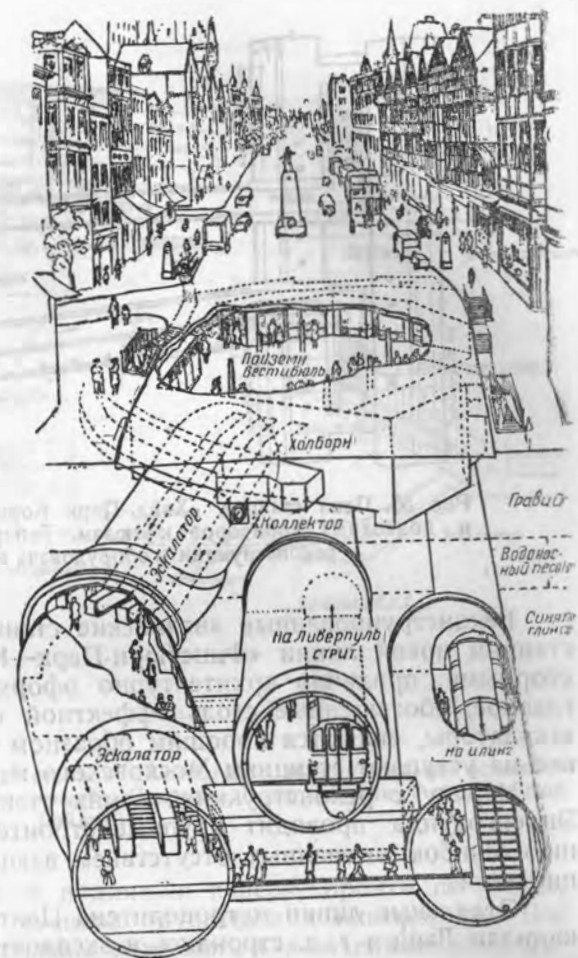


Рис. 54. Станция Лондонского метро „Черинг Кросс“, оборудованная лифтами.

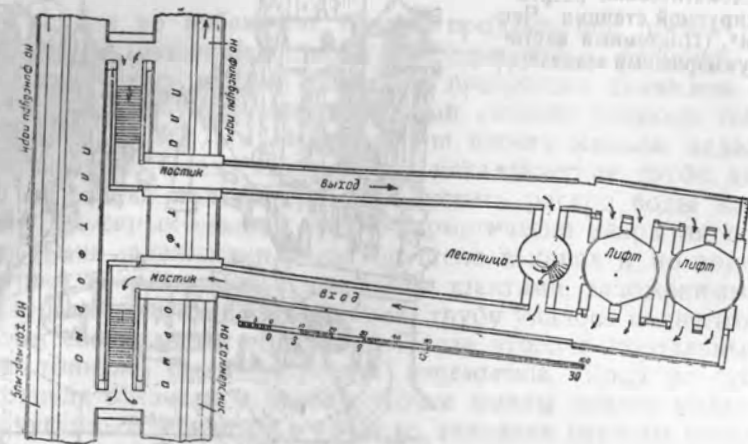


Рис. 55. План станции „Хайд Парк Корнер“ с показанием лифтов и подходов коридоров к тюбам. Теперь станция подверглась реконструкции и оборудована эскалаторами.

Реконструированные английские станции глубокого заложения и станции новой линии «Финсбюри-Парк—Кокфостер» со своими просторными, прилично архитектурно оформленными вестибюлями, а главное, обогащенные столь эффектной транспортной деталью, как эскалаторы, являются хорошим образцом станций метро (однако они весьма уступают станциям Московского метро).

Наряду с реконструкцией самих станций компания Лондонского Эндерграунда проводит крупные строительные работы по устранению ошибок, вызванных отсутствием взаимной увязки отдельных линий сети.

Отдельные линии метрополитена Централь Лондон Рейлвей, Пикадилли Лайн и т. д. строились и эксплуатировались отдельными конкурирующими между собой компаниями. Поэтому в Лондоне вопросы комбинированного использования сети, удобства пересадок с одной линии на другую остались неразрешенными. Как уже нами указывалось во введении, весьма часто, чтобы пересестись с одной линии на

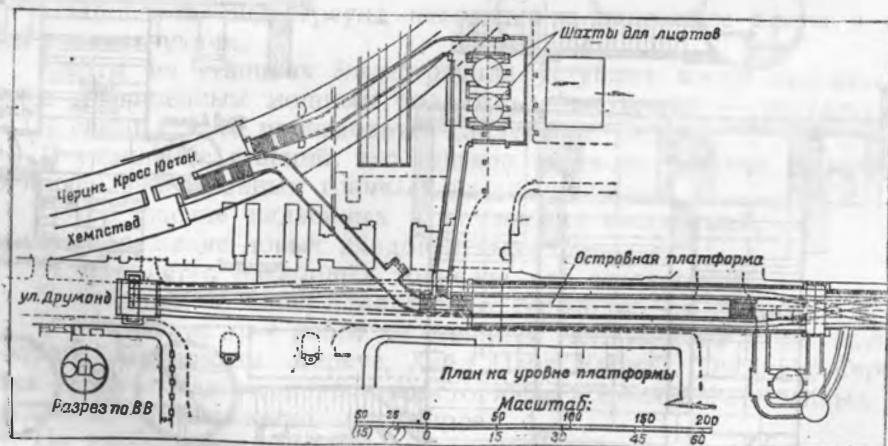


Рис. 56. План конечной станции Лондонского Эндерграунда „Юстон“ (показаны лифты и переходные галереи).

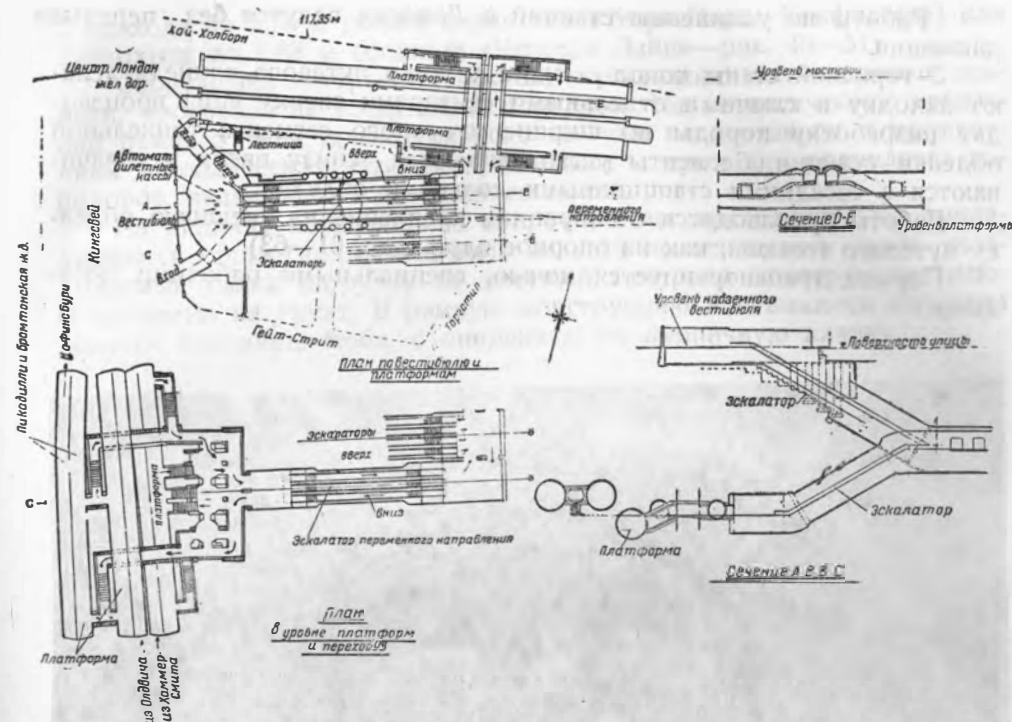


Рис. 57. Проект реконструированной станции „Холборн“ с двухмаршевыми эскалаторами при пересечении линии „Пикадилли“ „Централь Лондон Рейлвей“ и „Бромтон Рейлвей“.

другую, пассажиру приходится подняться наверх, пройти по улице, перейти на другую сторону и снова опуститься к платформам. Все эти пересадки неразрывно связаны с холостым хождением по длинным коридорам в сотни метров. Это отталкивало пассажиров от метро и объединенная компания Эндерграунда принуждена была заняться увязкой пересечений.

Проектная работа по развязке неудобных для пассажиров станционных узлов показала, что в большинстве случаев станции расположены в плане не на том месте, где это требуется. Требования нормальной увязанной эксплуатации линий между собой выявили в некоторых случаях необходимость строительно-хирургических операций например уничтожения существующей станции и сооружения новой в расстоянии до 90 м от старой.

Станцию Бритиш Музеум линии Централь Лондон Лайн пришлось передвинуть на 30 м к востоку для обеспечения удобной пересадки пассажиров линий Централь Лайн и Пикадилли. Для этого путевые тоннели пришлось реконструировать в станционные с соответствующим удлинением платформ.

Для удобства пересадки некоторые линии приходится соединять между собой эскалаторами непосредственно, как например, станция «Бэнк Монумент» от узла «Централь Лондон Лайн» и «Морден Лайн» на «Метрополитен Лайн».

В 1933 г. автор изучал работы по реконструкции станцию Лондонского Эндерграунда: «Лейсестер Сквер», «Найтбридж», «Ченсери Лайн» и др.

Работы по удлинению станций в Лондоне ведутся без перерыва движения.

С торцевой стены конца станции у устья путевого тоннеля делают заходку в ключе и отдельными секторами сверху вниз производят разработку породы по ширине чугунного сегмента тоннельной обделки станции. Сегменты устанавливаются снизу вверх и сбаливаются с соседними станционными кольцами обделки.

Работы производятся с опиранием крепления на внешнюю обделку путевого тоннеля, как на опорное ядро (рис. 61—63).

Порода транспортируется ночью, специальными рабочими поездами.

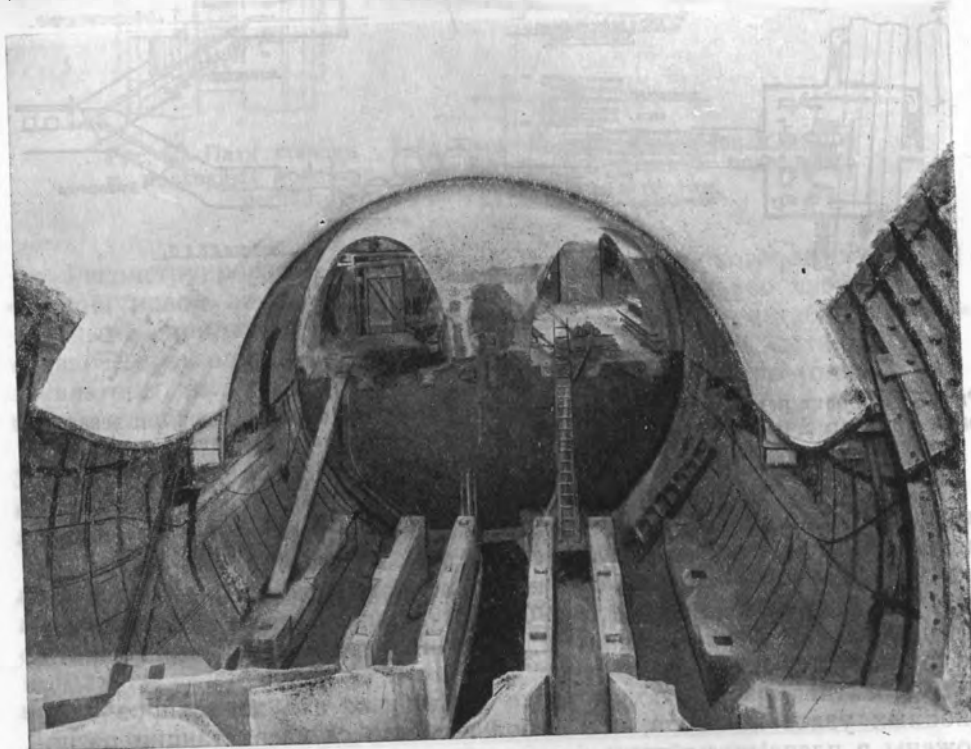


Рис. 58. Сопряжение вновь проложенного эскалаторного туннеля с конструкцией существующей станции Лондонского Эндерграунда.

При работе пневматическими лопатами и постановке сегментов без эректора успешность работ по реконструкции перегонного тоннеля в станционный выражалась около 1,5—3,00 м в неделю. Эта производительность была достигнута при удлинении станций Холборн и Ченсери Лайн.

В зависимости от расположения и подхода эскалатора к платформам станций приходится строить подходные галереи и мосты, часто пересекающие сводчатую часть профиля перегонных или станционных тоннелей.

Для передачи потока пассажиров с 3 лент эскалатора непосредственно к платформе достаточно, по данным Лондонской эксплуатационной службы, обеспечить проходы в распределительной камере общим отверстием в 5,50 м на каждую сторону. Часто встречаются

2 прохода по 2,75 м (новая линия «Финсбюри-Парк—Кокфостер») или 3 прохода по 1,83 м (станция «Ченсери Лайн» — рис. 49—51).

Сооружение внутренних мостов, пересекающих станционные тоннели, производится следующим порядком. На металлическом креплении рамного типа прямоугольного сечения из двутавров с применением металлических затяжек приступают к проходке подходных коридоров, включающих переходные мосты.

Из кирпича повышенного сопротивления предварительно выкладываются стены-своды, имеющие назначение передавать через укладываемые балки нагрузку от несущей мостовой конструкции непосредственно на грунт. В рамную конструкцию вписываются сегменты верхней половины туба, с опиранием на кирпичную кладку.



Рис. 59. Пересечение тубов разных диаметров в месте подхода галерей и эскалаторного тоннеля к машинной камере.

Борта подходных коридоров по плоскости сечения сводов закрываются с двух сторон сплошной стенкой, склепанной из листов котельного железа толщиной в 12 мм, принимающей участие в работе мостового перехода. Очень часто устраивают двойную стенку в целях проведения вентиляционных ходов.

Большие работы по реконструкции существующих перегонных и станционных тубов производились в свое время на линии «Сити энд Сауз» Эндерграунда.

Реконструкция перегонного туба диаметром 3,20 м в туб диаметром 3,46 м велась помощью щита системы Гредхэда. Щит диаметром 3,66 м, длиной 2,21 м состоял из пяти металлических листов толщиной в 13 мм с 13-мм накладками и имел впереди открытую

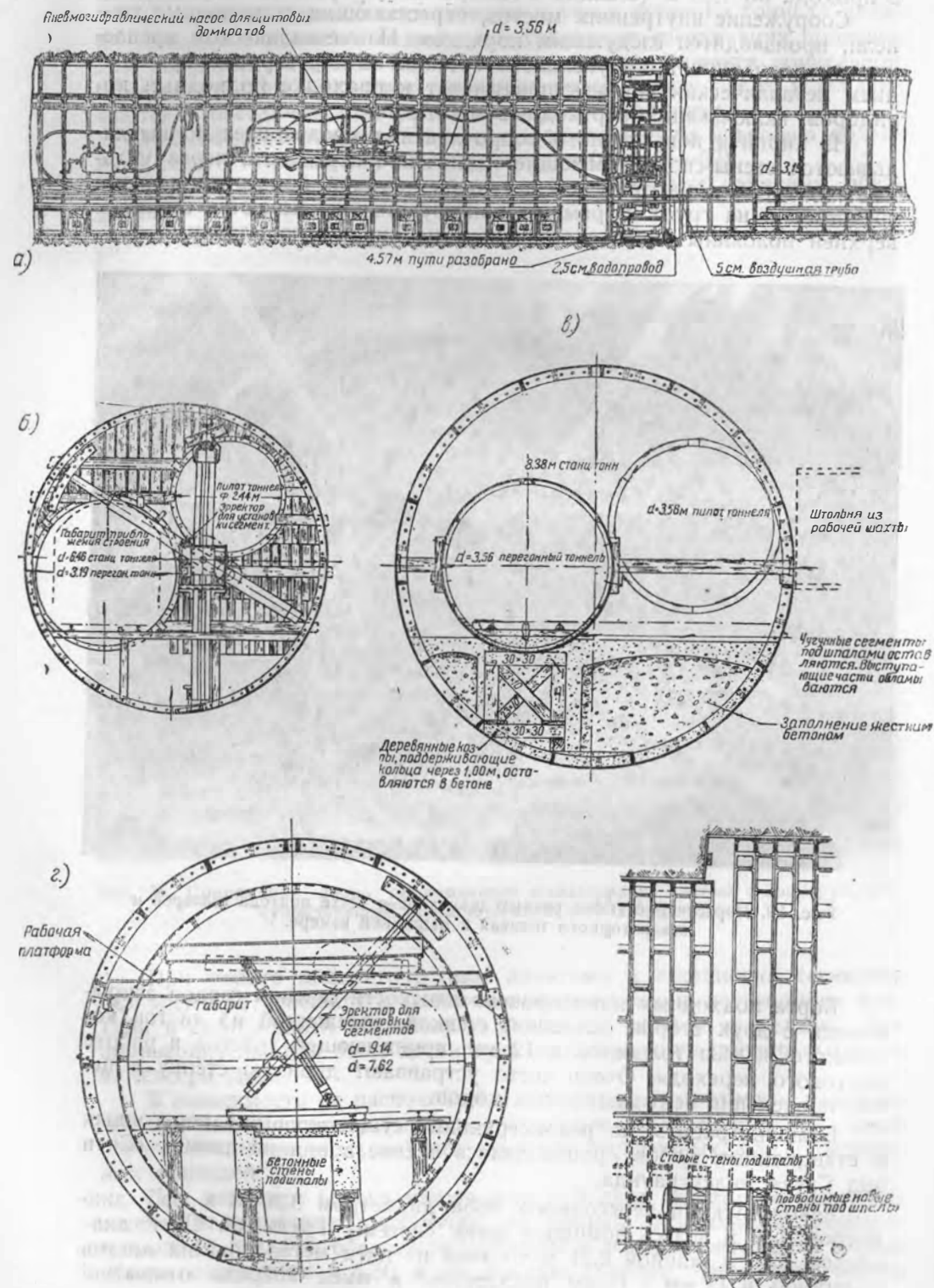


Рис. 60 (см. стр. 63)

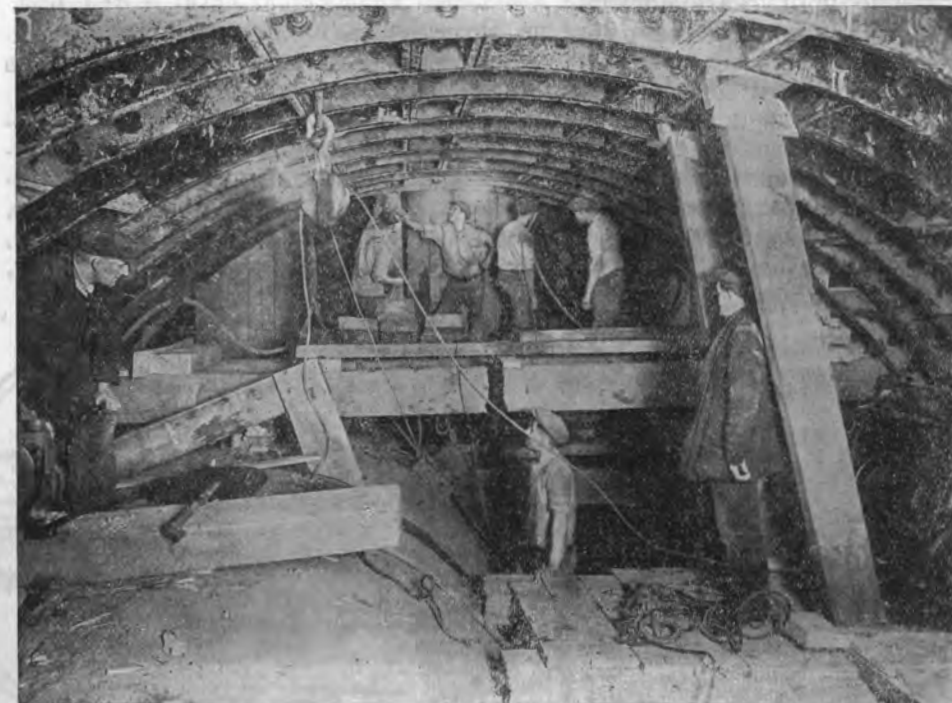


Рис. 61. Производство работ по расширению профиля перегонного туба в станционный при использовании туба как пилот-тоннеля.

грудь диаметром 3,25 м. Таким образом щит телескопически входил в существующий туб диаметром 3,20 м, не нарушая габарита поездов метрополитена. Работы интенсивно велись в ночное время, причем днем движение поездов происходило без нарушения графика (рис. 60).

Впереди щита разбирались чугунные тубинги реконструируемого тоннеля. Основные сегменты снимались в весьма хорошем состоянии. Повреждены были лишь некоторые из ключевых сегментов. Значительной ржавчиной были покрыты болты.

Щит продвигался вперед помощью 10 гидравлических домкратов диаметром по 18 см.

Вначале работы по реконструкции туба щитовым способом шли весьма медленно. За ночь укладывалось 1—2 кольца. Впоследствии однако производительность сильно возросла и доходила до 16,8 м в неделю. Немедленно по окончании ночных работ сечение щита освобождалось от временно установленных там баков, гидравлических

К рис. 60.

Методы реконструкции тоннелей расширением диаметров: щитом, пилот-тоннелями и специально установленными эректорами.

а) Продольный разрез тоннеля при производстве работ по расширению перегонного тоннеля, щитом.

б) Расширение перегонного тоннеля диаметром 3,19 м в станционный тоннель Ø 6,46 м помощью пилот-тоннеля Ø 2,44 м. Приспособление эректора для укладки тубингов.

в) Реконструкция перегонного тоннеля в станционный Ø 8,38 м.

г) Реконструкция станционного тоннеля Ø 7,62 в тоннель Ø 9,14 м станции Эндерграунда „Клафан Коммон“.

насосов, оборудования и т. д. так, чтобы можно было беспрепятственно пропускать поезды.

При производстве работ не встретилось никаких особых осложнений. Однако при реконструкции участка тоннеля, проложенного в свое время в слабых грунтах, имела место катастрофа.

В забое при выемке старых сегментов туба встретились с включениями водоносных песков. На это обстоятельство вначале не обратили внимания. Когда же утром началось движение поездов метрополитена, то вследствие вибрационных сотрясаний окружающих грунтов, приведенных в движение от тоннельных работ по реконструкции, произошел обвал грунта в тоннеле. Обрушилось около 380 м³ песка,

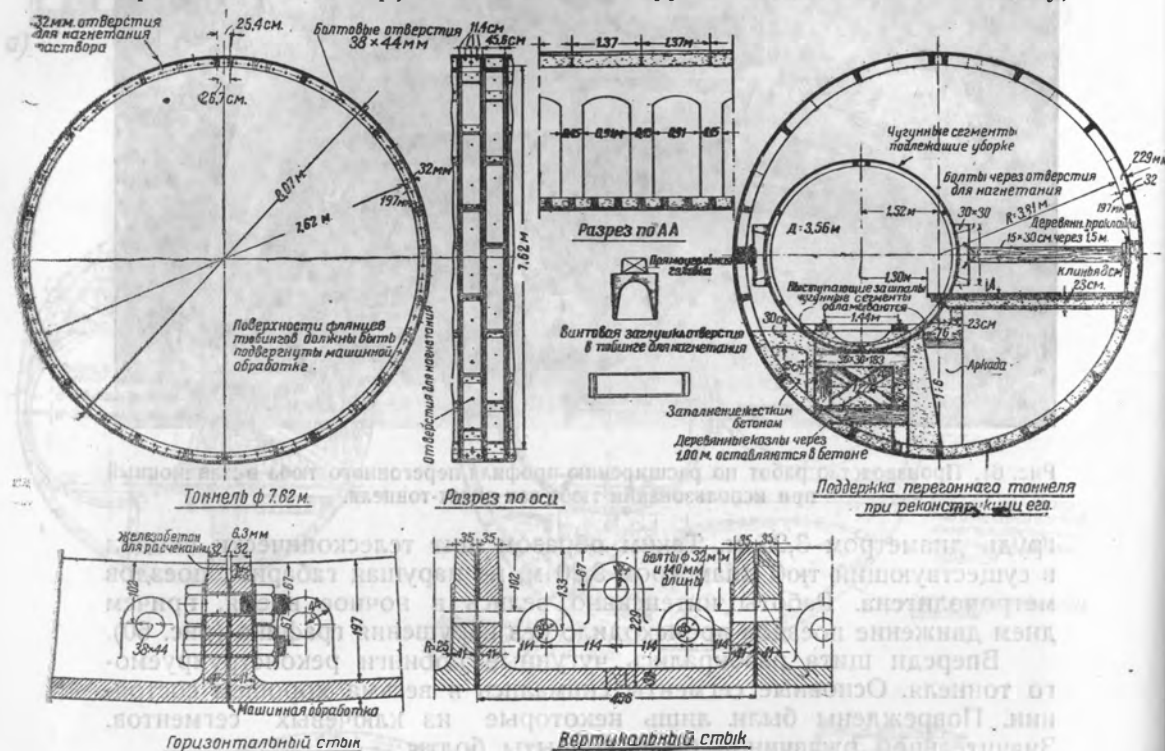


Рис. 62. Реконструкция туба перегонного профиля, в станционный, без перерыва движения.

причем часть грунта настигла крышу последнего вагона поезда. На поверхности образовалась воронка глубиной 3,70 м, диаметром до 15 м. В момент обвала лопнул газопровод диаметром 2 м, произошел взрыв, причем газ горел в продолжение 7 часов. Впоследствии лопнула водопроводная магистраль диаметром 38 см, причем вода по воронке устремилась в тоннель. В результате тоннель был завален водообильным песком, который лег под уклоном 1:7. Движение по улице, где произошла катастрофа, было закрыто.

Для локализации аварий немедленно приступили к бурению 10-см. труб с поверхности до обделки туба и к производству нагнетания раствора с целью укрепления приведенного в движение окружающего грунта. Было загнано 45 тонн цемента и 10 тонн извести. С момента аварии движение на улице было восстановлено лишь через 1,5 месяца.

Освобождение тоннеля от грунта и восстановление его велось

под сжатым воздухом. Помощью двух кирпичных перемычек толщиной 1,15 м была образована шлюзовая камера длиной 4,10 м, оборудованная металлическими дверями. Работы производились под давлением 0,7 атмосфер при производительности компрессорной установки 85 м³/мин. Тоннель был полностью освобожден от завала породы лишь через два месяца после аварии.

С целью уменьшения текучести грунта и ограждения от утечки и прорывов воздуха, в слабых грунтах применялась забивка глиной и нагнетание смеси извести с опилками.

Монтаж сегментов в перегонных тубах производился специальным эректором, укрепленным на металлической раме. Эректор телекопически выдвигался в радиальном направлении и вращался при



Рис. 63. Реконструкция станции „Холборн“. Расширение профиля перегонного туба в станционный для увеличения длины платформы; производится без перерыва нормального движения поездов.

зубчатой и червячной передачах от двух пневматических моторов в 5 л. с. Эректор совершал один оборот в 4 минуты. В процессе дальнейших работ англичане приспособили для монтажа чугунных сегментов перегонных тубов лебедки, пользуясь которыми, они достигали большего успеха в монтаже, чем эректором.

Реконструкция тубов больших профилей практиковалась главным образом в сочетании с пилот-системой. Предварительно проходил один или два пилот-тоннеля, на которых как на опорном ядре, раскрывался требуемый профиль.

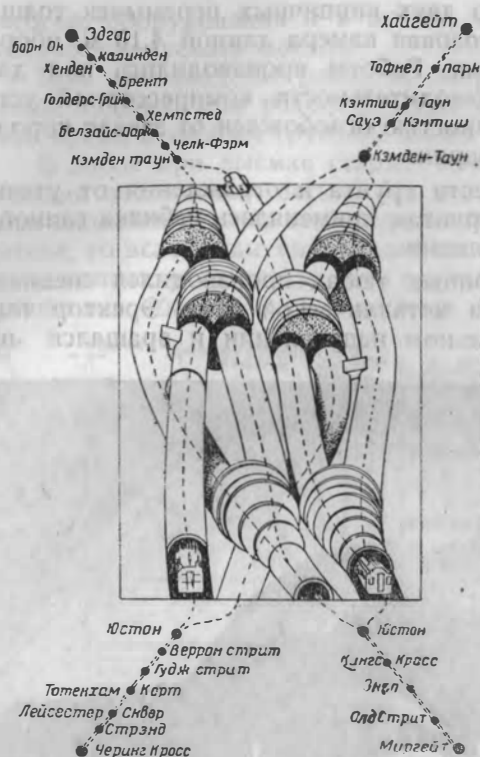


Рис. 64. Тоннельное соединение тубов у станции Эндерграунда „Кэмдонтаун“

сплоатации всей сети метрополитена в целом.

Нам надо немедленно провести работу по развязке узлов и тогда мы будем уверены, что в схеме сети советского метрополитена не будет сложных и неудобных пересечений.

§ 5. Сооружение наклонных тоннельных ходов для эскалаторов

При реконструкции станций Лондонского Эндерграунда эскалаторы в зависимости от местных условий доводятся или до уровня станционных платформ или до шельги станционных сводов. Наклонный эскалаторный тоннель начинается сверху с надземного или подземного вестибюля. Если вестибюль располагается в существующем здании, предварительно укрепляются фундаменты и устраиваются сопряжения с эскалаторным тоннелем. Эскалаторные тоннели расположены под углом в 30° к горизонту и имеют длину до 60 м. Большинство английских наклонных тоннелей для эскалаторов имеет внутренний диаметр обделки в 6,93 м, рассчитанный на 3 ленты. Имеются и 4 ленты, например на станции «Пикадилли».

Некоторые этапы работ по реконструкции станций производятся в Англии не только в ночное время, но и днем без нарушения движений поездов метрополитена.

В условиях планового социалистического строительства неувязок в пересечениях станций, которые неизбежны для капиталистического метро, не может и не должно быть.

Однако следует иметь в виду, что при детальном проектировании пересечений, узлов, передаточных ветвей и других ответственных сооружений с учетом всех основных факторов архитектурно-планировочного городского, геотехнического и эксплуатационного порядка может оказаться, что та или иная станция метро расположена не там, где это технически целесообразно с точки зрения строительства и эк-

Обделка тоннелей устраивается из чугунных сбалчиваемых между собой сегментов.

Разработка наклонных тоннелей производится при естественно устойчивых или искусственно закрепленных грунтах. В последнем случае производится силикатизация — химическое закрепление грунта, или же применяется сжатый воздух и т. п.

При сооружении наклонных тоннелей для эскалаторов английские инженеры придерживаются приема, именуемого в тоннельной практике «Пилот-система».

«Пилот-система». Сущность пилот-системы в основном заключается в следующем: предварительно проходится круглый направляющий тоннель из тубингов, диаметром около 2,70 или 3,60 м в свету, называемый «пилот-тоннелем». Пилот-тоннель расположен

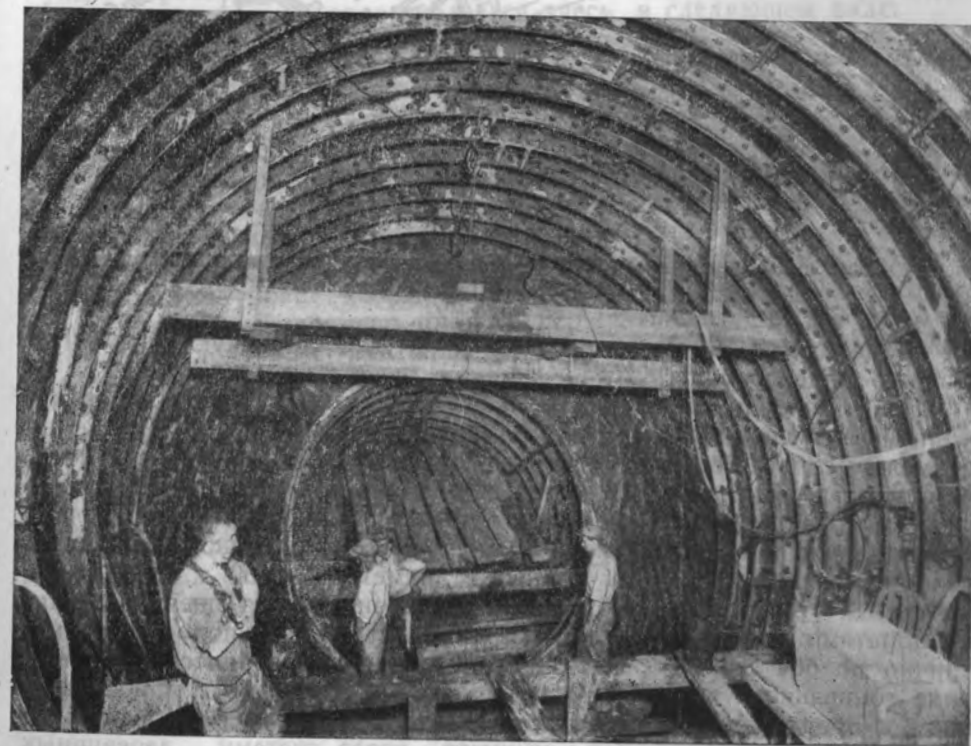


Рис. 65. Вид работ при проходке эскалаторных тоннелей по пилот-системе.

иногда концентрично, чаще эксцентрично по отношению к расширяемому последовательно над ним тоннелем среднего и окончательного профиля таким образом, что совпадают вертикальные диаметры и нижние точки кривых. Проходка пилот-тоннеля ведется обычно сверху вниз, т. е. из надземного или подземного вестибюля до платформы станции. Максимальная проходка пилота в глинах составляет 4 м в сутки при круглосуточной работе. В некоторых случаях проходка начинается снизу вверх на смычку с пилотом, направляемым наклонно вниз. Благодаря сквозному сообщению по пилот-тоннелю, получаются благоприятные условия для широкого развертывания работ по расширению профиля тоннеля. Подача материалов и уборка поро-

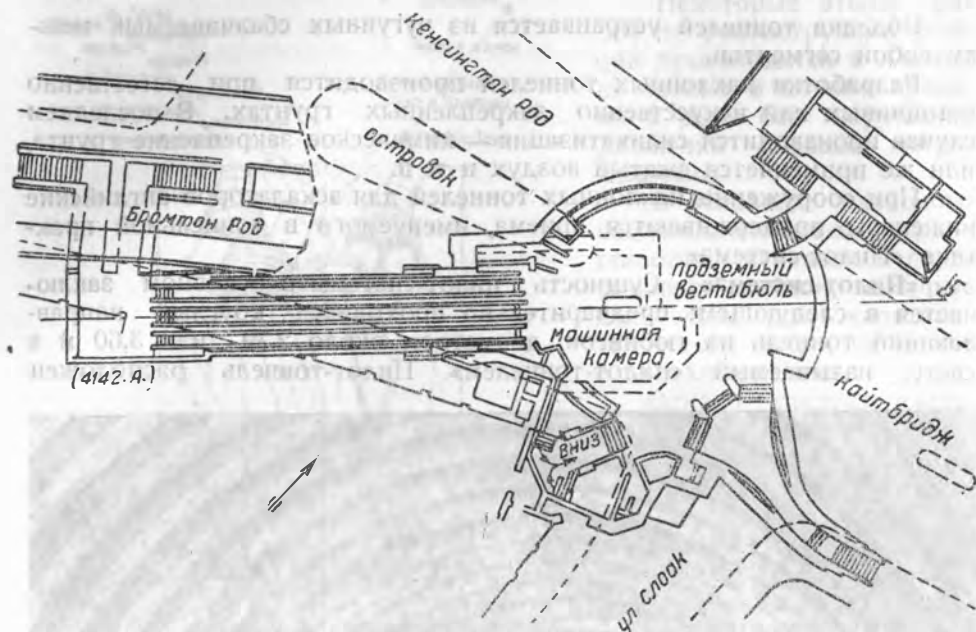


Рис. 66. План подземного вестибюля и эскалаторного тоннеля реконструируемой станции «Найтбридж».

ды производится на поверхность или на существующую подземную станцию Эндерграунда.

Пилот-тоннель диаметром 2,70 м обделывается 4 большими чугунными сегментами и 4 малыми сегментами-клиньями, сбалчиваемыми между собой. Большие сегменты сделаны в соответствии с диаметром путевых тоннелей, для которых они используются впоследствии.

После полной проходки пилот-тоннеля, а в некоторых случаях при продвижении лба забоя на 30 м по уклону производится расширение профиля на средний тоннель диаметром 4,30 м. В плотных глинистых грунтах разработка сечения производится пневматическими лопатами с забоя. Порода выбирается от замка к подошве симметрично по обе стороны. Продвижение забоя производится по ширине тоннельного кольца в 0,50 м. Укладка сегментов с прибалчиванием к предыдущему кольцу производится снизу вверх. Каждый из устанавливаемых сегментов опирают через систему деревянных штендеров на внешнюю оболочку пилот-тоннеля, служащую опорным ядром. Одновременно производится обшивка лба забоя металлическими затяжками вразбежку. Замкование кольца производится специальным ключевым сегментом размерами 25 × 27 × 45 см.

Средний тоннель диаметром 4,30 м используется обычно впоследствии для перегонных тубов. При нормальной работе достаточно иметь, по данным англичан, 12 колец среднего тоннеля. Вслед за установкой этих 12 колец приступают к расширению до полного профиля эскалаторного тоннеля диаметром 6,93 м. Раскрытие профиля в лондонской глине, где не ожидают местных вывалов, ведется одновременно в нескольких точках. Вынимается несколько сегментов одного кольца, производится удаление породы в соответствии с расширяемым профилем, после чего укладываются сегменты большого диаметра.

Установка чугунных сегментов весом около 700 кг производится без эректоров, помощью троса и лебедки.

Метод раскрытия полного профиля тоннеля малыми частями, постепенным переходом с 2,70 м на 4,30 м и далее на 6,93 м считается англичанами наилучшим при строительстве наклонных тоннелей. Полностью раскрыть профиль в 6,93 м сразу на все сечение наклонного тоннеля без промежуточных фаз в городских условиях, англичане считают рискованным, какими бы устойчивыми не являлись пересекаемые породы. Лишь в особо благоприятных условиях раскрытие тоннельного профиля по пилот-системе может вестись двумя фазами.

Исключительный интерес представляет проходка наклонных эскалаторных тоннелей станций «Найтбридж» Лондонского Эндерграунда. Характеристика условий напластования пересекаемых грунтов считая сверху вниз, представляется здесь в следующем виде:

1) насыпные грунты	6,10 м
2) водоносные пески	3,66 "
3) плавун	2,50 "

Последний на глубине 12,3 м от поверхности подстилается мощным слоем плотной глины, которая обеспечивает кровлю над щелью станционных сводов около 2,70 м.

Горизонт грунтовых вод во время производства работ стоял примерно на уровне 4,50 м от поверхности земли.

Проходка наклонного тоннеля, пересекающего подземное староречье в водоносных грунтах и плавуне на общей длине 10,5 м, причинила строителям немало трудностей.

Вначале предполагалось вести проходку тоннеля для эскалатора помощью специального кессонированного щита с аванбеком системы «Маркхэм» под сжатым воздухом, но в дальнейшем проект был изменен.

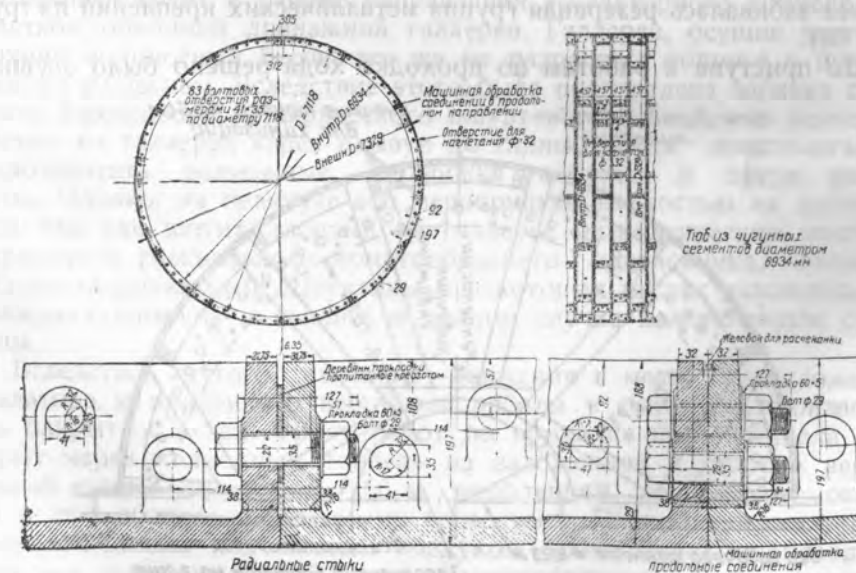


Рис. 67. Обделка эскалаторного тоннеля из чугунных тубингов внутренним диаметром 6,93 м.

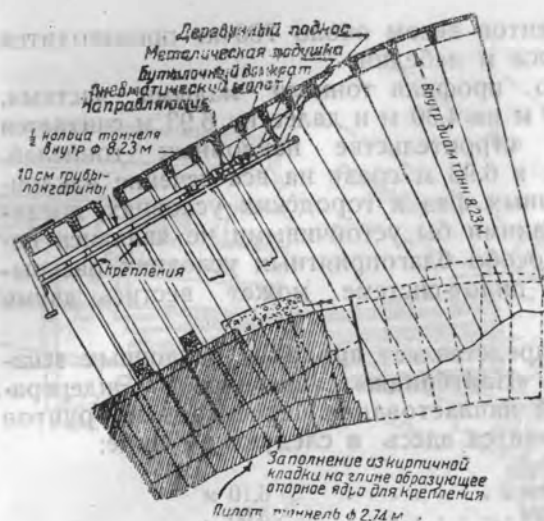


Рис. 68. Забивка труб-лонгарин пневматическим молотом по специальному направляющему, установленному в головном кольце эскалаторного тоннеля.

Преодолеть трудности удалось только благодаря следующей организации работ:

1. Была устроена обходная галерея в виде чугунного туба диаметром 2,4 м.
2. Из этой обходной галереи забивался металлический шпунт.
3. Плыунный участок химически закреплялся.
4. Эскалаторный тоннель проходил пилот-системой, тремя фазами при переходах:

$D_1 = 2,70$ м, $D_2 = 4,30$ м, $D_3 = 6,93$ м,

В месте сопряжения эскалаторного тоннеля с станционным диаметром равнялся 7,92 м при специальных фигурных сегментах.

5. При всех разработках применялись металлические крепления.
6. Работа шла под сжатым воздухом.
7. На случай неудачи процесса химического закрепления грунтов заранее забивалась резервная группа металлических креплений из труб (рис. 68).

До приступа к работам по проходке хода решено было осушить

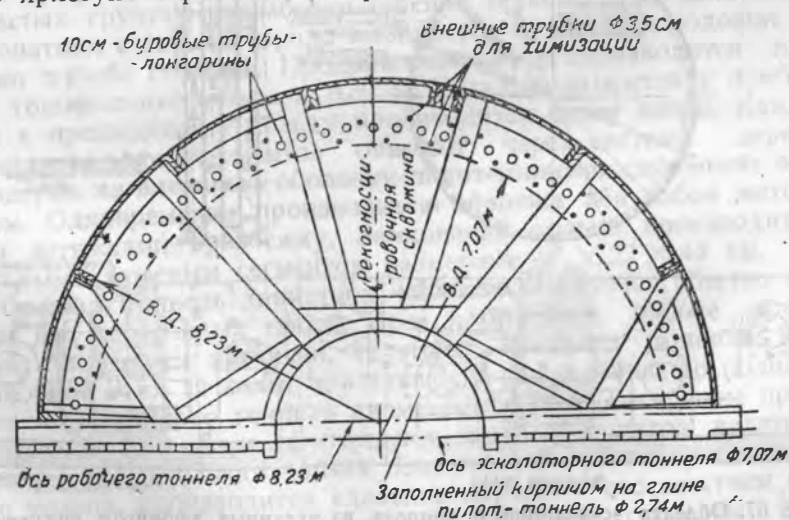


Рис. 69. Раскрепление эскалаторного тоннеля на пилот-туб.

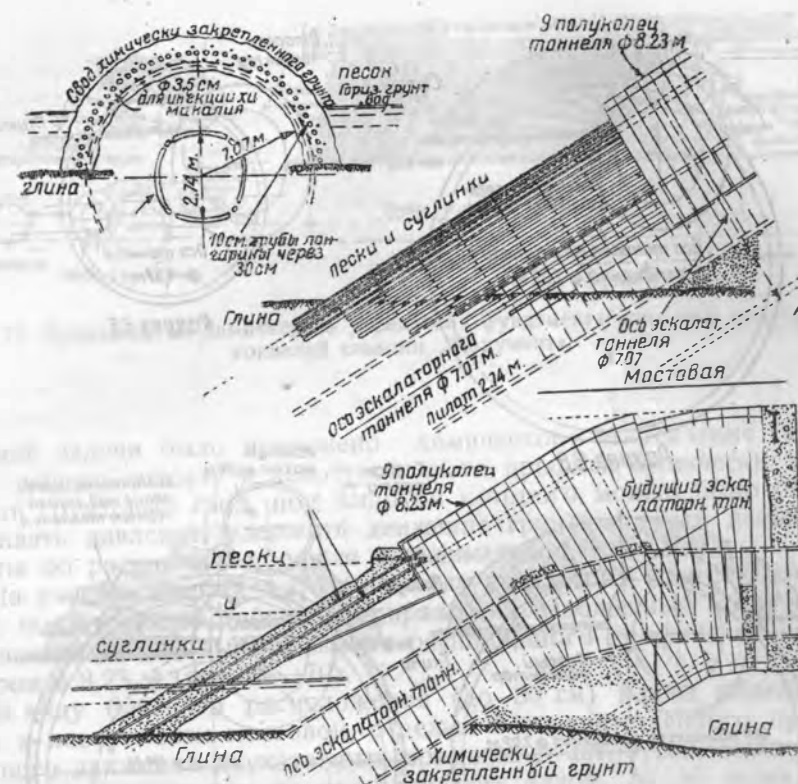


Рис. 70. Сооружение эскалаторного тоннеля станции "Найтбридж", с применением химического закрепления грунта. В разрезе показаны трубы для инъекции и запасные трубы-лонгарины.

водоносный грунт в районе направления эскалаторного тоннеля устройством обходной дренажной галереи. Галерея, осушив частично верхний водоносный песок, все же не разрешила вопроса с подстилающим пльвуном. Вследствие этого была произведена забивка сплошного 2-метрового металлического шпунтового ограждения непосредственно из галереи через пльвун до глины. Этим предполагалось предотвратить возможные подвижки пльвуна в сфере работ. Однако, на практике это мероприятие полностью не достигло цели, так как шпунт, забитый из галереи пневматическим молотом посредством специального хомутообразного наголовника, оказался неудовлетворительным. Шпунтины в некоторых местах разошлись, не ограждали пльвуна и явились в данном случае паллиативным средством.

Вследствие густого уличного движения в месте расположения эскалатора и подземного вестибюля работы в основном производились закрытым путем. Фронт работ по проходке пилот-тоннеля был открыт через подходный тоннель из заложенной в стороне вертикальной шахты диаметром 3,66 м, пройденной на глубину около 8,60 м, при облицовке чугунными сегментами. Проходка пилот-тоннеля производилась под сжатым воздухом. Шлюзование происходило через две кирпичные диафрагмы с замурованными металлическими дверями. Компрессорная установка общей мощностью 170 м³ в минуту состояла из трех компрессоров. За отсутствием свободного ме-

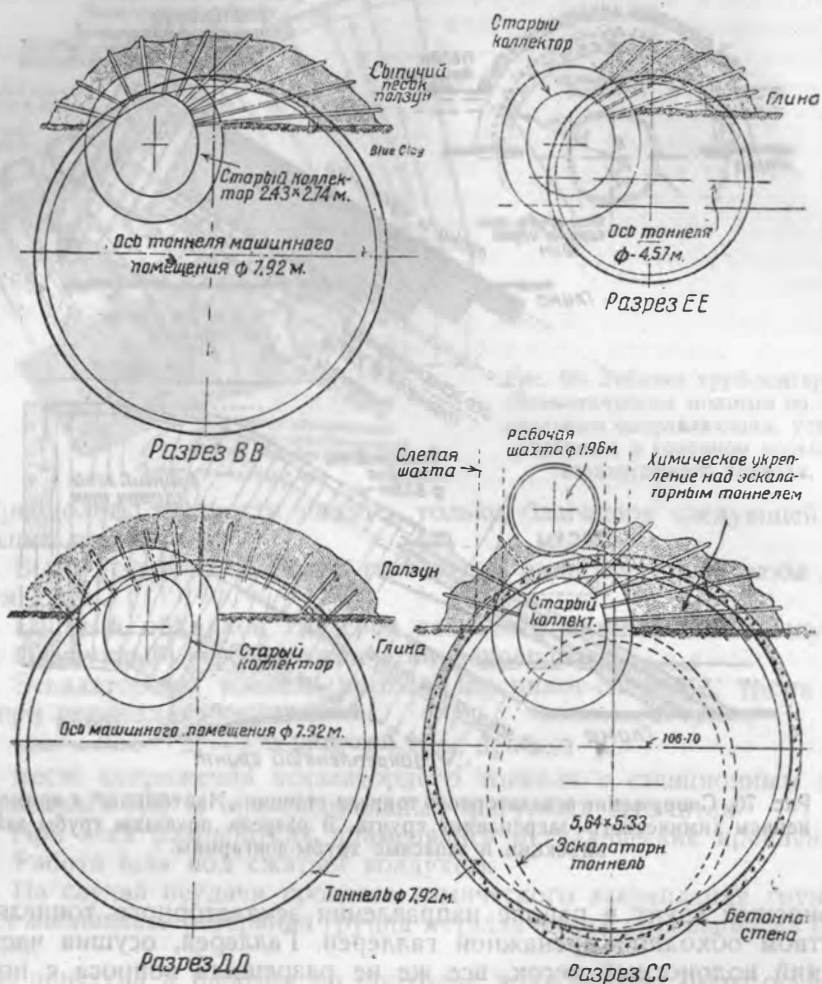


Рис. 71. Химическое закрепление слабого грунта вокруг старого коллектора для сооружения тоннелей разных диаметров от 4,57 м до 7,92 м.

ста на поверхности, установка была расположена в специально разработанной тоннельной камере диаметром 3,66 м. При воздушном давлении в $0,35 \text{ кг/м}^2$ скорость проходки пилот-тоннеля при круглоосуточной работе достигала лишь одного кольца. Несмотря на мероприятия, которые принимались в процессе проходки, утечка воздуха все же была значительной. Однако под давлением сжатого воздуха пилот-тоннель диаметром 2,70 м, расположенный концентрически в ядре полного сечения, был пройден на всем протяжении.

Вести дальнейшие работы по расширению эскалаторного тоннеля только под сжатым воздухом было рискованно, так как воздух стремительно вырывался вверх через сыпучий песок с гравием («лузбаласт»), составляющий местный грунт исключительной воздухопроницаемости.

Вопрос осложнялся тем, что эскалаторный тоннель был расположен частично под блоком пятиэтажных домов. Поэтому понижение воздушного давления в разработке, связанное с выпуском грунта, неминуемо привело бы к осадкам и повреждениям строений. Для раз-

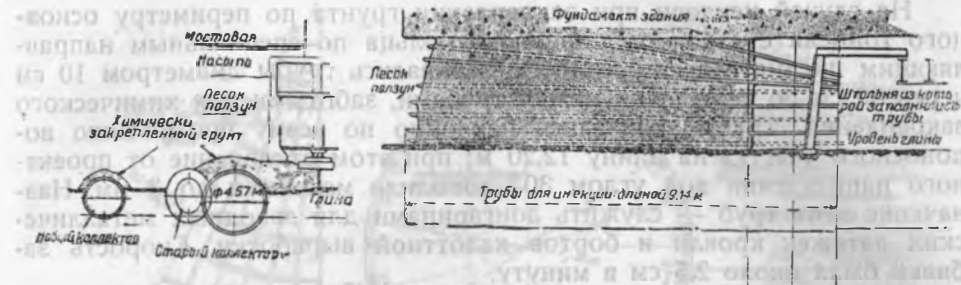


Рис. 72. Производство химического укрепления фундамента дома при сооружении тоннелей станции «Монумент».

решения задачи было применено химическое закрепление грунта. Было решено создать в калоттной части профиля химически закрепленный грунтовый свод, под защитой которого можно было бы поддерживать давление, удерживать движение грунта и вести дальнейшие работы по раскрытию профиля с пневматикой.

На участке длиной 4,27 м по ходу эскалатора в месте сопряжения с подземным вестибюлем, опираясь на заложенный концентрически пилот-тоннель, была раскрыта расширенного профиля камера, диаметром в 8,23 м (рис. 68—70).

В виду близкого расположения (до 30 см) ключа обделки камеры к поверхности мостовой, с целью беспрепятственного пропуска уличного движения двухэтажных трамваев и автобусов, было уложено плоское перекрытие из металлических балок № 30 через 60 см. Обеспечение от утечки воздуха через мостовую было достигнуто укладкой по уложенному перекрытию бетонного слоя специальной изоляции.

В камере были установлены специального типа направляющие кружала, по которым наклонно, помощью пневматического молота, забивались трубы диаметром 44 мм с перфорированными отверстиями в 3 мм для химического закрепления грунта. Эти трубы забивались по контуру калоттной части туба со лба забоя в шахматном порядке с шагом в 30 см.

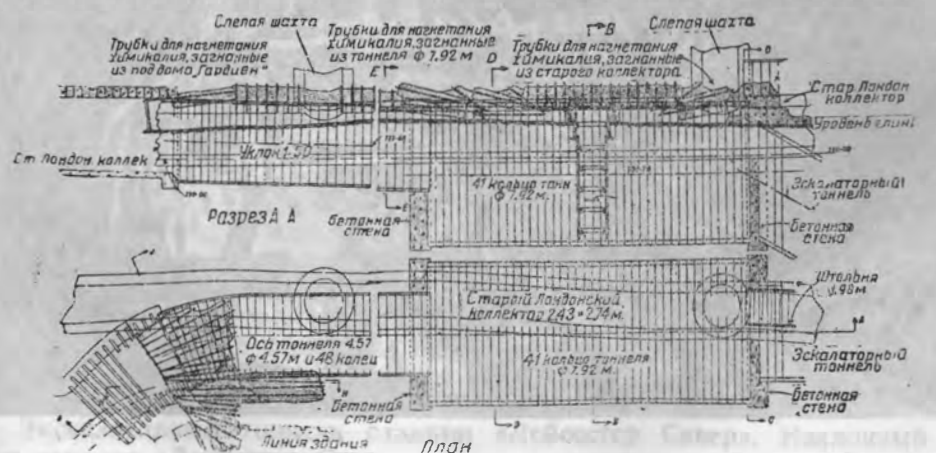


Рис. 73. Применение химического закрепления грунта при сооружении тоннеля диаметром 7,92 м для машинной камеры станции «Монумент».

На случай неудачи при закреплении грунта по периметру основного тоннеля с забоя расширенного кольца по специальным направляющим пневматическим молотом забивались трубы диаметром 10 см через 30 см по периферии между трубами, забитыми для химического закрепления. Трубы забивались наклонно по всему протяжению водоносного участка на длину 12,20 м; при этом отклонение от проектного направления под углом 30° доходило максимум до 3 мм. Назначение этих труб — служить лонгаринами для заводных металлических затяжек кровли и бортов калоттной выработки. Скорость забивки была около 2,5 см в минуту.

Кроме того эти 10-см трубы для силикатизированной зоны имели армирующее значение.

Это резервное мероприятие не пришлось практически использовать, так как химическое закрепление грунта дало требовавшийся технический эффект.

Всего при проходке наклонного тоннеля было загнано 400 пог. м труб.

Подача химического раствора велась под давлением от 3,5 до 12 кг/см². После проведения химизации кровли выработки производилась уборка породы и установка чугунных сегментов обделки. Эти работы велись под сжатым воздухом. Химическое закрепление участка и проходка его заняли около двух недель. Поверочным бурением через закрепленную корку была установлена зона распространения силиката около 60 см.

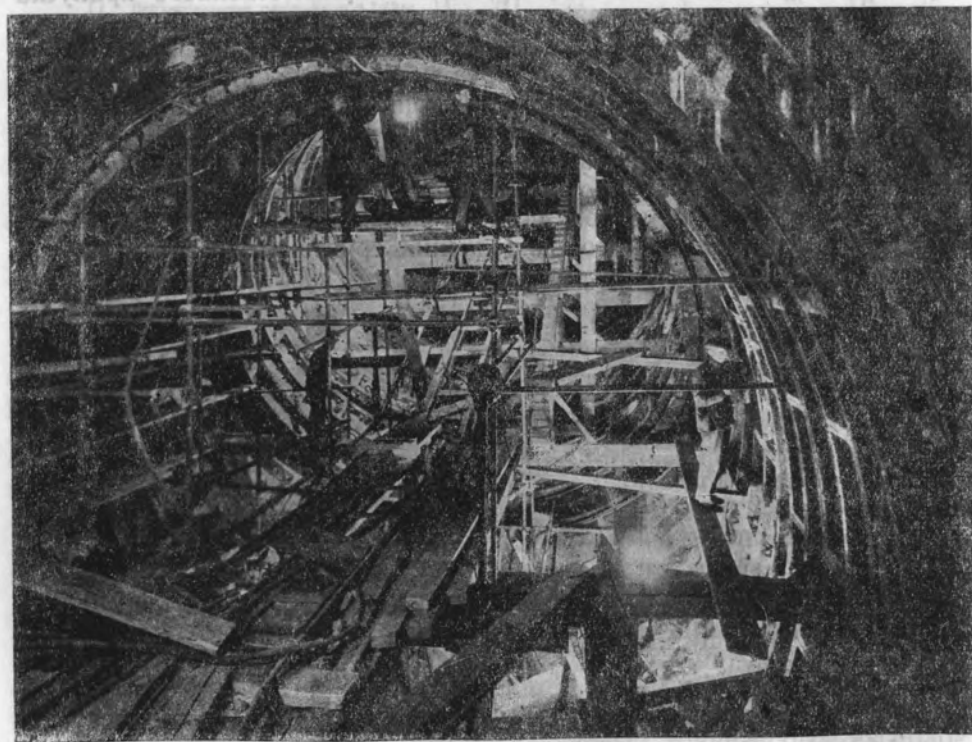


Рис. 74. Сопряжение эскалаторного тоннеля диаметром 6,92 м с нижней вестибюльной камерой диаметром 7,92 м.

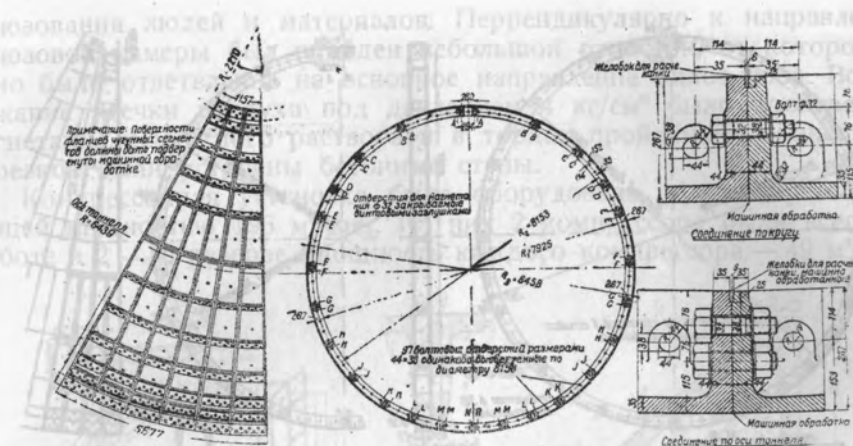


Рис. 75. Тоннельная обделка внутренним диаметром 7925 мм из чугуных сегментов на кривой.
Фигурные тубинги в месте сопряжения эскалаторного тоннеля с вестибюльной камерой станции „Ченсери Лайн“.

Работы по проходе эскалаторного тоннеля станции «Найт-бридж» производились в 2 смены по 11 часов.

Атака каждого забоя пилот-тоннеля или расширение его производилась 6 рабочими: 2 проходчиками-тубистами, 2 помощниками тубистов, 2 чернорабочими.

При продвижении забоя вперед параллельно с работами по расширению профиля, со специальных висячих подмостей подвешенных к готовой чугунной обделке велись работы по расчеканке стыков чугунных сегментов. Изоляция тубов производилась свинцом и специальной смесью «Раст».

Следующие сроки характеризуют темпы производства работ:

1. Подготовка, проходка и закрепление основной камеры и устья эскалаторного тоннеля с установкой диафрагмы шлюзов и оборудования сжатого воздуха — 12 недель.
 2. Устройство расширенного кольца длиной в 4,27 м — 4 недели.
 3. Забивка труб резервного крепления и труб для нагнетания химических реактивов — 4 недели.
 4. Химическое закрепление калоттной части профиля наклонного тоннеля — 12 недель.
 5. Проходка и облицовка эскалаторного тоннеля — 13 недель.
 6. Проходка и облицовка тьюбами сопряжения нижней части эскалаторного тоннеля со станцией по кривым — 2 недели.
 7. Расчеканка швов свинцом и смесью «Раст» — 2 недели.
- Всего 39 недель (около 10 месяцев).

Всего 39 недель (около 10 месяцев).

Проходка эскалаторного тоннеля западной части станции проводилась в два приема: по пилот-системе с раскрытием профиля с тоннеля (диаметр) 2,70 м сразу на диаметр 6,93 м. при эксцентричном размещении тоннеля. Проходка велась также при химическом закреплении слоя пльвуна в калоттной части профиля на протяжении 7.60 м.

Экскалаторные тоннели станции «Лейсестер Сквер». Наклонный ход станции «Лейсестер Сквер» выстроен при весьма благоприятных сухих условиях, по пилот-системе, с переходными диаметрами 2,70 м.;

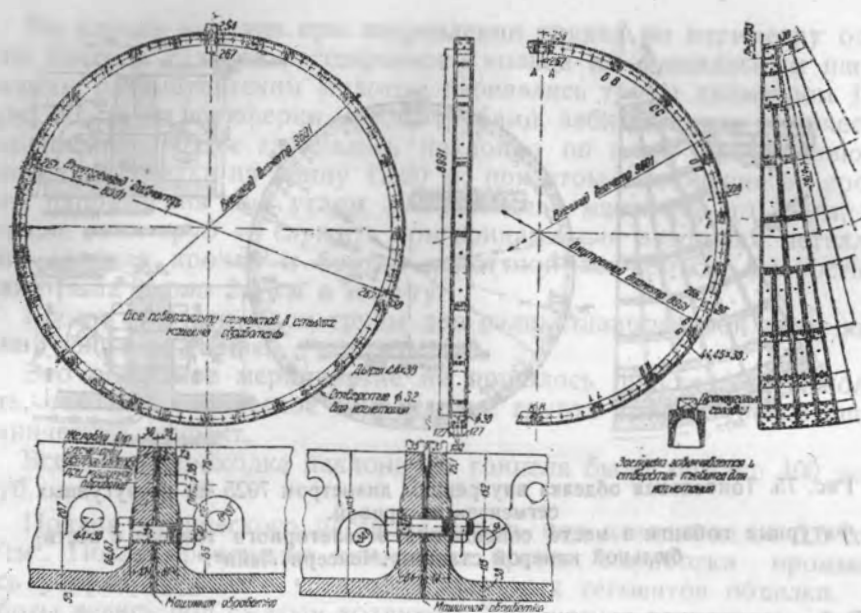


Рис. 76. Туб диаметром 8,98 м на прямой и кривой.

D_1 —2,70 м.—1,1 тон
 D_2 —4,30 м.—2,3 „
 D_3 —6,93 м.—6,9 „

4,30 м.; 6,93 м. при ширине кольца сегментов в 50 см. Примерный вес одного кольца, соответственно приведенным диаметрам, следующий:

Пилот-тоннель вначале проходилсЯ снизу вверх и вся порода вывозилась ночью по путЯм Эндерграунда в специальных рабочих поездах.

Скорость проходки пилот-тоннеля диаметром 2,70 м равнялась 14 м в неделю.

Скорость продвижения лба расширения пилот-тоннеля на диаметр 4,30 м была равна 10,6 в неделю.

Скорость продвижения лба расширения среднего тоннеля на полный диаметр в 6,93 выразилась 4,6 м в неделю.

Процесс расширения тоннелей производился также снизу вверх параллельно работам по устройству подземного вестибюля.

Методы работ, примененные при сооружении эскалаторного тоннеля станции «Лейсестер Сквер», в остальном идентичны с принципами, изложенными относительно пилот-системы.

Сооружение эскалаторного тоннеля станции «Ченсери-Лайн». Этот эскалаторный тоннель был пройден пилот-тубом диаметром 3,66 м с расширением сразу на полный профиль в 6,93 м. Наличие больших коллекторов для почты и канализации не позволяли начать проходку по основному направлению тоннеля и поэтому вначале пришлось сделать соответствующий обход. При слое плывуна в 3,00 м выявилась необходимость применения сжатого воздуха. В результате пришлось осуществить следующую систему:

От рабочей шахты был пройден тоннель-туб, в котором была устроена шлюзовая камера из двух бетонных перегородок с металлическими дверями. Камера была приспособлена для одновременного

шлюзования людей и материалов. Перпендикулярно к направлению шлюзовой камеры был пройден небольшой отросток, от которого и дано было ответвление на основное направление пилот-туба. Во избежание утечки воздуха под давлением 4 кг/см² было произведено нагнетание цементного раствора и в торцах пройденных тоннельных отрезков были устроены бетонные стены.

Компрессорная установка была оборудована 4 компрессорами общей мощностью 196 м³/мин. Из них 2 компрессора были всегда в работе и 2 — в резерве. Мощность каждого компрессора — 49 м³/мин.

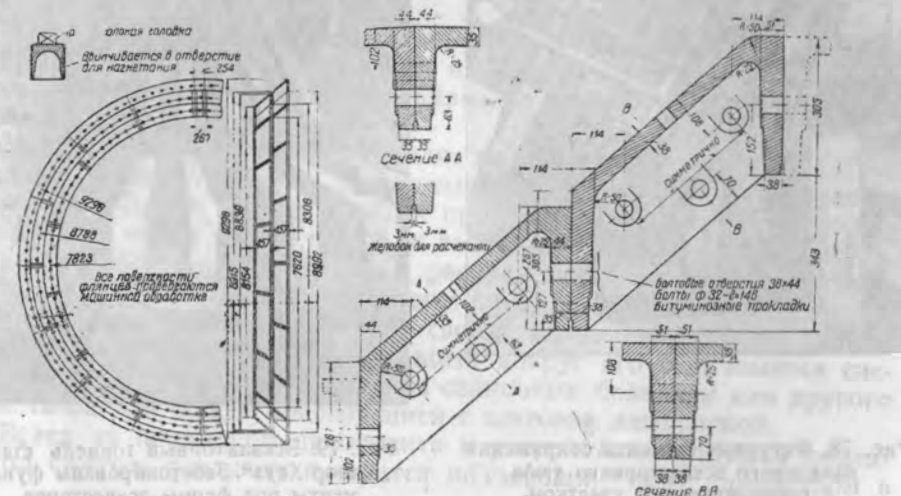


Рис. 77. Обделка из фигурных тубингов, примененных при сопряжении между собой тубов эскалаторных тоннелей ст. «Ченсери Лайн» диаметром 7,6 м и 8,9 м.

Расширение пилот-тоннеля велось как сверху, так и снизу, причем порода вывозилась специальными ночными рабочими поездами, подходившими к платформам станции «Ченсери Лайн».

Проходка пилот-тоннеля длиной 18,30 м продолжалась 4 недели. Вся проходка эскалаторного хода в тоннельной части продолжалась 19 месяцев.

Тоннель машинного здания эскалатора станции «Бэнк Монумент». состоящий из туба диаметром 7,92 м, и подходный тоннель диаметром 4,57 м станции «Бэнк Монумент» залегают в основном в глине, имея в верхней части сечения весьма сильно подвижной песок с гравием («лузбаласт»). Песчаный слой почти на половину сечения входил в отводимый участок нового коллектора, прокладываемого взамен старого, попадающего в табариты основных тоннелей станции.

Этот песчаный грунт, прорезанный сечением тоннельного профиля на величину 80 см от ключа по вертикальному диаметру, был настолько подвижен, что при разработке он неудержимо высыпался.

Применение сжатого воздуха в этих условиях, когда почти не было воды, было неуместным. Решено было провести силикатизацию, закрепив слой в 60 см толщиной выше шелыги свода.

Проходка коллектора, облицованного чугунными сегментами, производилась при химическом закреплении песчаных грунтов. Через защитный забой по периферии профиля пневматическим молотом забивались трубы в расстоянии 50 см между центрами их. Учитывалось,

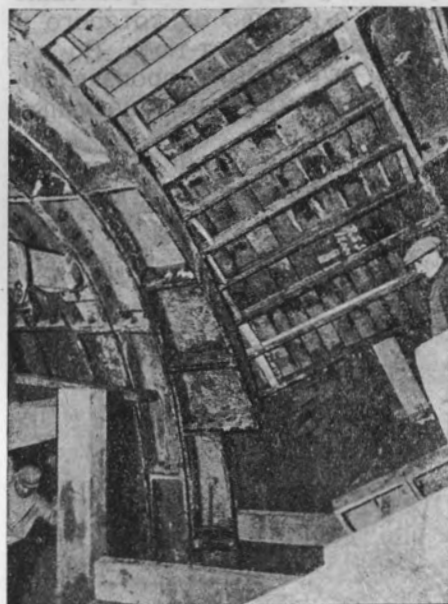


Рис. 78. Фигурные сегменты сопряжения наклонного эскалаторного туба с горизонтальным участком.

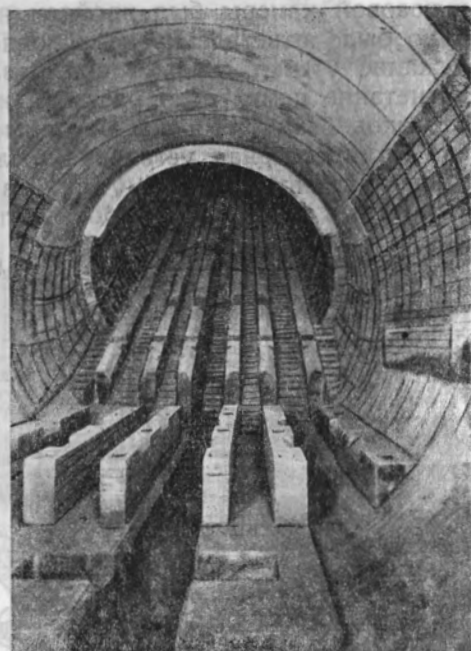


Рис. 79. Эскалаторный тоннель станции „Манор Хауз“. Забетонированы фундаменты под фермы эскалаторов.

что радиус сферы распространения силикатизации в местных условиях равен 30 см.

Химические реактивы нагнетались под давлением от 3 до 10 атмосфер. На протяжении 11 колец — 5,60 м забивка труб производилась в два посада, причем второй ряд труб вписывался в первый. После производства химического закрепления грунта открывался забой, а кровля закрепленного «лузбаласта» поддерживалась временным деревянным креплением.

В процессе установки тубингов верхней части профиля при удалении деревянного крепления грунт стоял с обнаженными поверхностями, не проявляя никакой подвижности. Пробуренными отверстиями в закрепленном массиве установлено, что зона силикатизации распространилась на 30—45 см выше расположения труб.

Разработка силикатизированного грунта, входившего в проектный профиль тоннеля коллектора, потребовала применения пневматических отбойных молотков. Силикатизация участка протяжением 6 колец занимала 24 часа.

Химическое закрепление верхней части профиля тоннеля, машинного помещения эскалатора и подходного тоннеля производилось из старого, столетней давности, подлежавшего уборке коллектора. Трубы забивались на расстоянии 50 см. между центрами, расширяясь веерообразно до 60 см. Работы производились круглые сутки при определенной последовательности, а именно: на протяжении 6 колец, велось бурение и химическое закрепление грунта, а в предыдущих 6 уже закрепленных кольцах — выборка породы и устройство обделки (рис. 71—73).

Скважины для силикатизации закладывались кроме того из забоя сооружаемого тоннеля, из смотровых колодцев канализации и из подвалов расположенного вблизи дома, фундамент которого был также закреплён реактивами, по перфорированным трубам длиной 9,14 м.

Интересно отметить, что песчаный и гравелистый грунт под фундаментом указанного дома содержал до 24% загрязненных илистых включений. Засиликатизированный образец этого грунта выдержал испытание на раздробление 16,1 кг/см².

Подходный тоннель диаметром 4,57 м пройден аналогичным порядком при предварительном химическом закреплении профиля из старого коллектора.

Проходка эскалаторных тоннелей в плавунных породах «пилот-щитом». Для сооружения длинных наклонных ходов в плавунных породах английской фирмой «Маркхэм» за последнее время разработан прием пилот-щита.

Предварительно тоннель проходят пилот-щитом диаметром 4,57 м, имеющим нижний аванбек. Домкраты в хвосте щита распределены таким образом, что в нижней части профиля они имеют более частое размещение, чем в части профиля выше горизонтального диаметра. Нижнее расположение аванбека и распределение домкратов сделано с целью воспрепятствовать тенденции щита «клевать аванбеком» во время продвижения его по уклону сверху вниз. Для этой же цели и для предотвращения от поворота щита вокруг его оси, имеется специальная платформа для баласта из свинцовых болванок или другого груза, связанная общей конструкцией с щитовой диафрагмой.

Вслед за проходкой пилот-щита и устройством чугунной обделки под сжатым воздухом пускается обемлющий щит диаметром в

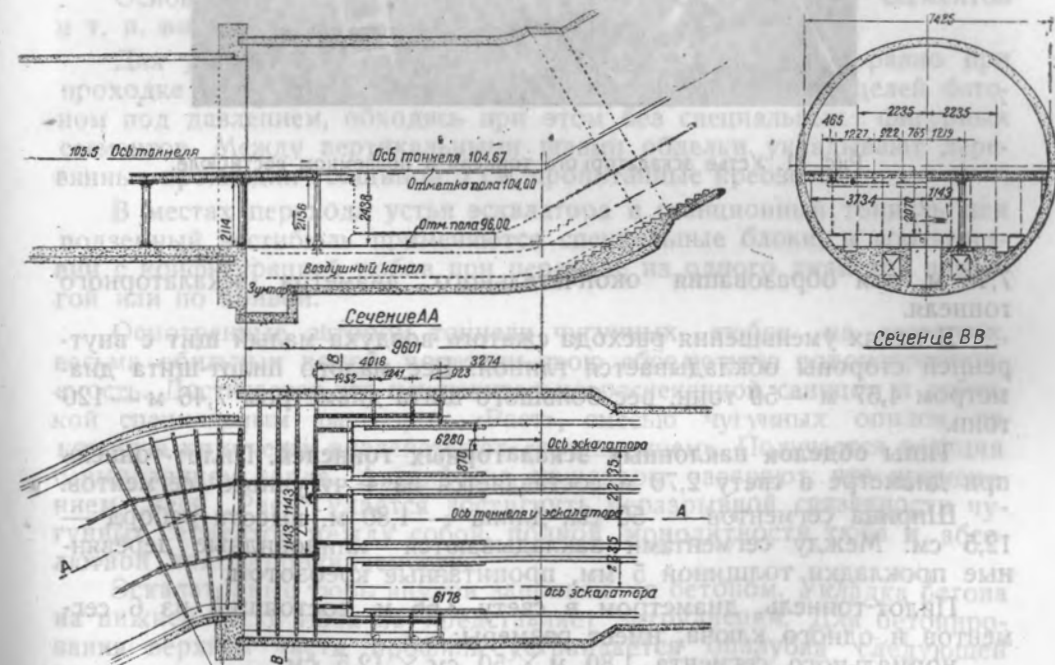


Рис. 80. Сопряжение эскалаторного тоннеля с нижним подземным вестибюлем станции Лондонского Эндерграунда.

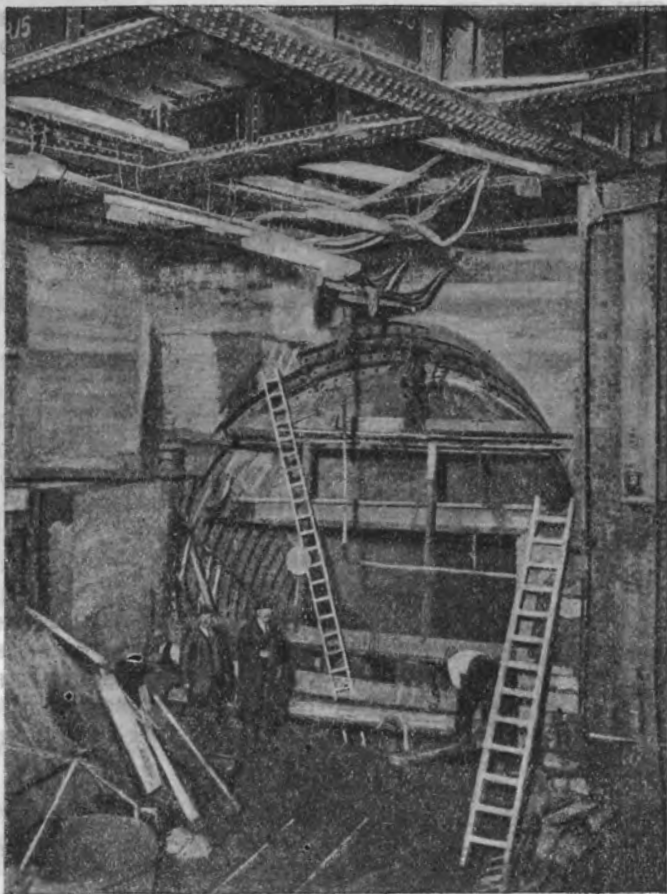


Рис. 81. Устье эскалаторного тоннеля в подземном вестибюле.

7,46 м, для образования окончательного диаметра эскалаторного тоннеля.

В целях уменьшения расхода сжатого воздуха малый щит с внутренней стороны обкладывается глиной. Вес малого пилот-щита диаметром 4,57 м — 50 тонн, вес большого щита диаметром 7,46 м — 120 тонн.

Типы обделок наклонных эскалаторных тоннелей. Пилот-тоннель при диаметре в свету 2,70 м составляется из 4 чугунных сегментов.

Ширина сегментов — 50 см, длина — 1,80 м, высота реборд — 12,5 см. Между сегментами закладываются клиновидные деревянные прокладки толщиной 5 мм, пропитанные креозотом.

Пилот-тоннель, диаметром в свету 3,66 м, состоящий из 6 сегментов и одного ключа, имеет размеры:

нормального сегмента $1,80 \text{ м} \times 50 \text{ см} \times 12,5 \text{ см}$,

ключевого сегмента $26 \text{ см} \times 50 \text{ см} \times 12,5 \text{ см}$.

Эскалаторный тоннель внутреннего диаметра 6,93 м состоит из



Рис. 82. Устройство опалубки для работ по заполнению ребер тубингов тоннеля бетоном.

12 нормальных чугунных сегментов и одного ключевого. Размеры нормального сегмента $1,80 \text{ м} \times 50 \text{ см} \times 20 \text{ см}$.

Основные размеры фланцов, желобков, фигурных сегментов и т. п. видны из чертежей и прилагаемых таблиц.

Для устройства криволинейных участков тоннеля, а равно при проходке пилот-тоннеля употребляют метод заполнения щелей бетоном под давлением, обходясь при этом без специальных фигурных сегментов. Между вертикальными швами обделки укладывают деревянные прокладки толщиной 5 см, пропитанные креозотом.

В местах перехода устья эскалатора в станционный тоннель или подземный вестибюль применяются специальные блоки, в соответствии с конфигурацией тубов при переходе из одного диаметра в другой или по кривой.

Осмотренные автором тоннели чугунных тубов на участках, весьма обильных водой, показали свою абсолютную водонепроницаемость. Достигается это исключительно расчеканкой свинцом и забивкой специальным раствором «Раст», смесью чугунных опилок, на которую химически воздействуют «салламнием». Получается реакция с выделением тепла. Английские инженеры заверяют, что применением смеси «Раст» удается достигнуть неразрывной связанности чугунных сегментов между собой, полной монолитности туба и абсолютной водонепроницаемости.

Эскалаторные тубы внутри заполняются бетоном. Укладка бетона на нижней части туба не представляет затруднений. Для бетонирования верхней части профиля устраивается опалубка следующей конструкции: к чугунным сегментам обделки прибалчиваются угольники или полосовое железо, между которыми заводятся доски. (рис. 82).

Сопоставляя условия проходки наклонных эскалаторных тоннелей

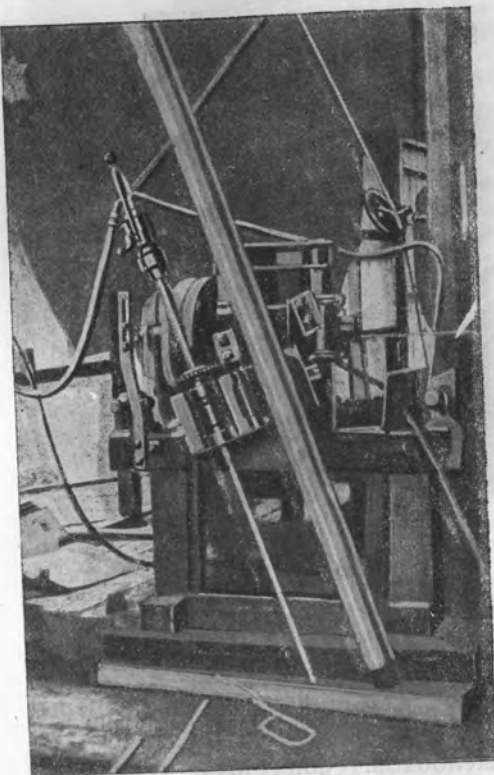


Рис. 83. Новейший станок Ингерсоль Рэнд для бурения наклонных скважин под требуемым углом.

глубоких станций Московского метрополитена с наклонными тоннелями Лондонского Эндерграунда, приходится констатировать, что трудности, встреченные, англичанами при наклонном пересечении плавунув толщиной в 4—6 м, практически невелики по сравнению с теми трудностями которые пришлось преодолеть советским инженерам при пересечении пластов плавунув, мощностью до 20 м.

Наряду с использованием английского опыта, нам пришлось прибегнуть к более мощному специальному методу — замораживанию грунтов. Впервые в истории тоннельной техники советские инженеры провели работы по замораживанию наклонных выработок наклонными скважинами.

Это по сравнению с рекомендуемым мировой практикой методом замораживания вертикальными скважинами всего призматического земляного массива дало огромный технико-экономический эффект.

§ 6. Сооружение подземных станционных Вестибюлей

Как уже мы указывали Лондонский Эндерграунд имеет на своих линиях станционные вестибюли надземного и подземного типов. Первые не представляют собой ничего особенного в части строительной и поэтому они здесь не описываются.

Подземные вестибюли Эндерграунда имеют размеры в плане диаметр до 50 м (рис. 74). Будучи расположенными под самой поверхностью мостовой, они естественно затрагивают сложную подземную сеть городского хозяйства и фундаменты домов. Непременным поэтому требованием города, включенным в общие кондиции производства работ, является сооружение вестибюля со всеми входами и выходами без нарушения уличного движения и нормального

функционирования подземного хозяйства. Это незыблемое требование города заставило английских инженеров изыскать специальные методы для сооружения вестибюлей.

Совершенно очевидно, что проще всего и скорее строить вестибюли открытым путем с поверхности. Однако, в связи с требованиями города англичане на это не идут, а производят работы более медленным и дорогим, оригинальным подземным, а в исключительных случаях комбинированным путем.



Рис. 84. Общий вид подземного вестибюля станции „Манор Хауз“

Ниже будут описаны методы работ, принятые при сооружении подземных вестибюлей на станциях Эндерграунда: «Лейсестер Сквер», «Ченсери Лайн» и «Найтбридж».

Подготовительные работы. До приступа к сооружению подземного вестибюля предварительно производится в зависимости от местных условий перекладка подземного хозяйства: газа, водопровода, канализации, электрокабелей, телефона, сигнализации, гидравлических магистралей, почты и т. п. без перерыва движения. Укладка новых магистралей подземного хозяйства при сооружении вестибюля станции «Найтбридж» производилась участками в 3,70 м без перерыва уличного движения.

При сооружении подземного вестибюля станции «Лейсестер Сквер» понадобилось предварительно убрать все подземное хозяйство, уложенное в тоннеле, построенном 50 лет назад непосредственно

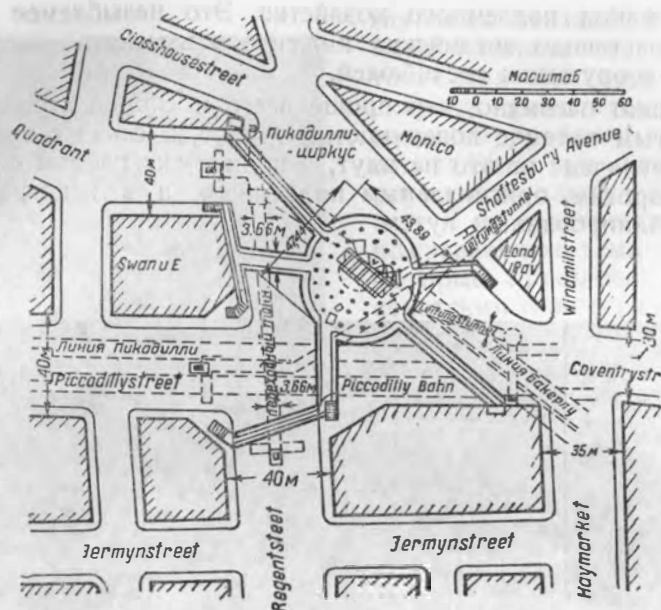


Рис. 85. План расположения нового подземного вестибюля станции „Пикадилли Серкус“ с подземными переходами, при устройстве эскалаторов.

под поверхность мостовой. Этот тоннель, содержащий до 70 канализационных магистралей и проводов, врезался в тело сооружаемого вестибюля.

Вследствие этого была начата прокладка под вестибюлем и машинным помещением эскалатора новых специальных наклонных тоннелей-коллекторов с разветвлениями в местах пересечения с улицей, в соответствии с требованиями городского подземного хозяйства.

Полная стоимость прокладки тоннеля-коллектора, облицованного чугунными сегментами, выразилась в 700 фунтов стерлингов за пог. метр (рис. 90).

При сооружении подземных вестибюлей приходилось также усиливать существующие коллекторы, проходящие ниже вестибюля. Так например потребовалось туб из чугунных сегментов диаметром 4,5 м усилить на $2\frac{1}{2}$ кирпича, уменьшив при этом диаметр. Вынужденная реконструкция тоннеля велась малыми частями: вынимались чугунные сегменты и устраивалась кирпичная кладка. Помимо урегулирования вопроса с подземным хозяйством часто приходилось проводить весьма ответственные работы по укреплению и подводке оснований и фундаментов близ расположенных зданий. Иногда работы производились непосредственно под домами. Так например при постройке эскалаторов и вестибюля станции «Лейсестер Сквер» пришлось проходить под шестиэтажным домом стоимостью в 100 000 фунтов стерлингов.

За разрешение производить подводку фундаментов под этим домом Лондонскому Эндерграунду пришлось компенсировать его владельцу суммой в 10 000 фунтов стерлингов.

Сооружение вестибюлей подземным способом. Подземные вестибюли в Лондоне в зависимости от расположения и эксплуатационной работы станции имеют размеры до 50 м диаметром (Лейсестер Сквер, Пикадилли Серкус).

Такой вестибюль представляет собой конструкцию из плоского несущего перекрытия, поддерживаемого системой колонн и бетонной или кирпичной стеной.

Расположение балок и колонн подземных вестибюлей на этих станциях продиктовано отнюдь не конструктивными соображениями, а практическими возможностями, предусмотренными мотивированным проектом производства работ. Учитываются местные условия, расположение рабочих площадок, зданий, направление уличного движения, подземного хозяйства и т. п. В результате расположения балок несущего перекрытия имеет иногда самое причудливое направление (рис. 93).

Сущность метода, применяемого для сооружения подземных вестибюлей тоннельным способом, заключается в следующем: системой штолен, а в зависимости от местных условий и колодцами из штолен подземным способом выкладываются стены вестибюля по требуемому контуру. Из нескольких точек ведутся подходы галереи к точкам расположения колонн, откуда проходятся слепые колодцы до проектной отметки подошвы башмака. Далее закладываются фундаменты колонн и ведется установка в колодцах.

В штольнях по возведенным колоннам и стенам укладываются балки несущего перекрытия; лишь в исключительных случаях некоторые балки укладываются открытым путем ночью, без прерыва движения. Когда готов весь основной конструктивный скелет—стены, колонны и перекрытие—приступают к извлечению земляного ядра вестибюля подземным путем, так как в этом случае уже не приходится опасаться осадок на поверхности.

Производство работ ведется с рабочих площадок, обслуживае-

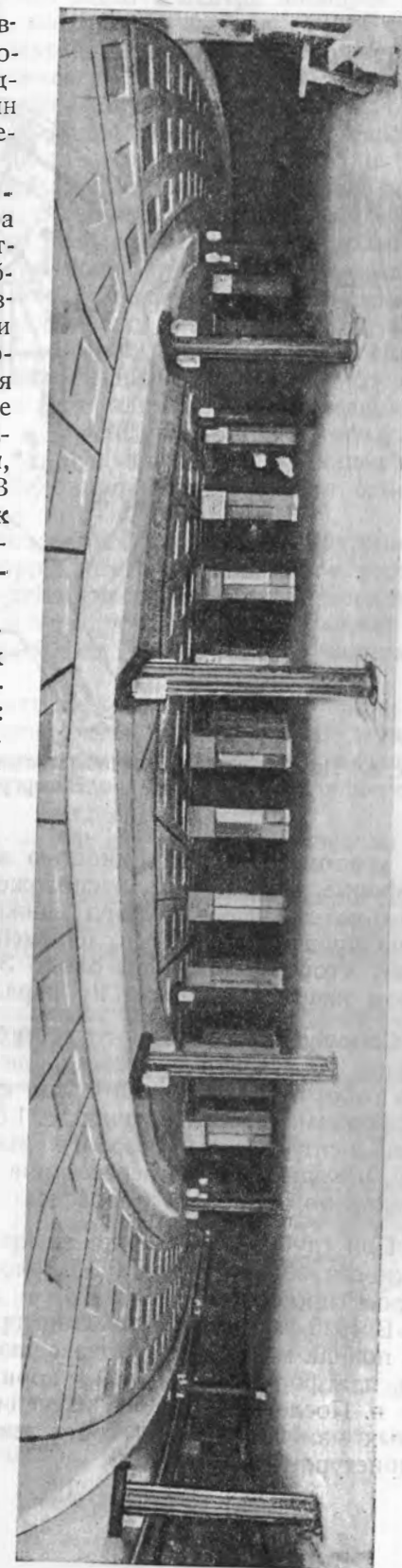


Рис. 86. Общий вид подземного вестибюля станции „Пикадилли Серкус“, перекрытие которого заложено на 60 см от поверхности мостовой.

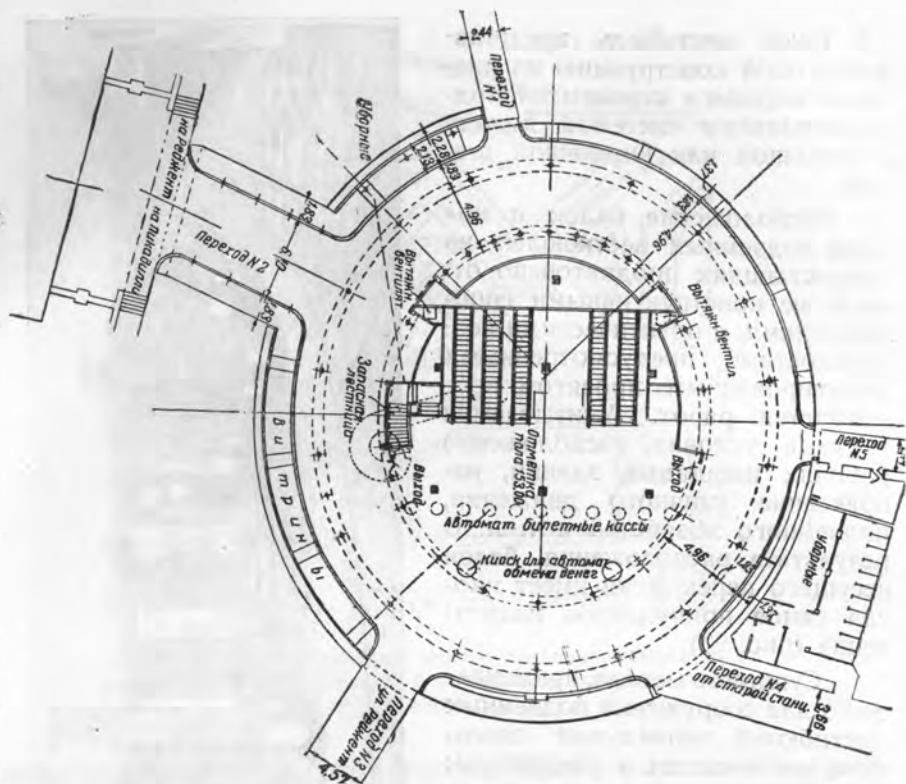


Рис. 87. План подземного вестибюля станции „Пикадилли Серкус“ Лондонского Эндерграунда.

ных краном, грузоподъемностью в тонну и бадьей 0,30—0,40 м³ на платформе. Площадки расположены по улице таким порядком, чтобы не стеснять уличного движения. При узких улицах рабочую площадку последовательно перемещают, оставляя свободный проезд в одну сторону, шириной около 3,5 м, учитывая, что проезд в обратном направлении идет по параллельной улице.

Сооружение подземного вестибюля станции «Пикадилли-Серкус». Станция Эндерграунда «Пикадилли-Серкус», построенная еще 1906 г., была оборудована лифтами для сообщения между поверхностью и платформами и обслуживала до 1,5 млн. пассажиров в год. При развитии центрального делового района, обслуживаемого этой станцией, находящейся на пересечении двух подземных линий Пикадилли и Бакерлоо Лайн, потребовалась коренная реконструкция станции.

При глубине заложения тубов линии Пикадилли на 31 м от поверхности земли и линии Бакерлоо на 26,2 м от поверхности было запроектировано 11 эскалаторов двухмаршевого типа (рис. 87, 88).

В 1925 г. после составления проекта реконструкции была выстроена полная модель, воспроизведшая все сложные узлы входов, выходов, платформ, вестибюлей, коридоров, наклонных ходов, тубов и т. п. После тщательного изучения этой модели и внесения необходимых изменений были составлены окончательный проект, чертежи и приступлено к работам.

Для производства тоннельных работ в центре площади Пикадилли-Серкус на месте памятника, который убрали на время строительства, была отведена рабочая шахтная площадка. По окончании работ памятник был водворен на прежнее место.

Шахта диаметром 5,50 м, заложенная на глубину 28 м, была обогрдована для выдачи породы и подачи материалов. Предварительно по периферии сооружаемого подземного вестибюля эллиптического сечения 48×44 м был пройден специальный тоннельный ход круглого сечения диаметром 3,66 м, облицованный чугунными сегментами и предназначенный для укладки всей сети подземного хозяйства.

В зависимости от положения подземных магистралей, лежавших под 6-ю улицами, радиально сходящихся к площади, прокладывались специальные ходы в разнообразных направлениях и уклонах на глубине от 4,60 м до 9,10 м от поверхности. Длина этого специального кольца равнялась 168 м; длина наклонных подходов, соединявших кольцо с подземным хозяйством под радиально примыкающими улицами магистральями, равна 914 м. После укладки всех городских подземных сооружений во вновь сооруженный ход и включения их в работу было прекращено функционирование элементов сети, лежавших под площадью.

Производству основных подземных работ по сооружению наклонных тоннелей для эскалаторов, камер и подземного вестибюля в основном благоприятствовали геологические условия. Верхний слой состоял из насыпного грунта и песка с гравием («баласт») и имел незначительный дебит грунтовых вод. Ниже залегал мощный пласт водонепроницаемой глины.

Подземный вестибюль эллиптического сечения размерами 48×44 м в плане состоит из обрамляющих стен из тяжелого лондонского кирпича и трех рядов концентрически расположенных металлических колонн, поддерживающих плоское перекрытие из металлических клепаных балок (рис. 86).

Общее количество колонн — 64; расчетная нагрузка на каждую от 80 до 150 тонн.

Сооружение вестибюля велось следующим порядком: по линии стен вестибюля были пройдены штольни, из которых спускались колодцы для закладки фундаментов стен. Отступая, производилось за-

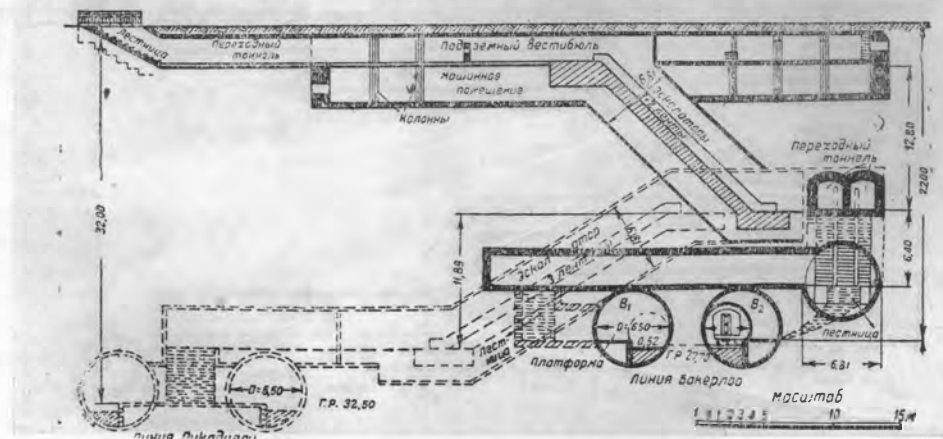


Рис. 88. Разрез по станции и вестибюлю реконструированной станции „Пикадилли Серкус“.

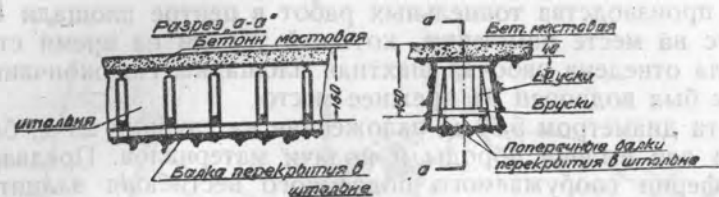


Рис. 89. Проходка штольной под мостовой для закладки металлических балок несущего перекрытия.

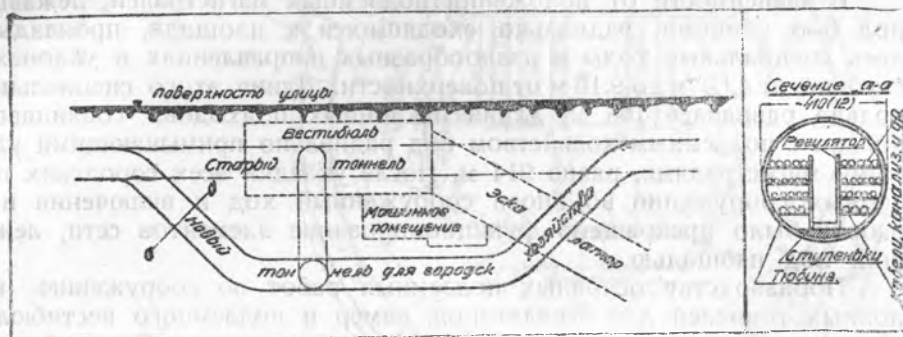


Рис. 90. Схема отвода подземных сооружений в новый коллектор при сооружении подземного вестибюля станции „Лейсестер Сквер“.

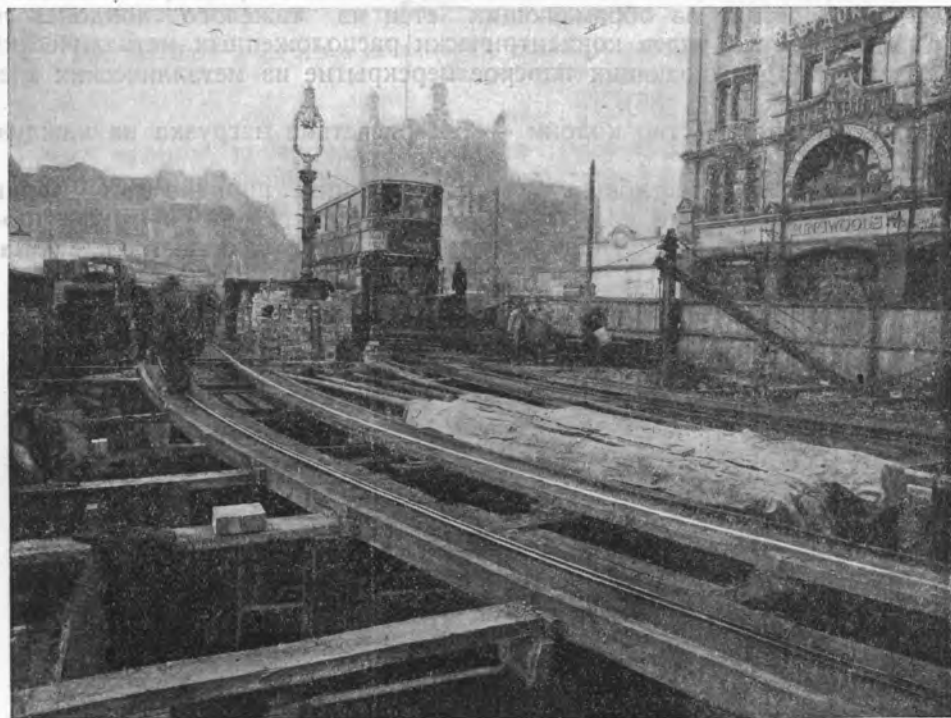


Рис. 91. Пропуск трамвайного движения при сооружении подземного вестибюля в огороженном участке.

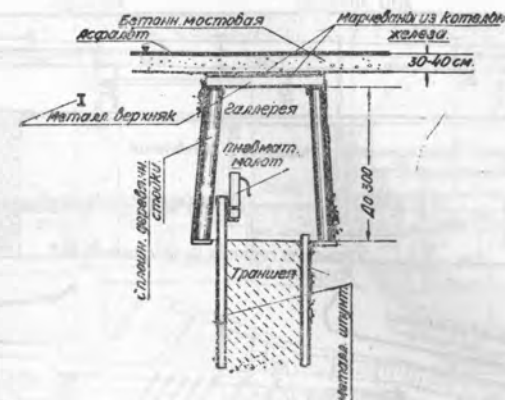


Рис. 92. Проходка штольной непосредственно под бетонной мостовой при сооружении стен вестибюля. Показан момент забивки шпунта из штольни пневматическим молотом при зетообразном наголовнике.

полнение самих штолен кладкой стен для подземного вестибюля. Металлические элементы несущего перекрытия укладывались на возведенные стены и колонны также подземным путем в специальных штольнях без нарушения уличного движения. После устройства несущего перекрытия часть породы внутреннего ядра вестибюля была удалена по пройденным наклонным ходам для эскалаторов рабочими поездами, подходившими к платформам станций Эндерграунда в ночное время.

Станция «Пикадилли Серкус» является одной из оживленнейших станций Лондонского Эндерграунда и производит весьма приятное впечатление. Обширный, частично облицованный мрамором и оборудованный витринами магазинов, подземный вестибюль является не только приемной площадкой для пассажиров, но одновременно служит подземным переходом под площадью Пикадилли Серкус, на которой сосредоточено исключительно мощное уличное движение.

Работы по реконструкции этого сложного узла без перерыва движения потребовали 4 лет. На тоннельных работах было занято ежедневно до 200 рабочих.

Стоимость работ по реконструкции выразилось в 500 000 фунтов стерлингов.

Сооружение подземного вестибюля «Лейсестер Сквер». Наибольший размер подземного вестибюля этой станции имеет в плане около 52 м. Стены его в некоторых местах проходят непосредственно под домами.

Стены машинного помещения эскалатора не совпадают со стенами вестибюля.

Фронт работ был открыт из 3-х шахт.

Из шахты № 1 на глубине 5,5 м от поверхности велся подходный штрек-туб к стене машинного здания для эскалатора. На этом горизонте по очертанию стен проходила штольня размерами по верху 1,5 м по низу и по высоте 2,00 м. Грунты, в которых велась постройка вестибюля, являлись напластованиями культурных слоев с включением песков и суглинков с практически ничтожным притоком грунтовых вод.

Крепление штольневых рам — металлическое, из двутавров № 20 при металлических марчеванах. Рамы устанавливались на расстоянии 0,9 м друг от друга. Через отверстия в потолке и бортах штольни производилось нагнетание цементного раствора под давлением 3 атмосфер для заполнения пустот и локализации распространения осад-

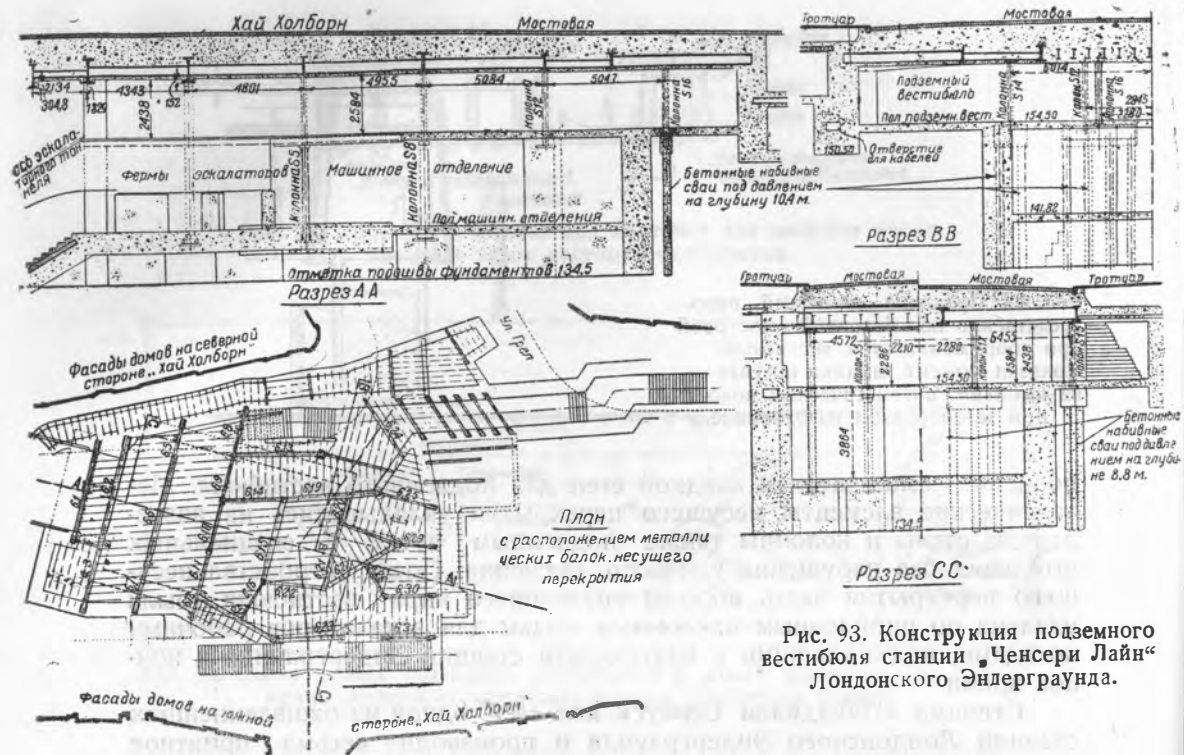


Рис. 93. Конструкция подземного вестибюля станции «Ченсери Лайн» Лондонского Энтерграунда.

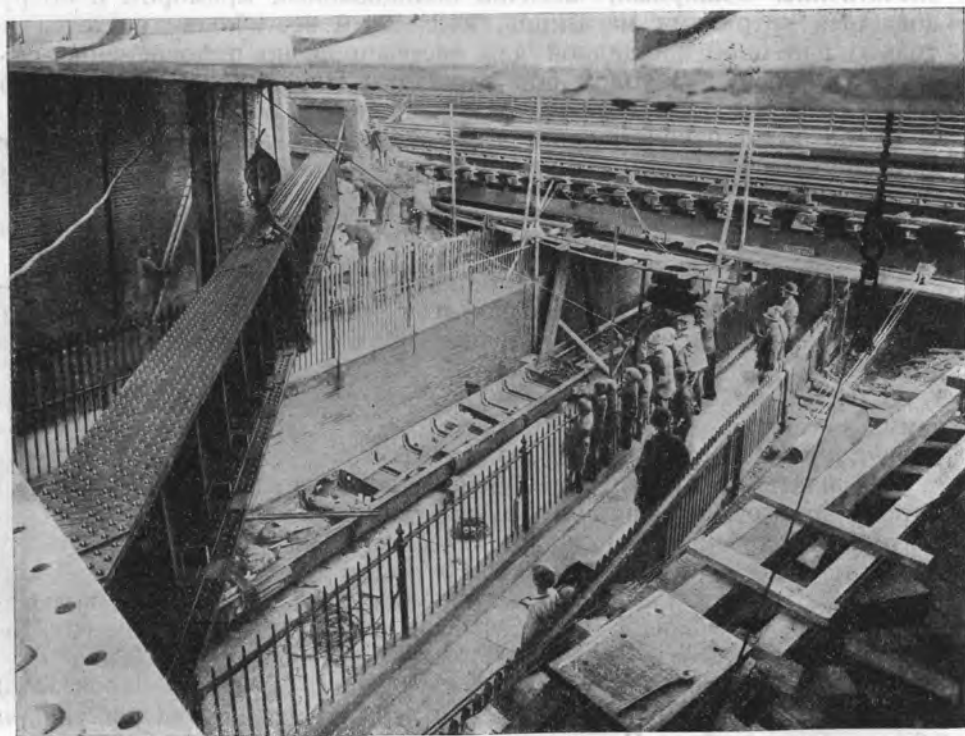


Рис. 94. Заведение специальных балок несущего перекрытия подземного вестибюля.

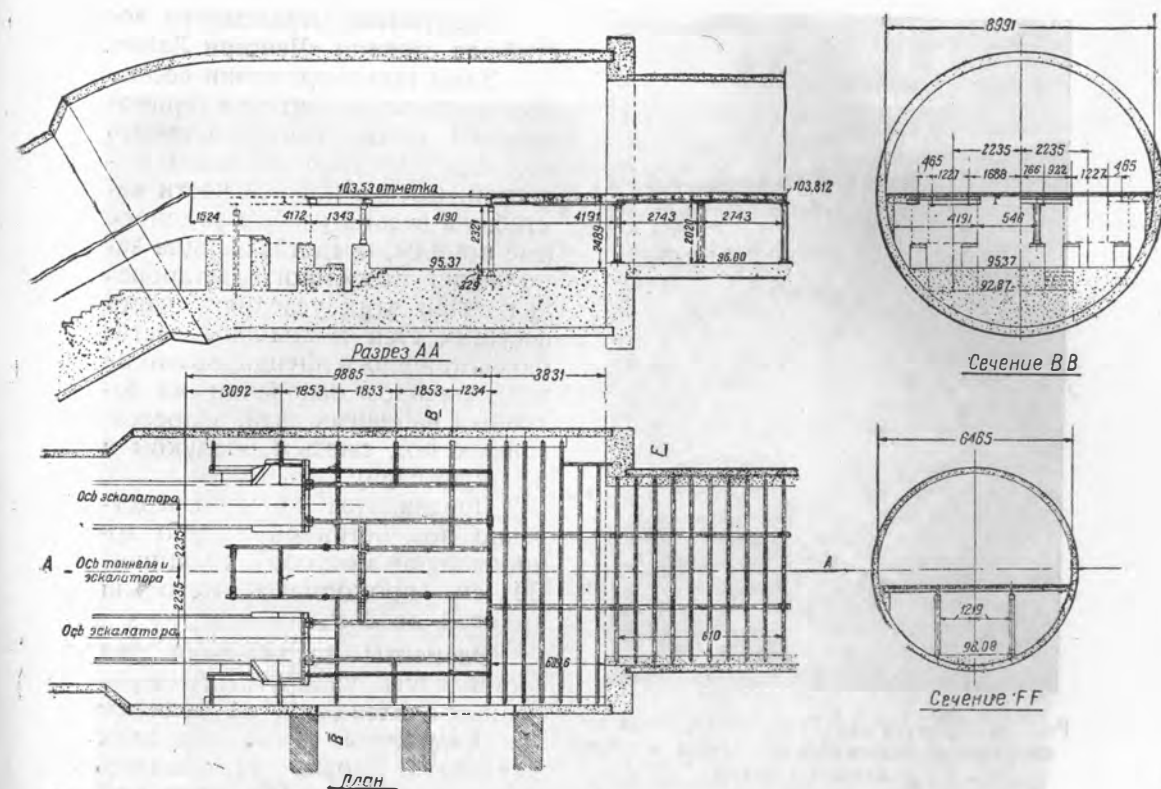


Рис. 95. Сопряжение эскалаторного тоннеля с верхним подземным вестибюлем.

док. Марчеваны подходили непосредственно к поверхности бетонной мостовой, причем во избежание осадок ни в коем случае не оставлялся имевшийся малый слой грунта.

После проходки штольни на протяжении 20 м велась углубка колодцев до отметки подошвы машинного помещения. По окончании закладки нижней части стен в колодцах производилась кладка верхней части в штольнях с отступлением от забоя к шахте.

Из шахт № 2 и № 3, чтобы уменьшить глубину колодцев, работы велись следующим порядком: сначала проходились нижние штольни по подошве фундаментов стен, заполнявшиеся кладкой из тяжелого лондонского кирпича. Затем проходилась верхняя штольневая горизонт, из которого опускались колодцы до горизонта кладки, выложенной в нижних штольнях. Наконец, отступая к шахтам, производилось завершение кладки стен подземного вестибюля.

Перекрытия и колонны устраивались частью подземным и частично открытым способом, с поверхности рабочих площадок. Извлечение земляного ядра производилось подземным путем.

При постройке вестибюля «Лейсестер Сквер» пришлось вести проходку под домами. В целях ограждения жилых зданий от шума и вибрации Энтерграунда строители по площади стены дома укладывали промежуточные деревянные рамы из брусков в 12 см., которые затягивались листами толя, при оставлении воздушных прослоек. После этого уже возводилась капитальная стена подземного вестибюля.

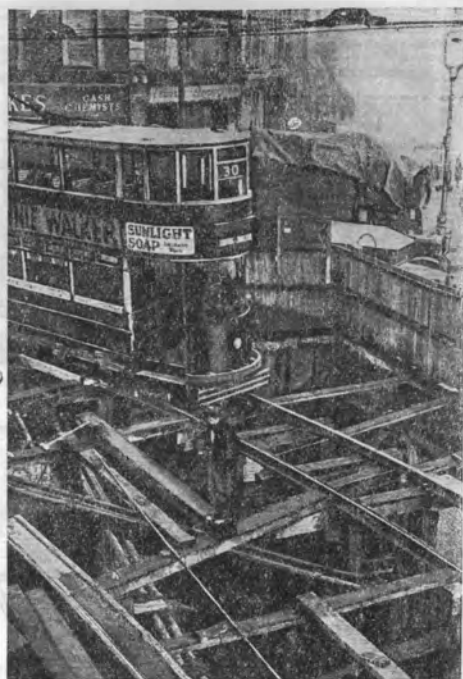


Рис. 96. Пропуск двухэтажного трамвая при сооружении подземного вестибюля в огороженном участке.

металлическими марчеванами под основание бетонной мостовой. Эти работы проводились англичанами с большой уверенностью и умением, причем никаких осадок поверхности и деформации асфальтового покрытия проезжей части не наблюдалось.

Нижняя часть стен, находившаяся в слабых суглинистых грунтах, выкладывалась в траншее следующим порядком: из штольни верхнего горизонта высотой в 3,00 м забивались вблизи внутренних граней штендеров два ряда металлического шпунта. Забивка последнего в виду ограниченности габарита производилась при посредстве специального зетообразного приспособления для возможно более эффективной работы пневматического молота (рис. 92). После забивки шпунта вырывалась траншея, причем если оказывалось при вскрытии, что грунт основания слабый, то устраивалось искусственное основание из набивных бетонных свай.

Колонны устраивались в колодцах из подходов штолен.

Аналогичным порядком через штольни протаскивались элементы металлического перекрытия. Остальные работы не вызывали особых затруднений. Стоимость реконструкции станции «Ченсери «Лайн» была 230.000 фунтов стерлингов. Строительный период — 2 года.

Сооружение подземного вестибюля станции «Найтбридж». Подземный вестибюль станции «Найтбридж» имеет подошву заложения на 6,10 м от поверхности и 1,10 м засыпки над перекрытием. Разработка велась в условиях насыпного и песчанистого грунта. Горизонт грунтовых вод находился на середине высоты вестибюля; на 1,83 м ниже подошвы вестибюля залегающий водонесный песок переходил в плывун.

Сооружение подземного вестибюля станции «Ченсери Лайн».

Здесь при сооружении вестибюля проходку штолен приходилось вести непосредственно под поверхностью бетонной мостовой, имея в нижней части вестибюля весьма слабые водоносные породы, представляющие заполнения подземного староречья. При этих условиях часть несущих стен и колонны вестибюля пришлось фундаментировать на искусственном основании из бетонных набивных свай, запрессованных под сжатым воздухом в плотную глину.

Предварительно непосредственно под бетонной, слабо армированной мостовой толщиной 30 см. проходила штольня высотой до 3 м.

Элементы штольневых рам составлялись из круглых деревянных штендеров на подкладках, верхняки — из железных двутавров. Кровля затягивалась

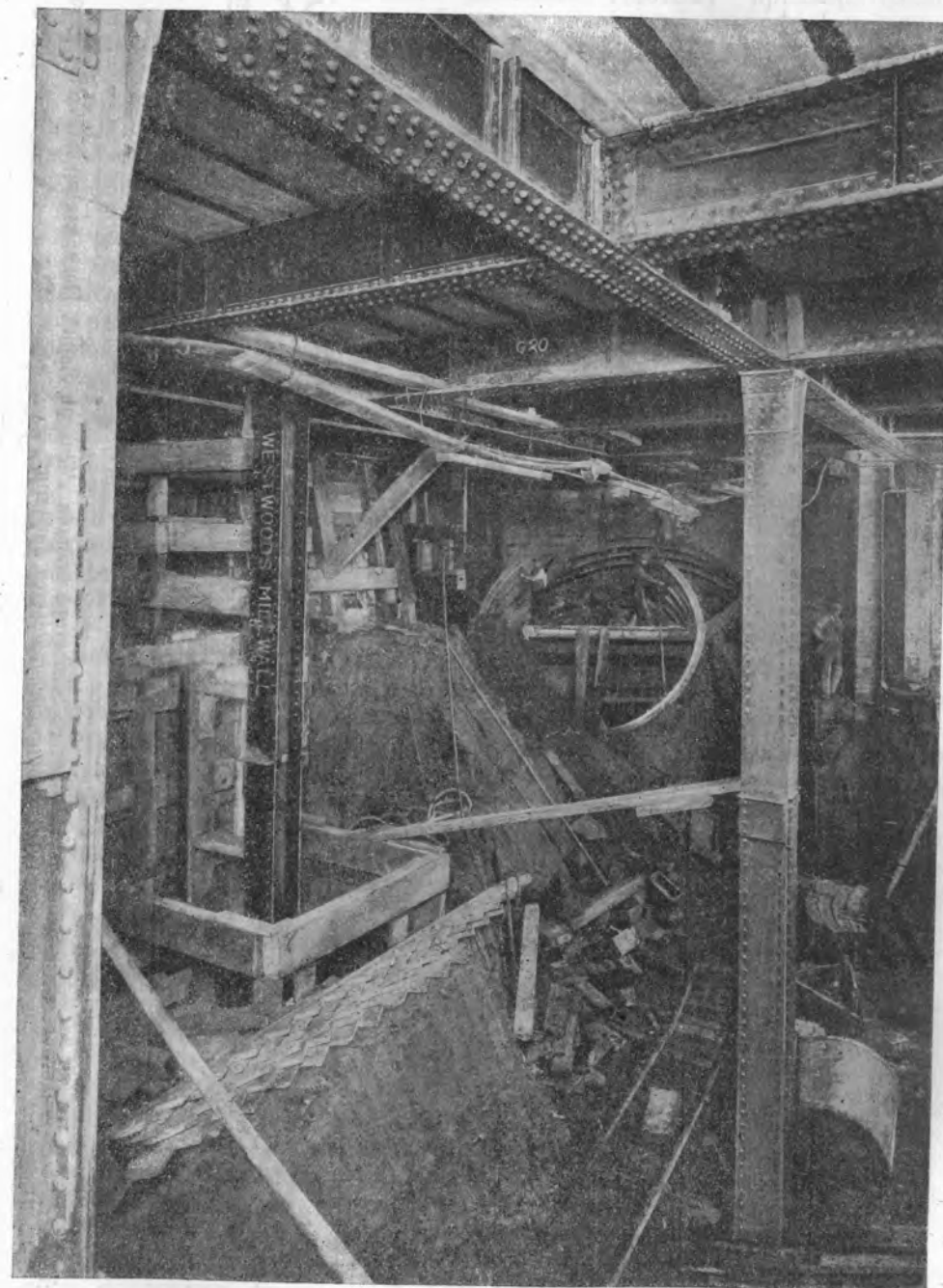


Рис. 97. Момент выборки ядра при сооружении подземным путем несущих конструкций стен, колонн и перекрытия вестибюля станции. Виден «пилот-тоннель».

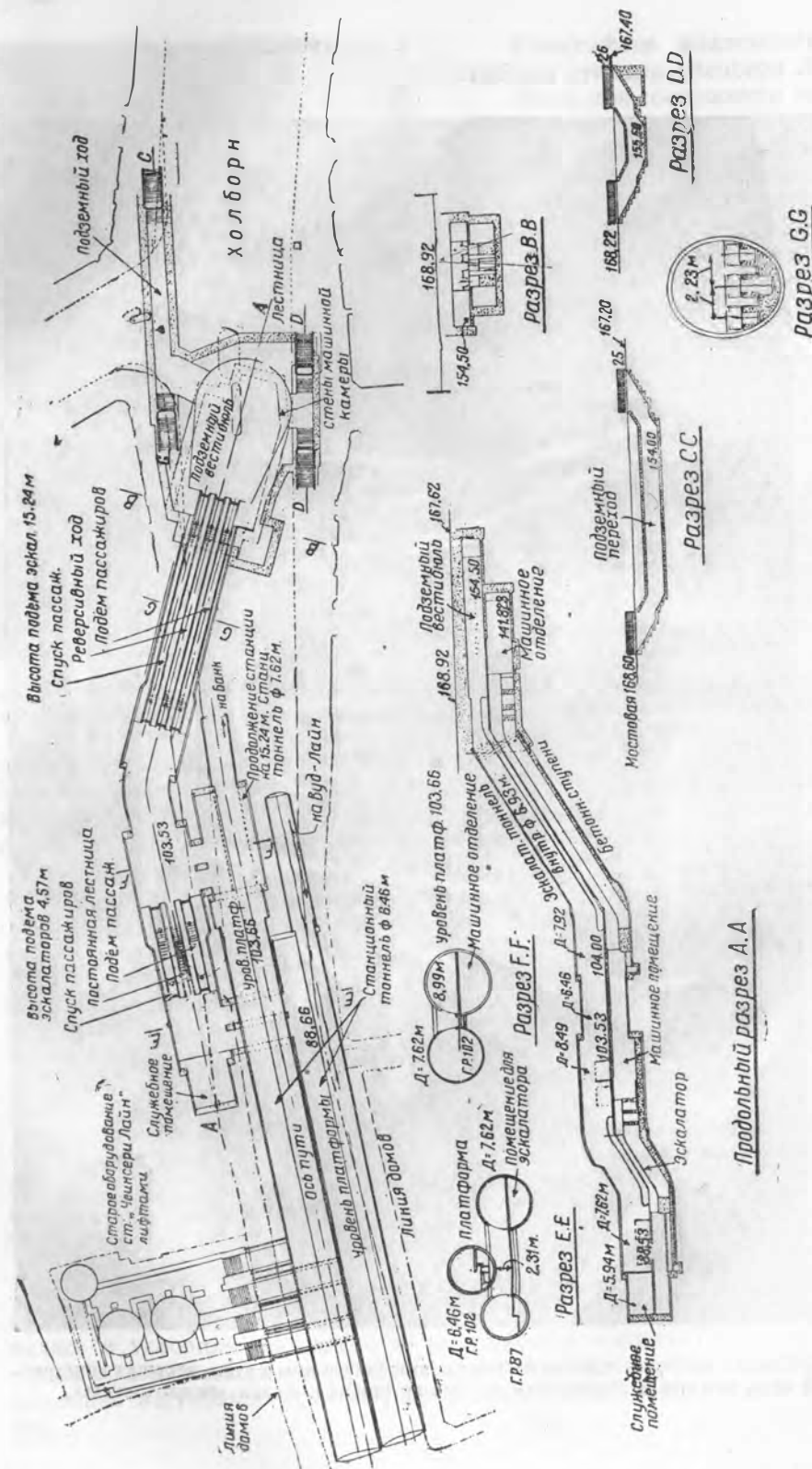


Рис. 98. Расположение строящегося вестибюля и двухмаршевого эскалатора станции "Ченсери Лайн". На время производства работ станция бесперебойно обслуживается лифтами.

Задача заключалась в том, чтобы устроить два подземных вестибюля с обоих торцов станции Эндерграунда без перерыва исключительно напряженного уличного движения. Поэтому предварительно были произведены большие работы по перекладке газовых, гидравлических, канализационных и других магистралей. Затем велись работы по укреплению фундаментов зданий в местах входов.

Далее были пройдены штольни верхнего горизонта по направлению очертания стен вестибюля. Из этих штолен были опущены стволы в колодцах размерами $2,10 \times 2,50$ м. Затем велись специальные направляющие штольни к местам колонн для закладки их в колодцах.

Под поверхностью армированной бетонной мостовой, толщиной в 30 см. проходила штольня при деревянных брусчатых штендерах, при маточниках из двуглавого железа № 20 и металлических марчеванках. По подошве штольни укладывались металлические балки постоянного перекрытия вестибюля. Затем штольня раскреплялась системой брусков, распирающих верхники и вестибюльное перекрытие. Иногда вместе брусков ставились домкраты (рис. 89).

В процессе укладки балки оборачивались металлической сеткой, чтобы обеспечить надлежащую работу бетонного перекрытия вестибюля с жесткой арматурой.

Ввиду высокого уровня грунтовых вод в месте заложения восточного вестибюля станции проектом была предусмотрена изоляция нижней части асфальтом по защитной стенке. Однако впоследствии от этой изоляции отказались и применили внутреннюю обделку из чугунных плит толщиной в 2,5 см.

При производстве работ по сооружению вестибюля замечались осадки около 6 мм. При подводке фундаментов домов домкратами был дан предварительный подъем в 12 мм и никаких трещин после работ не обнаружено.

Опыт англичан по сооружению вестибюлей подземным способом заслуживает большого внимания. Этот технически остроумный метод минимально стесняет жизнь города в период строительства. Но подземные вестибюли Московского метрополитена имеют несравненно худшие геологические условия, особенно в части основания, которое у нас состоит из грунтов плавунного характера значительной мощно-

Кроме того сроки строительства подземных вестибюлей в Лондоне, ни в какой степени не удовлетворяют нашим установкам.

Таким образом в этой части советским инженерам и техникам надлежит усовершенствовать английские методы.

§ 7. Вентиляция тоннелей Лондонского Эндерграунда

При сооружении первых глубоких линий Лондонского Эндерграунда полагались исключительно на поршневое действие поездов в туннелях и поэтому никаких специальных мероприятий по вентиляции не предпринимали. Однако уже в начале эксплуатации выяснилось, что указанное действие явилось совершенно недостаточным, так как выделяемая теплота от трения при работе движущихся поездов и от скопления густых людских потоков, загрязнение воздуха металличе-

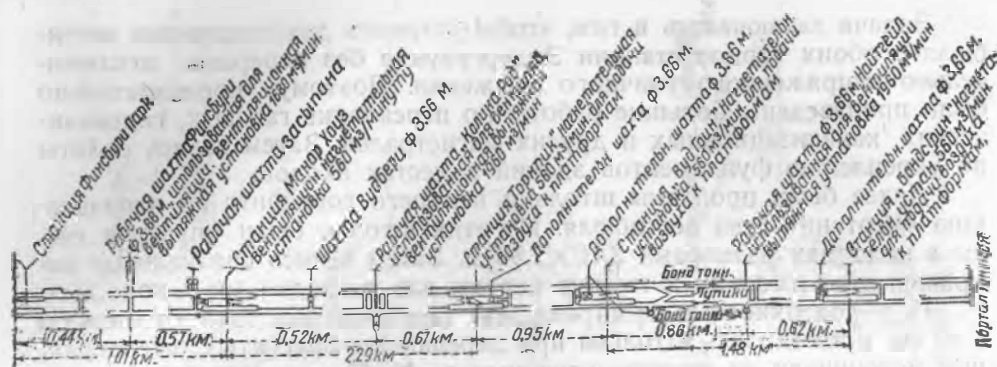


Рис. 99. Схема расположения вентиляционных шахт на линии. Финсбюри-Парк — Кокфостер.

ской и баластной пылью сделало пребывание в подобной атмосфере невыносимым. Это обстоятельство привело к настоящей необходимости закладки специальных вентиляционных шахт и устройств искусственной вентиляции тоннелей, которая полностью разрешила задачу.

В результате в тоннелях Лондонского Эндерграунда чистый и сухой озонированный воздух, который по результатам исследований содержит меньший процент углекислоты, чем внешний воздух.

Не вдаваясь в детали эволюции (развития) примененных систем вентиляции на линиях Лондонского Эндерграунда, считаю необходимым остановиться на принципе наиболее совершенной системы, примененной при постройке последней линии Лондонского Эндерграунда, «Финсбюри-Парк — Кокфостер».

На этой линии весьма удачно для целей вентиляции использованы рабочие шахты щитовой проходки при сооружении тоннелей. Шахты расположены примерно посередине между станциями на взаимном расстоянии около 750 м в зависимости от местных условий и имеют диаметр поперечного сечения 3,66 м (рис. 99). Шахты соединены подходными галереями сечением 2,74 м с основными перегонными тоннелями. Сверху шахты имеют специальное вентиляционное здание станций. Сверху 12,8 × 11,42 м, где размещено два центробежных вентилятора мощностью в 2000 м³ в минуту (рис. 101). Один из них

непрерывного действия, а другой пускается в работу в случае необходимости при значительном повышении температуры воздуха в тоннеле. Вентиляторы делают 480 оборотов в минуту. Мощность каждого из моторов, приводящих в движение вентилятор, 30 НР. Скорость движения воздуха около 5,6 м в секунду.

Между тоннелями станций пройдены специальные вентиляционные шахты диаметром 1,5 м, через которые нагнетается воздух исключительно для местной вентиляции станций. Воздух гонят под платформы станций, и через специальные каналы и отверстия на уровне 2,22 м от отметки платформы он распространяется по тоннелю станции (рис. 100).

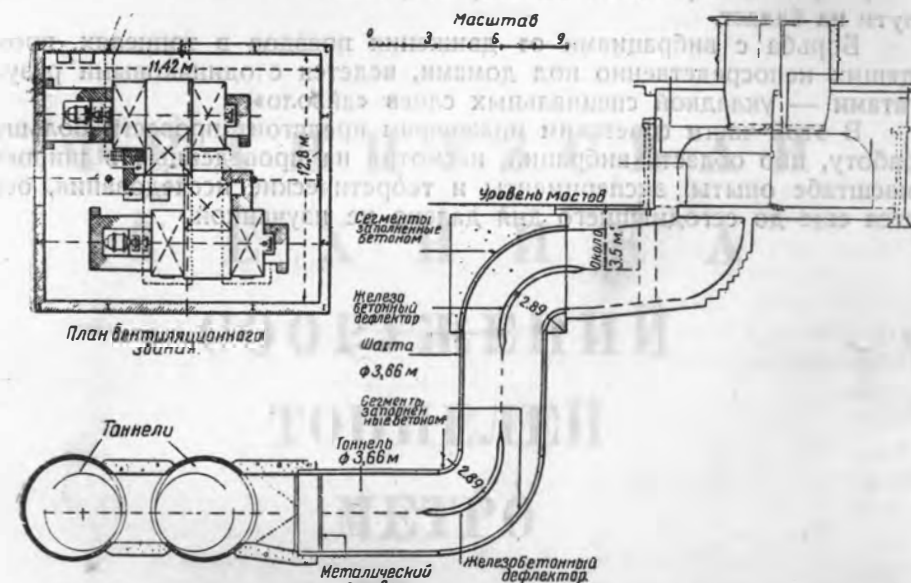


Рис. 101. Оборудование вентиляционной шахты на перегоне „Манор Хауз“ — Торпик Лайн.

Станция кроме того еще оборудуется местной системой вытяжной вентиляции для освежения специальных обслуживающих помещений и машинной камеры эскалаторов, где работают вентиляторы с моторами по 5 НР.

При осмотре автором вентиляционного здания станции «Вуд Грин» вентиляторы не работали. Но часто движущиеся поезда в туннелях при малых зазорах между вагоном с внутренней поверхности туннеля создавали такое сильное разрежение, что в это время в искусственном побуждении прямой необходимости не было.

Воздух в тоннелях Лондонского Эндерграунда не оставляет желать ничего лучшего, и эту проблему для станции глубокого заложения надо считать практически разрешенной.

§ 8. Борьба с вибрациями и шумом на Лондонском Эндерграунде

С целью уменьшения шума при движении поездов в туннелях Лондонского Эндерграунда за последнее время проводится ряд опытов и экспериментов.

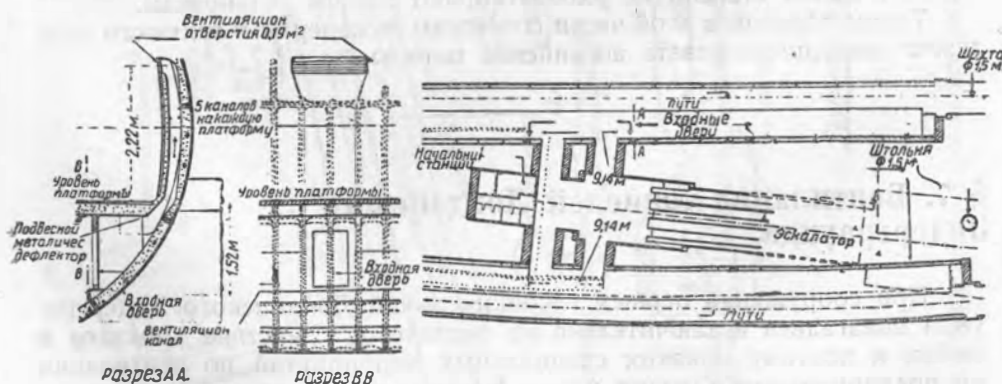


Рис. 100. Система вентиляции на станции „Манор Хауз“. Подача воздуха через специальные отверстия на высоте 2,23 м от пола платформы. Для местной вентиляции заложена специальная шахта диаметром 1,5 м.

Участки тубов Эндерграунда линии Пикадилли между Парк Роад и Каледония Роад и туба Хемпстед были с внутренней стороны покрыты между ребрами сегментов специальным асбестовым слоем. Применялся и специальный материал «айзоло» из морской травы, покрытой асбестом. Этими мероприятиями удалось до некоторой степени снизить шум в тоннелях. Однако «айзоло» не оказался достаточно прочным и надежным, главным образом в отношении пожарной опасности.

В настоящее время проводятся опыты по изоляции от шума самих вагонов уменьшением количества рельсовых стыков на километр пути и переводом некоторых участков с жесткого бетонного пути на балласт.

Борьба с вибрациями от движения поездов в тоннелях, проходящих непосредственно под домами, ведется с одинаковыми результатами — укладкой специальных слоев «айзоло».

В этой части советским инженерам предстоит провести большую работу, ибо область вибраций, несмотря на проведенные в широком масштабе опыты, эксперименты и теоретические исследования, остается еще до сегодняшнего дня далеко не изученной.



Ф Р А Н Ц У З С К А Я Т Е Х Н И К А С О О Р У Ж Е Н И Й Т О Н Н Е Л Е Й М Е Т Р О

В настоящее время в Парижском метрополитене ведутся работы по реконструкции существующих тоннелей и строительству новых. В связи с этим возникает необходимость в изучении опыта, накопленного в этой области, и в применении его к условиям нашей страны.



В настоящее время в Парижском метрополитене ведутся работы по реконструкции существующих тоннелей и строительству новых. В связи с этим возникает необходимость в изучении опыта, накопленного в этой области, и в применении его к условиям нашей страны.

1 Участки под А. Эндерграу. На линии Пиндидиан между Пари Рона и Маледония Рона и туба Хемиста были с внутренней стороны открыты между ребрами сегментов специальным способом. При этом использовался и специальный материал «айзоло» из пористой глины, покрытой асбестом. Этими мероприятиями удалось до некоторой степени снизить шум в тоннелях. Однако «айзоло» не оказалась достаточно прочным и долговечным, главным образом в отношении пожарной опасности.

В настоящее время проводится опыт по изоляции от шума самих вагонов уменьшением количества рельсовых стрел на километр пути и переводом некоторых участков с жесткого бетонного пути на баласт.

Борьба с вибрациями от движения поездов в тоннелях, происходящих непосредственно под домами, ведется с применением специальных слоев «айзоло».

В настоящее время ведутся работы по созданию специального материала, который бы мог использоваться в качестве изоляции от шума и вибрации. В настоящее время ведутся работы по созданию специального материала, который бы мог использоваться в качестве изоляции от шума и вибрации.

ВАЖНОСТЬ
АНАЛИЗ

ИНТЕРЕСНО

ИНТЕРЕСНО

ОЧЕНЬ

ОТДЕЛ I

Сооружение тоннелей Парижского метрополитена

§ 1. Общие данные

Метрополитен Парижа, протяжением в 128,6 км, представляет собой густую сеть тоннельных сооружений. Схема линий метро, созданная из отдельных, часто не увязанных между собой отрезков, отражает бесплановость капиталистического городского хозяйства.

Пересечения линий в Париже образуют сложные станционные узлы, требующие для своей развязки длинных и кривых переходов и коридоров (длиной до 250 м) с профилями, содержащими потерянные уклоны.

При сооружении Парижского метрополитена строители не уделили внимания вопросам изоляции, и главное вентиляции тоннелей. В результате в тоннелях Парижского метро скверный и душный воздух, который неприятно отзывается на пассажирах и вредно влияет на служебный персонал.

Лишь на последних линиях метро уже созданы условия, при которых на станциях воздух удовлетворительный.

Самое ценное, что есть в Парижском метро, — это организация движения. Она поставлена в Париже так безупречно, что пассажиры, несмотря на скверный воздух, буквально осаждают метро. Поезда пунктуально, через каждые 1½ минуты, следуют переполненными.

Созданная французскими инженерами подземная сеть метрополитена содержит в себе ряд тоннельных сооружений, которые могут быть заслуженно названы рекордными. Таковы, например: станция «Републик», объединяющая пять направлений метро, станция «Опе-



Рис. 103. Продольный профиль линии Парижского метрополитена № 8 пл. Опера—пл. де Бастиль.

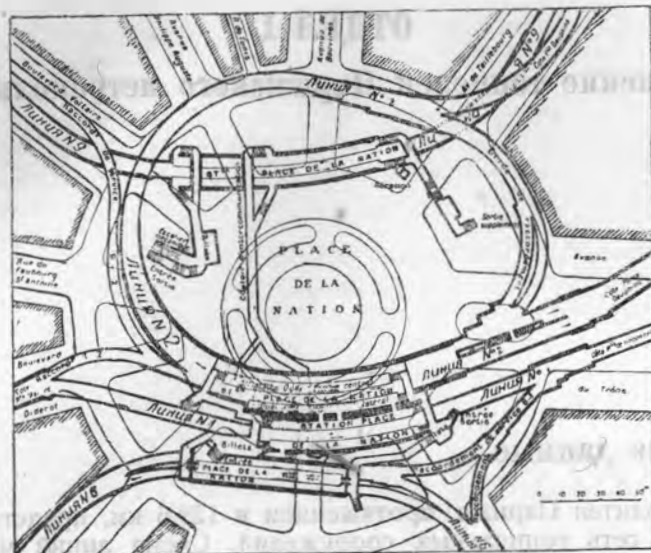


Рис. 104. План тоннельного узла станции „Пляс де ля Насион“ Парижского метрополитена.

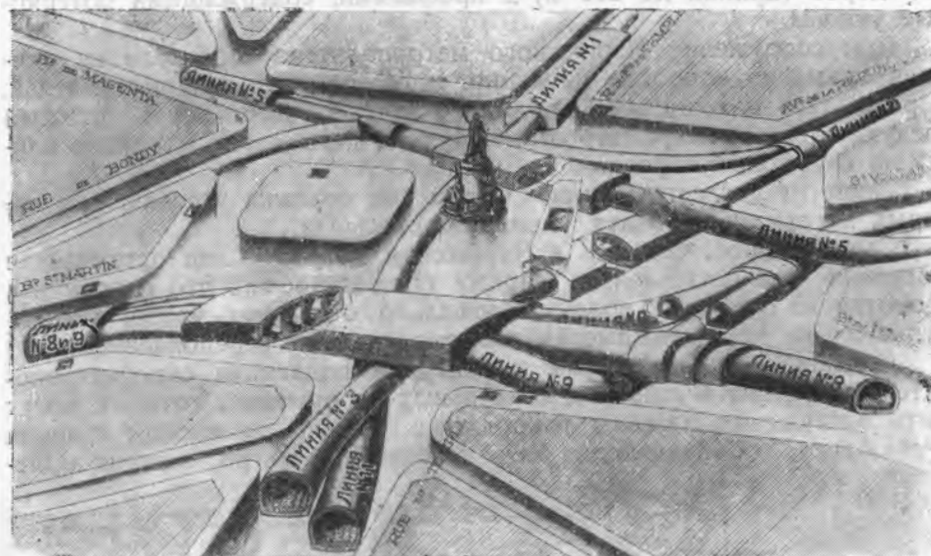


Рис. 105. Схематический вид пересечения линий на станции Парижского метрополитена „Площадь Республики“.

ра», тоннели под рекой Сеной, тоннели под домами, тоннели-мосты, фундаменты через подземные карьеры и т. п. (рис. 111, 113, 114).

Строительство тоннелей в Париже ведется обычно без нарушения уличного движения при мелком заложении. Имеются случаи проходки тоннелей и на большой глубине. Так например в районе Монмартра перегонные тоннели заложены на глубине 63 метров, станция

Абесс — на 35 метров, станция Ламарк Кауленкорт — на 25,5 метров от поверхности до головки рельса метрополитена (рис. 109, 110).

Строительство новых линий, которые изучал автор, ведется по бельгийской одноштольной системе при деревянном креплении и каменной обделке с опиранием свода непосредственно на породу.

Применявшиеся ранее полуститы, продвигаемые вперед помощью гидравлических домкратов по грунту или по заранее возведенным в штольных стенкам, современной французской практикой совершенно отвергнуты из-за того, что в процессе работ получились большие деформации: поднималась мостовая, и создавались большие осадки. В настоящее время парижанами щит применяется лишь замкнутого

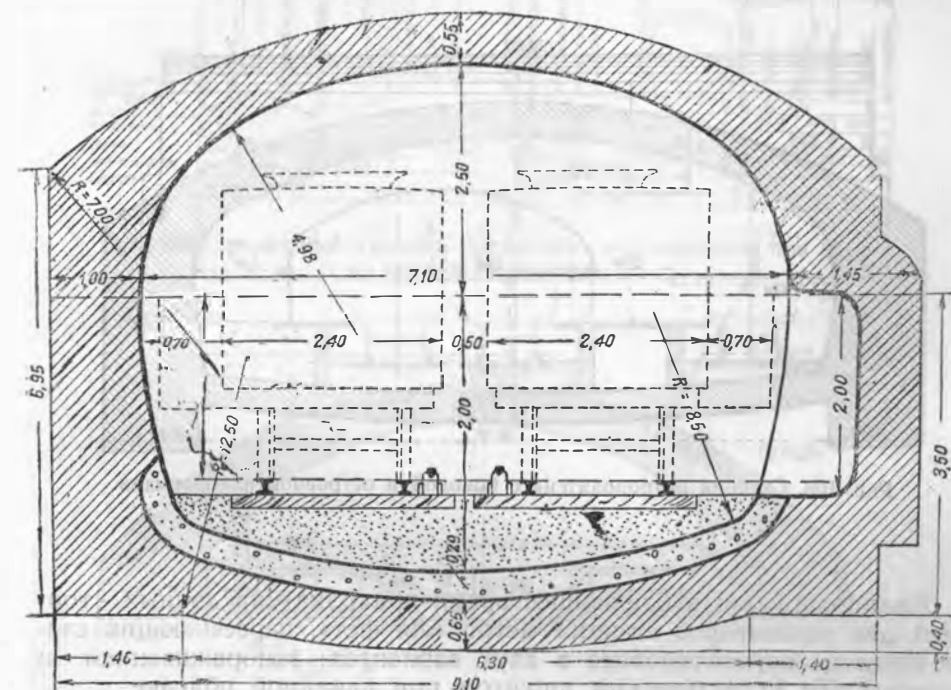


Рис. 106. Сводчатый двухпутный тоннель Парижского метрополитена.

«контура при проходке под водными протоками. К существенным недостаткам щита относят то обстоятельство, что при проходке им нужно придерживаться установленного постоянного сечения тоннельной обделки. Между тем неоднородные геотехнические условия требуют изменения элементов тоннельной отделки.

Тоннельные работы в Париже проводятся в хороших условиях, в совершенно сухих плотных мергелях и суглинках. Лишь на участке у станции «Републик» встретились пески с незначительным дебитом грунтовых вод, удаляемых 150-мм насосом.

Участки слабых грунтов в районе поймы р. Сены и непосредственно под ней проходились в свое время специальными методами: щитом, замораживанием, вертикальными кессонами-тоннелями, металлической обделкой, под сжатым воздухом и т. п.

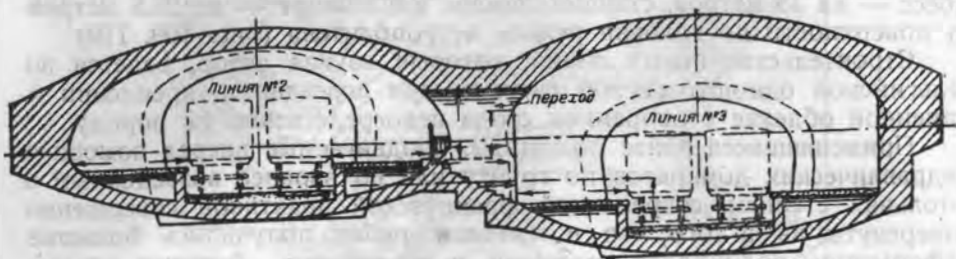


Рис. 107. Спаренная станция Парижского метрополитена „Авеню де Вимьет“ в месте примыкания линий №№ 2 и 3.

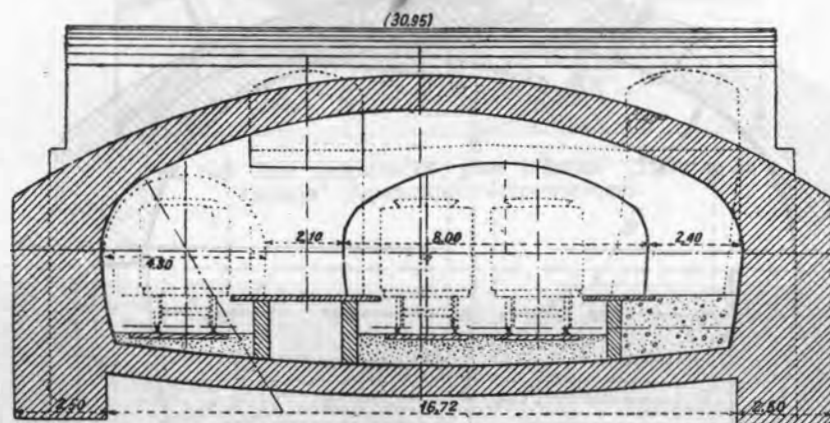


Рис. 108. Станция метрополитена с боковой и островной платформами.

Предполагаемая в ближайшее время проходка наклонных тоннелей для эскалаторов станции метро «Ля фет», пересекающих слабые грунты, запроектирована в двух вариантах: замораживанием и вертикальным металлическим шпунтом при каменной обделке.

Большие и часто весьма неожиданные осложнения вносятся в строительство тоннелей метро существующими в Париже подземными карьерами. Автору пришлось наблюдать, как выложенные под улицей «Де Мейн» своды, опертые на грунт, начали садиться, вследствие дислокаций, происходивших в нарушенной зоне целиков, между прокладываемым тоннелем и карьерами, расположенными ниже.

Для локализации нарастающего процесса деформаций тоннелей были устроены глубокие основания под тоннелем. На протяжении 166 м были заложены через каждые 6 м круглые 12-метровые колодцы, пересекающие карьерные пустоты, на глубину 10—12 м до надежного основания. Столбы перекрывались бетонными арками на земляных кружалах под стенами и перпендикулярно оси тоннеля — 80-см железобетонными балками и железобетонной плитой.

Геологические напластования Парижа весьма разнородны и состоят из меловых отложений, известняков, мергелей, гипсов и выклиниваний песков, суглинков и глин и т. п. Встречаются большие карьерные разработки, а также мощные насыпи до 10 м.

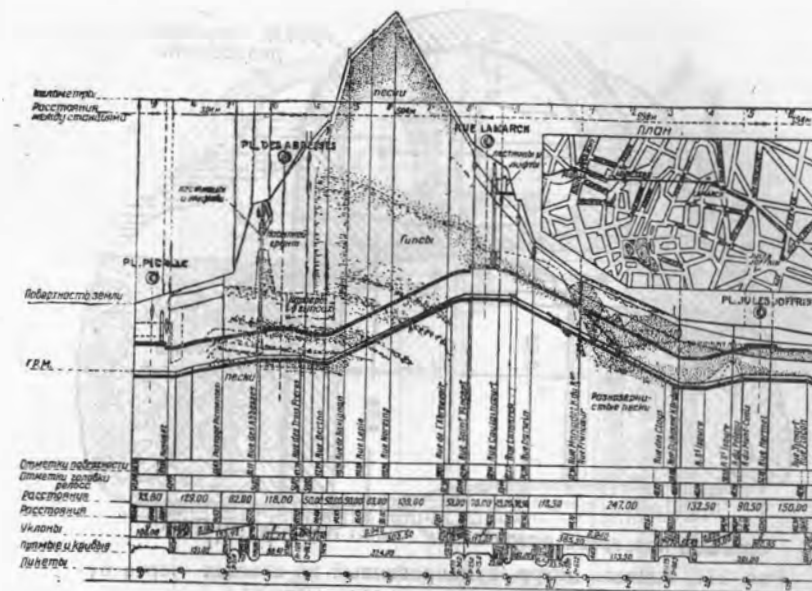


Рис. 109. Продольный профиль Парижского метрополитена при пересечении Монмартра.

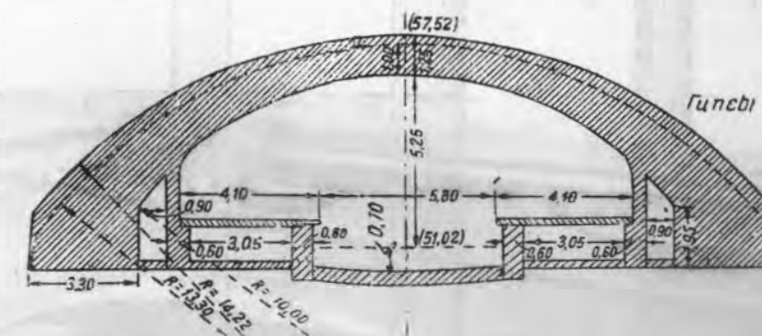


Рис. 110. Односводчатый профиль станции метро „Абесс“, заложенной на глубине 35 м от поверхности.

Горизонт грунтовых вод весьма близок к поверхности земли. В некоторых районах, например в районе Бельвилля, встречается два горизонта вод. В этих условиях работы ведутся на временном деревянном креплении при постоянной каменной обделке. Водонасыщенные слабые грунты встречаются в подходах к пойме р. Сены.

Парижская система строительства метро, которой французы придерживаются до сих пор, отличается тем положительным качеством, что работы минимально стесняют улицу и жизнь города.

К сооружению первой линии Парижского метрополитена от ворот Майо до Венсена было приступлено в конце 1898 г.

В 1913 г. сеть Парижского метро была доведена до 99,00 км, а в 1930 г. она включала в себе уже 128,6 км линий.

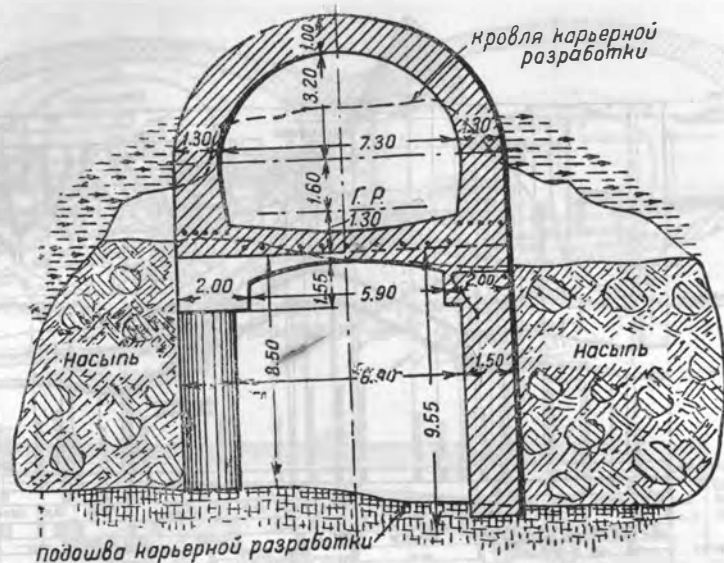


Рис. 111. Тоннель метро, фундаментный на столбах через пустоты подземных карьеров Парижа.

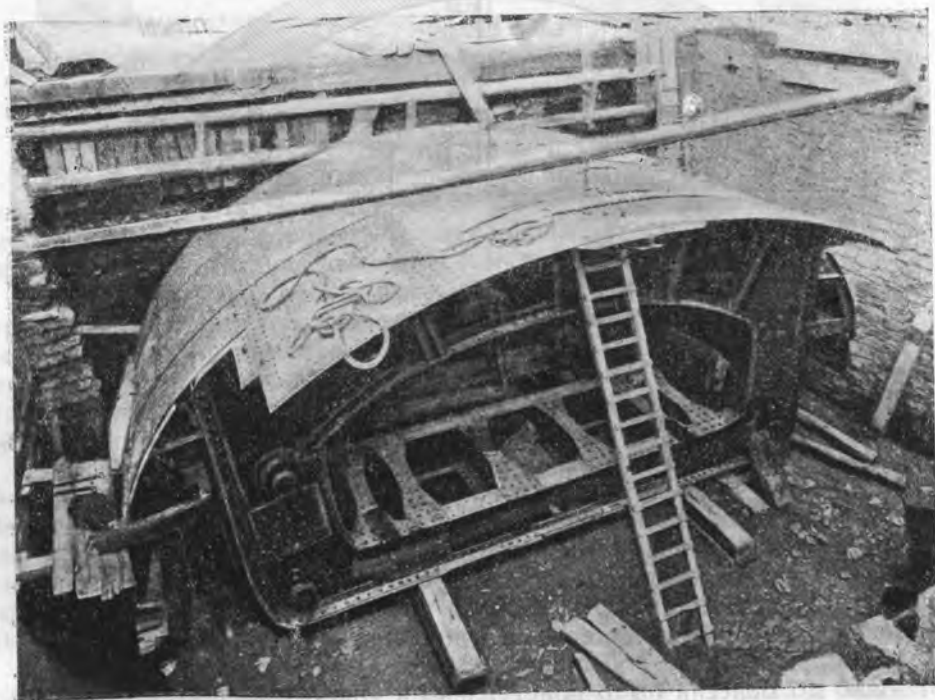


Рис. 112. Монтаж оболочки полушита в открытой выемке.

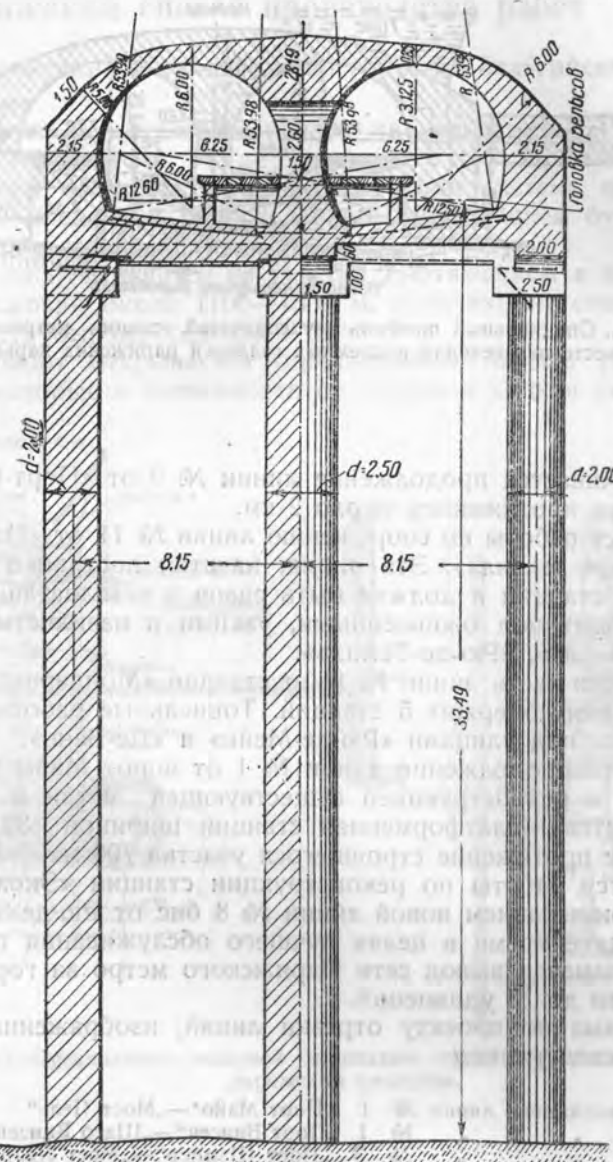


Рис. 113. Конструкция тоннеля - моста станции Парижского метрополитена, фундаментного на столбах до надежного грунта через подземные карьеры.

В настоящее время ведутся работы по сооружению новых отрезков линии Парижского метрополитена и по реконструкции некоторых существующих тоннелей, не удовлетворяющих условиям эксплуатации.

1) Создается линия 8 бис, представляющая ответвление линии № 8 от станций «Ламот-Пик» до «Порт-де-Сьер», протяжением около 3,00 км, которая содержит 6 станций метрополитена. Тоннельные работы по улицам «Рю-де-Коммерс» и «Авеню Феликс-фор» начаты в июле 1933 г. Срок постройки линии — 3 года.

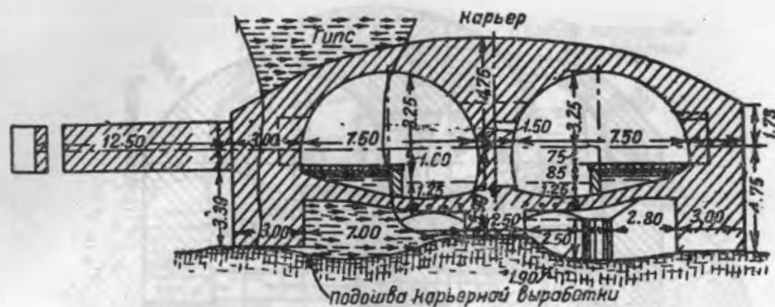


Рис. 114. Специальный профиль двухсводчатой станции метрополитена в месте пересечения подземных галерей парижских карьеров.

2) Заканчивается продолжение линии № 9 от «Порт-Сен-Клу» до «Пон-де-Севр», протяжением около 2 км.

3) Ведутся работы по сооружению линии № 11 от «Плас-де-Шателэн» до «Порт-де-Лиля». Эта линия, начатая постройкой в 1931 г., содержит 12 станций и должна быть сдана в эксплуатацию в 1935 г. Линия проходит под оживленными, узкими и извилистыми улицами «Рю-де-Бельвилль», «Рю-де-Темпл».

4) Строится часть линии № 14 от станции «Монпарнас» до «Порт-де-Вань». Линия содержит 5 станций. Тоннельные работы открыты в начале 1933 г. под улицами «Рю-де-Мейн» и «Де-Вань».

5) Ведется продолжение линии № 1 от ворот Майо к периферии в сочетании с реконструкцией существующей петли и переходных камер. Строится 4-платформенная станция шириной 32 м, длиной 105 м. Общее протяжение строящегося участка 700 м.

6) Ведутся работы по реконструкции станции «Эколь Милитер» в связи с примыканием новой линии № 8 бис от Рю-де-Коммерс.

В последнее время в целях лучшего обслуживания пригородных пассажиров намечен вывод сети Парижского метро за город. Предложено провести до 15 удлинений.

Намеченные по проекту отрезки линий, изображенные на схеме пунктиром, следующие:

Продолжение линии	№ 1	„Порт Майо“—„Мост Пель“
„	№ 1	„Порт Винсен“—„Шаго Винсен“
„	№ 3	„Порт Шампер“—„Мост Левруа“
„	№ 4	„Порт д'Орлеан“—„Карефур Ваннуар“
„	№ 5	„Порт Пантен“—„Эглиз Пантен“
„	№ 6	„Морт д'Иври“—„Мери д'Иври“
„	№ 7 бис	„Порт де Вилег“—„Пантеон“
„	№ 8	„Порт Шарентон“—„Мери Шарентон“
„	№ 9	„Порт Монтрей“—„Мери Монтрей“
„	№ 10	„Порт де Сэн Клу“—„Мост де Севр“
„	№ 11	„Порт де Лиля“—„Форт де Наузи“
„	№ 12	„Порт де Шанель“—„Сен Дени“
„	№ 13	„Порт Версаль“—„Мери Исси“
„	№ 13 бис	„Порт Сент Уэн“—„Ланди“
„	№ 13 бис	„Порт Клиши“—„Мост Клиши“

Ограниченность в средствах и отягчающие условия капиталистической системы ведения городского хозяйства не позволяют реализовать этот проект.

§ 2. Парижский способ производства работ

а) Организация и производство работ по бельгийской системе

Сооружение двухпутных тоннелей на строящихся участках у ворот Майо, Рю де Мейн, Рю де Бельвилль и т. п. производится по видоизмененной бельгийской одноштольной системе при временном деревянном креплении с последующим возведением бутовых сводов, при бетонных стенах и лотке.

Обычно работы делаются на участки протяжением в зависимости от местных условий около 1100—1500 м, куда входят станции метрополитена, раструбы, пересечения и т. п.

Фронт работ открывается одновременно на два рабочих крыла из шахт, которые в зависимости от объема и сроков работ, заклады-

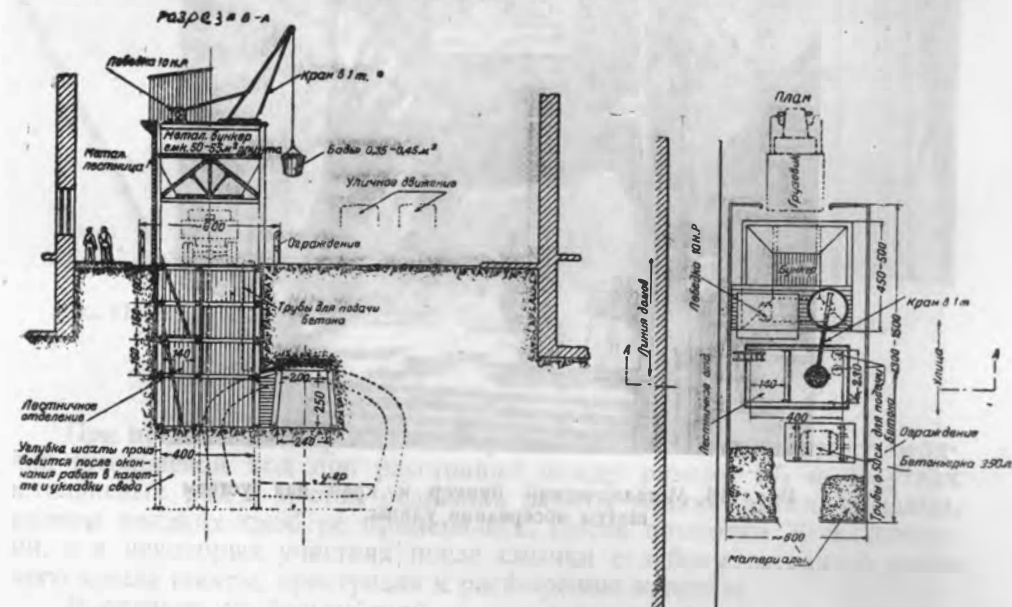


Рис. 115. Организация шахтной площадки при сооружении тоннеля парижским способом.

ваются на взаимном расстоянии 80 м, а иногда и до 25 м там, где имеются еще дополнительные работы по подводке фундаментов домов.

Шахты прямоугольного сечения размерами в свету $4,00 \times 2,30$ м имеют два отделения — одно для бадьи, диаметром 0,8 м и трубопроводов, а другое — лестничное, шириной 1,40 м в свету.

Вообще в Париже стремятся располагать шахты несколько в стороне от оси тоннеля таким образом, чтобы при работе ствола шахты не мешать сквозному движению по направляющей штольне. Шахты проходятся забивной крепью при расстоянии между рамами 1,6 м. В случае проявления усиленного бокового давления предусматривается постановка промежуточных рам. Глубина шахты колеблется в пределах от 10 до 20 м. Шахта проходит сначала до первого ка-лоттного горизонта работ и только перед приступом к разработке



Рис. 116. Металлический бункер и кран над устьем шахты посередине улицы.

штрассы производится углубка шахты до требуемой отметки нижнего горизонта.

Шахтная площадка имеет размеры в плане $12—15 \text{ м} \times 6,00 \text{ м}$. Там, где позволяют местные условия, бьются специальные транспортные штольни от разработок тоннелей к р. Сене, куда на баржи выгружается порода и откуда привозятся крепежные материалы. Протяжение этих штолен иногда достигает до 500 м, иногда их направляют к железнодорожным путям.

Оборудование поверхности шахты складывается из следующих элементов: у устья шахты устанавливается металлический бункер размерами в плане $4,5 \times 4,5 \text{ м}$ и объемом в $45—66 \text{ м}^3$. При больших объемах работ устанавливаются спаренные бункера, причем обеспечивается бесперебойная работа транспорта. На бункере располагается кран грузоподъемностью в 1 тн. с моторной лебедкой в 10 HP. По другую сторону устья шахты располагаются бетоньерка на 400 литров, суточный запас крепежного материала, камня, песка и цемента. На шахте нет никаких эстакад, подсобных помещений, складов и т. п., все это находится в стороне (рис. 115, 116, 117).

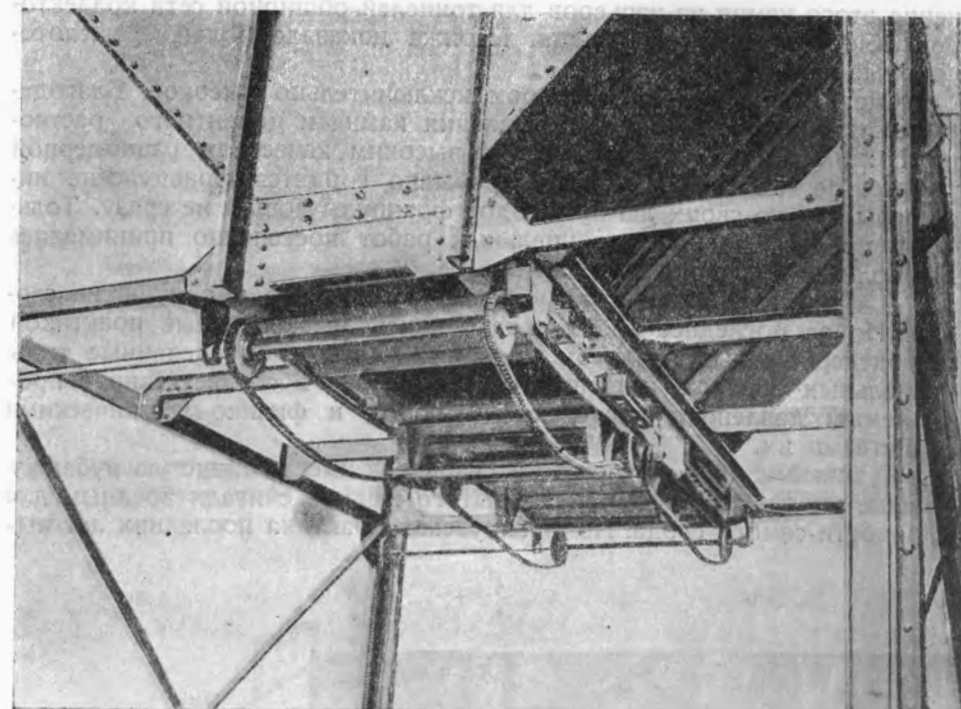


Рис. 117. Вид конструкции затвора металлического бункера системы Буайэ.

При проходке в мергелях у Порт Майо сначала проходилась верхний штольневой ход при расстоянии между рамами 1,5 м. В углах штольневых рам в местах решпанов забиты планки двумя гвоздями, причем никаких скоб не применялось. После проходки 30-м. штольни, а в некоторых участках после смычки с забоем соседнего рабочего крыла шахты, приступали к расширению калотты.

В отличие от бельгийской системы, имеющей первую пару лонгарин, в парижской системе она отсутствует. Забивка боковых марчеван производится непосредственно за решпаном, причем тоннельные фермы калотты совпадают с плоскостью штольневых рам.

Калоттный профиль раскрывается на кольцо, длиной 3,2 м, причем тоннельные фермы устанавливаются в числе, кратном количеству штольневых рам. Длина 3,2 м выработана парижской практикой. Лонгаринами в 3,2 м представляется возможность легко маневрировать и вынимать их из грунта без значительных подвижек при минимальной осадке поверхности (рис. 121—123).

Вслед за раскрытием калотты ведется установка деревянных или металлических кружал системы Буайэ (рис. 124).

Кладка свода с опиранием его на мергель начинается от пят к замку и ведется из бутового камня на пуццолановом или шлаковом цементном растворе 1:3. Бутовый камень, идущий на кладку сводов Парижского метрополитена, имеет временное сопротивление на сжатие 150 кг/см^2 . Это — известковый, ноздреватый относительно легкий камень (весом 1300 кг/м^3), состоящий из окислов алюминия, с включением кварца, углекислой извести и других элементов. Приме-

нение этого камня из карьеров для тоннелей обширной сети коллекторов общесплавной канализации Парижа доказало большие кислотоупорные качества его.

Сцепление камня с раствором исключительно высокое. Благодаря совпадению величин сопротивления камня и цементного раствора 1 : 3 получаются обладающие высоким качеством равномерной работы легкие своды, которыми обычно гордятся французские инженеры. Но до своих легких сводов французы дошли не сразу. Только в процессе развития тоннельных работ постепенно принимались все более и более смелые решения.

В французской практике вначале имело место и обрушение сводов. Но за последнее время установились выработанные практикой и подтвержденные анализом инженера Сюэ, определенные типы тоннельных обделок, имеющие сопротивление в соответствии с проявляемым давлением пересекаемых пород и физико-механическими свойствами их.

Бутовый камень из парижских карьеров имеет глинистую рубашку. Раньше употребление камня, покрытого глиной, считали вредным для прочности самого свода. Но французская практика последних лет вы-

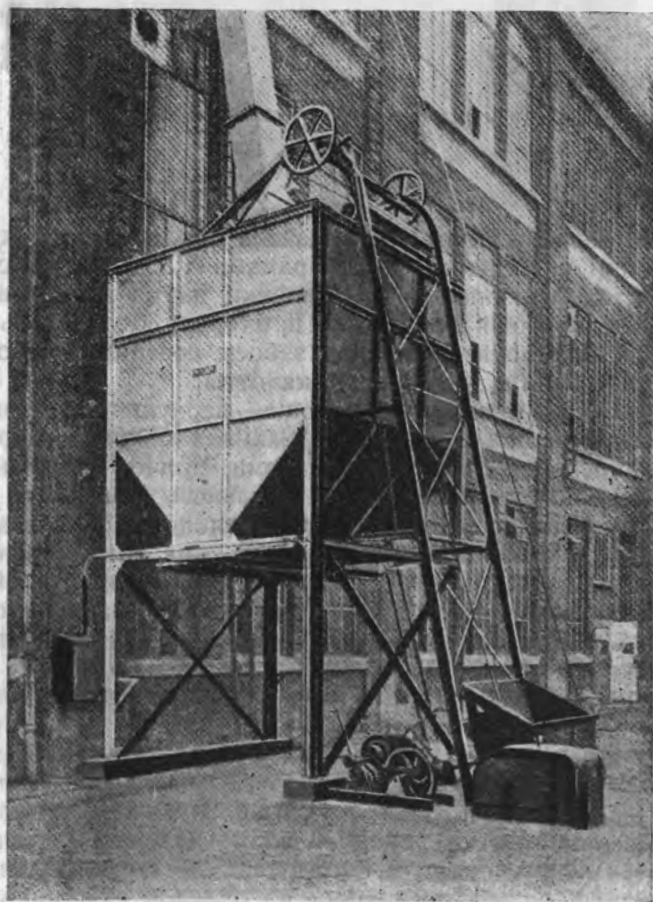


Рис. 118. Шахтный ствол, оборудованный металлическим бункером с элеватором (скиповой подъем).

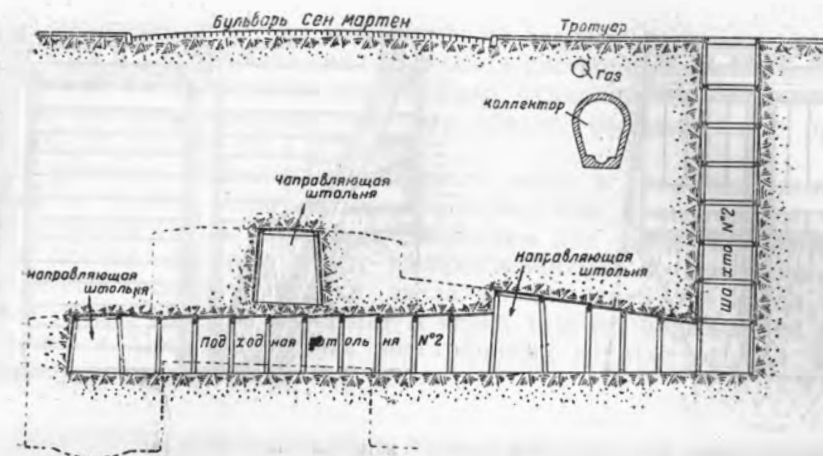


Рис. 119. Разрез по шахте и подходным выработкам к специальному тоннельному профилю, разрабатываемому одновременно в 3-х горизонтах.

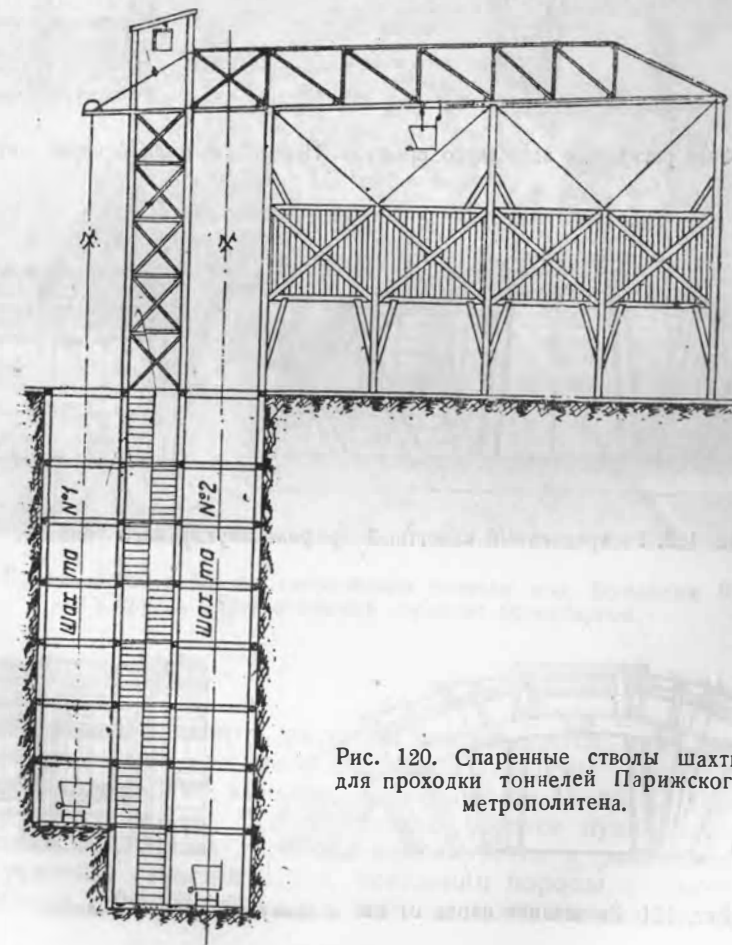


Рис. 120. Спаренные стволы шахты для проходки тоннелей Парижского метрополитена.

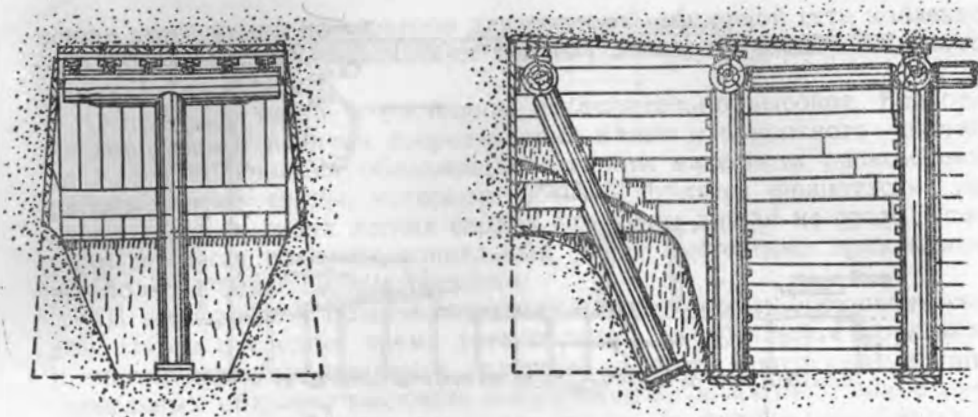


Рис. 121. Крепление верхней направляющей штольни.

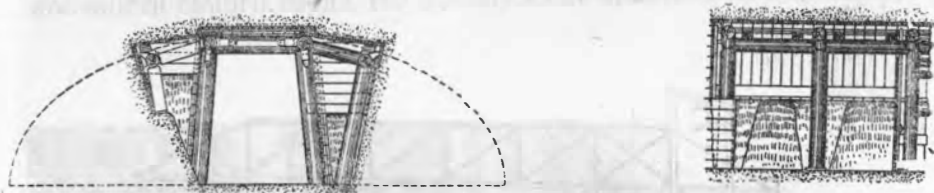


Рис. 122. Фаза раскрытия калоттного профиля. Постановка первой пары лонгарины.

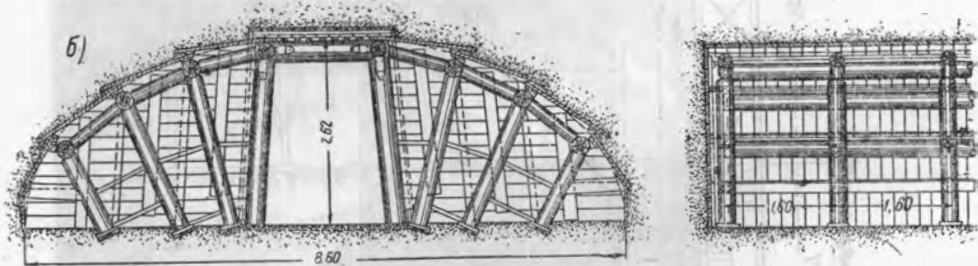


Рис. 123. Раскрепленный калоттный профиль двухпутного тоннеля.

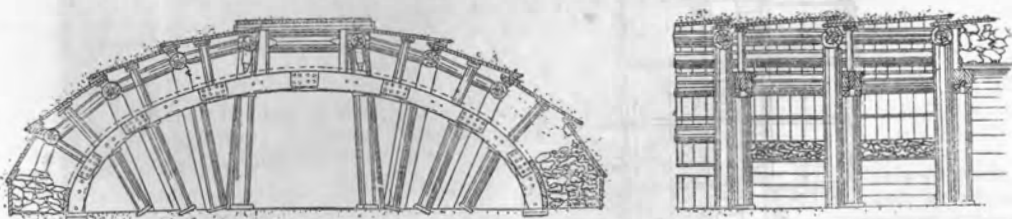


Рис. 124. Возведение свода от пят к замку из бутовой кладки.

явила, что глина наоборот, как активный элемент, вступает в реакцию с цементом и увеличивает силу сцепления раствора с камнем.

Цемент употребляется как правило пуццолановый, причем раствор, на котором кладется каменная кладка, составляется в пропорции: 350 кг цемента на 1 м³ песка.

В процессе возведения каменного свода в него закладываются гончарные трубки, через которые впоследствии производится нагнетание цементного раствора под давлением для предотвращения тем самым осадок, которые могут распространиться до поверхности. В нормальных условиях трубки закладываются через 2½ м по длине кривой свода, на ½ м ниже пят и через 1 м по образующей вдоль оси тоннеля. При водоносных неустойчивых грунтах трубки закладываются также в стенах и в лотке.



Рис. 125. Производство работ по сооружению тоннеля под Большими Бульварам в Париже. Спуск в нижний горизонт бремсбергом.

Нагнетание цементного раствора производится под давлением 3—4 атмосфер из специальных аппаратов системы Гредхэда или Бинье, которыми можно заводить за кладку от 11 до 22 тонн раствора в течение 8 часов. Для нагнетания берется пуццолановый цемент, причем пропорция раствора регулируется в зависимости от местных условий, качества работ, поведения породы и самого метода разработки. Расход раствора, нагнетаемого за кладку, выражается:

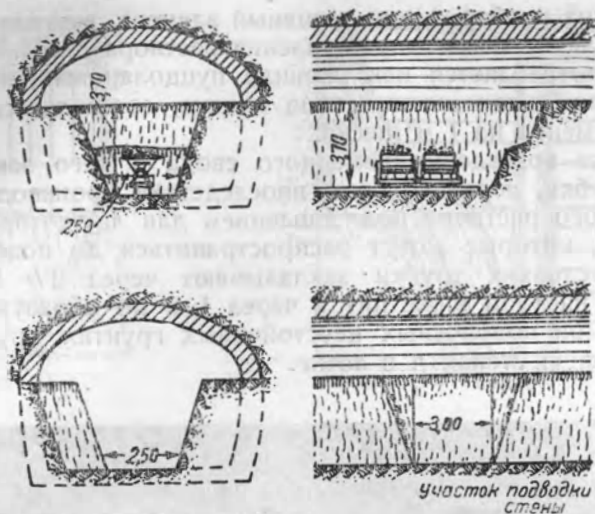


Рис. 126. Выемка стрессного ядра и участка стены под свод.

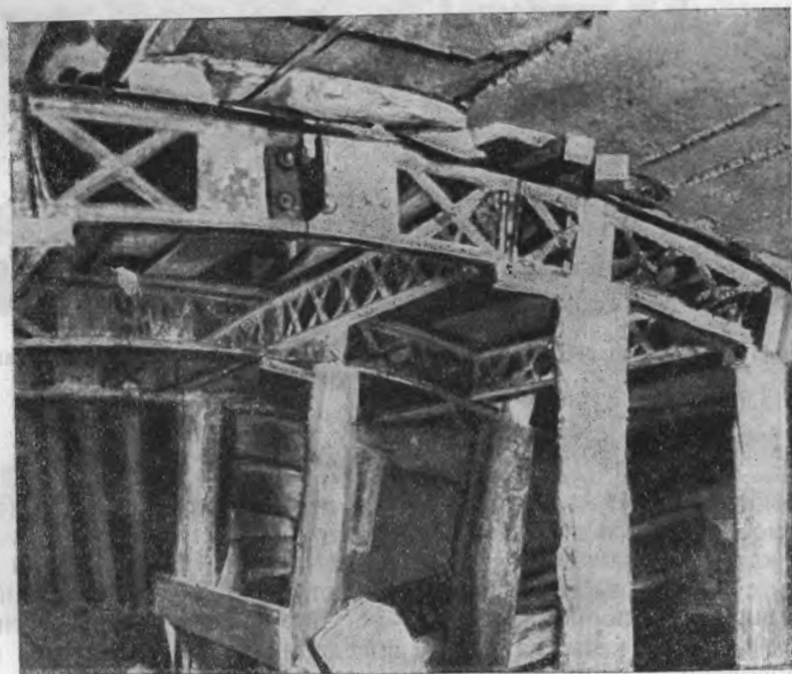


Рис. 127. Разборные металлические кружала системы „Буайэ“.

для станций — 4 200—5 600 кг раствора на 1 пог. м тоннеля,
для двухпутных тоннелей — 2500—3200 кг раствора на 1 пог. м тоннеля.

Весьма часто делается повторная инъекция, причем в водоносных породах нагнетание производится через неделю до трех раз. В случае закупорки трубок пробивается специальное отверстие перфоратором.

Раскружаливание сводов производится по следующему опытному правилу, выработанному парижской практикой: «через столько дней, сколько метров в пролете».

При проходке в устойчивых породах к раскрытию калотты соседнего кольца можно приступать вслед за замковым данным свода, так как практика подтверждает, что бутовому своду, находящемуся на кружалах, в этом случае ничего не угрожает.

Когда свод тоннеля выведен на всем протяжении строительного участка, производится углубка шахты и приступают к разработке стрессного профиля. Штресса вынимается до уровня верха бетонного лотка забойным порядком. Параллельно ведутся работы по подводке стен под своды. Стены возводятся из бетона следующей дозировки: 880 кг щебня и 550 кг цементного раствора (при 400 кг шлако-цемента на 1 м³ песка); при замене щебня гравием: 540 кг щебня и 250 кг гравия на 550 кг цементного раствора (550 кг шлако-цемента на 1 м³ песка) (рис. 126—129).

Никакого подбора гранулометрического состава и дозировки бетона при тоннельных работах в Париже не производится.

Ширина заходки в боковых частях штрессы при подводке стен 3,20 м. В первую очередь подводятся стены под шов двух смежных колец свода при поддержке пяты тремя штресбелями. При этом учи-

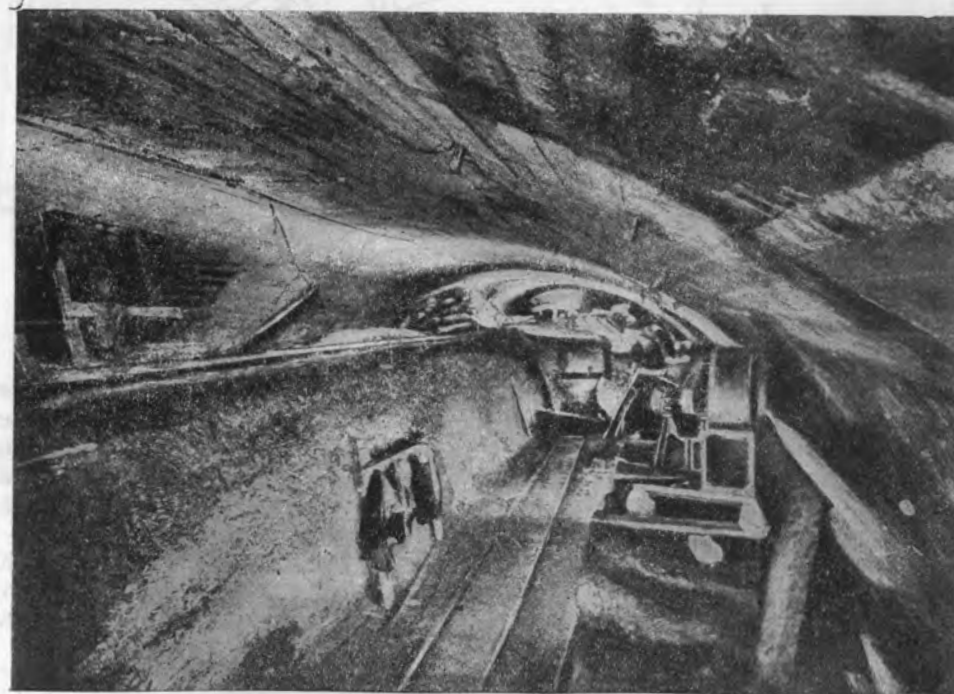


Рис. 128. Производство работ по выборке штрессы и подводке стен.

изоляция. Последняя может быть устроена холодным способом из заготовленных битуминозных плит, стыкуемых помощью паяльной лампы. Предпочитается однако оклеечная изоляция на горячей битуминозной клеемассе.

Кроме оклеечной изоляции французами употребляется изоляция из асфальтового порошка, затрамбовываемого между кладкой и поверхностью марчеван.

Устройство изоляции из асфальтового порошка ведется одновременно с кладкой свода. При устройстве внутренней оклеечной изоляции и защитной железобетонной рубашки последняя связывается с основным телом обделки специальными завершенными крюками.

Нормы проходки, установившиеся в практике строительства Парижского метро для двухпутных тоннелей, следующие:

Верхняя штольня. Размер поперечного сечения в свету $= 2,40 \times 2 \times 2,5$ м. Средняя скорость проходки при 2-х сменах по 8 часов $= 16$ час. $= 1,6$ м. Атакуют забой 3 человека: крепильщик-проходчик, помощник, чернорабочий.

Эти же рабочие доставляют материалы, заготавливаемые на поверхности другими. При работе на значительном подъеме (4%) добавляют еще одного чернорабочего. Независимо от этого, работает один ствольной.

Калотта¹. При длине калоттного кольца 3,2 м раскрытие профиля производится 4 сменами по 8 час. $= 2$ дня по 16 часов; занято по 3 человека на каждом крыле: 2 проходчика и чернорабочий. Всего на калотте 6 человек: 4 проходчика, 2 чернорабочих.

Кладка свода. Кладка свода ведется немедленно вслед за раскрытием калотты, за 2 дня по 16 часов. Всего на кладке сводов занято 7 человек: 4 каменщика и 3 рабочих. Кроме того на установке кружал занято 3 плотника по 4 часа.

Разработка штроссы ведется с забоя, со средней скоростью 2 метра в сутки. Атакуют забой 3 чел.

Подводка стен. На выемке боковой части штроссы занято 3 человека в течение 16 часов. На кладке бетонных стен занято 3 чел. в течение 5 часов; на замкование пят и нагнетание раствора в месте соприкосновения стен и свода тратится 2 часа.

Устройство лотка. Выемка грунта под лоток и бетонирование его ведутся со скоростью 10 м в сутки. В нормальных грунтовых условиях на каждом рабочем крыле шахты производится одновременное раскрытие двух калотт и кладка двух колец свода.

На участок протяжением 1 100—1 400 м дается срок в 20 месяцев.

Изученный автором участок работ под «Рю де Мейн» разрабатывался из шахт, заложенных через 40 м, причем рабочие шахты были

¹ Разработка станционной калотты (пролет 18 м) 10 дней

Кладка бетонных пят свода 2 "

Кладка бутового свода 5 "

Всего 17 дней

Эти нормы установлены французской практикой в условиях мергелистых пород с незначительным дебитом грунтовых вод при сооружении станции на новой линии «Пляс де Републик».

предназначены для выдачи породы, а промежуточные — материальные — для подачи в тоннель крепежных материалов. Таким образом была проведена дифференциация шахт на рабочие и материальные, заложенные последовательно через одну.

Помимо шахт, имеющих определенную, огороженную шахтную площадку на поверхности, устраиваются дополнительные шахтные ходы, используемые только ночью, в период прекращения уличного движения. Днем устья этих шахт перекрываются и незаметны даже для пешеходов. Эти шахты имеют значение и запасных выходов, на случай аварии.

Изложенный выше парижский способ работ с верхним одноштольным ходом на практике часто подвергается изменениям в соответствии с местными условиями: обстоятельствами геотехнического порядка, дислокации пород, связанной с существующими подземными карьерами, с изменением профиля и т. д.

Осадки мостовых при парижском способе в устойчивых грунтах выражаются в 5—6 см. При проходке в слабых грунтах осадка поверхности доходит до 30 см. При этих осадках уличное движение может происходить, но мостовую приходится впоследствии переделывать. До приступа к тоннельным работам все подземные сооружения необходимо предварительно переложить. В противном случае неизбежны поломки и повреждения их.

б) Двухштольная бельгийская система

При производстве работ по двухштольной бельгийской системе предварительно пробивается нижняя направляющая штольня. После удаления забоя нижней штольни на 30 м ведется верхняя штольня, которая соединяется с нижней, системой фурунелей и бремсбергов. Эту систему французы применяют при наличии вод в верхней части профиля, осложняющих раскрытие калотты и кладку свода. В этом случае нижняя штольня играет роль дренажной галереи, осушающей верхнюю часть профиля, что дает возможность вести ответственную часть тоннельных работ каллоты в сухих условиях.

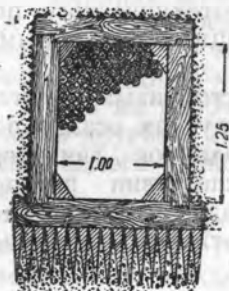
При значительном расстоянии между шахтами нижняя штольня находит также широкое применение во французской практике, играя роль транспортной галереи. В этом случае порода через фурунели подается в поезда подземной откатки, курсирующие при соответствующей системе разминок по нижней штольне. Французы все же избегают двухштольную систему по следующим соображениям: при пробивке нижней штольни приводятся в движение грунты, лежащие в кровле выработки, и приходится вести ответственные работы по раскрытию калотты уже в тронутых породах.

в) Опускание стен в колодцах из каллоты

Иногда при раскрытии калоттного профиля по проектным отметкам пят свода грунт оказывается настолько слабым, что не в состоянии быть основанием даже временного порядка и неспособен выдер-



Долготный разрез по оси штолни.



Поперечное сечение штолни



Рис. 133. Схема производства работ по проходке штолни в плавунках методом пикотажа.

живать давление свода тоннельной обделки. В этом случае применяется система опускания стен в колодцах из калотты.

На ширину калотты в 3,20 м проходятся колодцы, подрезая ненадежные грунты до подошвы фундаментов стен.

В дальнейшем производится непрерывное возведение стен от фундамента до замка свода, одновременно с двух сторон. Эта система применяется на некоторых кольцах тоннельного участка у ворот Майо. Недостаток ее заключается в том, что во время проходки колодцев и возведения стен калотта стоит на временном креплении, что при некоторых условиях приводит к осадкам.

г) Устройство стен в колодцах под готовым сводом

После того, как свод выведен, может оказаться, что грунт нижней части штрессного профиля нельзя разработать откосом. Так бывает например в условиях сыпучих песков, когда грунт при выборке среднего штрессного ядра будет вылезать из-под пят свода, что может привести к осадкам свода, его деформациям и даже к обрушению. В этом случае применяется весьма распространенная во французской практике система устройства стен тоннеля в колодцах под готовым сводом. В шахтном порядке закладываются через два кольца колодцы размерами в плане $2,5 \times 2,00$ м до подошвы фундаментов стен тоннеля. В этих колодцах и производится обычная подводка стен под своды (рис. 130, 131).

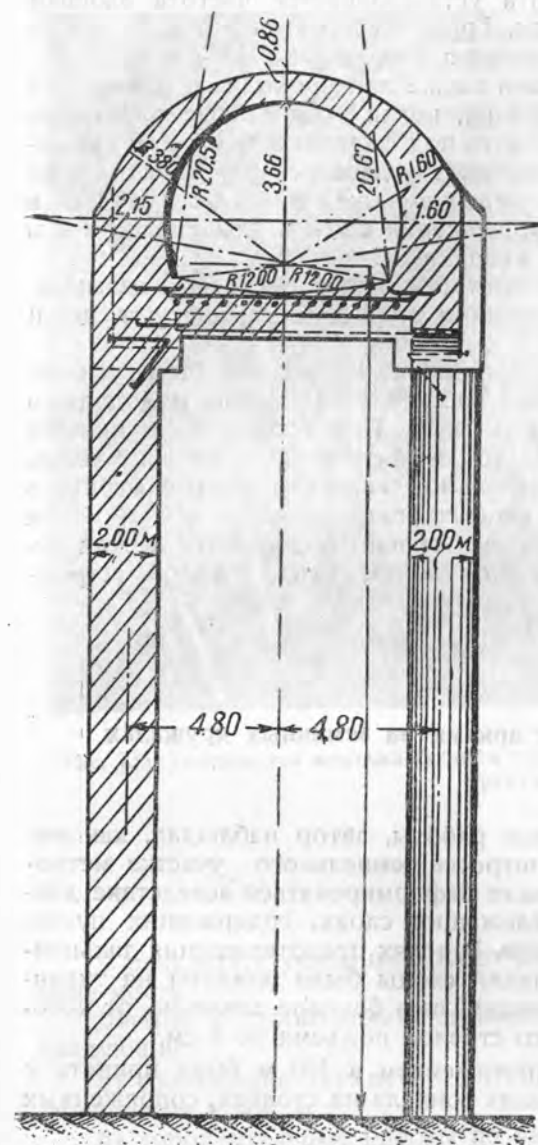


Рис. 134. Конструкция двухпутного тоннеля-моста, опоры которых сооружены в колодцах.

д) Проходка тоннелей по видоизмененной бельгийской системе со средним колодцем при водоносных грунтах в нижней части профиля.

Иногда в Париже проходят тоннели по бельгийской системе, даже при наличии в нижней части тоннельного профиля слабых грунтов, не способных выдержать давления от пят свода, после его раскруживания. В этом случае работы производятся следующим методом: калотта раскрывается по обычной бельгийской системе при постановке дополнительных лежней под штендера параллельно оси тоннеля на все кольцо. Немедленно производится установка специальных кружал со швеллерами под подкружальные стойки, распространяющие давление по всей площади раскрытого кольца.

Затем ведется обычная кладка свода от пят к ключу. Свод оставляется пока на кружалах. После этого приступают к проходке колодцев в середине штрессы, осушающих нижнюю часть профиля. В дальнейшем эти колодцы превращаются в продольную раскрепленную траншею по оси тоннеля. Из траншеи отдельными заходками производится подводка стен под своды, стоящие на кружалах. Эта система связана с большим расходом лесного материала, с теснотой работ и ее следует

е) Метод пикотажа

При проходке на деревянном креплении в слабых грунтах плавунного характера французами применяется метод пикотажа. Сущность его заключается в том, что забивается группа свай-колыев в грунт, чем удается достигнуть уплотнения грунта и уменьшения его текучести. В зависимости от местных условий пикотаж может производиться по подошве, по бортам, чаще по лбу забоя выработки. В

соответствии с текучестью грунта устанавливается частота забивки кольев по данной площади забоя. Грунт выбирается между кольями и последние соответственно забиваются вперед (рис. 133).

Метод пикотажа употребляется также при проходке в плавунных грунтах щитами небольшого сечения, когда тоннельные работы не представляется возможным проводить под сжатым воздухом. Во Франции при проходке щитом в плавунках удавалось продвигаться со скоростью 0,75 м в неделю. Применением же пикотажа удалось в этом случае довести скорость продвижения щита в плавуне до 2-х м в сутки без применения сжатого воздуха.

Пикотаж проводится французами с большим умением и навыком. Неумелое же ведение пикотажных работ приводит к выпуску грунта и к осадкам поверхности.

Крепление штольневых рам при пикотаже должно быть усиленным, способным воспринимать без расстроя удары и подвижки грунта при забивке уплотнительных сваек. При встрече с частичными включениями плотных пород, где трудно производить забивку сваек, французы рекомендуют предварительно давать передовые бурки, которые сваи забиваются без особых затруднений и расстроя штольневого крепления. При работе в сильно водоносных песках необходимо кроме того оградить вынос частиц грунта с водой, устройством специальных фильтров из сена.

ж) Система опускания столбов с арками на земляных кружалах

Изучая парижские тоннельные работы, автор наблюдал, как введенные своды при раскрытой штроссе тоннельного участка метрополитена под Рю-де-ла-Мейн начали деформироваться вследствие дислокаций, происходящих в нижележащих слоях, содержащих пустоты подземных парижских карьеров. В целях предотвращения дальнейшего развития процесса деформаций своды были приняты на тиранты с подкосами. Однако своды получали и боковое давление, от которых тиранты изгибались вверх со стрелой подъема до 4 см.

В дальнейшем на участке протяжением в 160 м была принята к производству система фундирования тоннеля на столбах, сопряженных арками (рис. 134).

В плане бетонные столбы диаметром 2,0 м размещались под фундаментами стен тоннеля через 6,40 м. Сверху столбы перекрывались армированными бетонными арками по оси тоннеля и железобетонными балками в перпендикулярном направлении. Имея такое искусственное основание, уже можно было подводить стены под своды.

Колодцы под столбы проходились круглыми, на обручах, из полосового железа 8×2 см с деревянными затяжками в шахматном порядке. Обручи ставились через 1,6 м. Скорость проходки колодцев, по моим наблюдениям, составляла 3,2 м в сутки. Каждый колодец оборудован был воротами с бадьей в $0,15 \text{ м}^3$ и обслуживался двумя рабочими. Закладка колодцев производилась через один, в шахматном порядке.

На участке Рю-де-Мейн колодцы проходились на глубину около 11,0 м через каверны карьеров до надежного грунта.

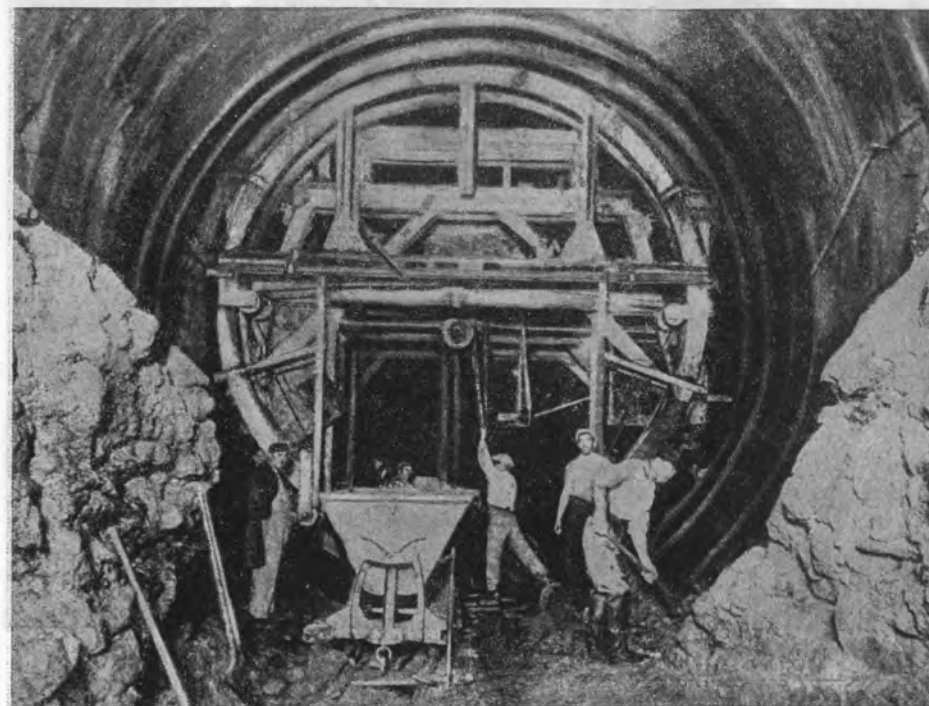


Рис. 135. Тележка для монтажа тубинга при проходке в устойчивых водоносных грунтах.

В результате указанных работ получается сооружение в виде тоннеля-моста.

Данные о строительной стоимости работ на участке Рю-де-Мейн следующие:

а) сооружение двухпутного тоннеля в нормальных условиях 6000 франков за 1 пог. м.

б) дополнительные работы по укреплению столбами и бетонными арками — 4 000 франков за 1 пог. м.

Всего — 10 000 франков на 1 пог. м двухпутного тоннеля.

Консолидировавшаяся годами парижская система работ находится всецело во власти тоннельного крепыльщика-кустаря, от искусства и умения которого зависит успех работ. Механизация процессов при заполнении сечения выработки деревянным креплением чрезвычайно ограничена.

Если приведенная система работ на настоящем этапе приемлема для Парижа, то при наших грандиозных масштабах и темпах она не может нас полностью удовлетворить.

Это побуждает нас попутно с изучением использованием на практике советского метро парижского опыта искать новых приемов и путей.

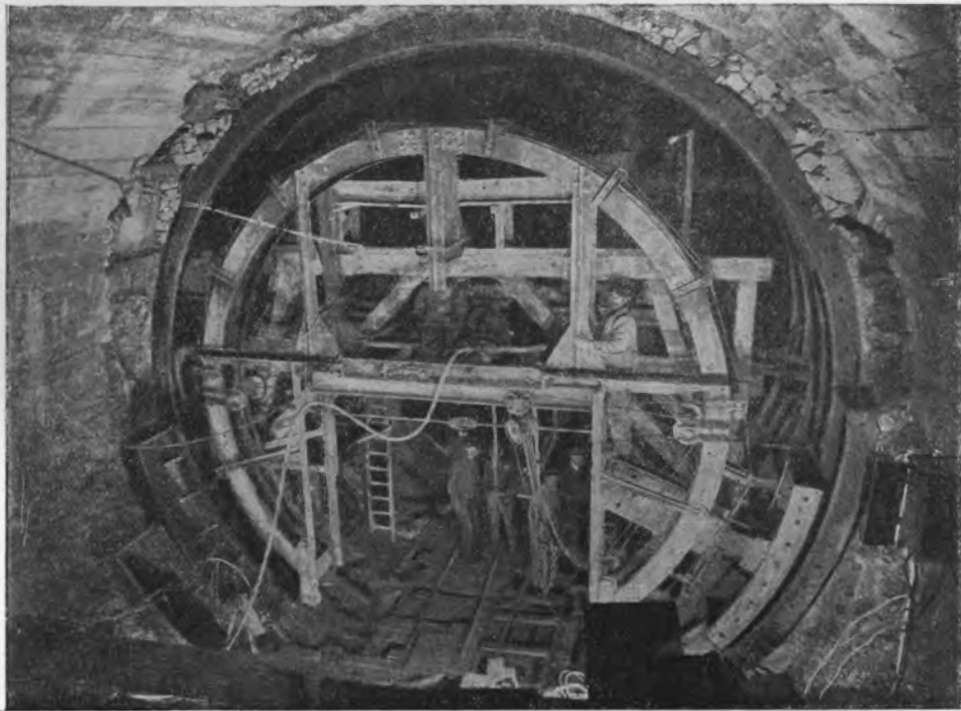


Рис. 136. Специальная тележка для монтажа тубингов при проходке в водоносных устойчивых породах

з) Усовершенствованная бельгийская система работ с подвижными кружалами типа «Блоу Нокс»

Идея по пути усовершенствования парижского способа работ, американская фирма «Блоу Нокс» сделала попытку механизировать практикующиеся приемы.

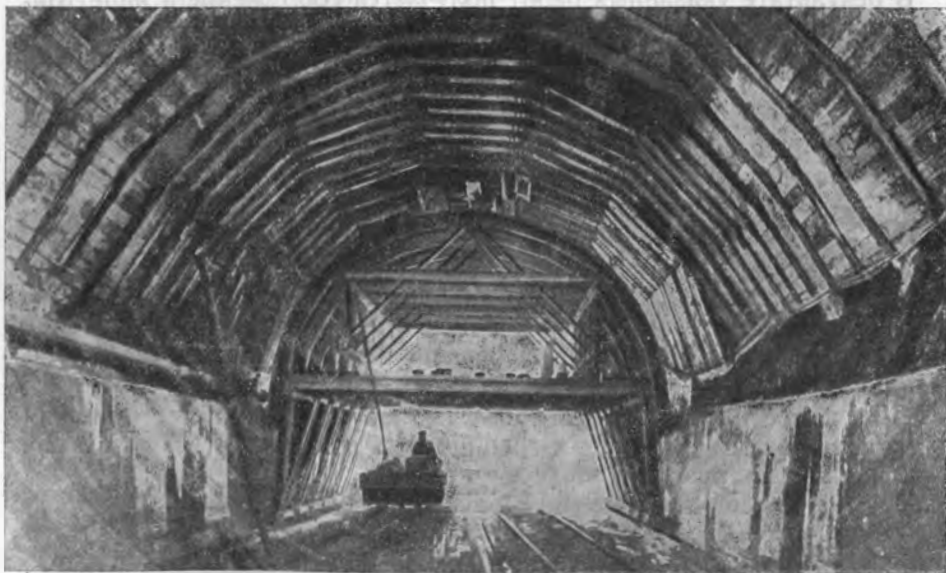


Рис. 137. Крепление тоннельного профиля по системе «Блоу Нокс».

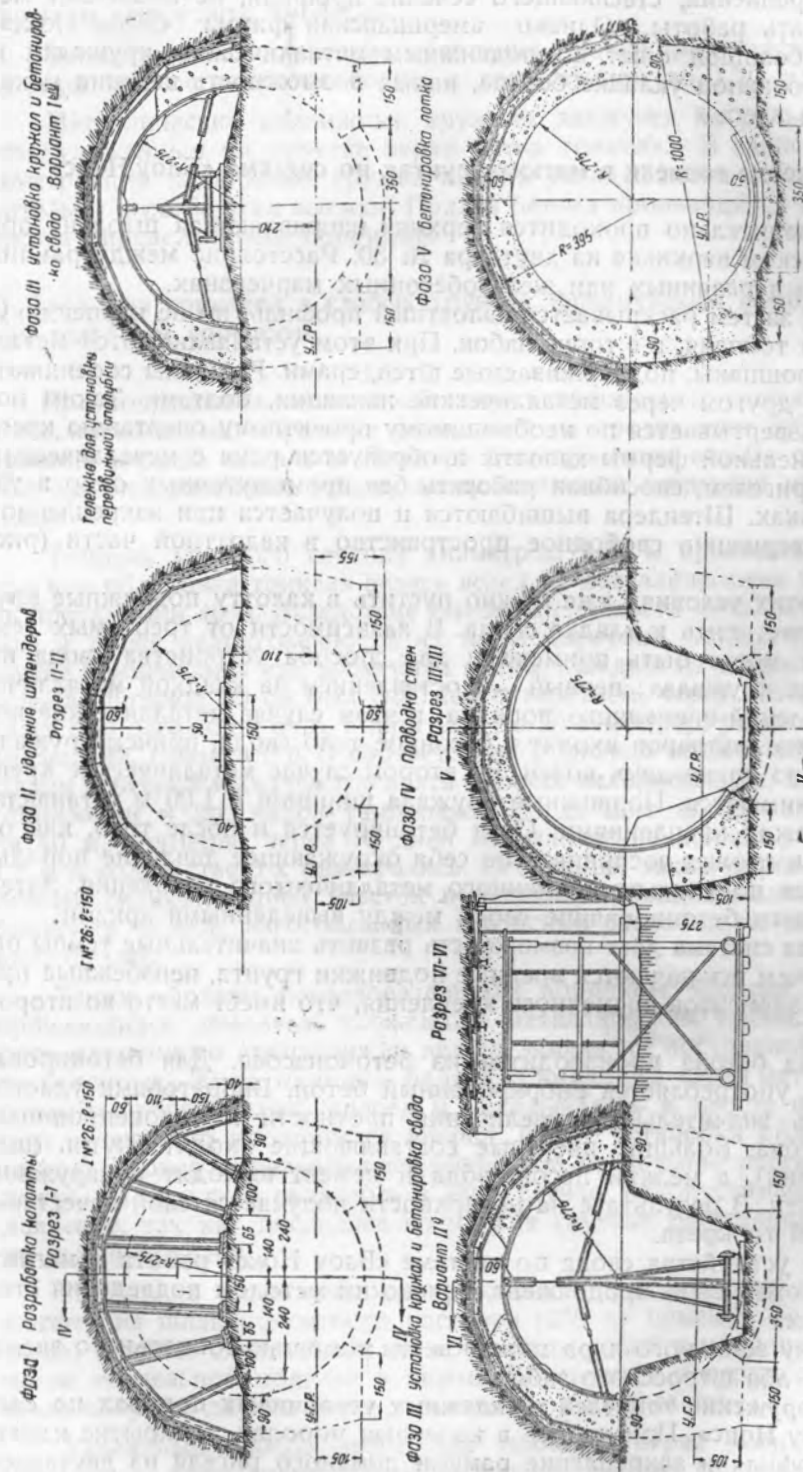


Рис. 138. Разработка однопутного тоннеля по системе «Блоу Нокс».

Основной недостаток парижской системы заключается в том, что наличие крепления, стесняющего сечение профиля, не позволяет механизировать работы. Однако американская фирма «Блоу Нокс», имеющая большой опыт по подвижным металлическим кружалам и механизированной укладке бетона, нашла возможность ведения механизации и здесь.

1. Сооружение тоннеля в мягких грунтах по системе «Блоу Нокс»

Предварительно проходится верхняя направляющая штольня при металлическом верхняке из двутавра № 30. Расстояние между рамами 1,70 м при деревянных или железобетонных марчеванах.

Вслед за тем раскрывается калоттный профиль, но не перпендикулярно оси тоннеля, а с торца забоя. При этом устанавливаются металлические рошпаны, поддерживаемые штендерами. Рошпаны соединяются друг с другом через металлические накладные болты. Таким порядком разворачивается по необходимому проектному очертанию крепление тоннельной фермы калотты и образуется рама с металлическим ломаным ригелем, способная работать без промежуточных опор в узловых точках. Штендера вышибаются и получается при закреплённой кровле совершенно свободное пространство в калоттной части (рис. 137, 137).

При этих условиях уже можно пустить в калотту подвижные кружала и приступить к кладке свода. В зависимости от требуемых темпов работ могут быть применены два способа устройства свода на подвижных кружалах: первый — с оставлением за кладкой металлических креплений временного порядка; в этом случае металлические полукольца из двутавров входят в бетонное тело свода, причем кружала делаются по длине двух колец. Во втором случае металлические крепления вынимаются. Подвижные кружала шириной в 1,00 м устанавливаются между креплениями. Свод бетонируется и после того, как он окрепнет и сможет воспринять на себя окружающее давление породы, вынимается полукольцо временного металлического крепления. Затем производится бетонирование свода между выведенными арками.

Первая система дает возможность развить значительные темпы работ, причем исключаются вредные подвижки грунта, неизбежные при удалении элементов временного крепления, что имеет место во второй системе.

Подача бетона производится из бетононасоса. Для бетонирования свода употребляется вибрированный бетон. Вибраторами удается достигнуть значительного увеличения плотности и водонепроницаемости бетона. Большие инертные составляющие входят внутрь (щебень, гравий), а мелкий песок, вода и цемент выходят к наружной поверхности. В результате на поверхности получается слой качественно лучший торкрета.

После устройства свода по системе «Блоу Нокс» работа в мягких грунтах может быть продолжена парижским методом подведения стен в колодцах.

Уборку земляного ядра можно вести помощью тоннельного экскаватора со лба штроссного забоя.

2. Сооружение тоннелей в надежных устойчивых породах по системе «Блоу Нокс». При работе в коренных породах, раскрытие калоттного профиля и закрепление рамами ломаного ригеля из двутавров № 30 производится аналогичным порядком, как это изложено в системе применительно, к мягким грунтам.

В этом случае бетонирование свода ведется с забоя уже при раскрытом штроссном профиле.

Временные металлические крепления кровли опираются на породу, при чем оставляются бермы с двух сторон до 1,20 м.

Металлические подвижные кружала движутся по рельсовым путям, уложенным на отметке верха лотка тоннеля. В зависимости от конструкции подвижных кружал иногда укладываются рельсы дополнительно и по бермам выемки. Подача бетона производится из бетононасоса определенными порциями.

и) Проходка тоннелей в слабых грунтах французским комбинированным щитовым способом

При сооружении тоннеля «Лескэн» в водоносных слабых грунтах с выклиниваниями моренных отложений на протяжении 325 м французской фирмой «Деплэ и Лефевр» был применен весьма оригинальный комбинированный прием, заслуживающий внимания наших техников.

Тоннель круглого сечения диаметром 2,25 м проходилась щитом, при чем облицовка тоннеля велась вслед за металлическими тубингами на протяжении 40 м. Вследствие высокой стоимости металлических тубов, а также недолговечности их из-за коррозии, тубинги в данном случае применялись как временная крепь. Каждый из шести сегментов кольца шириной 50 см был снабжен отверстием, через которое нагнетался под давлением от 5, а иногда и до 20 атмосфер, раствор цемента, химикалий, глины и т. п. В соответствии с физико-механическими свойствами пересекаемых грунтов велся процесс силикатизации, цементации, глинизации и др. видов тампонажа. Когда щит продвигался вперед на 40 м, примерно через 10 дней металлические кольца участками в 1,5 м в количестве 3-х разбирались. Оголенный таким образом закрепленный силикатизацией участок немедленно облицовывался обделкой бетонных блоков, изготовленных заводским способом из вибрированного бетона.

Таким образом последовательным порядком, малыми участками, производился демонтаж уложенных металлических тубов, игравших роль временного крепления, и велась замена их постоянной обделкой из бетонных, 20-см толщины блоков. Снимаемые сзади металлические сегменты переносились вперед и укладывались в хвосте щита, который независимо продвигался вперед. После установки кольца из бетонных блоков производилось повторное нагнетание раствора за обделку. На практике оказалось в этом случае недопустимым высокое давление, так как последнее во многих случаях расстраивало элементы самой обделки.

Повторное нагнетание производилось при давлении до 2—3 атмосфер из шлакоцементного раствора (250 кг цемента — 200 литров воды) с целью схватывания блоков между собой и придания монолитности тоннельной обделке в целом. Внутренняя поверхность тоннеля была покрыта двухсантиметровым торкретным слоем.

Указанный способ работ, где тубинги, играя роль временного крепления, дают возможность закрепить слабые грунты, после чего устраивается постоянная каменная обделка, является чрезвычайно эффективным и технически остроумным приемом.

§ 3. Сооружение тоннелей у домов

Сооружая тоннели вблизи домов, французы, если это позволяют геологические условия и характер фундирования здания, пытаются пройти без особых подводок фундаментов и во всяком случае стараются свести работы по усилению фундаментов, к минимуму. Считается, что работы, связанные с укреплением фундаментов, дают иногда гораздо большие деформации, чем при проходке самим тоннелем возле дома, без предварительного укрепления последнего. Во многих случаях это и верно, но не всегда. Поэтому бравировать этим сооружением рискованно.

При прокладке тоннелей вблизи домов в Париже применяют разные системы укреплений. В грунтах сухих, но неустойчивых, где может произойти выползание грунта из-под подошвы фундамента, в процессе разработки калоттной части устраивается бутовая на цементном растворе защитная стенка «мюр де маск» толщиной в 40 см

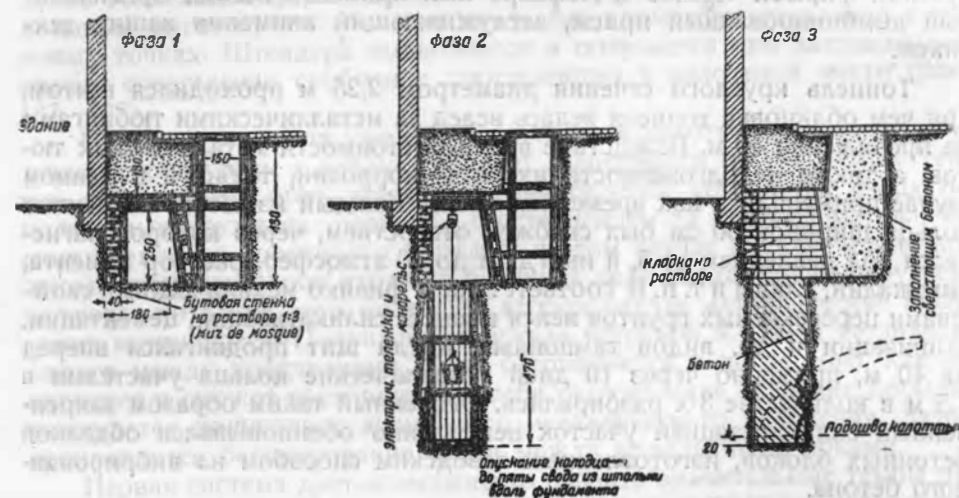


Рис. 139. Проходка тоннеля у дома, в Париже.

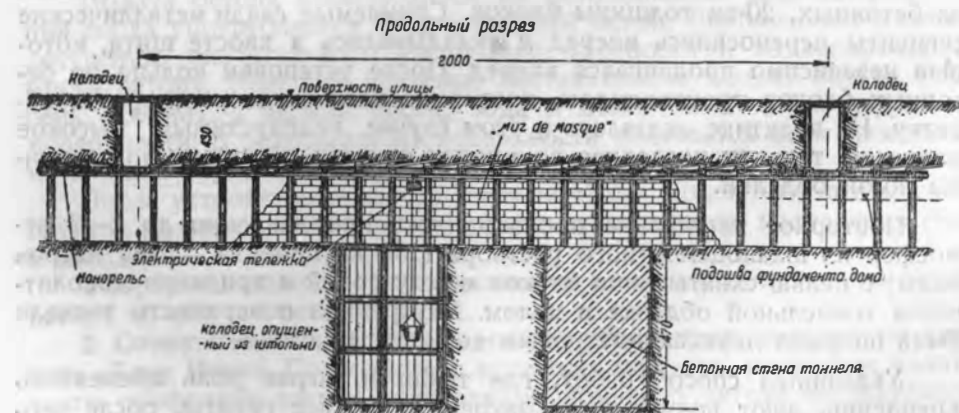


Рис. 140. Проходка тоннеля у дома, в Париже.

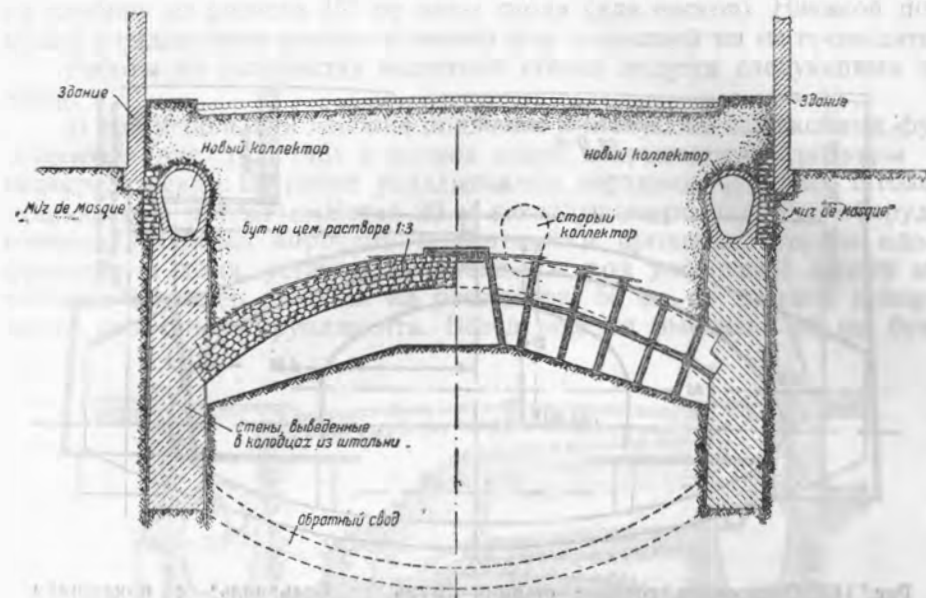


Рис. 141. Схема сооружения станции метрополитена вблизи домов в Париже.

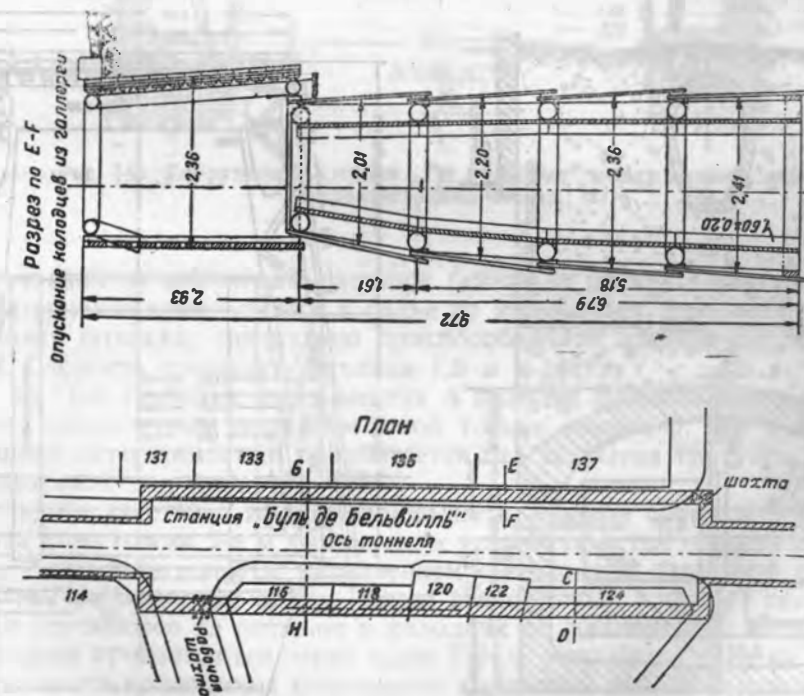


Рис. 142. Сооружение станции метро „Буль де Бельвилль“. Одна стена станции заложена в штольне непосредственно под фундаментами домов. Другая стена станции построена в отдельных колодцах, заложенных с поверхности улицы.

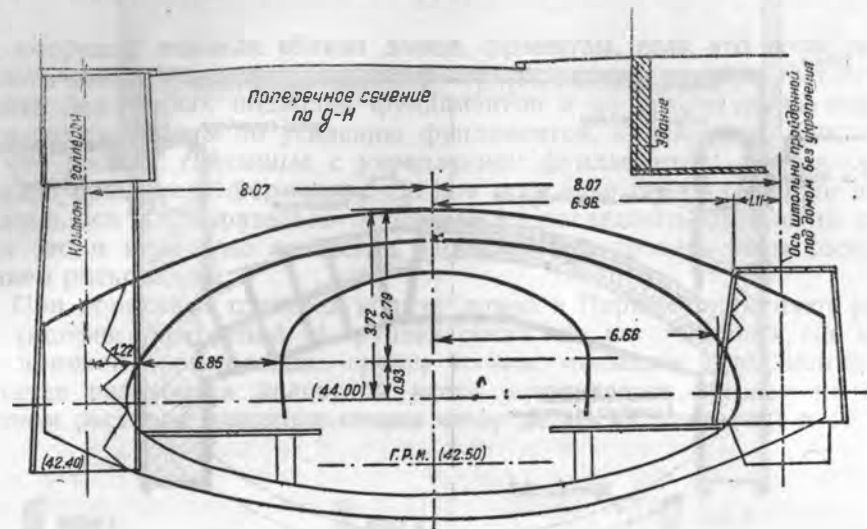


Рис. 143. Поперечное сечение станции „Буль де Бельвиль“ с показанием штолен и колодца.

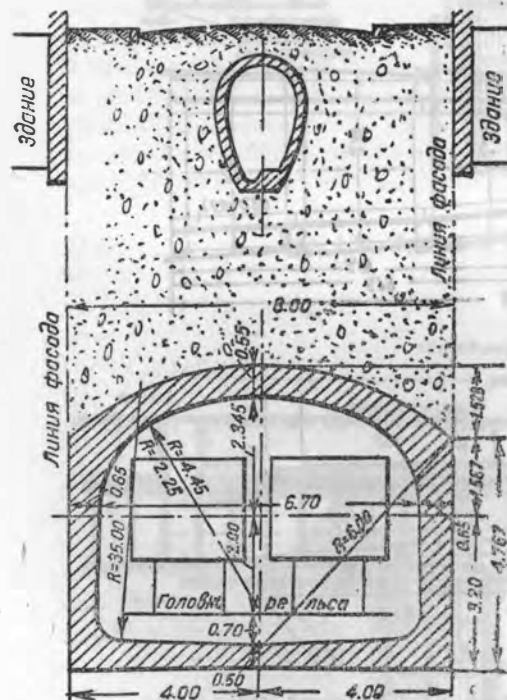


Рис. 144. Проходка двухпутным тоннелем под ул. „Оле“. Внешние грани стен тоннеля срезаются по плоскостям фасадов домов.

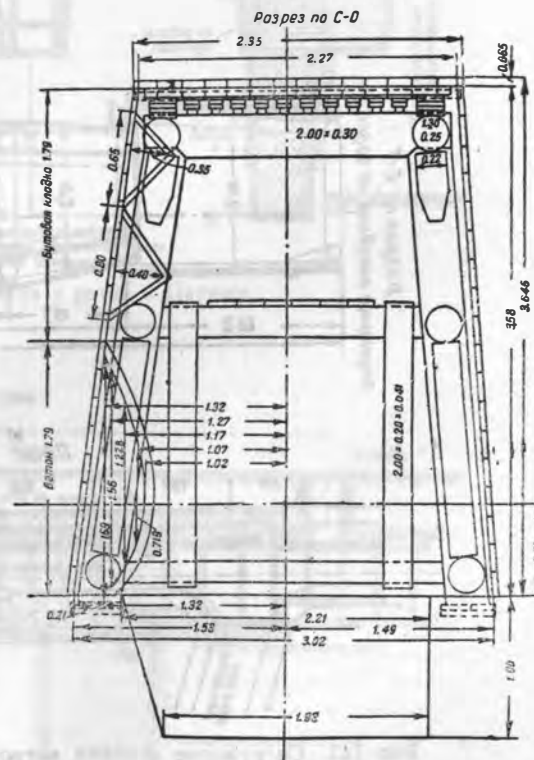


Рис. 145. Конструкция крепления штольни для закладки стены станции „Буль де Бельвиль“ под домом.

на глубину из расчета 45° от пяты свода (для песков). Никакой подводки фундаментов непосредственно под подошвой их не проводится.

Работы по устройству защитной стенки ведутся следующими путями:

а) при небольшой глубине подводки и неглубоко заложенных фундаментах (рис. 142, 143) в ночное время вскрываются тротуары и непосредственно на грунт укладываются верхняки будущих штолен, обшиваемые настилом. Через 20 м закладываются колодцы, оборудованные обычными воротами и начинается проходка штолен вдоль фундамента дома, установкой штендеров под уложенные сверху маточки. Штендер ставится на расстоянии 50 см от лицевой поверхности оголенного фундамента. Вслед ведется выкладка 40 см буто-

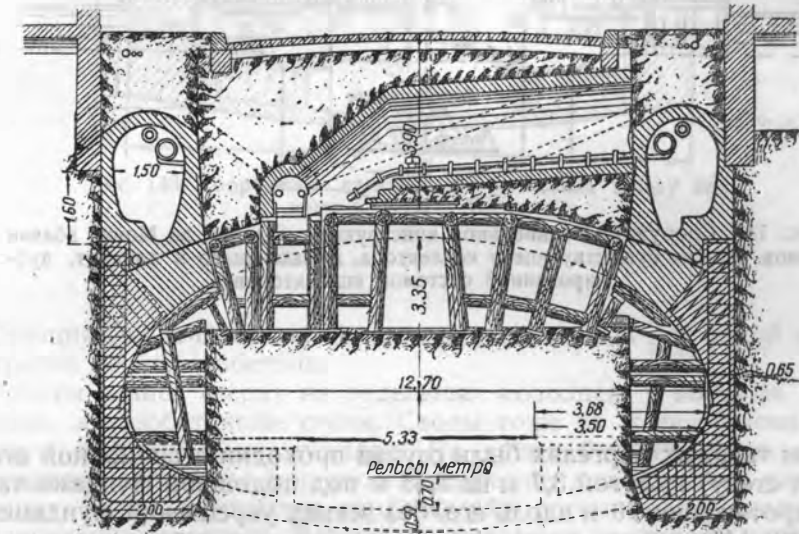


Рис. 146. Сооружение станции „Рю де Кример“ между домами, при железобетонных стенах.

вой стенки на цементном растворе («мюр де маск»). Откатка породы и материалов производится в баде по монорельсу, прикрепленному к потолку штольни, специально приспособленной электрической тележкой. Скорость проходки штольни 1,6 м в сутки.

б) При глубоких фундаментах и наличии подвала работы проводятся аналогичным порядком с той только разницей, что с исключительной осторожностью продвигается без вскрытия тротуара, полный штольневой ход (рис. 139, 140).

в) Когда стенка тоннеля подходит к лицевой поверхности фундамента дома ближе 2-х м, стремятся к устройству стен тоннеля в колодцах, с предварительным укреплением фундамента защитной стенкой.

г) При проходке вблизи домов станционных тоннелей стены тоннеля опускаются из штольни в колодцах по длине в 4,00 м. Вскрытие колодцев производится через один. После устройства стен на них основываются коллекторы подземного хозяйства, для чего используется профиль пройденной штольни (рис. 141).

Раскрытие калотты и устройство свода ведется тоннельным способом из верхней центральной галереи.

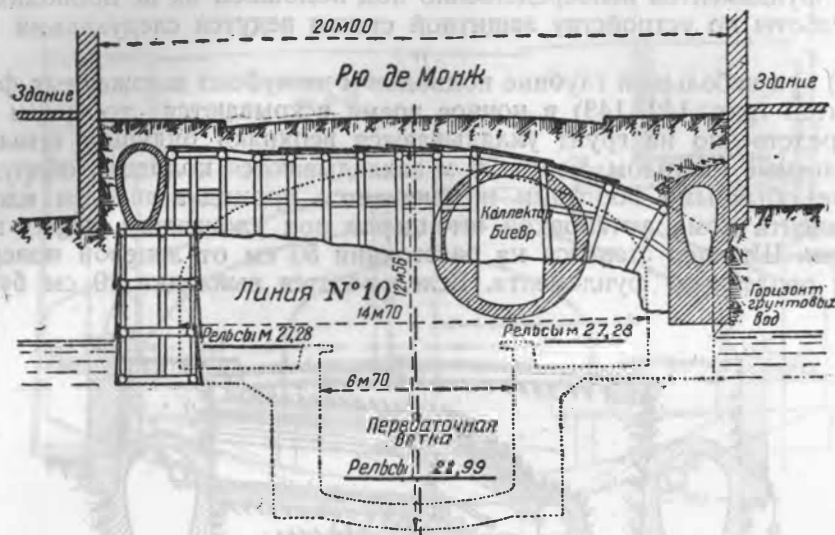


Рис. 147. Сооружение тоннельной конструкции под ул. де Монж вблизи домов. Замена существующего коллектора, попадающего в габарит, дублированной системой коллекторов.

При твердых мергелях были случаи проходки станционной штольни (под стену) высотой 3,7 м на 2,35 м под подошвой фундамента дома на протяжении 70 м вдоль его, без всяких укреплений фундаментов (рис. 142, 145).

Смелость французов, с которой они проводят тоннельные работы у домов, переходит иногда пределы разумной осторожности и приводит иногда к чрезвычайно печальным результатам. На последних работах строительства метрополитена участка «Републик-Бельвилль-Фет» некоторые дома приведены в катастрофическое состояние. Особенно большие повреждения понесли некоторые дома на ул. Бельвилль. Здесь около десятка домов в 5—6 этажей удерживаются от развала густой системой деревянных креплений. Некоторые дома освобождены от жильцов и предназначены к сносу.

При сооружении станции «Рю-де-Крима» под улицей, шириной в 10,00 м, стены станции попадали под дома. С целью исключить связанные с этим осложнения было решено устроить стены из железобетона толщиной 65 см. (рис. 146).

Работы производились вдоль фундаментов домов отдельными колодцами размерами в плане 2,00 × 3,20 м через один. В колодцах закладывали железобетонные стены, на которых возводились коллекторы дублированной системы общесплавной канализации, заменявшие коллекторы, попадавшие в сечение тоннеля станции и подлежащие уборке. По окончании стен проходила центральная верхняя штольня и раскрывалась калотта кольцами в 3,00 м при налегающей толще грунта над шельгой свода в 3,90 м. Свод возводился с опиранием на выведенные в колодцах стены. После раскручивания производилась уборка штроссного ядра и кладка обратного свода.

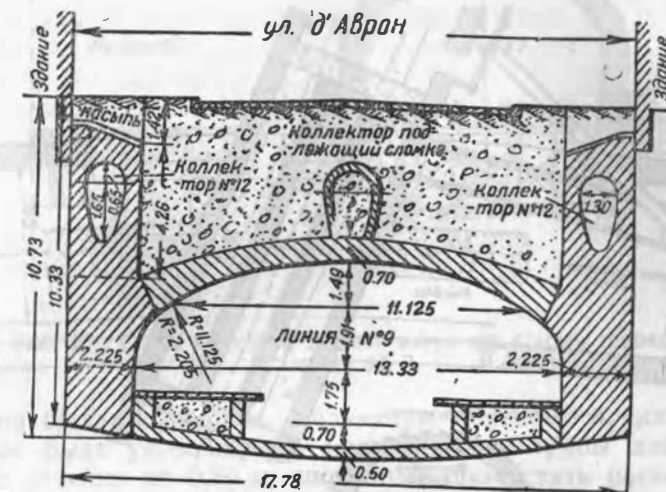


Рис. 148. Сооружение станции метрополитена между домами под ул. д'Аврон.

Станция Рю-де-Волонтер была также размещена под узкой улицей и устроена из железобетона.

Работы велись сверху из отдельных колодцев, в которых закладывались железобетонные стены. Своды тоже из железобетона укладывались по земляным кружалам. На время бетонирования сводов устраивалось временное мостовое перекрытие для пропуска уличного движения. После устройства свода сверху производилась засыпка и восстановление мостовой. Работы по удалению земляного ядра станции и лотка проводились подземным путем без нарушения движения на поверхности.

Работы по сооружению тоннелей метро под Рю-де-Коммерс на протяжении 3,00 км ведутся под улицей шириной от 14—22 м. Предварительно здесь проводятся работы по устройству дублированных коллекторов вдоль фасадов домов взамен тоннеля коллектора, проходящего по середине улицы и попадающего в габарит будущих тоннелей метрополитена. В настоящее время развернуты работы по ограждению фундаментов защитной стенкой и сооружению коллекторов тоннельным способом. Через 25—30 м по улице заложены шахты размерами рабочих площадок 5 × 8,00 м с одним металлическим бункером. При этом установлено одностороннее уличное движение. Обратное движение идет по параллельной улице.

Эти работы ведутся в условиях разнородных песков при горизонте грунтовых вод на глубине 7,00 м от поверхности, при деревянном креплении и каменной кладке.

Для сооружения тоннельного коллектора проходится штольня при посадке в 1,6 м, которая раскрывается на одну пару лонгарин при кольце в 3,2 м. Немедленно 2 каменщика закрывают профиль сводом. Несмотря на интенсивное уличное движение, значительных осадок поверхности не наблюдается. Для удержания песка от высыпания из щелей между марчеванами при сотрясении затыкается солома или бумага. Из коллектора в колодцах закладываются стены тоннеля.

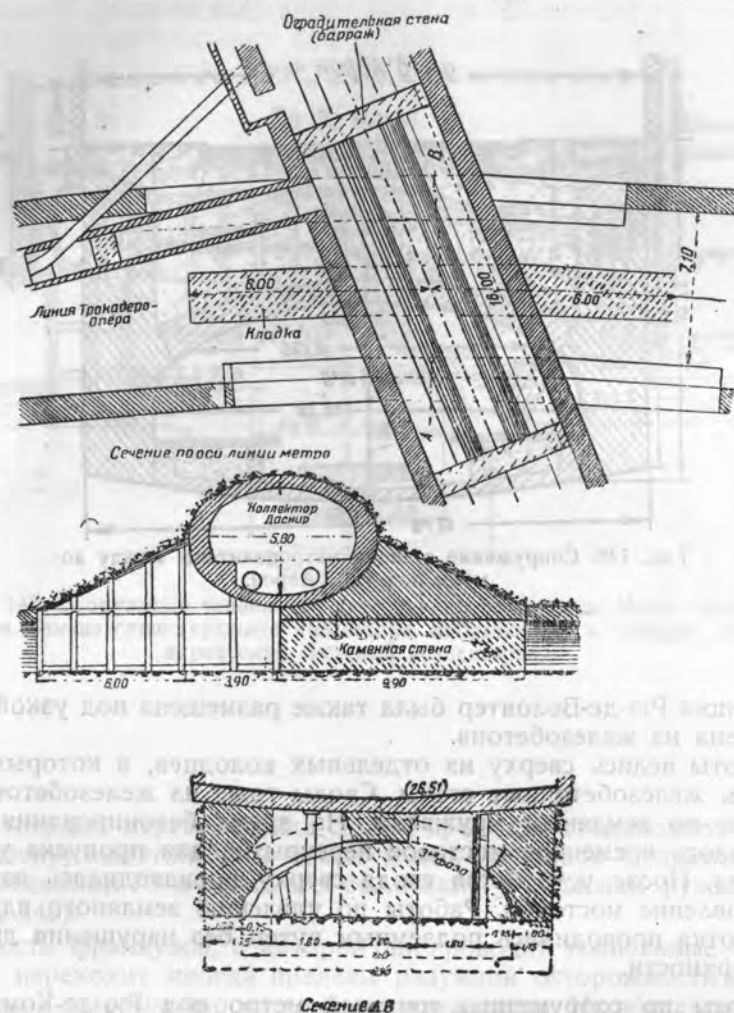


Рис. 149—150. Схема проходки тоннелей метрополитена под коллектором «Д'аснир».

неля из бетона. В дальнейшем после пробивки центрального штольнего хода раскрывается калотта, возводится свод, ведется уборка ядра и т. д.

§ 4. Проходка тоннелей под искусственными сооружениями и устройство пересечений

а) Проходка тоннеля метрополитена под коллектором «Д'аснир»

Проходка тоннеля метрополитена линий «Трокадеро—Опера» под тоннельным коллектором общесплавной канализации «Д'аснир», имеющим сечение в свету 5,6 м, представляла чрезвычайно ответственную инженерную задачу. Отвести этот коллектор основной магистрали не было возможно.

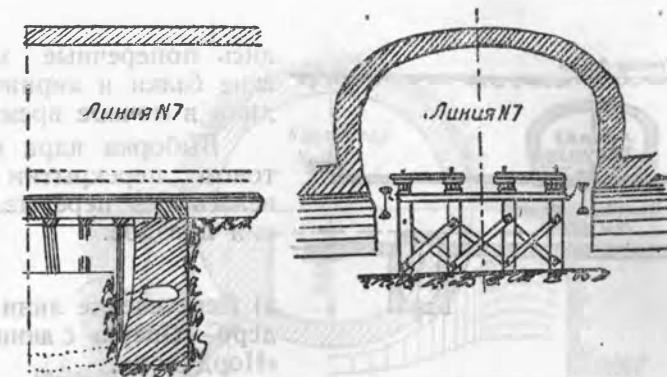


Рис. 151. Схема проходки тоннеля метро под старым тоннелем линии № 7.

Задача была разрешена следующим образом: предварительно в коллекторе были уложены две металлические трубы диаметром поперечного сечения по 0,80 м, способные пропустить расход вод коллектора. Трубы были замурованы в каменные барражи, ограждавшие участок коллектора в 16 м в месте пересечения с линией метрополитена. Воду из коллектора откачали и основной расход был пропущен через уложенные металлические трубы. Из противоположных участков прокладываемого тоннеля метрополитена, где уже были выложены своды, на смычку была пройдена штольня шириной 2,0 м, которая постепенно поднималась в соответствии с очертанием обратного свода обделки коллектора. Отступая, штольня была полностью заложена временной кладкой на растворе в нижней части и бетоном — в месте ключа свода.

Таким путем была возведена средняя 2-метровая опора под коллектор.

Аналогичным порядком, параллельно, были пройдены штольни по линии стен тоннеля метрополитена и также заложены бетоном. В нижних углах штолен была уложена опалубка для образования части внутренней поверхности свода. При промежутках 1,80 м был до конца раскрыт калоттный профиль и уложен свод основного тоннеля.

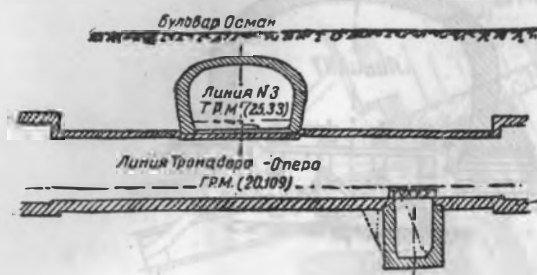
В дальнейшем обычным путем была произведена выборка штросного профиля, подводка стен и кладка обратного свода.

б) Прокладка тоннеля метро под тоннелем линии № 7

Чтобы избежать трудностей, связанных с опусканием головки рельс, по профилю новой линии метро, было решено пойти на общее перекрытие лотка и свода в месте пересечения.

Для осуществления этого проекта работы производились следующим образом: рельсы существующей линии метро были взяты на металлические пакеты, уложенные по бетонному лотку. Для этого потребовались: подъем отметки головки рельсов на 25 см и изменение уклона до 7,5 ‰. Далее по центру вновь прокладываемой линии была пройдена верхняя штольня, из которой боковыми заходками опускались колодцы размерами 1,6 м по стене тоннеля.

Лоток, по которому уложены были пути, укреплялся системой подпорок. После этого были пробиты борозды в лотке для укладки главных металлических балок несущего перекрытия. Малыми частями при последовательной выломке существующего лотка укладыва-



лись поперечные металлические балки и кирпичные своды в ночное время.

Выборка ядра при готовом перекрытии и стенах велась без перерыва движения поездов.

в) Пересечение линии «Трокадеро—Опера» с линиями: № 3 «Норд-Зюд».

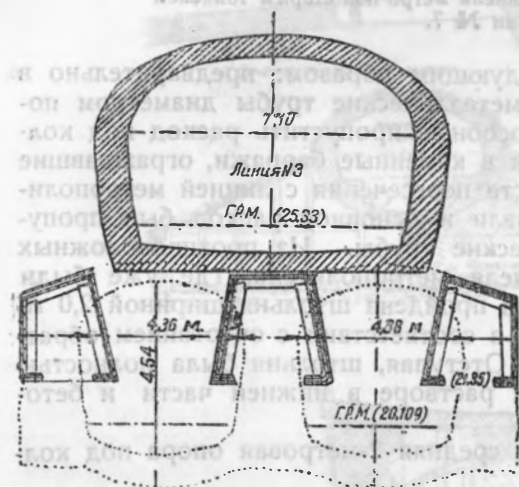


Рис. 152. Схема проходки линии метрополитена «Трокадеро—Опера» под линией № 3.

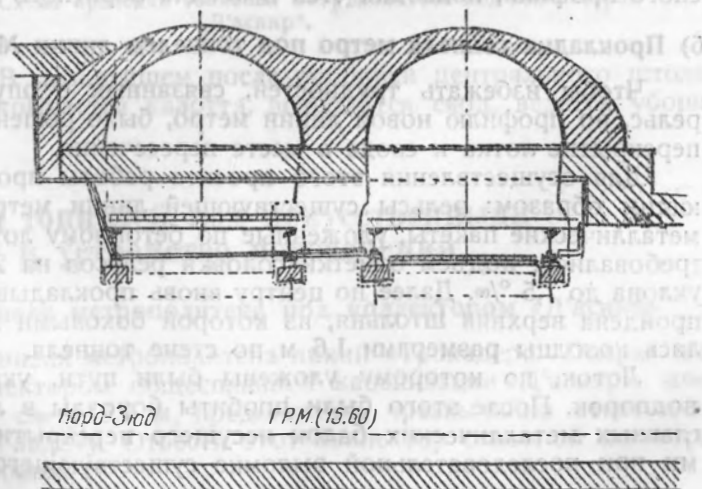


Рис. 153. Схема пересечения линии «Трокадеро—Опера» с линией «Норд-Зюд».

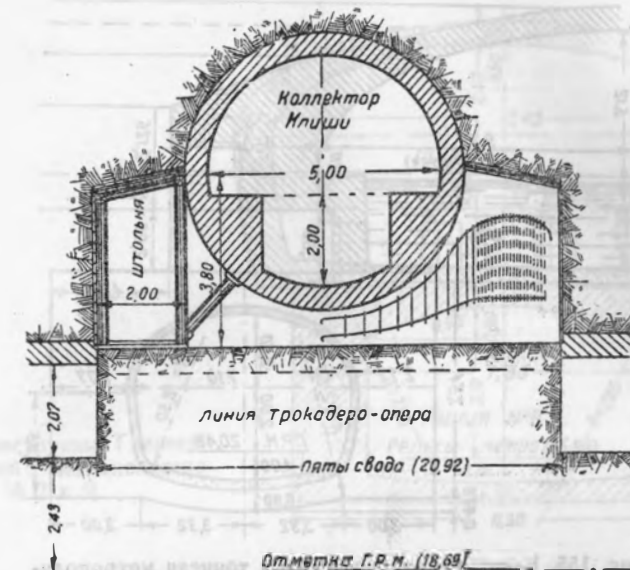


Рис. 154. Проходка тоннеля метро под коллектором «Клиши».

Пройденная штольня полностью заполнялась бетоном. Подобным же порядком проходились штольни под крайними стенами тоннеля и также закладывались бетоном.

Затем кольцами, длиной 2 м, раскрывались в последовательном порядке калотты и бетонировался свод с опиранием его на кладку, выложенную в штольнях. Работы по выемке штроссы и кладке не вызывали затруднений.

В процессе сооружения линии метро «Норд-Зюд» было предусмотрена возможность сооружения пересечения с линией «Трокадеро Опера». В связи с этим были предприняты следующие работы: в существующем своде тоннеля «Норд-Зюд» было пробито 8 отверстий для устройства бетонных подушек под четыре главные металлические балки с целью образования несущего перекрытия в месте пересечения. Своды линии «Норд-Зюд» были сломаны и системой поперечных балок, уложенных по главным балкам с кирпичными сводами, было устроено требуемое пересечение.

г) Проходка тоннеля под коллектором «Клиши»

Тоннельный коллектор Клиши имеет сечение в свету 5,00 м. При проходке тоннелем метрополитена непосредственно под коллектором до приступа к работам решено было произвести укрепление последнего железобетонной плитой на всем протяжении пересечения, способной принять на себя усилия, возникающие в коллекторе в случае осадки грунта под ним.

С поверхности были пройдены две шахты, через которые параллельно стенам коллектора были пройдены две галереи на протяжении 14 м. Из последних небольшими заходками под основание коллектора была уложена арматура и производилась бетонировка. Таким путем удалось выложить железобетонную плиту под коллектором.

В дальнейшем проходка велась при раскрытии калотты кольцами в 1,6 м, при чем каменная кладка свода велась до подошвы массива выложенной железобетонной плиты.

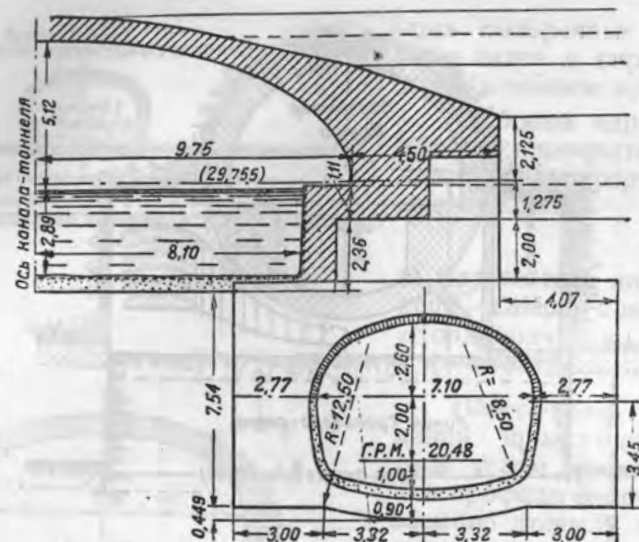


Рис. 155. Конструкция пересечения тоннеля метрополитена линии № 9 с тоннелем-каналом „Сан-Мартен“.

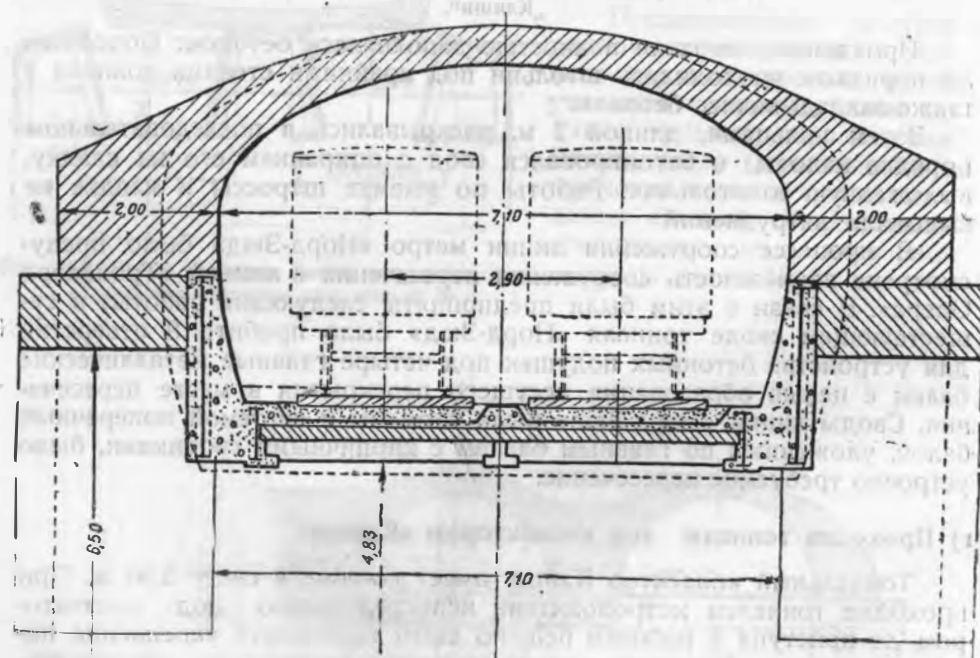


Рис. 156. Конструкция пересечения тоннелей метрополитена линий на Сан-Лазар и Инвалиды.

При подобной системе ведения работ пересечение тоннеля метрополитена с коллектором Клиши удалось провести с успехом без особых осложнений. В проходке тоннелями метро под коллектором Клиши были случаи крепления последнего внутренней, защитной, металлической рубашкой.

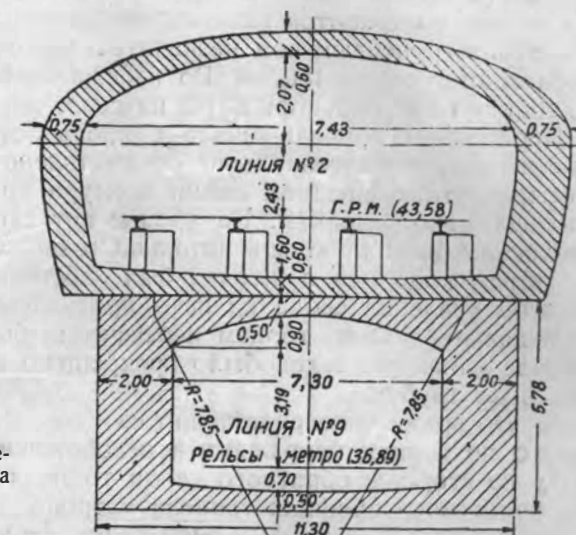


Рис. 157. Конструкция пересечения линий метрополитена № 2 и 9.

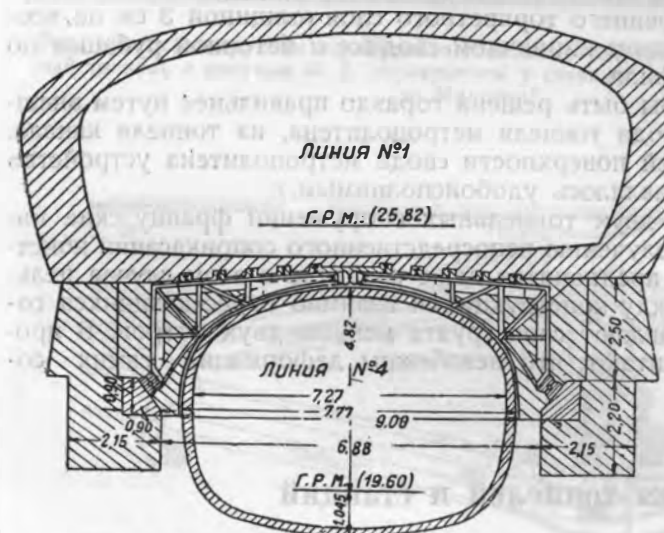


Рис. 158. Специальная разгрузочная металлическая конструкция арочного типа, в месте пересечения тоннелей двух линий метро.

д) Пересечение тоннеля канала с тоннелем метрополитена

На участке новой линии от «Плас-де-ля-Републик» под руководством инж. Анри¹ в настоящее время проводятся работы (начатые в марте 1933 г.) по сооружению тоннельного участка, содержащего три односводчатые станции длиной по 80 м. Общее протяжение строительного участка 1024 м. Здесь представляет технический интерес пересечение тоннеля метрополитена с тоннелем-каналом, шириной в 12 м, куда заходят суда из Сены.

¹ Принимавшего участие во французской экспертизе по проекту Московского метрополитена.

Работы производятся в карбонных глинах и мергелях, но местами в профиля выработок вклиниваются пески, насыщенные водой. Однако дебит грунтовых вод незначительный и с ним справляются два насоса диаметром по 130 мм. Во избежание вымывания песка ставятся двойная опалубка и фильтры из сена.

Пересечение тоннеля-канала с вновь строящимся двухпутным тоннелем метрополитена было осуществлено следующим образом: в четырех углах внешних линий контура пересечения сооружений было заложено 4 шахты. На уровне пят существующего свода тоннеля-канала были пройдены штольни и опущен ряд колодцев. Вынутый объем колодцев и штолен был забетонирован в соответствии с проектом усиления свода на всем протяжении места пересечения.

В дальнейшем по торцам пересечения были устроены барражи и сквозное движение судов было прекращено на 15 дней. Вода пропущалась по трубам.

За это время непосредственно из участка тоннеля-канала, огражденного по торцам барражами и освобожденного временно от воды, сверху со стороны обратного свода тоннеля-канала была вынута порога калоттного профиля тоннеля метрополитена и устроен бутовый свод, толщиной в ключе 95 см. Поверх свода был уложен бетон и восстановлен лоток тоннеля-канала. После этого были убраны барражи и восстановлено движение судов. Изоляцию тоннеля намечено осуществить в виде внутреннего торкретного слоя толщиной 3 см по всему контуру при защитном кирпичном сводике и бетонной рубашке по штрассной части профиля.

Изоляция могла бы быть решена гораздо правильнее путем внешнего изолирования свода тоннеля метрополитена, из тоннеля канала. При открытой внешней поверхности свода метрополитена устройство этой изоляции представлялось удобоисполнимым.

При пересечении двух тоннельных сооружений французские инженеры стремятся к получению непосредственного соприкосновения конструкций между собой, предпочитая даже создание в этом случае цельных конструкций. Между конструкциями взаимно пересекающихся сооружений они не оставляют слоя грунта меньше двух метров. В противном случае они считают, что неизбежны деформации самих сооружений.

§ 5. Реконструкция тоннелей и станций

а) Реконструкция двухпутного тоннеля в трехпутный у станции „Леколь-де Милитер“

Работы здесь были предприняты в связи с примыканием новой линии по Рю де Коммерс. Основное требование, предъявленное к методам производства данных работ, было ведение их при непрерывности движения поездов метрополитена на рабочем участке.

Тоннель проходит непосредственно под площадью «Инвалид». Двухпутный тоннель сводчатого профиля входил в сечение нового трехпутного тоннеля, по конструкции состоящего из двух бетонных стен и плоского железобетонного перекрытия.

Предварительно тоннель был взят на временные крепления из металлических двутаврового профиля кружал, по внутренней поверх-

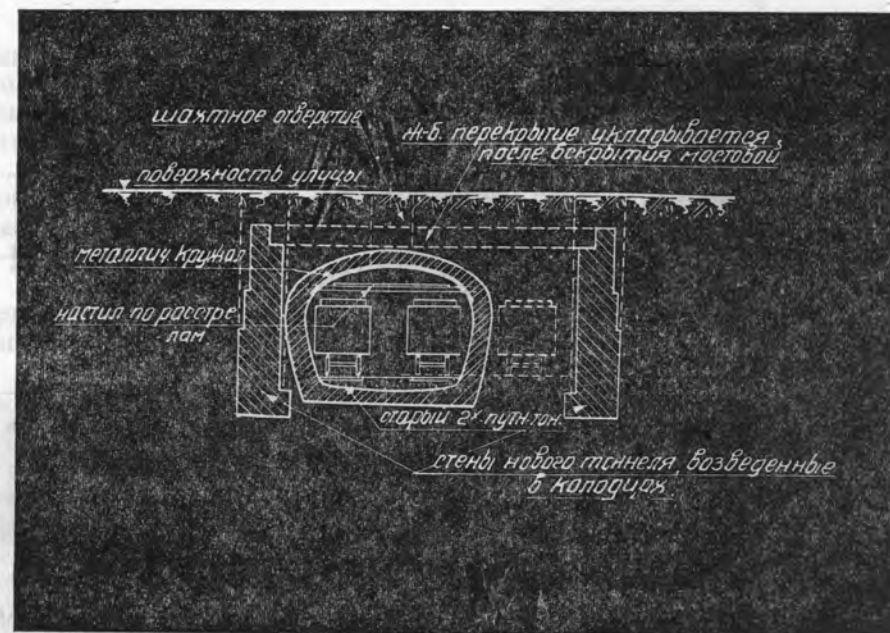


Рис. 159. Реконструкция двухпутного тоннеля сводчатого профиля в трехпутный тоннель с плоским ж. б. перекрытием у станции метрополитена „Леколь-де Милитер“

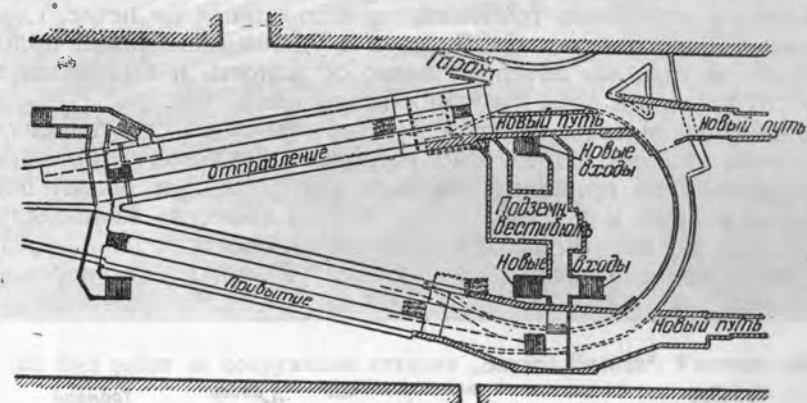


Рис. 160. Реконструкция петли у станции „Порт де Венсен“; аналогичная система у станции „Порт Майо“.

ности свода. Под пяты кружал были подведены штробеля вне габарита подвижного состава. Кружала стояли друг от друга на расстоянии 1,6 м. По пятам кружал были расставлены тиранты и на них уложен досчатый помост, необходимый для производства работ. Установка кружал производилась ночью, в период остановки движения.

Устройство стен велось сверху, в колодцах, пройденных забивной крепью в песчаных грунтах естественной влажности (рис. 159).

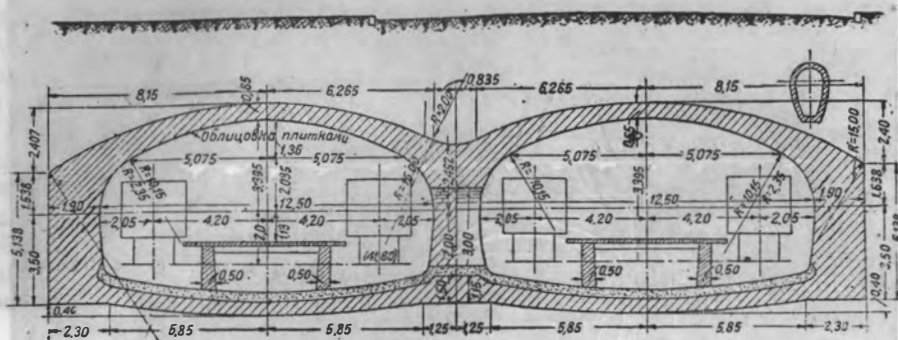


Рис. 161. Новая станция двухсводчатого профиля „Порт де Венсен“

Далее, отдельными участками, частично пользуясь устроенным настилом, производилась укладка арматуры и бетонировались балки несущего перекрытия, перерезавшего свод тоннеля.

После устройства основной конструкции тоннеля ночью производилась разработка свода, стен и выборка земляного массива, входящего в профиль трехпутного тоннеля.

б) Реконструкция узла у станции «Порт Майо»

Станция «Порт Майо» представляет собой конечный пункт 1-й линии Парижского метрополитена. Эта станция имела две отдельные платформы в отдельных тоннелях, расположенных на петле, где обобщался подвижной состав. В связи с удлинением линий подобное расположение станции потеряло целесообразность и выявилась необходимость коренной реконструкции петли (рис. 160).

Тоннельные работы на этом участке велись по следующему проекту: новая станция Порт Майо устроена двухсводчатой, четырехплатформенной по принципу боковых платформ при общей ширине выработки в 34,00 м и длине в 105 м. Она вынесена за пределы существующей петли. Подход к станции осуществляется через два двухпутных тоннеля, исходящих из центрального узла переходных

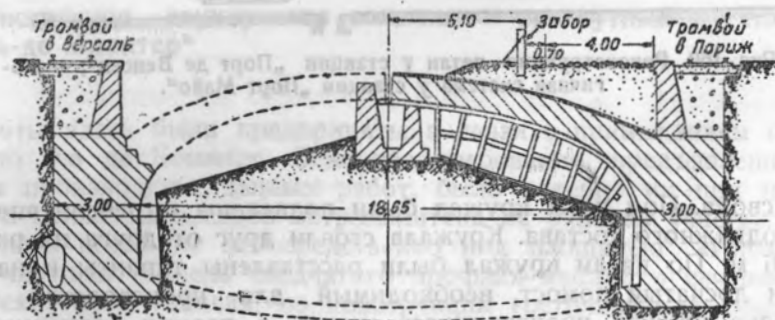


Рис. 162. Сооружение односводчатой станции „Эдуард Виллан“ пролетом 18,05 м, комбинированным способом, с предварительной пере- кладкой по сторонам трамвайных путей.

камер, через которые кроме того осуществляется передача поездов по петле для зонного движения. Большой габарит обоих станционных тоннелей, расположенных по петле, намечено использовать для отстойных путей.

Подходные тоннели к новой станции Порт Майо заложены под тоннелем петли и под четырехпутным железнодорожным тоннелем. Весь реконструируемый тоннельный участок заложен на глубине 3—12 м от поверхности до шельги свода в сухих мергелях.

Сооружение тоннелей производилось по парижской одноштольневой системе. Разработка мергелистых пород велась пневматическими инструментами и частично взрывами жидкого воздуха.



Рис. 163. Вид работ по сооружению станции „Эдуард Виллан“. Уложена одна половина свода.

Реконструкция первой переходной камеры, в виду близкого расположения шельги свода от поверхности мостовой, велась иначе. Камера была открыта сверху по ширине центральной части калотты в 6,00 м. Дальнейшее развитие калоттного профиля при пролете в 14,0 м велось тоннельным способом без перерыва движения поездов.

Несмотря на невыгодные в этом случае условия нагрузки, при которых свод подвергался неравномерному давлению, после раскруживания в своде не было обнаружено никаких трещин и деформаций.

Сооружение новых переходных камер велось с устройством новой облицовки при частичном использовании стен существующего тоннеля-бинокля.

По кровле свода двухсводчатого профиля пробивалась централь-

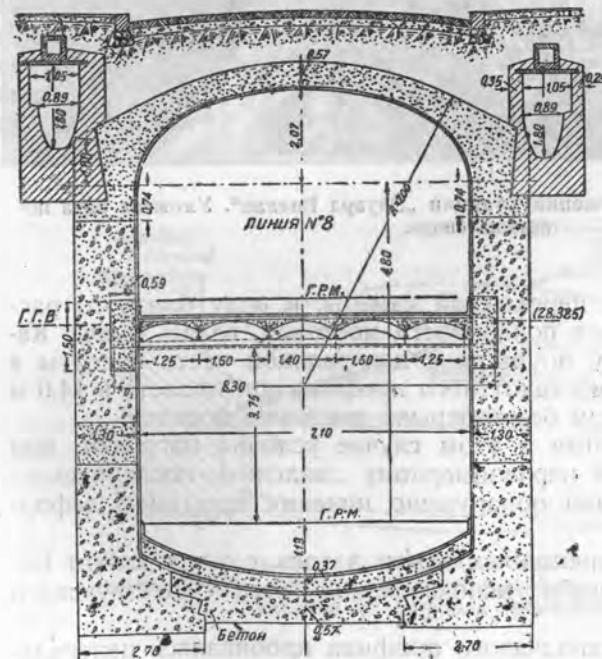
ная направляющая штольня, причем в процессе раскрытия калотты штендера устанавливались непосредственно на тело кладки старого тоннеля. Стены нового тоннеля в зависимости от местных условий опускались в колодцах, а при использовании существующих стен пята нового свода углублялась на 2,00 м. Впоследствии, ночью, в часы прекращения движения, ломались своды старых тоннелей. Штольневые рамы и калоттные фермы ставились обычным порядком через 1,6 м. Свод в пятах делался бетонным, а в основном он был из бута на пуццолановом цементном растворе 1:3.

При проходке под четырехпутным железнодорожным тоннелем штольни проходились с расстоянием между рамами в 75 см. Раскрытие калотты производилось кольцами в 1,6 м и 1,20 м, поочередно, под каждым путем. В месте пересечения тоннельных сооружений была кроме того усилена металлическими балками нижняя плита железнодорожного тоннеля и осуществлено противоугонное приспособление пути дополнительным соединением между собой отдельных шпал.

Двухсводчатая четырехплатформенная станция разрабатывалась одновременно из шести рабочих шахт по три на каждый свод станции. Ширина улицы 50 м. Шахты располагались посередине, не стесняя уличного движения. Фронт тоннельных работ был открыт одновременно из всех шахт. К раскрытию калотты не было приступлено до тех пор, пока все верхние штольни, направленные по оси каждого свода станции, не были сбиты для сквозного движения. В дальнейшем, одновременно по каждому своду тоннеля-станции было взято в работу до 6-7 калотт. Никакого замешательства в движении при однопутной штольне не замечалось.

Калотта раскрывалась кольцами в 3,20 м и углублялась для укладки средней стены в колодцах.

Крайняя расширенная пята свода укладывалась непосредственно на грунт. Стены и пята сводов возводились из бетона, а своды из



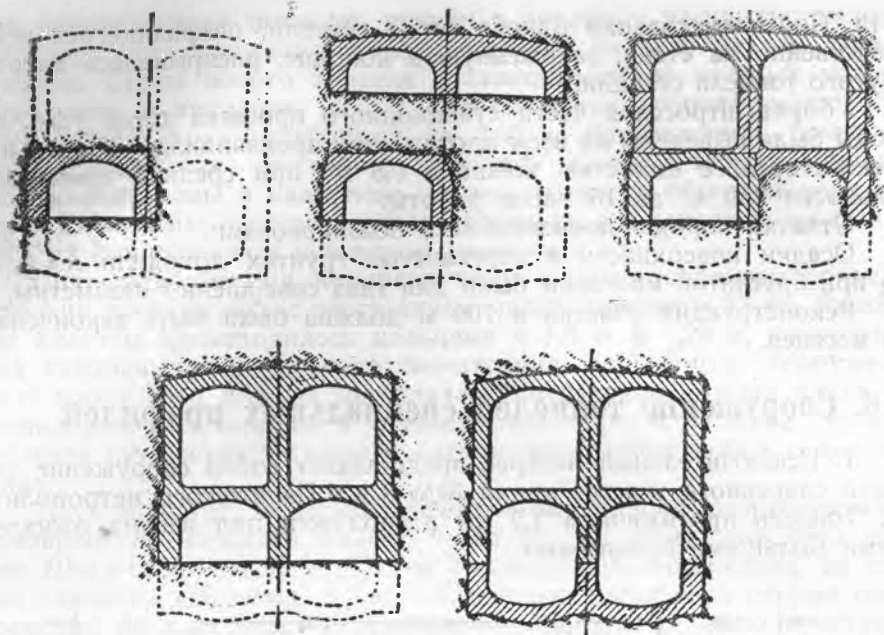


Рис. 166. Фазы разработок двухэтажного тоннельного профиля.]

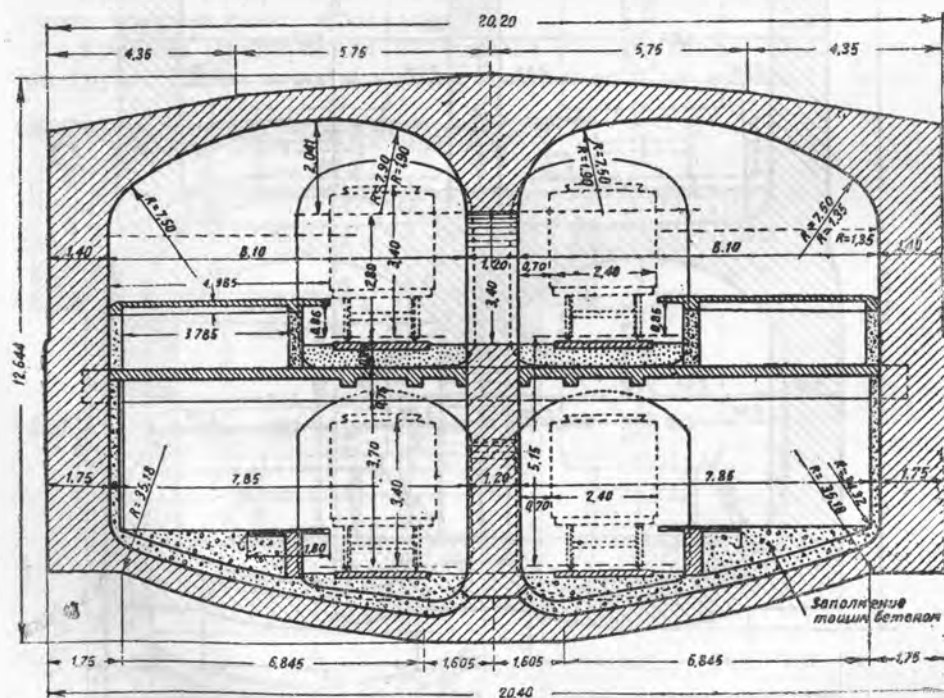


Рис. 167. Конструкция тоннеля двухэтажной станции Парижского метрополитена линии № 8 и 9.

Вследствие расположения путей линии метро № 8 — наверху, и № 9 — внизу, здесь образовался тоннельный профиль размерами поперечного сечения $11,20 \times 11,80$ м, со сводами толщиной в ключе 50 см и стенами от 0,80 до 1,10 м.

В связи с этим расположением путей получились и двухэтажные станции (Рю Монмартр, Бульвар Бон-Нувель, Страссбург, Сен-Дени и Бульвар Сен Мартен) с поперечным сечением станционного тоннельного профиля $20,4 \times 12,64$ м при толщине свода в замке около 70 см, а стен — от 1,20 до 1,75 м.

Строительство этого участка метро было разрешено городом при условии ненарушения движения и жизни улиц.

Вследствие этого строителями была пробита специальная, транспортная, подземная галерея, которая, соединяясь со служебным тоннелем у Пляс де ла Републик, выходила эстакадой к набережной де Вальм, канала Сен-Мартен.

Здесь производилась выгрузка породы тоннельных разработок в баржи и погрузка необходимых материалов для производства работ. Откатка производилась поездами при тракторной тяге. Благодаря этой пробитой галерее, служившей основной рабочей транспортной магистралью, работы удалось вести без значительного снижения уличной поверхности.

Разработка спаренного тоннеля линий №№ 8 и 9 производилась в условиях устойчивых, мергелистых пород, на деревянном креплении, при каменной обделке, отдельными фазами.

Предварительно по обычной бельгийской системе раскрывалась калотта и укладывался свод одной из ячеек нижнего профиля с опиранием его непосредственно на породу. Затем раскрывался калоттный профиль верхнего яруса обеих ячеек и устраивался двухсводчатый профиль, который опирался на грунт по трем плоскостям. Следующий этап — выборка штроссы верхнего яруса и подводка в шахматном порядке стен под выложенные своды. Далее на земляных кружалах укладывался свод для другой тоннельной ячейки нижнего яруса с опиранием пят его на выложенную кладку. Последней фазой являлись: выборка штроссной части нижнего профиля, подводка стен и устройство лотка.

Работы эти требовали исключительной осторожности в производстве и строгого соблюдения последовательностей фаз. Иначе даже в условиях исключительно устойчивых пород могли бы произойти обвалы выведенных элементов тоннельной обделки. Опирая среднюю



Рис. 168. Схематический разрез станции „Сен-Дени“.

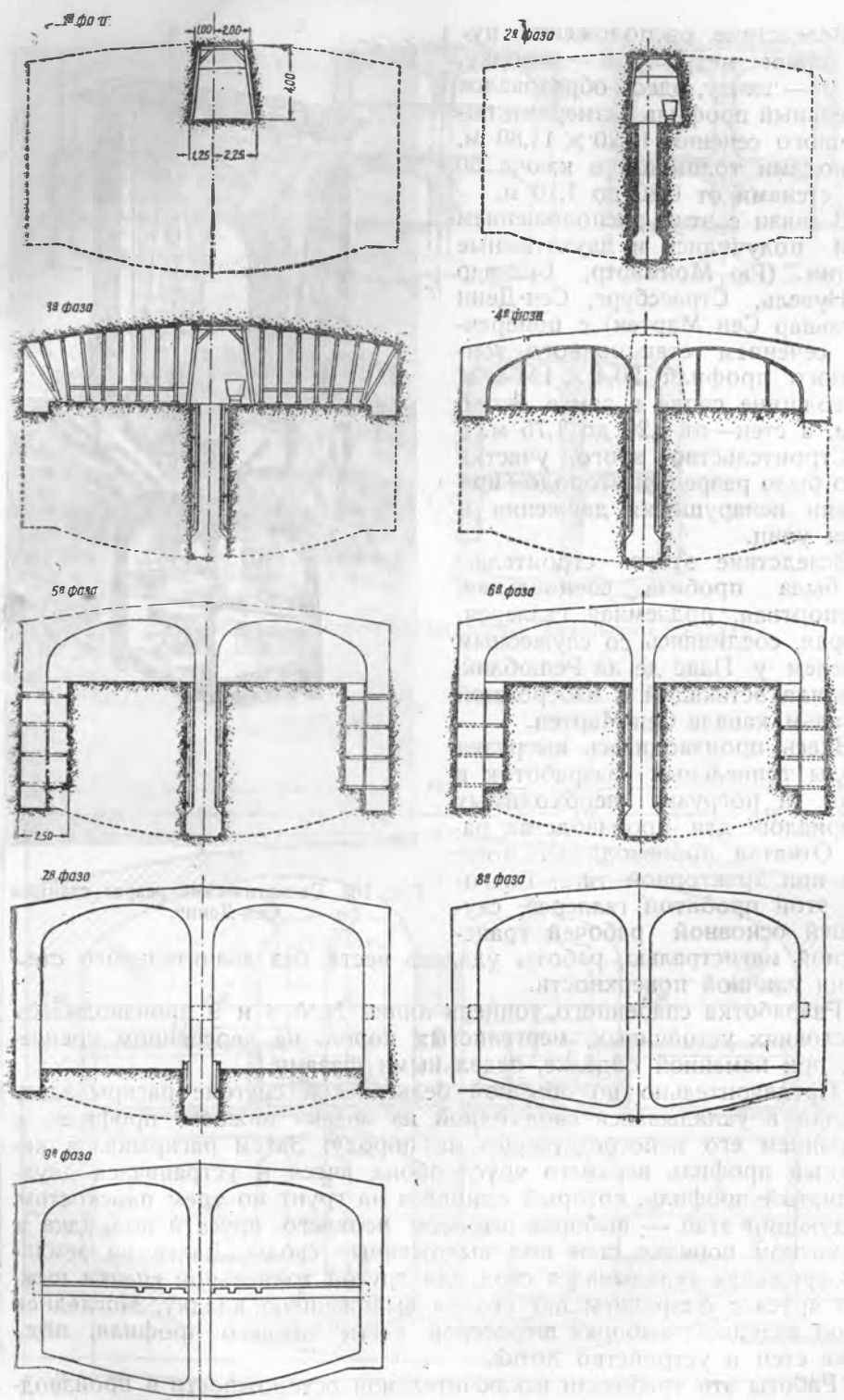


Рис. 169. «Фазы» разработки парижским способом временного деревянного крепления двухэтажного профиля.

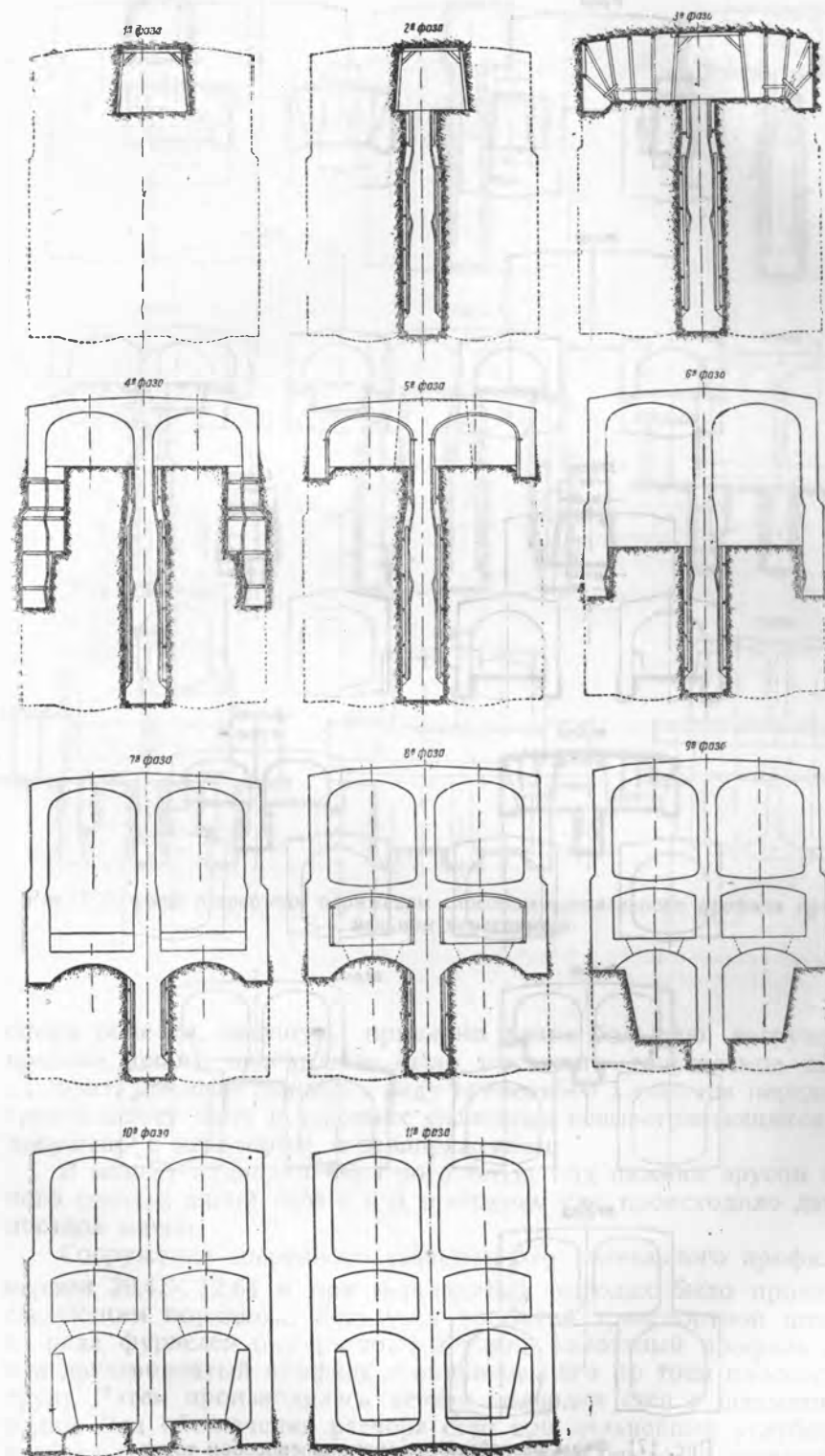


Рис. 170. Фазы разработки трехэтажного профиля парижским способом.

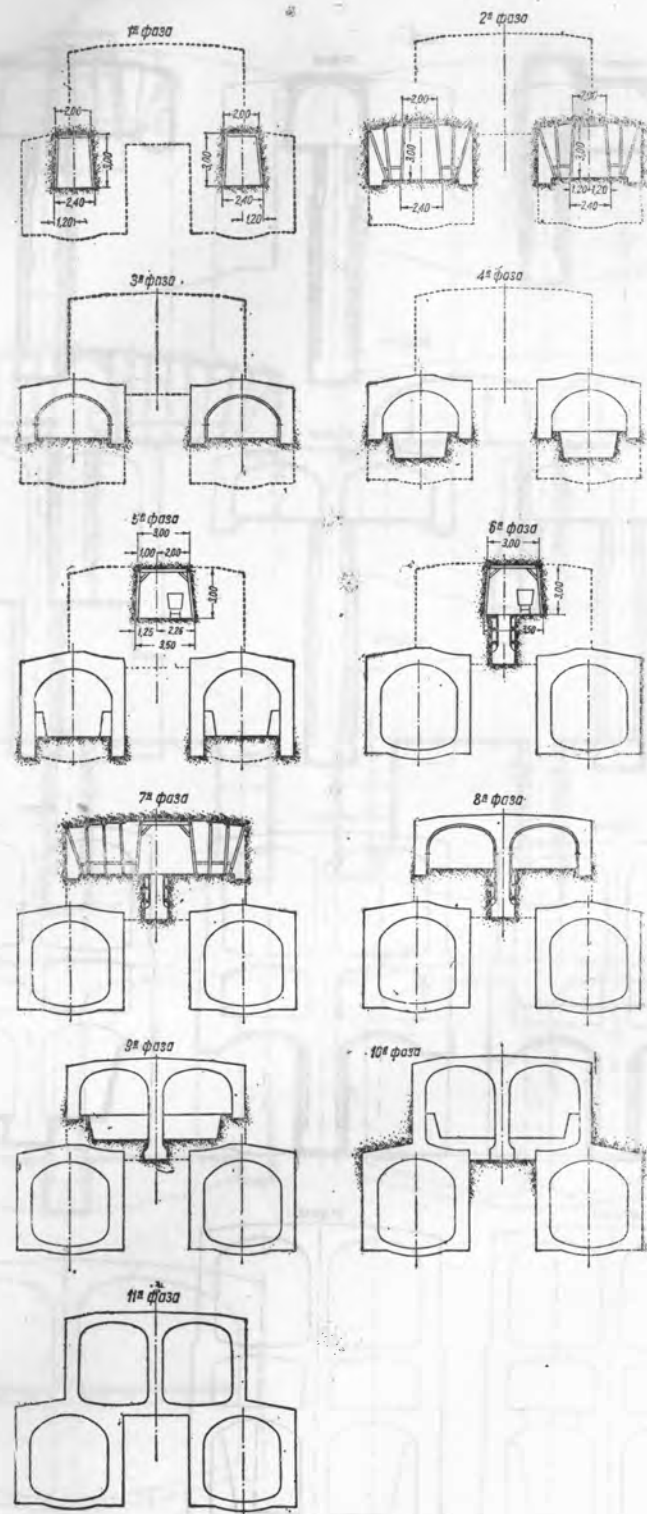


Рис. 171. Фазы разработки парижским способом тоннелей переходных камер.

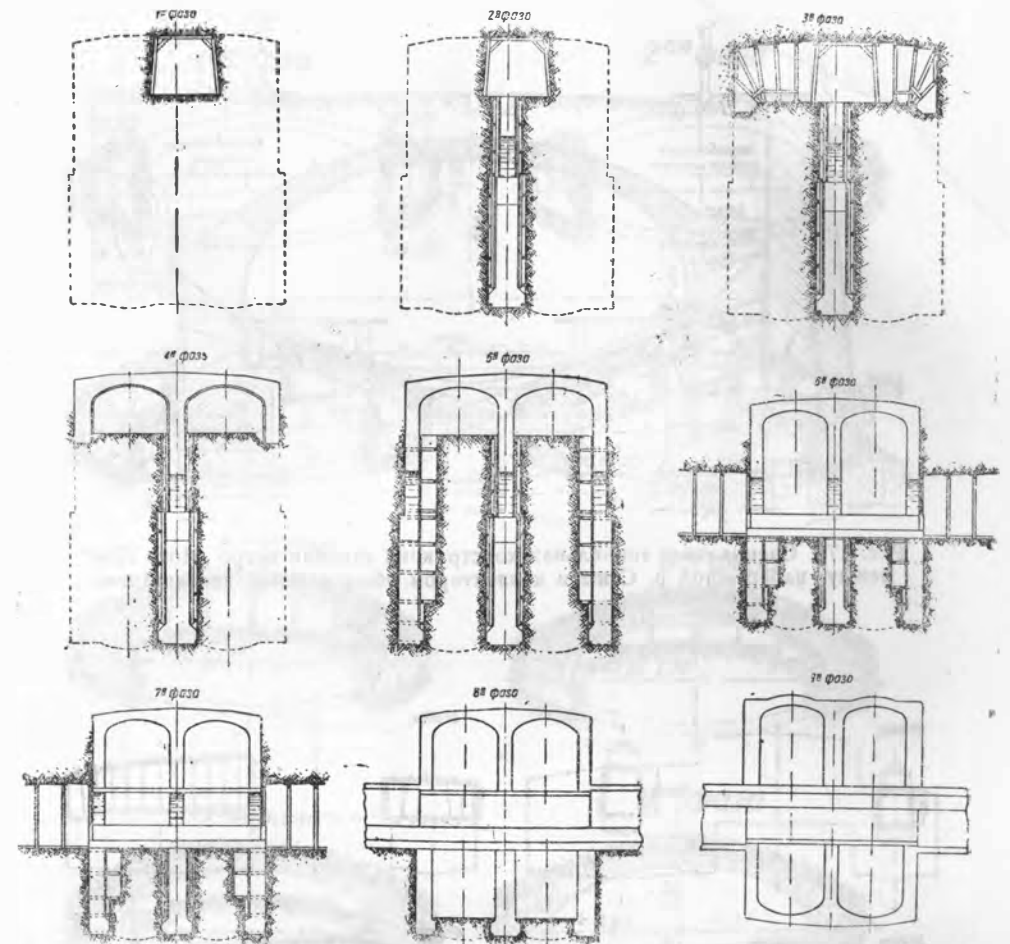


Рис. 172. Фазы разработки парижским способом специального профиля при тоннельном пересечении.

опору обделки, несущую примерно вдвое большую нагрузку, чем крайние опоры, необходимо было учитывать допускаемое давление на грунт. Давление однако в виду временного характера передачи нагрузки может быть в условиях скалистых невыветривающихся пород допущено с некоторым перенапряжением.

В момент подводки обратного свода под нижним ярусом спаренного тоннеля линий №№ 8 и 9, в верхнем уже происходило движение поездов метро.

Сооружение спаренного станционного тоннельного профиля размерами $20,4 \times 12,64$ м при мергелистых породах было произведено следующим порядком: пользуясь пробитой транспортной штольной, из ряда фурнелей был раскрыт верхний калоттный профиль и уложен двухсводчатый профиль с опиранием его по трем плоскостям на грунт. Затем производилась первая подводка стен в шахматном порядке. Для обеспечения распора стен при дальнейшей углубке предварительно было устроено железобетонное несущее междуэтажное перекрытие для путей и платформ станций. После этого производи-

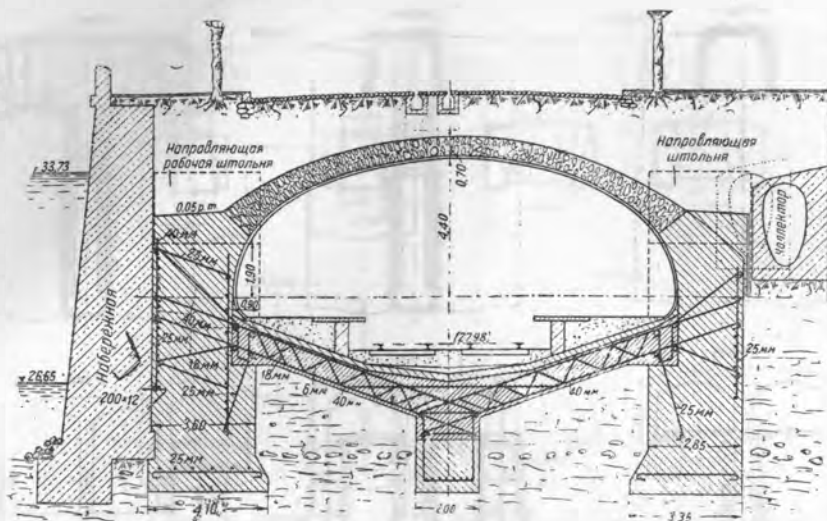


Рис. 173. Специальная тоннельная конструкция станции метро «Нотр Дам» между набережной р. Сены и коллектором общесплавной канализации.

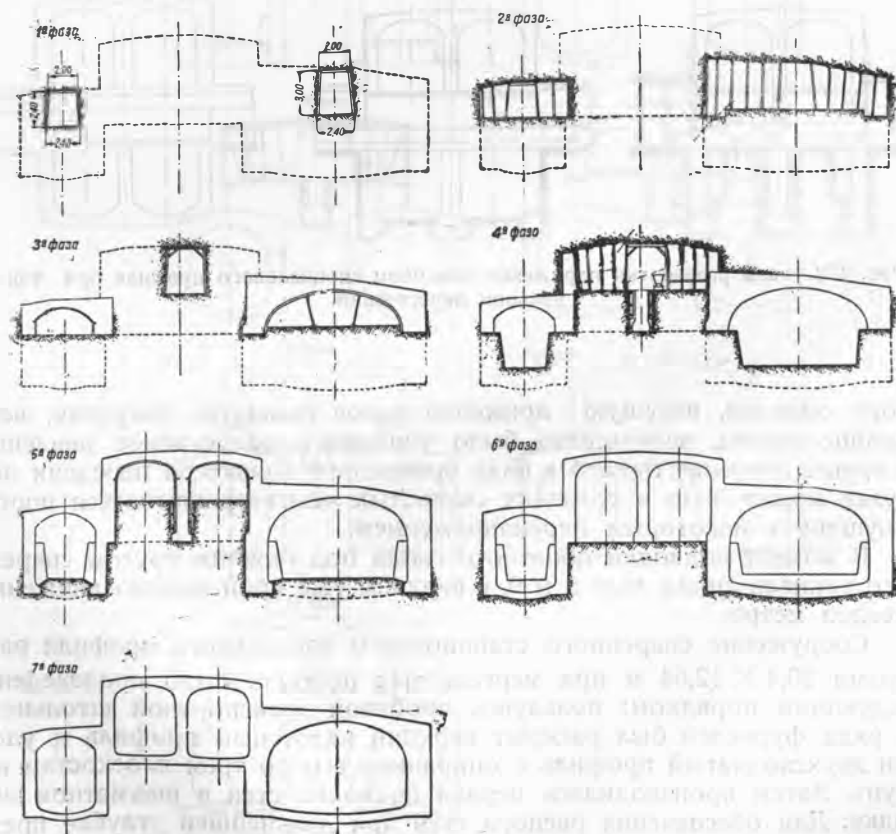


Рис. 174. Фазы сооружения специального тоннельного профиля переходных камер парижским способом.

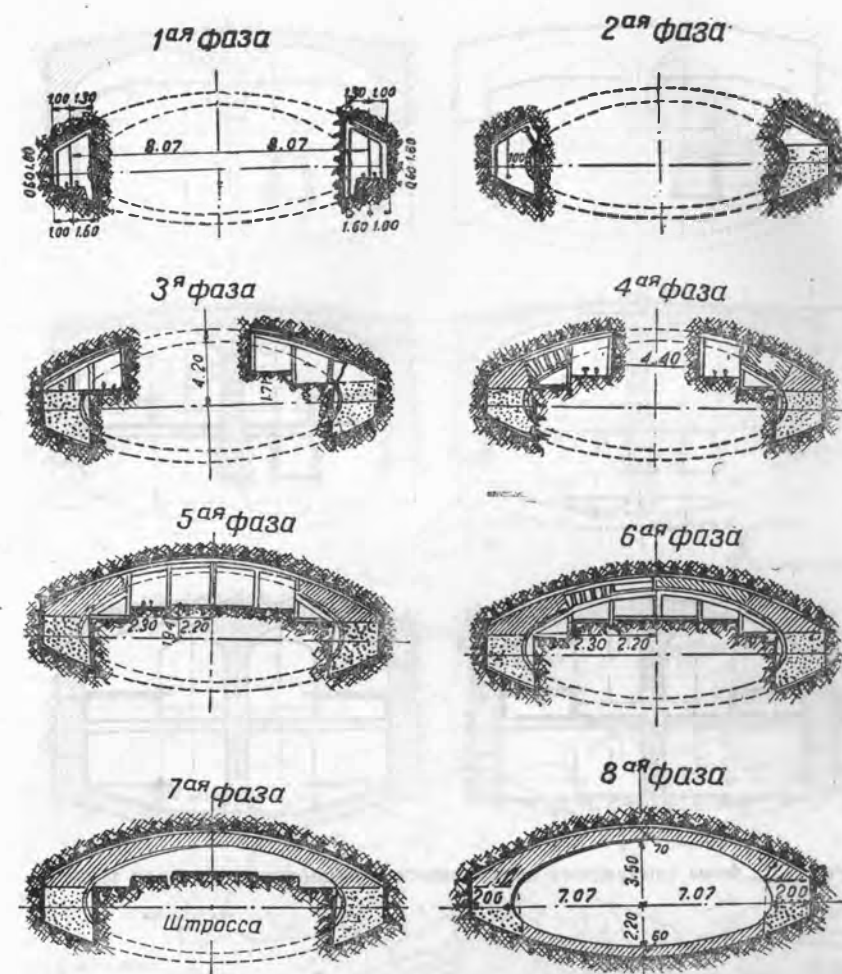


Рис. 175. Последовательность фаз разработки односводчатого станционного тоннельного профиля в слабых грунтах, многостольевым методом.

лась дальнейшая углубка, подводка стен и устройство обратного свода спаренного профиля.

Между соседними тоннелями были пробиты отверстия для сообщения. В процессе производства работ эти отверстия закладывались временной сухой кладкой на тощем растворе. Строительство линии метро № 8 протяжением 8,09 км, включавшей вышеприведенный участок спаренных тоннелей в 1,20 км, велось в течение 4 лет (1927 — 1931 гг.).

2. Чрезвычайно ответственной технической задачей являлось сооружение станции метрополитена «Нотр Дам».

При трассировке линии станция оказалась втиснутой между солидной стеной набережной р. Сены и большим тоннельным коллек-

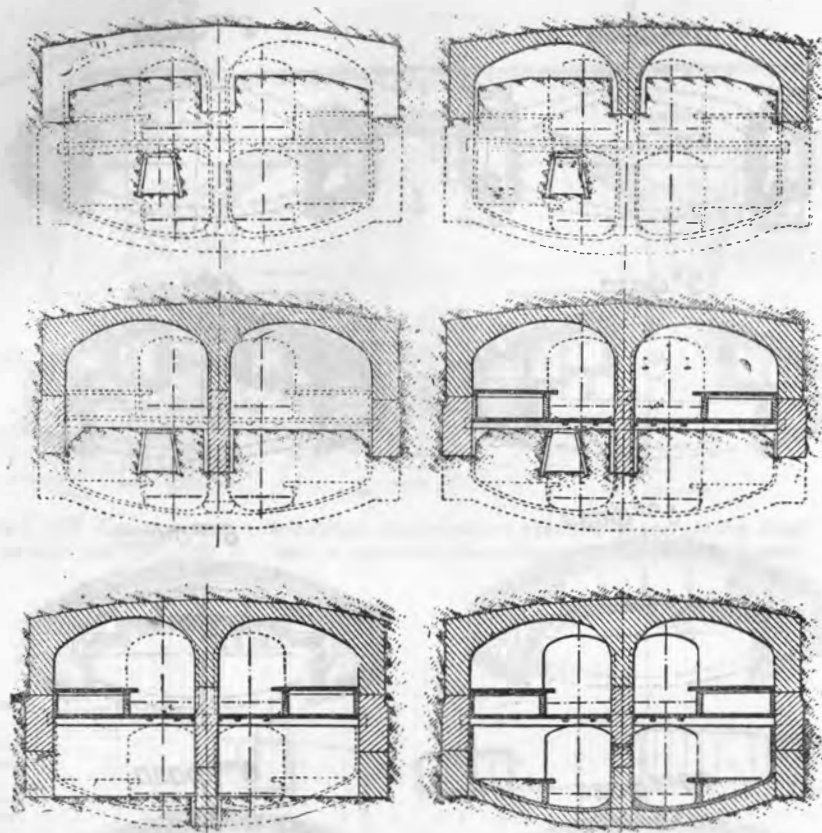


Рис. 176. Фазы сооружения двухэтажного станционного профиля тоннеля.

тором общесплавной канализации. Задача заключалась в том, чтобы построить станцию пролетом 14,4 м, не повлияв на устойчивость набережной и коллектора.

Казалось бы, наиболее правильным решением представлялась конструкция станции с плоским перекрытием. Но город категорически запретил вскрывать мостовую, учитывая ценность старых деревьев.

При этих условиях строителей поставили перед необходимостью создания сводчатого профиля, распор которого должен был быть поглощен и ни в коем случае не передавался бы на стену набережной. Для этого была запроектирована система армированных устоев с железобетонным лотком, стягиваемым посередине балкой.

Производство работ началось с устройства стен из штолен в нескольких ярусах. Калотта раскрывалась из старого коллектора от одной пяты свода к другой в виде поперечной штольни. Бутовый свод укладывался на выведенные армированные бетонные стены. Немедленно после выемки штроссы на участке в 3,2 м вязалась железобетонная конструкция нижней части тоннельного профиля.

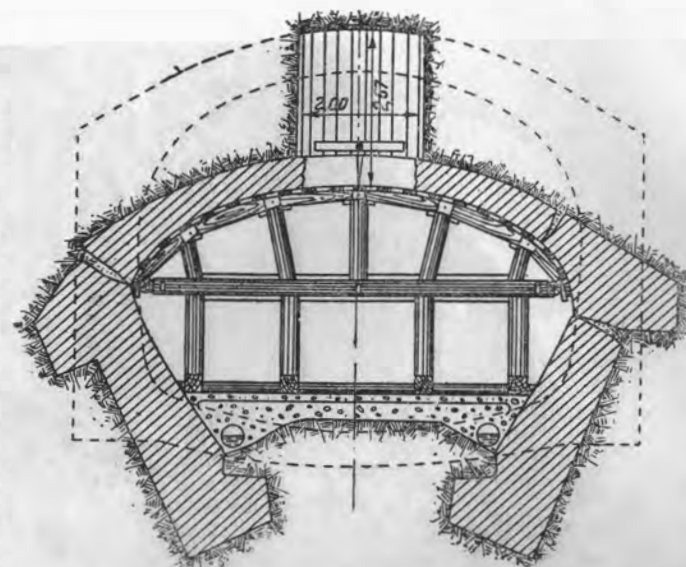


Рис. 177. Взятие на временное крепление элементов обрушенной тоннельной обделки в связи с строительной катастрофой под „Авеню Марсо“.

§ 7. Катастрофы на тоннельных работах в городе

Авария у станции «Сан-Огюстан»

Тоннели близ станции Парижского метро «Сан-Огюстан» пришлось прокладывать вдоль подземного коллектора общесплавной канализации. В суглинистых грунтах была проложена верхняя штольня и приступили к разработке самого тоннеля.

Во время окончания работ по раскрытию кольца калоттного профиля произошел исключительной силы ливень. Коллектор начал работать полным сечением, с напором. Кладка коллектора, с одной стороны, была лишена пассивного отпора грунта, вследствие раскрытой рядом калотты. Коллектор разрушился и вода устремилась в тоннельные выработки, расстраивая все крепления и увлекая грунт с боков и сверху. Корка бетонной мостовой держалась, не давая просадок, и никаких признаков аварии на поверхности не было. Но стоило по этому злополучному месту пронестись автомобилью, и мостовая, не выдержав веса последнего, провалилась. Пассажиры автомобиля погибли.

Аварии с домами

При проведении тоннелей новой линии Парижского метрополитена от станции «Републик» к станции «Ле-фет» очень сильно пострадали некоторые здания.

Работы велись на глубине от 12—15 м от поверхности в меловых и гипсовых отложениях, с выклиниванием суглинков и водоносных песков. При проходке работали взрывным методом при больших за-

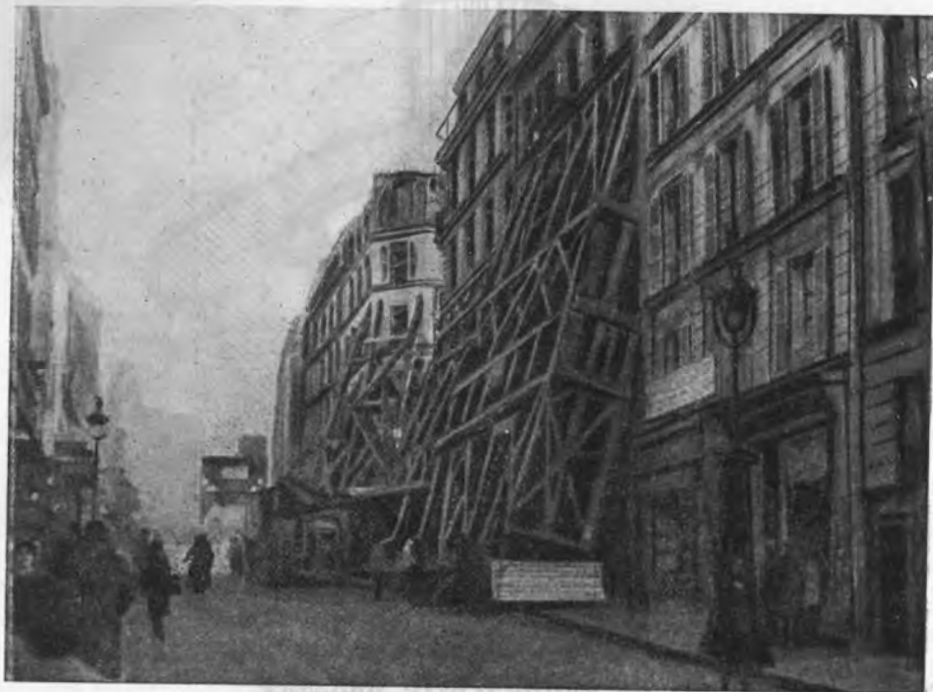


Рис. 178. Укрепление подкосами многоэтажных домов на Рю де Бельвилль при прокладке под ними тоннелей метрополитена парижским способом.

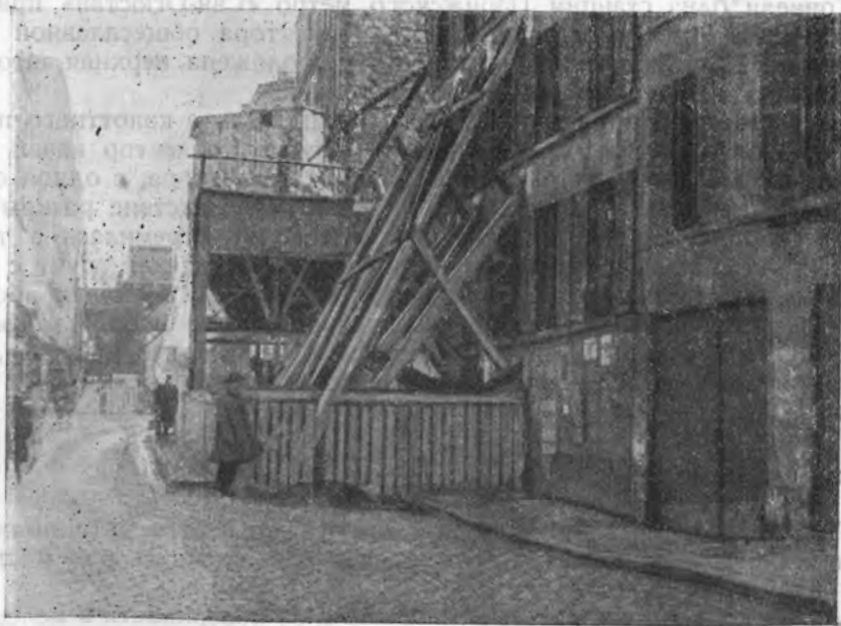


Рис. 179. Укрепление домов подкосами на Рю де Бельвилль при проходке под ними тоннелей.

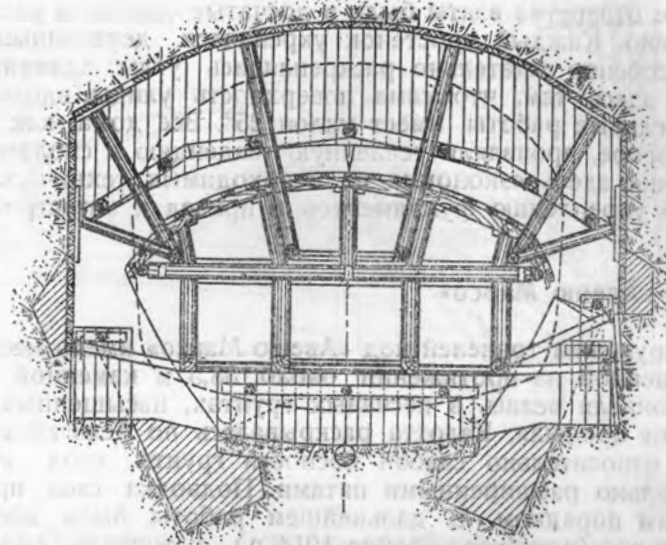


Рис. 180. Реконструкция обрушенной тоннельной обделки.
Раскрытие профиля

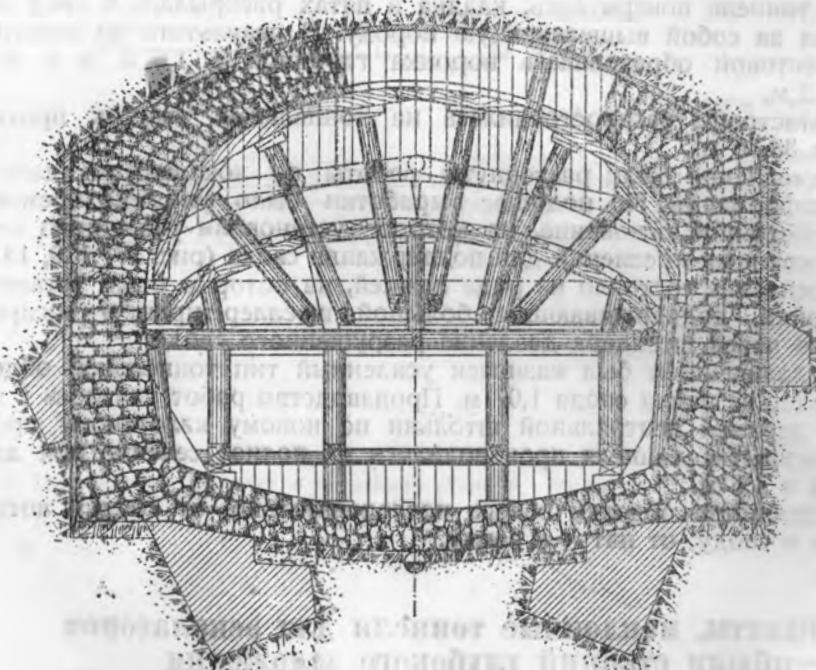


Рис. 181. Возведение новой тоннельной обделки взамен обрушенной.

рядах и мало обращали внимания на дома, имевшие слабые фундаменты.

Наиболее сильно пострадали дома по улице Бельвилль. Здесь десять 5—6-этажных домов лесом креплений кое-как удерживались

ст развала, но были освобождены от жильцов и предназначены к сносу (рис. 178, 179).

Оконные отверстия взяты были в досчатые оклады и раскреплены зигзагообразно. Каждый простенок укреплялся деревянными контрфорсами. Особенно тщательно раскреплялись углы зданий. Вопрос осложнялся здесь тем, что сама поверхность улицы, вдоль которой велись тоннельные работы, имеет уклон 25° . Все дома, как бы находясь на косогоре, проявляли усиленную тенденцию к сползанию.

Подрядчик здесь сэкономил на необходимых технических мероприятиях по укреплению фундаментов и привел к катастрофе.

Авария под «Авеню Марсо»

При сооружении тоннелей под «Авеню Марсо» имело место разрушение выведенной на протяжении около 38,5 м каменной обделки. Проходка тоннеля велась в песчаных грунтах, насыщенных водой в нижней части профиля. Калотта раскрывалась по бельгийской системе и из-за относительно слабой носности грунта свод устраивался со специально расширенными пятами. Подводка стен производилась обычным порядком. В дальнейшем работы были прекращены примерно на год (помешала война 1914 г.) и тоннель остался без лотка.

Работы возобновились выборкой грунта под обратный свод без постановки растрелов. Во время раскрытия профиля под лоток стены тоннеля повернулись, кладка в пятах раскрылась и свод осел, увлекая за собой вышележащую породу. В результате на поверхности мостовой образовалась воронка глубиной в 1,6 м и в плане 10×12 м.

Катастрофа распространилась на тоннельный участок протяжением в 38,50 м.

Немедленно были развернуты работы по локализации дальнейших деформаций. По подошве выработки было уложено временное железобетонное основание, на которое установили усиленную систему деревянных креплений для поддержания свода (рис. 177, 180, 181).

Крепление состояло из ряда лежней, на которые были установлены стойки, поддерживающие большой швеллер-тиранту, воспринимающую через штангу давление разрушенного свода.

В дальнейшем был назначен усиленный тип тоннельной обделки при толщине замка свода 1,07 м. Производство работ началось с пробивки верхней центральной штольни по новому калоттному профилю. Раскрытие тоннеля производилось на полное сечение при длине кольца в 1,6 м.

Устройство обделки велось последовательно, от кладки лотка к стенам и своду, от пят — к замку.

§ 8. Шахты, наклонные тоннели для эскалаторов и вестибюли станций глубокого заложения

а) Наклонный тоннель для станции «Пляс де Фет»

Наклонный ход на станцию «Пляс де Фет» представляет сооружение из двух спаренных тоннелей: большего для двух лент эскалаторов и меньшего — для постоянной лестницы.

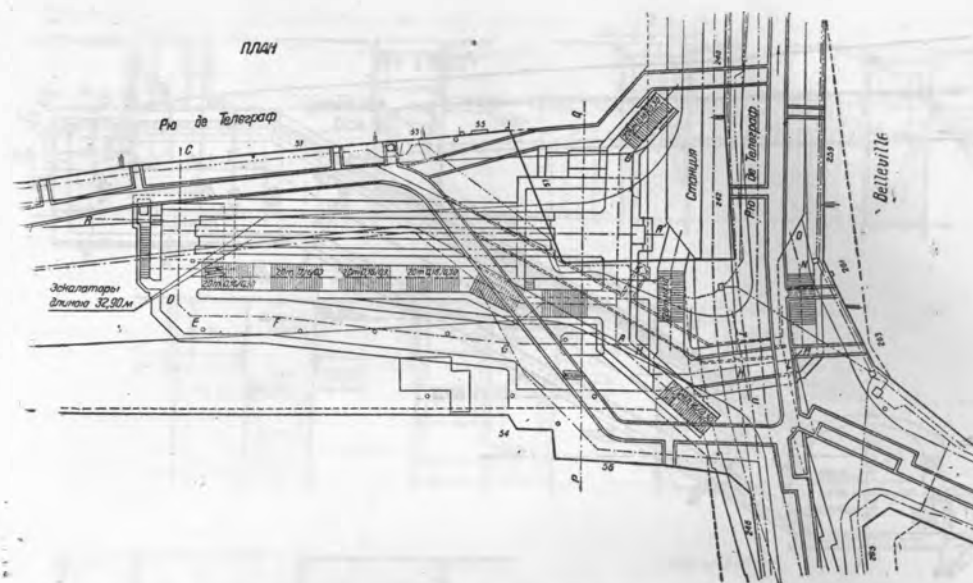


Рис. 182. План комплекса переходов, вестибюлей, наклонного тоннеля для эскалаторов строящейся станции глубокого заложения «Пляс де Фет» Парижского метрополитена.

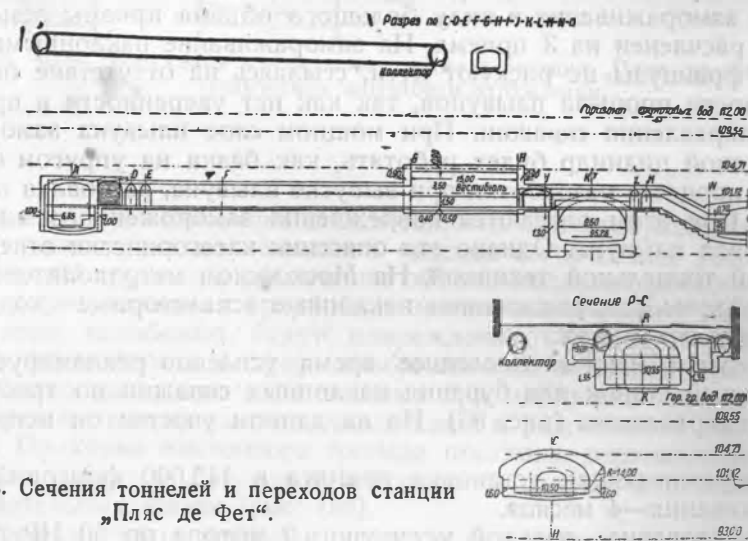


Рис. 183. Сечения тоннелей и переходов станции «Пляс де Фет».

Наклонный ход под углом 30° , предназначенный для опускания пассажиров на глубину 18 м, пересекает насыпной грунт в 5 м, и ниже уровня грунтовых вод попадает в плывун на протяжении 4 м по уклону и далее врезается в мергелистую глину (рис. 184).

Проходка наклонного тоннеля запроектирована двумя методами: 1) замораживанием и 2) вертикальным металлическим шпунтом.

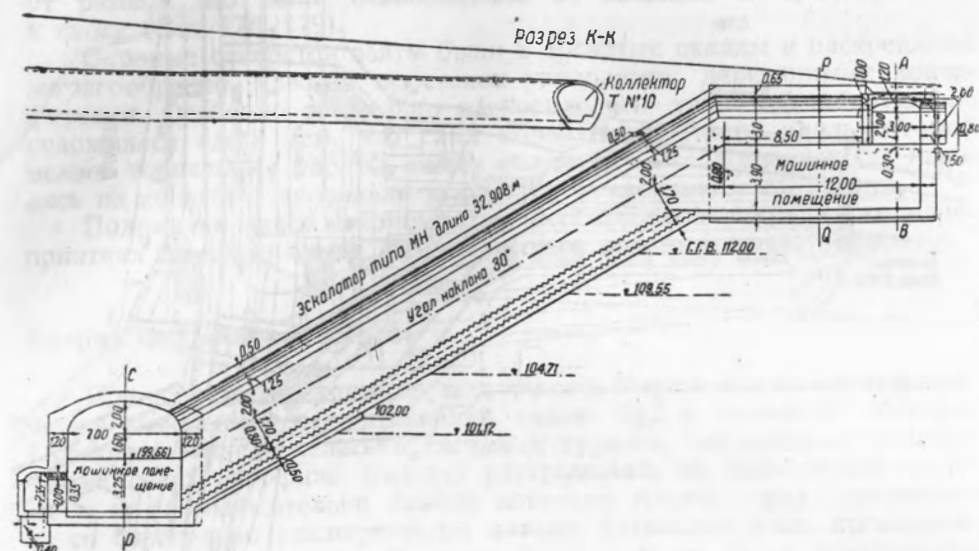


Рис. 184. Подземный вестибюль и наклонный эскалаторный тоннель станции „Пляс де Фет“.

1) Замораживание предусмотрено вертикальными скважинами. Процесс замораживания в виду большого объема призмы земляного массива расчленен на 3 приема. На замораживание наклонными скважинами французы не рискуют идти, ссылаясь на отсутствие опыта и возможности прорыва плавунцов, так как нет уверенности в правильности направления скважин. При мощном слое плавунца замороженный ледяной цилиндр будет работать, как балка на упругом основании, а в процессе разработки при выпуске плавунца, как балка на двух опорах. При этом опасаются повреждения замороженного цилиндра и прорывов плавунца. Однако эти опасения категорически отвергнуты советской тоннельной техникой. На Московском метрополитене впервые пройдены замораживанием наклонные эскалаторные ходы, при наклонных скважинах.

Ингерсоль Рэнд за последнее время усиленно рекламирует свой специальный станок для бурения наклонных скважин по требуемому углу и направлению (рис. 83). Но на данном участке он испробован не был.

Замораживающая установка принята в 115.000 фригорий. Срок замораживания—4 месяца.

Оборудование силовой установки: 2 мотора по 50 НР, причем вначале работают оба мотора, а в дальнейшем только один, а другой мотор является резервным.

Проходка тоннеля в замороженной зоне запроектирована на деревянном креплении при бетонной обделке.

Изоляция предусмотрена из кирпича при оклейке битуминозными материалами с внешней стороны несущей бетонной обделки. Для большого тоннеля принята проходка по германскому способу опорного ядра с предварительной закладкой стен в штольнях.

Малый тоннель проходится на полный профиль после сооружения большого.

Работы предполагалось было провести в 9 месяцев.

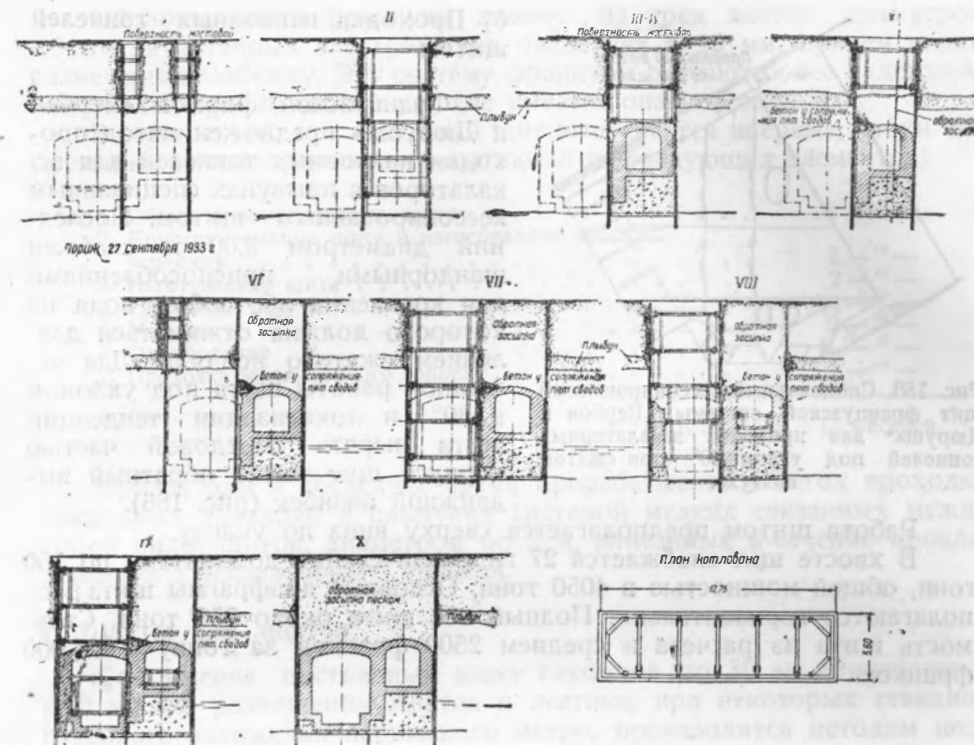


Рис. 185. Фазы сооружения эскалаторного тоннеля станции „Пляс де Фет“ при металлическом шпунтовом ограждении.

Французские инженеры опасаются, что при замораживании большого призматического земляного массива в городских условиях замороженный грунт при увеличении объема поднимет мостовую вверх, а при размораживании произойдет значительная осадка поверхности. При этом неизбежно будут повреждения подземного хозяйства и домов, находящихся в сфере замораживания земляной призмы.

Однако наши советские техники при постройке первой очереди Московского метрополитена нашли ключ к разрешению этой задачи.

2) Проходка наклонного тоннеля помощью вертикальных металлических шпунтов Ларсена с поверхности ведется в нескольких последовательных фазах (рис. 185).

Предварительно паровым молотом при действии водяной струей через плавун на 2 м в мергелистую глину, по боковым стенкам наклонного тоннеля большого диаметра забиваются два шпунтовых ограждения. Наклонный тоннель устраивается сводчатым в открытом котловане при системе деревянных растрелов, распирающих шпунты. Засыпка готового тоннеля производится сверху, песком или сверху тощим бетоном. Затем по внешней стене малого наклонного тоннеля забивается третий ряд металлического шпунта. Сооружение малого тоннеля ведется также в открытом котловане. В зависимости от местных условий, чтобы избежать излишней выемки огромного объема вскрыши, предполагается после забивки шпунтов вести сооружение наклонного хода тоннельным способом.

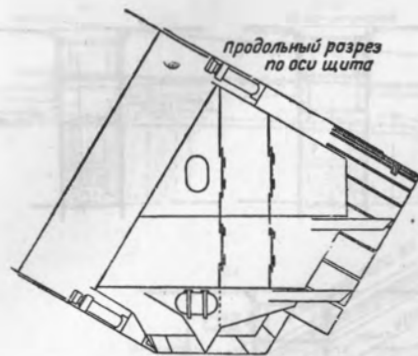


Рис. 186. Специальный кессонированный щит французской системы „Вербон и Дюруша“ для проходки эскалаторных тоннелей под углом 30° при сжатом воздухе.

б) Проходка наклонных тоннелей щитом

Французской фирмой «Вербон и Дюруша» предложен метод проходки наклонных тоннелей для эскалаторов в плавучих специальных кессонированных щитах. Последний диаметром 8,00 м снабжен шандорными приспособлениями для крепления лба забоя, вода из которого должна отжиматься давлением сжатого воздуха. Для успешной работы щита под уклоном в 30° и локализации тенденций щита нырять передовой частью корпуса щит имеет обратный выдвижной аванбек (рис. 186).

Работа щитом предполагается сверху вниз по уклону.

В хвосте щит снабжается 27 гидравлическими домкратами по 150 тонн, общей мощностью в 4050 тонн. Основные диафрагмы щита располагаются горизонтально. Полный вес щита около 250 тонн. Стоимость щита из расчета в среднем 2500 франков за тонну = 625.000 франков.

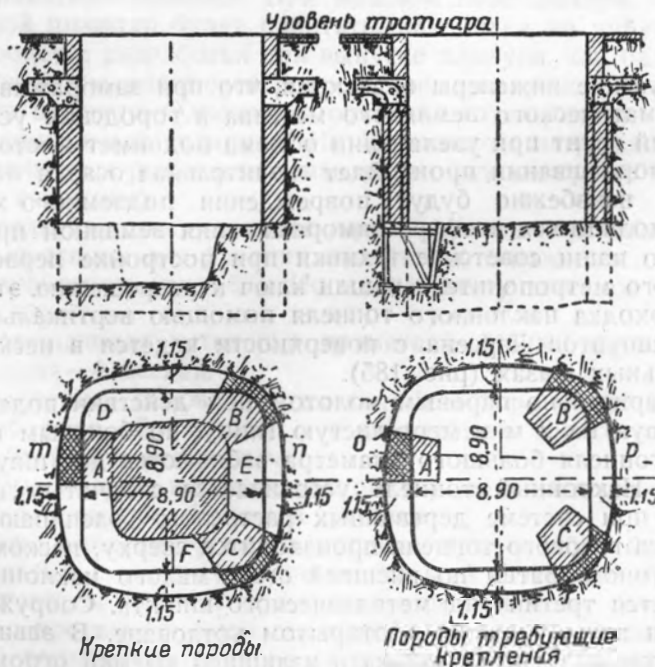


Рис. 187. Методы проходки шахт диаметром 9,00 м в устойчивых и слабых грунтах.

Оболочку щита французы делают из трех листов диаметром 19 мм на потайных электрических заклепках в 25 мм, причем стыки размечены вразбежку. Эту систему французы считают более надежной, чем английскую однослойную, где имеется опасное сечение.

В связи с тем, что подобный щит выпускается впервые, сроки сооружения эскалаторного хода слагаются из следующих элементов:

1. Общее проектирование щита	2 месяца
2. Конструирование щита и изготовление рабочих чертежей	2 — " —
3. Изготовление щита	2 — " —
4. Транспорт	1/2 — " —
5. Монтаж	2 — " —
6. Опробование	1/2 — " —
7. Проходка эскалаторного тоннеля	2 — " —

Итого . . . 11 месяцев

Французами в последнее время прорабатывается метод проходки наклонных тоннелей в плавучих системой мелких связанных между собой пилот-щитов, диаметром по 2 м, вписанных в сечение прокладываемого эскалаторного тоннеля.

в) Шахты для лифтов

Сооружение постоянных шахт глубиной до 30 м, диаметром в 9,00 м, для размещения лифтов и лестниц, при некоторых станциях глубокого заложения парижского метро, производится методом подводки при бетонном креплении.

При проходке в устойчивых породах — мергелях и гипсе — обделка ствола шахты сооружается из бетона.

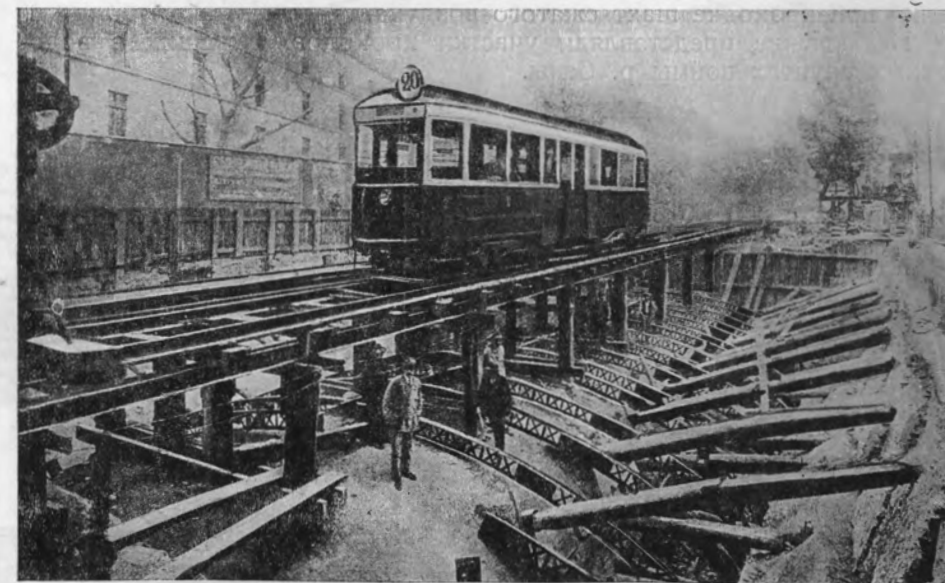


Рис. 188. Пропуск трамвайного движения по временному мосту при устройстве вестибюля.

Рабочие шахты для сооружения метрополитена проводятся как правило косо́й забивной крепью на бабках. При встрече с водоносными грунтами устраиваются фильтры из сена с двойной опалубкой, для предупреждения выноса породы. В некоторых случаях производится забивка глиной.

г) Сооружение вестибюля станции «Рю де Шаронн»

Особенность сооружения подземного вестибюля новой станции Парижского метрополитена «Рю де Шаронн» заключается в том, что все работы производятся здесь без перерыва трамвайного и уличного движения. С подготовительными работами по сооружению этого вестибюля я ознакомился во время своего пребывания в Париже.

Вестибюль с плоским железобетонным перекрытием создается отдельными участками шириной 9 м под временным деревянным мостом. По конструкции мост состоит в основном из парных металлических двутавров № 20, расположенных непосредственно под трамвайными путями и поддерживаемых рядом деревянных стоек и сдвоенных досок. Расстояние между этими промежуточными опорами по оси основных балок 3,60 м. Высота стоек определяется получением пространства под мостом, достаточного для бетонирования несущего железобетонного перекрытия. Стойки в зависимости от местных условий опираются на земляное ядро или на выложенный каменный свод станции метро. Бетонные стены и некоторые колонны конструкции подземного вестибюля опускаются в колодцах. Сверху укладывается досчатый настил вдоль направления движения и по два тротуара для пешеходного движения, шириной по 70 см (рис. 188, 190).

Земляное ядро под затонной сооруженных стен и распалубленно-го несущего железобетонного перекрытия будет убираться без осо-бых затруднений, обычным порядком.

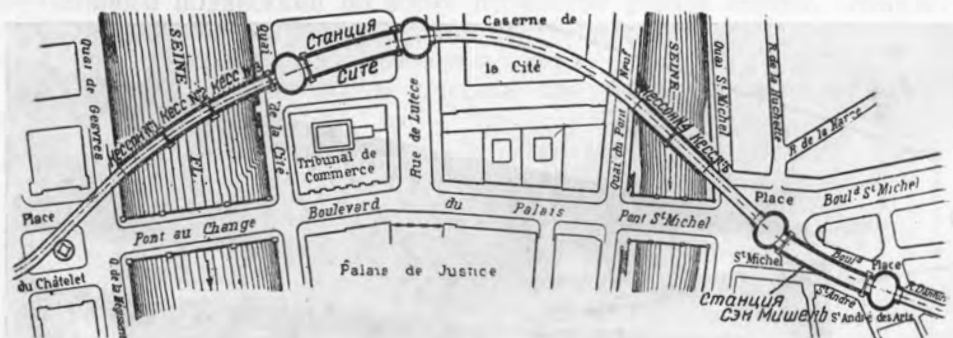


Рис. 193. Трасса метрополитена линии № 4 при пересечении р. Сены.

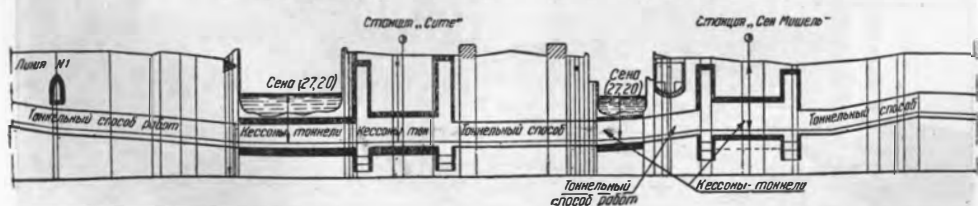


Рис. 194. Продольный профиль линии метро при пересечении р. Сены.

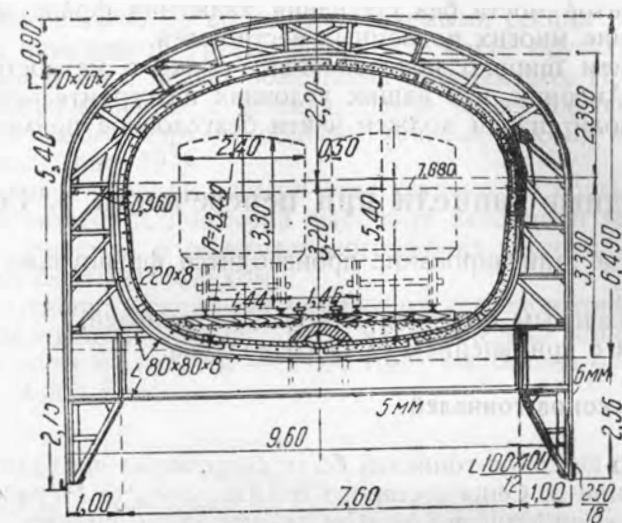


Рис. 195. Металлическая конструкция тоннеля-кессона для двухпутного профиля.

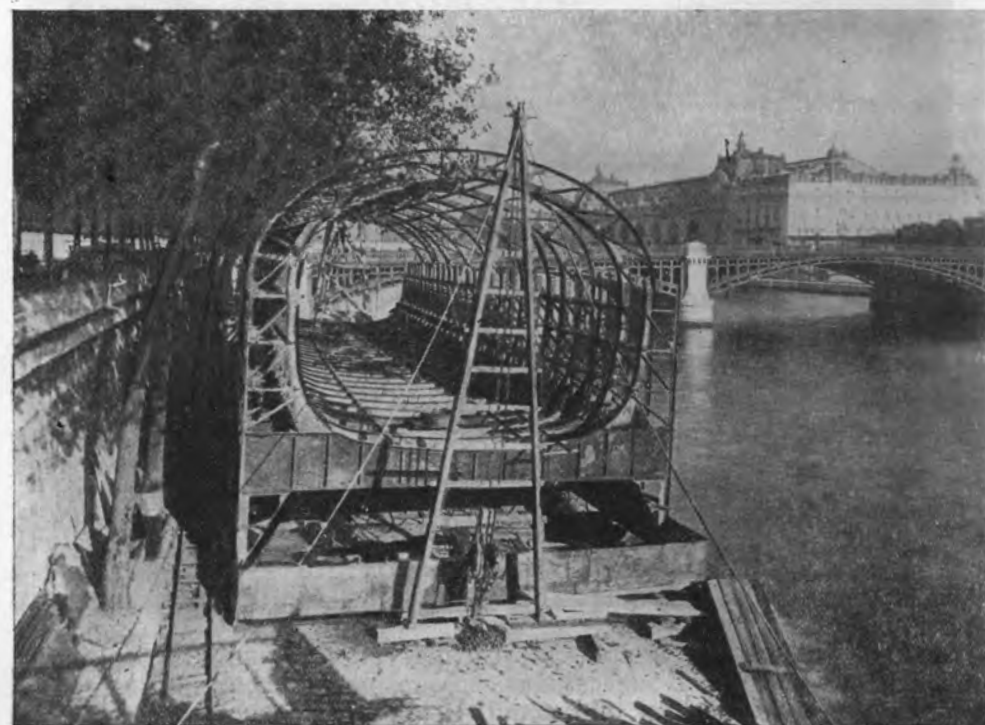


Рис. 196. Смонтированный на берегу тоннель-кессон двухпутного профиля.

Этот прием широко используется также в метростроительстве Германии и Америки, и в наших условиях на строительстве Московского метрополитена он должен найти безусловное применение.

Подводное тоннелирование производится французами следующими методами:

- а) вертикальным опусканием кессонов-тоннелей,
- б) щитом с применением сжатого воздуха.

Помощью кессонов-тоннелей были сооружены подводные тоннели при пересечении р. Сены у старого города, у моста Мирабо и построены станции «Сен-Мишель» и «Старый город». Сущность этой систе-

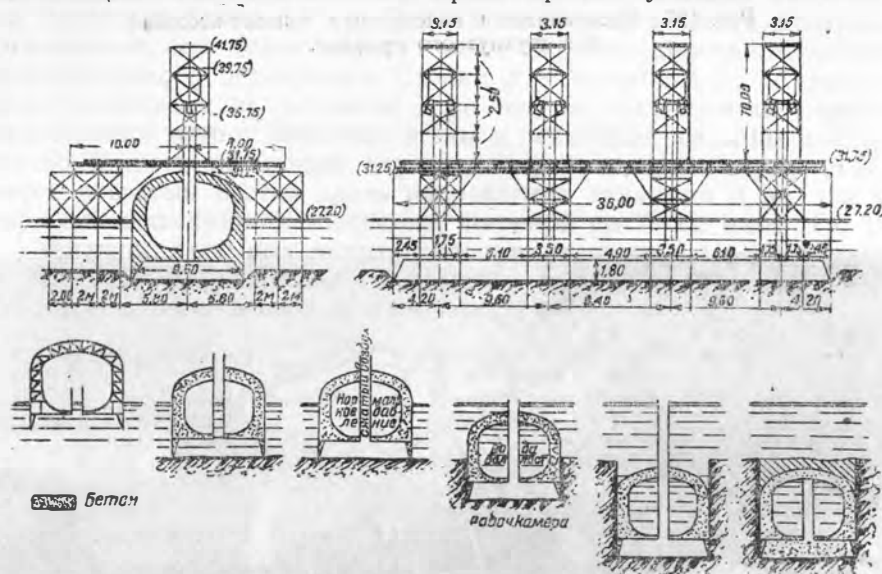


Рис. 197. Последовательные фазы производства работ по опусканию тоннелей-кессонов по середине р. Сены.

Поперечное сечение проектируется в соответствии с габаритами подвижного состава, с запасами на возможные отклонения кессонов-тоннелей от оси, при их опускании. Ширина двухпутных кессонов-тоннелей 9,6 м, длина колеблется от 25 до 44 м. Тоннель-кессон снабжен ножами в соответствии с высотой рабочей камеры в 1,80 м.

В дальнейшем рабочую камеру освобождают от воды, а внутреннее пространство тоннеля-кессона наоборот заполняют водой, которая является балластом, и облегчает погружение кессона. Работа производится под сжатым воздухом.

Расчет опускания некоторых парижских кессонов-тоннелей велся, исходя из следующих данных: вес металлической конструкции — 300 тонн, вес воды — баласта — 2 000 тонн, вес бетона — 2 000 тонн, общий вес — 4 300 тонн.

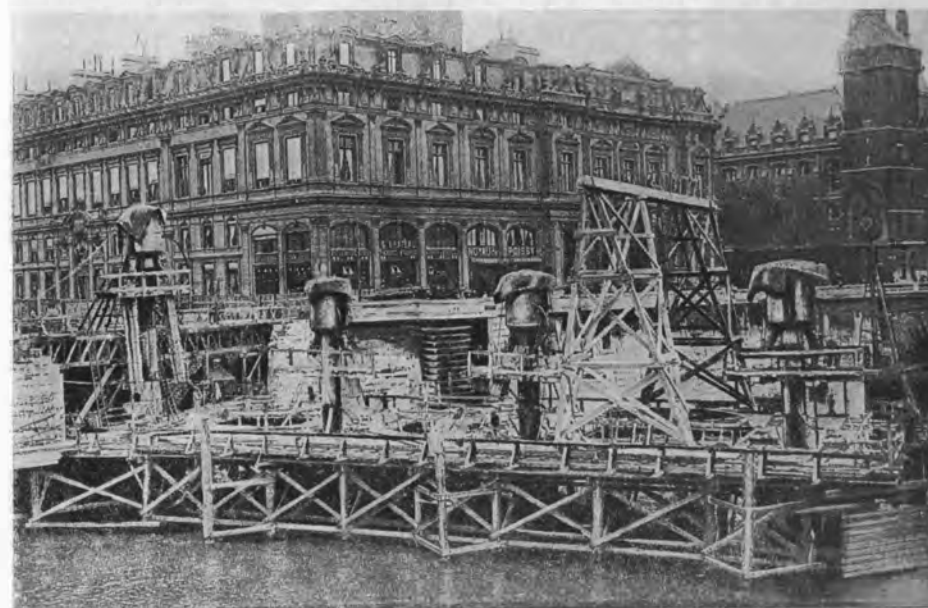


Рис. 198. Общий вид работ при опускании тоннелей-кессонов на р. Сене.

Наиболее ответственным моментом при сооружении тоннелей-кессонов является стыкование отдельных секций между собой. При расстоянии между отдельными секциями от 0,26 м до 1,5 м в парижской практике привился метод стыкования помощью трех съемных кессонов. По бокам стыков между двумя соседними кессонными тоннелями опускаются два малых съемных кессона. Кессоны размерами в плане $1,75 \times 4,00$ м опускаются с песчаным балластом ниже потолок камеры основных кессонов на 1,5 м (рис. 203).

В дальнейшем производится бетонировка слоями в 0,25 м, причем кессон поднимается вверх помощью гидравлических домкратов в 125 тонн. После устройства двух оградительных стенок опускается третий

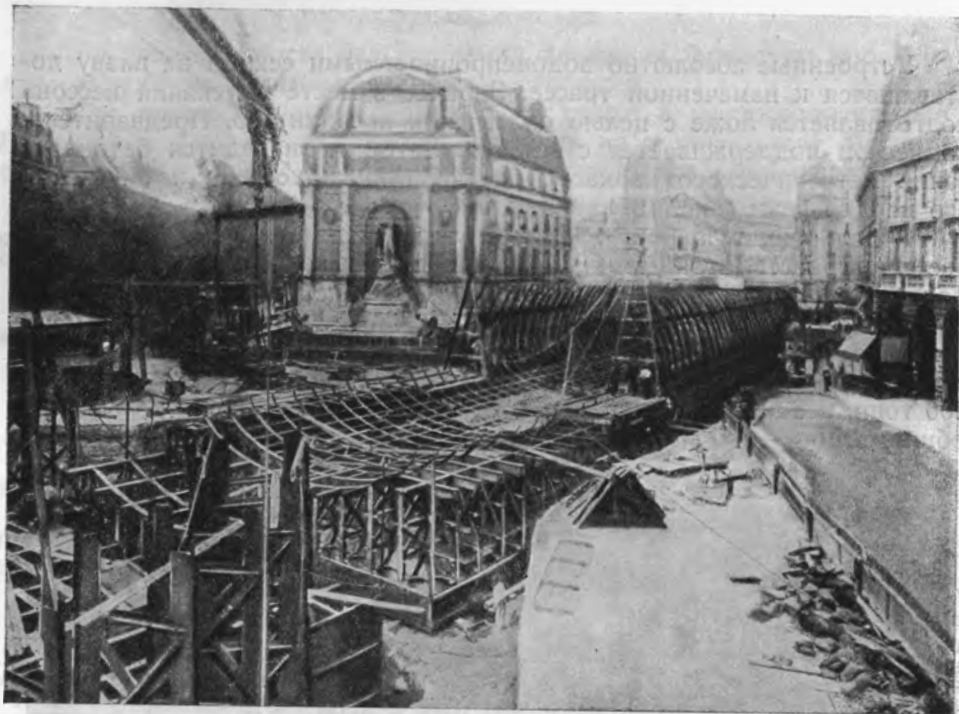


Рис. 199. Монтаж корпуса тоннеля-кессона.

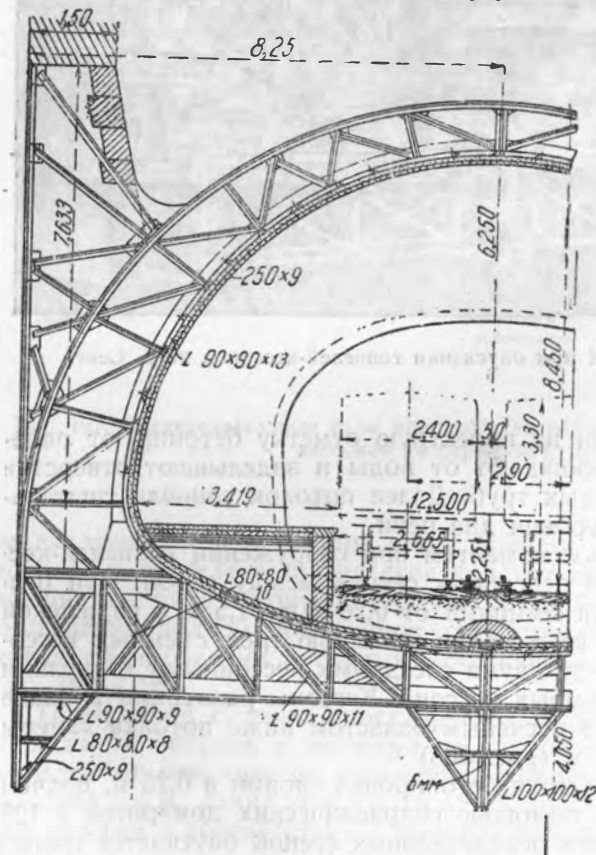


Рис. 200. Металлическая конструкция тоннеля-кессона станции метрополитена „Сэн-Мишель“ пролетом в свету 12,50 м.

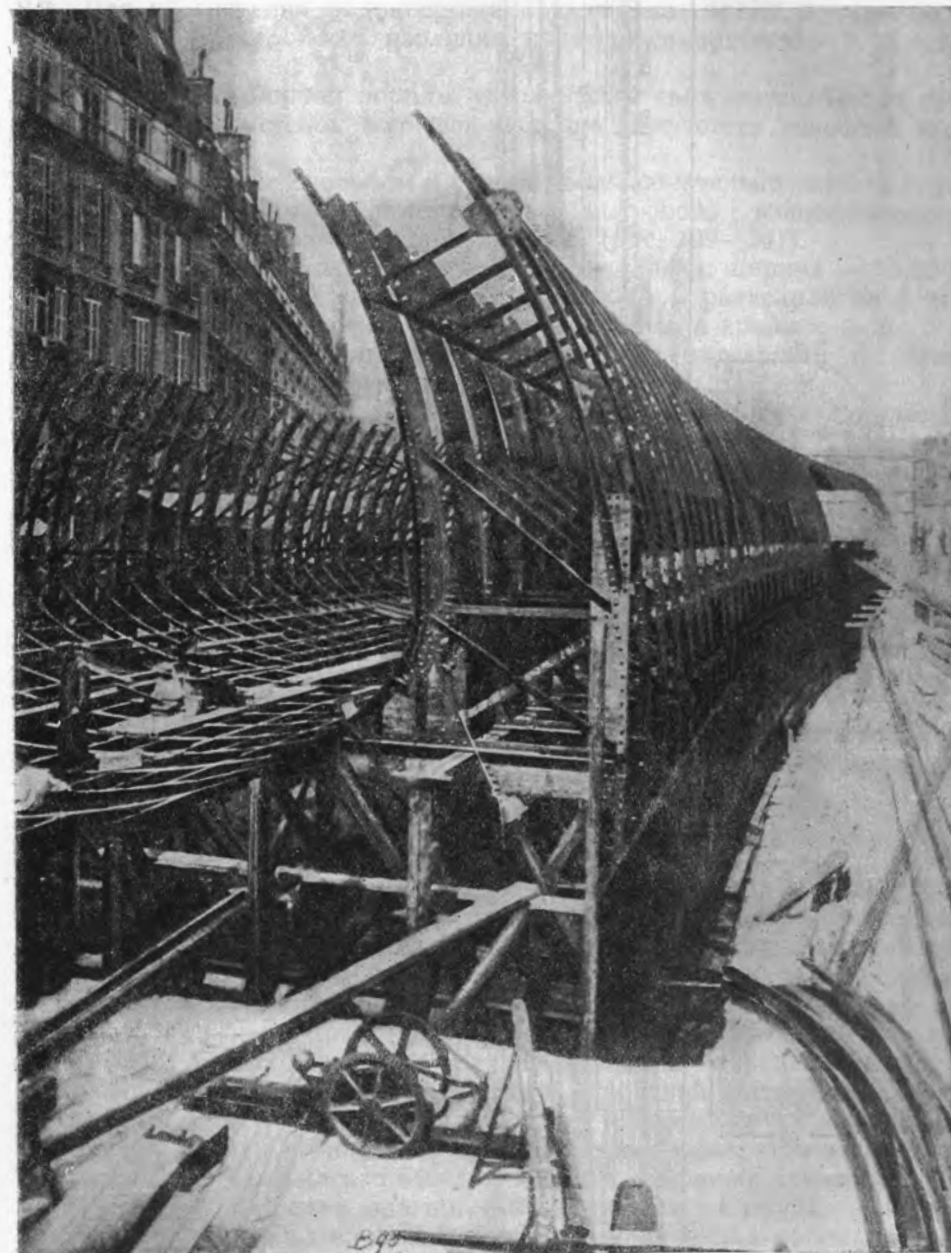


Рис. 201. Монтаж металлической конструкции станции „Сэн-Мишель“ на поверхности.

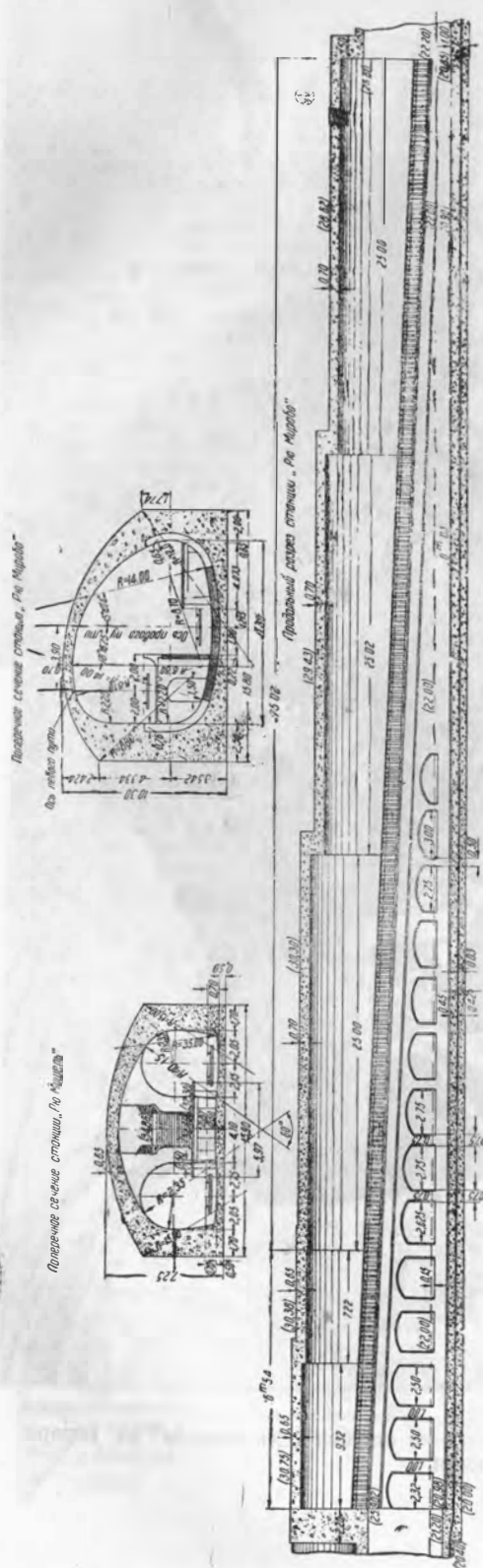


Рис. 202. Станция „Рю Мирабо“. Мост в подводном тоннеле.

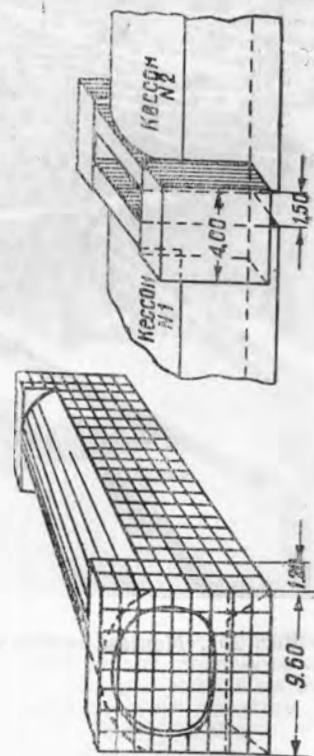


Рис. 203. Схема стыкования опущенных кессонов-тоннелей между собой специально приспособленными съёмными кессонами.

средний кессон, который должен перекрыть стык сверху по кровле тоннелей.

При размерах стыка в плане $3 \times 11,00$ м работы по выемке породы стыка ведутся при ограждении двумя стенками основных тоннелей-кессонов и боковыми стенками малых съёмных кессонов.

Для обеспечения водонепроницаемости на время производства этих работ и устройства изоляции приходится прибегать к помощи водолазов.

Вслед за выборкой породы устраивается свод стыка. После пробивки торцевых стенок тоннелей-кессонов получается сквозной подводный тоннель.

Описанным же способом в условиях исключительно слабых грунтов опускались (только с поверхности мостовой) тоннели-кессоны станций «Сен-Мишель» и «Старый город» (рис. 199—201).

Размеры поперечного сечения вчерне были: ширина — 16,60 м, высота — 12,50 м. Общую длину станции в 75 м разделили на 3 кессона-тоннеля. Средняя секция была длиной 66 м, а крайние — по 3 м. Соединялись они с эллиптическими шахтами размерами в плане $26,0 \times 18,5$ м для размещения лифтов и лестниц.

Сборка конструкций тоннеля-кессона станций производилась в котловане глубиной в 3 м. При длине ножа в 155 м и общем весе бетонированной конструкции в 11,000 тонн давление на 1 пог. м доходило до 710 тонн.

Опускание кессона производилось без особых затруднений на глубину 4 м до горизонта грунтовых вод. Дальнейшее опускание на глубину 3,5 м производилось при усиленном водоотливе, после чего пришлось перейти на сжатый воздух. Тоннель станции Сен-Мишель опускался вблизи фундаментов зданий. Во избежание повреждения последних по мере погружения кессона выводилась до поверхности защитная стенка.

Аналогичным методом три кессона-тоннеля железобетонной конструкции опущены на трассе первоочередной линии Московского метро по Каланчевской улице на глубину более 25 м.

Проходка щитом с применением сжатого воздуха

Проходка щитом является одним из старых приемов тоннелирования у французов. При постройке первых линий метрополитена ими применялся полущит незамкнутого контура. Полущит, состоявший из чехла с металлическими рамами, перемещался непосредственно по породе, образуя калоттный профиль тоннельной обделки. Остальная часть работ проводилась по бельгийской системе с подведением стен под готовый свод. При слабом грунте в основании предварительно по германской системе в боковых штольнях нижнего яруса выкладывались стены. Полущит помощью гидравлических домкратов мощностью около 1000 тонн катился по выложенным в штольнях стенам.

Однако применение полущита незамкнутого контура доказало дефективность этой системы. Во время производства работ как полущит, так и обделка претерпевали значительные деформации. Иногда деформации были настолько значительны, что искажали заданный габарит по поперечному сечению тоннеля и приходилось переделывать обделку.

Кроме того при постройке тоннелей мелкого заложения с незначительной кровлей над шельгой свода усиленный нажим домкратов

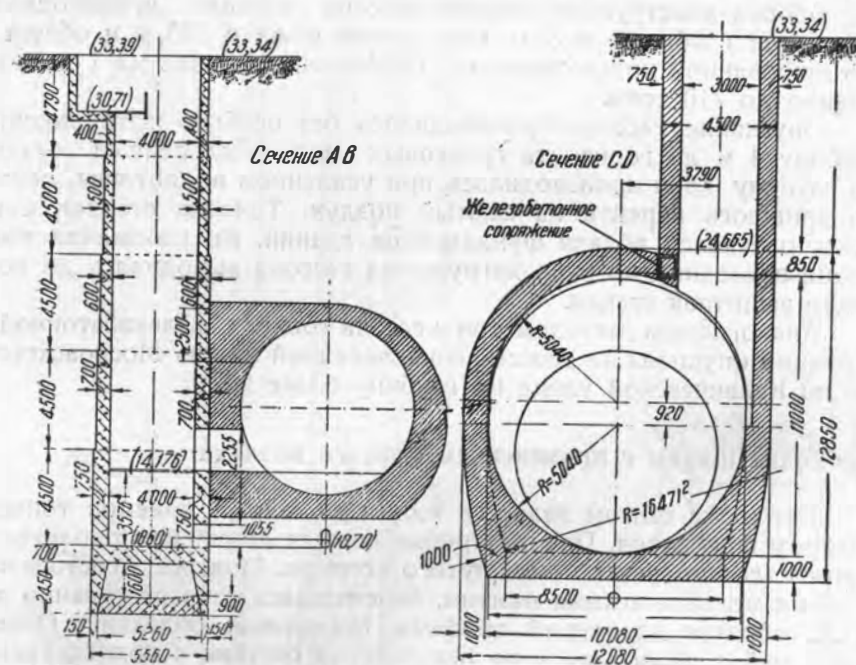
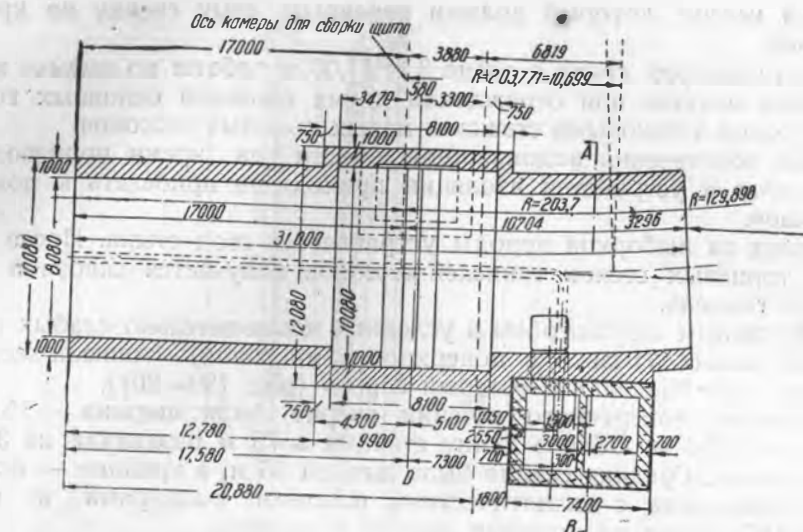


Рис. 204. Планы и разрезы шахты и камеры для монтажа щита.

вызывал подъем и повреждение мостовой. Эти обстоятельства заставили французов отказаться от полущита в метрополитенном строительстве в пользу системы временного деревянного крепления при постоянной каменной обделке.

К шитовой проходке французы обратились при подводном пересечении р. Сены, когда муниципалитет Парижа запретил работы по опусканию тоннелей-кессонов с поверхности реки, чтобы не стеснять судоходное движение.

При пересечении р. Сены применяли замкнутого контура двухпутный, эллиптический щит, поперечным сечением $7,77 \times 5,86$ м, двух-

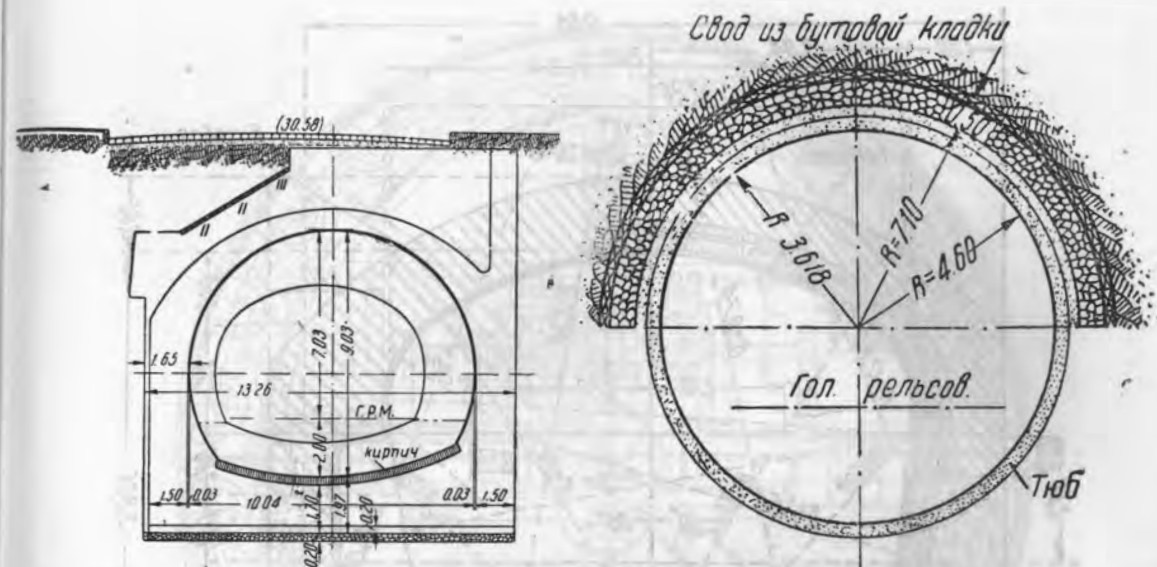


Рис. 205. Камера для монтажа щита, примененного при проходке под р. Сенной.

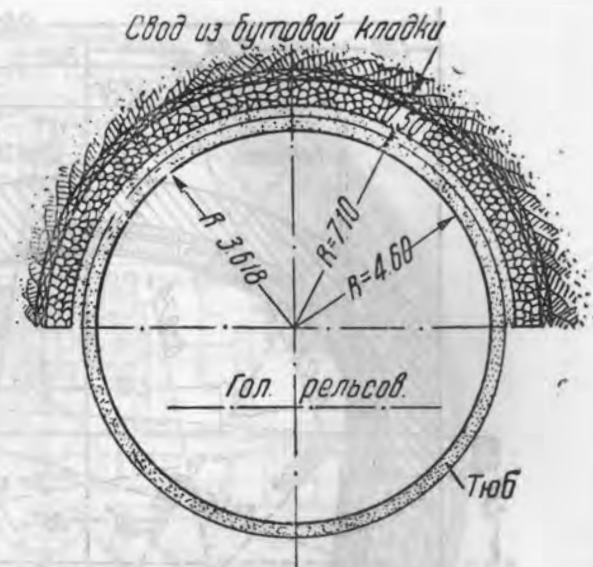


Рис. 206. Пропуск щита под защитой бутового свода, созданного парижским способом.

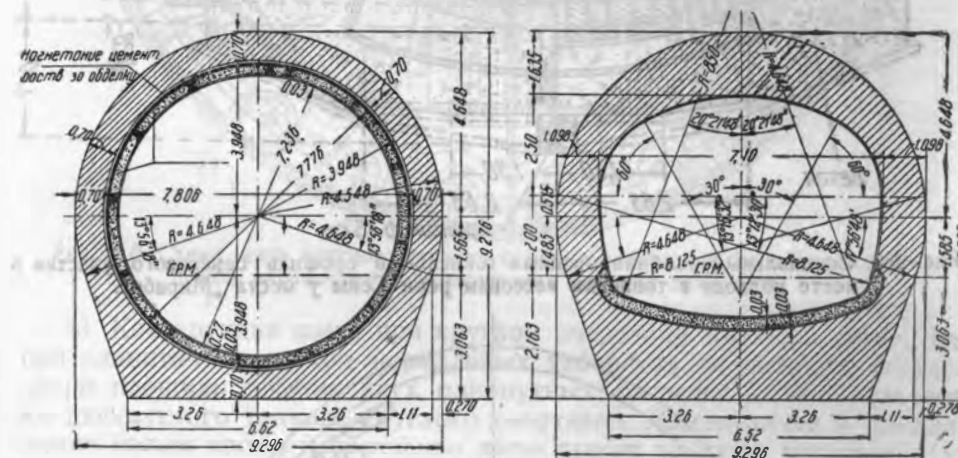


Рис. 207. Конструкция тоннельных обделок на подходах к подводной части.

путный круглый щит диаметром 7,78 м (рис. 210—212) и два круглых однопутных щита по 5,24. Обделки тоннелей были из чугуновых сегментов.

По отношению к габаритам подвижного состава круглое сечение тоннеля дает избыточную площадь профиля. Зато оно окупается существенными преимуществами, а именно:

1. При круглом сечении тоннеля обделка его может быть составлена из одинаковых сегментов стандартного типа.

2. При повороте щита вокруг своей оси сечение в свету по отношению к горизонту при круглом очертании остается неизменным. Поворот же щита эллиптического очертания может создать положение, при котором габарит подвижного состава не впишется в повернутое сечение, что неизбежно приводит к сложным работам по реконструкции тоннельных обделок.

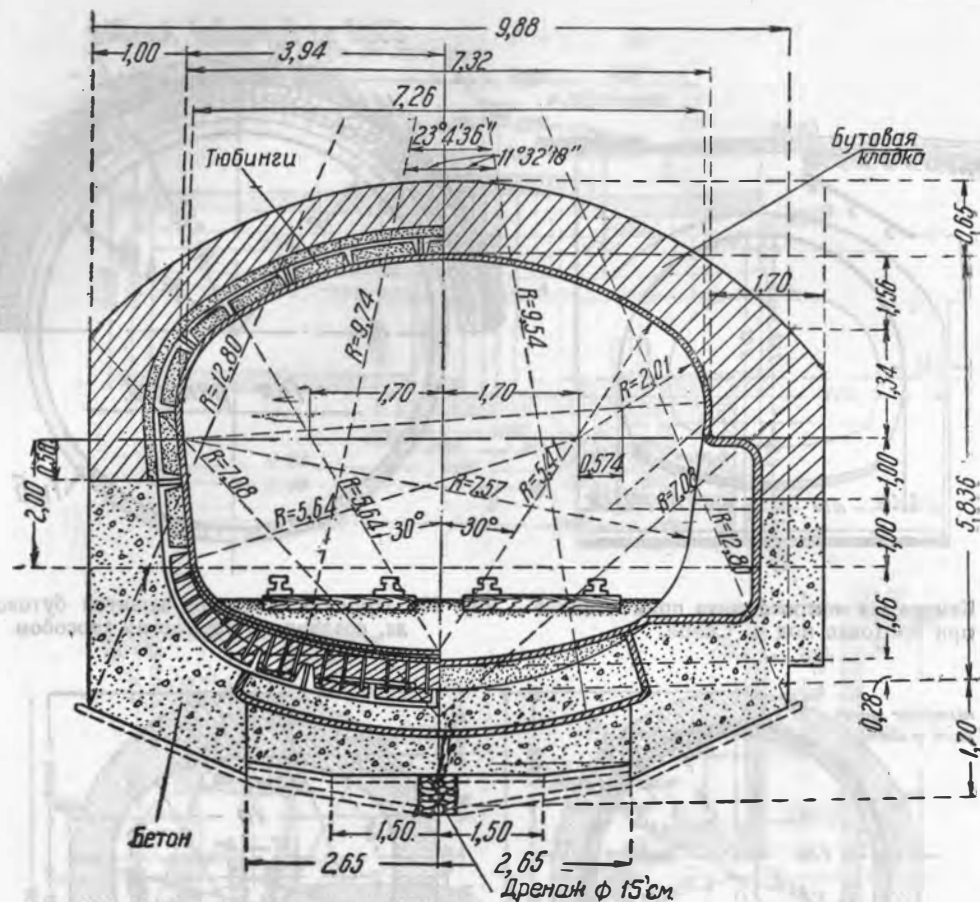


Рис. 208. Специальный комбинированный тоннельный профиль берегового участка в месте подхода к тоннелям кессонам реки Сены у моста „Мирабо“.

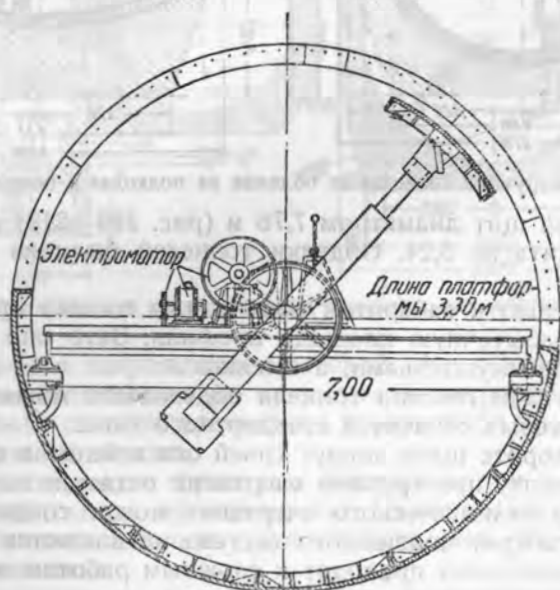


Рис. 209. Тип эректора для монтажа тубингов на специальной тележке с электроприводом.

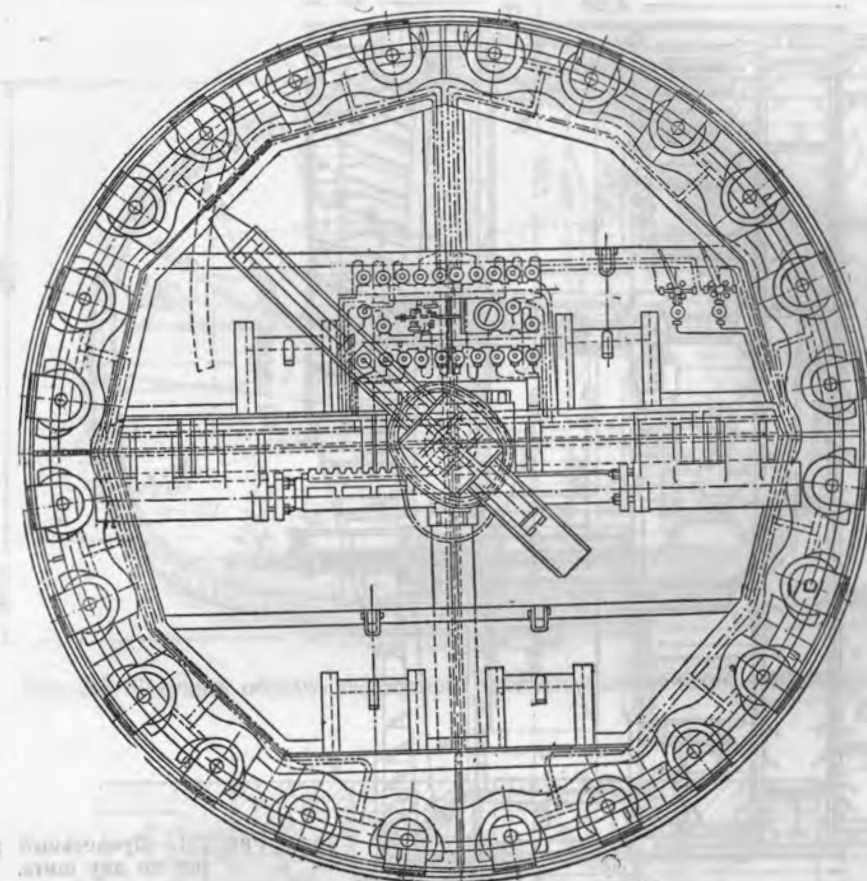


Рис. 210. Схема щита круглого сечения с одним эректором при централизованном управлении гидравлических ходовых домкратов.

3. Конструкция щита при круглом очертании проще и легче, чем при эллиптическом. При нормальных габаритах подвижного состава метро площадь сечения двух однопутных тоннелей меньше таковой же двухпутного тоннеля круглого очертания. Манипуляция и продвижение малых щитов несравненно легче щитов крупных профилей. По этим соображениям французы предпочитают вести прокладку тубов малыми сечениями круглого профиля.

4. Периодические усиленные нажимы гидравлических домкратов деформируют эллиптический щит, который по своей форме, сопротивляется повороту вокруг своей оси.

Щиты монтируются в специальных камерах (рис. 204, 205).

При проходке под р. Сенной щит в подходах к реке пришлось проводить под защитой специального свода. Не решаясь на риск проходки щитом у больших зданий, строители предварительно помощью временного деревянного крепления устроили каменный свод толщиной 50 см, опирая его на известняк. Под защитой этого свода и проводился щит. Впереди последнего велась направляющая штольня, в которой укладывалась обратная бетонная подушка с рельсами, по которой катили щит, когда он в нижней части пересекал твердые породы.

Работы велись под сжатым воздухом при бетонной диафрагме толщиной в 3,00 м с тремя замурованными металлическими шлюзами.

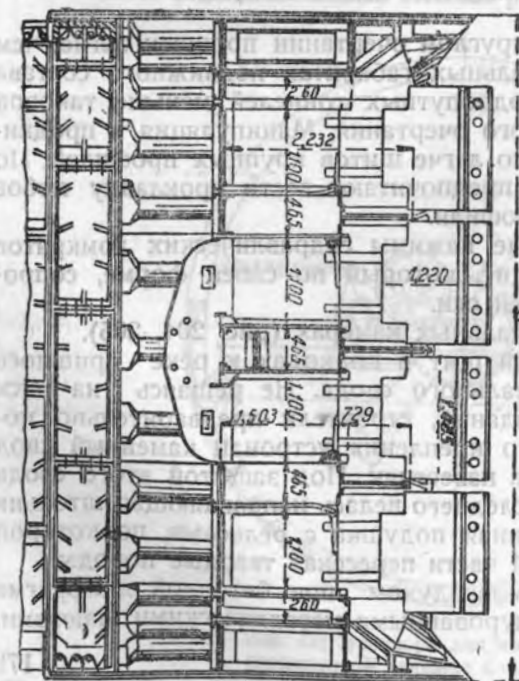
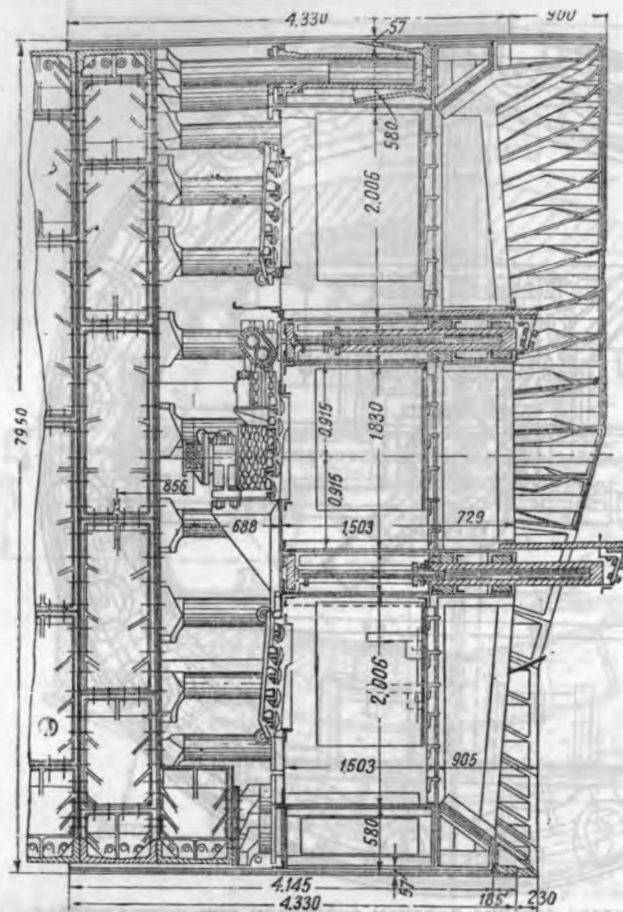


Рис. 212. Разрез щита по горизонтальному диаметру; видны подвижные платформы.

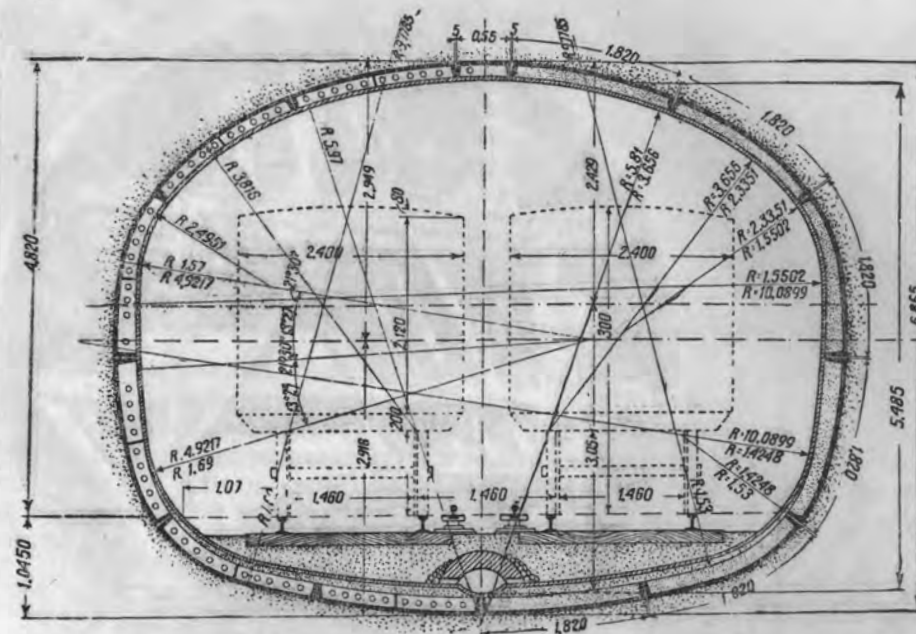


Рис. 213. Чугунная обделка двухпутного тоннеля эллиптического очертания.

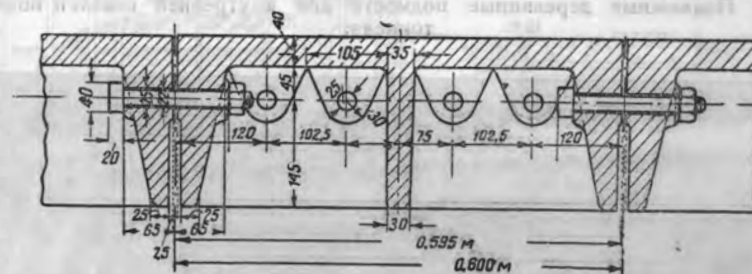


Рис. 214. Детали чугунных сегментов с показанием желобков для расчеканки.

Из них, один нижний — материальный, а другой — людской. Верхний плюз — спасательный на случай аварий в тоннеле.

Продвижение щита велось при тщательном наблюдении и контроле положения щита. Отклонения от проектного направления не превышали по горизонтали 8 см, а по вертикали — 7 см. Вращение щита вокруг оси имело место, но обычно локализовалось односторонней загрузкой баласта. Сплюсывание эллиптической обделки происходило в пределах 7 см. Устройством специальной системы затяжек удалось остановить распространение указанного явления в пределах 3 см.

Вслед за тем производилось нагнетание цементного раствора за сбеделку. Опыт проходки щитом под Сеной доказал, что применение быстросхватывающегося цемента чревато большими неприятностями, поскольку цемент, выжимаясь по оболочке щита, закрепляет его положение в породе.

Для дальнейшего продвижения щита требовалось уже такое усилие, которое не всегда могли дать гидравлические домкраты. Если

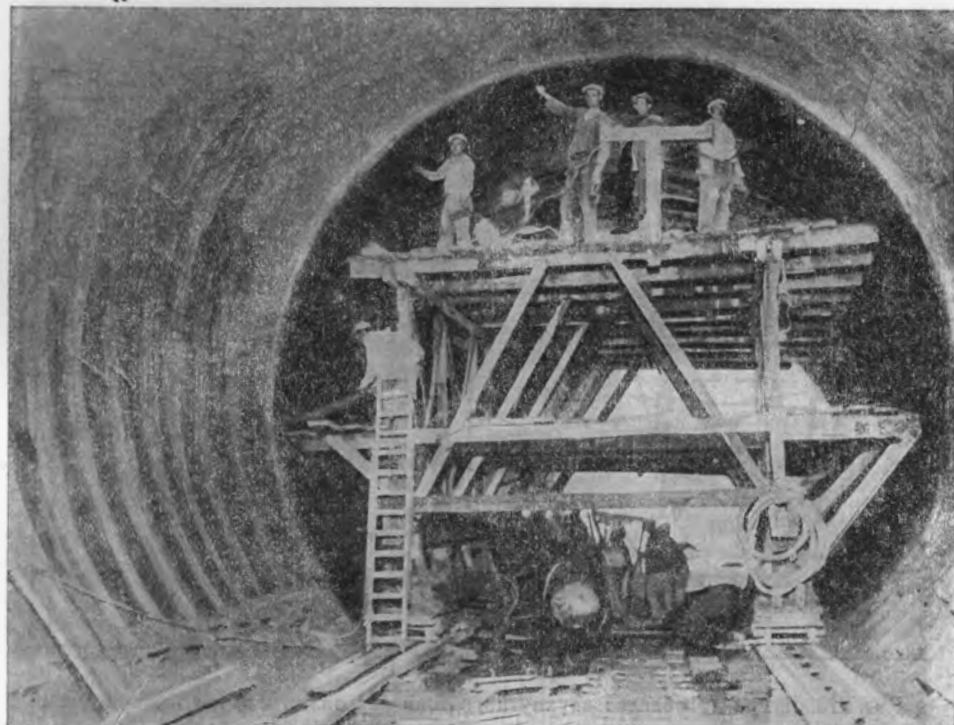


Рис. 215. Подвижные деревянные подмости для внутренней отделки подводного тоннеля.

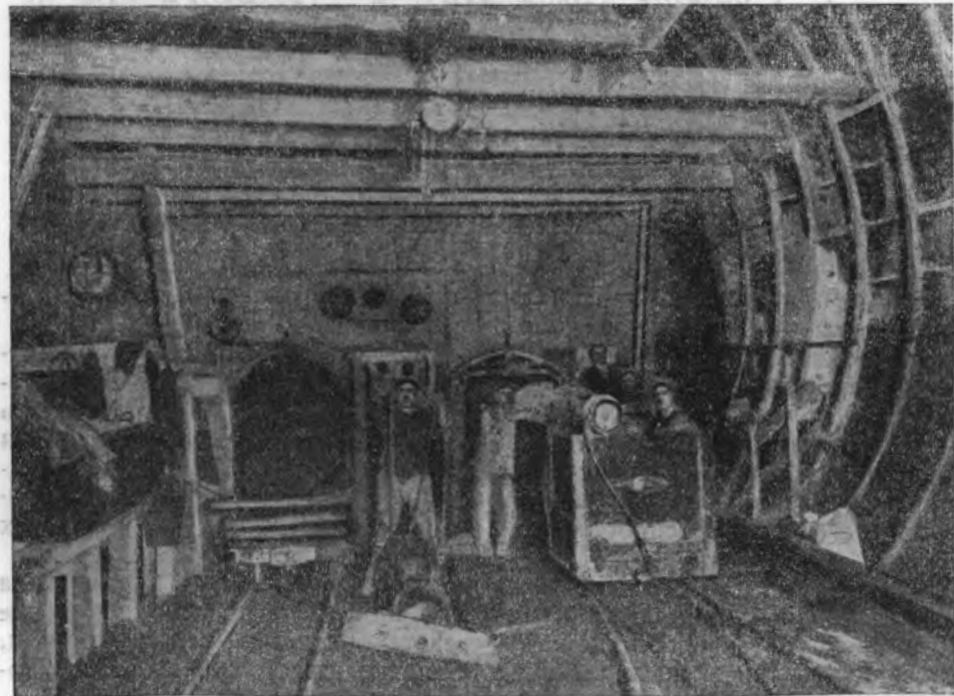


Рис. 216. Вид шлюзовой диафрагмы в период производства щитовых работ под сжатым воздухом.

последние и преодолевали это значительное сопротивление, то за счет нарушения и вовлечения в работу окружающего грунта, что связано было с большими осложнениями. Французы при щитовой проходке поэтому применяют известковый раствор, как медленнее схватывающийся. Эректоры для монтажа тубингов размещаются в французских щитах, как на отдельных тележках (рис. 209), так и непосредственно на самом щите.

Средняя скорость проходки эллиптическим щитом размера $7,77 \times 5,86$ м под р. Сеной под сжатым воздухом была около 0,75 м в сутки готового тоннеля.

Сооружение тоннеля у р. Сены замораживанием

При сооружении тоннельного участка метрополитена в месте подхода подводного участка р. Сены к станции Сен-Мишель строителям пришлось столкнуться с чрезвычайно слабыми водоносными грунтами. Задача заключалась в том, чтобы соединить опущенный под р. Сеной кессон-тоннель № 5, со станцией Сен-Мишель тоннелем на протяжении 60 м. Условия осложнялись тем, что тоннель проходил под путями Орлеанской железной дороги.

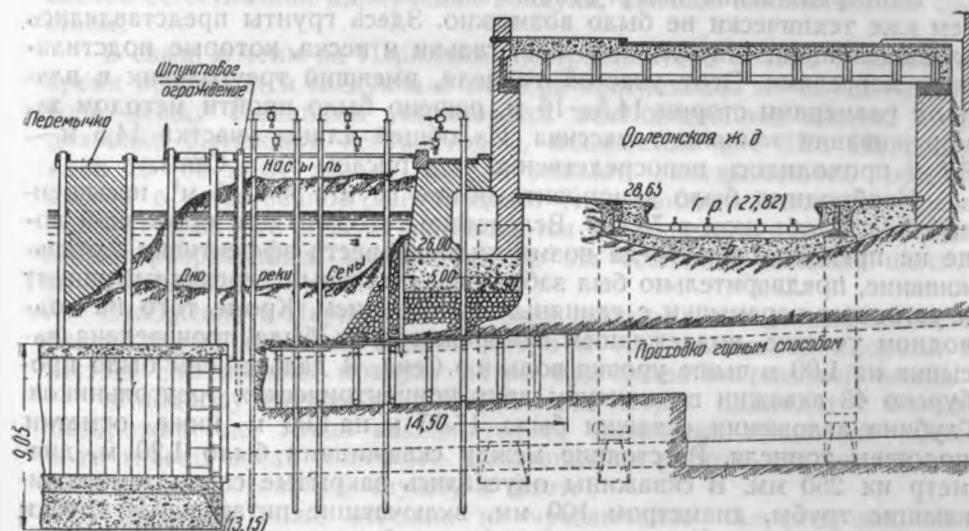


Рис. 217. Продольный разрез берегового участка, пройденного горным способом с помощью замораживания.

Чтобы обеспечить непрерывность движения поездов и обезопасить железнодорожное полотно от осадок, неизбежных в слабых грунтах, решено было предварительно сделать соответствующие укрепления. Устои и пути были взяты на систему арок и металлических балок, которые опирались на кессоны, опущенные под сжатым воздухом на 1,00 пог. м ниже подошвы прокладываемого тоннеля метро, что составляло глубину в 12,00 м от головки рельса железнодорожных путей (рис. 217).

После этого была начата проходка на деревянном креплении с верхним штольневом ходом. Последовательное раскрытие профиля велось на полное сечение.

Эти работы проводились под уклон в 4° при мокром забое. В этих условиях особенно тягостна была борьба с водой, дебит котсрой иногда доходил до $220 \text{ м}^3/\text{час}$.

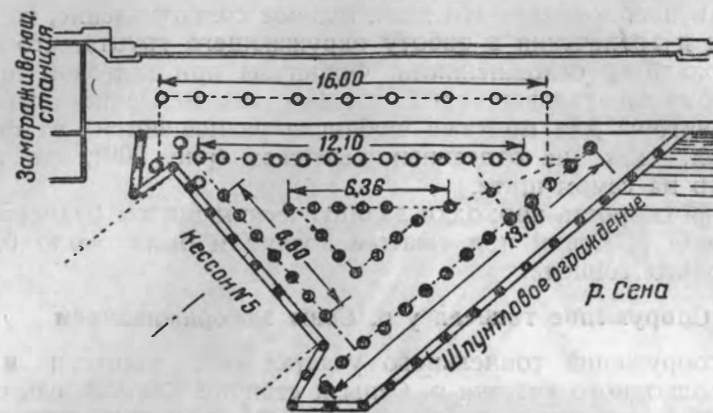


Рис. 218. План расположения скважин при производстве работ по замораживанию грунта берегового участка.

Непосредственно под р. Сеной вести тоннельные работы таким путем уже технически не было возможно. Здесь грунты представлялись аллювиальными отложениями ила, гальки и песка, которые подстилались мергелями. Этот участок тоннеля, имевший треугольник в плане, с размерами сторон 14,5—16 м, решено было пройти методом замораживания земляного массива. Из общей длины участка 14,5 м — 8,7 м проходило непосредственно под руслом реки Сены.

Необходимо было заморозить объем грунта в 2145 м³, насыщенный водой, объемом в 750 м³. Вследствие того, что при проточной воде не представилось тогда возможным провести эффективно замораживание, предварительно был забит оградительный деревянный шпунт и устроены перемишки с глиняным заполнением. Кроме того на подводном участке, подлежавшем замораживанию, была произведена засыпка на 1,00 м выше уровня воды в р. Сене. В дальнейшем было пробурено 48 скважин по контуру двух concentрических треугольников. Глубина заложения скважин была 17,00 м, на 1,00 м ниже отметки подошвы тоннеля. Расстояние между скважинами было 1,20 м, диаметр их 250 мм. В скважины опускались закрытые снизу замораживающие трубы, диаметром 100 мм, включавшие питательные трубки диаметром 35 мм. Кроме того по берегу было заложено еще 9 скважин, образовавших оградительный контур.

Процесс замораживания производился при двух станциях. Одна станция холодопроизводительностью в 130 000 фригорий/час обслуживала 32 скважины и была оборудована двумя аммиачными компрессорами при двигателе в 100 HP. Другая станция, холодопроизводительностью в 65 000 фригорий/час обслуживала 25 скважин и была оборудована одним аммиачным компрессором, при моторе в 120 HP.

В трубах циркулировал охлажденный до -23° раствор хлористого кальция. Продолжительность замораживания была месяц.

Работы в дальнейшем производились в закрепленном массиве, иногда с применением взрывчатых веществ. Выемка профиля производилась при обнажении замораживающих скважин, входивших в сечение выработки, без особых осложнений.

Один раз произошел прорыв воды через массивную стенку набережной. Вода залила тоннельные разработки и в значительной

степени расстроила крепления. Однако эта авария была быстро ликвидирована. Был забит дополнительный оградительный шпунт с крыльями, общей длиной в 80 м. Затем интенсивным водоотливом выработки были освобождены от воды. Одновременно непрерывно работала замораживающая установка.

§ 10. Вентиляция Парижского метрополитена

В Париже при сооружении метрополитена не уделялось должного внимания вентиляции тоннелей. В результате в Парижском метрополитене душный, испорченный воздух, неприятный для пассажиров и вредно влияющий на здоровье служебного персонала.

Даже вблизи входов в метро чувствуется неприятный пряный запах. Спустившись же на станцию и в вагон, пассажир принужден дышать тяжелым воздухом «подземной прачечной».

Естественная вентиляция при отдельных шахтах, диаметром в один метр, расположенных в повышенных и пониженных отметках по продольному профилю метрополитена, рассчитанная на установление естественной циркуляции воздуха, явилась паллиативным средством.

В связи с этим на Парижском метрополитене только в настоящее время прививается следующая система вентиляции: по середине перегона между станциями устраивается вентиляционная шахта, оборудованная вытяжным вентилятором, мощностью в 7 HP. На расстоянии 20—30 м от торцов каждой станции закладываются обычные шахты с естественной вентиляцией. При движении поездов свежий воздух через эти шахты засасывается в тоннель в связи с создающимся разрежением сзади поездов. На станциях никаких шахт не устраивается.

Ежедневно в Париже по три раза производится дезинфекция тоннелей, путей, станций, входов метро и т. д. поливкой хлорной известью. Это придает воздуху метро еще более неприятный запах.

К подбору служащих в Парижском метро подходят с большой осторожностью. Лишь исключительно физически здоровый человек, и то только после годичного испытания на работе под землей, зачисляется на постоянную службу в штат.

Приводим ниже отрывки из чрезвычайно характерной статьи французского рабочего, помещенной в газете «Ле Пепл» от 20/V—1932 г. о порядках в Парижском метрополитене: «Набитые, как скот, в старых, плохо вентилируемых вагонах, пассажиры выходят из этих поставленных на колеса клеток, шумных и неудобных — вспотевшие и в буквально внушающем отвращение виде».

Баррон Эмпен¹, тот, которому милые льстецы доверили все транспортные предприятия, гнусно издевается над пассажирами. Ему показалось недостаточным заставлять их платить дважды, из-за дерзкого и глупого контроля, держать их за решетками, заставлять их проходить через автоматические ворота и дверцы, которые часто гильотинируют руки или головы. Он хочет помощью гнусной экономии, выгодной ему самому и его приятелю, уменьшить число вагонов, организовать еще большую давку. Это ужасное положение слишком долго тянется. Для многих пассажиров оно становится невыносимым».

¹ Владелец метро.

На наш вопрос: «Почему метро не приводится в состояние, соответствующее, хотя бы минимальным требованиям гигиены?» компания Парижского метро ответила другим вопросом: «Зачем вкладывать излишние деньги в изоляцию и вентиляцию тоннелей парижского метро, когда и так «хорошо» ездят?»

Французские инженеры признают дефективность своего метро в части вентиляции и поэтому на последней линии они добились заложения дополнительных шахт, которые вносят некоторое облегчение. На шахтах предполагается установка специального типа вентиляторов Рито ВМТ — 1 400, мощностью в 3,5 м³/сек. при 500 оборотах в минуту с мотором по 10 HP.

§ 11. Данные из французских технических условий по сооружению тоннелей¹

Парижского метрополитена линии № 9 от ворот Монрейль до площади Республики (участки между ул. Оберкампф и воротами Монрейль № 2, 3, 4 и 5)

а) Типы сооружений расширенного типа § 10

Двухпутный тоннель расширенного типа

Расширенный тип двухпутного тоннеля применяется на закруглениях радиусом от 50 м до 99 м. Внутренняя ширина тоннеля на уровне рельс 6,968 м. Перекрытие состоит из свода со стрелой 2,77 м, двух стен в 2,68 м высотой и основания в форме обратного свода в

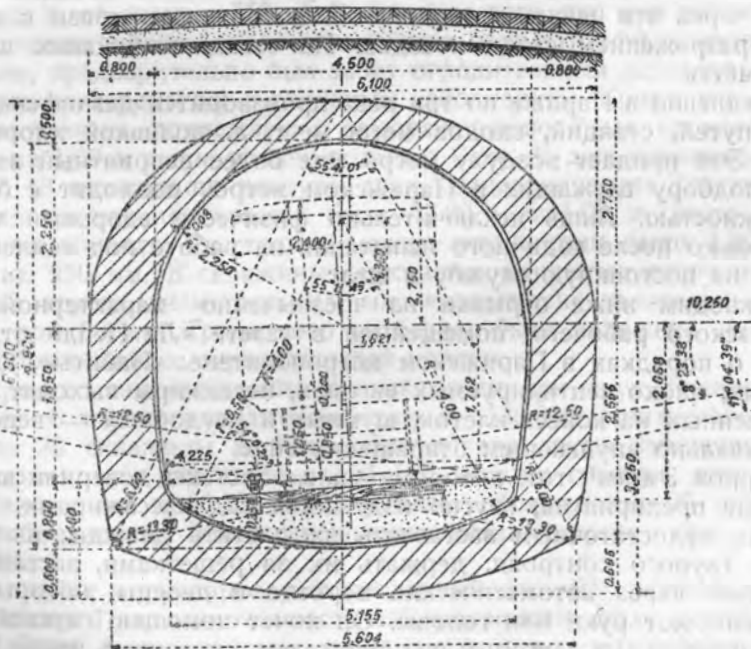


Рис. 219. Типовые обделки Парижского метрополитена. Однопутный тоннель на прямой.

¹ Извлечение из французских Т. У. на сооружение линии № 9 Парижского метрополитена.

нижней своей части со стрелой 70 см под уровнем рельс. Высота тоннеля 5,20 м в чистоте. Внутреннее очертание эллиптическое с подъемом 2,07 м, при пролете 7,80 см. По краям свод имеет очертание, радиусом 6,688 м, сходящееся по бокам с наружной поверхностью стен по двум круговым кривым, радиусом 2,911 м. Толщина свода в замке — 60 см, в пятах — 75 см. (рис. 223).

Толщина стен равна 75 см. Внутренняя поверхность стен по круговым кривым, радиусом 12,115 м. Центр кривых находится на большой оси эллипса, образующего внутреннее очертание свода.

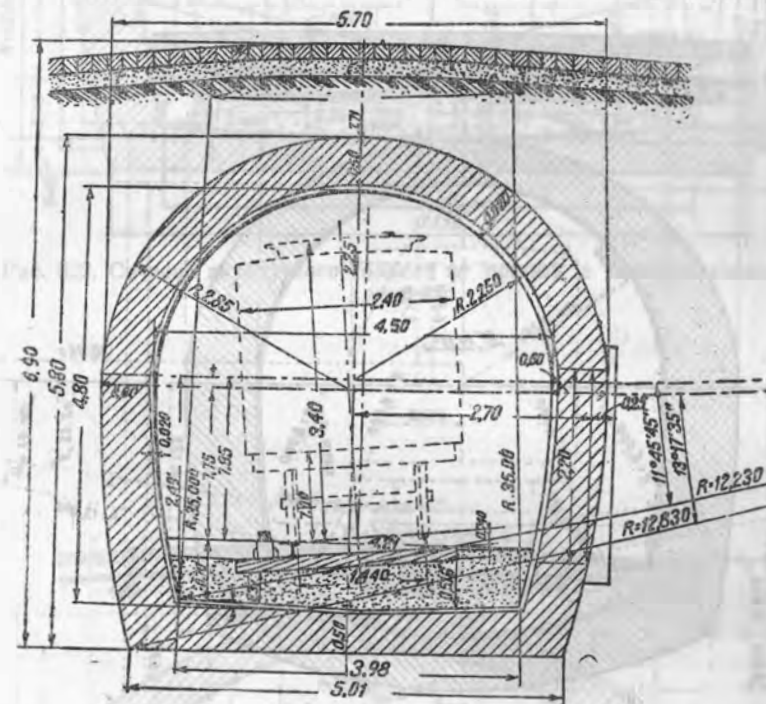


Рис. 220. Сечение однопутного тоннеля на кривой с плоским лотком.

Толщина лотка 50 см по вертикальной оси тоннеля. С разрешения главного инженера допускается уменьшение этой толщины до 40 см. Лоток закладывается в грунт по ширине 7,914 м. Радиус круговой кривой, образующей внутреннюю поверхность лотка 35 м.

В стенах устраиваются ниши в шахматном порядке при расстоянии между осями 12,50 м.

Кладка покрывается снаружи цементным слоем толщиной в 2 см.

Двухпутный тоннель усиленного типа В имеет на уровне рельсов внутреннюю ширину 6,60 м и 7,10 м на 2 м выше уровня головок рельсов. Его перекрытие образует свод с подъемом 2,60 м. Стены тоннеля имеют 3,451 м высотой. Основание (лоток) делается в форме обратного свода со стрелой 1 м под уровнем рельсов.

Общая высота тоннеля в свету 5,60 м, очертание наружной поверхности свода круговое, с радиусом в 7,10 м. Толщина свода в замке 60 см. Кладка из тесаного камня или из скальных пород. Толщина стен у пят свода 1 м. Внутренняя поверхность этих стен обра-

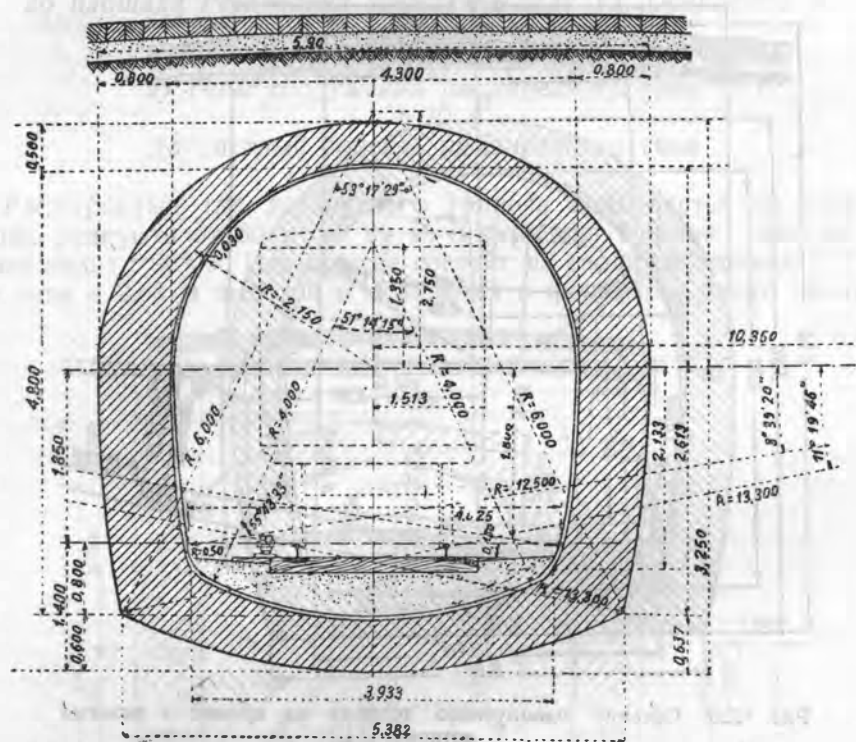


Рис. 221. Сечение однопутного тоннеля с обратным сводом.

зуется по круговым кривым, радиусом в 8,126 м, а наружная их поверхность — вертикальная. Опираются они на грунт при ширине подшвы 1,23 м. Стены возводятся из бетона. Минимальная толщина лотка 90 см. по оси тоннеля. Радиус круговой кривой, образующей внутреннюю поверхность, — 8,50 м. Поверхность лотка сопрягается с поверхностями стен по круговой кривой, радиусом в 50 см. Наружная поверхность свода делается по кругу, радиусом в 12,50 м.

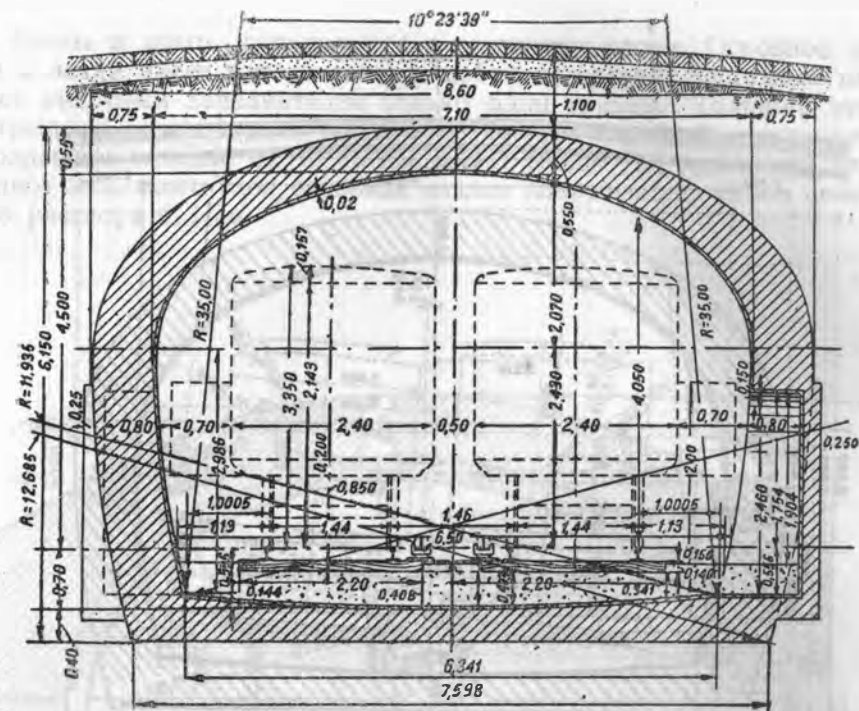


Рис. 222. Сечение двухпутного тоннеля на прямой с плоским лотком и нишей.

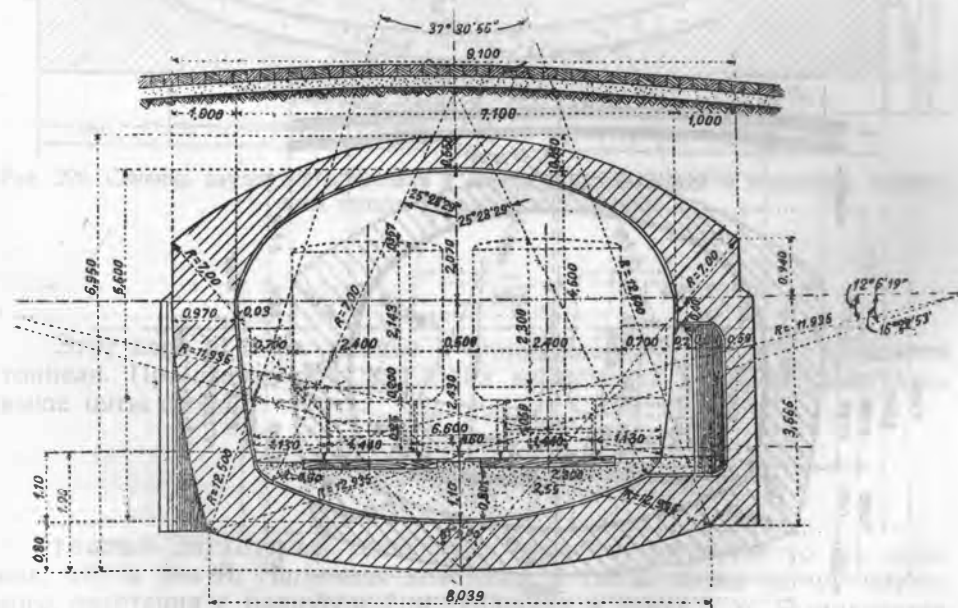


Рис. 223. Двухпутный тоннель на прямой с нишей и обратным сводом.

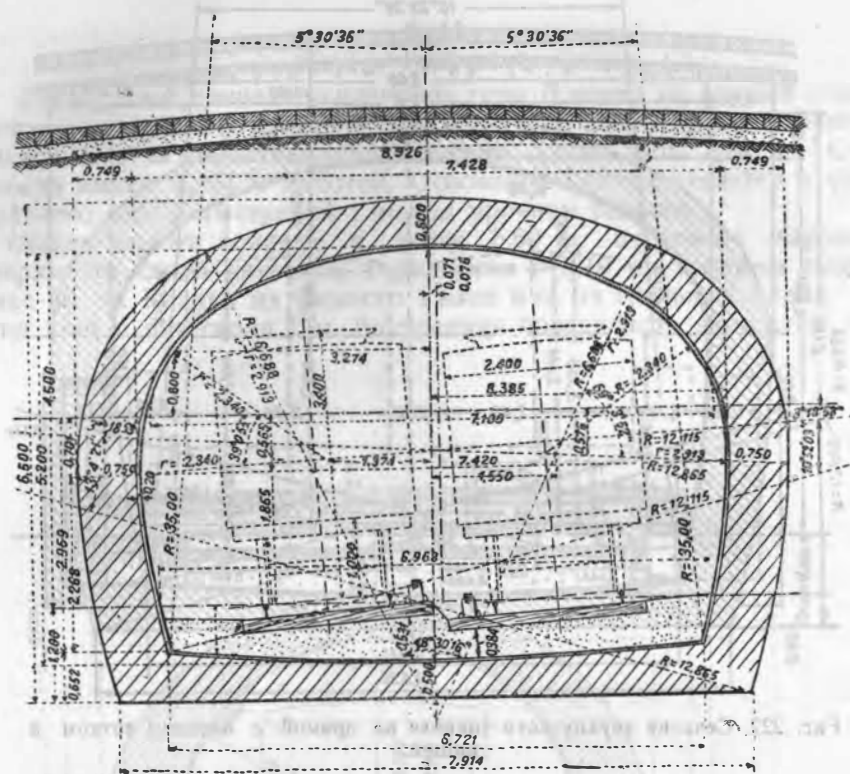


Рис. 224. Двухпутный тоннель на кривой с плоским лотком.

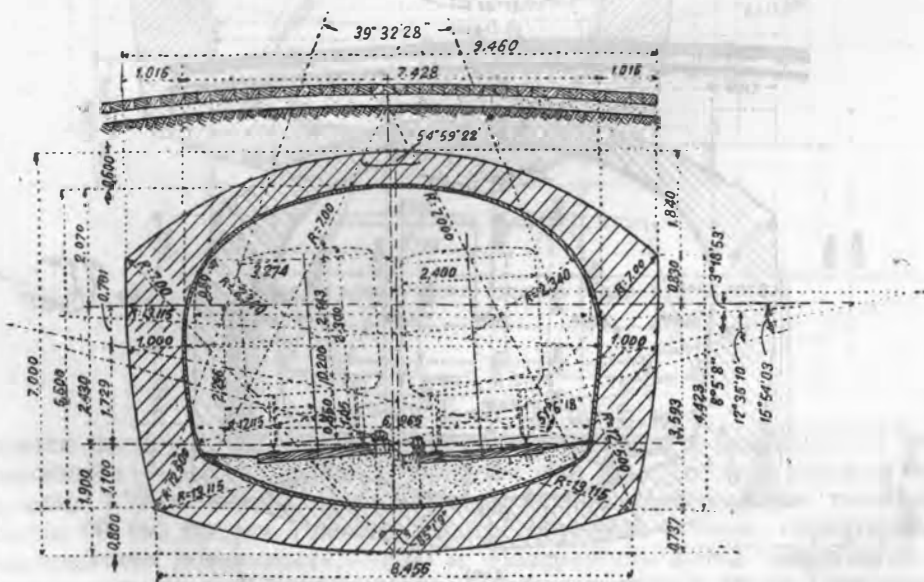


Рис. 225. Двухпутный тоннель на кривой с обратным сводом.

Стены и лоток выполняются с защитным слоем. Основное тело стен и лотка имеет заполнителями щебень и гравий. Защитный слой имеет инертным заполнителем только один гравий. Толщина этого внутреннего слоя в стенах 35 см, в лотке — 32 см. Слой с гравийным заполнением заходит на 40 см выше пят свода. До устройства внутреннего защитного слоя основная кладка покрывается слоем цементного раствора в 3 см.

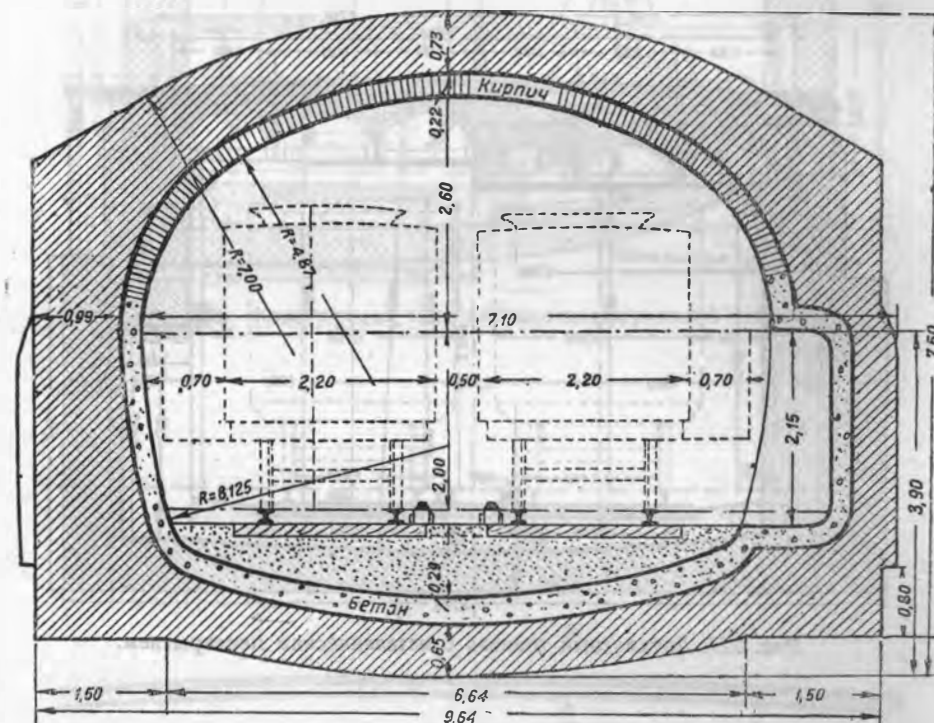


Рис. 226. Сечение двухпутного тоннеля с торкретной изоляцией и защитным кирпичным сводом в водоносных грунтах.

Этот слой в 3 см входит в установленные размеры элементов тоннеля. Промежуточная прослойка из цемента в стенах доводится выше пяты свода.

§ 12

Тоннель двухпутный усиленного типа внутри имеет то же сечение, что и тип В. Наружная поверхность свода имеет форму кругового очертания с радиусом 7 м. Толщина в замке 1 м. Выполняется свод из тесаного камня или из скальных пород.

Стены тоннеля имеют толщину 1,27 м у пяты свода. Внешняя поверхность стен вертикальная. Стены опираются на грунт по ширине горизонтальной подошвы в 1,50 м. Возводятся они из бетона. Лоток тех же размеров и того же типа, что и в тоннеле типа В.

Кроме того свод также делается в два слоя, разделяемых прослойкой из цемента в 3 см толщиной, составляющей продолжение внутренней прослойки стен. Внешняя кладка свода толщиной в 76 см делается из тесаного камня или из скальных пород. Внутренний слой толщиной в 22 см сложен из специальной кирпичной кладки.

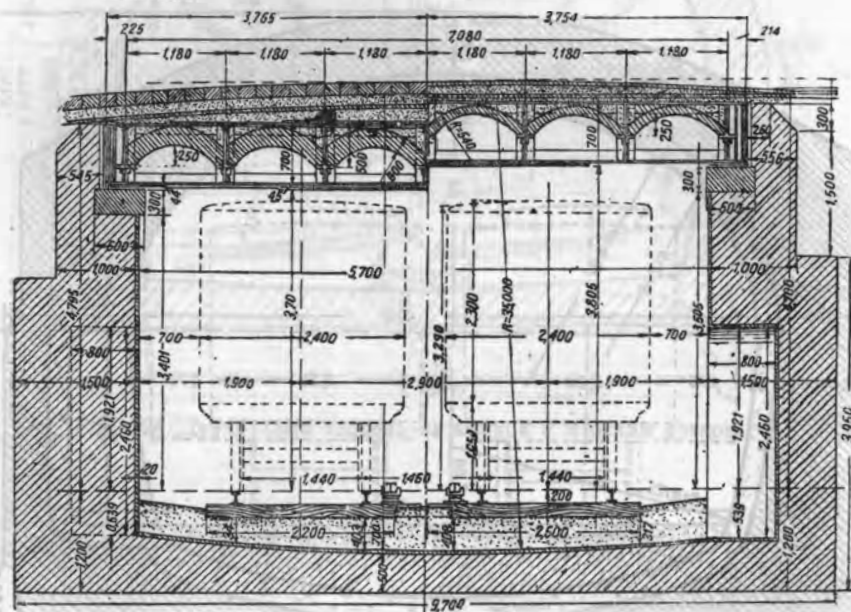


Рис. 227. Двухпутный тоннель с металлическим перекрытием.

Кладка внутри покрывается цементным слоем толщиной в 3 см, в стенах и лотке, и 2 см в своде. Эта толщина входит в расчет общей установленной толщины для всех элементов тоннеля.

§ 15

Сводчатая станция усиленного типа на ул. «Понэнкур» имеет длину 105 м и 14,14 м в ширину у пяты сводов по линии, проведенной на 1,50 м выше уровня рельсов. Свод по очертанию — эллипс, с подъемом в 3,79 м. Лоток в виде обратного свода, по кривой с тремя радиусами в 13,05 м и 7,54 м, и в 2,50 м.

Высота сооружения в свету достигает до 6,20 м. Свод, толщина которого в замке 70 см, имеет очертание частью в виде круговой

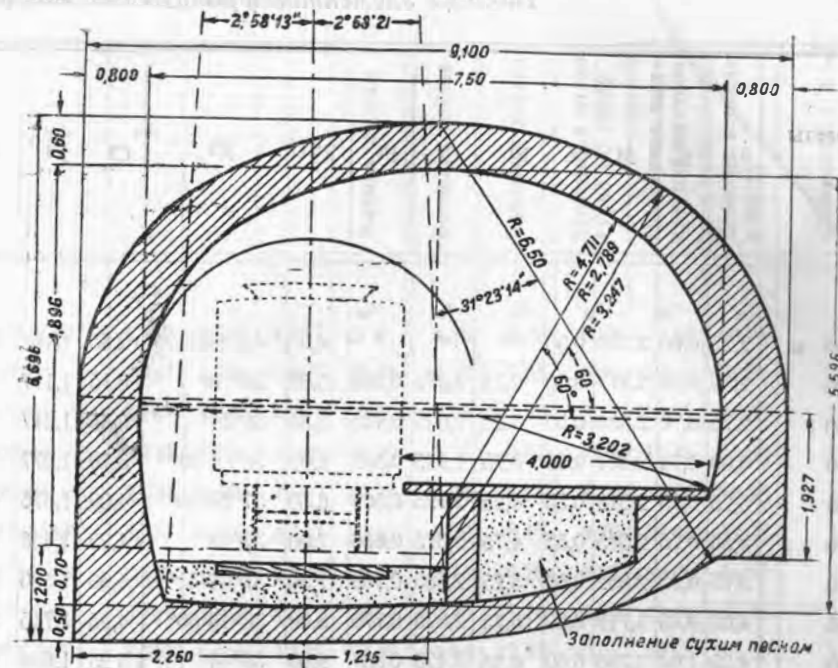


Рис. 228. Конструкция тоннеля однопутформенной станции.

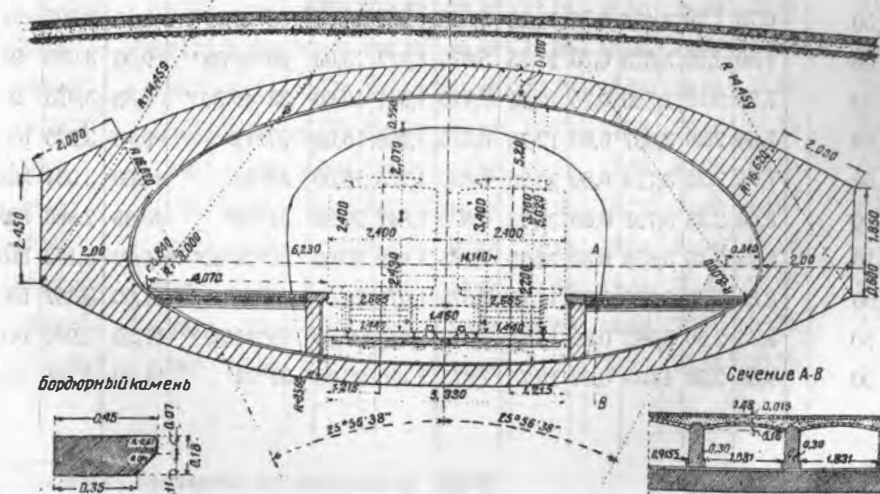


Рис. 229. Парижская типовая односводчатая станция с боковыми платформами.

Таблица элементов французских тоннельных

Пролеты м	0/2	E	M	e	R ¹	C ¹	F ¹	R ²	A ²	C ²	F ²	R ³
4,50 м	2,25	0,60	2,250	0,50	"	"	"	4,00	45°26'30"	2,85	1,193	8,10
5,00	2,50	0,65	2,317	0,50	2,75	1,375	0,368	5,00	39° 3'	3,15	1,117	10,22
5,50	2,75	0,70	2,384	0,50	3,25	1,625	0,435	5,50	38°51'	3,45	1,217	12,60
6,00	3,00	0,70	2,451	0,55	3,75	1,875	0,502	6,00	38° 4'30"	3,70	1,277	15,22
6,50	3,25	0,75	2,518	0,55	4,25	2,125	0,569	6,50	37°58'30"	4,00	1,376	18,09
7,00	3,50	0,75	2,585	0,55	4,75	2,375	0,636	7,00	37°23"	4,25	1,438	21,21
7,50	3,75	0,85	2,652	0,60	5,25	2,625	0,703	7,50	37°49'51"	4,60	1,580	24,58
8,00	4,00	0,95	2,719	0,60	5,75	2,875	0,770	8,00	38°13'30"	4,95	1,715	28,20
8,50	4,25	1,00	2,786	0,60	6,25	3,125	0,837	9,00	35°41'	5,25	1,690	32,07
9,00	4,50	1,10	2,853	0,60	6,75	3,375	0,904	9,00	38°29'	5,60	1,954	36,20
9,50	4,75	1,20	2,920	0,65	7,25	3,625	0,971	10,00	36°31'	5,95	1,963	40,57
10,00	5,00	1,30	2,987	0,65	7,75	3,875	1,038	10,00	39° 3'	6,30	2,228	45,19
10,50	5,25	1,40	3,054	0,65	8,25	4,125	1,105	11,00	37°12"	6,65	2,238	50,06
11,00	5,50	1,45	3,121	0,65	8,75	4,375	1,172	11,00	39°11'4"	6,95	2,474	55,19
11,50	5,75	1,55	3,188	0,65	9,25	4,625	1,239	12,00	37°28'9"	7,30	2,476	60,56
12,00	6,00	1,65	3,255	0,70	9,75	4,875	1,306	13,00	36° 3'	7,65	2,489	66,18
12,50	6,25	1,75	3,322	0,70	10,25	5,125	1,373	14,00	34°51'	8,00	2,511	72,05
13,00	6,50	1,80	3,389	0,70	10,75	5,375	1,440	14,00	36°21'30"	8,30	2,725	78,18
13,50	6,75	1,90	3,456	0,70	11,25	5,625	1,507	14,00	38° 9'30"	8,65	2,992	84,55
14,00	7,00	2,00	3,523	0,70	11,75	5,875	1,574	15,00	36°52'30"	9,00	3,000	91,17
14,50	7,25	2,10	3,590	0,75	12,25	6,125	1,641	16,00	35°45'30"	9,35	3,016	98,04
15,00	7,50	2,20	3,657	0,80	12,75	6,375	1,708	16,00	37°19'	9,70	3,275	105,16
15,50	7,75	2,25	3,724	0,80	13,25	6,625	1,775	18,00	33°45'	10,00	3,034	112,54
16,00	8,00	2,35	3,791	0,80	13,75	6,875	1,842	20,00	31°10'	10,35	2,886	120,16
16,50	8,25	2,45	3,858	0,80	14,25	7,125	1,909	20,00	32°20'30"	10,70	3,102	128,03
17,00	8,50	2,50	3,925	0,80	14,75	7,375	1,976	20,00	33°22'	11,00	3,297	136,15
17,50	8,75	2,50	3,992	0,90	15,25	7,625	2,043	22,00	30°45'30"	11,25	3,094	144,52
18,00	9,00	2,50	4,059	0,90	15,75	7,875	2,110	22,00	31°31'	11,50	3,245	153,14

сооружений (см. рис. 230)

A ³	C ³	H ¹	H	Выемка породы	Бетонная кладка	Каменная кладка	Цементная штукатурка по своду	Цементная штукатурка по стенам	Сечение тоннеля в свету	Стоимость 1 п. м. тоннеля во франках 1)
14°16'30"	1,997	1,557	4,757	м ³ 31,8	м ³ 6,38	м ³ 6,20	м ² 6,08	м ² 10,00	м ² 19,22	900
12°42'	2,247	1,700	4,900	35,74	6,92	7,08	6,60	10,48	21,74	1 005
11°26'	2,497	1,667	4,867	39,32	7,48	7,50	7,12	10,96	24,48	1 190
10°24'	2,747	1 724	4,924	42,90	7,78	8,02	7,64	11,48	26,90	1 165
9°92'	2,997	1,692	4 892	46,66	8,34	8,74	8,18	11,98	29,58	1 265
8°48'30"	3,247	1,697	4 897	50,02	8,58	9,16	8,70	12,48	32,28	1 335
8°10'45"	3,497	1,672	4 872	54,70	9,44	10,26	9,22	12,98	35,00	1 470
7°38'8"	3 747	1,604	4,872	59,14	10,30	11,10	9,74	13,48	37,74	1 590
7°9'30"	3,997	1,696	4,896	63,46	10,84	12,02	10,26	13,98	40,60	1 700
6°44'	4,247	1,499	4,698	67,52	17,88	6,20	10,78	14,46	43,34	1 790
6°21'30"	4,497	1,607	4,807	73,06	19,36	7,28	11,32	14,98	46,42	1 940
6°1'47"	4,747	1,409	4,609	77,28	20,18	7,80	11,82	15,44	49,30	2 045
5°43'43"	4,997	1,466	4,666	82,40	21,92	8,12	12,36	15,98	52,36	2 185
5°27'20"	5,247	1,297	4,497	86,00	22,20	8,44	12,88	16,44	55,36	2 260
5°12'27"	5,497	1,362	4 562	91,26	23,68	9,10	13,40	16,94	58,48	2 400
4°59'	5,747	1,466	4,666	97,32	25,50	9,94	13,94	17,48	61,88	2 575
4°46'27"	5,997	1 511	4,711	102,60	27,10	10,64	14,46	17,96	64,86	2 725
4°35'	6,247	1,364	4,564	106,50	27,54	10,88	14,98	18,46	68,08	2 805
4°24'30"	6,497	1,164	4,364	110,82	28,36	11,14	15,50	18,96	72,32	2 900
4°15'	6,747	1,223	4,423	116,38	29,84	11,86	16,06	19,46	73,68	3 050
4°5'30"	6,997	1,274	4,474	122,12	31,36	12,70	16,54	19,96	78,06	3,210
3°57'30	7,247	1,182	4,382	128,30	32,56	14,22	17,08	20,46	81,52	3 390
3°49'	7,497	1,490	4,690	134,94	34,56	15,42	17,60	20,96	84,96	3 590
3°42'	7,747	1,705	4,905	142,02	36,58	16,96	18,12	21,46	88,48	3 805
3°35'	7,997	1,556	4,756	146,78	37,66	17,14	18,64	21,96	91,98	3 935
3°28'30"	8,247	1,428	4,628	151,08	37,94	17,68	19,16	22,46	95,46	4 005
3°22'	8,497	1,798	4,998	159,9	39,80	20,60	19,68	22,96	99,18	4 285
3°16'30"	8,747	1,714	4,914	163,54	39,84	20,72	20,22	23,46	102,98	4 350

1) Стоимость приведена по довоенному курсу.

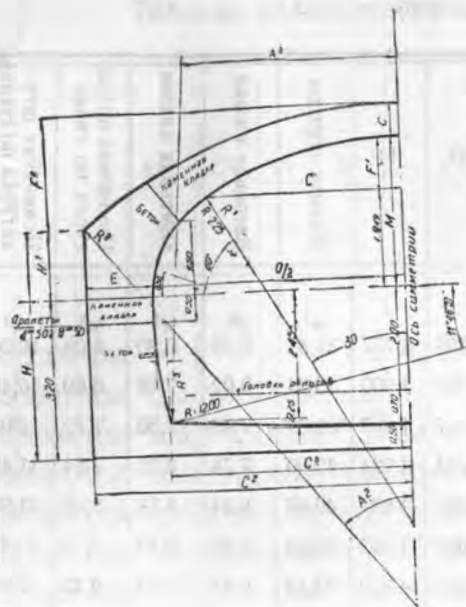


Рис. 230. Пролеты тоннелей от 4,5 м до 18 м.

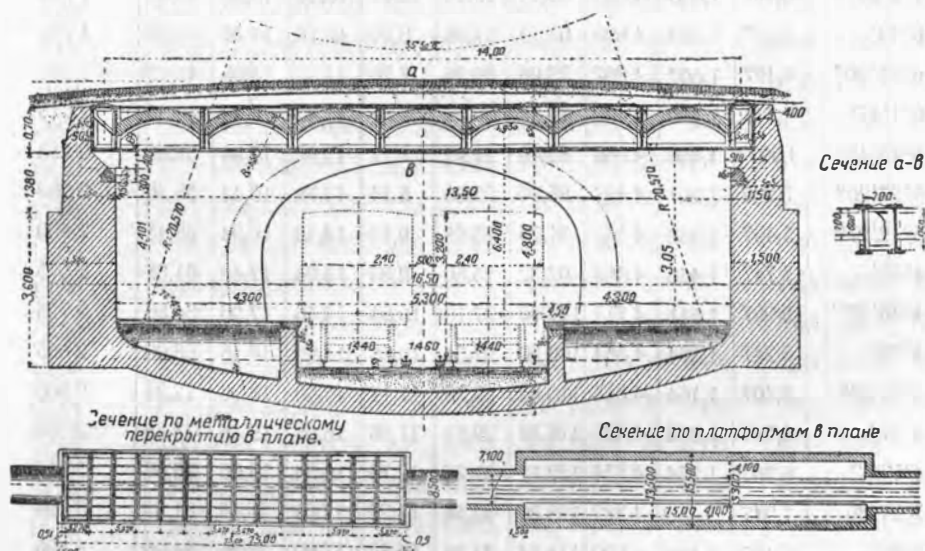


Рис. 231. Станция метрополитена с плоским металлическим перекрытием

кривой с радиусом в 16,621 м и частью по тангенсам к этой кривой длиной в 2,00 м.

Литок с минимальной толщиной по оси в 1 м закладывается на грунт в виде круговой кривой с радиусом в 15,50 м в центральной части, а по обоим сторонам последней в виде плоской поверхности шириной в 2,329 м.

Выполняется лоток в два слоя с внутренней прослойкой между ними из портланд-цемента толщиной в 3 см. Нижний слой из бетона — толщиной 60 см по оси. Верхний слой из одного гравийного бетона толщиной в 37 см.

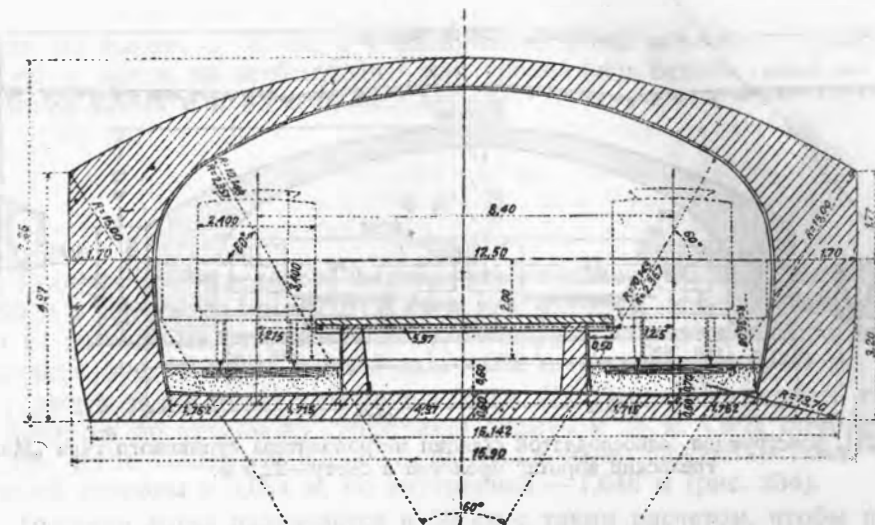


Рис. 232. Одноводчатая станция Парижского метрополитена с с/гровой платформой.

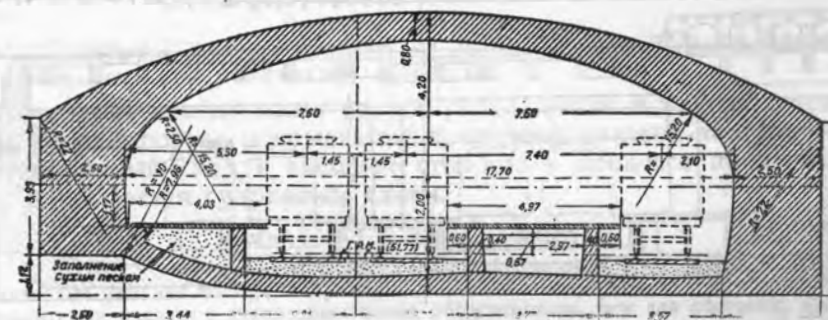


Рис. 233. Одноводчатая станция „Порт де Иври“ с островной и боковой платформами.

Устой свода и стен выполняется из щебенистого или гравийного бетона. Свод делается из тесаного камня или скальных пород.

Цементная смазка из портланд-цемента, толщиной в 3 см, делается по всей внутренней поверхности тоннеля-станции.

Вся поверхность стен и свода, видимая на станции выше уровня рельс, покрывается керамиковыми, глазурованными плитками. Тут же с разрешения администрации помещаются рамки для объявлений.

Толщина облицовочной обмуровки и керамических плиток входит в общую толщину, установленную для конструктивных элементов. Ширина платформы 4 м.

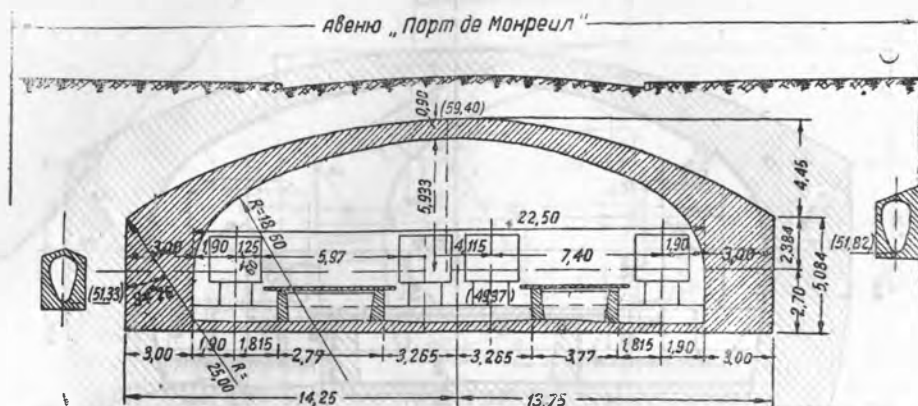


Рис. 234. Конструкция односводчатой станции метрополитена тупикового типа „Мон-трельские ворота“ пролетом в свету—22,5 м.

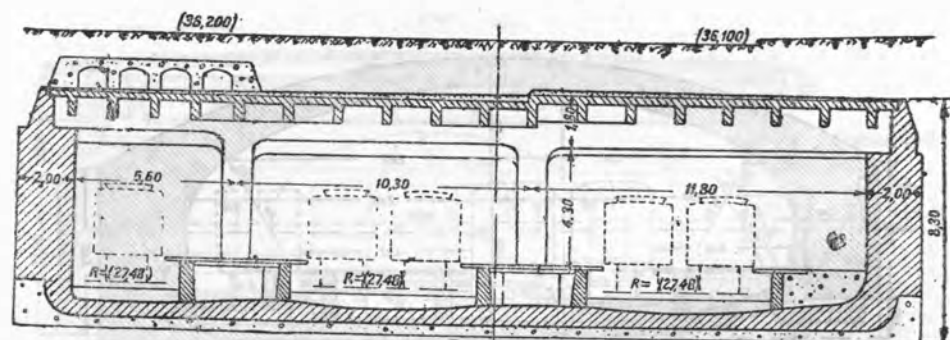


Рис. 235. Конструкция станции „Сен Клу“ с плоским железобетонным перекрытием при двух островных платформах и одной боковой. Общая ширина профиля—31,70 м.

§ 16

Сводчатые станции специального типа на ул. Бюзенваль и Пиренейской имеют в длину 105 м, и по пятам ширину 13,33 по линии, проведенной на 75 см выше уровня рельсов. Конструкция тоннеля станции состоит из коробового свода радиусом в 11,125 м и 3,40 м и стрелой подъема в 3,40 м. Лоток делается в виде обратного свода с внутренним радиусом в 33,00 м. В нижней точке на глубине 70 см под уровнем рельс лоток имеет толщину 50 см и 40 см. Стена толщиной 2 м с внутренней стороны платформы имеет вертикальную поверх-

ность на высоту в 92 см, а с внешней стороны породы — 3,428 м. Стены и лоток из щебенистого или гравийного бетона, свод — из тесаного камня или из скальных пород.

§ 17

Станция «Монтрельские ворота» имеет длину 105 м и ширину в 22,50 м у пят свода на высоте 1,50 м над уровнем рельсов. Конструкция ее состоит из бетонного свода, имеющего внутреннее коробовое очертание при радиусах с 18,50 м и 4,000 м и подъеме в 5,943 м.

Свод в замке имеет толщину в 90 см. Наружная поверхность свода делается по круговому очертанию радиусом 25 м. Свод опирается на два устоя толщиной в 3 м, с вертикальными поверхностями по внешней стороны в 5,084 м, по внутренней — 1,648 м (рис. 234).

Толщина лотка назначается в 50 см с таким расчетом, чтобы под рельсами был баластный слой в 70 см.

На лоток выводятся две платформы шириной в 5,97 м и 4,97 м. Платформы из армированного бетона опираются на продольные стенки из каменной кладки толщиной в 40—50 см. Верхняя одежда платформ устраивается из слоя битуминозных материалов в 1,5 см. толщины.

Внутренняя поверхность станции выше уровня рельсов одевается керамиковыми глазурованными плитками.

Поверхности стен выше уровня рельс, лоток и видимые поверхности до платформы покрываются цементной смазкой толщиной в 2 см; станционный свод с внешней стороны в процессе производства работ покрывается гудронным слоем.

* * *

Технические условия на проектирование городских электрических железных дорог метрополитенов являются значительно более облегченными, чем для обычных, электрифицированных железных дорог. В Париже при трассировке линии применяются следующие данные и габариты:

1. Ширина пути между внутренними гравиями рельсов . . .	1 440 мм
2. Ширина по габариту подвижного состава	2 400 "
3. Высота по габариту подвижного состава	3 400 "
4. Ширина нормального междупутья	1 480 "
5. Минимальный радиус кривой	75 "
6. Минимальный радиус кривой в исключительных случаях	50 м
7. На путях служебного назначения допускаются радиусы кривых	30 "
8. Максимальный уклон пути	40‰ "
9. Прямая вставка между обратными кривыми 50 м, но не менее	15 м.
10. Сопряжение прямых участков пути с кривыми производится по кубической параболе с повышением наружного рельса пути над внутренним. Переломы в профиле смягчаются по параболу при радиусе в 1250 м.	
В Парижском метрополитене свободно допускается совпадение точек перелома в профиле с началом кривых в плане	

- Г Л А В А III

**Г Е Р М А Н С К А Я
Т Е Х Н И К А
С О О Р У Ж Е Н И Я
Т О Н Н Е Л Е Й
М Е Т Р О**

ОТДЕЛ МЕТРОПОЛИТЕН БЕРЛИНА

§ 1. Общие данные

Метрополитен Берлина прорезает город поверхностными и подземными участками. Станции подземных линий сооружены преимущественно на небольшой глубине, при островных платформах и чрезвычайно удобны для пассажиров.

Расположение станций в плане и узловые пересечения тоже весьма удобны, за некоторыми исключениями (очень длинный и неприятный пересадочный переход между станциями Халешес Тор-Фридрихсштрассе и др.).

Сооружение подземных линий проводится немцами открытым путем, при вскрытии мостовой. Даже устройство подводного тоннеля под р. Шпрее велось с поверхности шпунтовым ограждением, при искусственном водопонижении.

В Берлине создан ряд сложных сооружений: пересечения узловых линий разных направлений, тоннели под домами, под рекой и т. п.

Изоляция тоннелей от сырости в Берлинском метро решена очень хорошо. То же относится и к вентиляции. Тоннели метро обеспечены достаточным количеством свежего воздуха.

Вагоны метро удобны. Хороша организация движения поездов при автоматической сигнализации и блокировке.

Метро Берлина таким образом обладает удобными станциями, хорошо изолированными и вентилируемыми тоннелями, нарядными вагонами и т. д., т. е. факторами, обеспечивающими быстрое, удобное и приятное сообщение. Казалось бы, что имеются все предпосылки для притягивания пассажиров и для процветания метро. А между тем, по

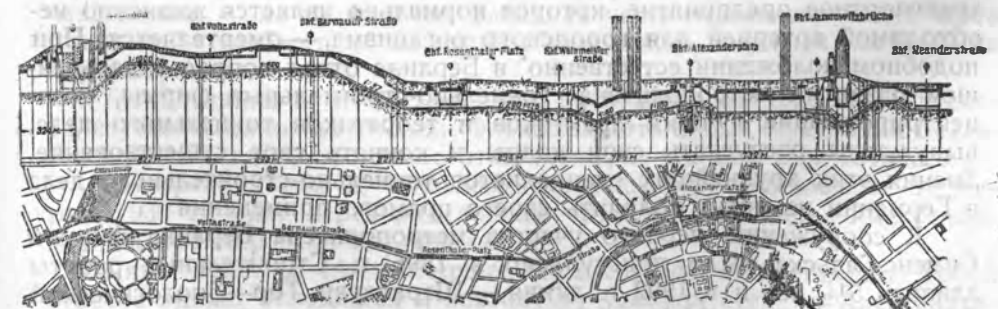


Рис. 237. Трасса и профиль линии „Гезундбруннен Нейкель“ от ст. Гезундбруннен до ст. Неандерштрассе.



Рис. 236. Схема линий Берлинского метрополитена.

моим наблюдениям, эксплуатационная работа Берлинского метро проходит в основном вхолостую: поезда следуют почти с пустыми вагонами, нет пассажиров, даже несмотря на то, что проведено значительное снижение тарифов. Объясняется это главным образом резким упадком подвижности населения Берлина в условиях фашистского режима. Движение значительно сократилось на поверхности, а в метро в особенности.

Для перемещения незначительных пассажиропотоков нет надобности в напряженной работе, свойственной метрополитену. Условия эксплуатации при слабом движении требуют значительного увеличения интервалов между поездами, которые уже в этом случае могут

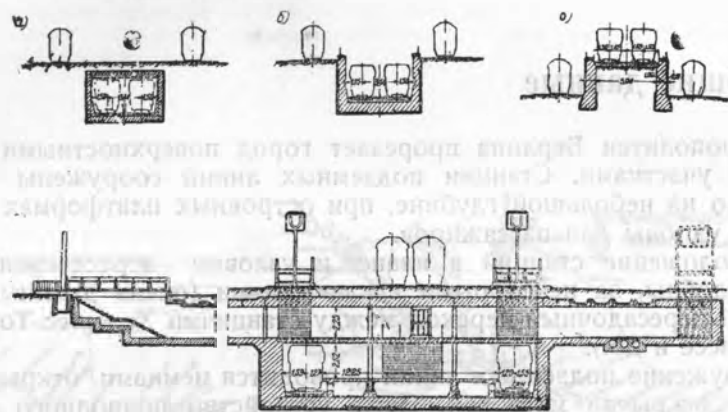


Рис. 238. Поперечные профили двухпутного тоннеля, ramпы, эстакады и станции Берлинского метро Панков.

- а) Сечение двухпутного тоннеля с плоским металлическим перекрытием. Бетонные стены и лоток армированы.
- б) Сечение ramпы.
- в) Сечение в месте подпорных стен перехода на эстакаду.
- г) Станция „Панков“.

следовать без автоматической сигнализации. Это приводит к роковому вопросу: «нужен ли Берлину метро в настоящих условиях?»

Таким образом в данное время Берлинский метро — мощное транспортное предприятие, которое нормально является жизненно необходимой артерией для городского организма, — омертвляется. При подобном положении естественно в Берлине отпал вопрос о дальнейшем развитии метрополитена. Тоннельно-строительные фирмы, сконцентрировавшие лучших практиков и теоретиков тоннельного дела, вынуждены распускать свои кадры и кончать свое существование. Знания этих крупнейших специалистов тоннельно-строительного дела в Германии не могут получить своего прямого применения.

К сооружению первого участка метрополитена Берлина фирмой Сименс-Гальске было приступлено в 1896 г. Строительные работы длились 5½ лет и в 1902 г. линия — Штралауэр Тор — Зоологический Сад — протяжением 11,2 км была сдана в эксплуатацию. 83 % длины этого участка дороги были надземными и лишь 17 % подземными.

По мере усовершенствования тоннельной техники, выработки специальных приемов работ в водоносных грунтах Берлина и обеспечения полной изоляции тоннелей новые линии уже строились преимущественно под землей.

В настоящее время сеть метро Берлина имеет протяженность в 80,15 км, из них: 81% подземных участков, 13% — на эстакадах и 6% — в открытых выемках с расчетом включения последних в будущем, в тоннель.

В последние годы надземных линий в Берлине уже не строили, так как эстакады уродуют архитектуру и планировку улиц, отнимают свет, воздух и покой жителей, обесценивают близрасположенные дома.

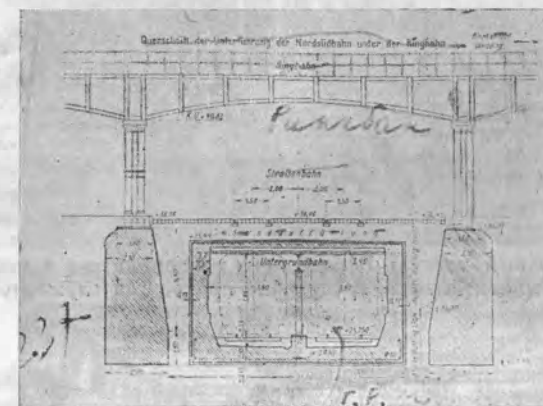


Рис. 239. Проходка тоннелем метро между домами и фундаментами опор эстакады Рингбан.

Сеть Берлинского метрополитена содержит пять линий (рис. 236):

Первая линия А (Nord West Linie) начинается с расположенной на севере Берлина станции. Панков Нордринг, идет на юг к узловой станции Александерплац, откуда поворачивает к западу и подходит к станции Виттенбергплац.

Вторая линия В (Ost West Linie) начинается со станции Варшавер Брюке и идет к станции Ноллендорфплац, откуда имеет два ответвления — на запад и юг. Западная часть ответвления идет через станцию Виттенбергплац на тупик Уланштрассе, а южная часть — на Хауптштрассе.

Третья линия С (Nord Süd Linie) начинается со станции Зеештрассе, спускаясь на юг до станции Флухафен. Эта линия от станции Бель-Аллианс имеет юго-восточное ответвление к станции Бергштрассе.

Четвертая линия Д (Gesundrunnen—Neukölln), полностью открытая в 1930 г., идет через ряд важных узловых станций — Александрплац, Котбюссер Тор, Херманплац.

Пятая линия Е (Alexanberplatz—Friedrichsfelde) представляет собой отрезок линии, отходящей к востоку от узловой станции Александерплац, к станции Фридрихсфельде.

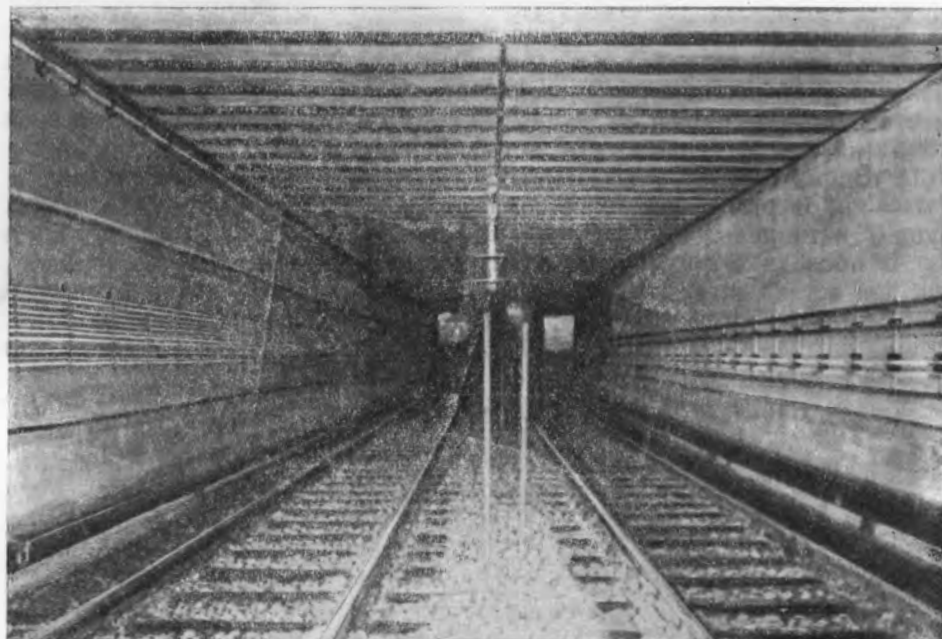


Рис. 240. Двухпутный тоннель Берлинского метрополитена в месте прохода под рекой Шпрее у Яновитцбрюке. В середине проход для служебного персонала.

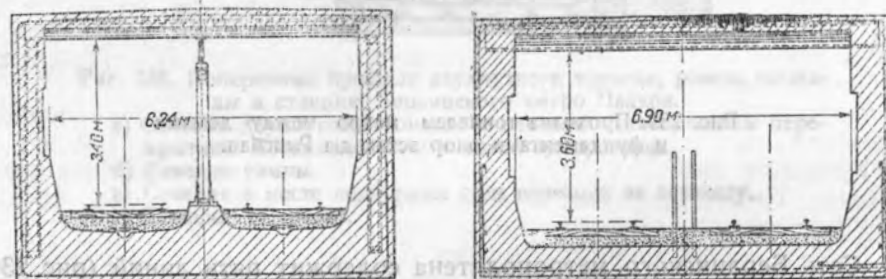


Рис. 241. Поперечные сечения двухпутных тоннелей Берлинского метро с плоским перекрытием.

Совершенно независимо от сети метрополитена работает Берлинский железнодорожный узел, объединяющий до одиннадцати дорог разных направлений.

В Берлине четыре типа железных дорог:

- | | |
|------------------------------|------------|
| 1. Городская железная дорога | Stadtbahn |
| 2. Окружная " | Ringbahn |
| 3. Пригородные " | Vorortbahn |
| 4. Ж. Д. магистрального типа | Fernbahn |

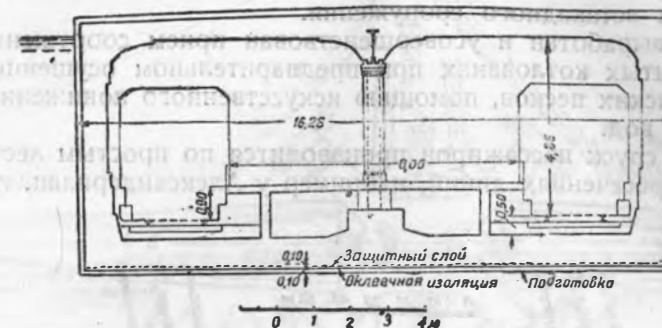


Рис. 242. Поперечное сечение нормальной подземной станции Шенлейктштрассе с островной платформой.

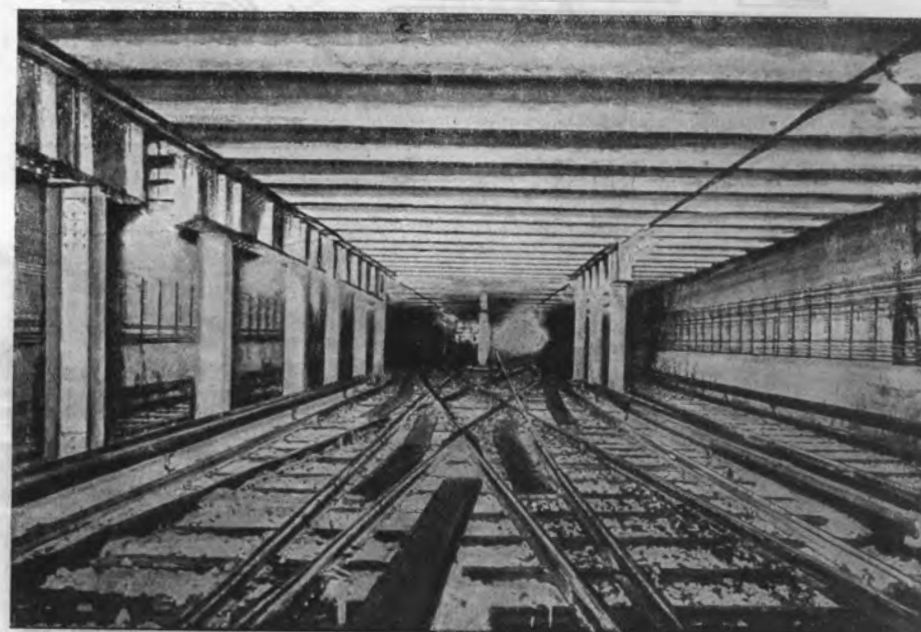


Рис. 243. Вид тоннеля для тупиков на линии Берлинского метрополитена Норд-Ринг-Панков.

Штадтбан (городская дорога) пересекается со многими железнодорожными линиями и представляет глубокий ввод в город с запада на восток. Протяжение линий Штадтбан — 17,00 км. Электрифицированный в 1929 г. Штадтбан проходит главным образом по каменным виадукам и частично по металлическим эстакадам на высоте 7,00 м от мостовой.

При закладке фундаментов под опоры виадуков пришлось столкнуться с водоносными песчаными грунтами Берлина. Даже при напряжении на грунт в $3,5 \text{ кг/см}^2$ фундирование обошлось от 20—35% полной стоимости эстакадного сооружения.

Немцами выработан и усовершенствован прием сооружения тоннелей в открытых котлованах при предварительном осушении водоносных берлинских песков, помощью искусственного понижения уровня грунтовых вод.

Подъем и спуск пассажиров производится по простым лестницам. Только при пересечениях линий, например у Александерплац, где глу-

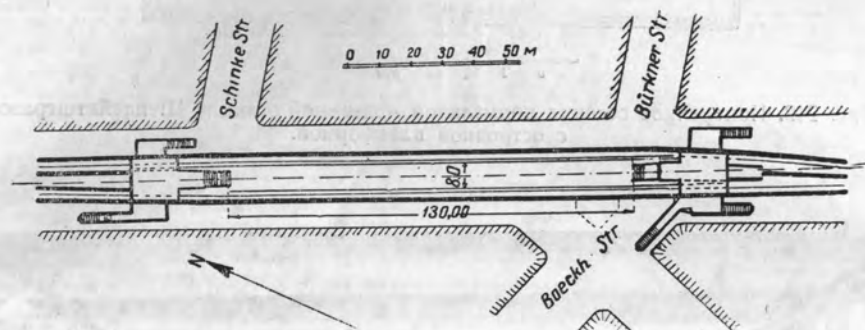


Рис. 244. План нормальной станции Берлинского метро.

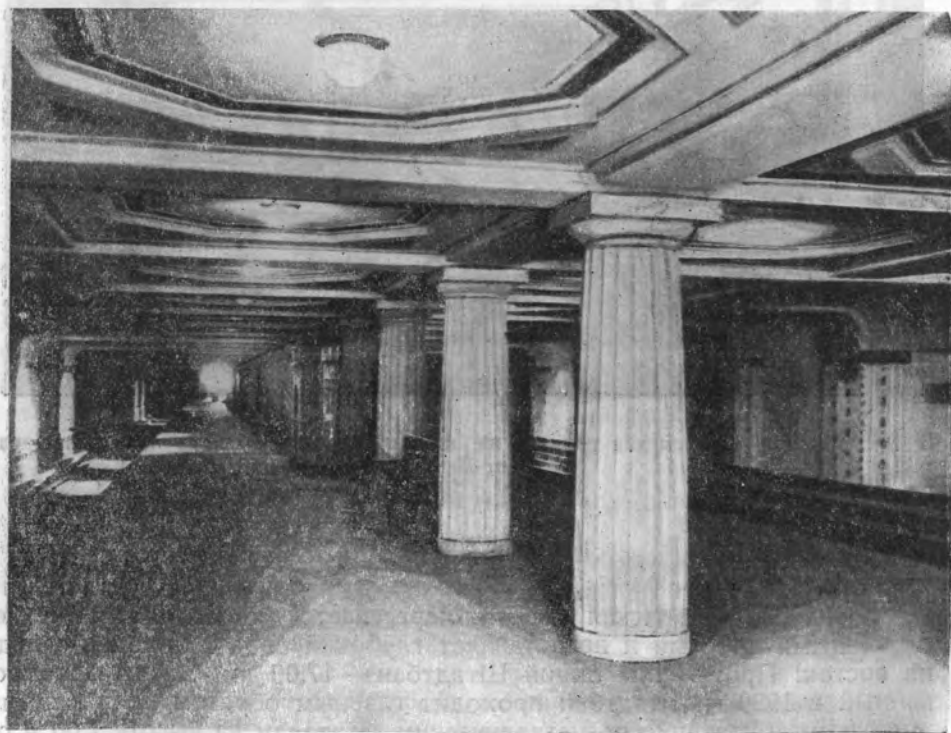


Рис. 245. Общий вид подземной станции Брайтенваупляц.

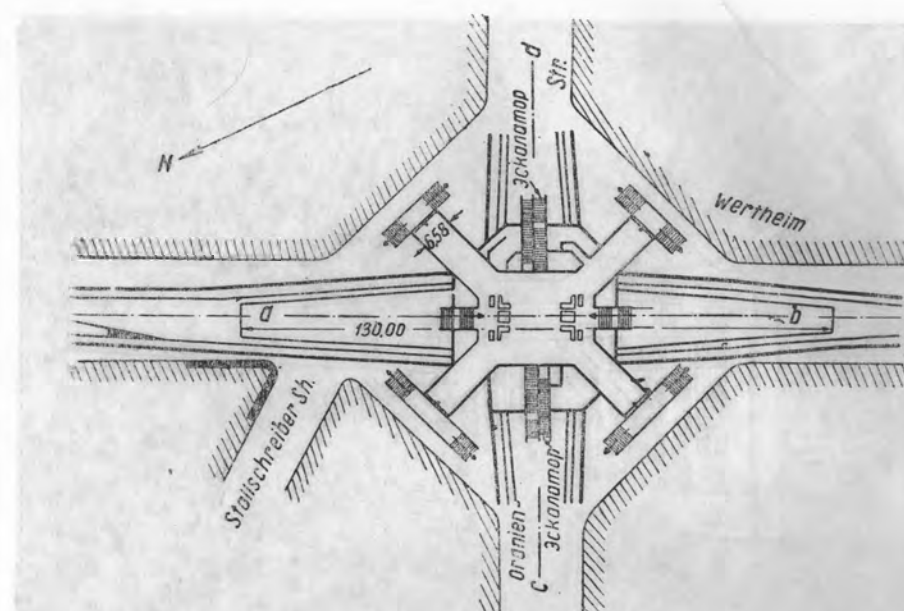


Рис. 246. План башенного пересечения подземных станций метрополитена.

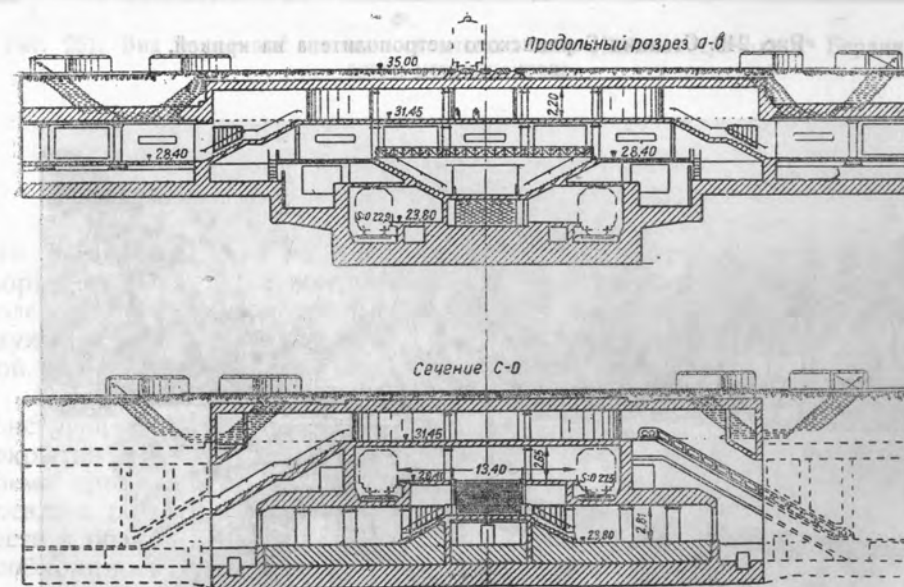


Рис. 247—248. Разрезы по конструкции пересечения подземных станций метрополитена.

бина заложения превышает 10 м, применяются механизированный спуск и подъем помощью эскалаторов.

В то время, как станции Берлинского метрополитена, расположенные на эстакадах, имеют преимущественно боковые платформы, подземные станции метро, имеют только островные платформы длиной



Рис. 249. Станция Берлинского метрополитена на кривой.

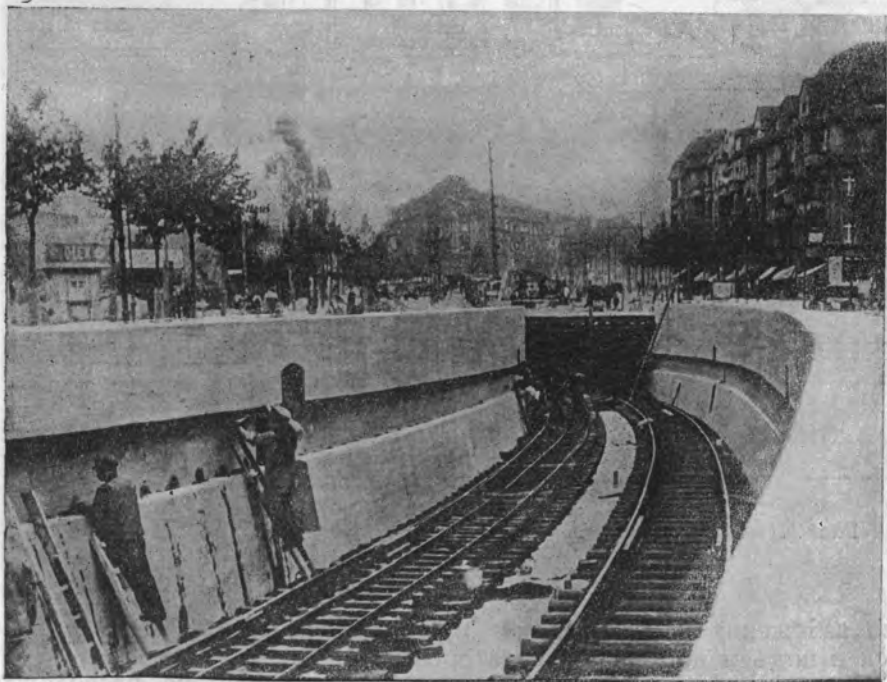


Рис. 250. Распалубка железобетонной конструкции рамы Берлинского метрополитена.



Рис. 251. Вид подземной станции сводчатого типа „Хайдельберг плац“ Берлинского метрополитена.

110 м, рассчитанные на 8-вагонные составы. Хотя островные платформы и дорожки в строительстве, все же они предпочитаются здесь более чем боковые платформы, в виду их простоты, экономии на обслуживающем персонале, удобства пересечений станций между собой. Пересечения станций стараются делать башенного типа.

Перегонные туннели Берлинского метро двухпутные, и по своей конструкции состоят из бетонных стен, плоского металлического перекрытия и часто металлических колонн посередине. За последнее время промежуточные колонны не ставятся, так как в случае схода поезда с рельсов последний может сбить колонны, а это может привести к обвалу перекрытия. Кроме того средние колонны мешают при необходимости устройства на перегоне стрелочного перевода с одного пути на другой на случай аварии.

В Берлине применяются железобетонные перекрытия и лотки; при слабых грунтах — конструкции в виде замкнутых железобетонных рам, а при сильном заглублении — сводчатые профили со служебным проходом посередине. Последние материалы и данные наблюдений и исследований режима тоннельных конструкций при эксплуатации метрополитена приводят к необходимости предъявления ряда новых требований к расчету тоннелей. Помимо статических расчетов, необходимо вести расчет конструкций и на влияние вибраций от подвижного состава. Материалы практических исследований



Рис. 252. Общий вид пересадочной станции с боковыми платформами „Бисмарк-штрассе“ Берлинского метрополитена.

тоннелей в условиях берлинских водоносных грунтов дали возможность изучить действительную игру внешних сил и значительно облегчить некоторые тоннельные конструкции.

Габариты Берлинского метрополитена для новых линий установлены по более повышенным техническим условиям, чем для старых, что видно из сравнительной таблицы:

	Новые линии	Старые линии
Ширина тоннеля к свету	6,90 м	6,24
Высота от головки рельса до низа перекрытия	3,60 м	3,30
Максимальный уклон пути	30 0/00	31,5 0/00
Минимальный радиус закругления	125 м	80 м
Ширина платформы	Островная 7,00 м	Боковые по 3—3,5 м
Длина платформы	120 м	80 м

Средняя строительная стоимость 1 км линии метрополитена в 1902 г. была 2,3 млн. марок. Средняя строительная стоимость одного км последних линий уже 4,00 млн. марок.

Резкое удорожание линий (не учитывается при этом инфляция) объясняется главным образом осложнениями технического порядка, связанными с развитием сети. Приходится заглублять линии при пересечениях, вести проходки под домами, на самостоятельных обрешечивающих от вибраций конструкциях, проводить тоннели под реками, сносить и взамен строить здания, переносить подземное хозяйство и устраивать специальные мосты для уличного движения.

§ 2. Берлинский открытый способ работ

Вначале тоннели Берлинского метрополитена, расположенные в водонасыщенных разнородных песках, строились в открытых котлованах при деревянном шпунтовом ограждении (Танценштрассе и Клостерштрассе). Но забивка шпунтов давала большое уплотнение грунта и вызывала повреждения близрасположенных зданий.

В дальнейшем перешли на сохранившуюся до сих пор систему крепления котлована сваями из двутавровых металлических балок, забиваемыми на расстоянии 1,5—2,0 м друг от друга, с деревянными заборками, заводимыми за полки двутавров. Осушение котлованов ведется искусственным понижением уровня грунтовых вод.

До приступа к работам приходится переустраивать и перекаладывать сооружения подземного хозяйства: канализации, водопровода, электрокабелей, телеграфа, телефона, газопроводов, пожарной сигнализации, пневматической почты и др. специальных проводов.

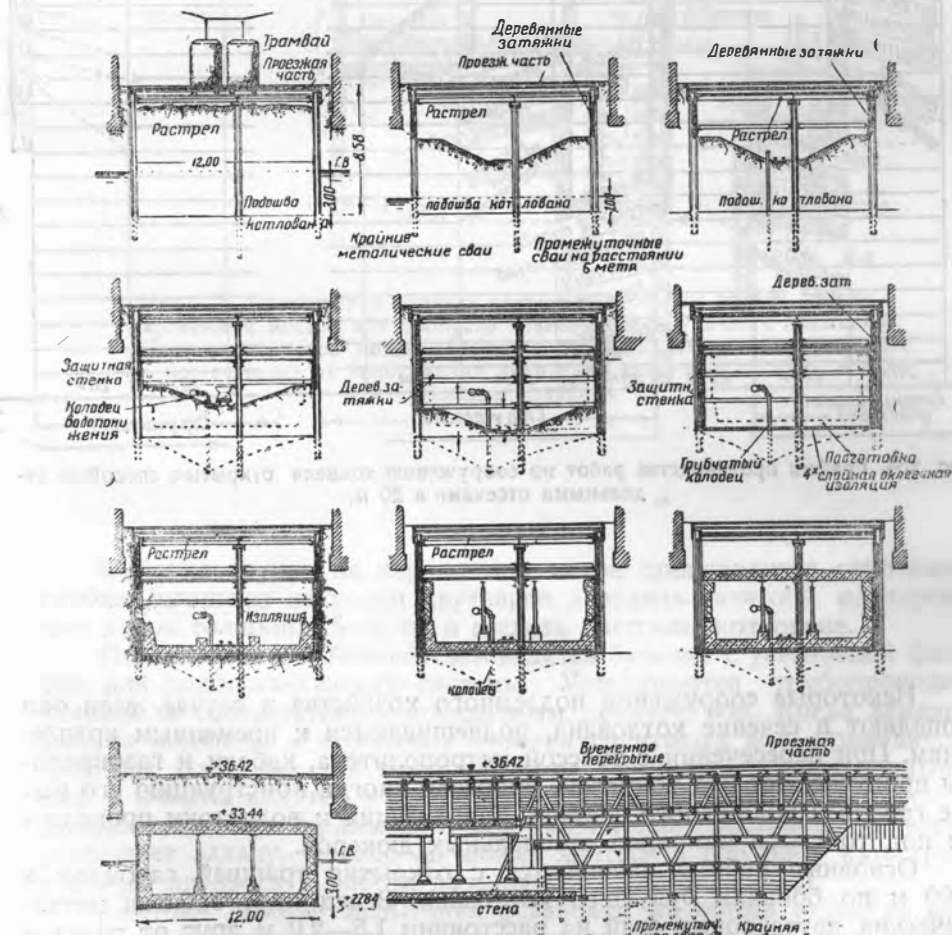


Рис. 253. Фазы производства работ по сооружению тоннеля метрополитена берлинским способом.

В большинстве случаев в Берлине подземное хозяйство, трубопроводы и кабели), расположено не под мостовой, а под тротуаром. Последний разделяется на три полосы: средняя полоса имеет постоянное покрытие плитами или асфальтом; крайняя часть тротуара у домов замощена легко вскрываемой шашкой и под ней заложены кабели; другая часть тротуара, расположенная ближе к проезжей части улицы, также имеет легко вскрываемое покрытие, под которым заложены все трубопроводы.

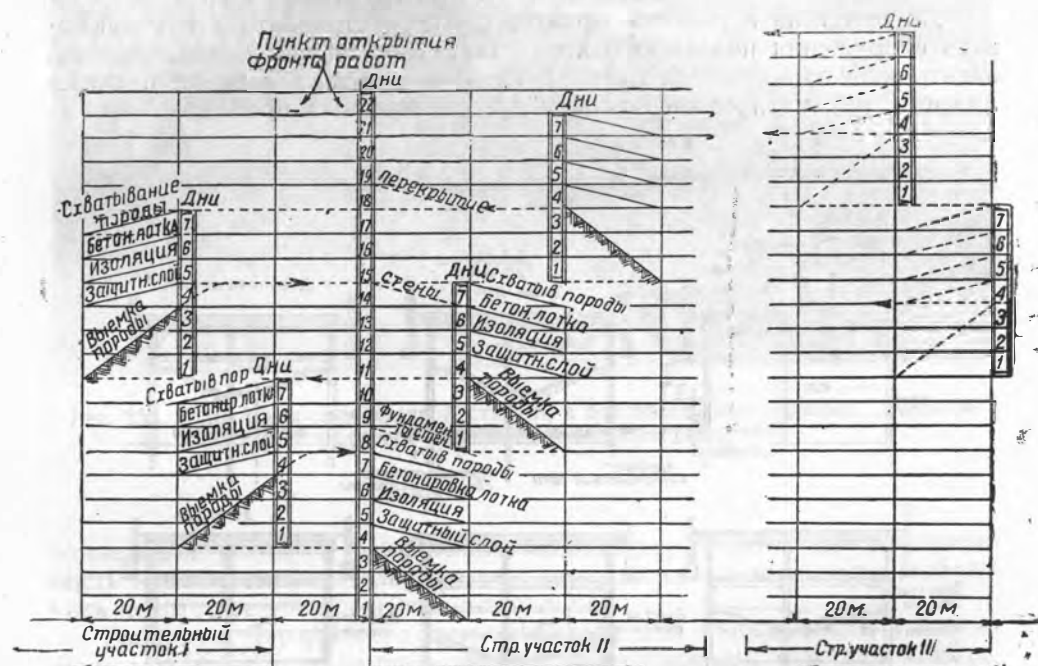


Рис. 254. График производства работ по сооружению тоннеля открытым способом отдельными отсеками в 20 м.

Некоторые сооружения подземного хозяйства в случае, если они попадают в сечение котлована, подвешиваются к временным креплениям. При пересечении с трассой метрополитена, кабели и газопроводы пропускаются над тоннелем, прорезая иногда конструкцию его выше габарита подвижного состава. Канализация и водостоки проводятся под тоннелем помощью специальных дюкеров.

Основные работы начинаются с открытия траншей глубиной в 1,00 м по бровкам будущего котлована. Вслед идет забивка металлических двутавровых свай на расстоянии 1,5—2,0 м друг от друга и вскрытие мостовой. Работы огораживаются забором и для пропуска движения устраиваются специальные путепроводы.

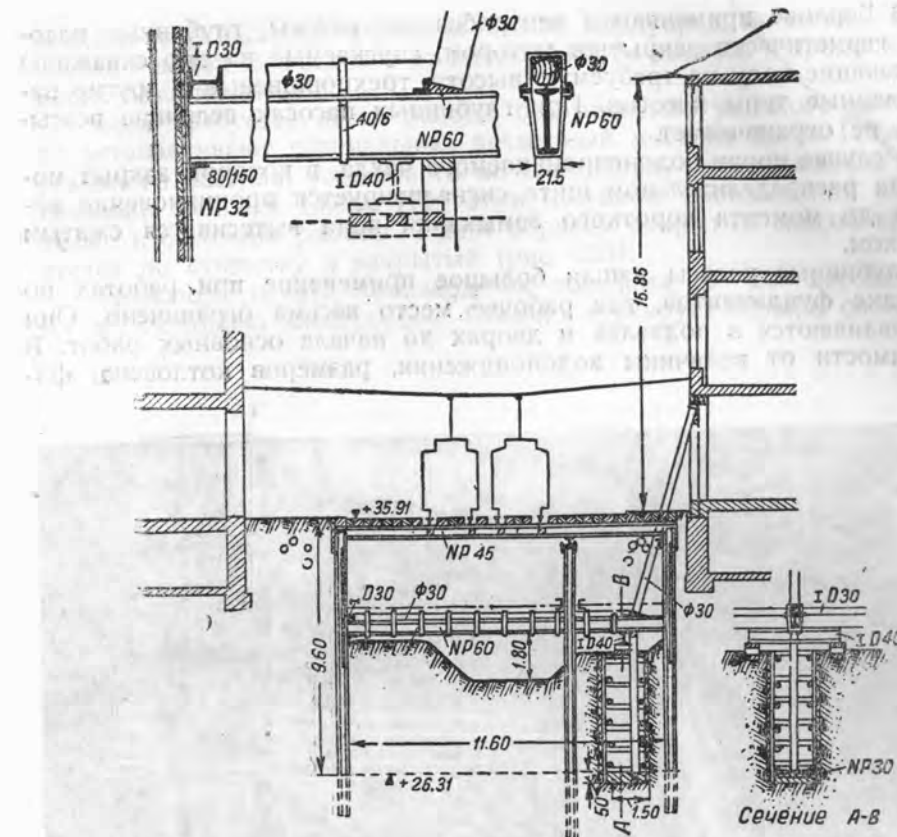


Рис. 255. Сооружение тоннеля открытым способом вблизи домов с временным мостом для пропуска трамвайного и уличного движения. Система подкосов поддерживающих фасадную стену, опирающихся в независимые от конструкции крепления самого котлована, в отдельных колодцах.

Выборка грунта на первые два метра производится откосами, а глубже начинают за полки двутавров заводить затяжки из деревянных досок толщиной 5—7 см и ставить растрелы котлована.

Параллельно с забивкой свай ведется бурение с установкой фильтров для водопонижающей системы. Устраиваются трубопроводы и станции в соответствии с ожидаемым дебитом вод. Когда земляные работы подходят к горизонту стояния грунтовых вод, приводится в действие установка для искусственного понижения уровня грунтовых вод и работы ведутся в сухих условиях. Способ искусственного водопонижения при правильной его технической постановке блестяще разрешает задачу. Однако он может явиться и причиной катастрофы в случае перебоев в работе водопонижающей установки.

Поэтому помимо испытания установки на обрыв струи ее обеспечивают резервными агрегатами и кроме того гарантируют двойным запасом электрической энергии из разных источников. При порче одной линии автоматически включается в работу другая.

В Берлине применяются центробежные насосы, глубинные насосы, с герметически закрытым мотором, спускаемые на дно скважины и подающие воду на требуемую высоту, трехпоршневые и другие патентованные типы насосов. При глубинных насосах величина всасывания не ограничивает.

В случае порчи водонепроницаемого чехла, в котором закрыт мотор, на распределительном щите сигнализируется проникновение воды, и до момента короткого замыкания вода вытесняется сжатым воздухом.

Глубинные насосы нашли большое применение при работах по подводке фундаментов, где рабочее место весьма ограничено. Они устанавливаются в подвалах и дворах до начала основных работ. В зависимости от величины водопонижения, размеров котлована, фи-

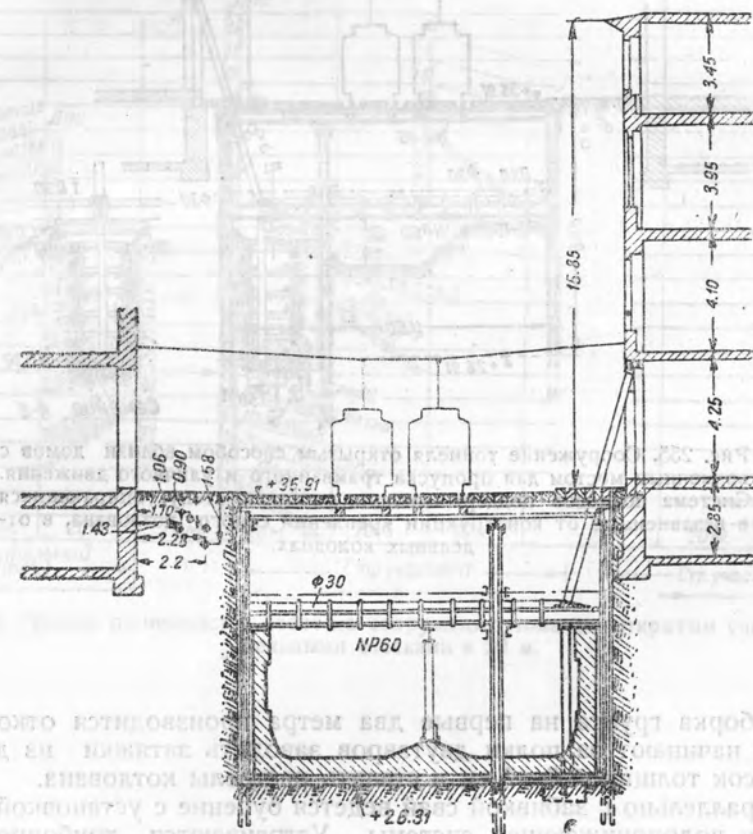


Рис. 256. Сооружение тоннеля вблизи дома. Забетонированы лоток и стены тоннеля.

зико-механических свойств грунта, данных пробной откачки и т. п. устанавливается основная водопонижающая система: одноступенчатая, многоступенчатая, глубинные насосы и т. д. При глубине котлована 3—4 м ниже горизонта грунтовых вод устраивается одноступенчатое водопонижение, причем трубопроводы укладываются вне сечения котлована, чтобы не стеснять производство основных работ. Вначале были опасения, что искусственное водопонижение может вызвать осадки в ближайших зданиях. Но практика доказала, что при при-

менении специальных фильтров можно предупредить вынос мелких частиц с водой. Все зависит от интенсивности откачки и продолжительности водопонижения.

Если требуется вести работы без перерыва уличного движения, то устанавливают специальный временный мост из балок Грея и деревянного настила, уложенного по швеллерам, прикрепленным к вертикально забитым сваям. Под этим настилом производятся все земляные и бетонные работы. Таким образом открытый способ преобразуется по существу в закрытый (рис. 253).

Транспорт грунта производится поездами в 20 вагонеток по 0,7 м³, помощью электровоза. Обычно курсирует четыре состава, из

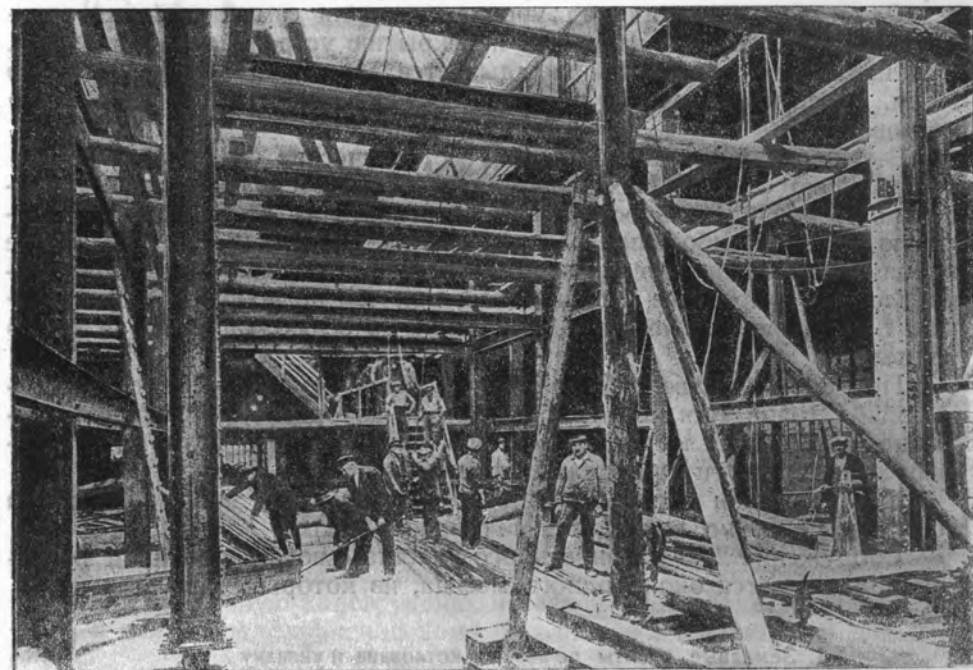


Рис. 257. Монтаж металлических колонн и балок перекрытия тоннелей в открытом котловане.

них: один находится в погрузке, другой — разгружается, третий и четвертый составы находятся в пути; из них: в направлении к погрузке — один, другой — в направлении к свалке.

При нормальном развороте земляных работ на участке выдается до 1000 м³ грунта за 10-часовую смену. Погрузка грунта из котлована кранами на автомашины сильно стесняет уличное движение; поэтому работы стремятся организовать так: сначала атакуется и заканчивается полностью по всему сечению один отрезок тоннеля; дальнейшая выдача грунта ведется с забоя, посередине через готовую часть тоннеля; после выборки грунта до проектной отметки дна котлована делается подготовка и устраиваются бетонные или кирпичные защитные стенки, толщиной 10—12 см.

На бетонную подготовку подошвы и на защитные стенки по высоте 1,00 м наклеивается в зависимости от гидростатического давления изоляция из 3 или 4 слоев пропитанного картона на горячей битуминозной клеемассе. На изоляцию наносится защитный цементный слой толщиной в 5 см, на который уже укладывается бетонный или железобетонный лоток и бетонные стены. Подача и укладка бетона производятся бетононасосами.

Бетонные работы необходимо вести вслед за изоляционными, так как иначе изоляция отклеивается. Но не всегда удается осуществить такую последовательность.

Оклеенная изоляция тягуча и благодаря этому свойству при 1 см трещине в самой конструкции тоннеля изоляция не повреждается и не пропускает воды. Тридцатилетний опыт применения немцами внешней оклеенной изоляции доказал ее высокие качества в смысле полной гарантии тоннелей от воды, сырости и блуждающих токов.

Оклеенная изоляция над уровнем стояния самых высоких грунтовых вод по стенам и несущему перекрытию устраивается в два слоя. Над изоляцией перекрытия укладывается защитный слой бетона в 10 см. Далее производится обратная засыпка песком и восстановление мостовой.

В Берлине по окончании работ металлические сваи выдергиваются помощью специальных машин, работающих с электрическим приводом. Производительность «сваевыдергивателя» до 20 свай за 8-часовую смену. Наибольшее распространение получили за последнее время «сваевыдергиватели» системы Хэша. Вытаскиваются даже искривленные в процессе забивки сваи, при чем не повреждается изоляция. Выдергивание свай дает экономию до 35 000 марок на километр тоннеля.

При производстве работ в узких улицах немедленно после забивки свай устраивается мостовой настил, по которому пропускается движение. Вынимается кювет для одного узкоколейного пути, устанавливаются растрелы и продолжается углубка.

После выемки и раскрепления котлована по длине тоннеля на 20,0 м немедленно возводится бетонная обделка.

Сооружение 20,0 м тоннельного участка с восстановлением мостовой продолжается около одного месяца, из которых требуется на:

- | | |
|--|-------|
| 1. Земляные работы по выемке котлована и укладку бетонной подготовки лотка | 3 дня |
| 2. Изоляцию подошвы тоннеля и устройство защитного бетонного слоя и бетонирование лотка | 2 " |
| 3. Устройство защитной стенки, изоляцию, разбор крепления и бетонирование стены до второй распорки | 7 " |
| 4. Бетонирование и выстаивание стен | 4 " |
| 5. Установку опалубки перекрытия, бетонирование, выстаивание и изоляцию | 10 " |
| 6. Обратную засыпку и восстановление мостовой | 4 " |

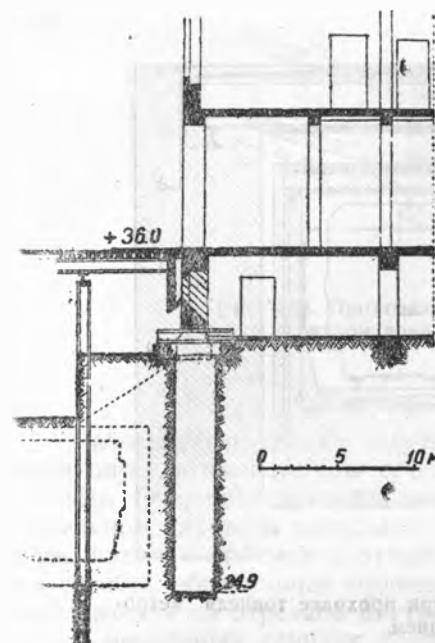


Рис. 258. Подводка сплошного фундамента под фасадную стену дома в связи с сооружением тоннеля в открытом котловане вблизи дома.

§ 3. Подводка и укрепление фундаментов домов

При трассировании линий метрополитена под извилистыми узкими улицами даже, принимая наиболее облегченные технические условия проектирования, при минимальных радиусах закруглений, тоннели метро приходится вести вблизи домов, а иногда и непосредственно под целым блоком домов. Проходка под зданиями, укрепление их оснований и фундаментов является весьма сложной отраслью инженерного дела.

В Германии проектирование проходки осложнено тем, что инженерам там предъявляется требование обязательности опирания домов на самостоятельную конструкцию, независимо от тоннельной конструкции, в целях предохранения дома от влияния вибраций при движении

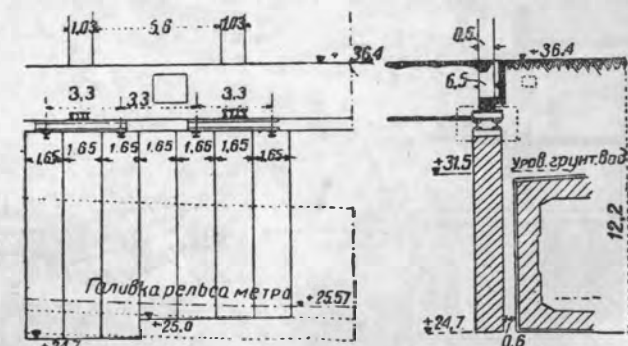


Рис. 259. Последовательность фаз подводки стены дома в отдельных колодцах в связи с прокладкой вблизи тоннеля метро.

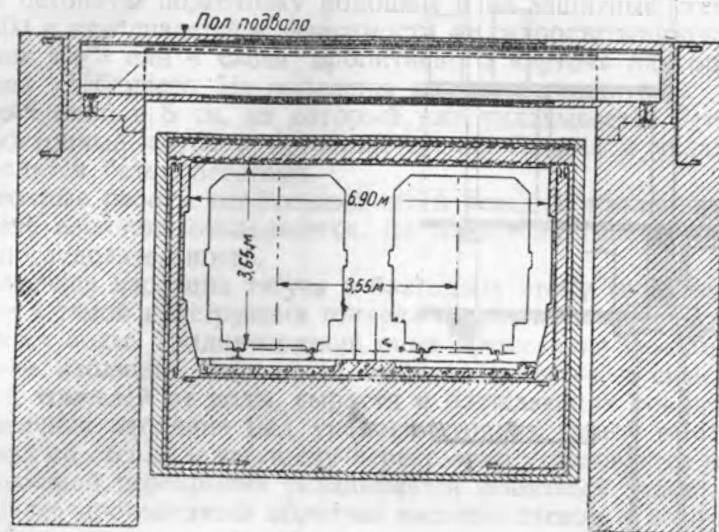


Рис. 260. Ограждающая конструкция при проходке тоннеля метрополитена под зданием.

поездов метрополитена (рис. 264). В результате стоимость проходки под домами иногда возрастает настолько, что становится более выгодным снести дом, под которым пролегает трасса, и построить новый дом для выселяемых жильцов, и наконец, возвести новый дом на месте сломанного. Иногда может явиться целесообразным и передвижка дома в сторону от трассы.

При прокладке тоннеля вблизи домов немцы до приступа к раскрытию котлована проводят подводку фундаментов примерно на 0,5 м ниже проектной отметки дна котлована. По мере отдаления трассы от дома в зависимости от физико-механических свойств и степени подвижности грунта и угла внутреннего трения изменяется глубина подводки.

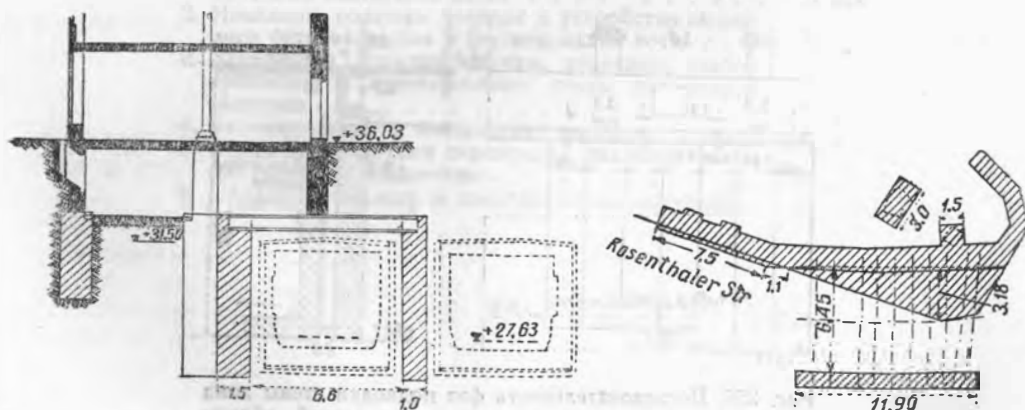


Рис. 261. План и разрез проходки тоннелей метрополитена под углом дома на Розенталерштрассе. Каждый из путей взят в самостоятельную тоннельную обделку.

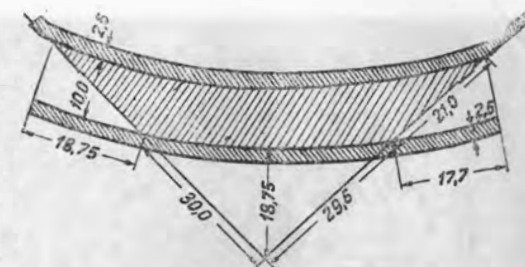


Рис. 262. Проходка тоннеля метрополитена под углом дома на Принценштрассе.

Работы по подводке ведутся с форшахты со стороны улицы. Сначала опускаются колодцы сечением $1,5 \times 1,5$ м, в которых бетонируют столбы. Очередность проходки колодцев устанавливается в каждом отдельном случае в зависимости от грунтов, крепости фундаментов и стен, наличия проемов и отверстий и т. д. Передача нагрузки от дома на столбы, образующие подведенный фундамент, производится системой пакетов из отрезков двутавровых балок.

В некоторых случаях до приступа к работам приходится восстанавливать старые рассыпающиеся части фундаментов, замуровывать некоторые отверстия подвальных помещений, усиливать некоторые конструктивные элементы подводимого здания.

Для укрепления фундаментов иногда применяются и системы набивных свай под сжатым воздухом.

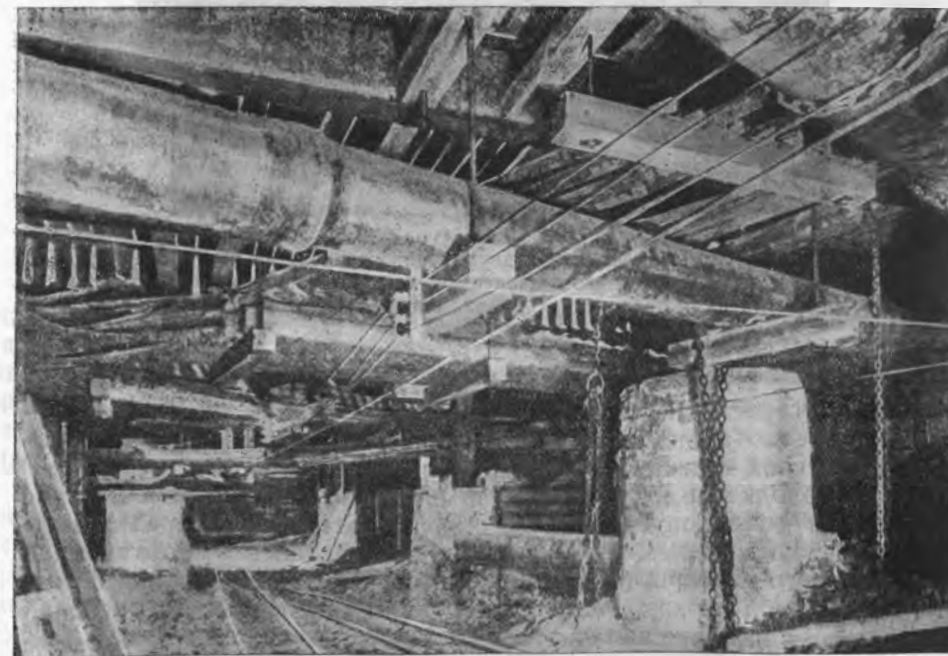


Рис. 263. Вид работ при подводке дома на Котбюсерштрассе.



Рис. 264. Схематический вид двухпутного тоннеля метрополитена и обрамляющей его независимой конструкции стен и перекрытия из металлических балок, воспринимающей нагрузку от дома.

Между устроенной самостоятельной конструкцией фундамента дома и собственно тоннельной конструкцией прокладывается звукопоглощающий слой гравия или шлака.

При проходке под блоком домов на «Диркенштрассе» в Берлине из подвалов домов опускались колодцы, в которых в определенном порядке бетонировались столбы. Далее подводились металлические балки несущего перекрытия, на которые передавалась нагрузка от дома. Под защитой ограждающей конструкции без особых затруднений производилась выборка земляного ядра и устройство независимой тоннельной конструкции.

При постройке станций метро под углом дома на Рейхенбергштрассе строителям пришлось возводить самостоятельные конструкции



Рис. 265. Схема расположения подземной станции «Котбюсер Тор» линии «Гезундбруннен Нейкельн». Специальная конструкция стен и колонн, поддерживающая дом, независимо от тоннеля станции.

стен и колонн, при разрезной конструкции тела самой станции. Аналогичным порядком велась проходка под углом дома на Розенталерштрассе, где один путевой тоннель обрамлялся в специальную конструкцию. При проходке тоннелем под улицей Мюнц устраивались три стены, образовавшие независимую ограждающую конструкцию (рис. 267).

Чрезвычайно интересной является проходка открытым котлованом по узкой улице среди домов, требующих укрепления подкосами. Грунт в котловане выбирается до середины и распирается растрелами. Далее на временных клетках укладывают металлические прогоны вдоль оси тоннеля и приступают к проходке шахт $1,50 \times 1,50$ м до подошвы тоннеля. По дну шахты укладывается бетонная подушка, на которую устанавливаются две 30-см деревянные стойки под металлические прогоны, через которые уже упирают подкосы прилегающего дома. Подкосы эти проходят через мостовой

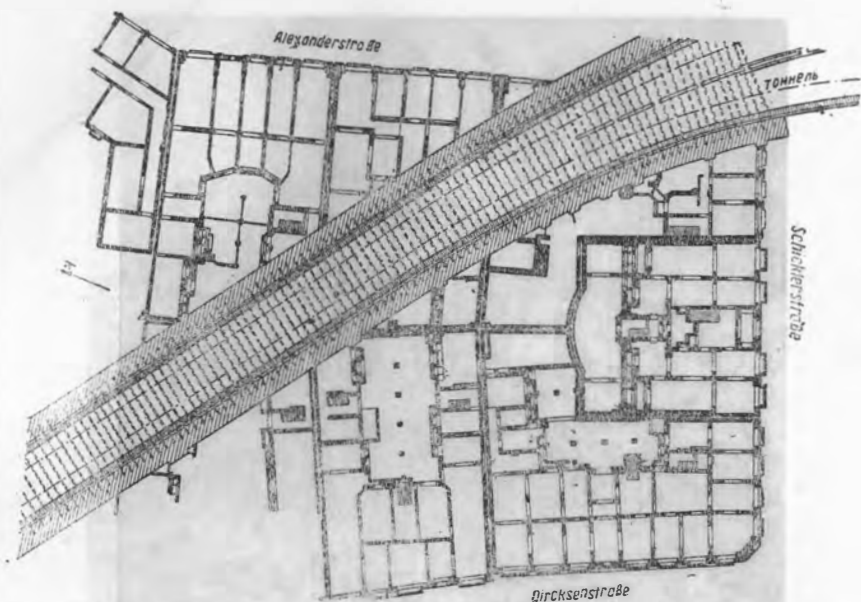


Рис. 266. Проходка двухпутного тоннеля метро под блоком домов. План.

настил. Далее продолжают основные земляные и бетонные работы. Такие работы проводились на Розенталерштрассе¹ (рис. 255, 256).

Надо помнить только, что ни в коем случае нельзя передавать нагрузки от близлежащих домов непосредственно на крепления котлована.

Одним из важнейших моментов при проходке под домами является тщательный и надлежащий выбор и расположение временных вспомогательных конструкций, которые не должны быть помехой при заведении и установке несущих балок в ответственный момент полной передачи на них давления от дома. Чем длиннее балки несущего перекрытия, тем больше затруднений и осложнений бывает в

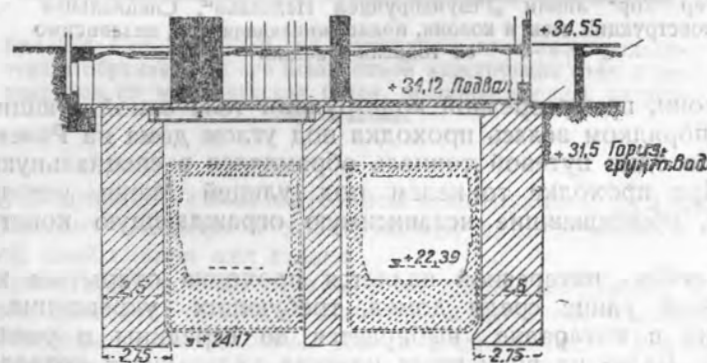


Рис. 267. Независимая от тоннелей конструкция укрепления под блоком домов „Мюнц Экке“.

¹ См. Эрих Бирман—„Подводка фундаментов по линии „Desundbrünen—Neukölln“ и „Underpinning“.

манипуляциях с ними при их установке. В этом случае может быть целесообразным устройство средней стены тоннеля. Но иногда это уширяет площадь подсечки дома и тем осложняет работы.

Подводка под домами в каждом отдельном случае требует своего индивидуального подхода. Имеющиеся примеры еще недостаточны для выработки классических приемов подводки.

Богатейший материал и ценный вклад в мировую практику дала проходка под домами на Арбатском радиусе Московского метрополитена, где работы проведены в разнообразнейших условиях и в широком масштабе.

§ 4. Искусственное понижение грунтовых вод

Производство земляных и бетонных работ при сооружении тоннелей открытым способом ниже горизонта грунтовых вод в условиях песчаных грунтов ведется немецкими инженерами классическим методом искусственного понижения уровня вод. При непрерывной откачке через трубчатые колодцы из равномерно отдающего воду пласта грунтовый поток принимает форму гиперболической поверхности вращения, поднимающейся вокруг оси колодца.

Берлинские песчано-гравелистые грунты широкой диллювиальной поймы реки Шпрее мощностью до 100 м, свободные от всякой примеси глины, представляют идеальные условия для эффективного проведения водопонижения.

Работы по понижению начинаются с закладки вне или внутри котлована системы колодцев ниже дна осушаемого котлована. Через вставленные в колодцы всасывающие трубы и производится откачка притекающей воды.

Трубы (150—280 мм) снабжены в нижней части водонепроницаемыми фильтрами с отверстиями, обернутыми вокруг сеткой из медной

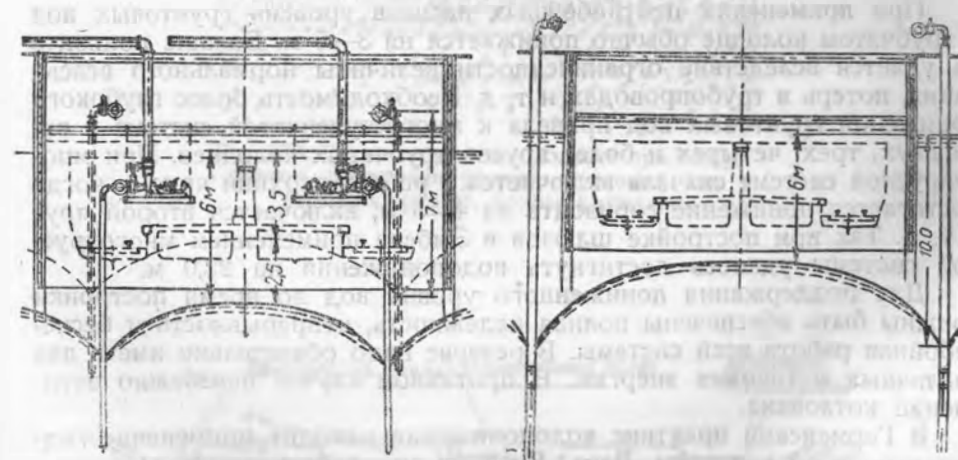


Рис. 268. а) Двухступенчатая система понижения уровня грунтовых вод при сооружении стационных тоннелей открытым способом.

б) Понижение уровня грунтовых вод глубинными насосами. Кривые депрессии.

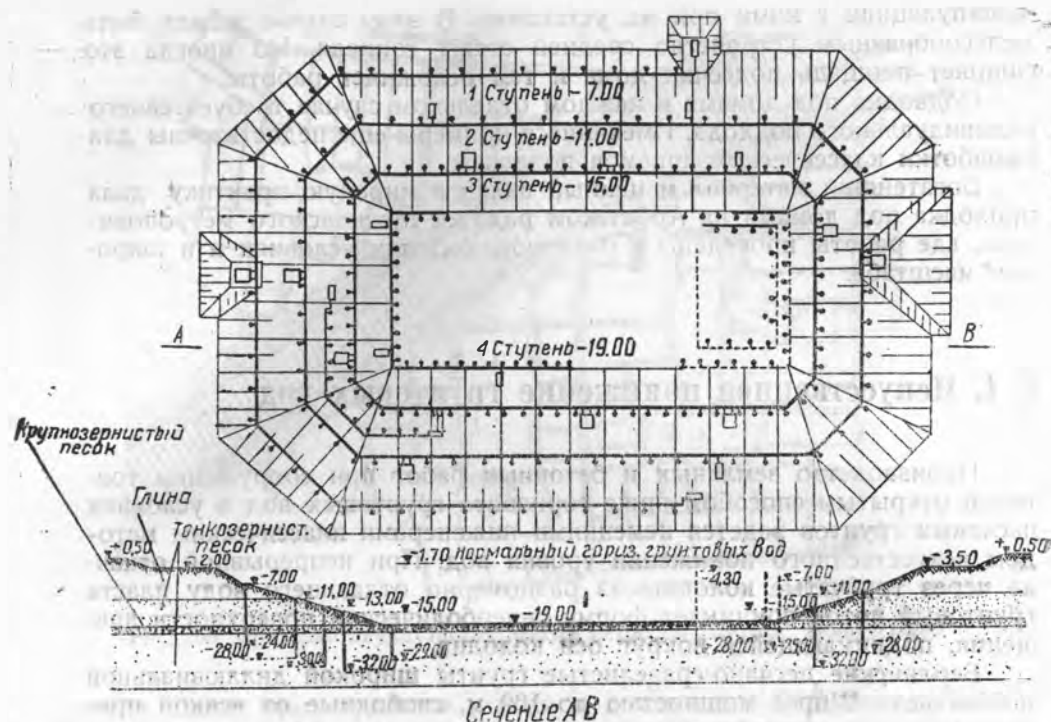


Рис. 269. Многоярусная система понижения уровня грунтовых вод.

или латунной проволоки¹, обеспечивающей от выноса грунта с водой в процессе откачки. Откачка производится через вставленные в колодцы всасывающие трубы $\varnothing 50-100$ мм, соединяющиеся всасывающими сборными магистралями, идущими к насосам.

При применении центробежных насосов уровень грунтовых вод в трубчатом колодце обычно понижается на 3—5 м. Больше понизить не удастся вследствие ограниченности величины нормального всасывания, потерь в трубопроводах и т. д. Необходимость более глубокого понижения грунтовых вод привела к многоступенчатой системе в виде двух, трех, четырех и более ярусов трубчатых колодцев. При многоярусной системе сначала включается в работу верхний ярус, и когда достигается понижение горизонта на 4—5 м, включается второй ярус и т. д. Так при постройке шлюзов в Эмбеле применением многоярусной системы удалось достигнуть водопонижения на 22,0 м.

Для поддержания пониженного уровня вод во время постройки должны быть обеспечены полная надежность, непрерывность и бесперебойная работа всей системы. В резерве надо обязательно иметь два различных источника энергии. В противном случае неизбежно затопление котлована.

В Германской практике водопонижения находят применение гидророторные насосы Века, Еято и др., действующие давлением воды, и Мамут-насосы, работающие под сжатым воздухом.

¹ Конструкция фильтра в каждом отдельном случае устанавливается в зависимости от физико-механических и гидравлических свойств грунтов.

Мощность насосов рассчитывается в строгом соответствии с дебитом грунтовых вод, поступающим к колодцам, ибо преувеличенная мощность насосов может привести к разрыву струи.

Для правильного проектирования водопонижающей установки необходимы пробная откачка, тщательное исследование всего комплекса физико-механических свойств грунтов, режима грунтовых вод, положения водоносных пластов и т. д. и установление коэффициента водопроницаемости данного грунта.

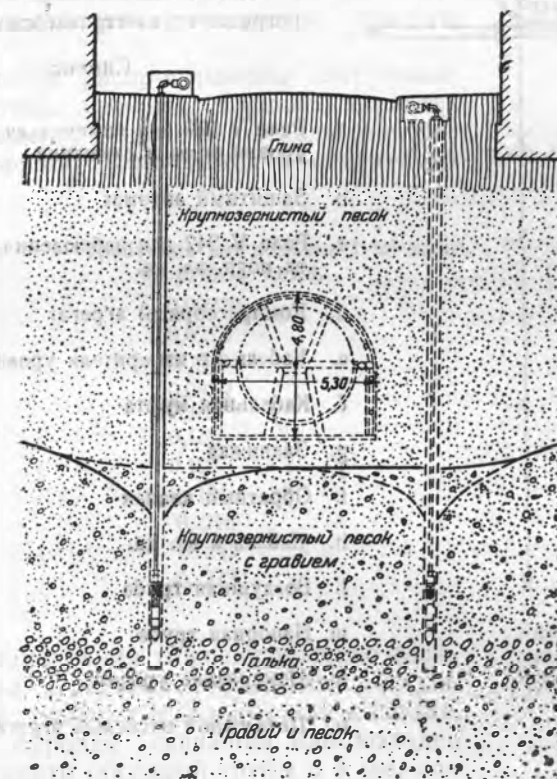


Рис. 270. Схема сооружения тоннеля при искусственном понижении уровня грунтовых вод в песчаных грунтах. Кривая депрессии.



Рис. 271. Схема расположения буровых скважин с погружными насосами для искусственного водопонижения.

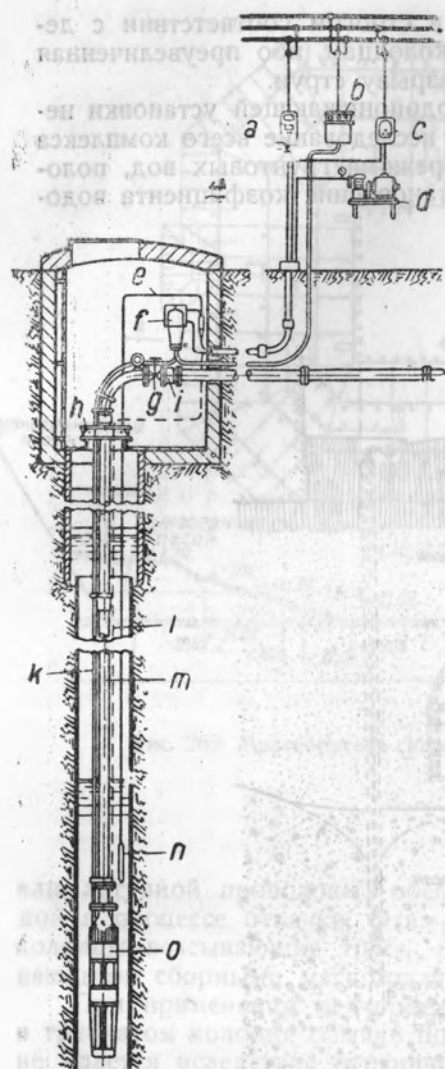


Рис. 272. Схема установки
погружного электронасосного агрегата

Сименса

- a. Реле V 233 для измерителя уровня воды в скважине
- b. Защитный автомат
- c. Реле V 242 для наблюдения за погр. эл. дв.
- d. Компрессорный агрегат
- e. Кабель от измерителя уровня
- f. Кабельная муфта
- g. Задвижка
- i. Обратный клапан
- h. Кабель к эл. дв.
- l. Воздушная труба
- m. Напорная труба
- n. Измеритель уровня
- o. Погружной насосный агрегат

В настоящее время в Германии большое распространение получили нагнетательные глубинные, снабженные герметически защищенными от воды моторами, насосы, опускаемые на требуемую глубину в буровые скважины.

Вокруг котлована бурятся обсадные или фильтровые трубы диаметром 350 мм. В эту трубу и погружается глубинный насос мощностью в 22 квт, достаточной для эффективного водопонижения по данному радиусу. При закладке ряда скважин с насосами удастся достигнуть системы, при которой с любой глубины под требуемый напор подается вода с соответствующим расходом. При применении глубинных насосов избавляются от ряда недостатков, с которыми неразрывно связана обычная система водопонижения: при малейшей неплотности прокладок соединений всасывающих труб происходит всасывание воздуха и разрыв струи воды в скважинах, идущих к насосу; при этом неизбежно затопление котлована.

Наличие больших трубопроводов всасывающих и напорных труб сильно стесняет и загружает сечение котлована, что особенно сказывается при многоступенчатой системе водопонижения. Глубинные же насосы могут быть опущены в трубах, заложенных в стороне от трассы, в подвалах домов. Наблюдение за работой насоса или группы насосов может вестись одним человеком на центральной станции по щиту, где концентрируется сигнализация к каждому агрегату. В случае проникновения грунтовой воды через чехол последняя вытесняется сжатым воздухом.

В Германии распространены погружные насосы системы Сименса. Данные, характеризующие высоту подачи и расхода энергии этими насосами, приводятся в следующей таблице.

Высота подачи	Требуемая для подъема 1 м ³ воды энергия в квт/ч.
1 метр.	0,00272
10 "	0,0272
20 "	0,0546
30 "	0,0819
40 "	0,109
50 "	0,136
60 "	0,173
70 "	0,191
80 "	0,218
90 "	0,245
100 "	0,272

Для установления типа погружного электронасосного агрегата необходимы следующие данные: глубина скважины или колодца, в метрах; буровая скважина или колодец (шахта); диаметр обсадной трубы d в мм; состояние обсадной трубы: круглая, смятая или кривая.

Состояние воды: чистая, химически загрязненная, загрязнения другого рода, процент песка в воде; процент ила в воде; особые качества воды; температура воды; глубина до пониженного уровня в м.

Предполагаемое максимальное понижение уровня при максимальном отборе воды.

Глубина установки агрегата.

Высота подачи воды от поверхности.

Длина трубопровода на поверхности. Диаметр трубопровода в мм.

Общее максимальное давление, включая трение в трубопроводе.

Количество подаваемой воды в л/мин.

Напряжение трехфазного тока.

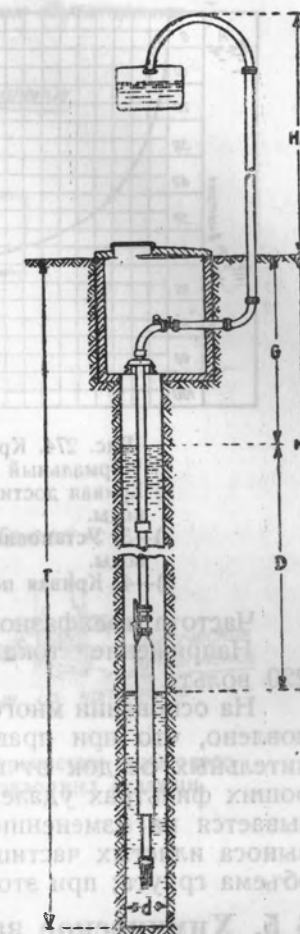
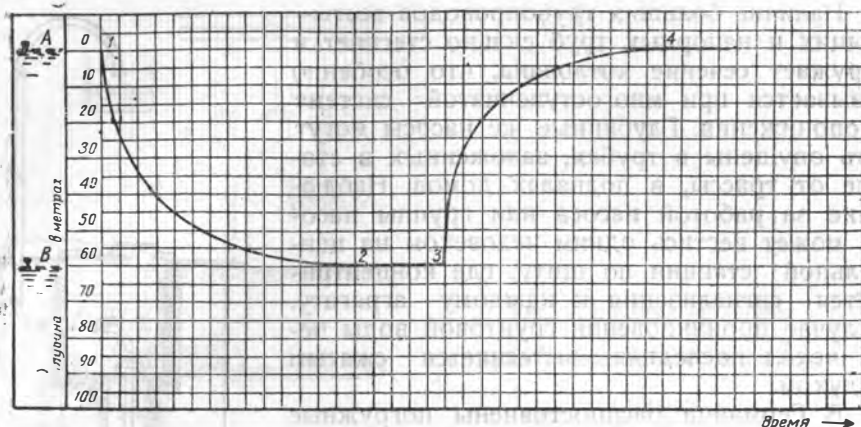


Рис. 273. Схема основных данных по которой устанавливается тип глубинного насоса.



- Рис. 274. Кривая измерения уровня грунтовых вод.
 1) Нормальный уровень А при пуске в ход погр. насоса.
 2) Кривая достигнутого снижения при известном количестве отбора воды.
 2)–3) Установившийся уровень В при известном количестве отбора воды.
 3)–4) Кривая повышения уровня после остановки насоса.

Частота трехфазного тока.

Напряжение тока для вспомогательных аппаратов 110 или 220 вольт.

На основании многолетнего берлинского опыта и наблюдения установлено, что при правильном ведении водопонижающих работ значительных осадок от влияния водонизжения не происходит. При хороших фильтрах удаление воды из песчаных грунтов обычно не сказывается на изменении объема грунта. Следует, однако, опасаться выноса илистых частиц грунта, что приводит к усушке, уменьшению объема грунта; при этом неминуемы осадки поверхности.

§ 5. Химическое закрепление грунтов

Предложенный немецким инженером д-ром Иостеном метод химического закрепления грунтов получил за последнее время за границей в горно-строительной практике большое распространение. Сущность этого метода заключается в том, что под влиянием последовательного нагнетания под давлением двух химических реактивов в слабые, даже плавунные породы, происходит мгновенное закрепление грунта в массивный конгломерат.

Первый химикалий представляет концентрированный раствор кремне-кислого натрия или калия, а второй соляной раствор. Рецепт-

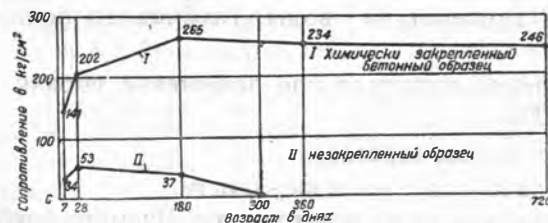


Рис. 275. Кривые проф. Гуттмана, характеризующие устойчивость химически закрепленного бетонного образца против агрессивных факторов, сравнительно с нормальным образцом.

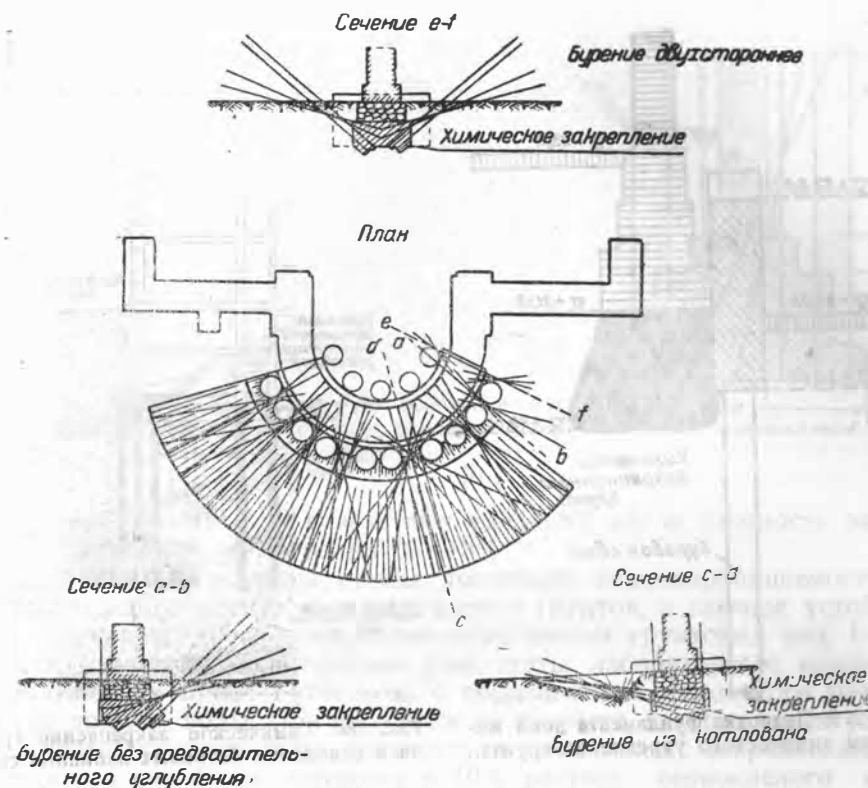


Рис. 276. Подводка фундаментов при химическом закреплении грунтового основания нагнетанием реактивов через серию наклонных скважин.

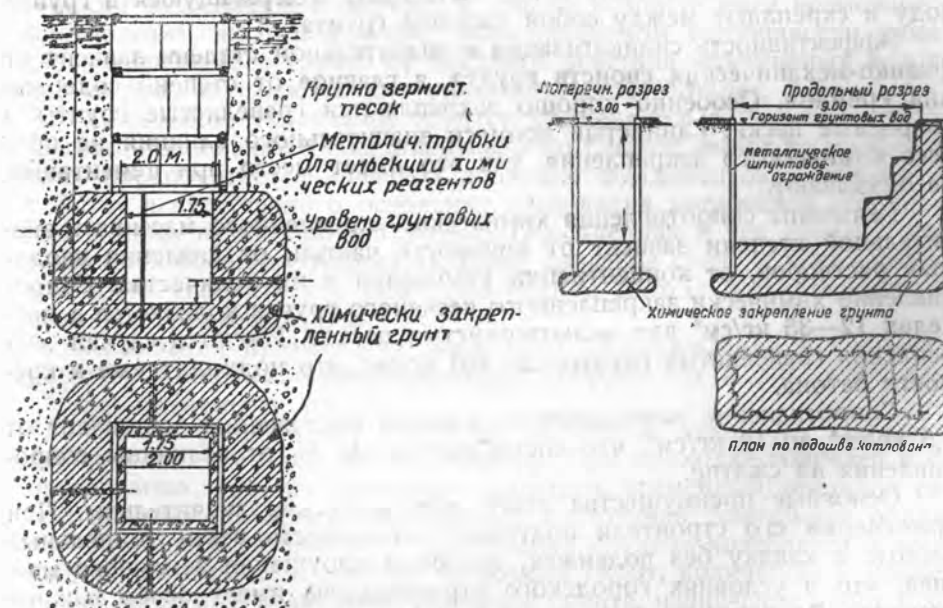


Рис. 277. Проходка шахты на деревянном креплении в химически закрепленном грунте.

Рис. 278. Химическое укрепление подошвы котлована в слабом грунте, огражденного шпунтом.

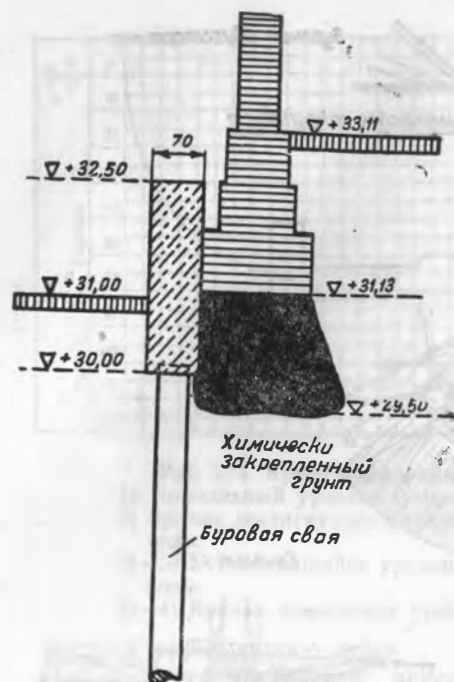


Рис. 279. Подводка фундамента дома методом химического укрепления грунта.

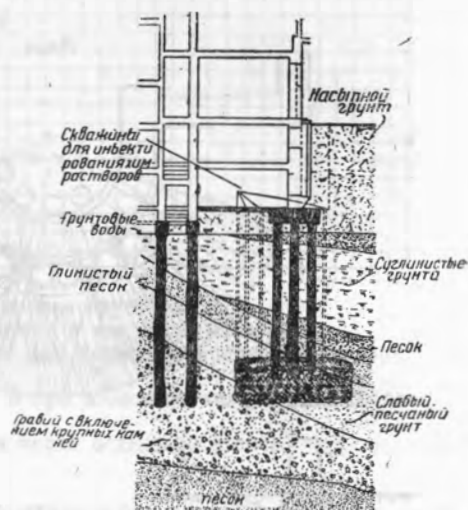


Рис. 280. Химическое закрепление грунта в основании бетонных набивных свай.

ра их держится в секрете. Под давлением до 100 атмосфер через цельнотянутые перфорированные стальные трубки $\varnothing 25$ мм, эти растворы проникают в самые мелкие поры, вытесняют содержащуюся в грунте воду и скрепляют между собой частицы грунта.

Эффективность силикатизации в значительной степени зависит от физико-механических свойств грунта, а главное от степени содержания кремния. Особенно хорошо закрепляются гравелистые грунты и кварцевые пески. Глинистые примеси значительного влияния на процесс химического закрепления, как это имеет место при цементации, не оказывают.

Величины сопротивления химически закрепленного массива в значительной степени зависят от крупности частиц, от давления вводимых растворов, от концентрации химикалий и их количества. Сопротивление химически закрепленного песчаного грунта колеблется в пределах 12—35 кг/см² для мелкозернистых песков. Имеются случаи закрепления гравелистых грунтов до 100 кг/см², что подходит уже к крепости бетона.

Сопротивление закрепленного массива растяжению составляет от 1,5 кг/см² до 12 кг/см², что составляет около $\frac{1}{8}$ от величины сопротивления на сжатие.

Основные преимущества этого метода весьма значительны. При применении его строители получают возможность вести тоннельные работы и кладку без подвижек, осадок и нарушения земляного массива, что в условиях городского строительства имеет особо важное значение. Закрепление производится моментально и не связано с временем на схватывание. Немедленно после окончания процесса химизации закрепленный массив может быть подвергнут рабочей нагрузке;

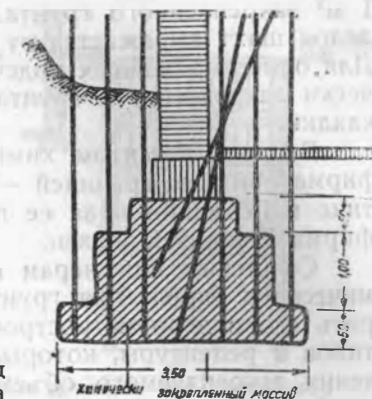


Рис. 281. Химическое закрепление основания под фундамент из свай, заложенных в подвале дома и параллельно стене.

при этом значительно возрастают удельный вес и плотность закрепленного грунта примерно на 10—13%.

За последнее время немцы достигают водонепроницаемости сооружений при химическом закреплении грунтов, а главное устойчивости против вредного воздействия агрессивных грунтовых вод. В этой части чрезвычайно интересны результаты лабораторных испытаний, сделанных проф. Гуттланом, с образцами из цементного раствора 1 : 10 при 7 % воды. При семидневном возрасте, в нормальных условиях, часть образцов была подвергнута химическому закреплению. После этого они были опущены в 10 % раствор сернокислого натра. После 28 дней обычные образцы имели сопротивление 59 кг/см², а химически закрепленные — 202 кг/см². По истечении полугодия первые имели сопротивление 37 кг/см², вторые — 265 кг/см². После 300 дней пребывания в растворе обыкновенного образца он развалился, а химически закрепленный образец в том же возрасте имел временное сопротивление около 258 кг/см². Этим свойством устойчивости химически закрепленного грунта от вредного действия агрессивных вод сейчас широко пользуются для строительных целей (рис. 275).

Химическое укрепление грунтов применяется в Германии при укреплении оснований и фундаментов, и этот метод сейчас во многих случаях предпочитается обычной подводке фундаментов, особенно устройству искусственного основания. Основания котлованов устраивают химическим путем при шпунтовых ограждениях в тех случаях, когда ожидается большое гидростатическое давление снизу и когда нет возможности справиться с ним применением метода искусственного понижения грунтовых вод.

Химизация применяется также для восстановления и сохранения разрушающихся массивов каменных сооружений и для уменьшения водонепроницаемости их.

При проходке шахт, глубиной до 500 м, удавалось химизацией глушить напоры воды до 40 атмосфер. При проходке тоннелей в слабых грунтах, удается химически закрепить временный земляной свод, под защитой которого устраивается постоянная тоннельная обделка.

Стоимость химического закрепления грунтов колеблется в весьма широких пределах и зависит от объема работ, количества и концентрации вводимых реактивов, характера грунта, назначения работ и т. п. По данным фирмы Маст при объеме работ в 3800 м³ закрепленного грунта, стоимость 1 м³ получалась около 95 марок. Стоимость проходки шахт в плавунках колеблется в пределах от 70 до 160 марок за

1 м³ закрепленного грунта. Стоимость химического закрепления обделок шахт выражается от 5 до 40 марок за м² поверхности ствола. Для ориентировочных подсчетов надо полагать стоимость 1 м³ химически закрепленного грунта равноценной стоимости 1 м³ бетонной кладки.

Владеет патентом химического укрепления грунтов в Германии фирма Маст, за границей — фирма Сименс-Баунион. В горной практике в Германии и за ее границей владеет патентом проходческая фирма Кенинг-Ноднузен.

Советским инженерам необходимо усовершенствовать метод химического укрепления грунта, уже освоенный нами, и широко внедрить его в дело метростроения. Необходимо изыскание новых реактивов и рецептуры, которые дали бы требуемые величины сопротивления закрепляемого объема. Кроме того надо усовершенствовать необходимое для этого дела оборудование.

Техническое усовершенствование силикатизации даст возможность значительно удешевить этот хотя и чрезвычайно заманчивый, но вместе с тем пока весьма дорогой метод.

§ 6. Новый кельнский метод сооружения городских тоннелей

Обычная система разработки тоннелей на деревянном креплении при каменной кладке, применяемая главным образом в горных условиях, а также при сооружении Парижского метрополитена, неминуемо связана с осадками креплений и поверхности, особенно при проходке в слабых грунтах. Сжимаемость деревянных креплений, этапы перекреплений временного порядка, фазы подвоек элементов постоянного крепления приводят к сдвигам породы и осадкам. При проходке в песчаных грунтах продвижение деревянных марчеван приходится вести с подбором, что связано с выдачей лишнего объема грунта и образованием пустот. Остающийся при разработке профиля крепильный лес гниет, вследствие чего оседание поверхности может произойти через несколько лет после окончания тоннельных работ.

Если этот способ с успехом применяется при сооружении горных

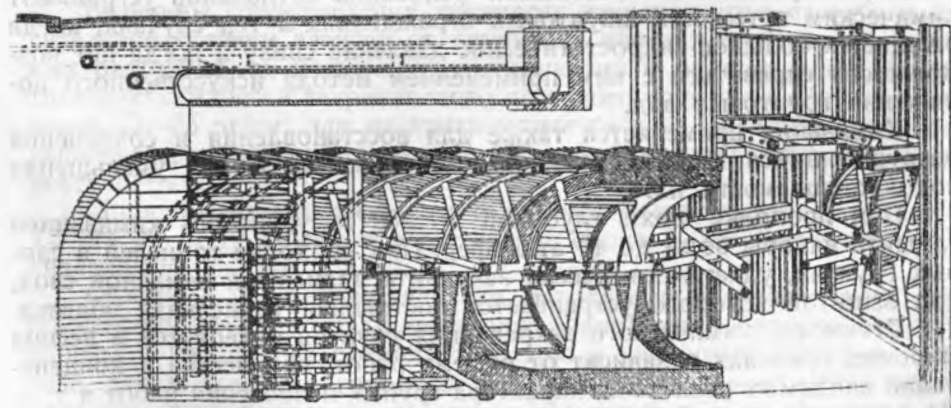


Рис. 282. Условный разрез, характеризующий последовательность тоннельных работ при кельнском методе.

Сечение А-В-С-Д-Е-Г

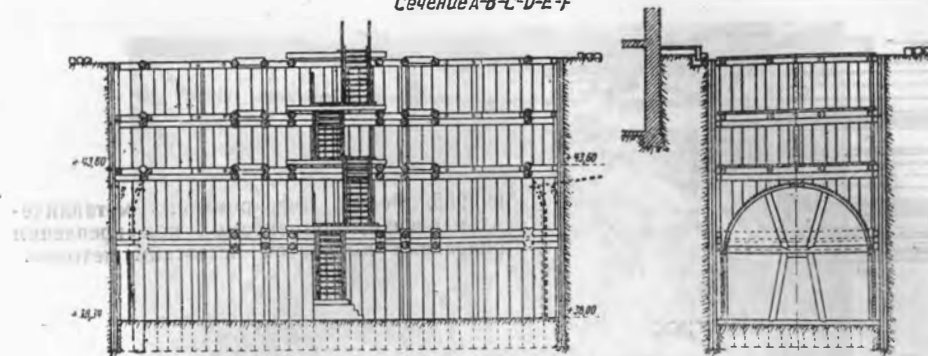


Рис. 283. Сечение шахты, пройденной в водоносных грунтах, при шпунтовом ограждении и врезка профиля тоннеля кельнским методом.

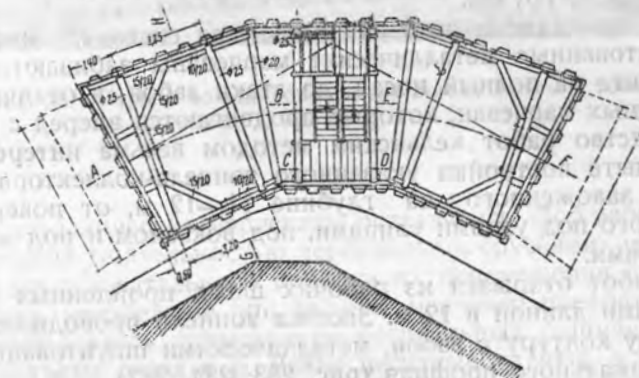


Рис. 284. План.

тоннелей, где осадки поверхности не имеют существенного значения, то в городских условиях он связан с нарушением целостности сети подземного хозяйства, домов, мостовой и т. п. В устойчивых породах система деревянного крепления при тщательном ведении работ может быть допущена, но в условиях слабых грунтов применение ее без специальных дополнительных мер — силикатизации, замораживания, сжатого воздуха, пикотажа и т. п. неминуемо ведет к катастрофам.

Германские тоннельщики, стремясь свести осадки в период производства тоннельных работ к минимуму, ввели усовершенствования, в существующие приемы, которые в целом вылились в так называемую «Кельнскую систему». К этой системе пришли при сооружении в Кельне в 1925 г. тоннеля-коллектора на глубине 10—12 м. Чрезвычайная узость улиц, сплоченная застройка домов, густота сети подземного хозяйства, насыщенные водой песчаные и гравелистые грунты представляли в сумме условия, которые заставили отказаться от открытого способа ведения работ. Применение обычных тоннельных приемов на деревянном креплении привело бы здесь к сдвигам породы и к неизбежным авариям.

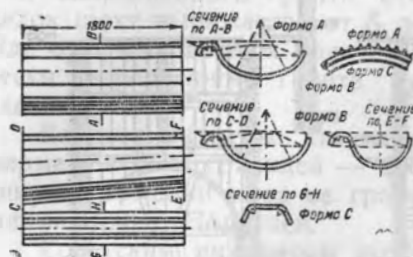


Рис. 285. Формы гофрированных металлических марчеван, применяемых при креплении тоннельных выработок кельнским методом.

Задача заключалась в том, чтобы выборку породы профиля вести, не нарушая режима вышележащих грунтов, и ни в коем случае не давать выпуска породы. А для этого необходимо было до выборки объема породы заключить его в соответственное крепление, которое ограждало бы забой, борта и кровлю выработки, не допуская перемещения окружающего грунта.

На этом принципе и основана Кельнская система, при которой тонкие шпунтованные металлические марчеваны забиваются в плотное тело грунта на полный посад, до атаки забоя, в отличие от толстых деревянных марчеван, которые продвигаются вперед с подбором.

Производство работ кельнским методом весьма интересно проследить на опыте постройки указанного тоннеля-коллектора сечением $4,70 \times 5,10$ м, заложенного на глубине 11—12 м, от поверхности и трассированного под узкими улицами, под вокзалом и под железнодорожными путями.

Фронт работ открылся из рабочих шахт, пройденных Ларсеновскими шпунтами длиной в 12 м. Засечка тоннеля проводилась по всему калоттному контуру с забоя, металлическими шпунтованными марчеванами специального профиля (рис. 283, 284, 287).

Марчеваны забивались пневматическими молотами по направляющим кружалам из согнутых в виде дуги старых железнодорожных рельсов. Забивка марчеван производилась от ключа свода к пятам таким образом, что одновременно двигались вперед две марчеваны. При длине марчеваны в 1,80 м посад велся в 1,20 м. Встреча металлической марчеваны с валуном не влияла на проходку. В этом случае прекращали дальнейшую забивку марчеваны, а при продвижении забоя валун осторожно удаляли. Промежуточные направляющие металлические кружала убирались до бетонирования тоннельной обделки. При бетонировке тоннельной обделки основные железные кружала из-

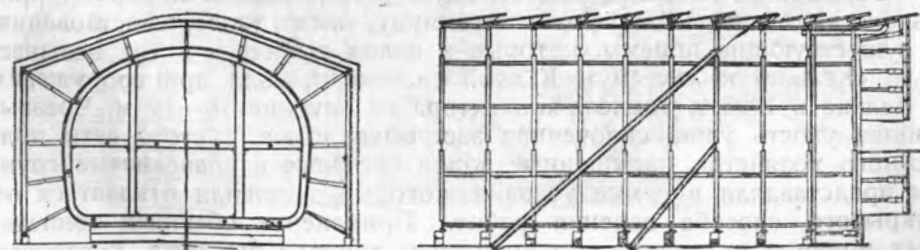


Рис. 286. Схема сооружения двухпутного тоннеля кельнским методом.

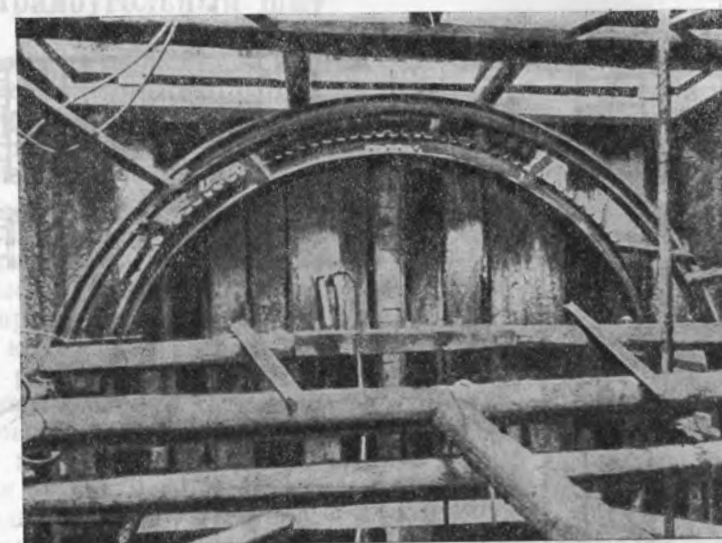


Рис. 287. Первое кольцо сопряжения ствола шахты с тоннелем.

рельсов и металлические марчеваны оставались. Лоб забоя крепился с исключительной тщательностью деревянными брусками, перенумерованными для последовательного порядка их перемещения вперед. Сотрясение грунта, неизбежное при забивке марчеван пневматическими молотами, уменьшалось применением специальных башмаков.

При подъеме воды в р. Рейне песчаные грунты, в которых прокладывались тоннели, стали настолько водонасыщенными, что установленные 14 глубинных насосов для искусственного понижения не в состоянии были справиться со своей задачей. Произошло затопление работ на 2,00 м выше подошвы тоннеля. В то время как при затоплении выработок на деревянном креплении в большинстве случаев происходят катастрофы, в данном случае никаких деформаций и расстройств креплений обнаружено не было, хотя вода в течение двух недель стояла в тоннеле.

При кельнском способе работ требуется особая осторожность при смычке встречных забоев. Во избежание сотрясений небольшого земляного массива — целика при двухсторонней атаке близрасположенных забоев, для обеспечения безопасности для рабочих рекомендуется при подходе забоев на расстояние 20—25 м прекращать одновременное продвижение с двух сторон. В одном забое надо вывести близко ко лбу его бетонную обделку тоннеля, а продвижение забоя вести лишь с одной стороны. Вслед за разработкой профиля устраивается бетонная обделка тоннеля по всему сечению от лотка к замку свода. При этом качество бетонных работ значительно повышается, так как они ведутся совершенно отдельно от земляных работ в нестесненном креплении сечения тоннеля (рис. 282).

Порода выдается по нижнему, а подача материалов производится по верхнему горизонту. В процессе строительства не было замечено осадок породы, трещин в домах и повреждений сооружений подземного хозяйства. Под железнодорожной насыпью линии Эль-

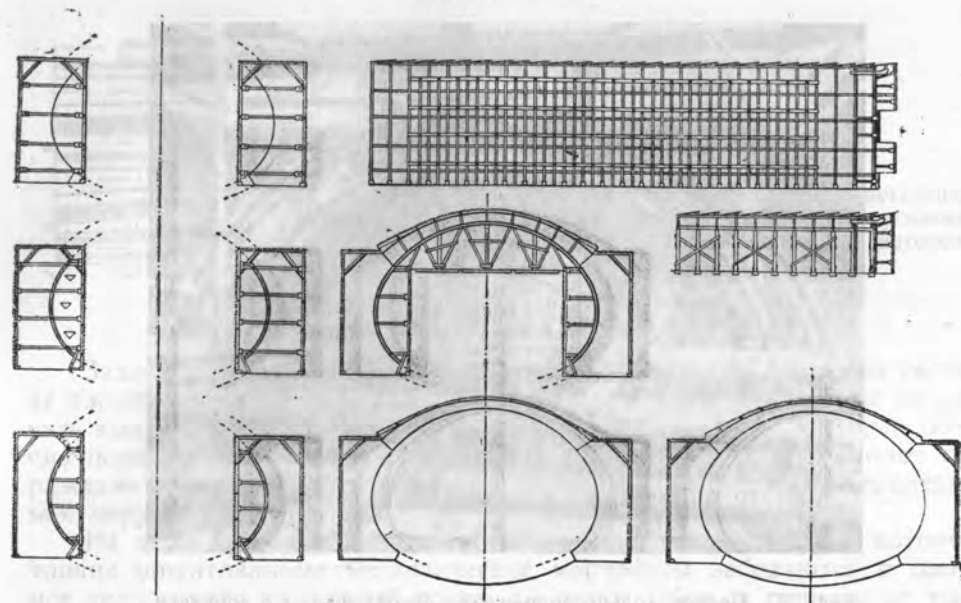


Рис. 288. Фазы кельнского метода при сооружении тоннеля односводчатой станции

берфельд-Кельн, шириной 120 м, под которой проходили тоннелем, никаких осадок не было и поезда курсировали непрерывно.

Средняя стоимость проходки и обделки тоннеля при Кельнском способе выразилась в 1290 германских марок за 1 пог м, а при открытом способе—1340 германских марок. Применение временного металлического крепления удорожает тоннельные работы. Но стоимость в некоторых случаях компенсируется теми огромными преимуществами, которые дает описанный метод, позволяющий избежать значительных осадок поверхности. Тоннельно-строительная фирма Юлиус-Бергер разработала Кельнский прием применительно к сооружению больших станционных профилей при внешней оклеечной изоляции. В то время как при сооружении однопутных и двухпутных тоннелей разработка ведется со лба на все сечение, при станционных тоннелях она ведется по фазам при закладке вначале стен в слепых траншеях, на металлическом креплении (рис. 288).

Кельнский метод должен найти применение и на некоторых отрезках трассы Московского метрополитена.

По предварительным данным, средняя скорость проходки Кельнским методом однопутного тоннеля определяется в 2,0 м в сутки; двухпутного тоннеля—1,5 м в сутки.

Таким образом Кельнский способ дает ряд существенных преимуществ по сравнению с обычным деревянным креплением:

а) проходка ведется без нарушения вышележащих грунтов благодаря чему осадки поверхности сводятся к минимуму;

б) металлическая крепь сообщает выработке воздухо- и водонепроницаемость; это важно при проходке в условиях водоносных грунтов под сжатым воздухом.

в) отсутствие крепежного дерева в выработках повышает пожарную безопасность;

г) при металлическом креплении выработок достигается опрятность в ведении работ и чистота содержания пройденных участков тоннеля.

§ 7. Прямоугольный щит

Немецким инженером Карлом Олитшем был предложен проект проходки тоннелей метрополитена прямоугольных сечений и при мелком заложении щитом оригинального типа.

В соответствии с сечением сооружаемого тоннеля вскрывается до проектной отметки подошвы тоннеля шахта, после чего начинается монтаж конструкций щита и подвижной упорной тележки из элементов металлических балок. В хвосте щита устанавливаются металлические прямоугольные рамы, между которыми закладываются железобетонные затяжки, оклеиваемые мягкой битуминозной изоляцией из гудронированного картона на горячей клеемассе. Ставятся металлические кружала и возводится бетонная обделка тоннеля. Затем начинают разбирать крепление и породу впереди щита. Приведя в действие винтовые или гидравлические домкраты, расположенные между основной рамой щита и упорной тележкой, щит продвигают вперед на ход поршня. После этого вставляют временные деревянные упорные брусья между тележкой и поддомом домкратов и продолжают продвижение щита вперед.

После нескольких продвоек щита с закладкой промежуточных упорных брусьев на 1,15—2,00 м приступают к установке металлических рам и заведению затяжек. По окончании изоляционных работ устраивают опалубку и бетонную обделку тоннеля. В обделке остаются лунки, куда заводятся металлические приспособления тележки.

Таким образом продвижение щита производится без нажима на свежий бетон. Направляющие балки щита помощью роликов перемещаются по рельсам с внешней стороны тоннеля.

Вписывание в кривые и изменение направления щита производятся постановкой упорных брусьев клинообразного сечения. Кроме того для облегчения поворота щита основные элементы аванбека имеют шарниры, а стены оболочки щита — отверстия для выемки по-

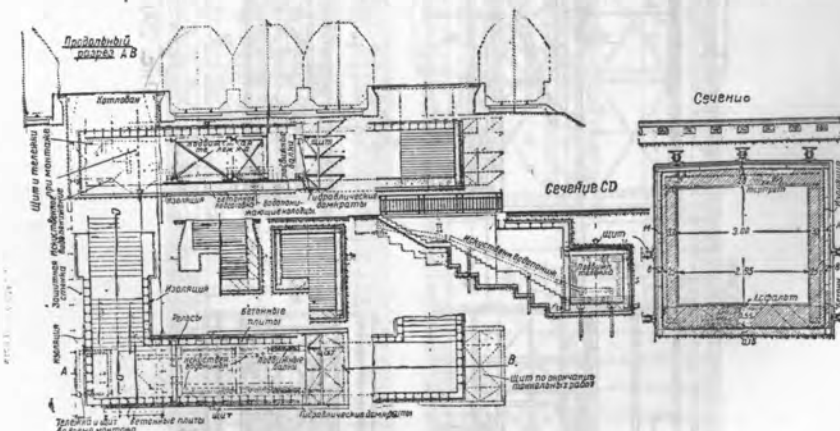


Рис. 289. Сооружение тоннеля прямоугольным щитом системы „Олитша“ под жел. дор. путями.

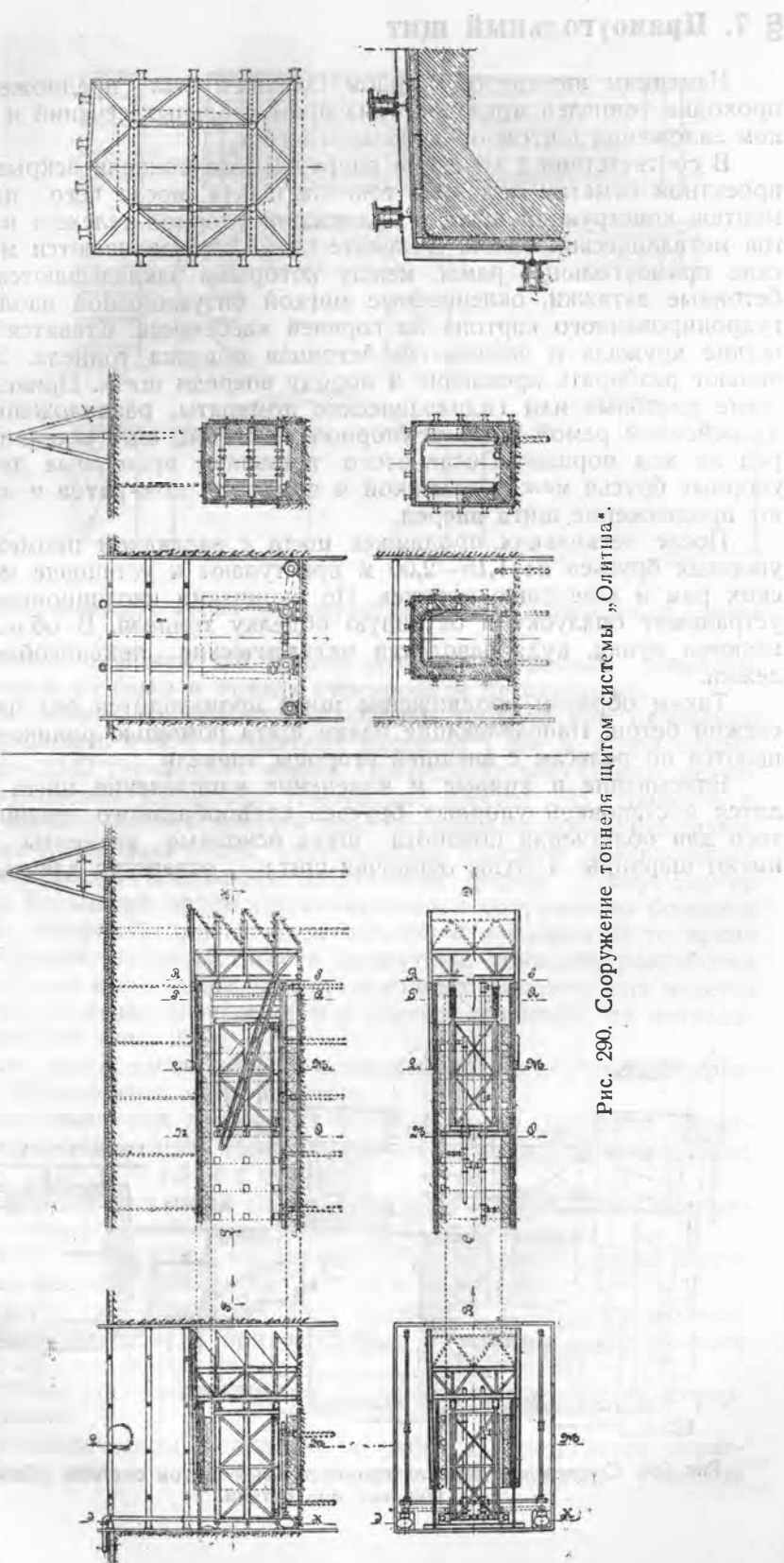


Рис. 290. Сооружение тоннеля щитом системы „Олитша“.

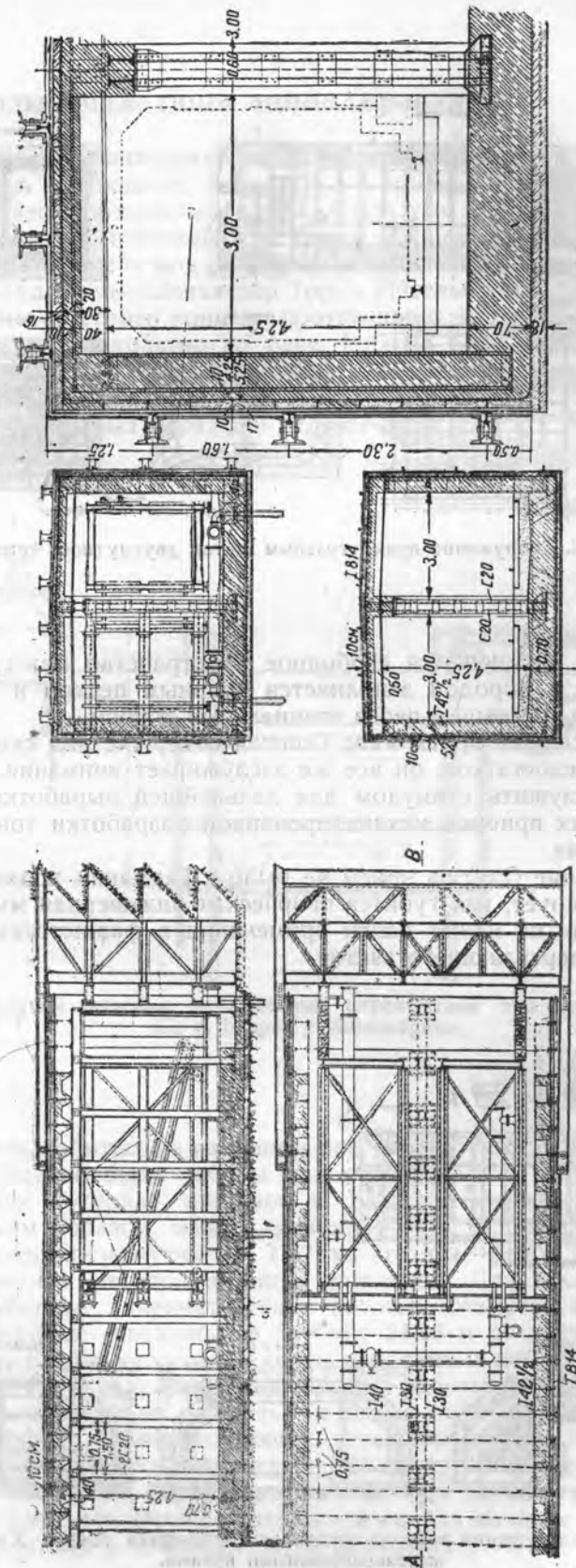


Рис. 291. Сооружение тоннеля щитом системы „Олитша“.

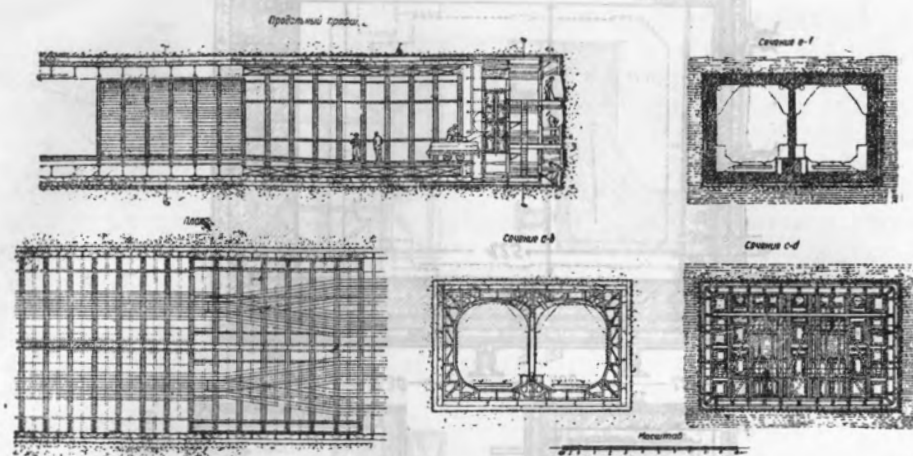


Рис. 292. Сооружение прямоугольным щитом двухпутного тоннеля.

роды с боков. Остающееся свободное пространство между балками корпуса щита и породой заполняется крупным песком и цементным раствором под давлением через специальные трубки.

Хотя описанный прием инж. Олитша содержит ряд существенных технических недостатков, он все же заслуживает внимания. Этот прием может послужить стимулом для дальнейшей выработки наиболее целесообразных приемов механизированной разработки тоннелей мелкого заложения.

Предложение Олитша никем не было в Германии подхвачено, что ярко иллюстрирует, как губится творческая инженерная мысль в Германии, которая не может найти применения в фашистских условиях, в условиях омертвляющего застоя.

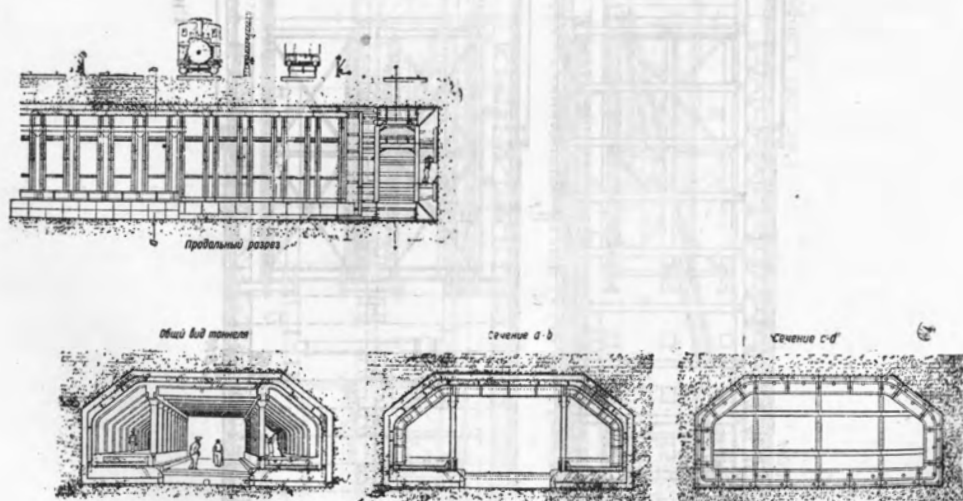


Рис. 293. Схема сооружения тоннеля специального профиля щитом Халлингера под железнодорожными путями.

§ 8. Методы подводного тоннелирования

а) Сооружение подводных тоннелей открытым путем.

Проходка подводных тоннелей в германской практике ведется преимущественно открытым путем. Открытым путем созданы и тоннели Берлинского метрополитена под р. Шпрее.

I. Первый тоннель под р. Шпрее находится на линии Шпигельмаркет—Александрплац—Шенхаузер Тор, у Инзельбрюке. Здесь открытым способом был построен тоннель протяжением 125 м, причем было даже сохранено судоходство по реке. Работы были разделены на два участка. Во время работ на одном участке, второй был свободен для судоходного движения. Первый участок шириной в 22,36 м при глубине воды 3,70 м был огражден перемычками из двух рядов деревян-

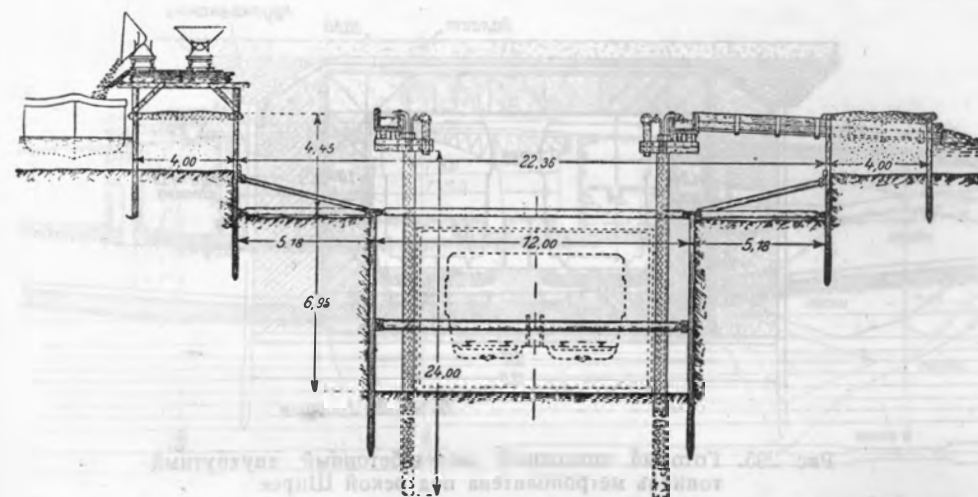


Рис. 294. Открытый котлован, огражденный перемычками при сооружении тоннеля под р. Шпрее у Инзельбрюке.

ных шпнотов, забитых на взаимном расстоянии 4,5 м, и глинистого заполнения. Внутри были забиты два металлических шпнотовых ряда, ограждавших котлован, шириной в 12,36 м. Ширина тоннеля была 9,12 м. Таким образом, между гранями стенок и поверхностью шпнута оставались промежутки по 1,62 м, которые были предназначены для размещения водопонижающей установки. Для последней применялись глубинные, пневматические насосы «Мамут», которые опускались в буровые скважины на глубину 24,85 м от поверхности воды в р. Шпрее. Кроме насосов «Мамут» работали и специальные центробежные насосы. В результате интенсивной работы водоотливной системы удалось полностью осушить котлован при водопонижении на 11,00 м. Эффект водопонижающей установки в реке был достигнут благодаря наличию прослойки ила в 1 м по дну, отделявшего воду реки от грунтовых вод берлинских песков. При глубине воды в реке в 3,75 м прослойка ила оказалась достаточной для изоляции воды в реке от грунтовых вод в пределах зоны котлована.

Конструкция тоннеля представляла собой железобетонную замкнутую раму толщиной в стенах и в кровле 1,00 м. Кроме обычного расчета на грунтовое и гидростатическое давления конструкция должна была выдержать без повреждений давление от затонувшего при полной загрузке судна.

Тоннель был изолирован от воды и блуждающих токов внешней оклеечной изоляцией из гудронированного картона на горячей клеемассе. Пространство между шпунтовыми ограждениями и внешними гранями рамы тоннеля было заполнено тощим бетоном.

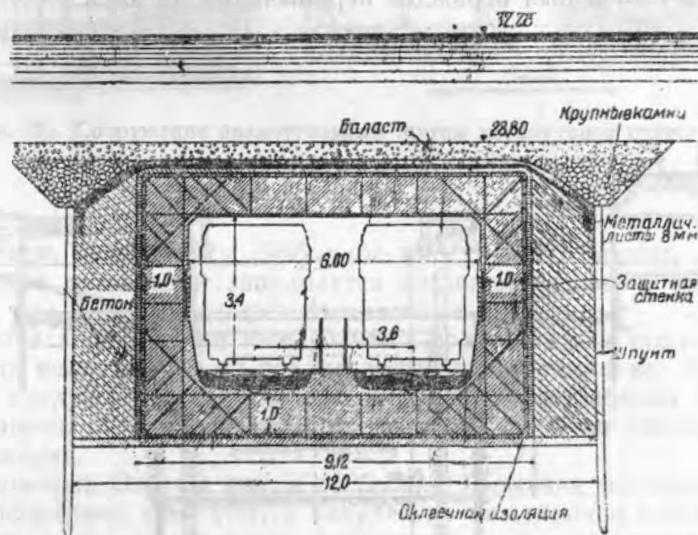


Рис. 295. Готовый подводный железобетонный двухпутный тоннель метрополитена под рекой Шпрее

Кровля тоннеля была покрыта 8-мм листовым железом и 10-см защитным слоем бетона. Сверху для предохранения от возможных механических повреждений был насыпан слой щебня в 0,5 м (рис. 295).

Технические данные сооружения таковы:

- | | |
|--|---|
| 1. Длина подводной части тоннеля | 125 м. |
| 2. Полная длина тоннеля с подходами | 405 м. |
| 3. Уклоны к подводной части тоннеля | 22‰ южный
подход
25‰ северный
подход |
| 4. Поперечное сечение тоннеля | 24 м². |
| 5. Глубина заложения головки рельса метро от уровня реки Шпрее | 8,70 м. |
| 6. Заглубление подошвы тоннеля от проезжей части моста | 12,85 м. |
| 7. Продолжительность строительства тоннеля | 3 года. |

II. Постройка тоннеля под рекой Шпрее у Вайдендаммербрюке производилась по системе, отличной от работ у Инзельбрюке.

Тоннель протяжением в подводной части 67 м был здесь разделен на три строительных участка: северный береговой, южный береговой и островной. На каждом участке устраивались обычные перемишки из глины и забивался Ларсеновский металлический шпунт, ограждавший котлован шириной 8,40 м. В дальнейшем под защитой ограждающих перемишек сваи срезались и устраивался временный предохранительный деревянный настил по уложенным металлическим балкам. Настил этот делался водонепроницаемым с битуминозной изоляцией, покрытой листовым железом.

По бокам Ларсеновского шпунта с внешней стороны котлована забивался дополнительный деревянный шпунт. Места сопряжения последнего с настилом плотно забивались мятой глиной.

После установки водопонижения перемишки были убраны, и удаление земляного ядра и устройство тоннельной конструкции произ-

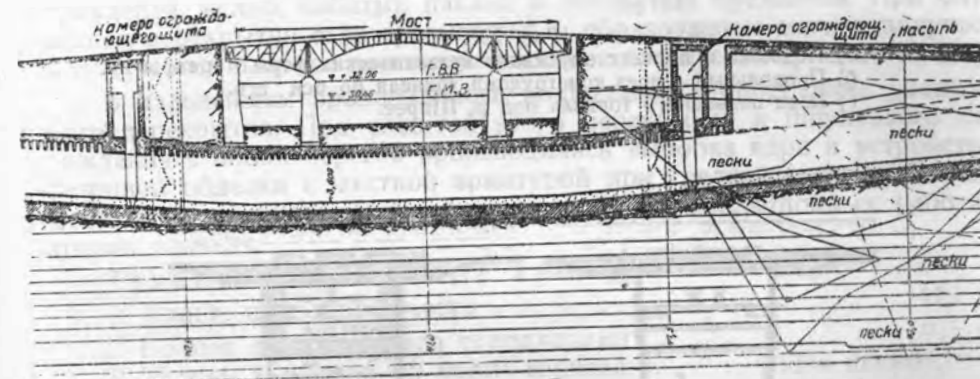


Рис. 296. Продольный разрез подводного тоннеля под р. Шпрее у моста Вайдендаммербрюке. В разрезе видны специальные камеры, из которых автоматически опускаются металлические щиты, ограждающие соседние участки от затопления на случай внезапного прорыва воды из реки.

водились под защитой искусственного водонепроницаемого настила на ложе реки, при шпунтовом ограждении. Во время производства этих работ судоходство не прекращалось.

Подошва тоннеля у Вайдендаммербрюке заложена на глубине 12,00 м от уровня воды в реке. Перекрытие тоннеля (глубина 5,6 м от горизонта воды в реке) устроено из клепаных металлических балок высотой 0,65 м, уложенных на расстоянии 1,3 м и перекрытых между собой бетонными сводами. Сверху уложены изоляционный и бетонный слой толщиной 28 см; для защиты от механических повреждений якорями и другими предметами — бетонный слой в 0,5 м и щебня — в 0,8 м.

Этот способ имеет преимущество перед применявшимся на Инзельбрюке в части значительного сокращения времени стеснения судоходного движения по реке.

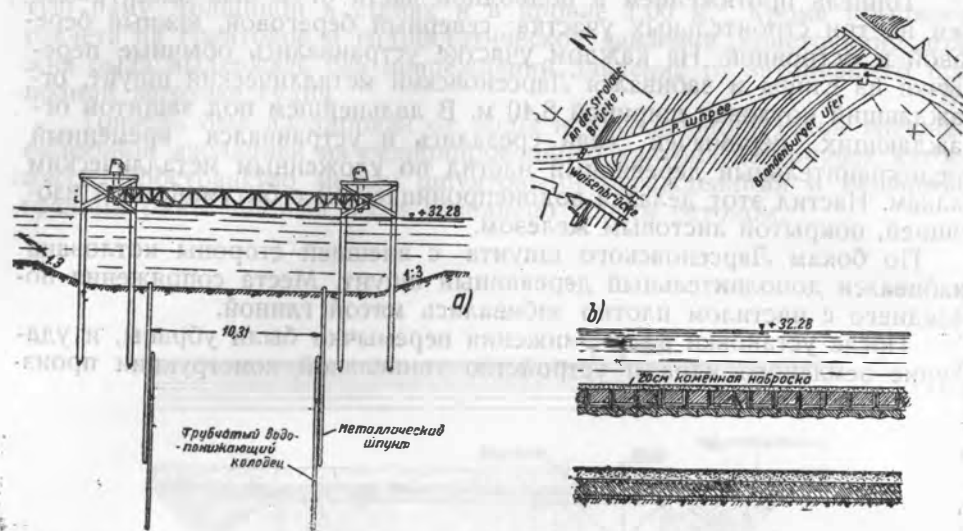


Рис. 297.

- а) Подвеска и процесс опускания металлических ферм перекрытия.
 б) Продольный разрез конструкции тоннеля по оси его.
 в) План подводного тоннеля под р. Шпрее.



Рис. 298. Производство земляных работ под защитой несущего перекрытия. Поперечное сечение готового подводного тоннеля под рекой Шпрее.

Технические данные тоннеля:

- | | |
|---|---|
| 1. Длина подводной части тоннеля | 67 м. |
| 2. Полная длина тоннеля с подходами | 427 м. |
| 3. Уклоны к подводной части тоннеля | 30‰ южный
подход
30‰ северный
подход |
| 4. Поперечное сечение тоннеля | 28 м². |
| 5. Глубина заложения головки рельса метро от уровня реки Шпрее | 9,16 м. |
| 6. Заглубление подошвы тоннеля от проезжей части моста | 15,25 м. |
| 7. а) Длительность стеснения фарватера для судоходного движения | 19 мес. |

- б) Длительность остальных строительных работ

5 мес.

8. Продолжительность строительства подводного тоннеля

2 года.

III. Наиболее эффективно подводное тоннелирование проведено было немецкими инженерами при пересечении р. Шпрее линией Гезундбруннен-Нейкельн, у Бауенбрюке. Здесь предварительно по трассе тоннеля в ложе реки была сделана траншея глубиной 1,5 м от дна реки. По обрезу намечаемого котлована шириной 10,31 м был забит Ларсеновский металлический шпунт, который затем на уровне подошвы траншеи был срезан автогенем водолазами. Одновременно велись буровые работы для установки искусственного водопонижения.

На поверхности собирались решетчатые металлические балочные фермы несущего перекрытия. Опускание балок на подготовленное, углубленное ложе реки производилось спаренными секциями по 10 штук, со специальных деревянных подмостей, с нагрузкой из металлических болванок по брезенту. Эти работы велись с помощью водолазов, которые следили за правильностью укладки пакетов.

К конструкции перекрытия по линии шпунта был предварительно приклепан желоб, набитый паклей и обтянутый брезентом. При опускании перекрытия сваи врезывались в образованные мягкие подушки и получалось плотное водонепроницаемое соединение (рис. 297а, 298).

В дальнейшем производилось подводное бетонирование уложенного перекрытия. Под защитой этого перекрытия и шпунтового ограждения с обоих берегов производились выборка ядра и устройство бетонной обделки с жесткой арматурой при средней стенке в 40 см. Некоторые затруднения были встречены при изоляционных работах кровли тоннеля.

Технические данные тоннеля:

- | | |
|--|---|
| 1. Длина подводной части | 172 м |
| 2. Полная длина тоннеля с подходами | 405 м. |
| 3. Уклоны к подводной части тоннеля | 33‰ южный
подход
40‰ северный
подход |
| 4. Поперечное сечение тоннеля | 33 м². |
| 5. Глубина заложения головки рельса метро от уровня реки Шпрее | 8,85 м. |
| 6. Заглубление подошвы тоннеля от проезжей части моста | 12,30 м. |
| 7. а) Длительность сужения фарватера для судоходного движения | 7 мес. |
| б) Длительность остальных строительных работ | 5 мес. |
| 8. Продолжительность строительства подводного тоннеля | 12 мес. |

IV. При сооружении тоннеля протяжением 50,5 м под каналом Ландвер у Котбюссер Брюке строителям было разрешено закрыть движение по каналу на 3¼ мес., в течение которых были устроены перемычки и забиты Ларсеновский шпунт, обрезавшийся до отметки перекрытия.

Особенностью работ под Ландверским каналом явился пропуск воды канала через рабочий котлован системой сифонных трубопроводов. Вода из верхнего бьефа передавалась в нижний пятью трубами

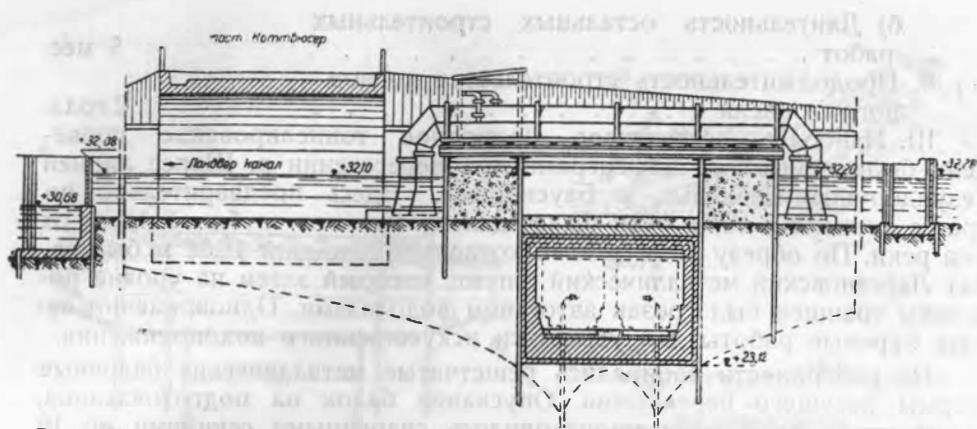


Рис. 299. Сооружение подводного тоннеля под Ландверским каналом с пропуском воды системой сифонных трубопроводов.



Рис. 300. Вид работ при сооружении подводного тоннеля под Ландверским каналом у „Котбюссер Брюке“.

по 0,80 м и двумя по 1,5 м; за четыре месяца было пропущено до 60 млн. м³ воды (рис. 299, 300).

В остальном строительные работы велись обычным порядком. Водопонижающие колодцы здесь включались в работу по мере продвижения забоя.

Технические данные тоннеля:

- | | |
|--|--|
| 1. Длина подводной части | 50,5 м. |
| 2. Полная длина тоннеля с подходами | 310 м. |
| 3. Уклоны к подводной части тоннеля | <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 5px;">}</div> <div> 20‰ южный
подход
20‰ северный
подход </div> </div> </div> |
| 4. Поперечное сечение тоннеля | 35 м ² . |
| 5. Глубина заложения головки рельса метро от уровня канала | 7,25 м. |
| 6. Заглубление подошвы тоннеля от проезжей части моста | 13,05 м. |
| 7. Работы при закрытии судоходного движения | 3,75 мес. |
| 8. Продолжительность строительства подводного тоннеля | 3,75 мес. |

V. Сооружение подводного тоннеля под Ландверским каналом у Халлешес Тор производилось также при металлическом шпунтовом ограждении при полном закрытии судового движения по каналу на время производства строительных работ.

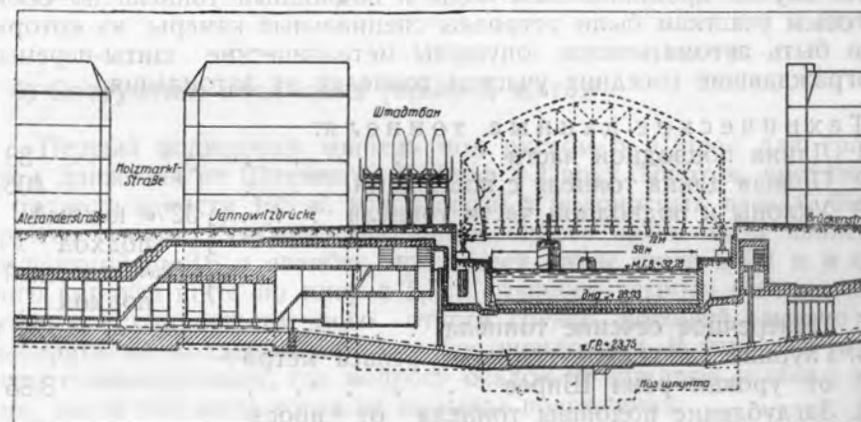


Рис. 301. Продольный разрез по оси подводного тоннеля под р. Шпрее «станции Берлинского метрополитена „Яновитцбрюкке“».

VI. При сооружении подводного тоннеля под Ландвером у Бэль-Аллианс Брюке протяжением 30 м в подводной части судовое движение было стеснено на 4 месяца. Полное сооружение тоннеля продолжалось 10 месяцев.

VII. Сооружение подводного тоннеля на линии Гезундбруннен-Нейкельн у Яновитцбрюкке протяжением 88 м производилось по приему, примененному у Инзельбрюке при перемычках и шпунтовом ограждении, двумя строительными участками (рис. 301, 302).

Тоннель усиленной железобетонной рамной конструкции был изолирован с внешней стороны в 3 слоя.

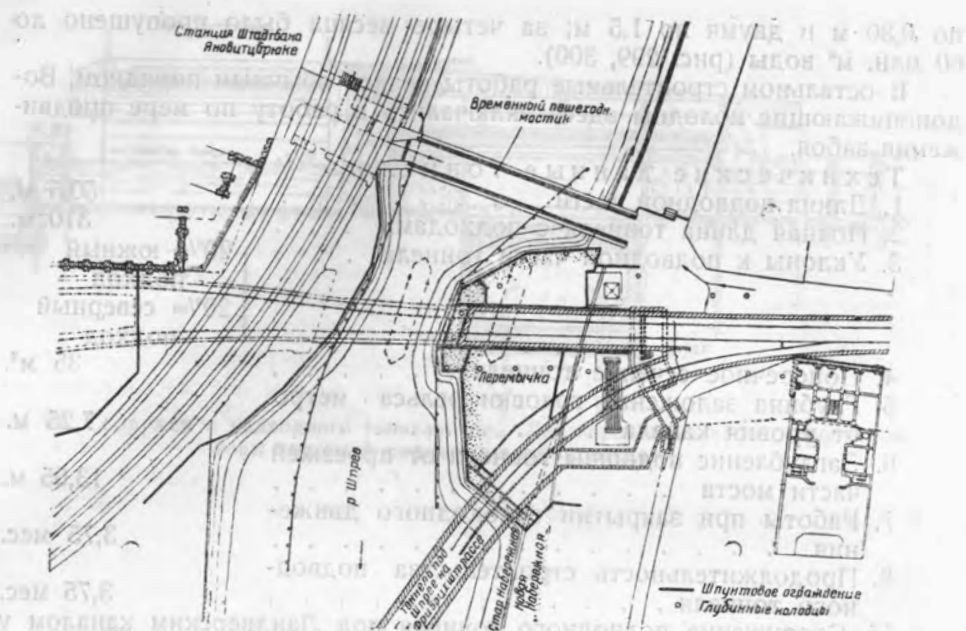


Рис. 302. Ограждение 1 берегового строительного участка при подводном тоннелировании под р. Шпрее.

На случай проникновения воды в подводный тоннель по обоим береговым участкам были устроены специальные камеры, из которых могли быть автоматически опущены металлические щиты-перегородки, ограждавшие соседние участки тоннелей от затопления.

Технические данные тоннеля:

1. Длина подводной части	88 м
2. Полная длина тоннеля с подходами	406 м
3. Уклоны к подводной части тоннеля	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> 32‰ южный подход 5‰ северный подход </div> </div>
5. Поперечное сечение тоннеля	28 м ²
6. Глубина заложения головки рельса метро от уровня реки Шпрее	8,85 м
7. Заглубление подошвы тоннеля от проезжей части моста	15,20 м
8. Длительность сужения форватера для судходного движения	12 мес.
9. Продолжительность строительства подводного тоннеля	1 год.

Метод сооружения подводных тоннелей открытым способом при искусственном понижении грунтовых вод и при шпунтовом ограждении применяется теперь также на постройке подводного тоннеля станций метрополитена под мостом через канал Альстер в Гамбурге (см. стр. 267).

Следует иметь ввиду, что этот прием тоннелирования применим лишь при незначительной глубине воды в реке и там, где условия напластования ложа реки благоприятствуют искусственному водопонижению.

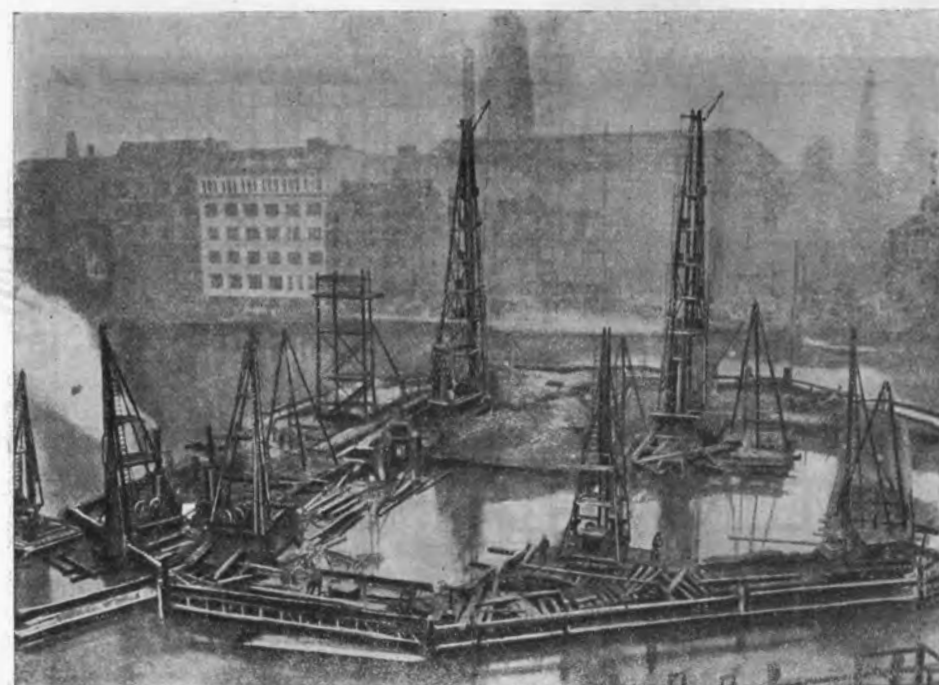


Рис. 303. Общий вид работ при забивке шпунтового ограждения на р. Шпрее.

б) Сооружение подводных тоннелей щитом

Первый подводный тоннель под руслом р. Шпрее для трамвайного движения от Шлезинген Банхоф к Парку Трептов, протяжением в подводной части 195 м, заложенный в водоносных песках, был сооружен щитом. Особенностью примененного здесь щита явился выступающий на 3,6 м аванбек, при общей длине щита в 6,1 м и основного корпуса щита по низу в 5,5 м. Аванбек устроен был в соответствии с углом естественного откоса грунта, который можно было выбирать, не поддерживая лба забоя шандорами. В условиях подводного тоннелирования, где вопросу осадок не придают особого значения, такой тип щита тогда не вызывал возражений.

Щит продвигался 16 гидравлическими домкратами, упираясь в выкладывавшуюся металлическую оболочку из стальных сегментов.

Стали немцы отдают предпочтение перед чугуном, вследствие того, что последний допускает значительно меньше напряжения и дает трещины от усиленного нажима домкратов. Этот взгляд однако не разделяется в Америке и Англии.

Для предохранения стали от коррозии устраивался внутренний бетонный слой в 12 см, а затем путем нагнетания образовывалась внешняя защитная оболочка в 8 см. Среди техников не было однако уверенности в достижении сплошного внешнего цементного покрова.

Тоннель диаметром 4,00 м залегал на 12,00 м от поверхности воды в р. Шпрее, при толщине слоя грунта от дна реки до шельги свода в 3,00 м. Щитовые работы велись под сжатым воздухом.

Конструкция щита с поперечными диафрагмами позволяла в необходимом момент кессонировать щит.

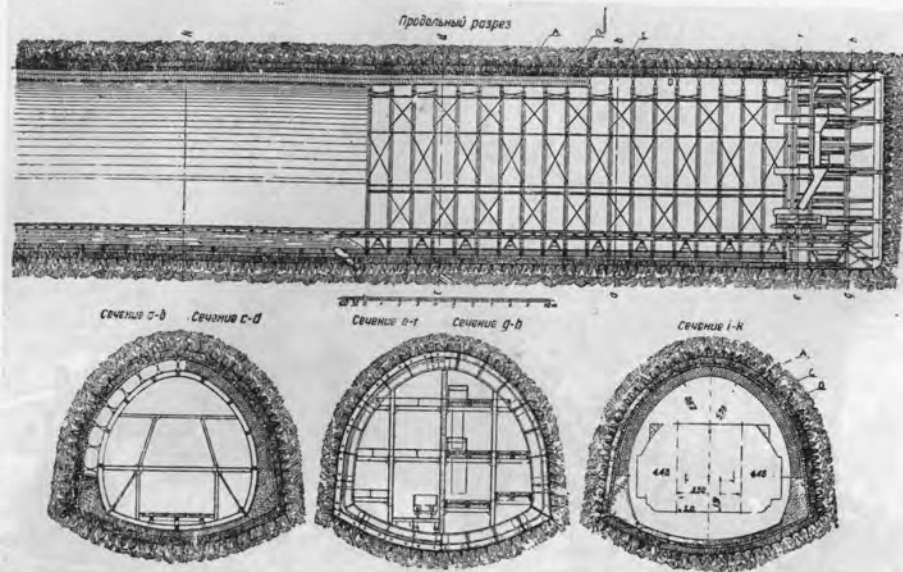


Рис. 304. Сооружение тоннеля щитом при каменной обделке.

В дальнейшем все работы по проходке тоннелей Берлинского метрополитена под водой велись исключительно открытым способом. Лишь для тоннелей специального назначения—железнодорожных, деривационных, канализационных и др. немецкой фирмой Халлингера был выработан ряд приемов подводного тоннелирования специальными типами щитов при обделке из бетона или из каменной кладки.

По методу Халлингера, в отстающее между грунтом и кладкой пространство, домкратами щита запрессовывается специальный слой

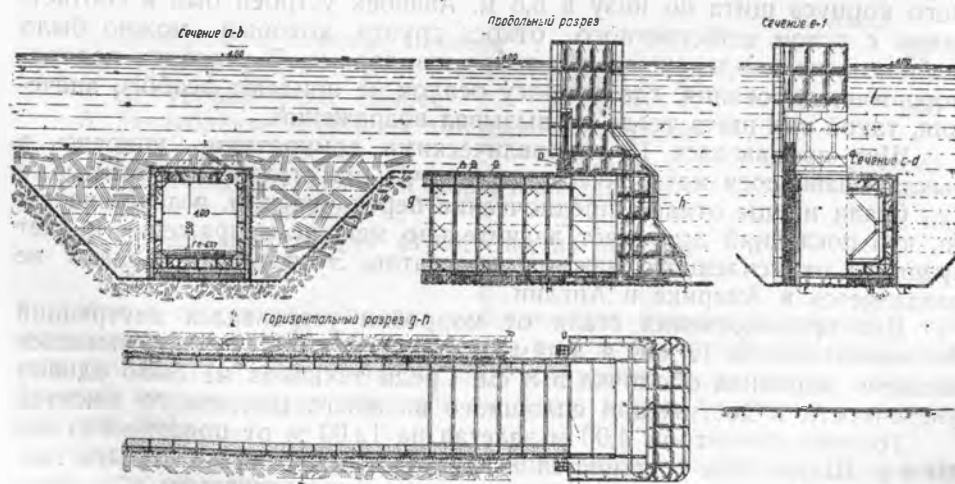


Рис. 305. Проходка тоннеля в воде по дну реки кессонированным щитом шахтой с обратным аванбеком.

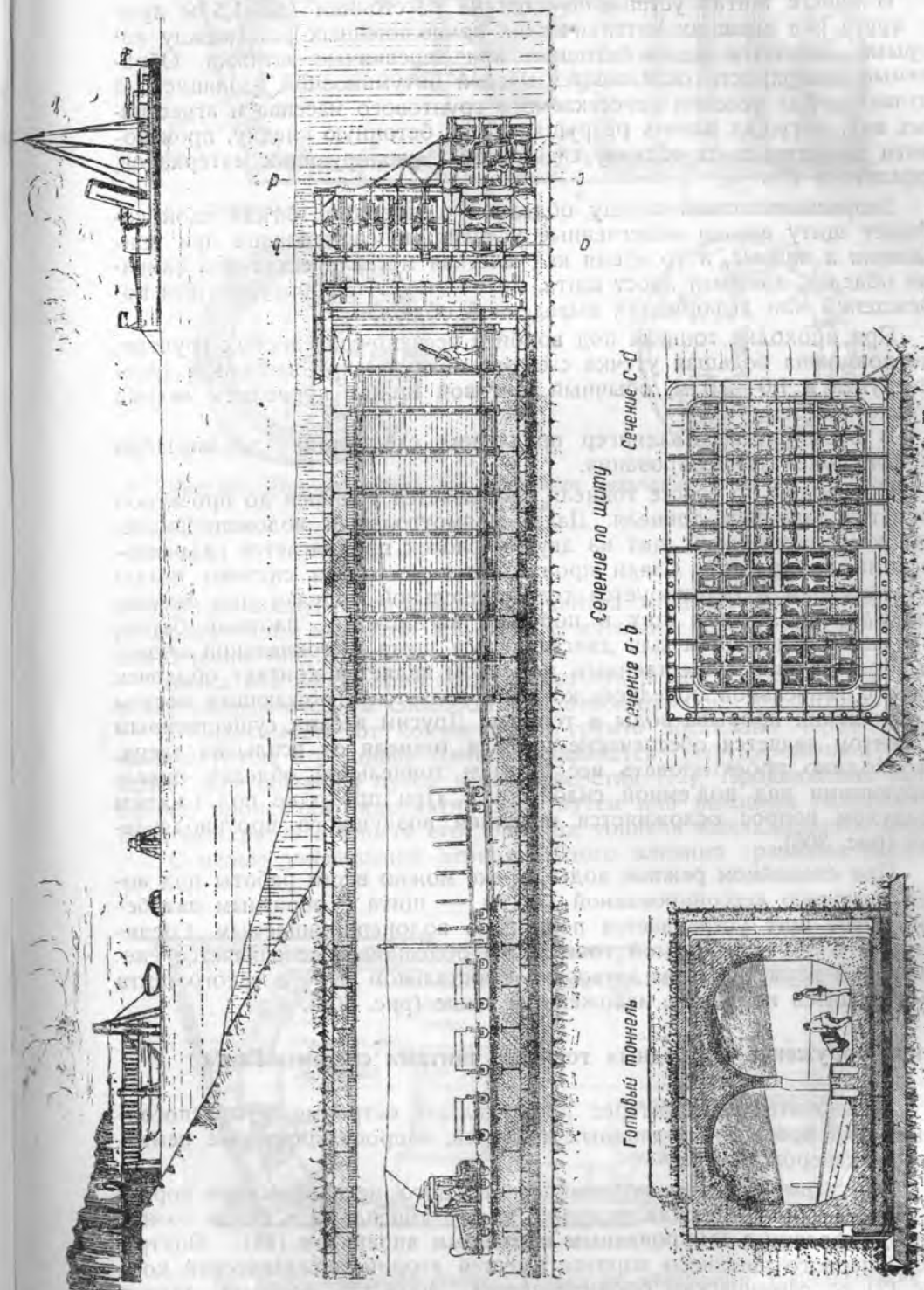


Рис. 306. Прокладка двухпутного подводного тоннеля кессонированным щитом Халлингера.

глины или бетона. Этим слоем ослабляется влияние движущихся домкратов на целостность кладки, а с другой стороны локаризируются осадки грунта, которые могут распространяться до поверхности.

В хвосте щита устанавливается на расстоянии 1,0—1,5 м друг от друга ряд внешних металлических криволинейных рам, между которыми заводятся железобетонные или деревянные затяжки. Образованные поверхности оклеиваются мягкой битуминозной изоляцией. В случае особых условий пересекаемого грунтового массива и агрессивных вод, могущих влиять разрушающе на бетонную кладку, производится запрессовка за обделку специальных изолирующих материалов, асфальта и т. п.

Запрессовываемый между обделкой и породой мягкий слой сообщает щиту весьма облегченные условия маневрирования при вписывании в кривые, в то время как жесткая металлическая или каменная обделка, зажимая хвост щита, препятствует повороту его без повреждений или деформаций выведенной обделки.

При проходке тоннеля под водой в песчано-гравелистых грунтах, где возможна большая утечка сжатого воздуха, при защитной кровле грунта в 1,0—2,0 м, обычный щитовой прием проводить весьма трудно.

В этом случае Халлингер предложил следующий чрезвычайно смелый прием тоннелирования.

Под водой по трассе тоннеля прорывается траншея до проектной отметки подошвы тоннеля. Далее прямоугольный водонепроницаемый кессонированный щит из двух оболочек продвигается гидравлическими домкратами. Сзади производится установка системы металлических рам и бетонируется тело тоннельной обделки при оклеечной изоляции. Через щит в подошву нагнетается плотный бетон, служащий основанием длядвигающегося щита и тоннельной обделки. Чрезвычайно существенным моментом является контакт оболочек щита с тоннельной обделкой, который является угрожающим местом в отношении прорыва воды в тоннель. Другим весьма существенным моментом является обеспечение щита и тоннеля от всплытия вверх. Необходимо проектировать вес щита и тоннельной обделки преваляющими над подъемной силой воды. При проходке под сжатым воздухом вопрос осложняется наличием воздушного противодействия (рис. 306).

При спокойном режиме воды в реке можно вести работы под водой помощью кессонированной шахты — щита с обратным аванбеком. Этот щит устраивается полностью водонепроницаемым. Соединение его с укладываемой тоннельной обделкой обеспечивается специальным герметическим затвором. В остальной работа такого щита производится порядком, изложенным выше (рис. 305).

в) Сооружение подводных тоннелей щитами системы Гаага

Исключительный интерес представляют остроумные приспособления для проходки подводных тоннелей, запроектированные немецким инженером Гаагом.

Щит Гаага состоит из мощного двойного металлического корпуса (1), имеющего впереди режущий нож с консолями и сзади солидную диафрагму с замурованным шлюзовым аппаратом (14). Внутри этого первого внешнего корпуса имеется второй металлический корпус (2) со сферическим бронированным лбом (2), который может

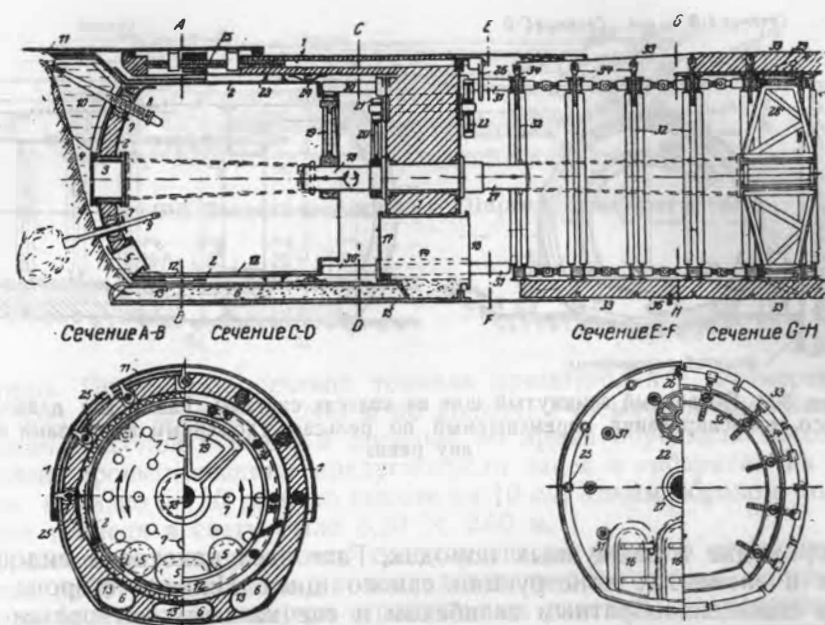


Рис. 307. Щитовой снаряд для прокладки подводных тоннелей системы Гаага.

вращаться вокруг продольной оси центра тоннеля. Для исключения поворота обоих корпусов при работе, внешний корпус имеет некруглое сечение (рис. 307).

Атака лба забоя происходит через отверстие в сферической оболочке гидравлическим способом или отбойными инструментами.

В зависимости от консистенции грунта последний через специальные трубы в подошве щита (6) удаляется рефулированием через шлюз, или обычным путем через отверстия (12). Продвижение щита вперед происходит пневматическим путем или нажимом гидравлических домкратов в хвосте его. Обделка тоннеля выкладывается сзади.

С целью уменьшения отрицательного влияния размыва породы

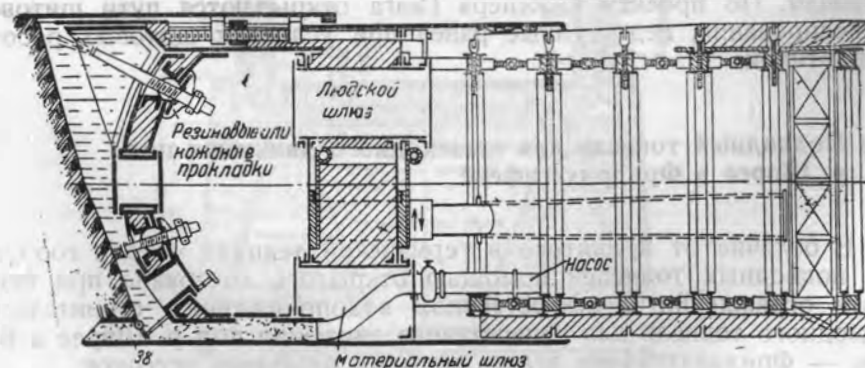


Рис. 308. Кессонированный щитовой снаряд для подводного тоннелирования системы Гаага, оборудованный людским шлюзом и рефулером.

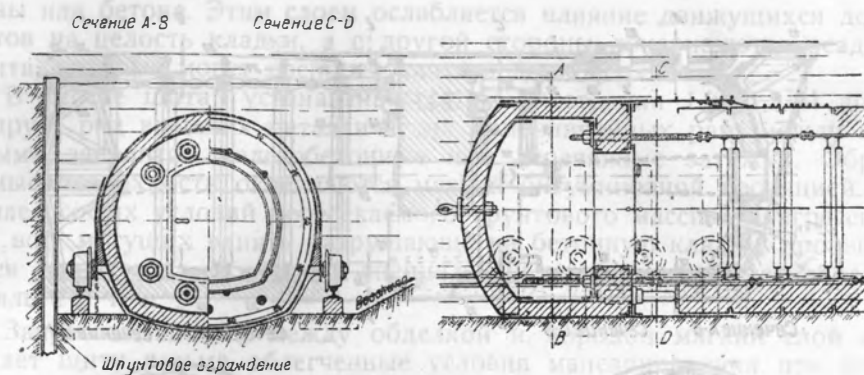


Рис. 309. Подводный замкнутый щит на колесах системы Гаага для подводного тоннелирования, перемещаемый по рельсам, уложенным водолазы по дну реки.

при проходке в плавунных породах, Гааг ввел некоторое видоизменение в элементах конструкции самого щита. Нижняя сторона оболочки снабжена обратным аванбеком и специальным затворным приспособлением, уничтожающим подмыв под щитом. В этом случае щит не имеет вращательного движения вокруг центральной оси.

Для проходки тоннелей через насыщенные водой пласты по дну протоков инженером Гааг запроектирован подвижной замкнутый щит на колесах. Для этого щита предварительно землечерпанием подготавливается ложе по трассе прокладываемого тоннеля. Водлазы укладывают путь на продольных железобетонных прогонах. Затем под нажимом домкратов по готовому пути начинают катить замкнутый со всех сторон щит, вес которого должен быть больше подъемной силы воды. Сзади щита производится немедленная укладка тоннельной обделки (рис. 309).

При системе Гаага обслуживание рабочими механического щитового снаряда для прокладки тоннелей сводится к минимуму, или вовсе исключается. Рабочие выводятся за пределы щита уже в готовую часть тоннеля. Таким путем представляется возможность прокладывать тоннели на больших глубинах, при значительном гидростатическом напоре, уравнивание которого сжатым воздухом потребовало бы давления, которого не в состоянии выдержать человеческий организм. По проекту инженера Гаага открываются пути щитового тоннелирования, недоступные ранее при условиях щитовых работ с пневматикой.

г) Подводный тоннель для пешеходного движения под р. Шпрее в Фридрихсгафене

В отличие от принятого в германской технике метода сооружения подводных тоннелей помощью открытого котлована при шпунтовом ограждении и искусственном водопонижении строительство подводного тоннеля для пешеходного движения под р. Шпрее в Берлине — Фридрихсгафене велось методом опускных кессонов.

Общая длина этого подводного тоннеля 120 м, из которых 19,80 м и 20,10 м падают на порталные части тоннеля содержащие

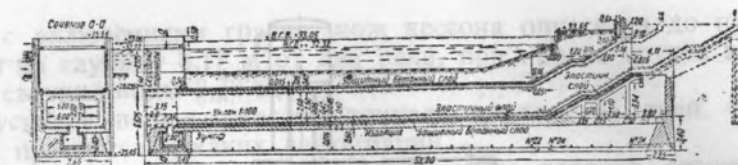


Рис. 310. Тоннель-кессон под р. Шпрее у Фридрихсгафена.

лестницы. Поперечное сечение тоннеля прямоугольное, размерами в свету 5,00 м по ширине и 2,50 м по высоте. Учитывая возможные отклонения кессонов в плане и профиле во время опускания кессонов-тоннелей, проектировщики предусмотрели запас в габаритах на смещение в плане на 20 см и по высоте на 10 см. Таким образом полное сечение тоннеля в свету было $5,20 \times 2,60$ м.

Требование непрерывности судоходства по реке во время производства работ отразилось на последовательности этапов постройки. Тоннель был разделен на три строительных участка: два кессона-тоннеля и один островной участок. Длина каждого кессона-тоннеля была 52,0 м при ширине 7,65 м. Подобное соотношение 1 : 6,9 является чрезмерным и обычно связано с неравномерными осадками и деформациями конструкций. Однако опускание этого тоннеля-кессона, площадью в 405 м², производившееся с исключительной тщательностью, выявило прогиб железобетонной конструкции кессона лишь до 1 см, что не имело практического значения. Конструкция кессона была

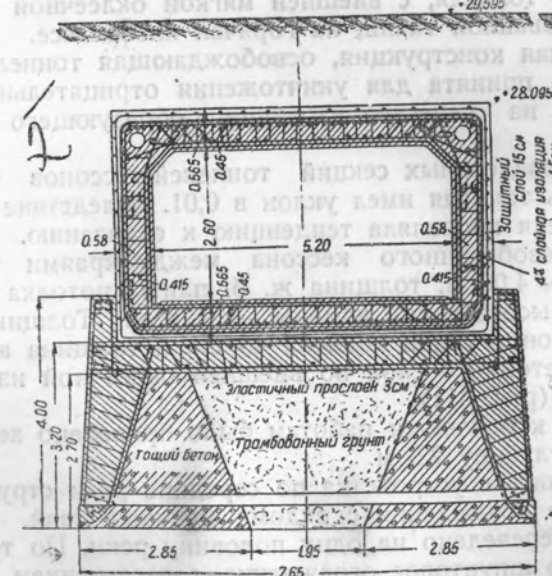


Рис. 311. Поперечное сечение железобетонной конструкции тоннеля-кессона.

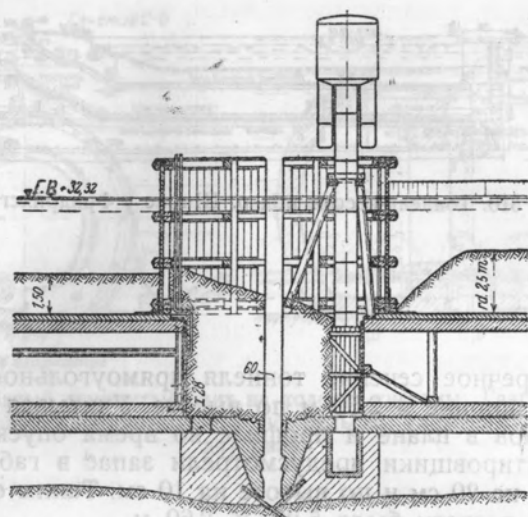


Рис. 312. Нагнетание бетона под давлением в месте соединения обоих опущенных кессонов-тоннелей.

усилена постановкой системы поперечных жестких диафрагм из двутавровых металлических балок.

Береговые части тоннеля, включавшие лестницы по 6,95 м, были устроены открытым способом помощью искусственного водопонижения.

Примененные кессоны-тоннели представляли собой совершенно самостоятельные элементы. Над железобетонной конструкцией рабочей камеры кессона была сверху возведена самостоятельная раздельная конструкция тоннеля, с внешней мягкой оклеечной изоляцией в 4 слоя гидронированной ткани, на горячей клеемассе.

Эта раздельная конструкция, освобождающая тоннель от сжатого воздуха была принята для уничтожения отрицательного влияния сжатого воздуха на качество изоляции, образующего в ней сеть игольчатых пор.

Опускание раздельных секций тоннелей-кессонов осложнялось тем, что профиль тоннеля имел уклон в 0,01. Вследствие этого замкнутая рама тоннеля проявляла тенденцию к сползанию.

Ширина железобетонного кессона между краями ножа была 7,65 м, высота — 4,00 м, толщина ж. б. плиты потолка рабочей камеры — 50 см, высота самой камеры — 2,70 м. Толщина железобетонной рамной конструкции тоннеля 45 см, а толщина армированного, защитного, бетонного слоя по внешней оклеечной изоляции тоннеля была 15 см (рис. 311).

До приступа к основным работам было проведено землечерпание по дну реки на глубину 2,5 м.

Работы начались с устройства по середине реки струенаправляющего шпунтового ограждения с рядом маячных свай. Судходное движение было переведено на одну половину реки. По трассе тоннеля было устроено шпунтовое ограждение, с расстоянием между стенками в 13,65 м. Далее было приступлено к опусканию кессона-тоннеля при двух шлюзовых аппаратах, расположенных ближе к концам каждого кессона. По пересечении неоднородно залегающих слоев

глины, с включениями гравия, нож кессона опустился до проектной отметки на глубину 8,17 м от дна реки, при кровле грунта в 1,5 м и высоте стояния воды 2,78 м.

Опускание первого кессона-тоннеля длилось 35 дней. Сам тоннель не претерпел никаких деформаций.

Следующим этапом явилось ограждение второго строительного участка и пропуск воды и судходного движения над опущенным тоннелем. Работы по опусканию 2-го тоннеля-кессона велись аналогично опусканию первого. Продолжительность сооружения и опускания каждого тоннеля-кессона была 90 дней.

Одним из ответственных моментов явилось стыкование тоннелей-кессонов. Для него было устроено шпунтовое ограждение по длине тоннеля, в 7,90 м. Заделка отверстий изоляцией и бетоном с добавлением «трикозоля» была произведена водолазами (рис. 312). Два раза имели место порывы воды, но все же тоннель был закончен полностью в течение 11 месяцев.

ОТДЕЛ II МЕТРОПОЛИТЕН ГАМБУРГА

§ 1. Общие данные

К сооружению метро в Гамбурге было приступлено в 1906 г. Первая линия от Бланкензее на Ослдорф протяжением 17,5 км была открыта в 1912 г.; к 1915 г. было дополнительно построено еще 10,5 км. В 1919 г. были начаты работы по сооружению линии «Лангенорн» длиной 7,73 км и «Вальддерфер» — в 28,21 км. К 1926 г. общая сеть Гамбургского метро была доведена до 64,12 км. 70% этой сети надземные линии на эстакадах, насыпях, выемках, а 30% подземные.

Метрополитен в Гамбурге в основном построен по типу Берлинского, хотя основные элементы технических условий проектирования в обоих метро несколько различны.

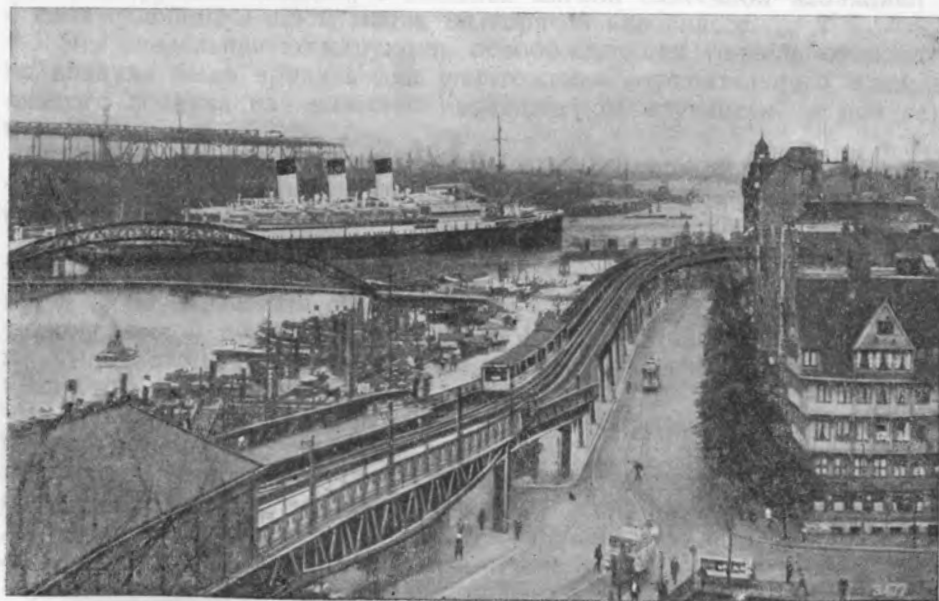


Рис. 313. Вид Гамбургского надземного метрополитена.



Рис. 314. Схема линий Гамбургского метрополитена.

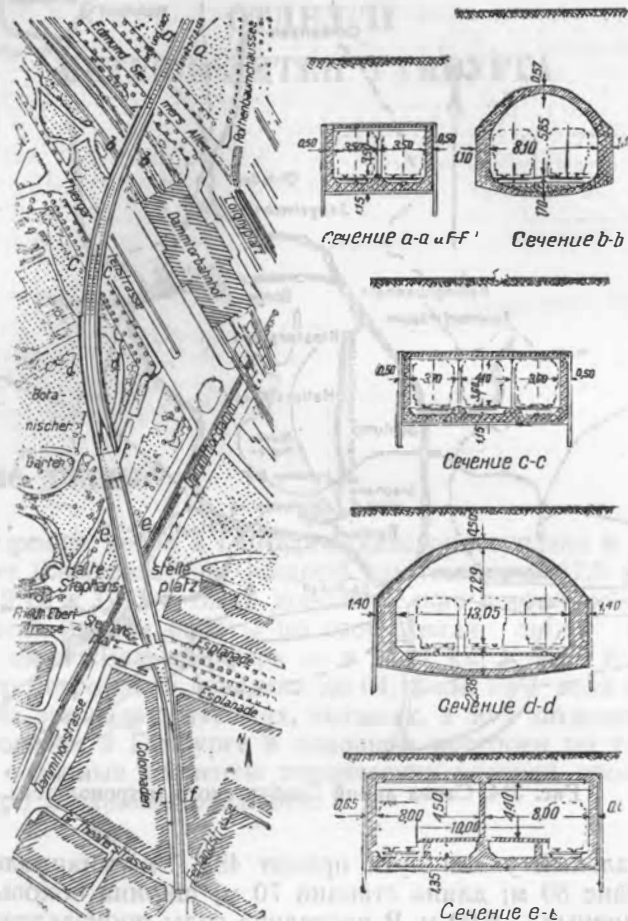
Максимальный уклон пути принят $48,3 \text{ ‰}$, минимальный радиус кривой в плане 80 м; длина станций 70 м; ширина боковых платформ 3,5 м, а островных — 6,00 м. В последние годы произведены работы по удлинению станций с 70 м до 108 м.

Метрополитен в открытых выемках трассирован так, что при застройке данного района имеется возможность без особых затруднений пути метро заключить в тоннели.

Грунты Гамбурга представляют весьма неоднородные напластования. Под культурными насыпями залегают глины, суглинки, мергеля, песчано-гравелистые грунты, насыщенные водой. В районах поймы реки Эльбы и канала Альстер выклиниваются грунты плавунного характера.

Чрезвычайно интересным в техническом отношении явилось сооружение линий метро от Кэллингхуэштрассе до Юнгфернштик, начатое в 1926 г. Работы здесь велись преимущественно открытым путем. Или закрывалась улица для движения, которое переводилось на параллельную улицу, или котлован перекрывался временными мостами для пропуска автомобильного и трамвайного движения. Во всех случаях обеспечивалось удобство и непрерывность пешеходного движения. Только участок длиной в 62 м, проходящий непосредственно под железнодорожными путями Даммтор, строился закрытым, тоннельным способом.

Раскрытие котлованов производилось обычным берлинским способом, с забивкой свай, из двутавровых балок с применением искусственного водопонижения.



Трасса

Рис. 315. Трасса и поперечные сечения тоннелей Гамбургского метрополитена у станции Стефанплатц.

Раскрытие профиля производилось с забоя. Выемка породы — грейфером, емкостью от 0,8 — 1,25 м³, который перемещался по краевой балке, имевшей рельсовые пути, уложенные по бровкам котлована. Грейфер передавал породу на установленные вслед транспортеры, откуда она поступала в поезда, перемещавшиеся электровозом. Емкость вагонов поезда была 5 м³ (рис. 318).

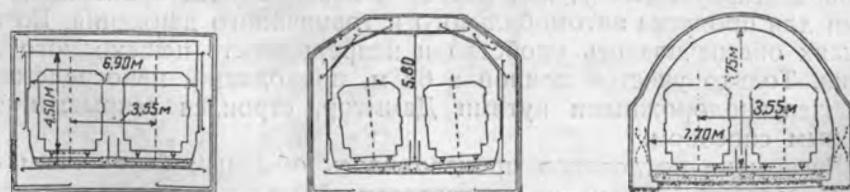


Рис. 316. Поперечные сечения тоннелей Гамбургского метрополитена.

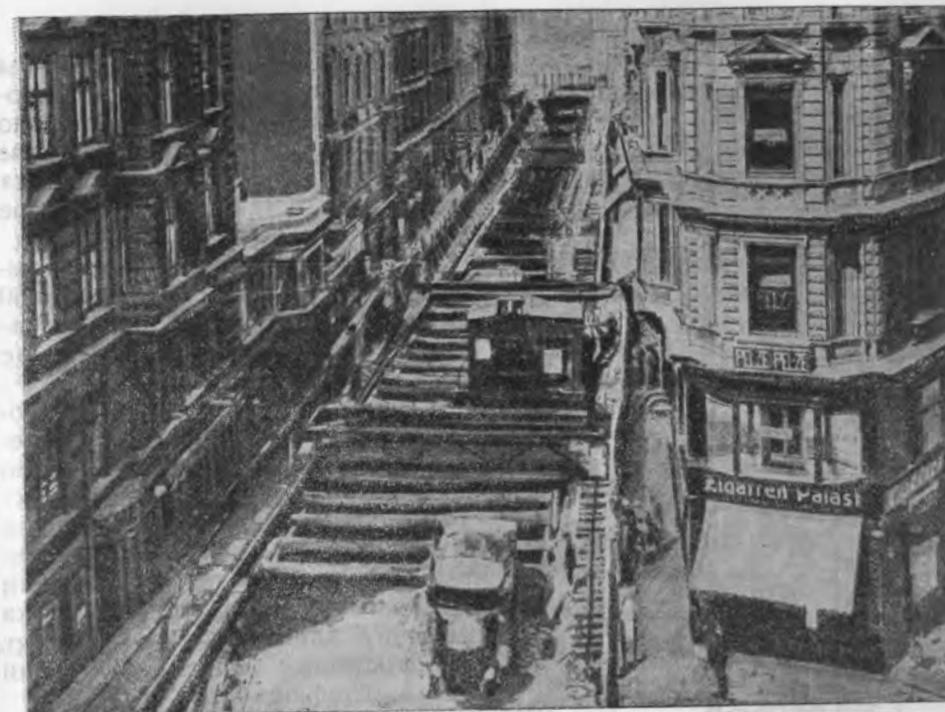


Рис. 317. Сооружение двухпутного тоннеля Гамбургского метрополитена открытым способом при полном закрытии уличного движения.

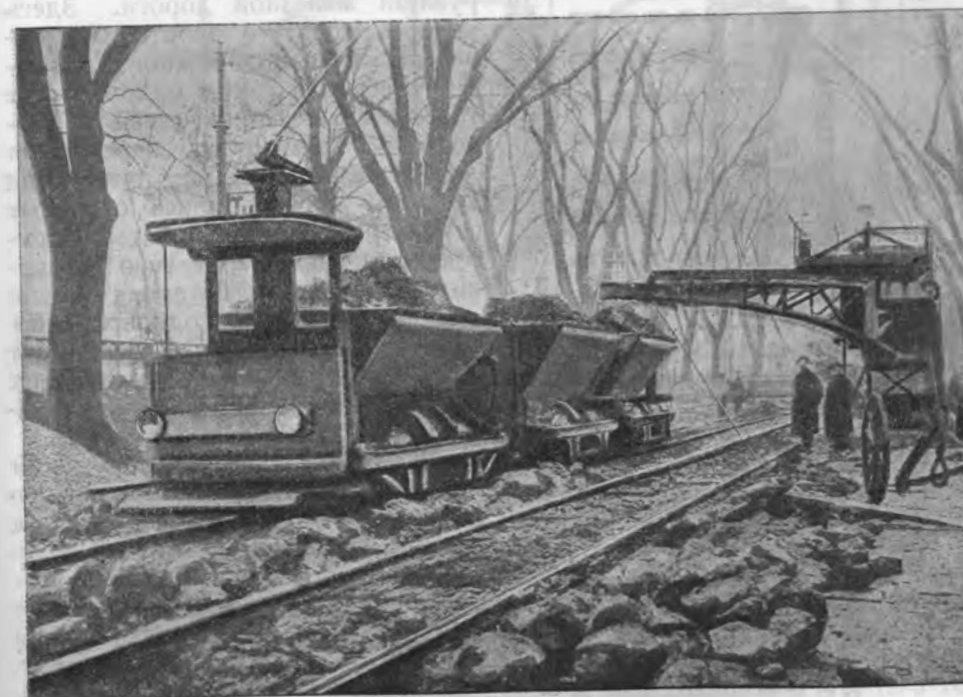


Рис. 318. Погрузка породы в электровозный поезд.

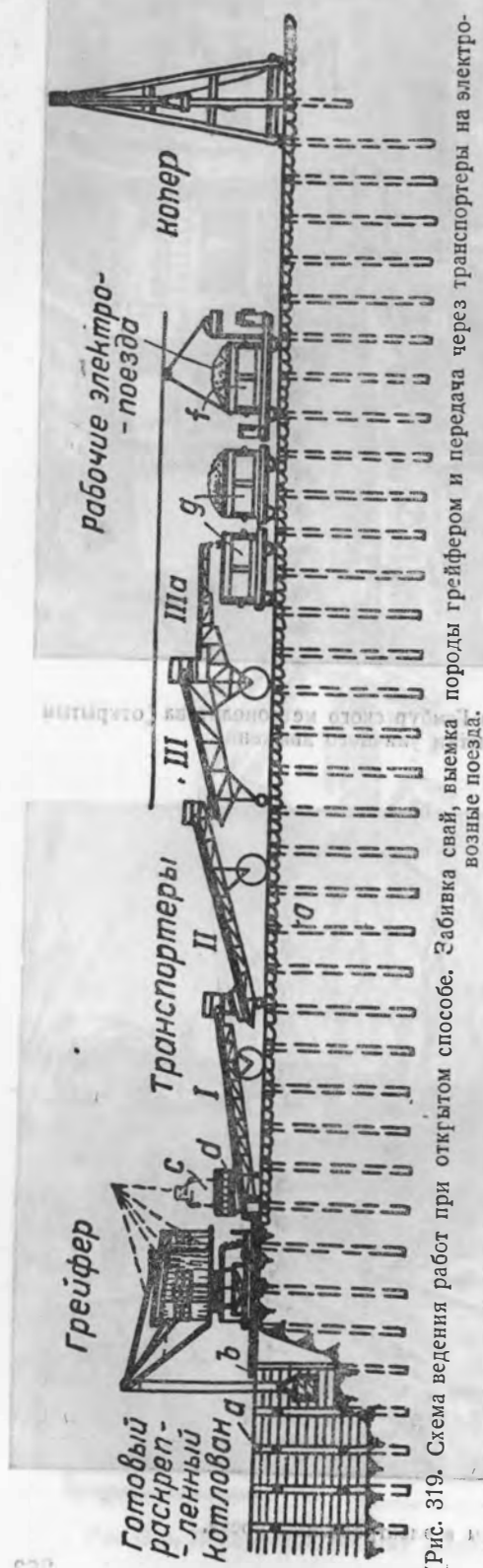


Рис. 319. Схема ведения работ при открытом способе. Забивка свай, выемка породы грейфером и передача через транспортеры на электропоезда.

Все строительные механизмы работали на электрической энергии, благодаря чему значительно снизился шум при производстве работ, чему в условиях города всегда надо придавать большое значение.

Северный участок протяжением 160 м построен в течение 60 дней. Южный участок протяжением 90 м был закончен в течение 50 дней.

Работы на этих участках производились при закрытии движения, которое было пропущено по параллельной улице. Это и явилось одной из причин высоких темпов работ. Темпы работ значительно снизились при сооружении временных мостов для пропуска уличного движения, как например, при постройке подземной станции метро «Стефанплатц».

Заслуживает внимания сооружение тоннеля на участке, зажатом между многоэтажными домами и насыпью путей Гамбургской окружной железной дороги. Здесь удалось провести работы без перерыва железнодорожного движения. Работали так: в одном отсеке трассы вели забивку свай и устройство временного перекрытия для железнодорожных путей, под которым производились основные земляные, бетонные работы; в другом отсеке предварительно в траншее возводилась бетонная стенка обделки, которая одновременно была использована как фундамент для подкосов, поддерживающих вертикальную стену раскрытой насыпи (рис. 320).

Исключительно интересными явились работы по сооружению 62-метрового участка тоннеля под самими железнодорожными путями «Даммтор». Особенностью этого тоннеля явилось устройство внешней оклеечной изоляции при подземном способе ведения работ.

Фронт работ был открыт из рабочей шахты южной стороны на сыпи. Горизонтальная проходка из шахты велась по германской трех-

штольной системе опорного ядра. Предварительно были пройдены крайние штольни нижнего горизонта, включающие стены. Между штендерами возводилась защитная бетонная стенка «шущванд», которая оклеивалась гудронированным картоном на горячей клеемассе. Далее укладывался защитный бетонный слой и основные бетонные стены тоннельной обделки, после чего проходила верхняя центральная штольня. По продвижению лба ее забоя на 30 м раскрывалась калотта (рис. 322).

Для устройства внешней оклеечной изоляции свода, которую чрезвычайно трудно уложить при обычных приемах тоннелирования был принят метод раскрытия калоттного профиля избыточного сечения. После расширения калотты устанавливались кружала и укладывался свод из клинкера, опиравшийся в пятах на возведенные в бо-

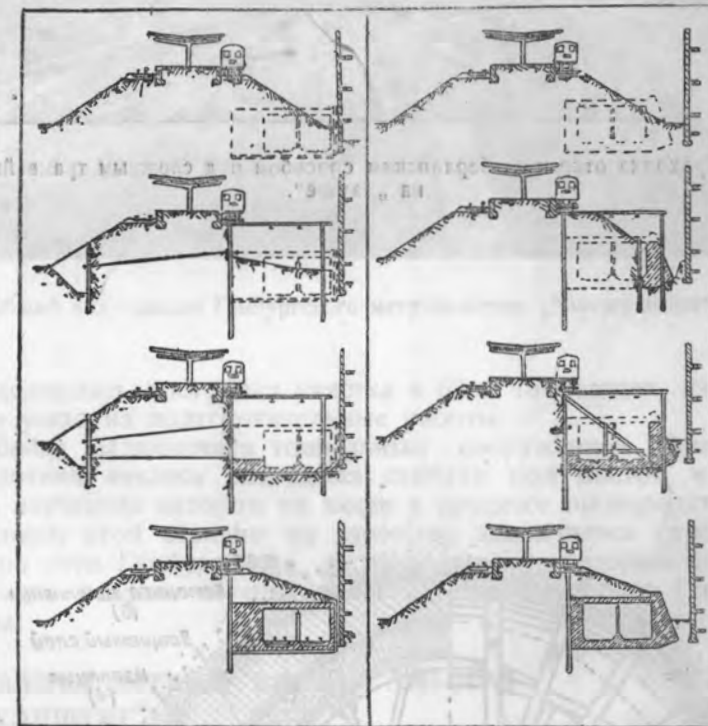


Рис. 320. Последовательные этапы сооружения двухпутного тоннеля метро вблизи домов и жел.-дор. насыпи без перерыва ж.-д. движения.

ковых штольнях стены. Благодаря избыточному профилю в 1,20 м и было возможно произвести оклейку изоляцией внешней поверхности свода. Остаточное пространство заполняли тощим бетоном.

Следующим этапом явились выборка земляного ядра и устройство обратного свода. Все работы производились в сухих условиях, при искусственном понижении горизонта грунтовых вод.

Описанный метод можно оправдать лишь на коротком участке. При значительном же протяжении в условиях нарастающего горного давления он сопряжен с риском. Избыточный профиль удорожает земляные и бетонные тоннельные работы.



Рис. 321. Проходка открытым берлинским способом под сложным трамвайным узлом на „Хаузее“.

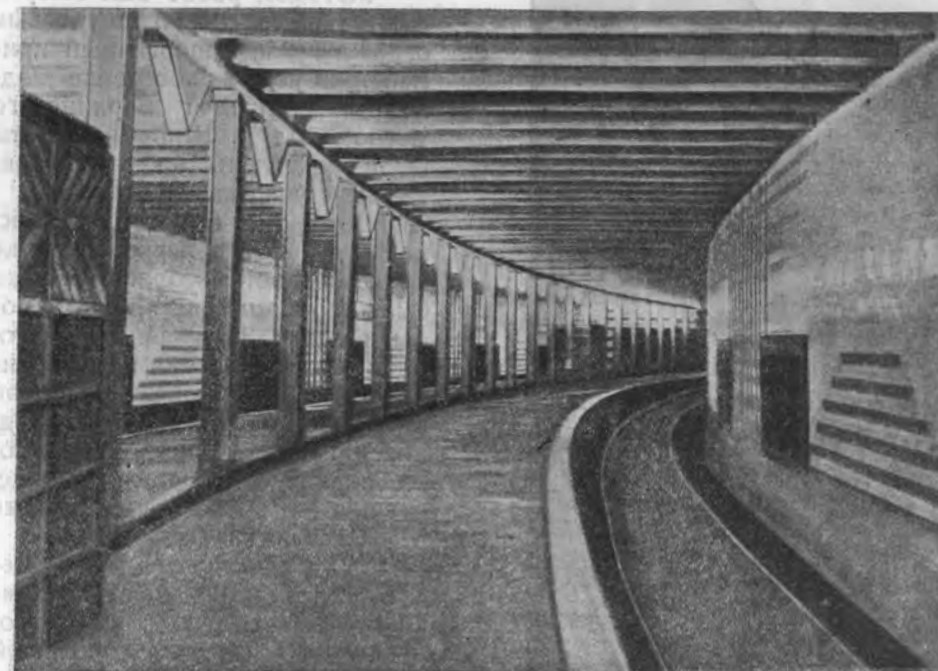


Рис. 323. Общий вид станции Гамбургского метрополитена „Клостерштерн“ на кривой.

Продолжалась постройка участка в 62 м 15 месяцев, из которых 3 месяца ушло на подготовительные работы.

Наиболее выдающимся тоннельным сооружением Гамбургского метрополитена явилась подземная станция под мостом и каналом Альстер, изученная автором на месте в процессе производства работ. Сооружением этой станции по существу закончились строительные работы по сети Гамбургского метрополитена, который в условиях фашистского режима потерял значение, ввиду резкого городского движения.

§ 2. Станция метро у канала Альстер „Юнгфернштитг“

Подземная станция Гамбургского метро «Юнгфернштитг» расположена под мостом Розендамбрюке через канал Альстер.

Мост этот пятипролетный, каменный, постройки 1834/44 г., с шириной проезжей части до 80 м. Каменные быки и устои моста основаны на деревянных сваях. Глубина заложения подошвы тоннеля равна в среднем 11,5 м от поверхности мостовой. Тоннель станции — железобетонный, рамной конструкции.

Станция имеет островную платформу со средним рядом колонн. На небольшом участке станция расположена в 3,5—4 м от шестиэтажных домов.

Перед строителями тоннеля городом было поставлено неременное условие обеспечения во время работ непрерывности как движения судов по каналу Альстер, так и трамвайного и уличного движения через мост.

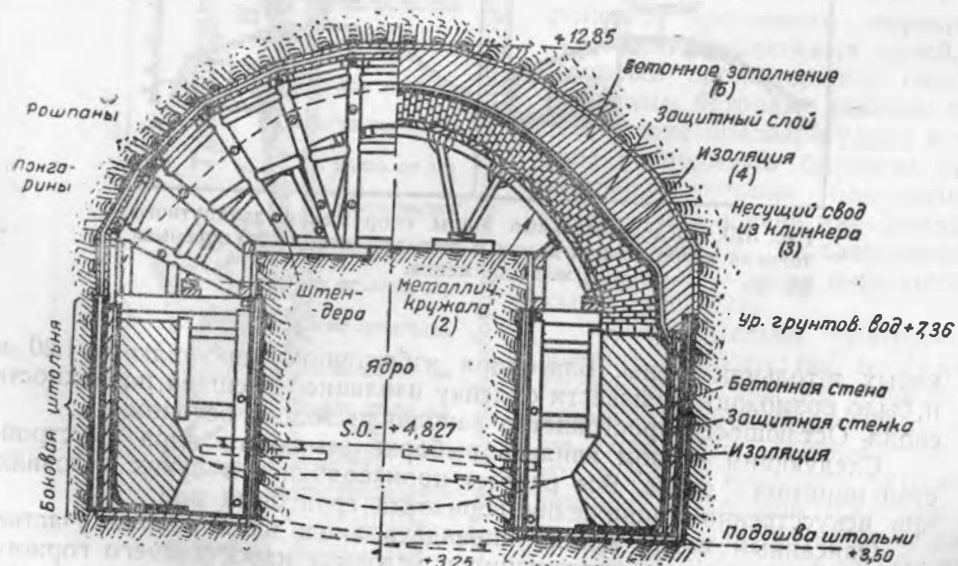


Рис. 322. Способ сооружения тоннеля под ж.-д. путями у Даммтор с внешней склеечной изоляцией.

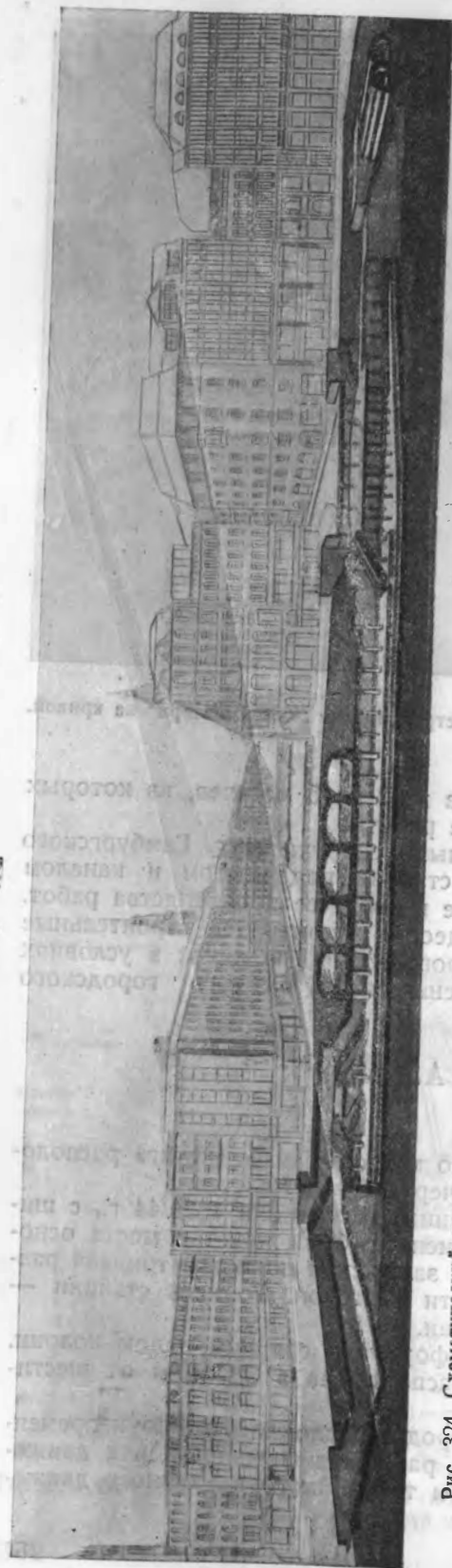


Рис. 324. Схематический разрез станции „Юнгфернштиг“ Гамбургского метрополитена, сооруженной под мостом через канал Альстер.

Методом работ был выбран открытый способ со шпунтовым ограждением, аналогичный примененному при постройке подводных тоннелей Берлинского метро под р. Шпрее. Работы были разделены на два строительных участка.

Во время производства основных работ в первом участке пролеты моста второго участка были свободны для пропуска воды и судов. Трамвайное и автомобильное движение производилось по оставшейся широкой проезжей части моста. Пешеходное движение шло по обходному временному мостику на деревянных сваях через малый Альстер (рис. 325).

До начала работ были переложены сооружения подземного хозяйства по узкой полосе моста у грани тоннельной стенки. Потребовалась перекладка дюкера и заложеного вблизи домов коллектора.

Далее было приступлено к ломке части моста по контуру расположения тоннеля станции. Ломка сводов производилась при строжайшем соблюдении очередности по пролетам. Учитывались условия уравновешенности распоров существующей конструкции моста. Всегда оставались свободными два пролета для пропуска судов под мостом. Затем были убраны часть быков по ширине вырезаемой полосы моста. Разборка производилась взрывами и пневматическим инструментом, причем камень сбрасывался непосредственно в подведенные барки. На участке нерабочих двух пролетов располагались подсобные складочные помещения и оборудование.

По окончании этих работ было приступлено к забивке металлических шпунтовых ограждений первого участка, охватывавшего три пролета моста.

Геологические напластования здесь представлялись следующими: непосредственно под насыпью — илистые пески, под ними

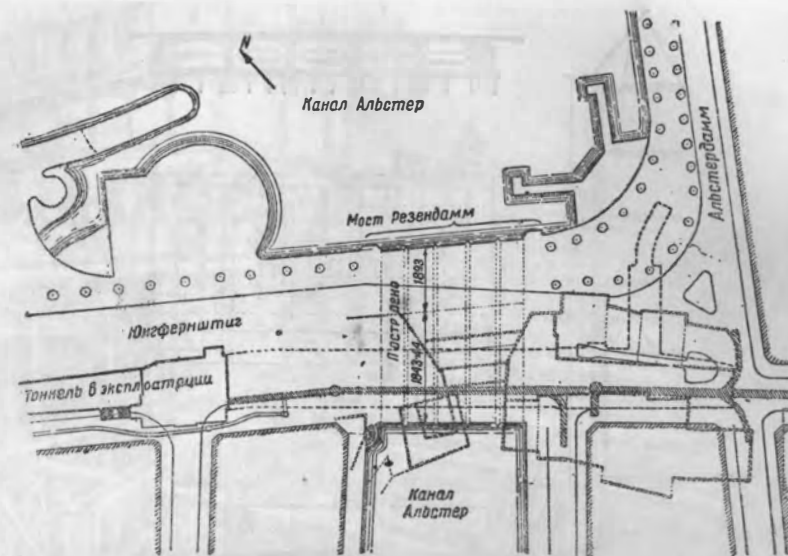


Рис. 325. План расположения станции „Юнгфернштиг“ под каналом Альстер (шунктиром показан контур шпунта).

перемежающиеся между собой выклинивания торфа и глины с включением равнотернистых песков, насыщенных водой. Под этими грунтами находился слой мергеля.

Металлические шпунты системы Ларсен, Круппа и Хош забивались пневматическим молотом, весом 390 кг. В одном месте, где шпунт натолкнулся на старый деревянный ростверк, пришлось применить копер с бабой, весом в 3 тонны. При забивке шпунта вблизи домов применялся свайный молот «Деаг», весом в 3 тонны с 240 ударами в минуту.

Для устройства перемычки, необходимой для осушения огражденных пролетов моста, забивался двойной ряд 10-см деревянных шпунтов с заполнением глиной. Шпунт забивался в мергель и выступал на поверхность самого высокого уровня вод Альстера. Длина шпунта была от 14,5 до 16,5 м.

Выемка породы производилась помощью грейфера, перемещавшегося по бровке котлована. Последний, шириной в 17 м и глубиной в 11,5 м, раскреплялся двумя рядами металлических растрелов с расстоянием по высоте в 4,5 м. Вес каждого растрела — около 3 тонн. Устанавливались они краном грузоподъемностью в 4 тонны, перемещавшимся по крановой балке (рис. 326 б и 324).

Особенно большие трудности представляла разработка насыпного грунта с деревянными ростверками. Здесь деревянные сваи подрезали, а не выдергивали, так как опасались устремления через образуемые таким образом отверстия напорной воды.

Для осушения котлована было применено искусственное понижение грунтовых вод. В каждом котловане было заложено до 14 водопонижающих колодцев. Трубы диаметром 150 мм входили в мергель на 4 м. Гравийный фильтр был диаметром 300 мм. Дебит воды был от 15 до 25 л/сек.

Во время производства работ, когда профиль котлована уже был раскрыт примерно на 7,00 м, он прорывом воды был затоплен до уровня стояния воды Альстера. Причиной прорыва оказалось расхож-

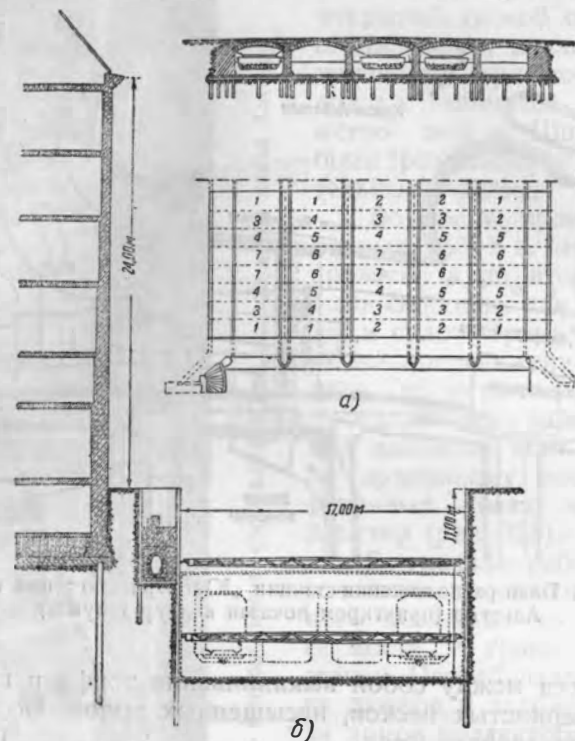


Рис. 326—327.

- а) Очередность разборки существующих арок моста из условия уравниваемости их расстанов.
б) Раскрытый котлован на металлических растрелах вблизи 6-этажного дома.

дение шпунтов на отметке напластования — прослойки торфа и линзы илистого песка и образование воронки. Для ликвидации аварии был забит оградительный металлический шпунт у места расхождения основных шпунтин. Затем водолазы произвели заполнение воронки мешками бетона. Часть торфа и нарушенного грунта между старым и новым шпунтом были удалены и заменены песком, который утрамбовывался при поливке воды сверху. Затем была произведена силикатизация — химическое закрепление песчаного заполнения между шпунтового пространства. Эти работы по ликвидации аварии продолжались две недели. Откачка воды из заполненного котлована была проведена в течение двух суток.

Бетонные и железобетонные работы велись помощью бетононасоса, производительностью в 20 м^3 бетона в час, при трубопроводе 150 мм.

Изоляция тоннеля устроена четырехслойной, из гудронированного толя на горячей клеемассе, по защитной кирпичной стенке.

После устройства перекрытия тоннеля станции велись работы по сооружению железобетонных быков и пролетного строения моста. Тоннель подземной станции и мост представляют общую железобетонную конструкцию.

Тоннельные галлерей и подземные подходы к станции строились также открытым путем. Для подземных переходов предварительно

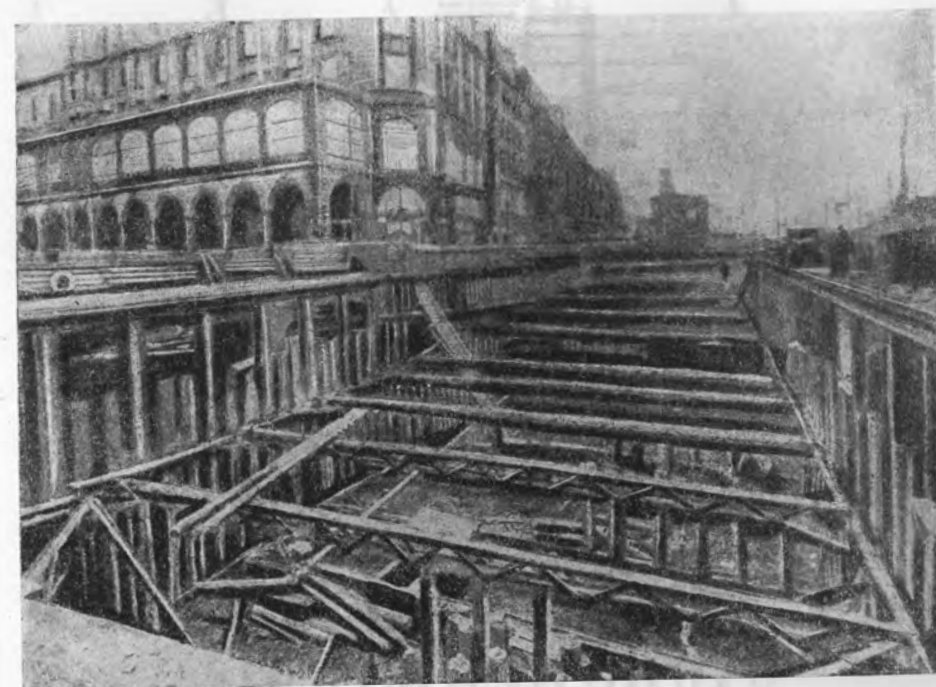


Рис. 328. Производство работ в открытом котловане при металлических растрелах.

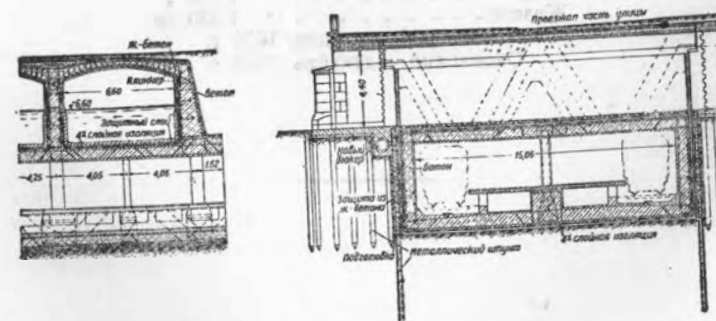


Рис. 329. Железобетонная конструкция сопряжения моста и тоннеля станции «Юнгфранштиг» через канал Альстер.

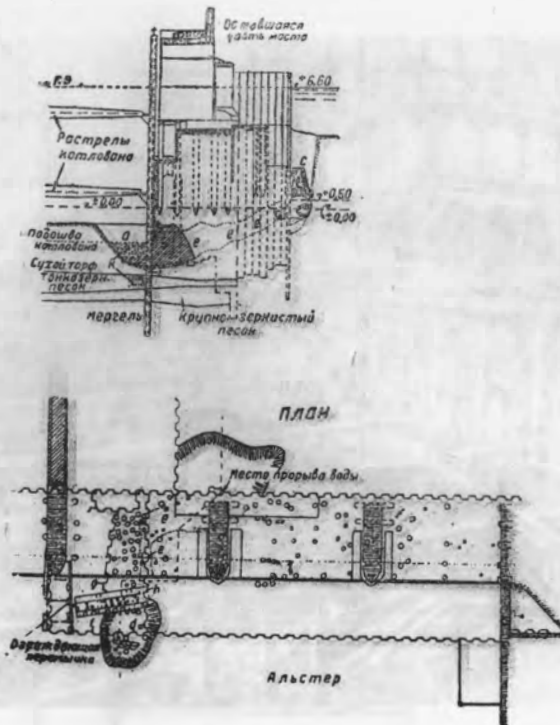


Рис. 330—331. Сечение и план открытого котлована у моста. Показано место прорыва, заделанного водолазами химическим способом.

раскрывались траншеи глубиной в 3,00 м, удалялись мешающие части старых фундаментов домов и из траншей производилась забивка двутавровых свай через 2,00 м на глубину 4,00 м ниже подошвы траншей. Затем работы продолжались обычным берлинским открытым способом.

Объем работ характеризуется следующими показателями расхода материалов.

Камня	300 000 м³
Гравия	14 200 „
Цементы	3 250 „
Леса	1 300 „
Железа	1 330 тн

Начало работ — июнь 1931 г.
Окончание — декабрь 1933 г.

С О О Р У Ж Е Н И Е Т О Н Н Е Л Е Й СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ОТДЕЛ I АНГЛИЙСКАЯ ТОННЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

§ 1. Проходка тоннеля Холливел

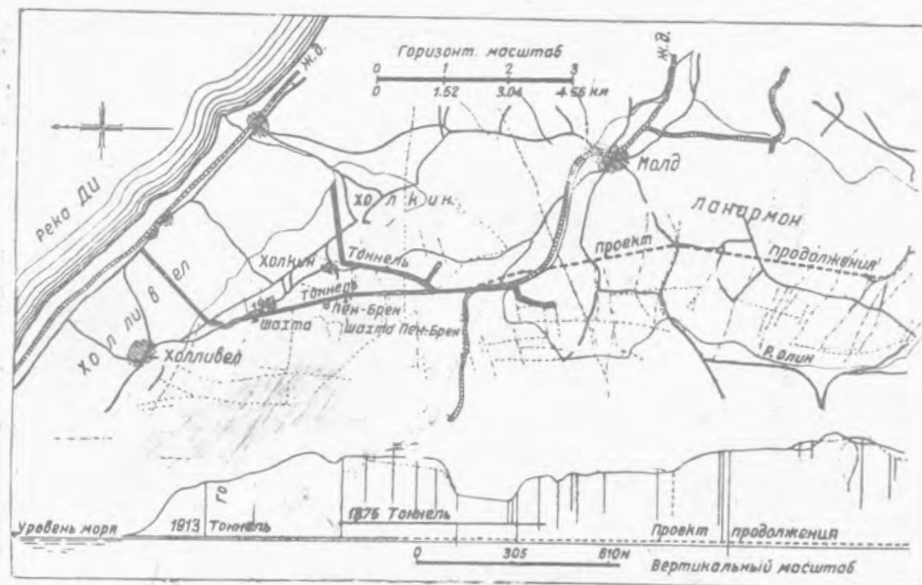
Тоннель Холливел, предназначенный для осушения массива богатейших, свинцовых разработок «Холкин Юнайтед Майнс», заложен на глубине от 150 до 245 м от поверхности земли. При изучении автором производства тоннельных работ в 1933 г. забой продвинулся на протяжении 6,1 км от оси шахты. Общая длина тоннеля по проекту около 9,6 км.

Нормальный дебит воды в тоннеле доходит от 90.000 литров до 135.000 литров в час. Вода из тоннеля поступает в реку Багелт, у которой устроена водоочистительная станция, питающая прилегающие поселки и фабрики.

Шахта «Пен-Брен» сечением $2,13 \times 2,74$ м глубиной в 245 м на 15,0 м сверху пройдена в сланцах и закреплена кирпичной обделкой. Остальные 230 м пройдены в известняках без креплений.

Сам тоннель с уклоном 1° проходит в известняках с значительным коэффициентом крепости в основном без крепления. Там, где встречаются выклинивания и линзы песков, проявляющие горное давление, и обнаруживаются местные вывалы и т. д., производится усиленное металлическое крепление.

Последнее состоит из металлических рам, поставленных через 0,75 м со шпунтованными металлическими затяжками, полностью закрывающими борта и кровлю выработки. Поперечное сечение тоннеля при ширине в 3,04 м и высоте профиля в свету 2,44 м содержит



План и профиль Холливелдского тоннеля.

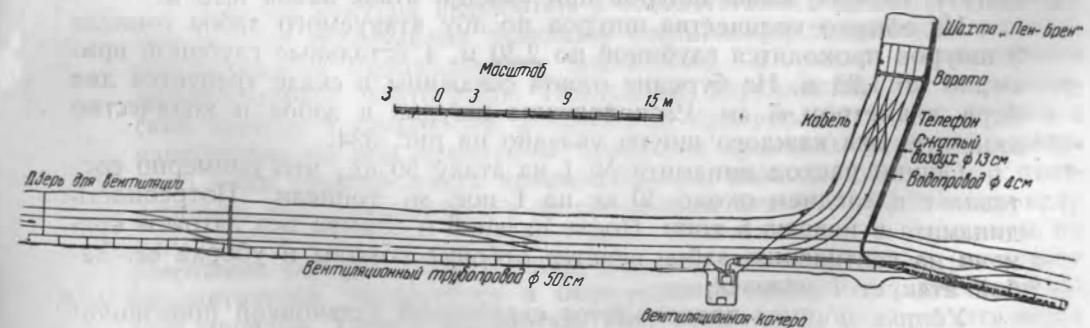


Рис. 332. Расположение шахты „Пен-Брен“ Холливелдского тоннеля.

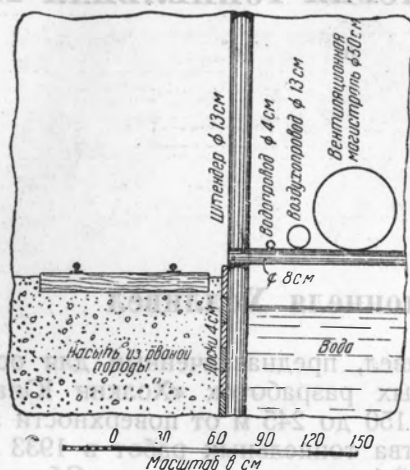


Рис. 333. Поперечное сечение Холливелского тоннеля.

канаву размерами $1,40 \times 0,75$ м. Значительные размеры канавы вызваны большим притоком вод, поступающих в выработки, который внезапно доходит иногда до 67 000 литров в минуту.

В сечении тоннеля уложен путь шириной колеи 60 см, по которому производится подземная откатка рабочих поездов аккумуляторными электровозами, мощностью 20 тонн. Скорость движения поездов 9 км в час. Разъезды устраиваются через 400—450 м.

Кроме того в сечении тоннеля размещаются: 50-см вентиляционная воздушная труба, через которую вытягивается до 115 м^3 воздуха в минуту, магистраль для подачи сжатого воздуха в 9 атмосфер, водопроводная труба и телефонный провод. Освещение работ — карбидными лампами.

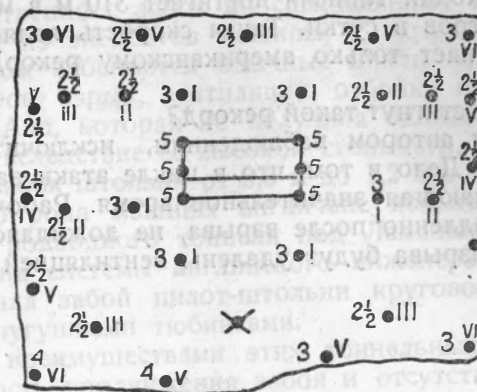
Атака забоя производится двумя или тремя буровыми инструментами С-17 Ингерсоль Рэнд, установленными на общей горизонтальной распорной колонке.

Средняя продолжительность процесса бурения 36 шпуров — 2 часа 18 минут. Минимальная продолжительность процесса бурения 36 шпуров — 1 час 30 минут. Средняя скорость бурения 60—75 см. в минуту. Полная длина шпуров при каждой атаке забоя 8,23 м.

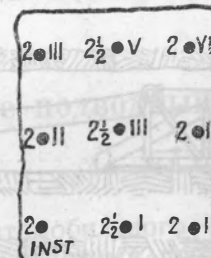
Из общего количества шпуров по лбу атакуемого забоя тоннеля 8 шпуров проходятся глубиной по 2,30 м, а остальные глубиной примерно по 1,93 м. На бурение одной скважины в скале требуется два бура диаметром 5 см. Расположение шпуров в забое и количество динамита для каждого шпура указано на рис. 334.

Общий расход динамита № 1 на атаку 59 кг., что примерно составляет в среднем около 30 кг на 1 пог. м тоннеля. Потребность динамита в неделю 5 тонн. После паления и взрыва без затраты времени на вентиляцию забоя ведется отбойка породы и уборка ее. Забой атакует 7 человек.

Уборка породы производится скреперной установкой производительностью 80 вагонеток в час (рис. 335).



Лоб забоя



План канавы

Рис. 334. Размещение шпуров в забое тоннеля и канаве. Римскими цифрами показаны номера одновременно взрывааемых зарядов. Арабскими цифрами показано количество динамита в фунтах. Расход динамита на 1 атаку 130 фунтов (59 кг).

Для обеспечения непрерывной подачи вагонеток под погрузку к скреперной платформе у забоя имеется тупик, рассчитанный на 40 порожних вагонеток. Порожняя вагонетка снимается с тупика под погрузку по железным листам.

Проверка контура выработки в соответствии с проектным профилем ведется англичанами помощью специальной подвижной тележки, оборудованной необходимыми шаблонами, а также применением металлического пантографа. Последний укрепляется лист бумаги с нанесенным на нем проектным профилем прокладываемого тоннельного хода. Прибор имеет приспособление, позволяющее строго центрировать его в соответствии со снимаемым сечением. Если вести иглу пантографа с прикрепленным к концу металлическим шариком по очертанию поверхности выломки данного сечения, то на планшете автоматически вычертится в определенном масштабе действительный профиль данной выработки. При этом сразу обнаружатся места и величины недобора и перебора породы сечения. Прибор позволяет весьма быстро проводить необходимые измерения.

Скорость проходки тоннеля достигает 310 м в месяц, что составляет около 10 метров в сутки. Такая скорость является для Европы рекордной и уступает только американскому рекорду — 12 метров в сутки.

За счет чего достигнут такой рекорд?

По сделанным автором наблюдениям, исключительно за счет здоровья рабочих. Дело в том, что в цикле атаки забоя исключается вентиляция, отнимающая значительное время. Рабочего заставляют идти в забой немедленно после взрыва, не дожидаясь пока вредные газы и продукты взрыва будут удалены вентиляцией из забоя.

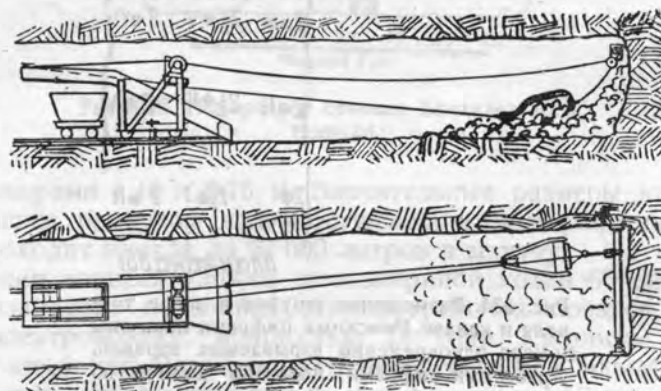


Рис. 335. Работа сулливановского скрепера в забое.

Угроза лютый безработицы заставляет рабочего за лишний шиллинг идти на чрезвычайно вредные условия подземного труда. При этом подземные круглосуточные работы в тоннеле производятся в 2 смены по 12 часов.

Организация работ поставлена безупречно: атака забоя производится по рассчитанным минутам в соответствии с установленным графиком.

Движение поездов подземной откатки производится по строгому расписанию. В части тоннеля от шахты «Пилити», где имеется 20% заполнение сечения водой, движение по тоннелю осуществляется помощью небольшого бота с прицепным мотором.

Стоимость прокладки 1 пог. фута Холливелского тоннеля — около 20 фунтов стерлингов.

Рекордные скорости проходки штолен в скальных грунтах достигаются американцами применением специальных тоннельных машин системы Апп. В головной части эта машина снабжена рядом пневматических молотков, дробящих породу и позволяющих вскрывать сечение по проектному очертанию. Размельченная порода под-

ается непосредственно с забоя по специальному транспортеру, составляющему один из элементов машины, к вагонеткам подземной откатки. При этом избегаются обычные циклы атаки забоя: бурение, закладка шпуров, взрыв, вентиляция, отбойка породы и т. п.

Машиной Апп, которая не получила однако значительного распространения, вследствие ее высокой стоимости, достигается скорость продвижения забоя штольни от 0,5 м до 1,2 м в час.

Подобного рода машины англичане испытывали при проходке пилот-штолен подводного тоннеля под Ламаншем (Дувр-Кале). Тоннельная машина системы английского инженера Инглиша пневматически пробивала забой пилот-штольни кругового сечения, которая закреплялась чугунными тубингами.

Особыми преимуществами этих тоннельных машин являются высокая скорость продвижения забоя и отсутствие взрывных работ, которые обычно вредно влияют на окружающую выработку породу, увеличивая горное давление.

§ 2. Самый большой в мире подводный тоннель под рекой Мерсей

Подводный тоннель для автомобильного движения, связывающий два крупных английских оживленных портовых города Ливерпуль и Биркенхэд под рекой Мерсей, состоит из главного тоннеля с выходами «Олд Хаймаркет» в Ливерпуле и «Честер» — в Биркенхэде и ответвлений на каждом берегу в «Нью Ки» и «Рендель».

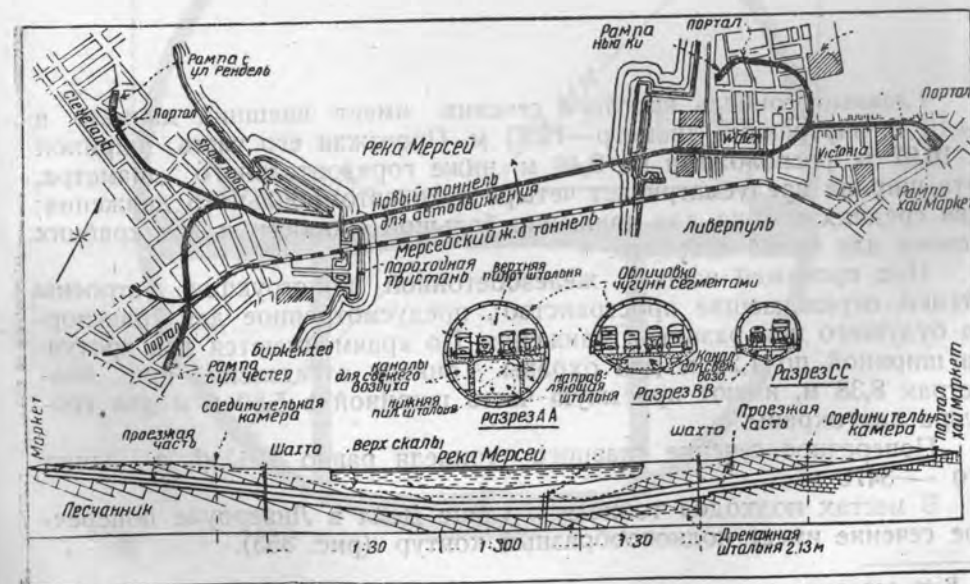


Рис. 336. Планы и разрезы подводного тоннеля под р. Мерсей с подходами.

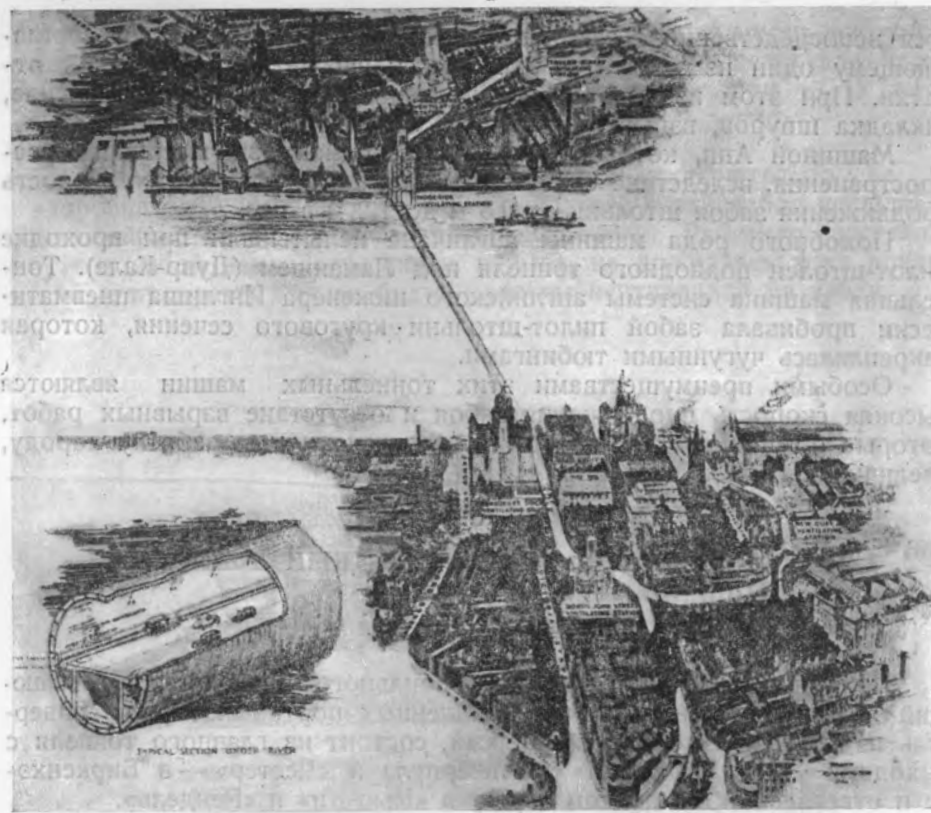


Рис. 337. Условный вид Мерсейского подводного тоннеля с ответвлениями.

Главный тоннель круглого сечения имеет внешний диаметр в 14,10 м, внутренний диаметр—13,41 м. Проезжая его часть, шириной в 10,97 м. расположена на 0,46 м. ниже горизонтального диаметра. Эта ширина предусматривает четыре пути автомобильного движения: два средних потока для движения большой скорости и два крайних потока для малой скорости.

Под проезжей частью железобетонной конструкции устроены стенки, ограждающие пространство¹, предусмотренное для транспорта будущего при развитии движения. По краям имеются два тротуара шириной по 1,20 м для охраны. Тоннели ответвлений при диаметрах 8,38 м, имеют проезжую часть шириной в 5,80 м и два тротуара для охраны.

Поперечное сечение главного тоннеля равно 156 м², а длина его — 3470 м.

В местах подходов тоннеля к улице Дейл в Ливерпуле поперечное сечение имеет подковообразный контур (рис. 353).

¹ Есть основания предполагать, что это пространство имеет значение обширного газозубежища для жителей Ливерпуля и Биркенхеда на случай воздушной атаки.

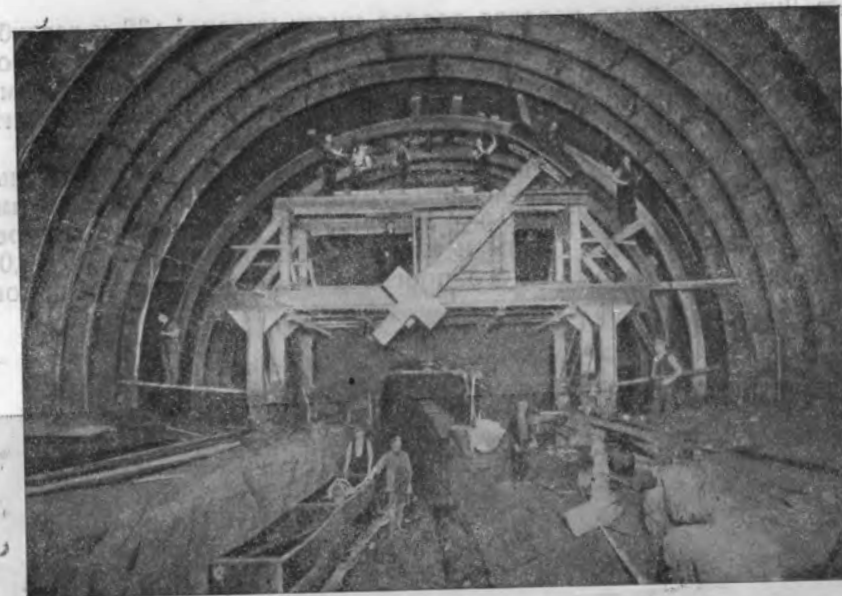


Рис. 338. Пневматический эректор при укладке тюбингов калоттной части тоннеля диаметром 13,41 м.

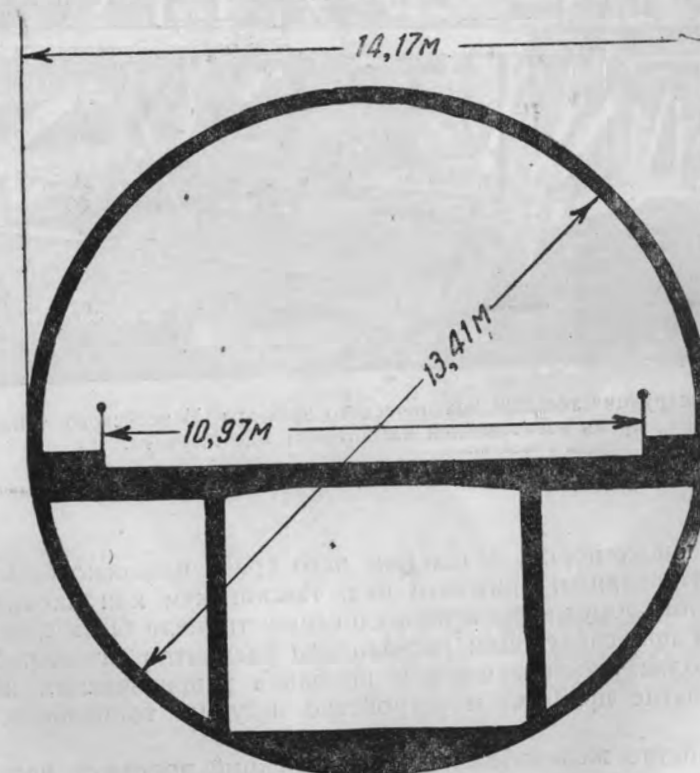


Рис. 339. Поперечное сечение главного тоннеля под рекой Мерсей.

От Ливерпульского портала дорога имеет уклон 1:30 и заглубляется от горизонта воды в реке на 45,7 м. Толщина кровли породы над шельгой свода тоннеля около 18,0 м. Под рекой тоннель имеет уклон 1:300 на протяжении 510 м и подъемом 1:30 выходит в Биркенхэд (рис. 336).

Бурение перед началом строительства показало, что тоннель в основном должен пересекать скальные грунты, красный песчаник, имея над шельгой свода около 9,0 — 10,5 м этой породы, до дна реки затянутых слоев гравия, глины и ила общей мощностью в 1,5—3,0 м. Данные гидрогеологического прогноза указывали на трещинова-

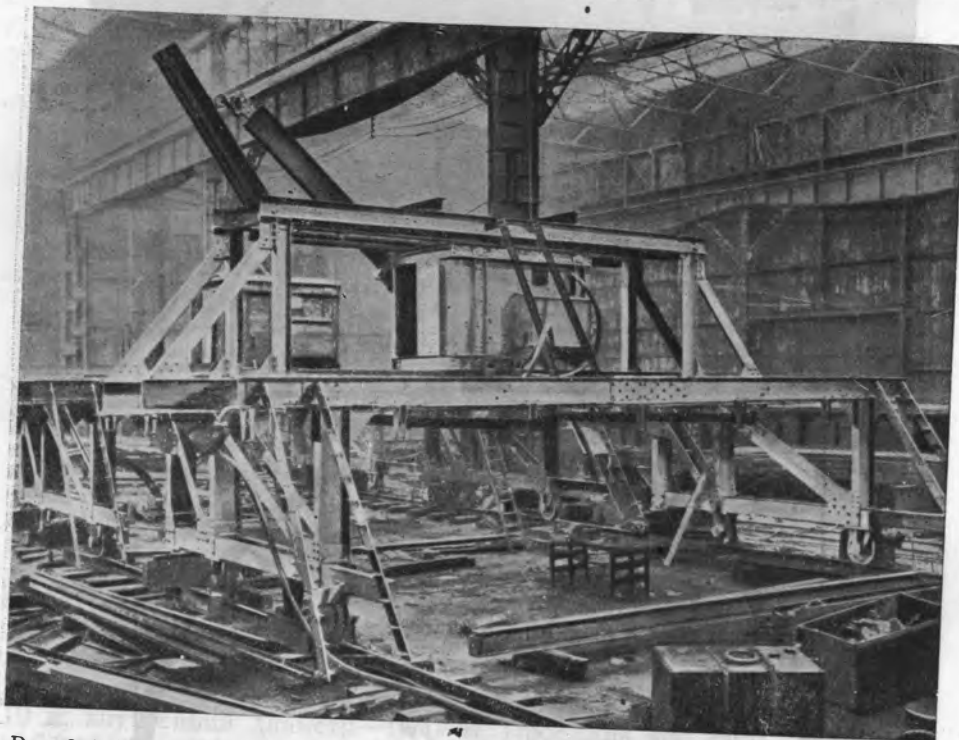


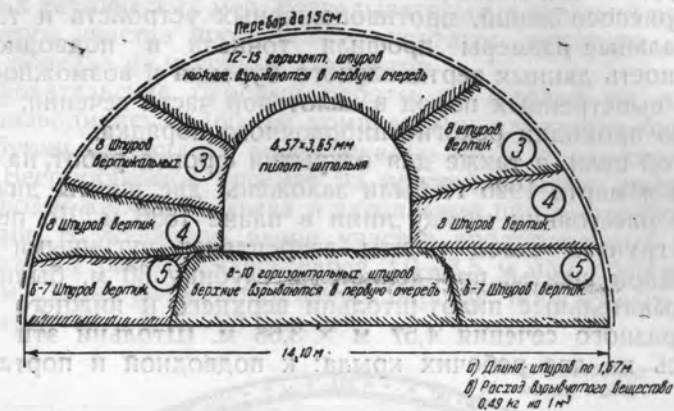
Рис. 340. Конструкция тележки механического эректора Мерсейского тоннеля во время изготовления на щитовом 3-де Маркхэм.

тость залегающих пород, вследствие чего сразу намечено было вести борьбу с интенсивным притоком вод, тампонажем или пневматикой.

Работы по сооружению и оборудованию тоннеля были сданы разным фирмам при следующем расчленении элементов самих работ:

- а) проходка рабочих шахт и пробивка направляющих штолен;
- б) раскрытие профиля и устройство несущих тоннельных обделок;
- в) устройство железобетонных конструкций проезжей части тоннелей;
- г) сооружение вентиляционных шахт, зданий и оборудование установок;

Количественное размещение шпуров в калоттном профиле



Расположение шпуров в пилот-штольне

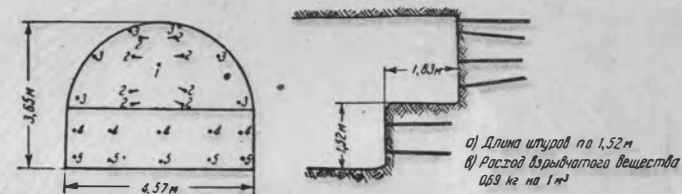


Рис. 341. Расположение шпуров при взрывных работах.



Рис. 342. Производство работ по обделке профиля ниже горизонтального диаметра в 13,41 м.

д) оборудование освещения, сигнализации, телефонов, автоматических приспособлений, противопожарных устройств и т. п.

Колоссальные размеры профиля тоннеля в подводной части, недостаточность данных вертикального бурения и возможность встречи слабых, выветренных пород в калоттной части сечения, — все это потребовало проходки рекогносцировочного порядка.

Для этой цели, а также для открытия фронта работ, на обоих берегах реки в марте 1926 г. были заложены две шахты диаметром в 6,50 м при расстоянии между ними в плане 1586 м. До пересечения скалистых грунтов ствол шахты закреплялся чугунными тубингами. Из каждой шахты, пройденной на глубину 60 м, были засечены две разведывательные пилот-штольни верхнего и нижнего горизонта подковообразного сечения 4,57 м \times 3,66 м. Штольни эти от шахты пробивались на два рабочих крыла: к подводной и портальной частям.

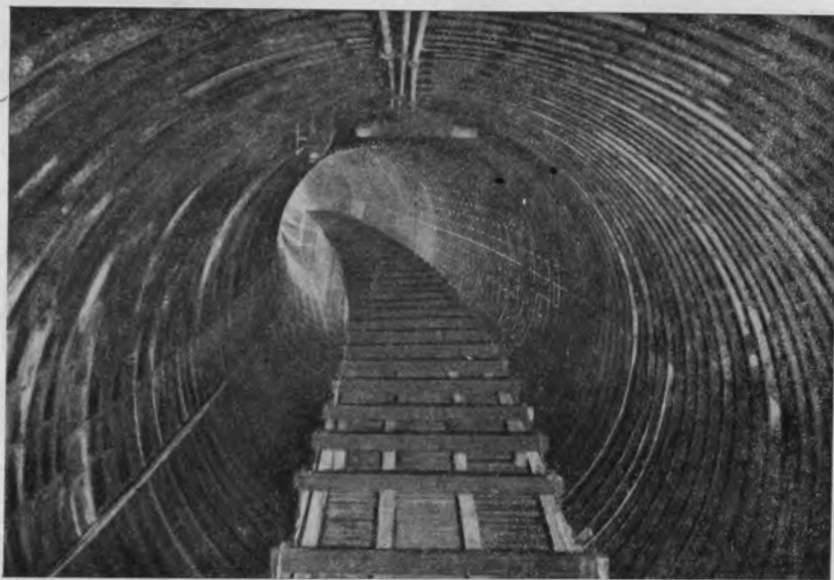


Рис. 343. Готовый вчерне, облицованный тубингами, главный Мерсейский тоннель.

Впереди продвигался забой нижней штольни и из него задавались передовые и веерообразные бурки по сечению раскрываемого профиля главного тоннеля. Вслед пробивалась пилот-штольня верхнего горизонта. Проходка эта в основном велась в красном песчанике без особых осложнений. Для предупреждения большого притока воды велись работы по тампонажу нагнетанием цементного раствора в трещиноватые породы. Для данного случая подводного тоннелирования при проектном положении подошвы тоннеля на 52 м ниже уровня моря сжатый воздух нельзя было применить для борьбы с гидростатическим давлением. С притоком воды, который все же, несмотря на тампонаж, поступал в разработки в количестве 16 300 литров в минуту, справлялись помощью водоотлива.

При проходке верхней штольни встретился участок выветренной скалы, прикрывавшей шельгу свода. Впоследствии работы на этом

участке производились с особой осторожностью и с принятием ряда специальных технических мер. Разведывательные штольни на всем протяжении этого участка проходились круглым сечением диаметром 3,56 м при обделке из чугунных сегментов.

Исследовательские буровые работы из штолен по диаметру в 14,3 м производились в 160 мм комплектами алмазного бурения. Передовые бурки задавались через каждые 40 м продвижения забоя штольни. Веерообразное бурение из нижней штольни вверх предупреждало возможность прорыва и затопления при продвижении верхней штольни. В указанном выше участке эродированных пород буровые скважины располагались через 3,0—3,5 м при общем протяжении 1 500 м. Длина разведывательных шпуров, пройденных из пилот-штолен, выразилась в 17 700 пог. м.

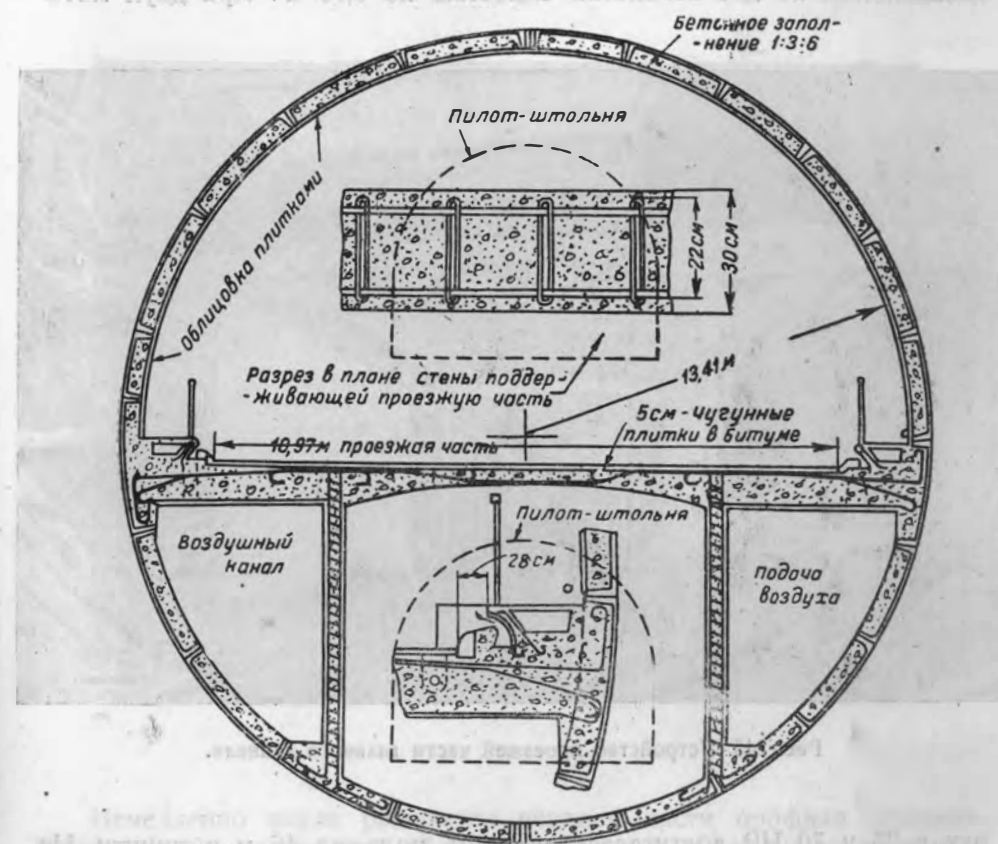


Рис. 344. Поперечное сечение Мерсейского подводного тоннеля круглого сечения 13,41 м.

В апреле 1928 г. произошла смычка направляющих штолен примерно под серединой реки. Расхождения между центрами штолен составляли 13 мм по горизонтали, 16 мм по вертикали и 22 м по пикетажу тоннеля.

Для тоннельных ответвлений бились штольни только нижнего горизонта.

С целью приобретения навыка в раскрытии огромного тоннельного сечения диаметром 14,10 м на стороне Биркенхэда до приступа

к основным работам был заложен опытный участок, на котором изучались приемы экскавации породы, укладки сегментов тоннельной обделки, нагнетания и т. п.

Сначала чугунные сегменты имели ширину по 46 см. В результате поставленных испытаний и монтажа тубингов на опытном участке была установлена оптимальная ширина сегмента в 61 см. Чугунная обделка сечения главного тоннеля была принята из 24 сегментов толщиной стенки в 38 мм при весе каждого в 900 кг.

Для развертывания фронта тоннельных работ были использованы в качестве рабочих шахты вентиляционных станций. Каждая рабочая шахта была оборудована тремя клетями размерами $4,88 \times 1,52$ м, вмещавшими по две вагонетки емкостью по $0,75 \text{ м}^3$. При двух мото-

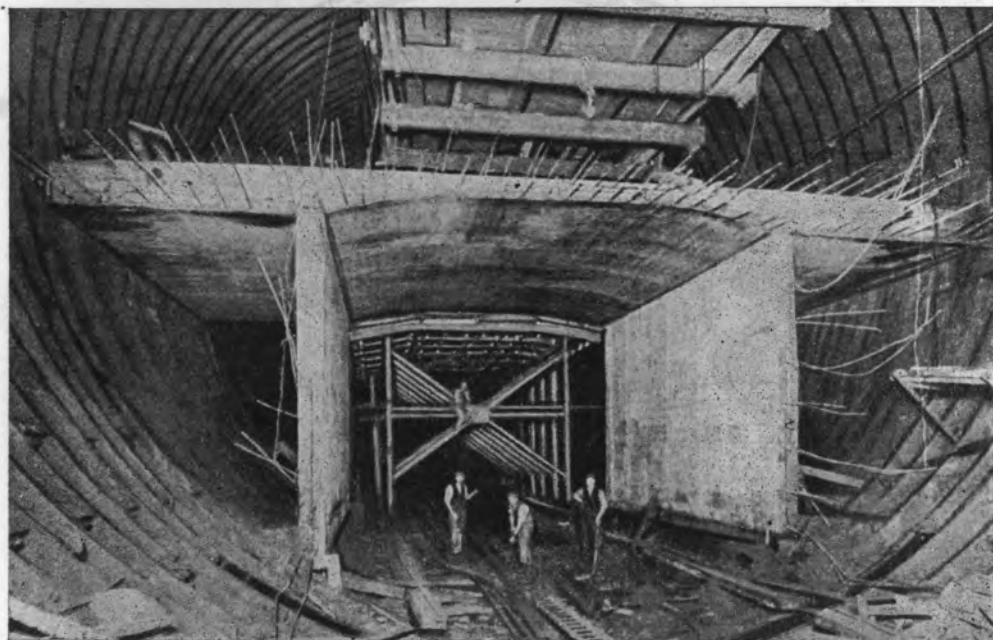


Рис. 345. Устройство проезжей части главного тоннеля.

рах в 25 и 70 НР достигалась скорость подъема 46 м в минуту. На поверхности были поставлены бункера емкостью в 300 м^3 .

Из бункеров грунт поступал непосредственно в подходявшие под ними баржи. Средняя выдача породы составляла до 550 м^3 в сутки.

Проходка подводной части тоннеля шла одновременно в нескольких местах. Сначала разрабатывался полностью верхний калоттный профиль. Число калотт на рабочем крыле при максимальном развитии достигало семи. Атака производилась взрывным способом. Шпурь проходились на глубину 1,20 м, и в каждый из них закладывался заряд взрывчатого вещества весом в 1,2 кг. Средний расход взрывчатых веществ на 1 м^3 породы составлял 0,74 кг. Большие куски породы, загромождавшие после взрыва забой, для удобства транспорти-

ровки разбивались пневматическими инструментами. Откатка породы велась по пилот-штольням, игравшим уже роль транспортных штолен, специальными электропоездами.

Для осушения тоннельных разработок были пробиты дренажные штольни сечением 2,13 м с 2‰ уклоном от середины реки к шахтам. Пройдены они были на 58 м ниже горизонта р. Мерсей и на 6,0 м ниже самой низкой отметки подошвы тоннельных выработок. При такой системе вода из дренажных штолен поступала в зумпф шахты, откуда удалялась насосами. Каждая шахта была оборудована шестью глубинными насосами производительностью в 3800 литров в минуту. Дебит вод из разработок доходил, как указывалось выше, до 16 300 литров в минуту.

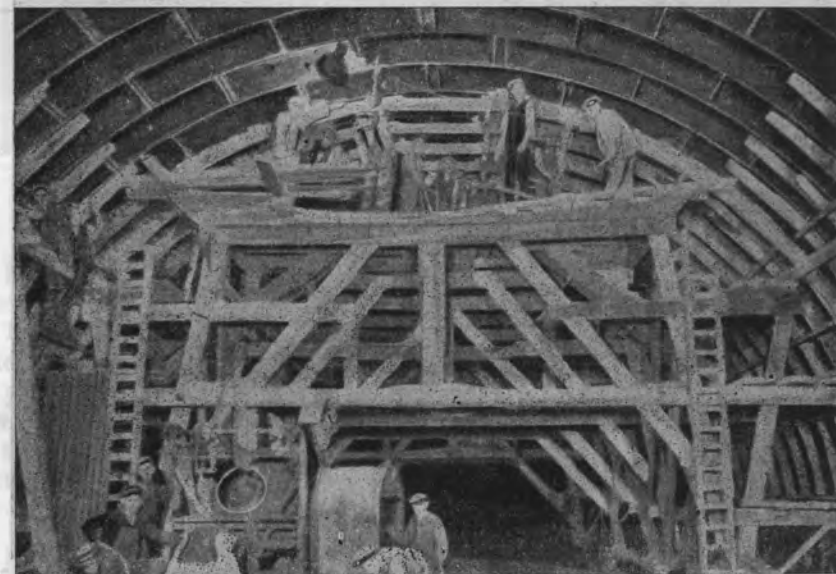


Рис. 346. Установка опалубки для заполнения чугунных сегментов бетонном тоннеле на стороне Биркенхэда.

Немедленно после раскрытия верхней части профиля производился монтаж полукольца обделки из чугунных сегментов помощью эректора специального типа. Сам эректор с телескопической стрелой, приводившийся в движение пневматически, был смонтирован на подвижной платформе с реверсивным ходом, направляемой по рельсам, уложенным по оси тоннеля (рис. 338, 340).

С этой же платформы производилось бурение, ин'екция и ряд других операций.

Сегменты доставлялись по путям верхней штольни.

За чугунную обделку производилась сухая забутка породой слоем в 20—25 см при 50% пустот. Вслед затем велось нагнетание известкового или цементного раствора под давлением около 6 атмосфер. Это нагнетание производилось повторно, кольцами в 2,50—3,00 м при специальной торцевой опалубке.

После сооружения верхнего полукольца тоннеля на значительном протяжении, приступали к раскрытию полного штроссного профиля, ниже горизонтального диаметра. Раскрытие профиля велось не больше, чем на 3 кольца без применения системы штрелелей.

Подача сегментов и необходимых материалов и откатка породы производились по подвесному пути в уровне горизонтального диаметра в сочетании с расположенными в отдельных местах подъемниками. Подобное подвесное расположение откаточных путей дало большой технический эффект.

При проходке слабого участка выветренной кровли скалы, работы велись с большой осторожностью. Взрывные работы были запрещены. Был произведен тампонаж трещиноватых пород и разработ-

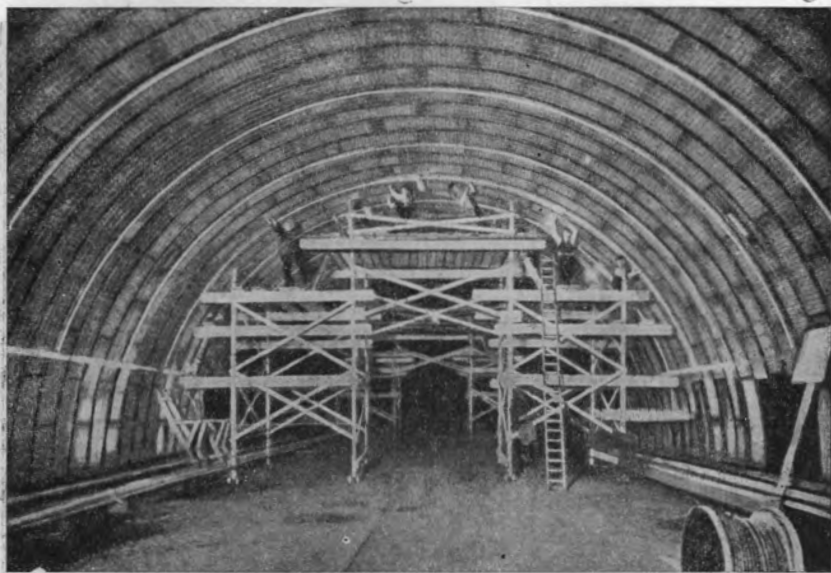


Рис. 347. Установка сетки из медной проволоки для покрытия торкретом.

ка велась пневматическими инструментами с подработкой на одно кольцо, при немедленной постановке сегмента.

Вопросам водонепроницаемости тоннельной обделки уделялось особое внимание. Отдельные чугунные сегменты с тщательно обработанными поверхностями соединялись болтами диаметром 38 мм при толщине отверстий в 44 мм, причем в последних между головкой и гайкой болта закладывались специальные водонепроницаемые битуминозные кольца. Расчеканка фланцев в стыках сегментов свинцом и раствором «раст» в желобках шириной 13 мм производилась пневматическими приспособлениями. По окончании этих работ обделка испытывалась на гидростатическое давление. При обнаружении течи в отдельных местах она ликвидировалась повторной расчеканкой и нагнетанием цементного раствора под давлением до 8 кг/см². Этими мероприятиями удалось достигнуть полной водонепроницаемости тоннеля еще до укладки внутреннего бетонного слоя.

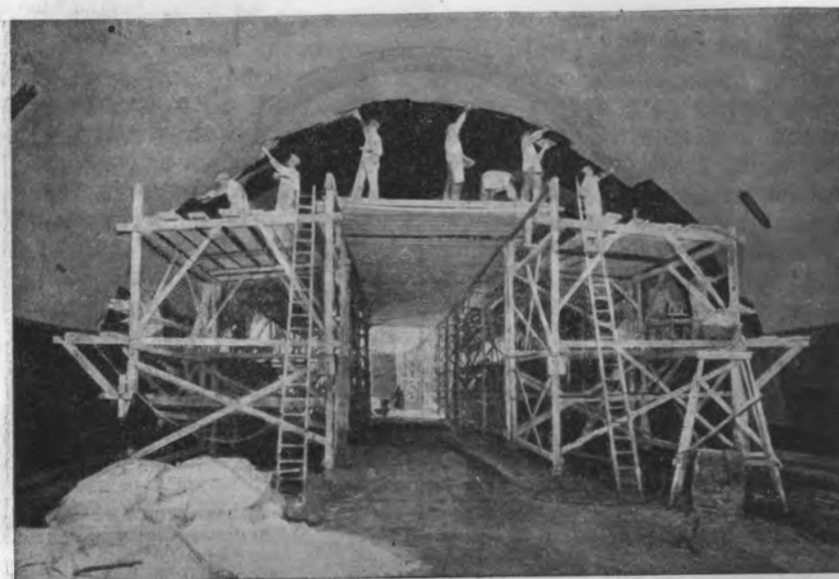


Рис. 348. Затирка внутренней поверхности тоннеля гипсом.

По окончании внутренней обделки устраивалась железобетонная конструкция проезжей части тоннеля.

Между краями фланцев отдельных сегментов при проволоочной сетке устанавливалась опалубка для внутреннего бетонного слоя. После раскруживания внутренняя поверхность торкретировалась под давлением 2 кг/см² слоем в 19 мм. Вслед разбрызгивалась битуминозная эмульсия слоем в 1,5 мм. Затем поверхность покрывали слоем мастики в 5 мм и специальным лаком.

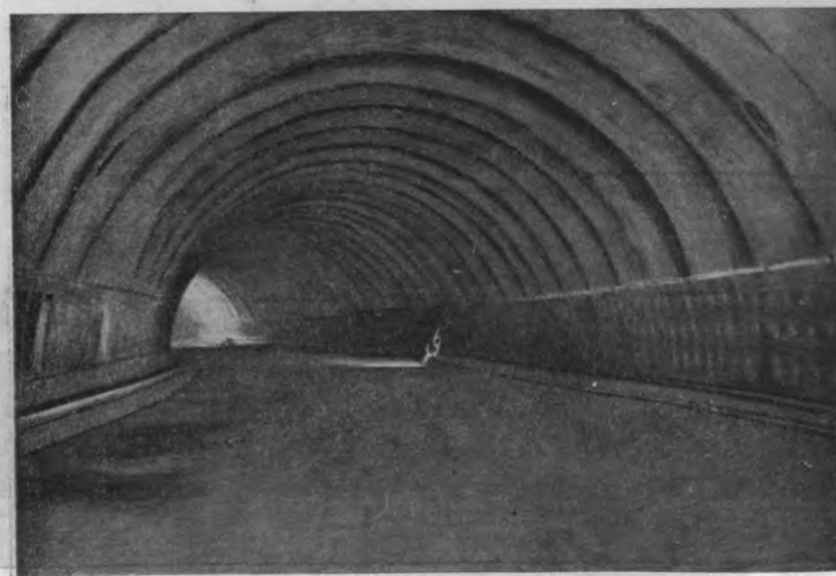


Рис. 349. Торкретированные своды тоннеля.

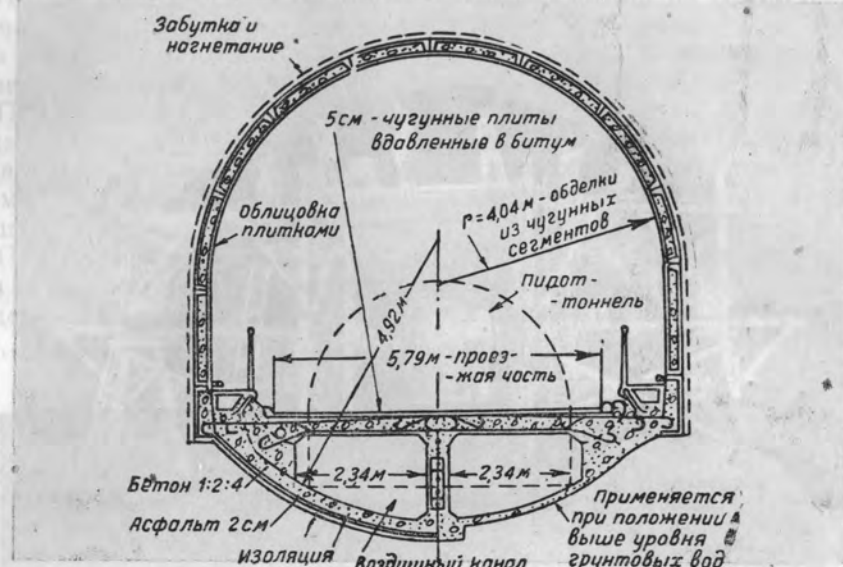


Рис. 350. Поперечное сечение тоннельного ответвления.

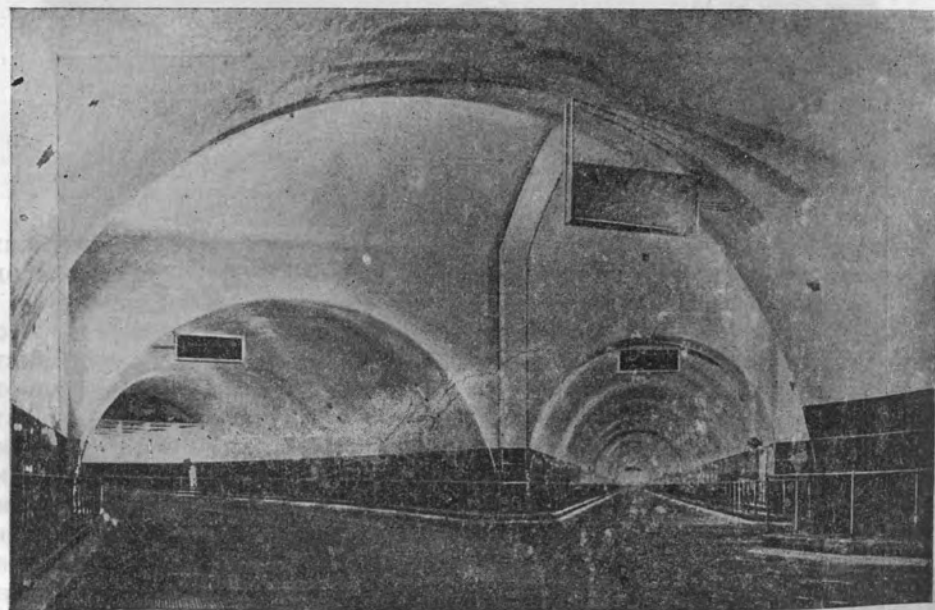


Рис. 351. Вид на главный тоннель и Биркенхэдское ответвление из переходной камеры.

Подходная часть тоннеля на протяжении 267 м под «Дейл-Стрит» в Ливерпуле располагалась в глине, весьма близко от поверхности мостовой. Проходка этого участка велась полушитом системы Маркхэм. Этот полушит полуциркульного очертания для главного тоннеля имел оболочку диаметром в 14,20 м из 19-мм металлических листов и продвигался вперед 24 гидравлическими домкратами по роликам, расположенным в плоскости горизонтального диаметра тоннеля. Ролики перемещались по стальным плитам, непосредственно уложенным на породу, а в слабых местах — по бетону, уложенному в пройденных боковых штольнях. Полушит длиной по оси тоннеля в 3,74 м был оборудован двумя эректорами. Домкраты полушита развивали усилие для продвижения в 2400 тонн. Собранное полукольцо опиралось непосредственно на породу. Сзади производилась подводка нижней бетонной части под металлическое полукольцо обделки.

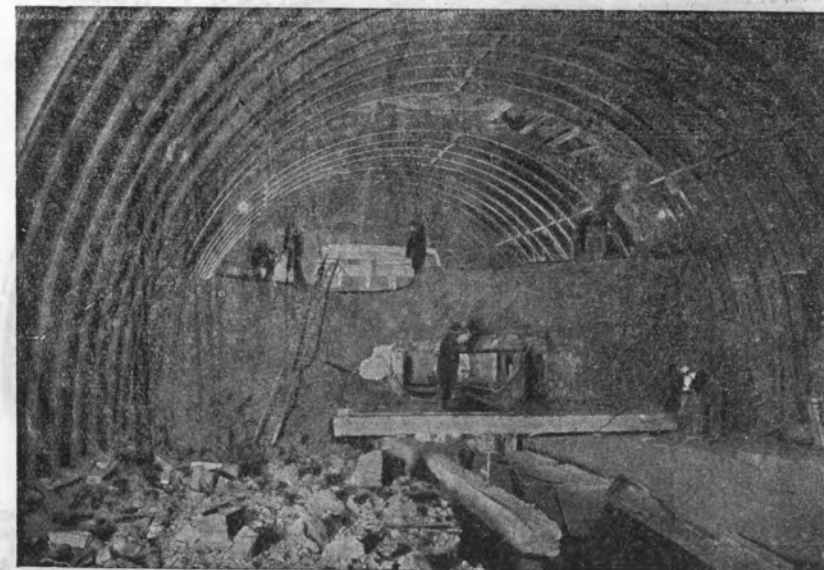


Рис. 352. Смычка тоннельных ответвлений на стороне Биркенхэда.

Удаление породы и подача необходимых материалов производилась по нижней пилот-штольне. Общий вес полушита равнялся 200 тонн.

В процессе щитовых работ выявилось, что жесткость конструкций полушита недостаточна. Полушит претерпел довольно большие деформации, обнаружались значительные осадки на поверхности мостовой. Несмотря на отмеченные осложнения, этим полушитом довели работы до конца. В результате оболочка полушита была похоронена за обделкой, а оборудование его, составляющее всю ценность полушита, было изъято для возможности использования при новых щитовых работах.

Подходный участок подводного тоннеля на берегу Биркенхэда сооружался открытым путем при бетонных стенках тоннеля толщиной около 2 м сводчатом перекрытии клепаной металлической конструкции.

Сооружение ответвлений тоннеля диаметром 8,63 м подковообразного сечения не вызывало особых осложнений.

Исключительный интерес представляют огромные переходные камеры, сооруженные в местах ответвлений от главного тоннеля на сторонах Ливерпуля и Биркенхэда. Ширина каждой камеры 22,0 м и возвышаются они на 12,20 м выше проезжей части. Длина камеры 17,80 м.

Тоннельная обделка переходных камер устроена из гнутых клепаных балок 46 см × 20 см, расставленных на расстоянии 60 см и заполненных в промежутках бетоном.

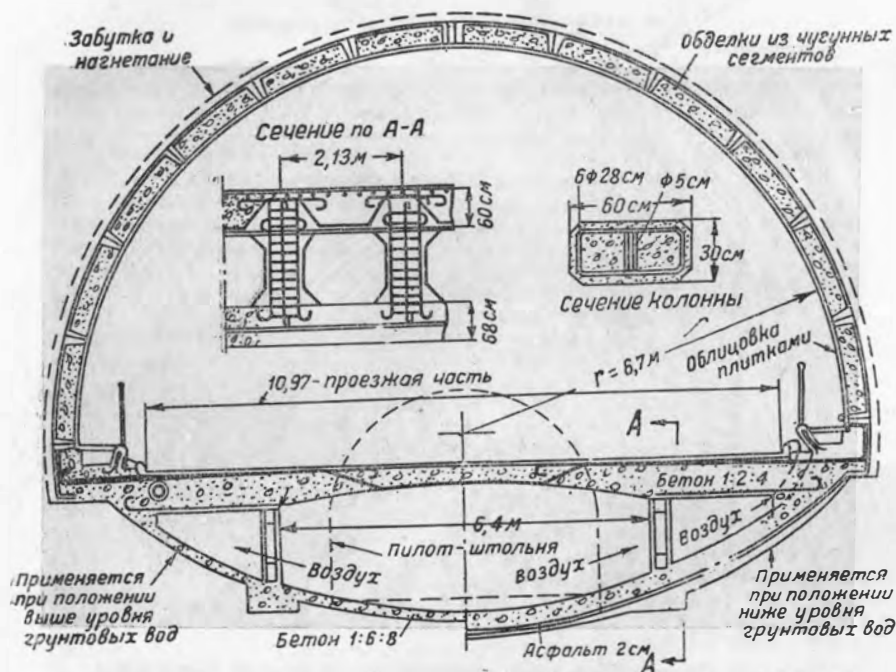


Рис. 353. Поперечное сечение Мерсейского тоннеля подковообразного сечения.

Разрешая вопрос вентиляции для столь грандиозного тоннеля, строители считали необходимым провести ряд экспериментальных работ для установления наиболее целесообразной системы вентиляции. Для этого был выделен опытный участок протяжением 300 м.

При испытаниях в опытном тоннеле, огражденном кирпичными перемычками, жгли солому и сено. Скорости распространения и движения дыма записывались и устанавливалась безопасность системы вентиляции при возникновении пожара в тоннеле.

Тоннель под р. Мерсей имеет шесть вентиляционных станций, по три на каждом берегу. Станции оборудованы большими вентиляторами

ми производительностью по 18 000 м³ в минуту, при диаметре в 8,5 м и малыми вентиляторами производительностью в 2570 м³ в минуту.

От вентиляторов через железобетонные короба под проезжую часть нагнетается свежий воздух, устремляющийся в тоннель через отверстия, расположенные на расстоянии 0,45 м по желобам вдоль тротуаров. Испорченный воздух вытягивается сквозь отверстия в сводах тоннелей через вентиляционные шахты. Скорость движения воздуха не превышает 10 км в час.

Мощность установок определена с учетом 100% резерва.

Обмен воздуха каждые 1,5 минуты. Вентиляционные станции оборудованы 30 вентиляторами, из них 18 нагнетательного действия и 12—вытяжного. В работе находится 9 вентиляторов, нагнетающих свежий воздух, и 6 вытяжных (рис. 357).

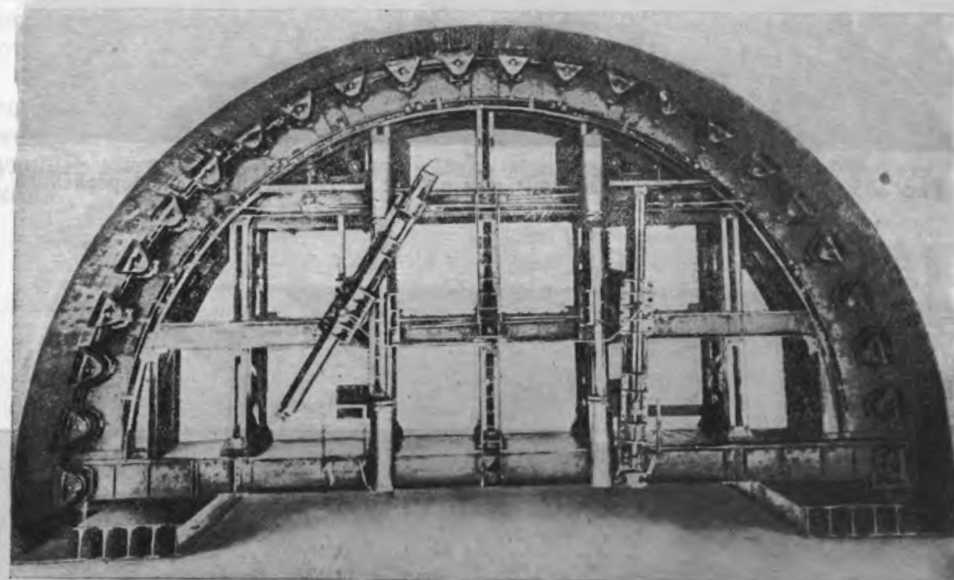


Рис. 354. Полуцикл системы «Маркхэм» диаметром 14,20 м для проходки Ливерпульской части Мерсейского тоннеля.

Производительность работающих 6 вентиляционных станций 70 000 м³ в минуту.

Работа вентиляторов регулируется автоматически, в соответствии с процентным содержанием вредных примесей в воздухе и густотой автодвижения в тоннеле. Как только содержание окиси углерода в воздухе тоннеля превышает установленный предел в 0,02%, автоматически даются сигналы и включаются в работу дополнительные вентиляторы или увеличивается скорость действующих.

В Ливерпульской центральной контрольной станции один дежурный следит по щиту и приборам за чистотой воздуха и всеми автоматическими устройствами тоннеля.

Удаление воды из тоннеля производится автоматически действующими дренажными установками.

У каждого портала имеется по два насоса производительностью по 950 литров в минуту. В тоннельной части вода удаляется тремя дренажными установками, расположенными ниже подошвы тоннеля. Каждый из крайних участков обслуживается насосами производительностью по 1150 литров в минуту. В центральной части тоннеля размещена установка из трех насосов по 1800 литров в минуту. При работе насосов горят сигнальные лампы и специальные приборы регистрируют объем откачиваемой воды из тоннеля.

Следующие цифры дают представление о масштабе работ по сооружению подводного тоннеля под р. Мерсей:

1. Полная длина проезжей части подводного тоннеля вместе с подходами	4 630 м.
2. Расстояние между стенами набережных р. Мерсей по трассе подводного тоннеля между Ливерпулем и Биркенхэдом	1 154 м.
3. Площадь внутренней поверхности тоннельных обделок	165 000 кв. м.
4. Объем вынутой породы	610 000 куб. м.
5. Расход взрывчатых веществ	1 230 т.
6. Длина исследовательских шпуров	18 000 п. м.
7. Вес чугунных сегментов тоннельных обделок	82 000 т.
8. Длина расчеканенных свинцом стыков	215 км.
9. Расход болтов для обделки	1 000 000 шт.
10. Объем бетонных работ	115 000 куб. м.
11. Длина шпуров при тампонаже	130 000 п. м.
12. Расход цемента при тампонаже трещиноватых пород	3 500 т.
13. Количество воды, удаленной за все время работ	28 300 мл. лит.
14. Общая длина кабелей и проводов для освещения, сигнализации и т. п.	900 км.
15. Максимальная производительность и мощность вентиляционных установок с резервом	{ 280 000 куб. м/мин 5 100 Н Р
16. Объем нагнетаемого воздуха в минуту	70 000 куб. м.
17. Число рабочих в период развернутого фронта тоннельных работ	1 700 чел.
18. Пропускная способность тоннеля при 4-х лентах движения. Расстояние между автомашинами — 3,00 м, скорость — 30 км в час	4 150 автомаш

Оборудование тоннелей содержит ряд интереснейших автоматических деталей. Тоннели оборудуются световой и звуковой сигнализацией, освещением, противопожарными устройствами, телефонами, автоматическим дренажем. От мостовых весов передаются звуковые и световые сигналы в случае проезда автомашин весом более 5 тонн. «Радиовизор» лимитирует габарит машины по высоте в 5,20 м. Везущие через порталы тоннеля машины, пересекая струю воздуха и сеть лучей, приводят в действие специальные приборы, регистрирующие поток автодвижения.

Стоимость сооружения этого подводного тоннеля выразилась в сумме 7.077.800 фунтов стерлингов.

§ 3. Тоннельная деривационная система «Свенси»

Деривационная система «Свенси» состоит из двух тоннелей диаметром 3,40 м, заложенных на глубине около 90 м от поверхности. Расстояние между осями тоннелей 7,02 м.

Общее протяжение: $815 \text{ м} + 306 = 1121 \text{ м}$.

Тоннели связаны между собой девятью соединительными штреками.

Состояние производства работ в момент изучения их автором наглядно представлено на схеме.

Три шахты пройдены на тоннельном креплении без особых затруднений. Проходка шахты «Квинс-док» велась замораживанием при постоянном креплении чугунными тубингами с внутренней бетонной обделкой. Эта шахта, заложенная непосредственно с поверхности через док, потребовала забивки специального ограждающего шпунта, перекрывающего слой воды в 5,50 м и водоносный песок. Общая глубина шпунта была 15,20 м.

Тоннели диаметром 3,40 м проходятся на этой постройке в скальных породах с коэффициентом крепости около 10, методом подсводного разреза. Сначала пробивается нижняя штольня, затем производится вскрытие надпотолочной части. Подземная откатка породы производится от забоя до шахты электровозами при 10-вагонных составах. Скорость продвижения забоя — 3,5 м в сутки.

При встрече выклиниваний слабых пород через 0,9 м по всему контуру поперечного профиля ставятся металлические рамы из трех элементов. Во избежание подвижки грунта эти рамы во время бетонирования не вынимаются.

Устройство бетонной обделки тоннелей толщиной около 30 см производится подвижными металлическими формами Блоу Нокс, получившими за последнее время большое распространение на тоннельных работах за границей (рис. 359).

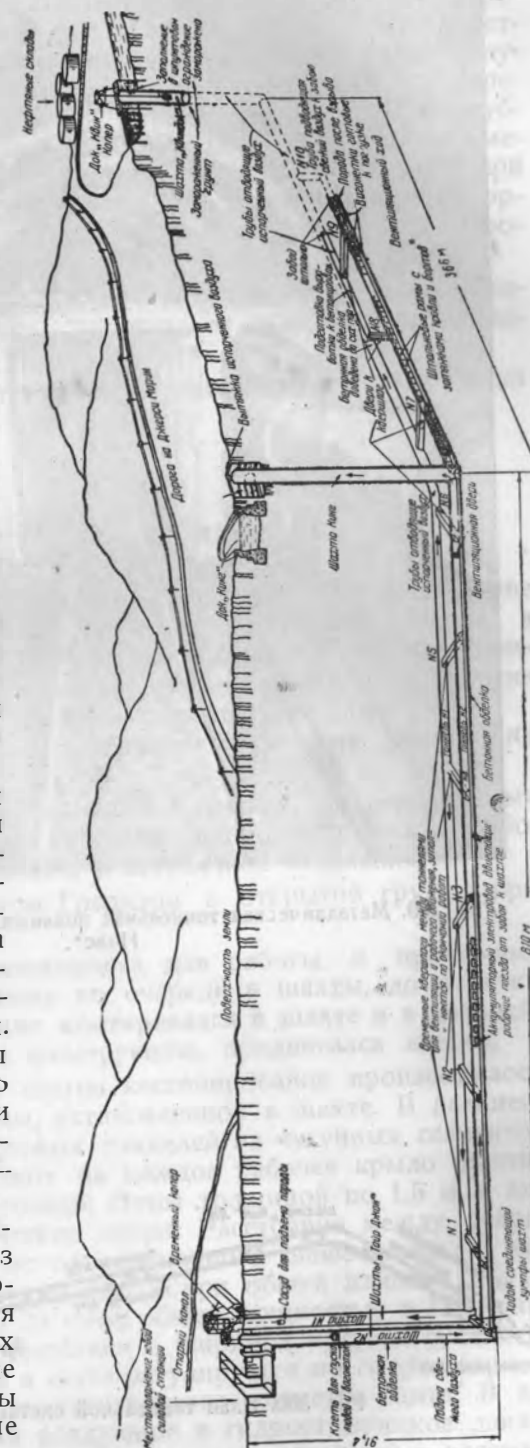


Рис. 358. Схема тоннельной системы «Свенси» с показанием шахт и вентиляционных штреков.

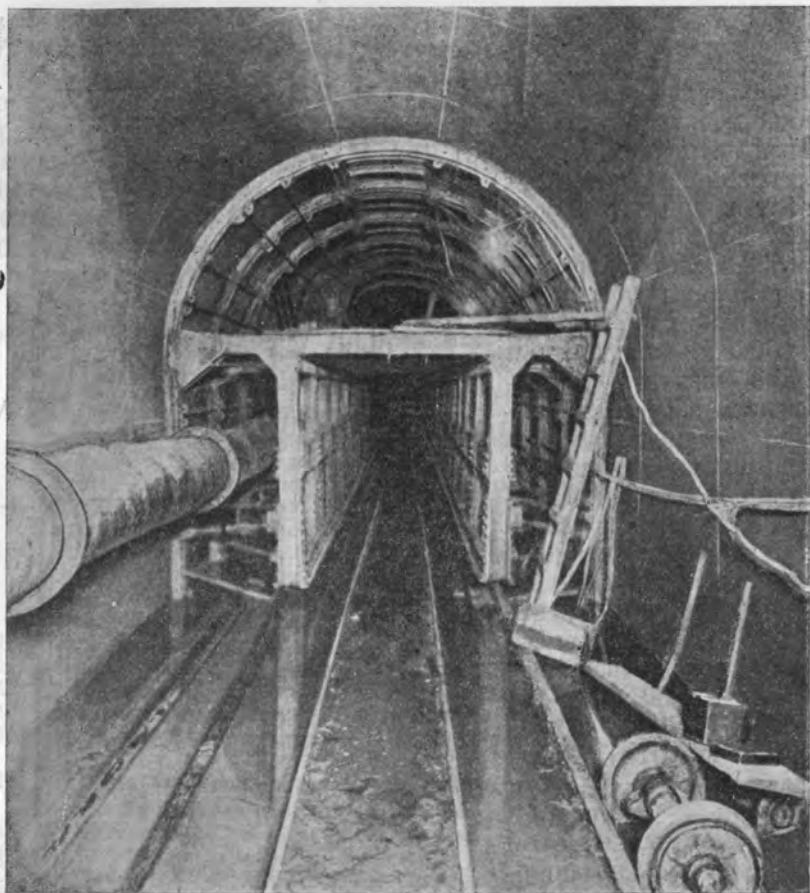


Рис. 359. Металлическая тоннельная подвижная форма системы „Блю-Нокс“.

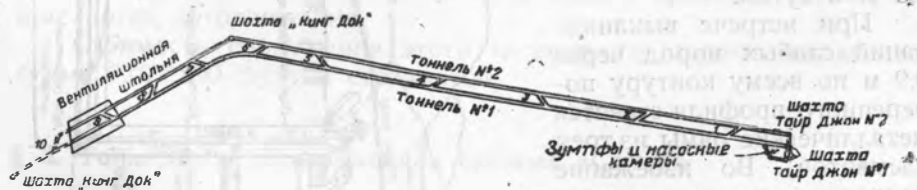


Рис. 360. План тоннельной системы „Свенси“.

Кружала из швеллеров через 0,8 м поставлены на тележку, перемещаемую электровозом. Имея шарнир в замке, кружала под действием винтовых домкратов, установленных на основной раме, получают требуемое вертикальное, горизонтальное или радиальное перемещение. К кружалам прибалчиваются металлические плиты опалубки, размером $0,6 \times 1,00$ м. Длина тележки 3,00 м. Впереди ее имеется специальная платформа для подъема вагонеток с бетоном при бетонировании верхней части профиля. Подъем и опускание платформы с вагонеткой производятся специальным мотором в 5 HP. Продолжительность установки кружал—2 часа.

Опалубка снимается через 36 часов, после чего немедленно производится нагнетание цементного раствора за обделку под давлением около 4 атмосфер.

На чертеже (рис. 358) наглядно представлена схема вентиляции тоннельных выработок.

§ 4. Тيوب-коллектор „Вест Мидлсекс майн Сюэредж“

Тоннели коллектора «Вест Мидлсекс» у Чивзик Парк в Лондоне проходятся на глубине 9,50 м от поверхности. Диаметр тоннеля в свету 1,97 м. Тоннель залегает в основном в лондонской глине, причем в кровлю попадают пески и галька, насыщенные водой. Уровень грунтовых вод на глубине 3,05 м от поверхности (рис. 361).

Фронт работ открыт шахтами, расположенными на расстоянии 700—850 м.

Шахты из тубингов, эллиптического сечения, с деревянными растрелами имеют отделение для подъема бабь, отделение трубопроводов и для подачи материалов, и лестничное отделение.

Тоннели сооружаются щитом Гредхэда с открытой грудью при сжатом воздухе.

Части двух щитов, предназначенных для работы в противоположных направлениях, опускались по очереди в шахты, до отметки заложения тоннеля. Каждый щит монтировался в шахте и в дальнейшем, упираясь в специальную конструкцию, продвигался вперед.

В первый период работы щитов кессонирование производилось помощью шлюзовой диафрагмы, установленной в шахте. В дальнейшем в начальных участках готовых тоннелей из чугунных сегментов было устроено по одному шлюзу на каждое рабочее крыло шахты. Здесь устанавливались две бетонные стены толщиной по 1,5 м, в которые заделывались металлические двери. Расстояние между дверьми определялось возможностью одновременного шлюзования 3 вагонеток. Щит Гредхэда диаметром 2,00 м при общей длине в 2,74 м снабжен был 6 домкратами по 20 тонн, общей мощностью в 120 тонн. Ход поршня домкратов в соответствии с шириной чугунного сегмента — 50 см. Давление воздуха в щите регулируется по гидростатическому давлению в плоскости горизонтального диаметра щита. В зависимости от местных условий воздушное и гидростатическое давление уравниваются и по отметке плоскости, проходящей в расстоянии $1/3$ от подошвы тоннеля. Щитовые работы под сжатым воздухом ведутся в 3 смены. На поверхности работают 2 смены по 12 часов.

При разработке породы применяются пневматические лопаты.

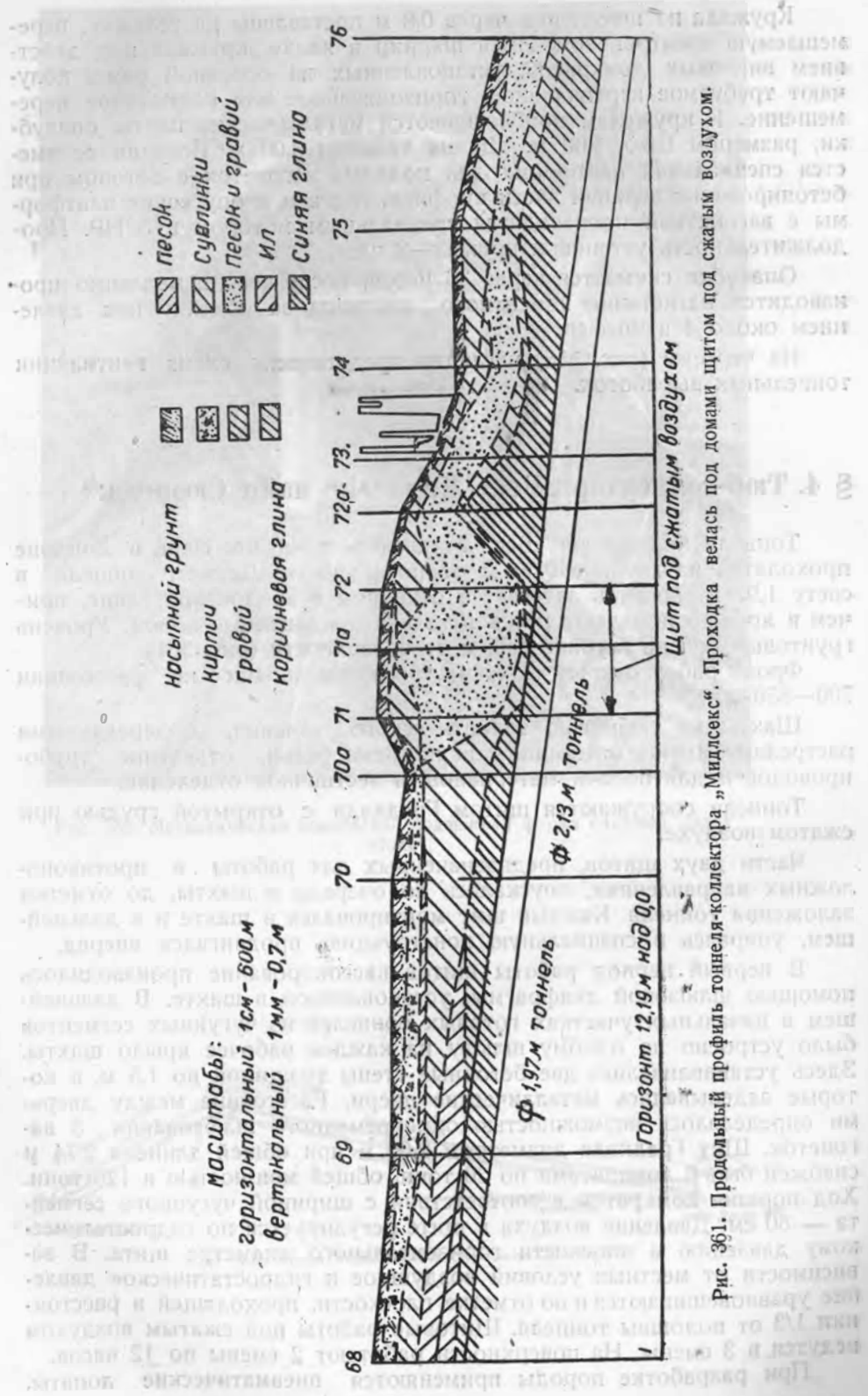


Рис. 361. Продольный профиль тоннеля-коллектора „Мидлсек“. Проходка велась под домами щитом под сжатым воздухом.

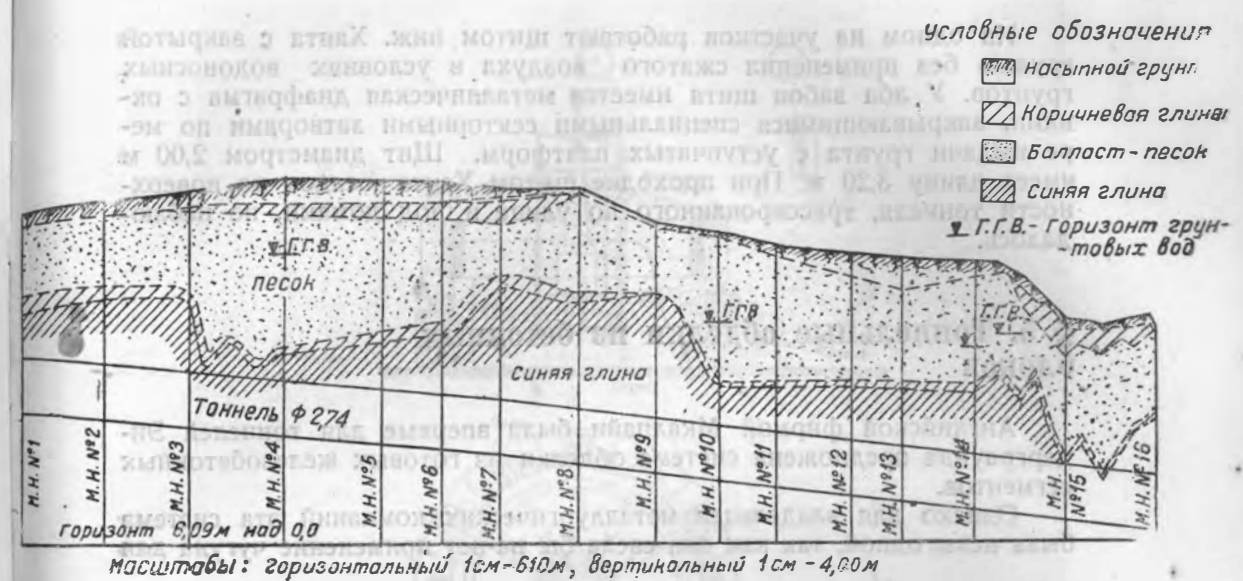


Рис. 362. Продольный профиль при проходке тоннеля-коллектора „Мидлсек“. Участок проходки в плотной синей глине.

Вслед за установкой сегментов производится нагнетание цементного раствора под давлением 3—5 атмосфер.
В каждом забое работают:

Водитель щита	1 чел.
проходчиков.	2 »
чернорабочих.	2 »
откатчик.	1 »
шлюзовых рабочих.	2 »

Один из последних обслуживает одновременно оба рабочих крыла шахты у шлюзовых диафрагм.
Всего под землей на 2 крыла в 3 смены — 45 чел.
Средняя скорость проходки щитом под сжатым воздухом в слабых грунтах — 6 колец в сутки = 3,00 м, при 3 сменах по 8 часов.
Максимальная скорость щитовой проходки под сжатым воздухом, достигнутая на тоннельном участке «Мидлсек», — 12 колец в сутки = 6,00 м готового тоннеля.
Тоннельные работы на протяжении 2130 м на Мидлсекс должны быть закончены в 18 месяцев вместе с укладкой бетонной, кислотоупорной, кирпичной, внутренней отделки.
Компрессорная установка состоит из 3 компрессоров по 70 НР, общей мощностью в 210 НР.
Щитовые работы обеспечены двумя независимыми источниками энергии — паровой и электрической.

На одном из участков работают щитом инж. Ханта с закрытой грудью без применения сжатого воздуха в условиях водоносных грунтов. У лба забоя щита имеется металлическая диафрагма с окнами, закрывающимися специальными секторными затворами по мере выдачи грунта с уступчатых платформ. Щит диаметром 2,00 м имеет длину 3,20 м. При проходке щитом Ханта осадок на поверхности тоннеля, трассированного по улице и под домами, не наблюдалось.

§ 5. Тоннельные обделки из бетонных блоков

Английской фирмой Мкалпайн была впервые для тоннелей Эндерграунда предложена система обделки из готовых железобетонных сегментов.

Однако для владельцев металлургических компаний эта система была невыгодной, так как она свела бы на-нет применение чугуна для



Рис. 363. Туб из железобетонных блоков „Мкалпайн“. По кругу каждого кольца, шириной в 30 см, закладывается круглое железо $\varnothing 16$ мм

строительных целей. Они сумели оказать давление на владельцев метрополитена и система железобетонных блоков была категорически отвергнута, хотя в условиях лондонской пластичной глины эта система является технически вполне целесообразной.

Все же железобетонные блоки в Англии нашли применение в строительстве деривационных и дренажных тоннельных магистралей. Такие работы в Англии велись в 1903, 1909 гг. В 1911 г. из железобетонных блоков был проложен тоннель диаметром 2,45 м на протяжении 3000 м. Фронт работ был открыт из 33 шахт при заложении тоннеля на глубину 30 м от поверхности. Продолжительность сооружения этого тоннеля выразилась в 12 месяцев.

Позднее для Канадской железной дороги был сооружен тоннель эллиптического сечения из железобетонных блоков при ширине профиля 5,95 м и высоте 7,62 м.

Фирмой Мкалпайн велась также проходка и в водоносных грунтах под Тином и Виром при давлении сжатого воздуха в забое до 2,3 атмосферы.

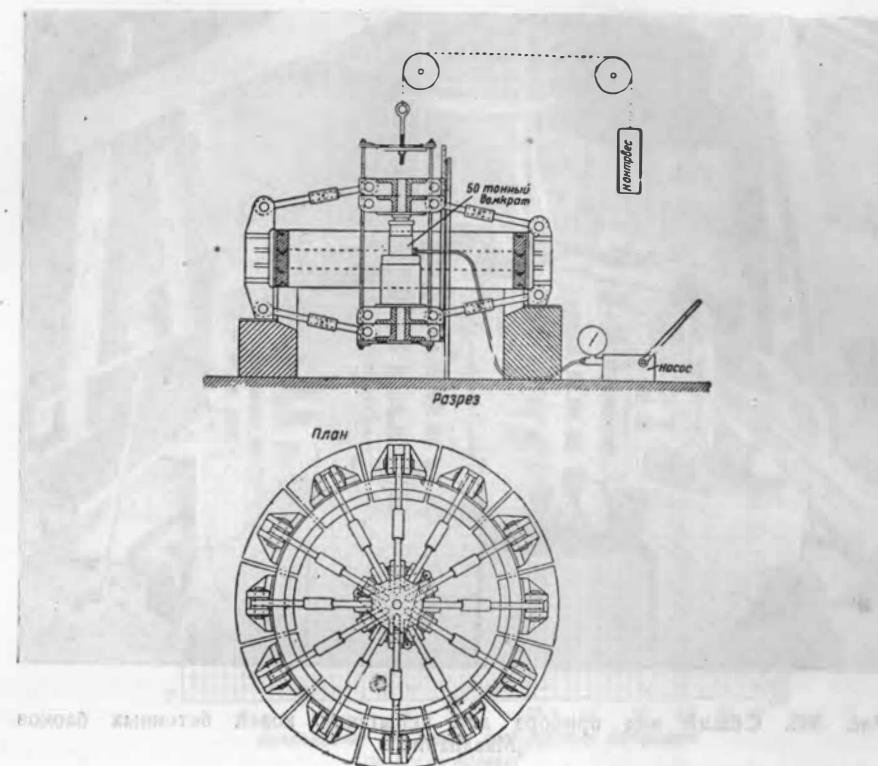


Рис. 364. Специальная машина для испытания бетонных блоков замкнутым кольцом.

Бетонные блоки «Мкалпайн» заготавливаются заводским способом из мелких инертных составляющих в чугунных формах, с применением вибрации.

Благодаря последней удается достигнуть исключительно высокого качества блоков в смысле однородности, плотности и правильности геометрических размеров и форм.

Заслуживают внимания испытания и опыты, произведенные англичанами по сравнению тоннельных колец из железобетонных блоков с обделками из чугунных сегментов и кирпича. Кольцо обделки подвергалось равномерному давлению и действию изгиба. Для испытания блоков английскими инженерами Вакер и Уртциг был сконструирован специальный аппарат, сущность которого заключается, в основном, в следующем:

Испытуемое кольцо из отдельных блоков, уложенное горизонтально, обхватывается по внешней поверхности серией чугунных башмаков, стягиваемых радиально к центру металлическими стержнями. Последние, охватывающие нижнюю и верхнюю плоскость цилиндра, шарнирно соединены с гидравлическим домкратом, расположенным в центре при рычажной передаче. Распределение усилий находится в соответствии с уклоном стержней (рис. 364, 365).

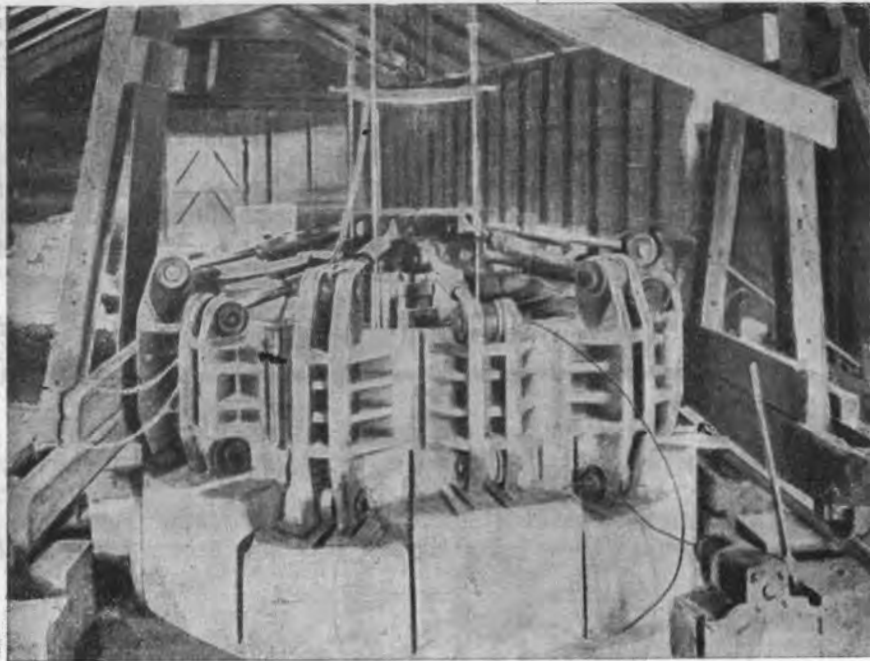


Рис. 365. Сбщий вид прибора для испытания колец бетонных блоков „Мкалпайн“.

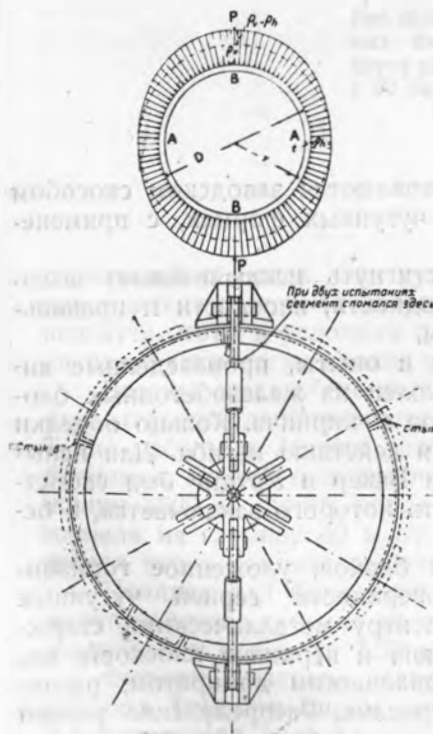


Рис. 366. Схема прибора „Мкалпайн“ для испытания сегментов обделки. Диаграмма напряжений.

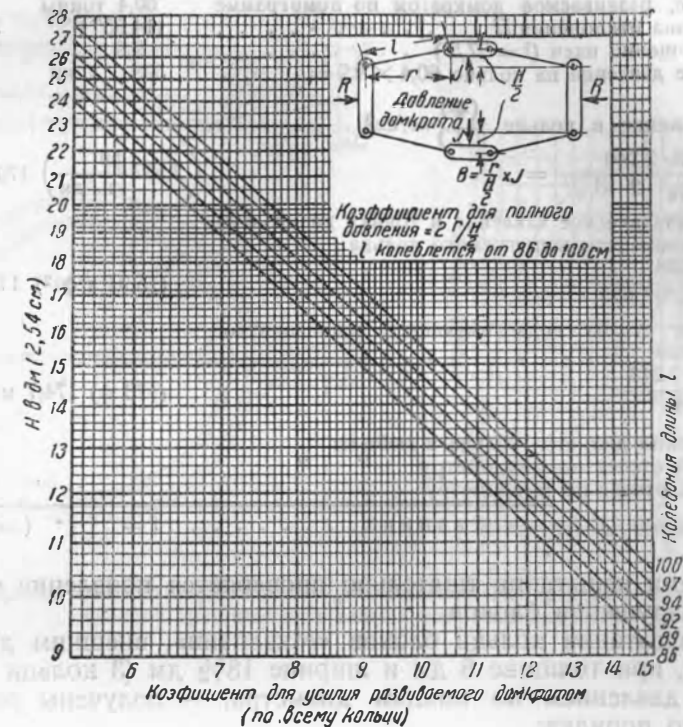


Рис. 367. График коэффициентов для прибора испытаний блоков „Мкалпайн“. Составлен проф. Стефани.

Опыты по испытанию кольца бетонных блоков были произведены профессором Бирмингемского университета Стефани. Были взяты 3 кольца наружным диаметром 2,22 м (7' 3,5").

Кольца были взяты в указанный выше аппарат с 12-ю чугунными башмаками, при 50-тонном домкрате в центре.

Давление, сообщаемое испытываемому кольцу, определялось следующими соображениями:

При давлении домкрата J сила, передающаяся через башмак, при условии равновесия, равна:

$$R = \frac{Jr}{\frac{H}{2}}$$

Величина H определяется в дюймах в соответствии с усилием, развиваемым домкратом, по специальной номограмме (см. рис. 367).

При среднем уклоне соединительных стержней в $\frac{1}{5}$ усилие на башмаки передается в пятикратном размере к усилию гидравлического домкрата. При одновременной работе стержней обеих плоскостей развивается усилие десятикратной величины.

Таким образом при максимальном 50-тонном усилии, развиваемом гидравлическими домкратами, указанным аппаратом представлялось возможным через конструкцию башмаков передать по периферии кольца давление в 500 тонн, и нажим от каждого башмака составлял:

$$\frac{500}{12} = 41,6 \text{ т}$$

Результаты испытания кольца внешним диаметром (7,292') 2,22 м из бетонных блоков толщиной (4 1/4") 11 см и шириной (1,635') 50 см, сведены в следующую таблицу:

1. Показание манометра (максимальное давление) (7 000 фн./дм²) 492 кг/см².
2. Усилие, развиваемое домкратом по номограмме 60,4 тонны
3. Величина отклонения H (14,85") 37,72 см.
4. Соотношение плеч ($l = 37,5$ ") 9,9
5. Полное давление на кольцо $60,4 \times 9,9 = 598$ тонн

6. Напряжение в кольце $\frac{(\#)}{(\square'')} \text{ кг/см}^2$

$$\frac{598 \cdot 2240}{\pi \cdot 195/8'' \cdot 2 \cdot 41/4''} =$$

$$\left(2,557 \frac{\text{фн}}{\text{кв. дм}} \right) 179 \text{ кг/см}^2$$

7. Гидростатическое давление в тоннах на кв. фут. по поверхности испытуемого кольца

$$\frac{598}{\pi \cdot 7,92' \cdot 1,635'}$$

$$(15,97 \text{ т/ф}^2) 171,8 \text{ т/м}^2$$

8. Высота столба воды имеющего эквивалентное давление

$$\frac{15,97 \cdot 2240}{62,4} =$$

$$(573 \text{ ф}) 174,7 \text{ м.}$$

9. Изменения диаметра кольца в дюймах:
первый отсчет по микрометру " " "
второй отсчет по микрометру " " "

$$\text{Разница} \dots \dots \dots f = \text{" " (дм) см.}$$

Во время испытания тщательно проверяется появление трещин и процесс разрушения блоков.

При испытании кольца блоков «Мкалпайн», внешним диаметром 7 фт. 8 дм, при толщине 8 дм и ширине $18\frac{1}{2}$ дм (3 кольца по 6 дм) на изгиб давлением по концам диаметра, — получены результаты следующего порядка:

	1-я трещина	Предел устойчивости	Максимальная нагрузка
1. Показания манометра $\frac{\text{фч/дм}^2}{\text{кг/см}^2}$	(800) 56,2	(1 200) 84,4	(1 700) 119,5
2. Усилие гидравлического домкрата по номограмме т.	6,4	9,8	14,1
3. Деформация в направлении действия нагрузки $\frac{(\text{дм})}{\text{мм}}$	(0,092) 2,34	(0,315) 8,00	(2,37) 34,89
4. Максимальный изгибающий момент в кольце (т дм.) $\frac{\text{кг. см}}$	(85,4) 217.000	(130,8) 332.000	183,3 466.000

При опытах по испытанию сопротивления тоннельных обделок англичанами делаются некоторые предпосылки: помимо равномерного давления грунта вокруг обделки считается дополнительное вертикальное давление, превосходящее по своим размерам тангенциальное.

При интенсивности равномерной нагрузки p вокруг кольца обделки и соответственного напряжения на сжатие, равного

$$\frac{Dp}{2t}$$

как видно из рис. 366, максимальные изгибающие моменты в концах вертикального и горизонтального диаметра в тоннельной обделке можно на опыте воспроизвести двумя силами «Р», действующими по

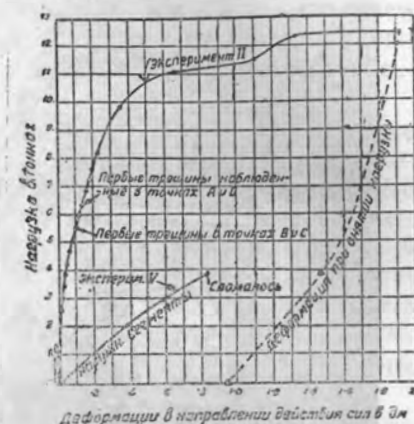
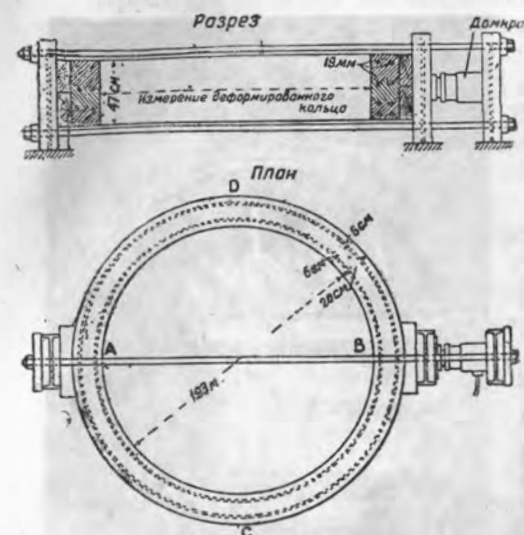


Рис. 368. Прибор для испытания блоков «Мкалпайн». На кривых отмечен момент появления трещины при данной нагрузке домкрата.

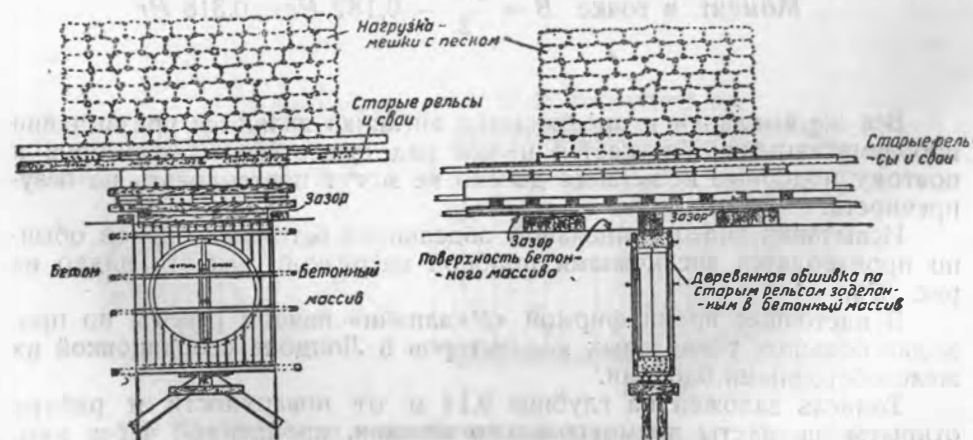


Рис. 369. Схема организации пробной нагрузки при испытании бетонных блоков.

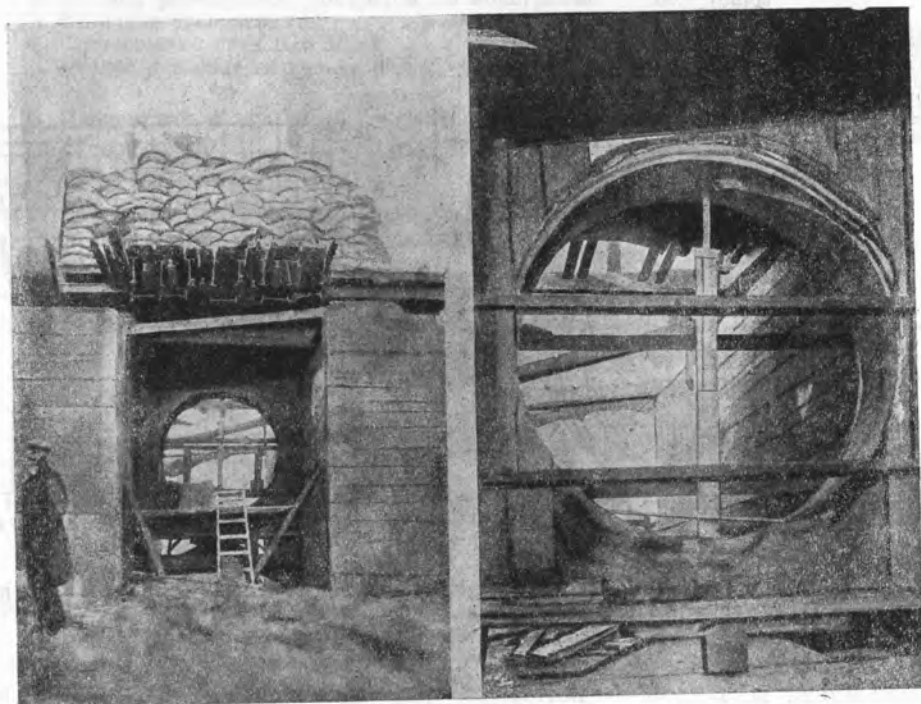


Рис. 370. Испытание пробной нагрузкой tunnelной секции из бетонных блоков „Мкалпайн“. Деформации в блоках начали интенсивно нарастать после увеличения нагрузки за 114 тонн.

направлению вертикального диаметра:

$$\text{Момент в точке } A = \frac{Pr}{2} \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) = 0,182 Pr$$

$$\text{Момент в точке } B = \frac{Pr}{2} - 0,182 Pr = 0,318 Pr$$

Все же выкладки и предпосылки англичан являются чрезвычайно проблематичными. Упускается целый ряд существенных факторов и поэтому подобные испытания далеко не могут претендовать на безупречность.

Испытания колец tunnelной обделки из бетонных блоков обычно производятся англичанами пробной нагрузкой, как это видно на рис. 370.

В настоящее время фирмой «Мкалпайн» начаты работы по проходке больших tunnelных коллекторов в Лондоне с облицовкой их железобетонными блоками.

Tоннель заложен на глубине 9,14 м от поверхности и работы открыты из шахты прямоугольного сечения, пройденной через плывун мощностью 4,6 м вертикальным металлическим шпунтом.

Проходка ведется пневматическими лопатами на ширину бетонного блока. Блоки весом по 500 кг каждый, длиной 1,00 м, толщиной 25 см изготавливаются заводским способом на поверхности в чугунных или стальных формах. Блоки имеют выступы и пазы, между которыми закладываются прутья диаметром 16 мм. Под давлением цементного раствора через специальные отверстия в блоках производится нагнетание раствора за обделку и между блоками для обеспечения монолитности облицовки.

По мере продвижения забоя, устанавливаются блоки, образующие полное кольцо обделки. Затем с торца заводятся в пазы два свернутых в полукруг, железных прута диаметром 16 мм, связывающие бетонные кольца, и дальше вслед за выработкой породы, производится повторная установка последующих блоков и т. д. Для обеспечения взаимных сдвигов отдельных блоков и правильности формы и очертания tunnelной обделки, на первых десяти кольцах от лба забоя обделки устанавливают кольцевые металлические кружала из уголков.

Сооружение tunnelа бетонными блоками ведется в две смены при скорости в 6 м готового tunnelа в сутки.

Бетонные блоки для tunnelного строительства применялись и на постройке новых линий Нью-Йоркского метрополитена в Бруклине, деривационного tunnelа в Дейтройте и др.

В наших условиях бетонные блоки должны найти широкое применение. Первый опыт в истории tunnelной техники применения бетонных блоков в водоносных грунтах был сделан при проходке щитом под рекой Неглинкой, на первоочередной линии Московского метрополитена.

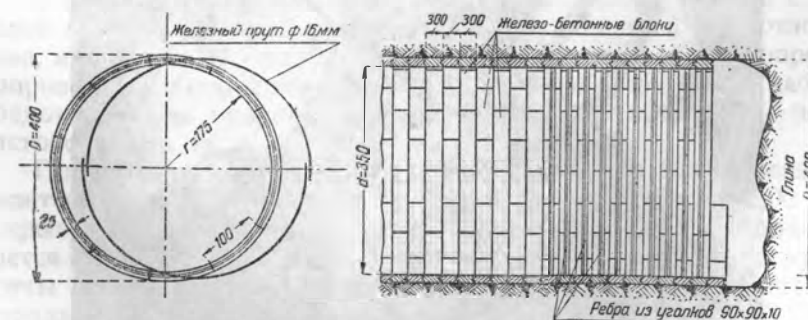


Рис. 371. Tunnel из железобетонных блоков системы „Мкалпайн“ в лондонской глине.

Рис. 372. Бетонный блок системы „Мкалпайф“

A black and white photograph of a large, circular, stepped structure, possibly a well or a large pot, with a dark, textured interior. The structure is composed of many concentric rings or steps, creating a spiral effect. The lighting is dramatic, with strong highlights on the edges of the steps and deep shadows in the center.

§ 1. Железнодорожный тоннель „Бюссанг“

Через горный хребет «Бюссанг» в настоящее время прокладывается тоннель двухпутного профиля для железнодорожных линий Западных дорог.

Тоннель этого протяжением 8,22 км. заложен на глубину 620 м от поверхности при одностороннем уклоне 8,5‰. Тоннель пересекает главным образом порфириды и гранитные породы с коэффициентом крепости около 12 так, что продвижение забоя ведется при взрывных работах.

Работы начаты в мае 1932 г. Срок строительства 5 лет.

Тоннель сечением $9,8 \times 8,00$ м при полуциркульном своде строится с одного портала. Трассировка и разбивка оси тоннеля проведена по триангуляционной системе при длине базиса в 3,00 км. Сооружение тоннеля ведется методом подсводного разреза. Пробивается нижняя центральная штольня трапециодального сечения размером $\overset{3,0}{\underset{3,75}{\times}} 3,19$ м в черне. Атака забоя производится двумя буровыми станками Ингер-соль Рэнд на распорных колонках. Длина шпуров по штольневому поперечному сечению распределяется:

для средней части . . .	$l_1 = 1, 50$ м
для верхней „	$l_2 = 1, 60$ м
для боковых „	$l_{3,4} = 1, 70$ м
для нижней „	$l_5 = 2, 00$ м

При проходке порфиринов шпуром глубиной в 1,5 м приходится менять бур три раза. Расход динамита № 2 при атаке штольни составляет 2,00—3,00 кг на 1 м³. Средняя скорость проходки штольни при трехсменной работе по 8 часов составляет 4,5 м в сутки. Максимальная скорость продвижения забоя выражается в 7,8 м в сутки.

В штольне на специальном балласте укладывается путь с шириной колеи 600 мм. С одной стороны пути устраивается водоотводная канава, а с другой — укладываются вентиляционный трубопровод, водопровод, трубопровод сжатого воздуха, электрические кабели. Для предотвращения повреждений все трубопроводы закрыты чехлом из листового железа.

По верхнякам штольни затягивается кровля из кругляка и проводится центральная прорезь, сначала на высоту 2,00 м. Затем вскрывается профиль под сводом на высоту 5,00 м. Порода складывается на кровлю штольни, используемую как настил. Раскрытие калотты производится постепенными фазами. Расход динамита на 1 м³ породы калоттного профиля составляет 0,8—0,9 кг на м³.

После полного раскрытия калоттного профиля кольцом длиной в 6,00 м, готовится основание под пяту свода в виде железо-

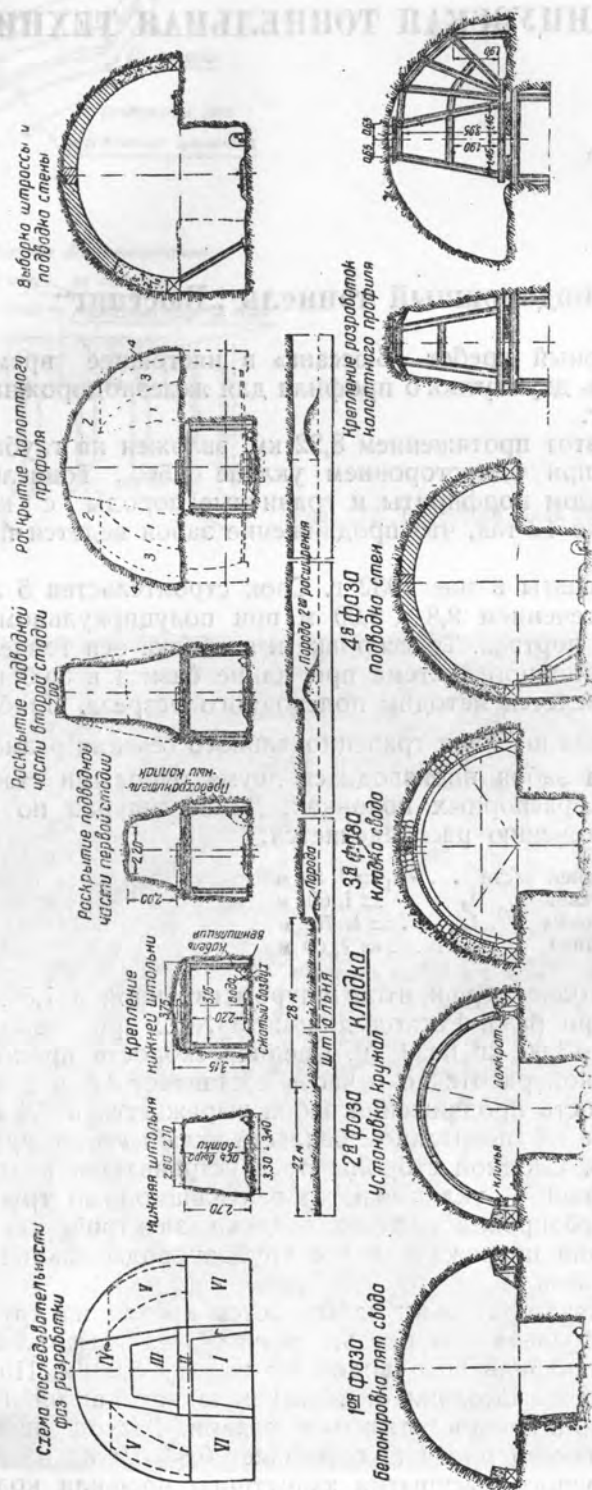


Рис. 374. Фазы производства работ по сооружению жел.-дор. тоннеля Боссанг методом подвального разреза.

бетонных лент шириной 0,5 м и такой же толщины с наклоном для пяты свода в 30° к горизонту. Далее производится установка металлических кружал без штендеров, опирающихся, с одной стороны, на деревянные подкладки, с другой — на ручной домкрат. При полуциркульном очертании свода получается хорошая система, дающая возможность регулировать требуемую величину строительного подъема свода. Опалубка — деревянная. До угла $35-33^\circ$, считая от подошвы железобетонных лент, ведется бетонная кладка свода, а дальше — бутовая кладка на цементном растворе.

Каменная кладка кольца свода при трехсменной работе по 8 часов возводится 13 рабочими в сутки.

В дальнейшем убирается крепление нижней штольни.

Подача материалов для верхнего горизонта работ производится по пути, уложенному по правой бровке штроссы.

При этом способе весьма интересна подводка стен, которая ведется только, с одной стороны, участками в 6,00 м. Подводится одна сторона тоннеля в виду желательности сохранения имеющегося пути верхнего горизонта. При наличии железобетонных лент, помогающих своду воспринимать растягивающие усилия по оси тоннеля в момент оголения пят, имеется полная возможность безопасно производить подводку стен участками в 6,00 м, что при обычной бельгийской системе считается рискованным.

Откатка породы ведется аккумуляторными электровозами, мощностью по 40 НР. Вагоны подземной откатки имеют емкость 3—5 м³. Приток вод при проходке тоннеля доходит до 2 м³/сек. Работы производятся в мокром забое. Мне пришлось находиться в штольне Бюсангского тоннеля при глубине воды у забоя в 40—50 см. Это при работе под уклон считается французскими инженерами нормальным (мы конечно не допускаем такой работы). На тоннельных работах занято 400 чел. в сутки.

Оборудование, размещенное близ тоннельного портала, следующее:

1. Компрессорное хозяйство: 2 компрессора по 250 НР, 3 компрессора по 60 НР. Заложен фундамент для шестого компрессора в 300 НР.
2. Кузница: 3 станка «Сулливан Машинери» для заправки буров при температуре, равной 1100° , и два молота.
3. Ремонтные мастерские. Около 20 % пневматических инструментов в ремонте.
4. Склад материалов.
5. Санитарный пункт с пятью кроватями. Специальные приборы для искусственного дыхания. Приборы для обнаружения газов в тоннельных выработках. Два автомобиля скорой помощи.
6. Души.
7. Столовая.
8. Подземный склад взрывчатых материалов, устроенный на горе, в отделении от застроенного участка. Подход к складу ведется из штольни длиной 25 м, причем защитная кровля породы в 12,0 м рассчитана на взрыв 4000 кг динамита.

Для заправки патронов и бикфордова шнура отведено специальное помещение.

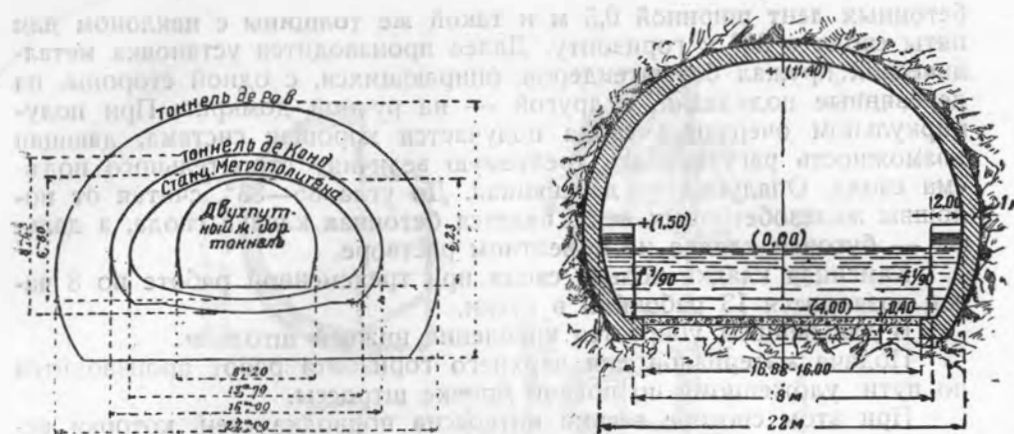


Рис. 375. Сечения тоннеля канала „Де Ров“ и сравнительная схема крупных профилей существующих мировых тоннелей.

§ 2. Тоннель-канал „Де Ров“, на линии „Марсель Рона“

Тоннель-канал «Де Ров», на линии «Марсель-Рона» является замечательным сооружением. По размерам поперечного сечения — это самый крупный тоннель-канал в мире. Этот тоннель-канал пересекает горный массив на протяжении 7118 м. Поперечное сечение его 22,0 м по ширине при высоте 15,4 м в свету предусматривает возможность передвижения судов в обоих направлениях при глубине воды в тоннеле 4,00 м. Площадь поперечного профиля 300—320 м².

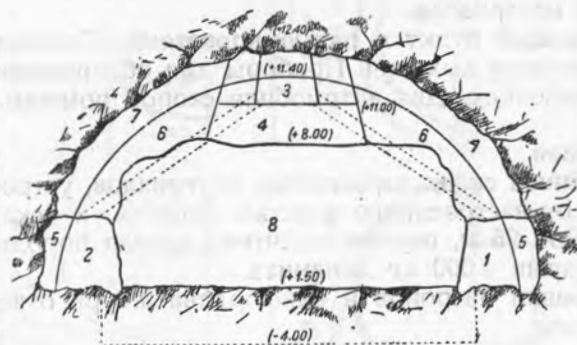


Рис. 376. Схема производства работ по сооружению тоннеля-канала помощью наклонных слепых штреков. Последовательность фаз разработки профиля.

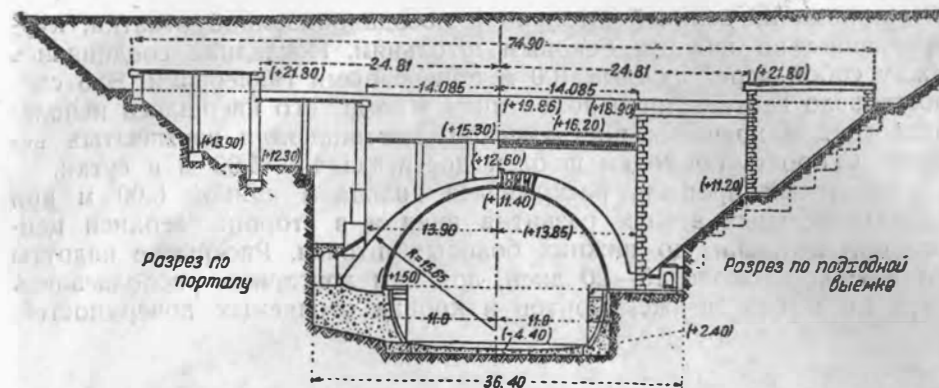


Рис. 377. Северный портал Ровского тоннеля-канала. Разрезы по порталу и подтодной выемке.

Залегают тоннель в меловых отложениях неоднородной крепости, которые для разработки требовали взрывчатых веществ.

Раскрытие поперечного сечения проводилось по комбинированной бельгийской системе. Примерно по краям горизонтального диаметра были заложены боковые штольны сечения 7,00—10,00 м². Далее проходила верхняя центральная штольна такого же сечения, которая слепыми наклонными фурнелями, соединялась с боковыми штольнями. Фурнели пробивались через 18,00 м и по ним сбрасыва-

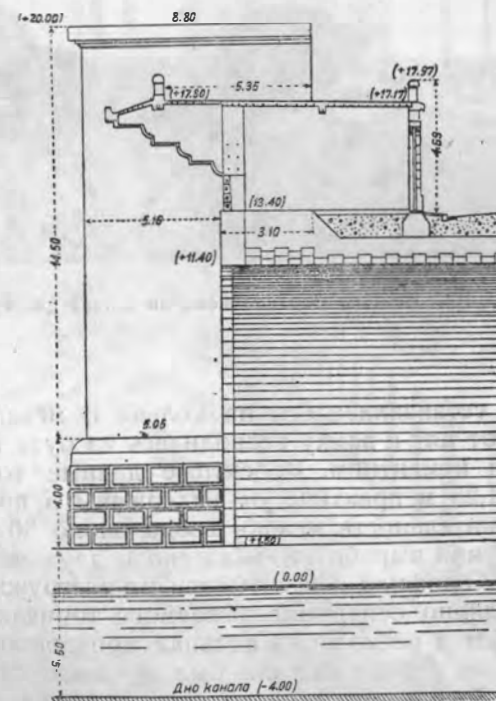


Рис. 378. Продольный разрез по оси конструкции южного портала тоннеля.

лась порода из верхней штольни в поезда подземной откатки, курсировавшие по нижним боковым штольням. Последние соединялись между собой через каждые 100 м поперечными галереями. Это способствовало вентиляции и водоотливу. Кроме того квершлагги использовались для хранения инструментов, материалов и взрывчатых веществ. Скорость проходки штолен достигала 4,5—5,00 м в сутки.

Калоттный профиль раскрывался кольцами длиной 6,00 м при последовательных этапах развития вниз и в стороны верхней центральной штольни, до нижних боковых штолен. Раскрытие калотты продолжалось около 15—20 дней, при чем лонгарины располагались через 1,5 м без затяжек бортов и кровли оголяемых поверхностей.

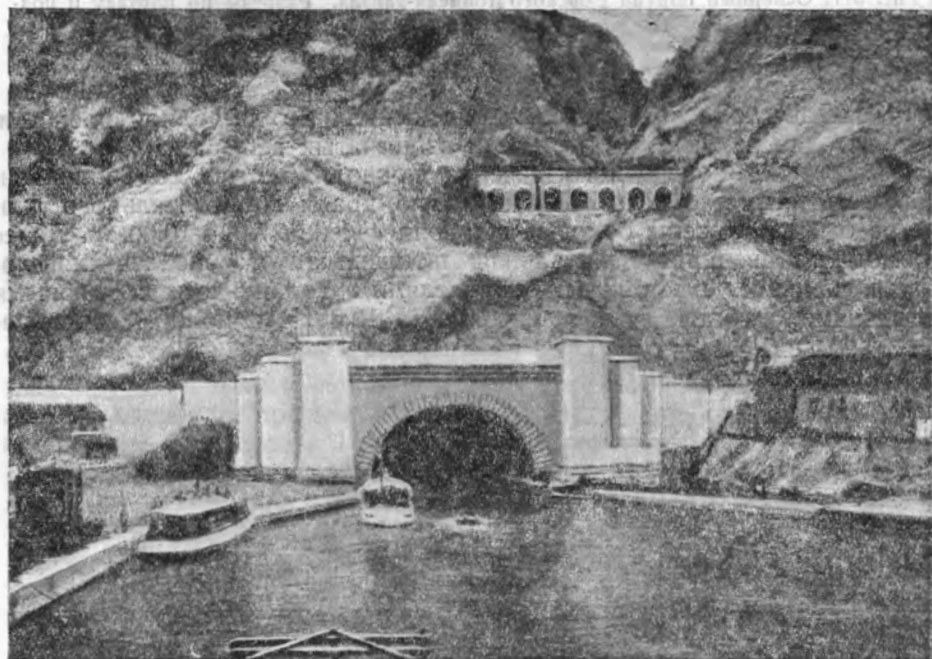


Рис. 379. Вид южного портала тоннеля-канала „де Ров“.

В течение 6 дней устанавливалось на кольцо 5 металлических кружал. Кладка свода от пят к замку возводилась из бута на известковом растворе, редко на цементном. Проектные данные толщин свода в ключе от 0,70 до 1,25 м практически выдержаны в пределах от 0,60 до 1,95 м. Продолжительность кладки свода около 30 дней. Продолжительность обнажения выработки была около двух месяцев. При раскрытии калоттного профиля рассчитывали на разгружающий свод по кольцу перпендикулярно оси прокладываемого тоннеля.

В процессе работ в нескольких кольцах произошли обвалы с образованием кумполов. Объем вывала был в одном случае 150 м³, в другом — 380 м³. Заделка последнего вывала велась с поверхности, чему благоприятствовала топография местности. При шахте, глубиной в 22 м, удалось заполнить кумпол бетоном. Оставшиеся нетрону-

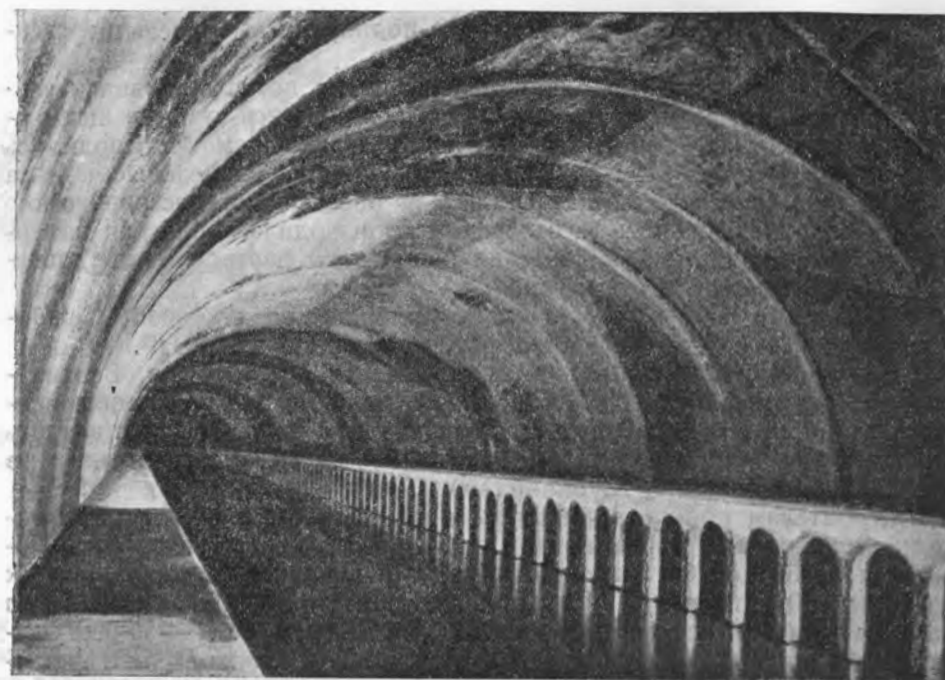


Рис. 380. Общий вид северной части тоннеля-канала „де Ров“.

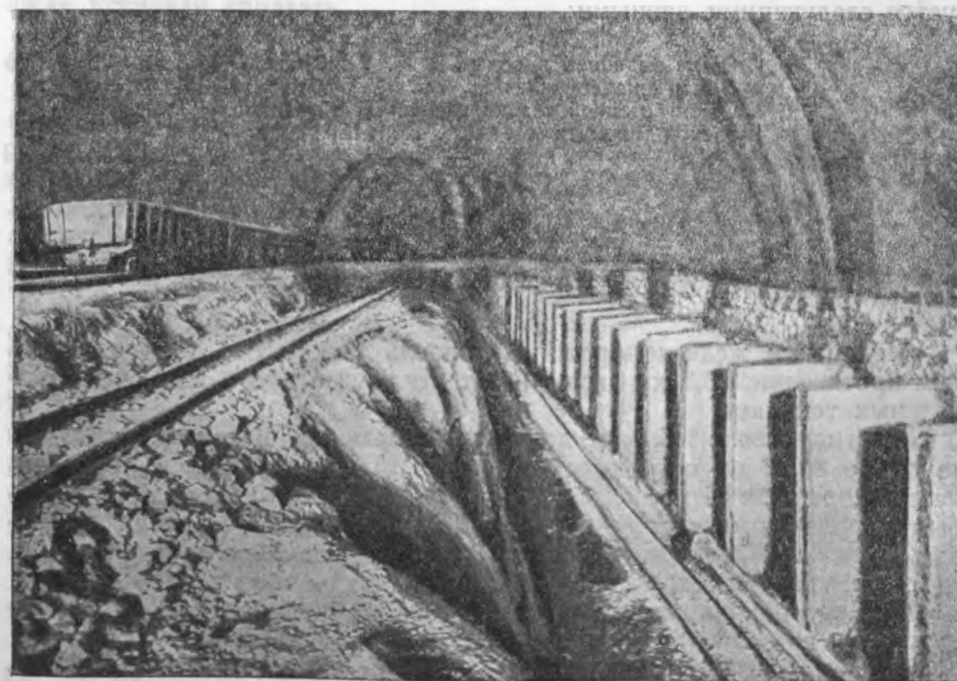


Рис. 381. Состояние работ при выемке штрассы и сооружение эстакад бичевника.

тыми у места обвала готовые своды подпирались торцевыми стенками, через которые атаквался завал.

После устройства свода, опирающегося на породу на значительном протяжении, выбиралась штросса и подводились стены в шахматном порядке, участками в 2,5—3,50 м. В дальнейшем производилось устройство бетонного лотка и двух бичевников. Тоннельные кольца устраивались с осадочными швами. Для обеспечения пассивного отпора и соприкосания грунта с кладкой производилась плотная каменная забутка породой и нагнетание цементного раствора под давлением от трех до пяти атмосфер.

Подземная тяга осуществлялась помощью воздуховозов, работавших под давлением 100 атмосфер, мощностью в 200 НР.

Ежедневный расход динамита выражался в 0,5 тонны. Вентиляция требовала подачи 80 000 м³ свежего воздуха. Искусственная вентиляция в период производства тоннельных работ осуществлялась вентилятором производительностью в 13 м³/сек., установленным в вентиляционной шахте, глубиной 140 м.

Строителям пришлось вести большую борьбу с подземными водами. В некоторых зонах приток воды в тоннельные разработки колебался от 60 до 100 литров в секунду. Бывали места, когда приток достигал 550 литров в секунду при давлении до трех атмосфер. Имел место случай максимального дебита подземных вод — 1000 литров в секунду. Строители разбили тоннель перемычками на ½-километровые зоны, где устраивались зумпфы и производилась интенсивная откачка воды. Там, где насосы не справлялись, штольни облицовывались временной каменной кладкой и здесь начинали воду гнуть цементом, нагнетая его под давлением в 5 атмосфер. На эти работы было израсходовано около 380 тонн цемента.

Грандиозность работ по сооружению тоннеля-канала характеризуется следующими данными:

1. Объем выданной породы 2,3 млн. м³
2. Объем каменной кладки 500 тыс. м³
3. Объем бетонной кладки нижней части 47 тыс.
4. Расход динамита 1300 тонн

§ 3. Медонский тоннель

Медонский железнодорожный тоннель между Версалем и Парижем протяжением 3,5 км заслуживает исключительного внимания тоннельных техников.

По гидрогеологическим данным, тоннель, заложенный на глубине около 80 м от поверхности, должен был пересекать в основном массив коренных мергелистых пород: известняков и гипсов. Дебит вод был определен незначительным. Работы открылись из двух порталов Парижа и Версаля, на смычку. Действительные условия разработки сначала полностью совпали с предположениями геологов.

Вначале работа шла в слабо трещиноватых известняках. Но затем строители врезались в слои песка естественной влажности. Здесь работы производились обычным бельгийским способом на временном деревянном креплении с опиранием свода непосредственно на грунт. Часть штроссного профиля вынималась несимметрично. В подошве

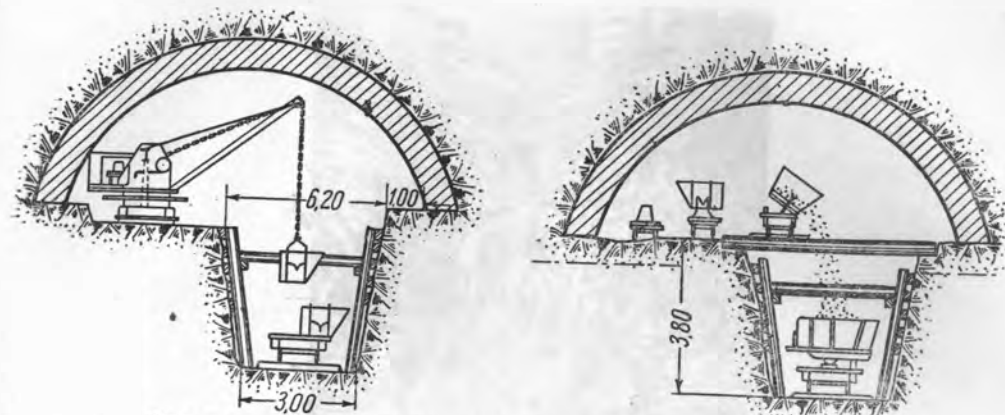


Рис. 382. Организация подачи материалов и выдачи породы при сооружении участка Медонского тоннеля бельгийским способом.

калотты был установлен кран, поднимавший вагонетки с материалами для работы в верхнем горизонте. Порода опрокидывалась сверху из вагонеток на платформы, циркулировавшие по нижнему горизонту. Так при незначительных притоках вод было пройдено до 1300 м. В дальнейшем на протяжении около 300 м через большие трещины известняков в выработки поступили водоносные среднезернистые пески. Горное давление начало нарастать и поэтому пришлось усилить систему временных, деревянных креплений. Откосы штроссного профиля начинали сползать.

Работы со стороны Версаля производились помощью щита системы Фужроль Фрер.

Щит этот замкнутого контура со значительно развитым аванбеком продвигался вперед гидравлическими домкратами, которые упирались не на выведенную обделку, как это обычно принято в щитах, а через систему металлических креплений на металлические кружала, поддерживающие возводимую тоннельную, каменную обделку, под защитой щита. В работе корпус щита сильно деформировался, и после проходки 765 м щит пришлось остановить. Все оборудование

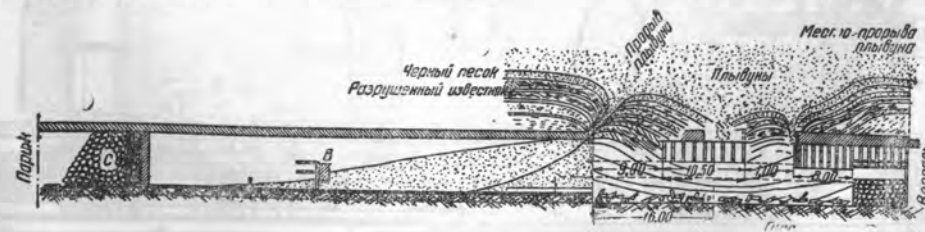


Рис. 383. Продольный разрез по оси тоннеля у места обвала при строительной катастрофе. Установлены первая защитная перемычка „В“ на полсечения и вторая „С“ на полное сечение тоннеля.

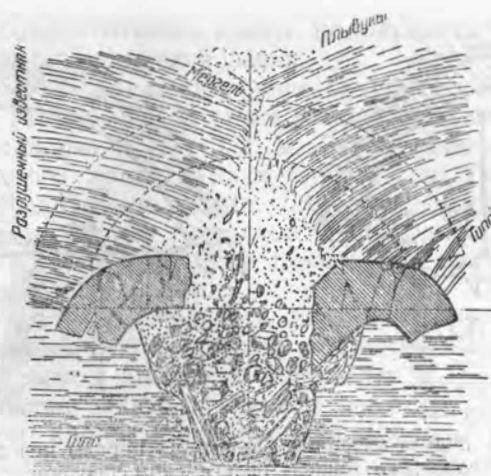


Рис. 384. Характер обрушения свода тоннеля и устремления слабых пород в выработку.

щита было снято, а оболочка похоронена под выложенной, постоянной обделкой прокладываемого тоннеля.

Дальнейшую проходку вели бельгийским способом на деревянном креплении. Работа осложнялась тем, что велась по уклону в 8°_{00} и с мокрым забоем, несмотря на интенсивный искусственный водоотлив.

При проходке участков гипсовых отложений, пришлось преодолеть усиленное давление породы. Деревянные крепи временного характера и каменные обделки потребовалось ставить значительно усиленных сечений. Однако своды на значительном протяжении участка удалось выложить с опиранием на породу. В дальнейшем было приступлено к выборке штроссы и подводке стен в шахматном порядке.

Во время работ ближайший к забою участок выложенных сводов на протяжении 40 м начал значительно оседать. В аварийном порядке стали устанавливать усиленное деревянное крепление. Однако горное давление возросло до таких размеров, что не удалось удерживать

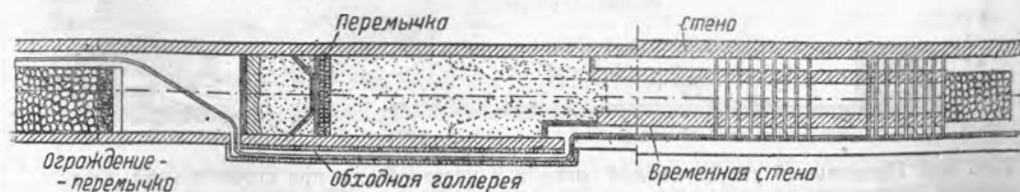


Рис. 385. План тоннеля в месте обвала. Размещение защитных перемычек.



Рис. 386. Защитная перемычка, образованная из мешков с песком, глиной и бутовым камнем.

жать катастрофического движения сводов. Деформации продолжались около двух часов. В результате своды обрушились вследствие значительного давления пльвуна, прорвавшегося и устремившегося в выработку (рис. 384).

Немедленно было приступлено к устройству перемычек для ограждения от дальнейшего распространения пльвуна. Первая перемычка была сделана на высоте 3—4 м. Вторая перемычка толщиной в 4,00 м была сложена из бутового камня на тощем растворе. В перемычке был оставлен проход, который в случае необходимости мог всегда быть быстро заделан (рис. 383, 385, 386).

Для соединения обоих порталов в обход места обвала была пройдена параллельно оси тоннеля специальная штольня. В дальнейшем было решено изменить принятый метод работ и перейти к предварительному возведению стен тоннеля и промежуточных стенок-опор, в

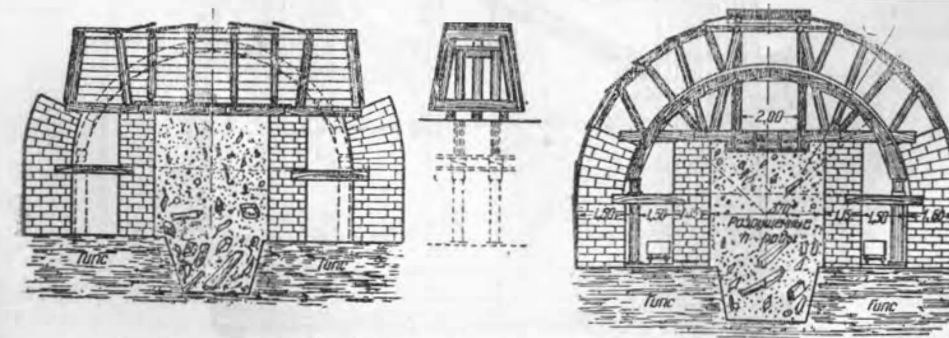


Рис. 387. Устройство временных средних опорных стен и проходка верхней штольни в калоттной части профиля.

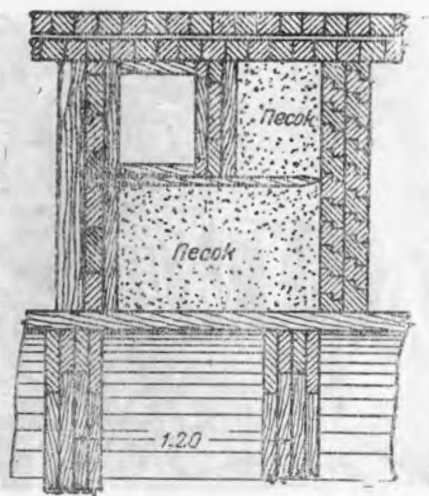


Рис. 388. Изъятие песка в ячейке, огражденной шпунтованными марчеванами.

штольнях, на которые можно было опирать кружала свода по германской системе (рис. 387).

Разработка верхней части профиля должна была производиться в условиях нарушенных плывунных грунтов и обломков обрушенного свода и креплений. Это представляло большие строительные трудности. Пришлось прибегнуть к чрезвычайно сложным, специальным методам работ на деревянном креплении. Работы производились исключительно малыми частями при разработке до 1 м^3 грунта, комбинированной системой шпунтования крепи и разбивкой забоя на ряд мелких ячеек.

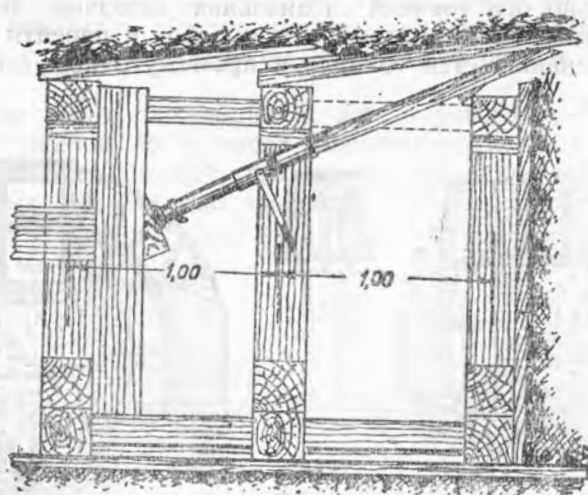


Рис. 389. Продвижение марчеванной крепи винтовым домкратом.

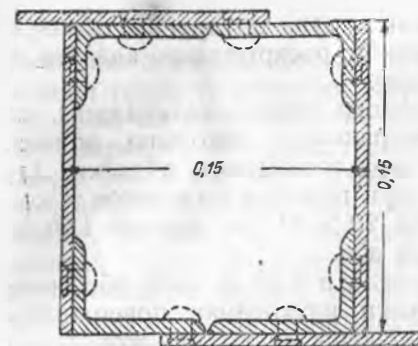


Рис. 390. Поперечный профиль металлической марчеваны.

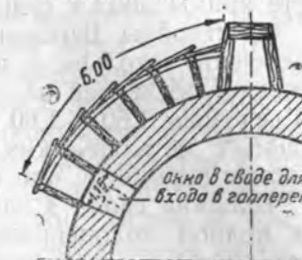


Рис. 391. Реконструкция тоннельной обделки. Штольня в надсводной части.

Выемка грунта производилась малыми частями. Снималось по одной шандорной доске во избежание запыла забоя.

Подобная работа по креплению и выемке породы являлась чрезвычайно сложной, медленной и кропотливой. Так для разработки одной камеры объемом 1 м^3 требовалась одна неделя. Работы производились при наличии защитной переборки на случай внезапного прорыва плывуна и опасности заполнения существующих выработок.

Проходка забоя со стороны Парижа велась также и помощью металлических марчеван, по деревянным рамам, продвигаемым в породу при защитном лбе забоя, помощью домкратов, развивавших усилия от 30 до 70 тонн.

Металлические марчеваны коробчатого сечения $15 \times 15 \text{ см}$, склепанные из листов и уголков, задвигались одна по другой, образуя шпунтованную поверхность, выжимали гильзу грунта или наоборот

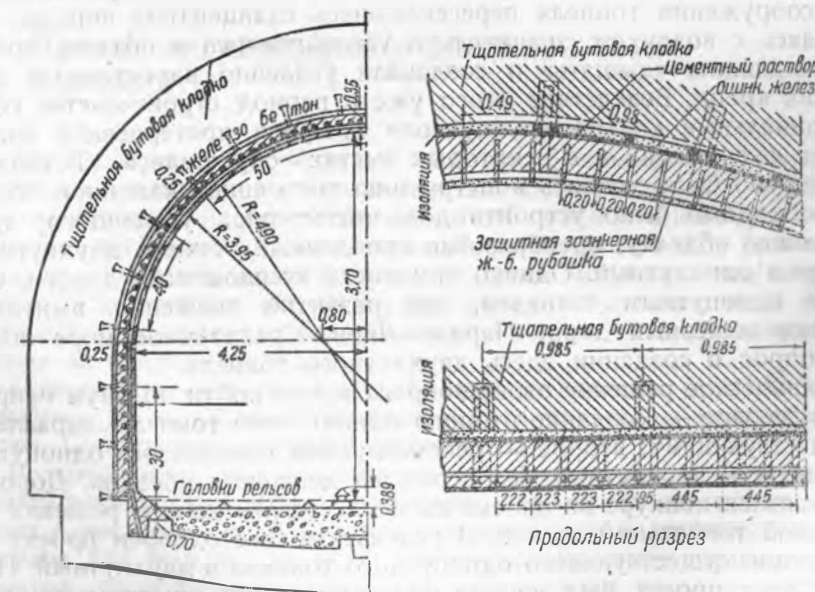


Рис. 392. Новая тоннельная обделка. Изоляция и детали укрепления внутренней железобетонной оболочки.

затыкались пробкой. Марчеваны задвигались одна по другой, образуя шпунтованную поверхность. Таким порядком раскрывалась калотта в месте примыкания к существующему своду.

Со стороны Версаля атака нарушенного забоя начиналась из поперечной штольни с выходом на центральную штольню, опирая штендера последней на существующий свод тоннельной обделки. Забой сечением $1,60 \times 1,60$ м продвигался при помощи домкратов и коробчатых металлических балок сечением 20×20 см, длиной 1,20 м по всему периметру при сплошь зашитом лбе.

Толщина свода в замке была назначена в 1,60 м. Для обеспечения полной водонепроницаемости обделки внутренняя поверхность была покрыта слоем цемента и были уложены листы оцинкованного железа в 1 мм, поддерживаемые заанкеренной внутренней, железобетонной оболочкой толщиной 30—35 см. При этом между последней и поверхностью железа нагнетали цементный раствор, который образовывал слой, толщиной в 4 см.

Так удалось восстановить участок в 40 м обвальной зоны тоннеля. Протяжение Медонского тоннеля 3,35 км.

§ 4. Реконструкция железнодорожного тоннеля „Круа де л'Орм“

Железнодорожный тоннель линии Лион-Сент-Этьен протяжением 2081 м пересекает напластования сланцев, песчаников и выклинивший глини и залегает на глубине от 10 до 50 м от поверхности. Во время сооружения тоннеля пересекавшиеся сланцеватые породы, соприкасаясь с воздухом, значительно увеличивались в объеме, проявляли тенденцию «дышать» и создавали усиленно нарастающее давление на крепи. Вследствие этого уже в период строительства готовые тоннельные кольца двухпутного профиля претерпевали значительные деформации и в некоторых местах обрушались. В связи с этим решено было усилить конструкцию постоянной каменной обделки. Необходимо было устроить дополнительную, усиленного типа внутреннюю обделку, преобразовав пройденный тоннель двухпутного профиля в однопутный. Однако трудности эксплуатации дороги, созданные однопутным тоннелем, при развитии движения, вынудили компанию железных дорог Париж—Лион—Средиземное море поставить вопрос о создании здесь двухпутного тоннеля.

Техническое решение этого вопроса могло пойти по двум направлениям: первое — создание второго однопутного тоннеля, параллельно существующему; второе — реконструкция имеющегося однопутного тоннеля в двухпутный без перерыва движения поездов. Дорогой был объявлен конкурс на проект наиболее эффективного решения поставленной тоннельной задачи. В результате был одобрен проект реконструкции существующего однопутного тоннеля в двухпутный. Полностью этот проект был принят после проходки опытного участка, протяжением 50 м.

Сущность запроектированной системы заключалась в следующем: над шельгой свода вдоль оси тоннеля была пройдена направляющая

штольня. В начале штольневые рамы были деревянные, но при нарастании горного давления устраивали каменное крепление их, а затем перешли на металлические рамы, поставленные через 0,5 м Штендера опирались непосредственно на кладку существующего каменного свода. Затем малыми частями, кольцами в 2,00 м, производилось раскрытие объемлющего калоттного профиля с опиранием штендеров на кладку обделки, как на опорное ядро. После производства в пройденных заходках разломки внешнего свода обделки штендера перекреплялись на кладку свода внутренней обделки. Вслед за тем на внешнюю поверхность последней укладывались специальные листы толя и возводилась кладка нового свода толщиной в ключе 0,80 м, а в пятах 1,20 м при использовании внутренней обделки, как кружал. Далее временные деревянные крепления удалялись, а пространство рабочих выработок заполнялось бетоном. Пневматическими инструментами стбивался существующий внутренний свод и стены однопутного профиля.

Тоннельные работы по реконструкции обделок велись с двух забоев. Северный участок имел протяжение 1107 м, южный — 974 м.

Для заполнения всех пустот и обеспечения пассивного отпора окружающего грунта за обделку производилось нагнетание цементного и известкового растворов. Никаких деформаций вновь устроенных обделок не было.

Объем работ характеризуется следующими цифрами:

1. Расход крепежных материалов	—	6 000 м³
2. Объем бетонных работ	—	50 000 „
3. Расход цемента и извести	—	17 000 тн.

§ 5. Проект специальной тоннельной сети под Парижем

Для воздушно-химической обороны 5-миллионного населения г. Парижа недавно был предложен интересный проект тоннельной сети, заложенной на большой глубине. В мирное время эти тоннели по мысли авторов проекта должны быть предназначены для автомобильного движения, для экспрессных линий метрополитена и для городского подземного хозяйства. Во время воздушных атак тоннели будут использованы, как газоубежища и для защиты и эвакуации населения за пределы города.

Поперечное сечение тоннелей запроектировано круглой формы, диаметром 20 м. Обделка тоннеля металлическая, из отдельных сегментов. Сооружение тоннелей намечено щитами.

Распределение сечения тоннеля следующее: несколько выше горизонтального диаметра расположена автострада на пропуск 4.000 машин в час при 4-путном движении автобусов и автомобилей и два тротуара для пешеходов; по бокам несколько ниже горизонтального диаметра располагаются пути для экспрессных поездов метрополитена; ниже размещается совершенно изолированное пространство, используемое, как газоубежище и для эвакуации населения (рис. 393).

Одним из существенных моментов в данном проекте является вопрос вентиляции. Последняя разрешена и для мирного и военного

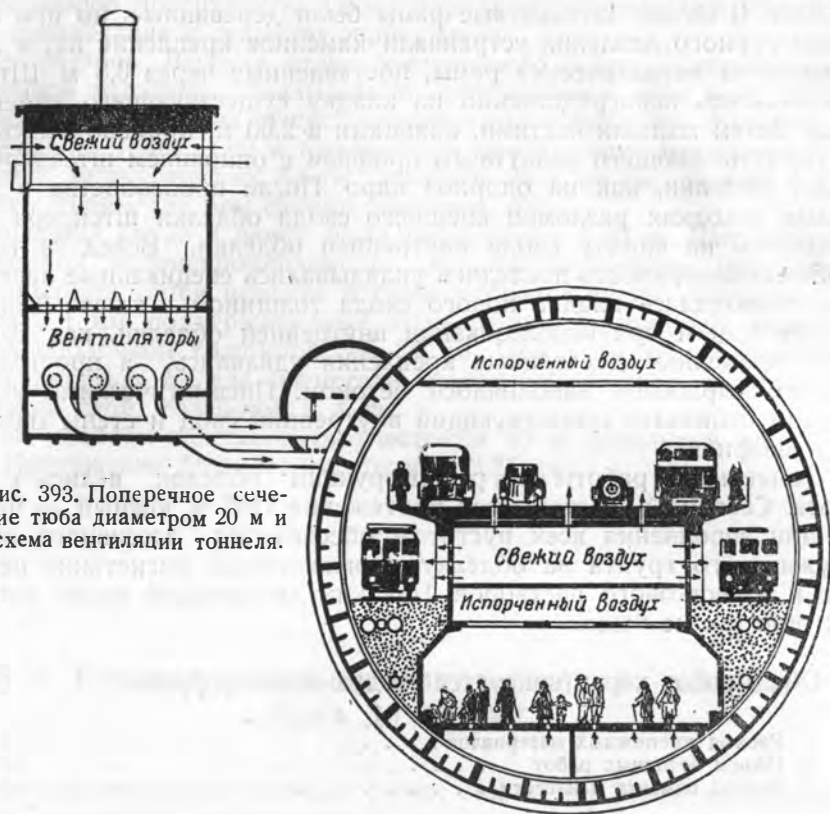


Рис. 393. Поперечное сечение тунеля диаметром 20 м и схема вентиляции туннеля.

времени отлично: в мирное время вентиляция производится нагнетанием свежего воздуха под проезжую часть автостреды и вытяжкой испорченного от выделений автомобилей, воздуха, через верхнюю сегментную часть туннеля. Вентиляционные станции располагаются примерно через каждый километр. При воздушной атаке система вентиляции немедленно изменяется. По автострезде разрешается проезд только для специальных целей в противогазовых масках. В изолированном же и газонепроницаемом пространстве туннеля, предназначенном для эвакуации населения, производится циркуляция воздуха, основанная на принципе регенерации его. Таким образом, нижнее тоннельное пространство совершенно изолировано от наружного воздуха, который может быть отравлен газом.

Вход в туннель через ramпы намечен без шлюзования. В портовой части запроектированы завесы, обеспечивающие туннель от проникновения газа снаружи. Первая завеса состоит из наклонных струй сжатого воздуха, вторая и третья завесы образуются из водных струй.

Из туннелей для эвакуации населения запроектированы выходы к железным дорогам и к реке Сене.

Стоимость погонного километра туннеля по проекту составляет около 150 миллионов франков.

Этот проект, продиктованный неизбежностью новой империалистической войны, имеет шансы на осуществление. Огромные же капиталы, необходимые для сооружения такой грандиозной тоннельной сети, капиталистами будут получены за счет нового снижения материального положения рабочих Франции.

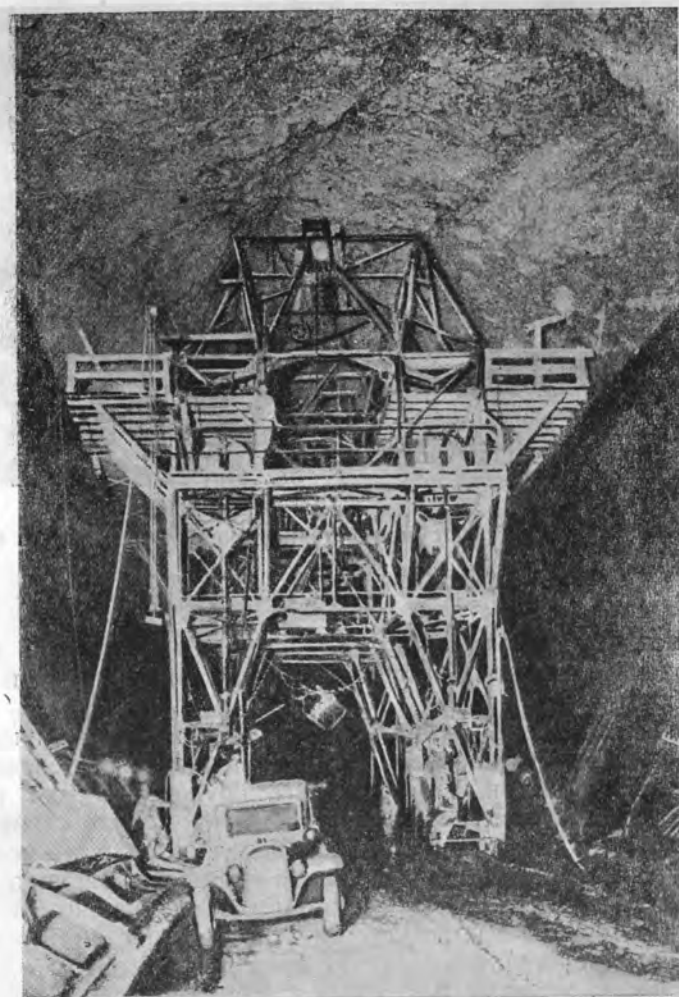


Рис. 394. Оборудованная подвижная платформа, использованная при проходке туннеля „Хувер Дам“ диаметром в свету 15,24 м (САСШ).

§ 6. Элементы механизации тоннельных бетонных работ

а) Подвижные металлические формы

Стремление к упрощению и рационализации временных креплений при сооружении бетонных конструкций вылилось в необычайный интерес к системам подвижных металлических форм. Особенно большие достижения в этой области имеет американская фирма «Блоу Нокс», Парижский филиал которой проводил большие работы во Франции.

Применение подвижных металлических форм в тоннельном строительстве дает помимо экономического эффекта выигрыш во времени, а главное, ускорение сооружения постоянной тоннельной сделки, что в условиях нарастающего горного давления имеет иногда большое значение.

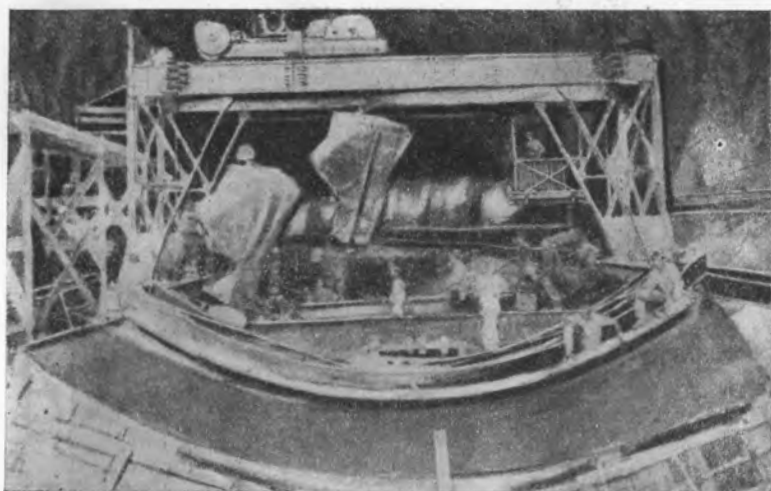


Рис. 395. Общий вид работ при бетонировании нижней части обделки.

Применение горизонтальных подвижных форм при постройке тоннелей значительного протяжения обеспечивает быстрый темп бетонных работ.

Формы для бетонирования состояются из металлической опалубки с кружалами, установленными на специальных тележках. Опалубка состоит из листов 3-мм толщины, кружала в виде ребер из сортового железа, а при больших пролетах — в виде сегментообразных решетчатых конструкций. Подвижные формы в зависимости от очертания, размеров профиля и длины прокладываемого тоннеля устраиваются различных конструкций. Отрыв опалубки от бетона и установка форм достигаются путем специальных приспособлений, входящих непосредственно в самую конструкцию форм домкратов, винтовых стяжек, хомутов и т. п.

Подвижная опалубка «Блоу Нокс» нашла большое применение в метрополитенном строительстве как в закрытом, так и в открытом способе работ. В первом случае в зависимости от поперечного сечения тоннеля формы устраиваются раздельными для последовательного бетонирования лотка, стен и свода, или полными для бетонирования обделки одним приемом.

Подвижные формы «Блоу Нокс» с большим успехом были применены при изготовлении бетонной обделки тоннеля на «Хувер Дам» в Америке. Для приготовления форм было затрачено до 2000 тонн металла. Общая длина четырех тоннелей здесь около 4,7 км. Поперечное сечение — круглой формы, диаметром 17,06 м; толщина бетонной обделки — 91 см; сечение в свету — 15,24 м. Бетонирование тоннельной обделки производилось при последовательном сечении на три части:

1. Нижняя часть по сегменту (74°) образует лоток	9,6 м ³ / пог. м
2. Стены по углу 88°	22,6 м ³ / пог. м
3. Свод по углу 110°	14,4 м ³ / пог. м

В с е г о на 1 пог. м тоннельной обделки 46,6 м³.

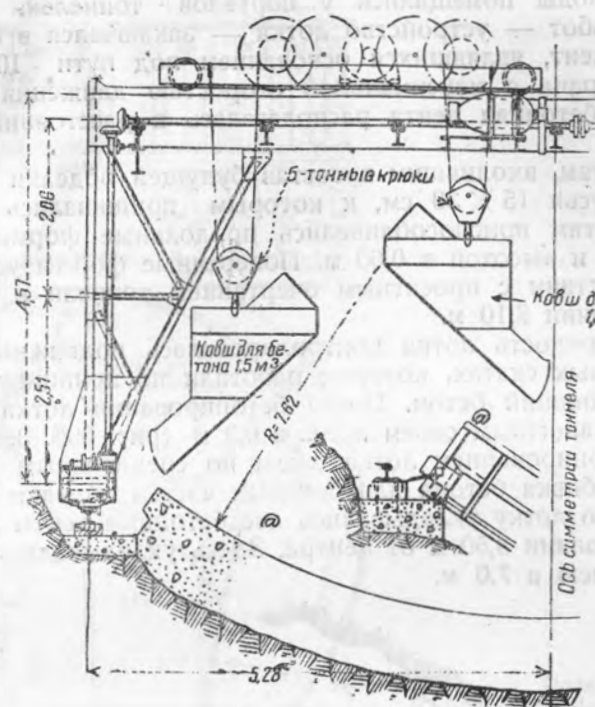


Рис. 396. Подвижная платформа Блоу Нокс при бетонировании лотка тоннеля.

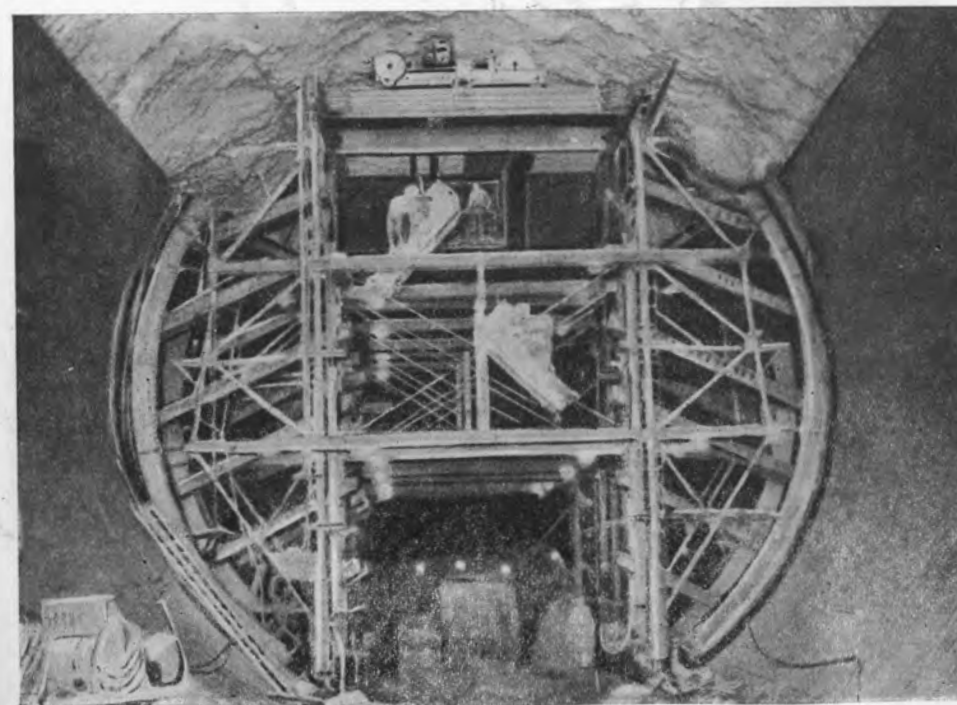


Рис. 397. Общий вид форм при бетонировании боковых частей тоннеля.

Бетонные заводы помещались у порталов тоннелей. Первый этап бетонных работ — устройство лотка — заключался в создании двух бетонных лент, являвшихся основанием под пути 10-тонного электрического крана с максимальной скоростью движения 90 м в минуту; каждая бетонная лента располагалась в расстоянии 4,80 м от оси тоннеля.

По этим лентам, входившим в состав будущей обделки тоннеля, укладывались брусья 15×30 см, к которым пришивались рельсы для крана. К путям приспособлялись продольные формы лотка секциями в 3,0 м и высотой в 0,60 м. Поперечные формы устанавливались в соответствии с проектным очертанием тоннеля и располагались на расстоянии 8,10 м.

Вогнутая поверхность лотка контролировалась подвижными кружалами на вагонных скатах, которые работали по принципу скрепера, снимавшего лишний бетон. После бетонирования лотка последний покрывался защитным слоем песка в 0,9 м (рис. 395, 396).

Вслед за бетонированием лотка сзади по специальным формам производилась набивка бетона для боковых частей обделки тоннеля. Предварительно по лотку укладывались две бетонные ленты шириной в 5,48 м на расстоянии 3,50 м от центра. Здесь укладывались рельсы, образовавшие колею в 7,0 м.

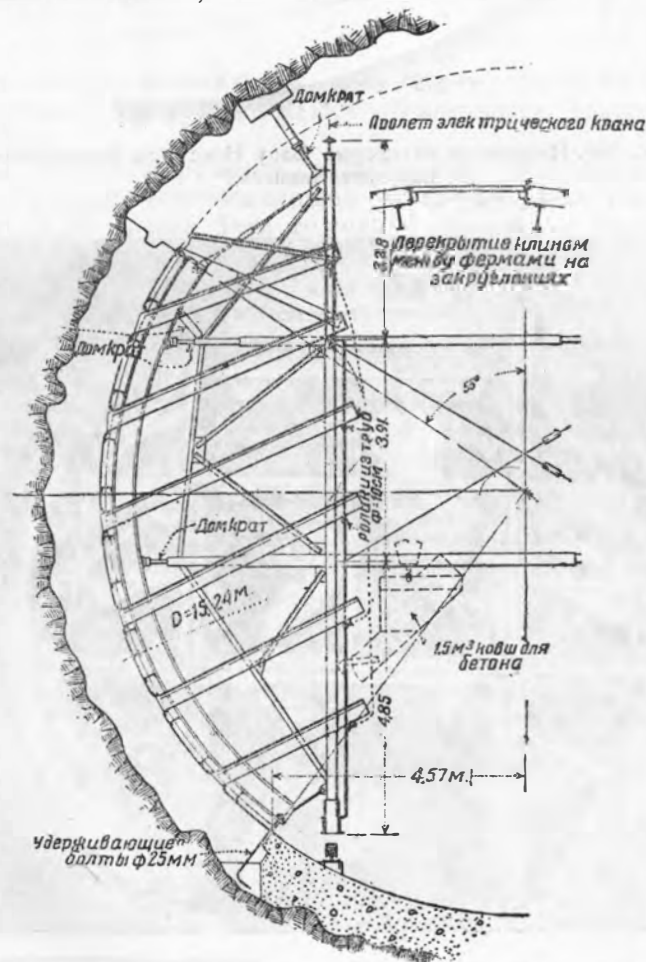


Рис. 398. Металлическая форма Блоу Нокс для бетонирования боковых частей тоннельной обделки.

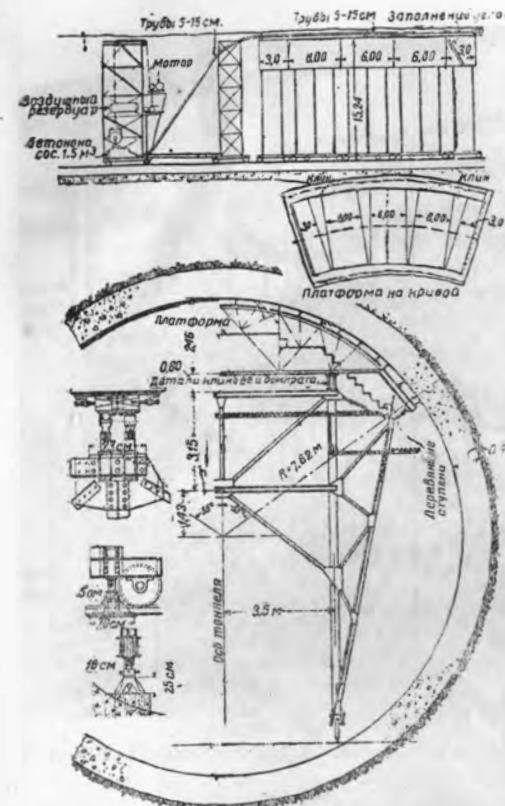


Рис. 399. Подвижная металлическая форма Блоу Нокс для бетонирования свода тоннельной обделки. Вверху показан разрез по оси тоннеля и схема вписывания форм в кривые участки тоннеля.

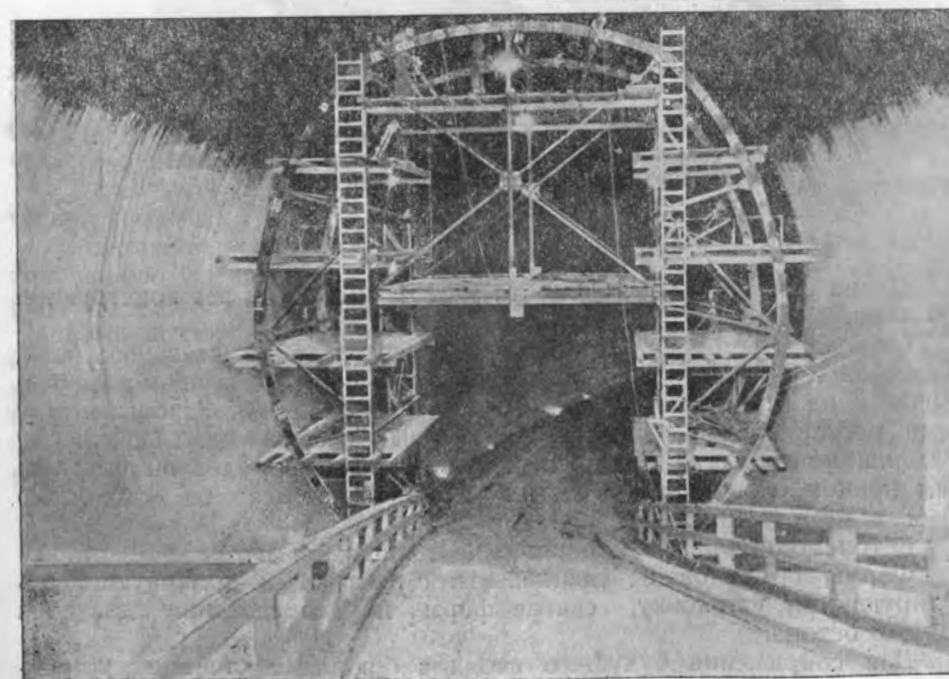


Рис. 400. Подвижная платформа Блоу Нокс, с которой производится бурение шпуров в обделке, нагнетание раствора и торкретирование внутренней поверхности.



Рис. 401. Металлические подвижные формы системы Блоу Нокс для сооружения железобетонных конструкций тоннелей метрополитенов при открытом способе работ.

Длина форм — 24,4 м, высота — 15,2 м. Общий вес конструкции 350 тонн.

Опалубка форм для боковых стен состояла из стальных плит, толщиной в 6 мм. Для использования этих форм на кривой они разделялись на 5 секций — 3 по 6,1 м и 2 — по 3,00 м. Зазоры между ними регулировались деревянными приспособлениями. По верху стальная конструкция подвижных форм была оборудована порталным краном, мощностью 5 тонн, перемещавшимся со скоростью 90 м. в минуту (рис. 397, 398).

Бетон поднимался в ковшах емкостью по 1,5 м³.

Формы оборудованы специальными винтовыми домкратами, регулирующими установку, снятие форм и распределение давления сырого бетона.

Для сопряжения будущего свода с боковыми стенами устраивался замок, шириной 25 см и толщиной 5 см.

Продолжительность бетонирования обеих боковых частей по длине форм 24,4 м — 24 часа. Форма поддерживала бетон 10 часов.

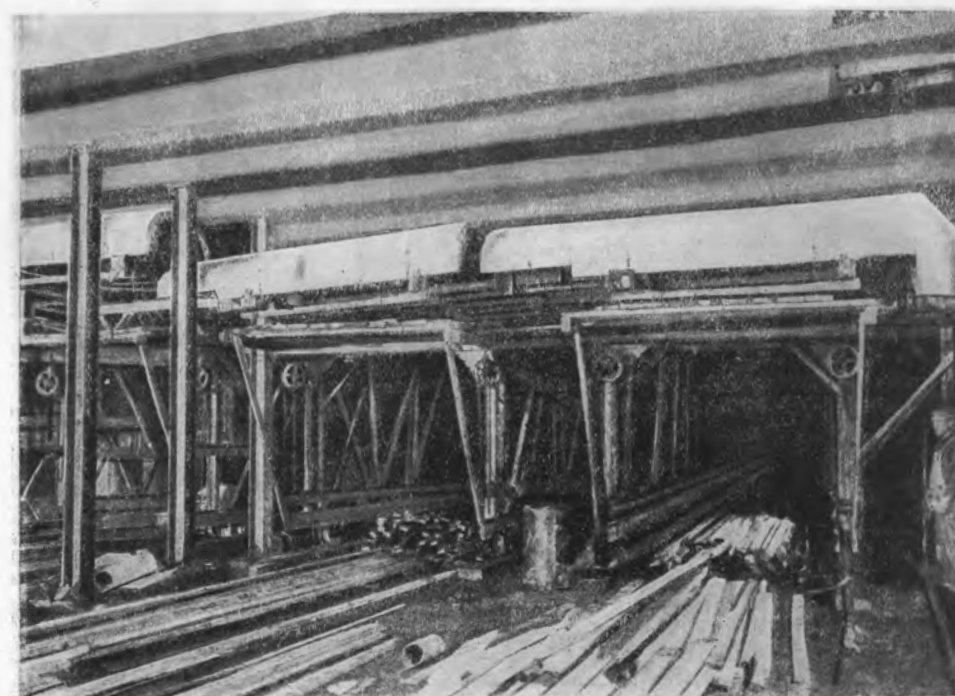


Рис. 402. Подвижная металлическая опалубка несущих плоских перекрытий тоннелей метрополитена.

Полная продолжительность цикла — установка форм, бетонирование и снятие форм — 50 часов.

Тоннельная обделка в верхней части бетонировалась пневматическим путем.

Подвижные формы для свода представляли конструкцию, смонтированную на платформе и перемещавшуюся по тем же ходовым рельсам, что и формы для стен тоннеля (рис. 399).

На платформе поддерживали на домкратах кружальную стальную опалубку свода, цемент-пушку и специальные ковши емкостью в 1,5 м³, тележку для трубопроводов. Имелось здесь два воздушных цилиндра, служивших для подачи сжатого воздуха.

Бетонная обделка покрывалась пневматическим способом слоем асфальта:

Бетон имел состав	1:2,1:4,7
Объем бетонных работ: лоток	59 000 м ³
боковые части	109 000 „
свод	53 000 „

Всего . . . 221 000 м³

За 24 часа укладывалось до 1560 м³ бетона. Максимально — 2100 м³ в сутки.

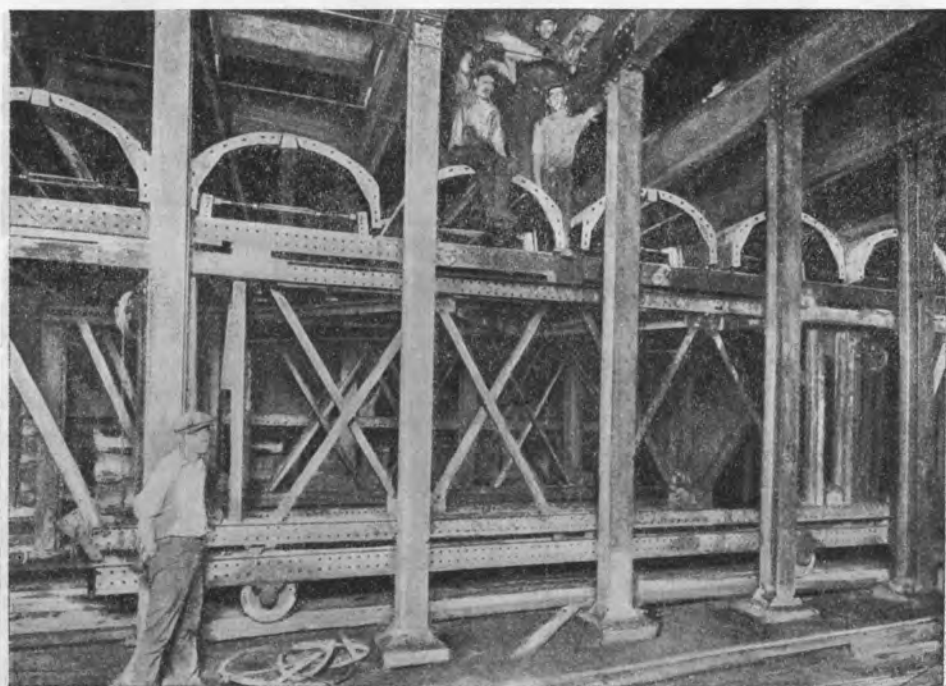


Рис. 403. Подвижная металлическая опалубка перекрытий системы Блоу Нокс.

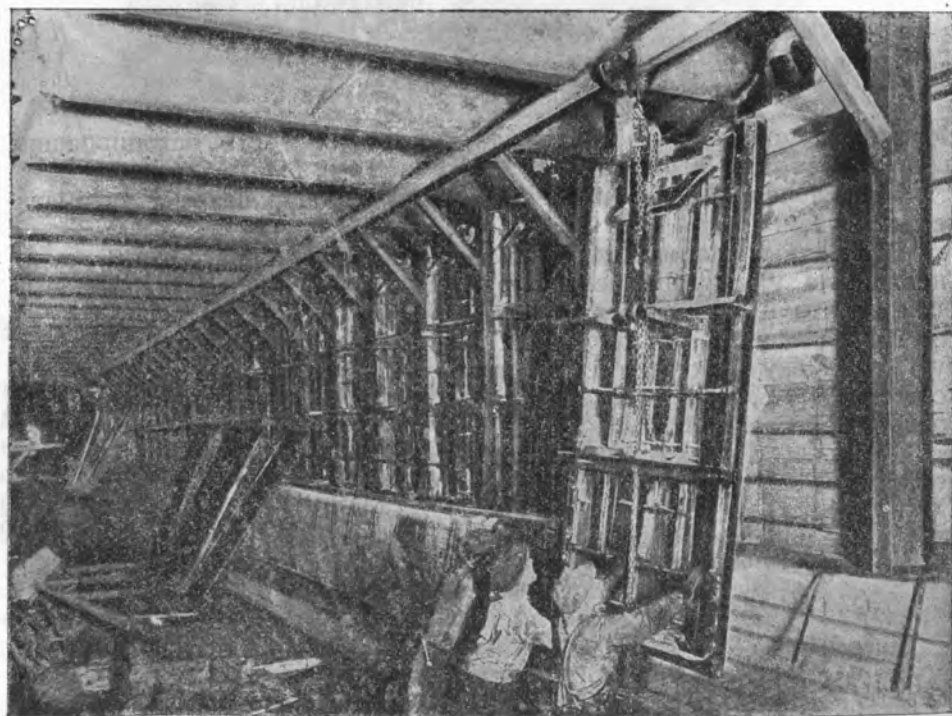


Рис. 404. Подвижные металлические формы для стен, перемещаемые по монорельсу.

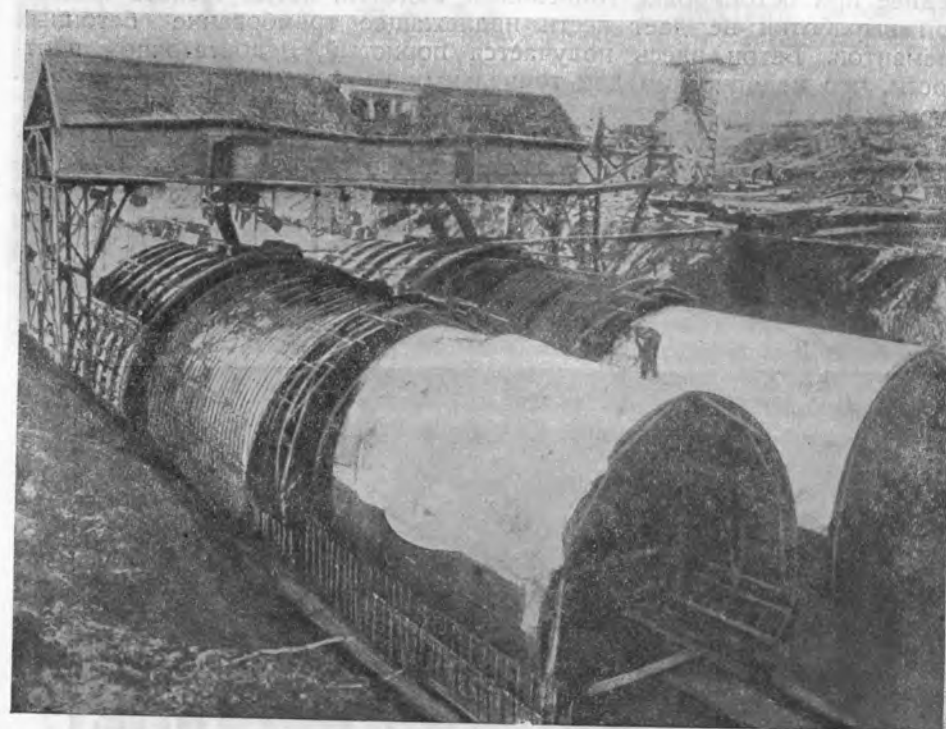


Рис. 405. Телескопическая форма с подвижным бетонным заводом для сооружения сводчатых тоннелей метрополитенов открытым способом по системе Блоу Нокс. Скорость бетонирования 10 метров в сутки.

Большой интерес представляют телескопические формы «Блоу Нокс», приспособленные для открытого способа работ. Эти формы для тоннеля диаметром 10 м применялись следующим образом: впереди находилась перемещаемая по рельсам внутренняя металлическая опалубка с кружальными фермами длиной 10 м. Рядом была такая же опалубка, на которой производилась вязка арматуры железобетонной обделки тоннеля. Сзади шла внешняя подвижная опалубка, под которой бетонировалась обделка. Вместе с внешней подвижной опалубкой по рельсам перемещалась порталная рама, на которой располагался бетонный завод.

При телескопической системе осуществляется непрерывный цикл работ и удается довести без особого напряжения бетонирование тоннеля до 10 пог. м в сутки.

б) Вибраторы и первибраторы для бетонных работ

В последнее время за границей быстро развивается метод вибрирования, и особенно первибрирования бетона. Механизация бетонных работ, бетононасосы, джеки, подвижные металлические формы, граулометрический подбор состава бетона — все это является недостаточным для получения высокого качества бетонных сооружений, так как сам процесс укладки и трамбования бетона на месте не может обеспечить требуемой марки его. Особенно невозможно пос-

леднее при бетонировке тоннельных обделок, когда теснота подземной выработки не дает вести надлежащее трамбование бетонных элементов. Бетон здесь получается пористый, недостаточной плотности, что недопустимо для тоннельных сооружений, подчас подвергающихся вредному воздействию агрессивных грунтовых вод.

Давно установлено, что, подвергая массы бетона повторным сотрясениям, удается достигнуть повышенного уплотнения ее. Большие эксперименты в этой области проводились французскими инженерами Фрейсинэ и Беранже, английскими инженерами Фебером и Гайлдом и американскими инженерами. В результате строительство за



Рис. 406. Подвижная металлическая форма Блоу Нокс для бетонирования обделок сводчатых тоннелей.

границей пришло к системе вибраторов и первибраторов, действующих электричеством или пневматически.

Бетон, уложенный в дело с вибраторами, приобретая новую структуру, значительно превосходит по качеству бетон трамбованный.

1. Под влиянием вибраций заполняется значительный объем пустот между отдельными частицами инертных составляющих, благодаря чему достигается исключительная плотность бетона.

2. Применением вибрации достигается качественная однородность бетонируемого массива.

3. Достигается повышенное сопротивление бетона, так что можно уменьшить сечения элементов бетонных или железобетонных конструкций.



Рис. 407. Типы вибраторов различных размеров.

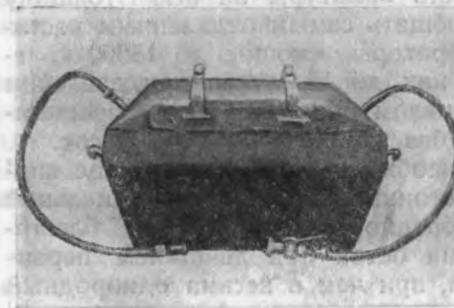


Рис. 408. Вибратор всплывающий в процессе своего действия.



Рис. 409. Работа с вибратором, сотрясающим металлическую опалубку тоннельной обделки.

4. Жесткий бетон под действием вибрации становится пластичным.

5. При вибрации на поверхности бетона образуется гладкий, тонкий слой цементного раствора, который по своим качествам превосходит торкрет.

6. При вибрации укладка бетона для тоннельных обделок может производиться в таких тесных участках и при такой густорасположенной арматуре, где обычное трамбование бетона недоступно.

7. При вибрированном бетоне допустимо более раннее раскружалывание, чем при обычном трамбованном бетоне. Этот вопрос при нарастающем горном давлении на тоннельные обделки имеет важное значение.

При дальнейшем развитии вибрационных методов есть предпосылки для получения водонепроницаемого бетона.

Вибрация бетона производится следующими примерами.

- а) сотрясение опалубки,
- б) сотрясение поверхности уложенной бетонной массы,
- в) сотрясение бетона по всей толщине уложенного слоя.

В первом и во втором случаях употребляются обычные вибраторы. При этом опалубка проектируется с расчетом на влияние от вибраций. Применяются и так называемые всплывающие вибраторы, которые по весу своего объема легче бетонной массы. В процессе вибрирования и по мере укладки бетона в этом случае сам аппарат всплывает на поверхность. Имеются и аппараты, поднимающиеся вверх по мере их вибрационного действия на уложенный слой, помощью противовеса на канате.

Частота колебаний вибратора доходит до 4 000—4 800 в минуту. Зона распространения их колебаний равна 6,0 м. Для пневматических вибраторов требуется давление воздуха 5 кг/см² при расходе его около 300 м³ час.

Вибраторы производят особенно эффективное действие на качество бетонных элементов незначительной толщины. При значительных размерах бетонных массивов действие вибрации распространяется главным образом на поверхности, не проникая во внутреннюю часть сечения. Всплывающие вибраторы в мощных слоях бетона приводят иногда к расслаиванию его.

Наиболее основательным методом уплотнения бетона является первибрация, получившая сейчас большее распространение за границей, при изготовлении бетонных блоков значительных размеров.

Одним из совершенных первибраторов является игольчатый тип его, состоящий из металлической трубы, диаметром 45 мм и длиной 0,80 м, которая подвергается сотрясениям от помещенной у рукоятки, специальной турбинки. Последняя под действием сжатого воздуха совершает до 4500 оборотов в минуту. Колебания возрастают по мере удаления от острия первибратора. Игольчатым первибратором удается проникнуть через густую сеть арматуры на всю толщину укладываемого бетонного слоя и сообщать самым отдаленным частям его сотрясения. Имеются первибраторы, дающие до 18000 колебаний в минуту. Расход воздуха в них до 15 м³/час при давлении около 7 кг/см². При аккуратном и умелом обращении первибрационный аппарат в состоянии работать без ремонта до 2000 часов.

У нас вибрации и первибрации необходимо уделить особое внимание. В частности, при создании бетонных блоков для тоннельной обделки при щитовой проходке вибрационный метод дает блестящие результаты. Даже ультра-жесткий бетон под действием первибраторов превращается в пластичный, при чем в весьма однородный и повышенного сопротивления.



ОТДЕЛ III БЕЛЬГИЙСКАЯ ТЕХНИКА СООРУЖЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ

Бельгийская тоннельная техника сама по себе не представляет ничего выдающегося, хотя бельгийские инженеры и являются основоположниками так называемой «бельгийской системы», которая получила всемирную известность и распространение.

Бельгийская система широко применяется на тоннельном строительстве Парижского метро и при сооружении тоннелей, пересекающих горные массивы.

За последнее время в Бельгии построены два интересных подводных тоннеля для автомобильного и пешеходного движения, под рекой Шельдой в Анверпене, изученные автором на месте. Следует однако отметить, что сооружение этих подводных тоннелей под Шельдой проведено бельгийцами не самостоятельно, а при активной иностранной помощи.

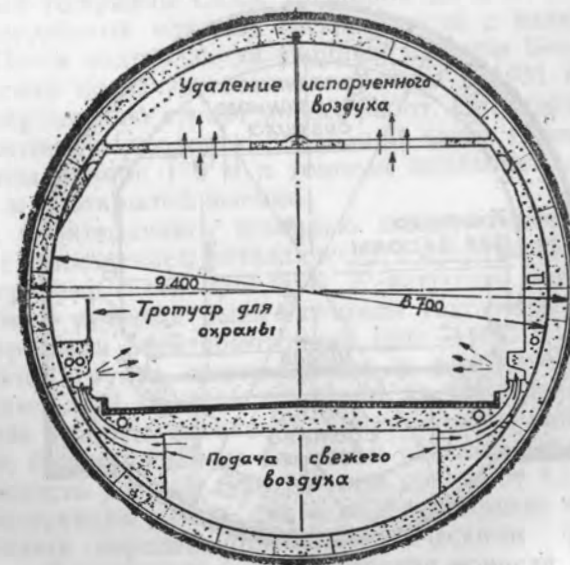


Рис. 410. Поперечное сечение Шельдского тоннеля для автомобильного движения в подводной части.

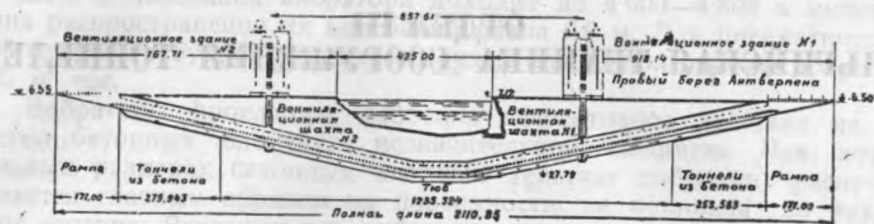


Рис. 411. Продольный профиль Шельдского подводного тоннеля для авто-движения.

Подводные тоннели под р. Шельдой

а) Сооружение автомобильного тоннеля

Общая длина тоннеля с подходными участками	2110,85 м.
Открытые ramпы	171 м
Длина тоннельной части	1768,85 м
Подводная часть тоннеля	395 м
Ширина шоссе в тоннеле	6,75 м
Высота тоннеля в свету	4,5 м
Подходные уклоны	35‰

Для изучения условий гидрогеологического режима и характера напластований грунтов по трассе было предпринято бурение береговых частей и ложа реки. Скважины располагались в шахматном порядке по линиям, параллельным трассе, на расстоянии в 20 м от оси тоннеля. Всего было заложено 24 скважины, из них 3 непосредственно через дно реки, 10 скважин — на левом берегу и одиннадцать — на правом. Глубина заложения скважин колебалась от 27 до 40 м.

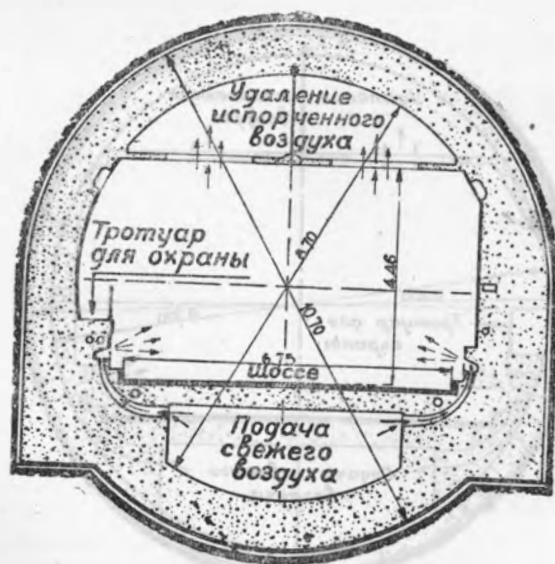


Рис. 412. Поперечное сечение Антверпенского тоннеля для автомобильного движения в береговой части.

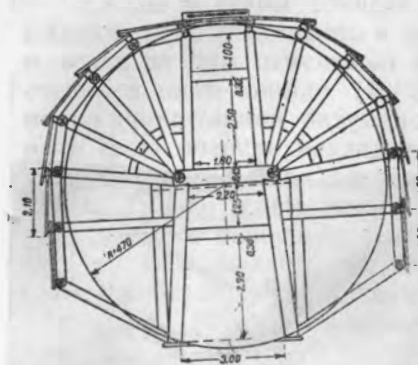


Рис. 413. Метод временного деревянного крепления на полный профиль при постоянной металлической обделке. Применен для короткого тоннельного участка правого берега.

Выявлены были следующие напластования грунтов:

1. Под дном реки: дно — илистый песок, толщиной до 1,00 м; ниже водоносные крупнозернистые пески; последние подстилаются мощным пластом плотной водонепроницаемой Боомской глины с известковыми включениями.

2. Правый берег: под насыпными породами из суглинков, песков с органическими включениями, мощностью от 3,00 до 9,00 м залегают в неправильной последовательности тонкозернистые пески, которые переплетаются с глинистыми выклиниваниями. Эти песчаные напластования, насыщенные водой, являлись слабыми грунтами плавунного характера.

Пески подстилались пластом пластичной Боомской глины.

3. Левый берег: под насыпным слоем залегает пласт глины, подстилаемый торфяным слоем толщиной до 2 м. Под торфом залегают тонкозернистые илистые пески, иногда с включениями торфяных линз. Пески подстилаются мощным пластом Боомской глины.

Немедленно после составления проекта в 1931 г. было приступлено к разворачиванию строительных работ. Предварительно было начато сооружение подходов к подводной части тоннеля в виде открытой ramпы длиной 170 м и тоннеля железобетонной конструкции длиной 280 м в открытой выемке.

Работы производились помощью искусственного водопонижения и частично с применением металлического шпунта. Недалеко от бровки котлована срубами были пройдены 27-метровые колодцы сечением в свету 0,50 м, в которые были опущены глубинные насосы с герметически закрытыми электромоторами (рис. 413).

Разработка грунта производилась в два яруса. Выемка грунта осуществлялась при помощи грейфера на порталном кране.

Учитывая слабость основания, конструкцию ramпы в виде незамкнутой рамы, фундаменты на бетонных набивных сваях системы Пиефранки. Носкость каждой сваи 75 тонн, длина от 4,5 до 9,5 м.

Как конструкция ramпы, так и железобетонная тоннельная обделка выполнялись передвижными металлическими формами системы «Блоу Нокс». Внутренний диаметр сечения тоннеля 8,70 м. После сооружения железобетонной обделки она засыпалась сверху.

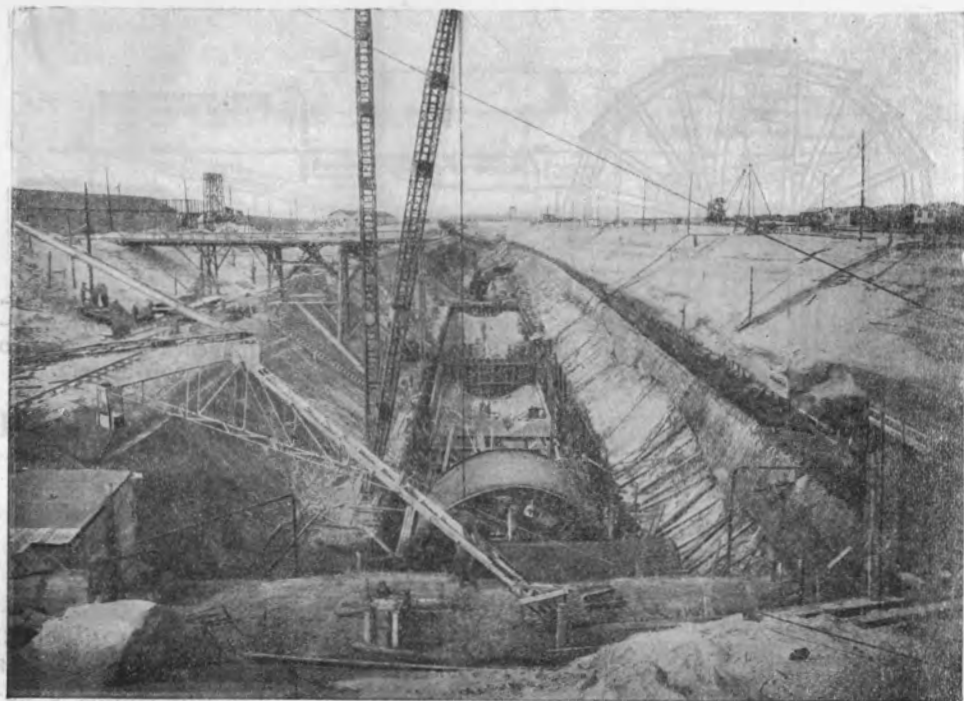


Рис. 414. Производство работ в подходном участке. У портала ведется сборка щита. Одновременно развернуты работы по забивке шпунтового ограждения котлована ramпы.

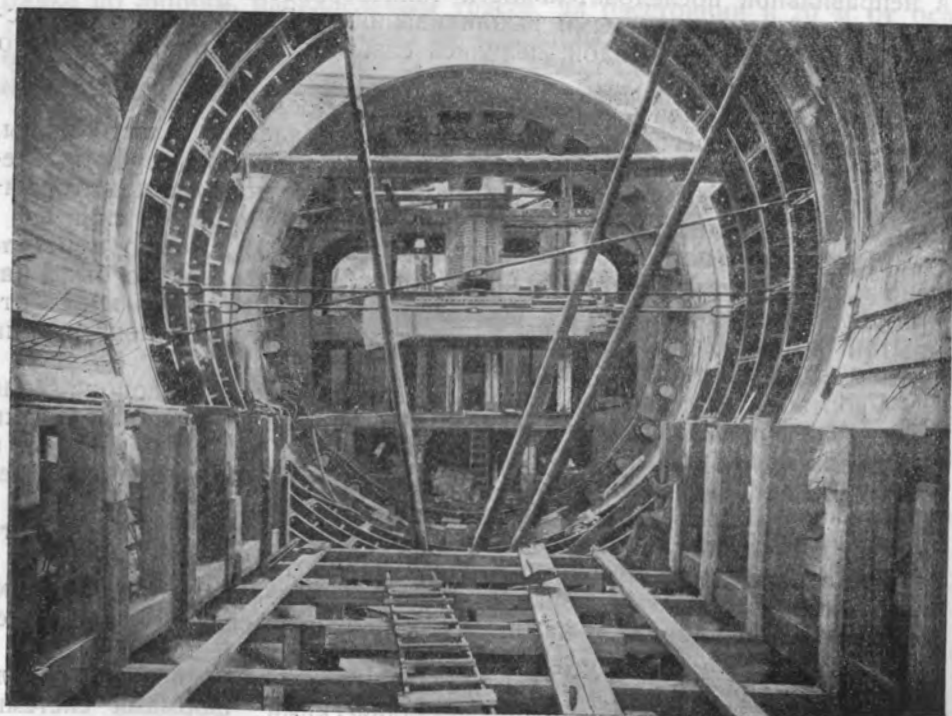


Рис. 415. Монтаж щита для проходки Шельдского тоннеля в открытом котловане.

Своды и стены тоннеля и ramпы изолировались следующим порядком: непосредственно к грунту прикладывался битуминозный слой и вслед за ним цементный слой, к которому прижималась защитная стенка в один кирпич. По стенке наклеивалась специальная мембрана из пропитанной битуминозной клеемассой, сетчатки. По мембране в свою очередь накладывался слой цементного раствора и далее возводилась несущая бетонная или железобетонная конструкция.

Несколько иначе велась изоляция лотка: изоляционная мембрана укладывалась непосредственно по бетонной подготовке; по мембране плашмя укладывались слой кирпича, защитный слой цементного раствора и бетон лотка. Указанными материалами и приемами удалось достигнуть полной изоляции подходов к подводному тоннелю (рис. 424, 425).

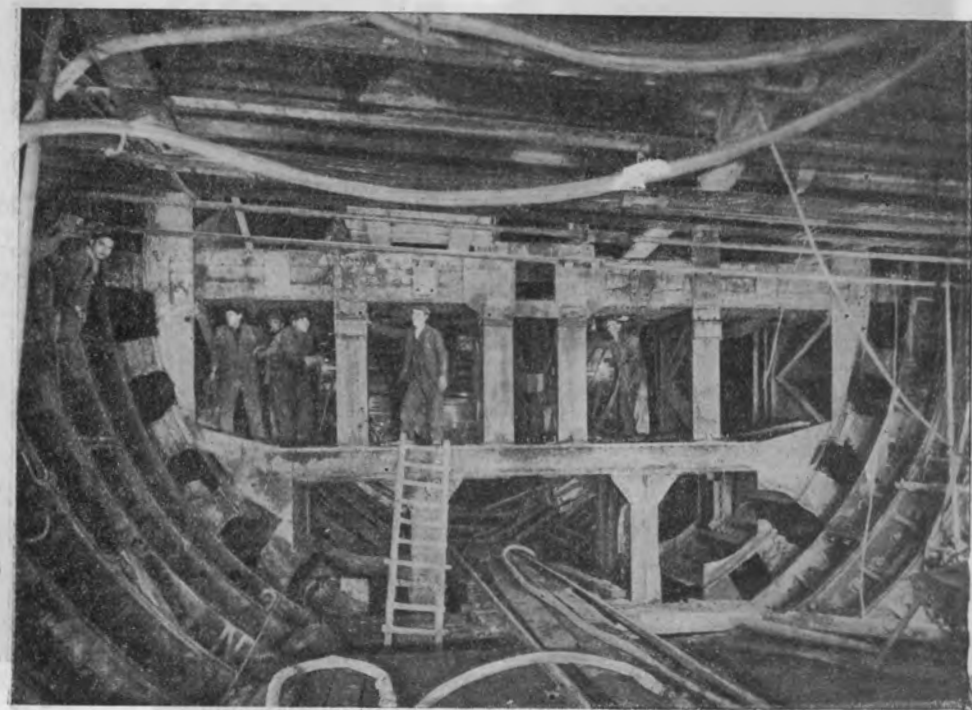


Рис. 416. Установка диафрагм щита Шельдского тоннеля.

Сам подводный тоннель пройден щитом, наружным диаметром в 9,40 м, при обделке из 12 чугунных сегментов и одного замкового блока. Щит этот круглого сечения с открытой грудью имел стальной корпус из частично склепанных и сваренных листов общей толщиной в 70 мм. Оборудован он был шестью подвижными платформами и эректором для монтажа сегментов, прикрепленным непосредственно к щиту. Последний в опорном кольце своем снабжен был 32 гидравлическими домкратами, при давлении воды до 500 атмосфер,

мощностью по 200 тонн, развивавшими общее усилие для продвижения щита в 6400 тонн. Щит продвигался вперед на ход поршня в соответствии с шириной сегмента в 75 см (рис. 414—416).

Борьба с гидростатическим давлением воды велась при проходке щитом помощью сжатого воздуха. Была установлена шлюзовая диафрагма, в которую были замурованы четыре шлюза: два материальных — нижнего яруса, один людской и один спасательный, расположенные в верхнем ярусе сечения.

В спасательном шлюзе всегда была открыта дверь со стороны воздушного давления для рабочих, устремляющихся по спасательным

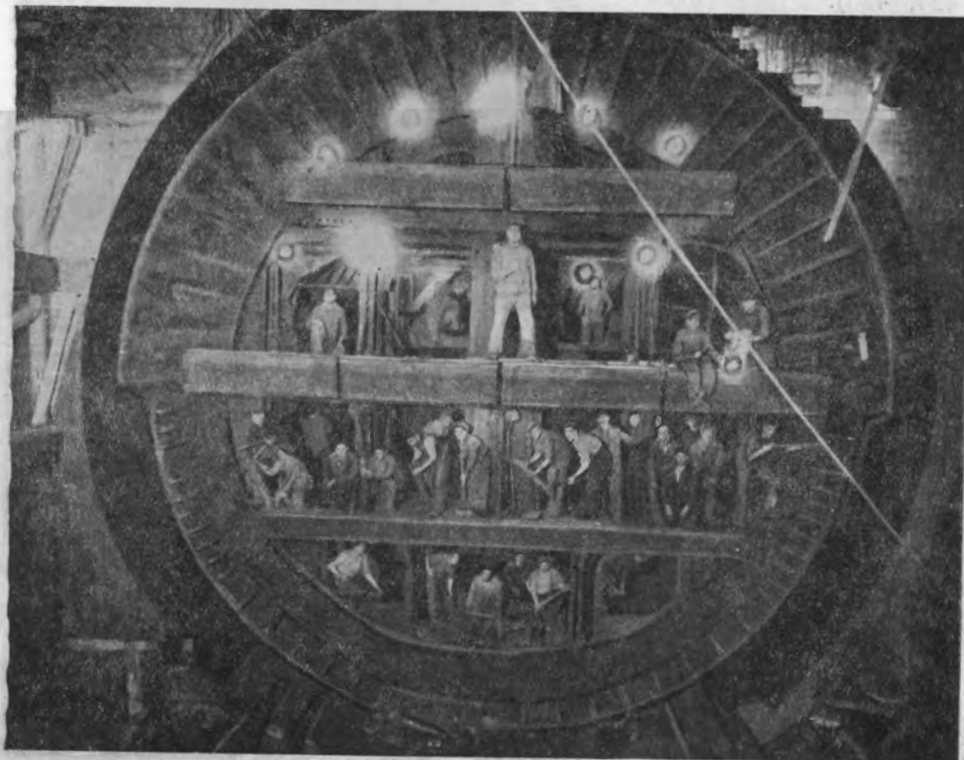


Рис. 417. Смонтированный щит. Вид со стороны аванбеса

мосткам в случае аварии. Снижение величины воздушного давления, которое должно было уравновесить гидростатическое, достигалось снятием водяного напора усиленным водоотливом и работой глубинных насосов.

Изоляция стыков чугунных тубингов производилась пневматической расчеканкой свинца, вводимого в специальные желобки 10×30 мм, образуемые фланцами сегментов. Кроме того, все четыре внешние поверхности реборд сегментов покрывались битуминозным слоем. Для обеспечения плотного соприкосновения обделки с породой пустоты за-

полнялись вдуванием крупного песка с последующим нагнетанием цементного раствора через специальные отверстия в середине сегмента (рис. 417).

Энергия и сжатый воздух обеспечивались двойным резервом из различных источников в целях безопасности ведения щитовых работ. Оборудование, размещенное на поверхности, было следующее:

1. Компрессоры низкого давления: 4 штуки (3 атмосферы) по 450 НР, общей мощностью 1 800 НР.

2. Компрессоры высокого давления: 2 штуки (8 атмосфер) по 160 НР, общей мощностью 320 НР.

3. Гидравлические насосы: 2 штуки (500 атмосфер) с электромотором по 115 НР.

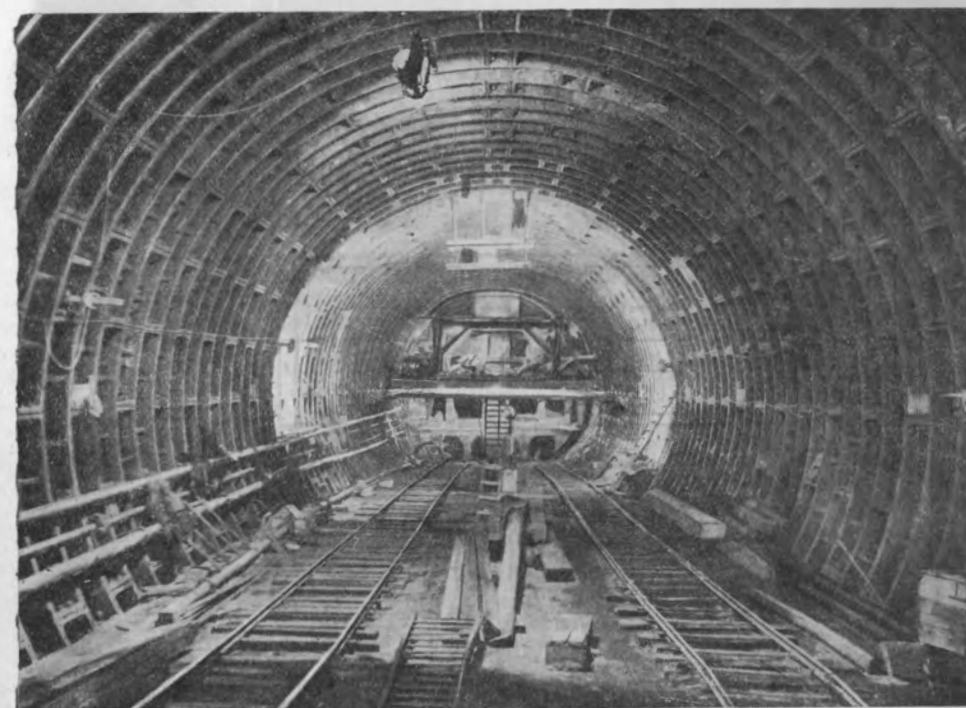


Рис. 418. Готовый тоннель из чугунных сегментов за щитом. Впереди на подвижной платформе производится нагнетание раствора за обделку.

Щит, направленный с левого берега, проводился через вентиляционные шахты, заложенные по оси тоннеля (рис. 420).

Скорость проходки тоннеля щитом колебалась в пределах от 1,5 до 3,00 м в сутки готового тоннеля. В процессе производства щитовых работ под сжатым воздухом имел место прорыв грунта в забое. Авария однако успешно была ликвидирована.

Навстречу щиту с правого берега велась разработка тоннеля на временном деревянном креплении при обделке чугунными сегментами. Работы проводились аналогично австрийской системе раскрытия тоннеля на полный профиль на временном деревянном креплении при нижнем направляющем ходе. Установка сегментов велась при помощи специального приспособления из согнутых в круг двух швеллеров,

между которыми двигалась каретка с выдвижными домкратами. При этом имелась возможность брать сегмент и устанавливать его в требуемую точку профиля. Эти работы производились в осушенных грунтах при искусственном понижении уровня грунтовых вод.

Сооружение двух вентиляционных шахт размерами $16 \times 15,00$ м в свету и глубиной в 28 м было чрезвычайно сложной технической задачей, потребовавшей для своего разрешения применения специального метода. Вследствие значительной мощности залегавших плывунов песчаных грунтов с включениями торфа было применено замораживание.

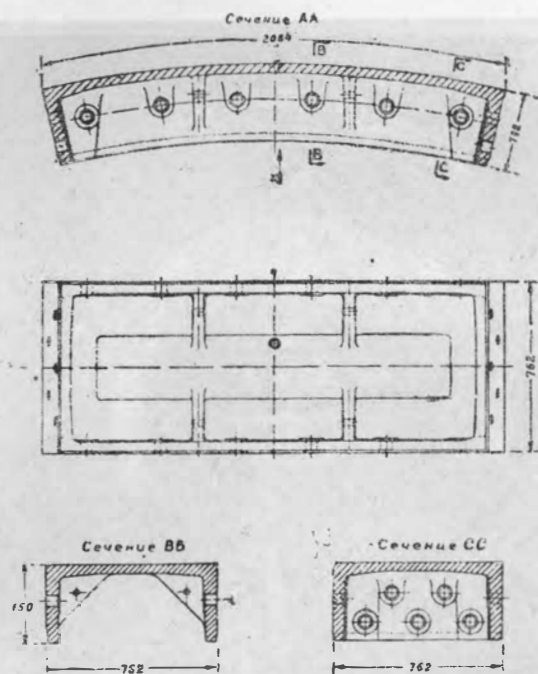


Рис. 419. Конструкция нормального чугунного сегмента Шельдского тоннеля для автодвижения.

По периметру шахты, по двум кольцам диаметрами 23,80 м и 26,2 м было пройдено 58 замораживающих скважин на глубину 30 м, входящих на 2,00 м в Боомскую глину.

Замораживание велось при установке в 250 000 фригорий в час (при -20°C), с аммиачным компрессором в 250 НР. В резерве имелась замораживающая установка в 100 000 фригорий в час, при компрессоре в 90 НР.

Проходка в замороженной зоне и бетонировка ствола вентиляционной шахты длились два месяца. Шахта была готова к моменту подхода щита, из забоя которого была установлена толщина замороженной зоны ствола в 5,00 м. Бетон тела шахты выкладывался по изоляции, уложенной на защитную кирпичную стенку, прилегающую к замороженной породе.

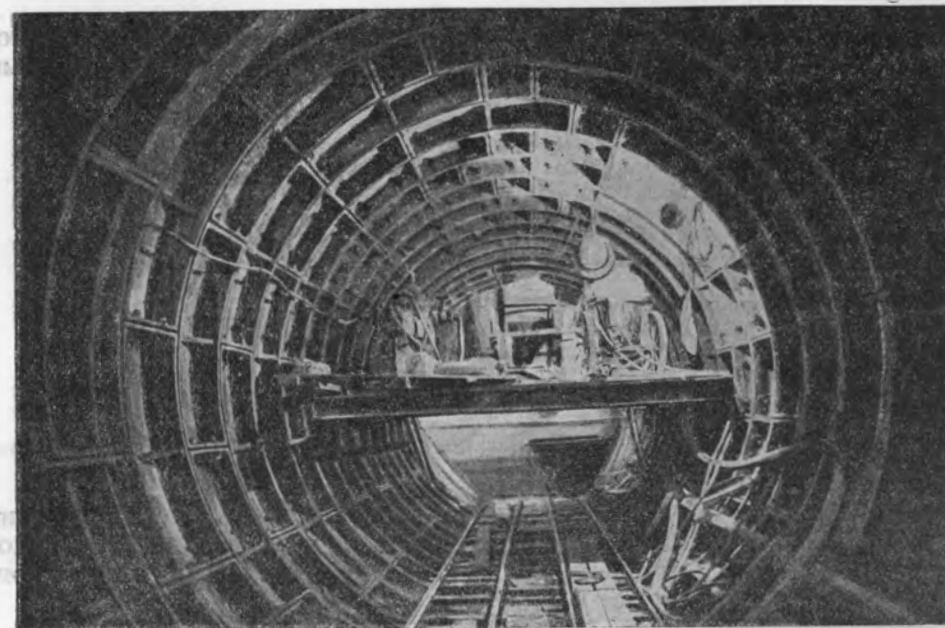


Рис. 420. Проходка щитом Шельдского тоннеля для пешеходного движения. Эректор и приборы для нагнетания помещены на специальной металлической платформе, движущейся по консолям, прикрепленным непосредственно к сегментам чугунной обделки.

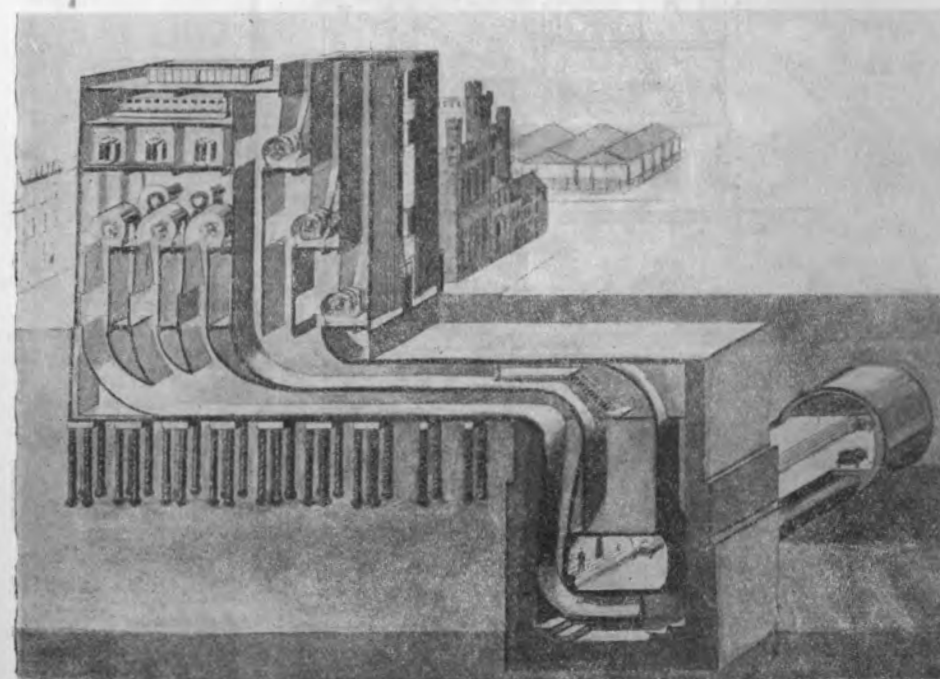


Рис. 421. Общий схематический разрез вентиляционного здания, шахт и тоннеля для автодвижения.

Объем работ по сооружению подводного тоннеля для автомобильного движения под р. Шельдой характеризуется следующими данными, приведенными в «Техник де Траво»:

1. Объем земляных работ при щитовой проходке . . .	87 000 м ³
2. Объем земляных работ при открытом способе . . .	56 900 „
3. Гравий для железобетонных работ	40 000 „
4. Гравий для нагнетания за обделку	3 000 „
5. Песок для железобетонных работ	20 000 „
6. Цемент для железобетонных работ	17 000 „
7. Цемент для нагнетания за обделку	5 000 „
8. Чугунные сегменты для тюба	30 000 тонн
9. Болты, шайбы и гайки для соединений сегментов . . .	1 200 „
10. Свинец для изоляции стыков	86 „
11. Металлические шпунты	2 000 „

б) Сооружение пешеходного тоннеля

Подводный тоннель под р. Шельдой для пешеходного движения соединяет оба берега через шахты и наклонные тоннели, оборудованные лифтами и эскалаторами, и имеет протяжение в 572,28 м. Тон-

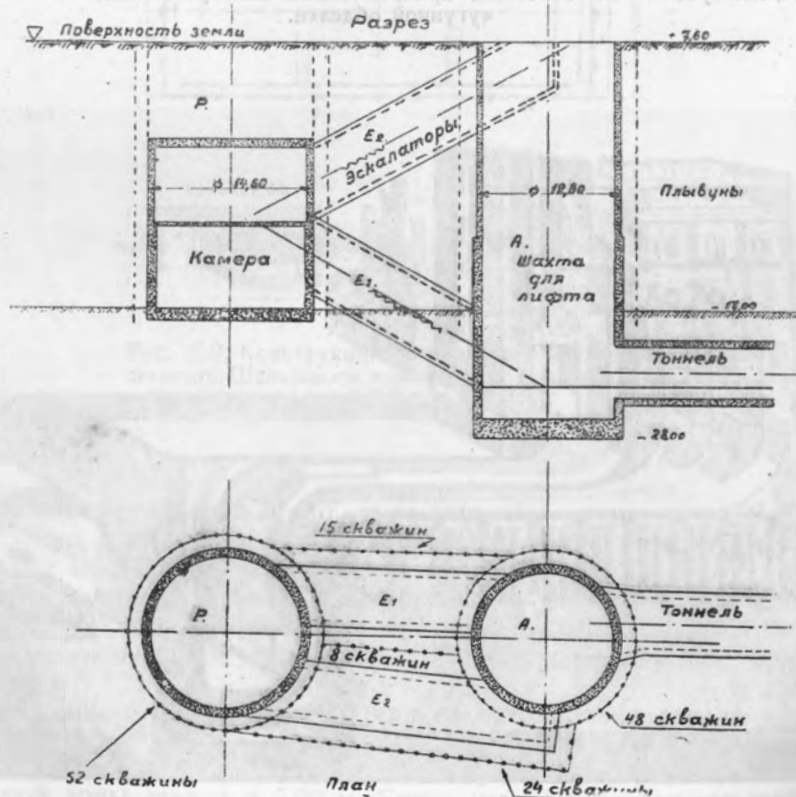


Рис. 423. Размещение замораживающих скважин для сооружения шахт и наклонных ходов.

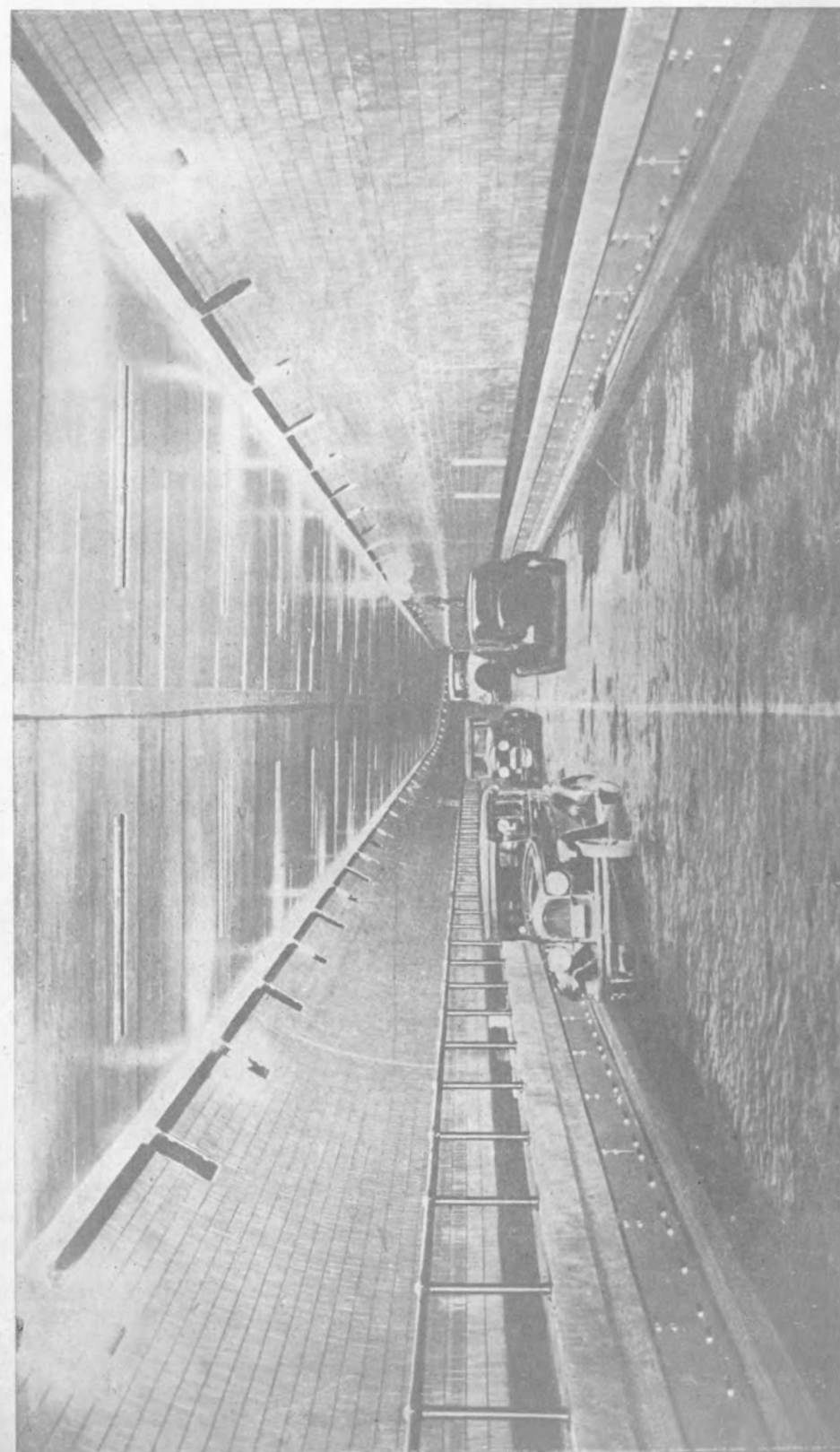


Рис. 422. Готовый Шельдский тоннель для автомобильного движения.

нель заложен на глубине 34,37 м и проходит полностью в плотной водонепроницаемой Боомской глине. Кровля тоннеля в середине реки представлена в виде 6 м глины, 8 м илистого песка и 12 м воды. До приступа к работам по трассе было произведено разведывательное бурение в 9 скважин. Данные гидрогеологического прогноза были почти полностью подтверждены в процессе проходки.

Тоннель-тюб имеет внешний диаметр в 4,74 м и составлен из чугунных сегментов — одного замкового и двух специальных сегмен-



Рис. 424. Вид траншей комплекса шахт и наклонных ходов у портала Шельдского Тоннеля для пешеходного движения.

тов у ключа, при высоте реборд сегмента 20 см. Ширина кольца соответствует ходу поршня щита в 60 см. Щит был смонтирован в шахте левого берега и пущен по направлению к правому берегу. Щит этот с открытой грудью и двумя горизонтальными подвижными платформами по диаметру был снабжен 16 гидравлическими домкратами, к которым вода подводилась под давлением в 350 атмосфер. Сборка чугунных сегментов тоннельной обделки велась эректором, помещенным на подвижной платформе, перемещавшейся по временным консолям, прикрепленным к готовой обделке (рис. 419).

Атака забоя в глине велась пневматическими лопатами. Во избежание пучения глины забоя от воздуха лоб временно закрывался кирпичной стенкой или покрывался слоем раствора.

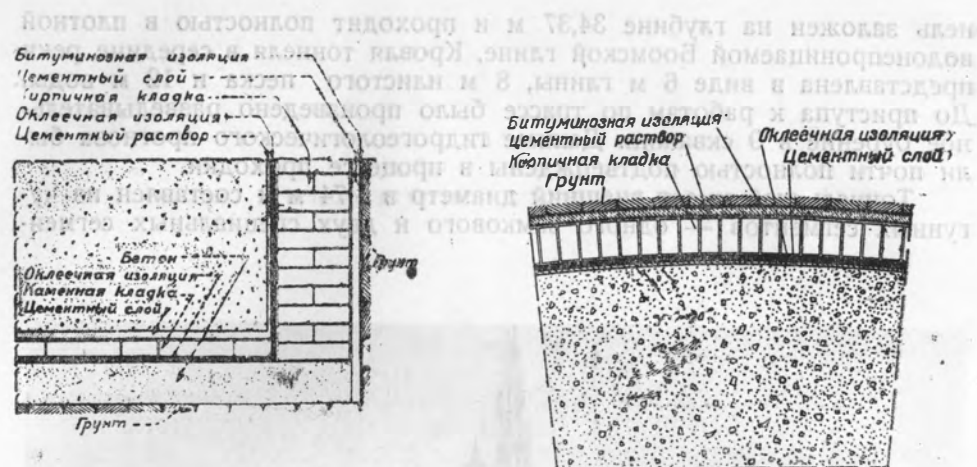


Рис. 425. Система изоляции бетонной конструкции стен и лотка.

Рис. 426. Система изоляции бетонной конструкции тоннеля береговой части.

На случай возможных прорывов грунта впереди велось рекогносцировочное бурение, а сзади были установлены две бетонные диафрагмы с металлическими дверьми, которые в необходимый момент могли бы быть использованы для шлюзования. По мере продвижения лба забоя щита вперед шлюзовая диафрагма перемещалась.

Организация щитовых работ была построена так, что процесс уборки породы производился независимо от монтажа обделки. Благодаря этому удалось достигнуть большой успешности и эффективности проходки. Скорость проходки щитом достигала около 14—16 колец в сутки; это составило 8,4—9,6 пог. м готового тоннеля.

Проходка велась в глине при нормальном атмосферном давлении и открытых дверях шлюзовой диафрагмы, без осложнений. Исключением явилось пересечение песчаного включения, которое принесло воду в выработки. Это место было пройдено под сжатым воздухом. В дальнейшем щит снова врезался в плотную глину и работы продолжались нормальным порядком.

Особое значение придавалось нагнетанию песка и цементного раствора за обделку, вслед за ходом щита. Оставление пустот в нарушенной глине приводит к местному нарастающему давлению породы, которое может оказаться и неравномерным, на что тоннельная обделка не рассчитана. Нагнетанием песка и раствора обеспечивалось здесь плотное соприкосновение грунта с обделкой и восстанавливался таким образом первоначальный режим земляного массива до пересечения его тоннелем. Изоляция достигалась обычным путем — расчеканкой свинца в желобках фланцев между соседними чугунными сегментами.

На каждом берегу подводный тоннель в торце имеет выход в шахту, оборудованную лифтом на 90 чел. и двухмаршевыми эскалаторами, уложенными в двух наклонных тоннелях. Эскалаторные тоннели устроены под углом 30° и одним концом связаны с вертикальной шахтой, а другим — специальной переходной камерой (рис. 426).

Шахта железобетонной конструкции имеет диаметр 11,60 м и заложена на глубину 34,37 м от поверхности земли.

Переходная камера тоже железобетонной конструкции имеет диаметр 13,20 м. Она заложена кровлей на глубине 7,00 м от поверхности земли и опирается на Боомскую глину при напряжении $9,6 \text{ кг/см}^2$.

Оба эскалаторных наклонных тоннеля железобетонной конструкции имеют сечение диаметром 4,90 м в свету и наружный диаметр — в 5,90 м.

Эти тоннели рассчитаны как балки на двух опорах, опирающиеся с одной стороны, на шахту, с другой — на переходную камеру. При-

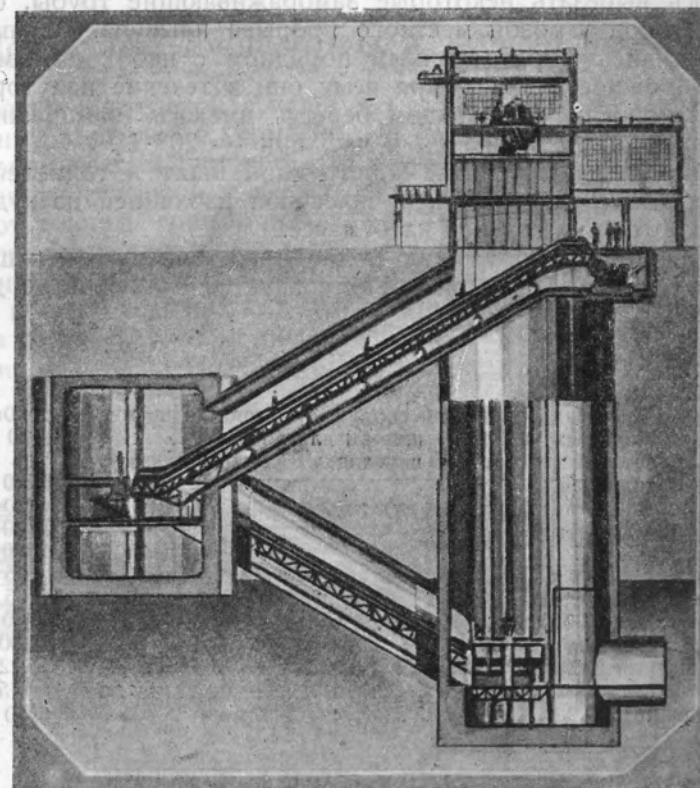


Рис. 427. Разрез по шахте, камере и наклонным эскалаторным ходам в месте подхода к тоннелю для пешеходного движения.

таких условиях нельзя ожидать деформаций тоннелей, хотя они и залегают в плывунах.

Сооружение шахты переходной камеры и наклонных эскалаторных тоннелей производилось методом замораживания. По периметру шахты для лифта, на окружности диаметром в 15,5 м, было заложено 48 замораживающих скважин, а для переходной камеры — 62 скважины по окружности, диаметром 17,0 м. Для устройства наклонных эскалаторных тоннелей было заложено три ряда в 43 скважины. Из них два крайних ряда имели 35 скважин, а для промораживания ядра был задан средний ряд в 8 скважин (рис. 421).

ГЕРМАНСКАЯ ТЕХНИКА СООРУЖЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ

Всего для замораживания комплекса входных сооружений подводного тоннеля было заложено 153 скважины общей длиной в 3,3 км. Глубина скважин колебалась от 21 до 28 м.

Насыпной грунт мощностью в 5—7 м очень скверно поддавался замораживанию. Зато в слое плавунных песчаных грунтов была быстро образована оградительная ледяная стена, под защитой которой успешно прошла проходка и бетонирование ствола шахты и переходной камеры.

Сложность коммуникаций всей системы вызвала некоторые затруднения при разработке грунта для наклонных эскалаторных тоннелей.

Выборка породы велась сверху, и в местах сопряжения с шахтами пришлось вырезать некоторые замораживающие трубы, оставляя данную зону под угрозой местного прорыва плавуну. Однако работы производились форсированным порядком с необходимыми мерами предосторожности, благодаря чему они в течение полутора месяцев были закончены. На каждом берегу имелась замораживающая установка на 250 000 фригорий в час, при — 20° Ц.

Изоляция железобетонных конструкций шахт и тоннелей велась при защитной стенке с внешней оклеечной изоляцией из гудронизированного картона на горячей клеемассе.

Объем работ по сооружению подводного тоннеля для пешеходного движения под р. Шельдой характеризуется следующими данными «Техник де Траво»:

1. Объем земляных работ при сооружении тоннеля щитом	12 700 м³
2. Объем земляных работ по шахтам для лифтов	12 250 „
3. Объем земляных работ для переходных камер и эскалаторных тоннелей	16 400 „
4. Гравий для железобетонных работ	4 080 „
5. Песок „ „ „	2 040 „
6. Цемент „ „ „	2040 „
7. Крупный песок для вдувания за обделку	95 „
8. Цемент для нагнетания за обделку	95 „
9. Чугунных сегментов для туба	4000 тонн
10. Болты, гайки и шайбы	100 „
11. Свинца для изоляции тубов	22 „
12. Сортового железа	175 „
13. Изоляции	6050 м²

Из бельгийских технических условий для чугунных сегментов тубов представляют интерес следующие данные: временное сопротивление чугуна на разрыв — 1 600 кг/см²; брусок размерами 30×30 мм. при нагрузке его 0,44 тонны, при пролете в 1,00 м должен давать прогиб не более 12 мм. Брусок размерами 40×40×200 мм при расстоянии между опорами в 160 мм должен выдержать динамический удар свободно падающей по середине бабы весом в 12 кг при высоте подъема в 0,4 м; болты, соединяющие чугунные сегменты, должны иметь временное сопротивление на разрыв в пределах 5 500—6 000 кг/см². Сопротивление на разрыв 3 500—4 200 кг/см² при относительном удлинении образца $l = 10 d$ на 24 %.

Применяя совершенные, мощные методы тоннелирования: щиты, сжатый воздух, замораживание, металлический шпунт, искусственное водопонижение, тубинги и т. д. удалось указанные подводные тоннели под р. Шельдой построить в два года.

§ 1. Подводный тоннель под р. Эльбой в Гамбурге

Тоннель под рекой Эльбой в г. Гамбурге является крупнейшим подводным тоннелем в Германии. Он соединяет часть города С. Паули с портовой частью Гамбурга-Штейнвердер и предназначен для автомобильного, гужевого и пешеходного движения (рис. 427).

Этот тоннель состоит из двух тубов, внешним диаметром 6,0 м, расположенных параллельно, на расстоянии 8 м между осями. В торцевых частях у берегов тоннель входит в вертикальные шахты диаметром в свету 22,0 м. Каждый из тубов подводного тоннеля при сечении в свету 4,7 × 4,5 м имеет ширину проезжей части 1,82 м и два тротуара — по 1,25 м (рис. 428).

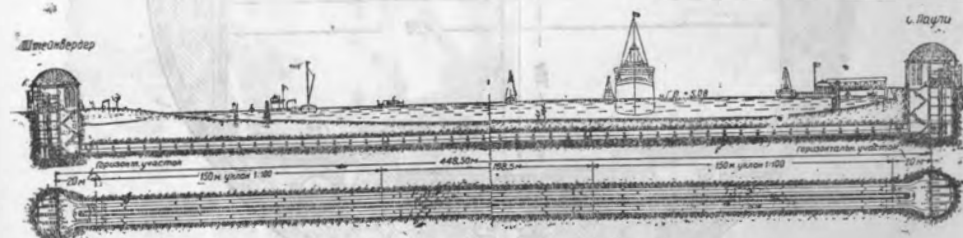


Рис. 428. План и разрез подводного тоннеля под рекой Эльбой в Гамбурге.

Длина тоннеля, считая между осями шахт, равна 448,5 м. Тоннель состоит из двух подходов к шахтам по 150 м с под'емом в 0,04, соединенных разделительной площадкой в 108,5 м. В порталных частях заложение тоннеля соответствует глубине шахт в 23,5 м.

В середине русла реки кровля грунта над шельгой свода составляет 6 м при глубине воды около 10 м. Глубина заложения подошвы тоннеля, считая от максимального горизонта воды в Эльбе, равна 22 м.

Обычная конструкция тубов не обеспечила бы этот подводный тоннель от всплытия вверх, так как вес 1 пог. м тоннеля был меньше на 300 тонн веса вытесненной воды.

Лишь устроив внутреннюю бетонную обделку с укладкой добавочной нагрузки металла порядка 2,1 т/пог. м, удалось достигнуть удельного веса тоннеля в 1,01.

Тоннель под Эльбой на протяжении около 30% общей длины со стороны С. Паули залегает в плотных водонепроницаемых глинах, которые в некоторых случаях требовали применения взрывных работ. Остальные 70% тоннеля залегают в грунтах аллювиальных и делювиальных отложений. Последние состоят из водонасыщенных мелко- и крупнозернистых песков с включением крупного гравия и камней. Эти образования находятся во взвешенном состоянии и на них примерно на промежутке в полчаса сказывается влияние прилива и отлива в Эльбе. Контакт выклинивания плотной глины и песчаных образований перекрыт суглинистым пластом, распространяющимся на значительное протяжение под дном реки.

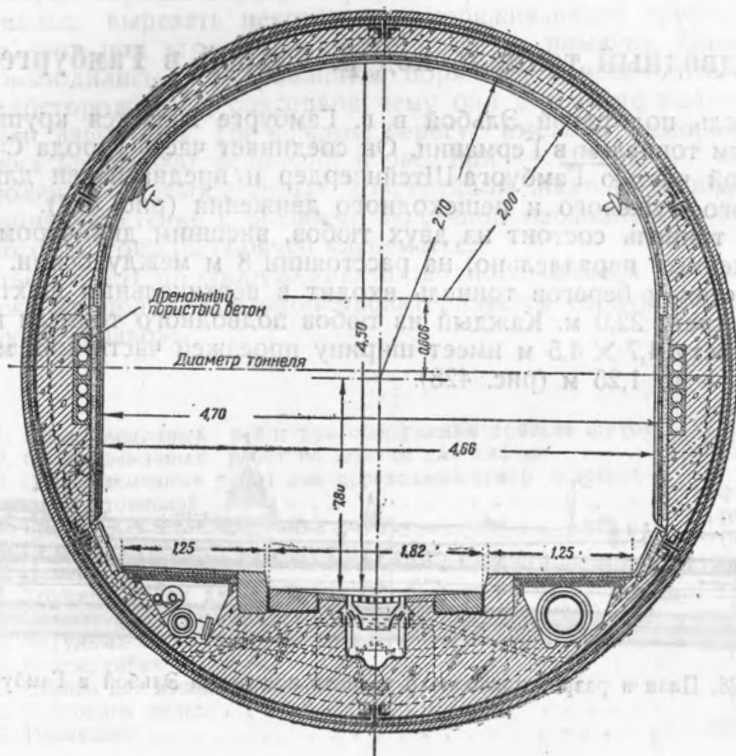
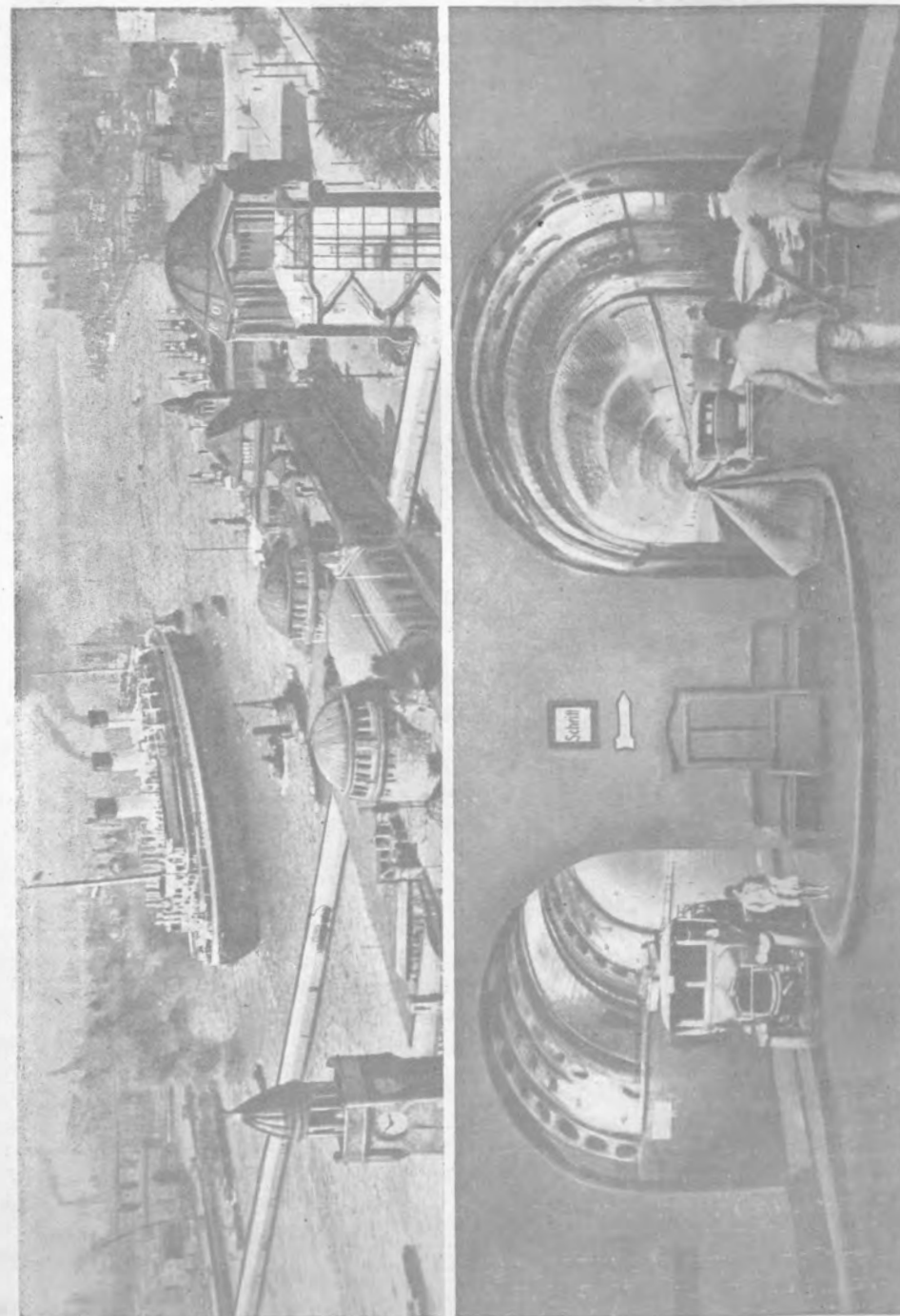


Рис. 429. Поперечное сечение одного из тоннелей под рекой Эльбой.

Единственно возможным способом сооружения подводного тоннеля в данных гидрогеологических условиях являлся щит с пневматикой.

Фронт работ по проходке туннелей был открыт из одной шахты Штейнвердер, откуда пускались щиты, в направлении С. Паули. Проходка шахты С. Паули в плотной глине не представляла особых затруднений, в то время как сооружение шахты Штейнвердер, диаметром 22,00 м в водонасыщенных грунтах, при глубине проходки в 28,00 м, была сопряжена с большими строительными затруднениями. Проходка шахты Штейнвердер требовала применения кессона и оборудования поверхности силовыми и компрессорными установками для сжатого воздуха. При этом представилась возможность концентрации



Тоннель под р. Эльбой в Гамбурге.

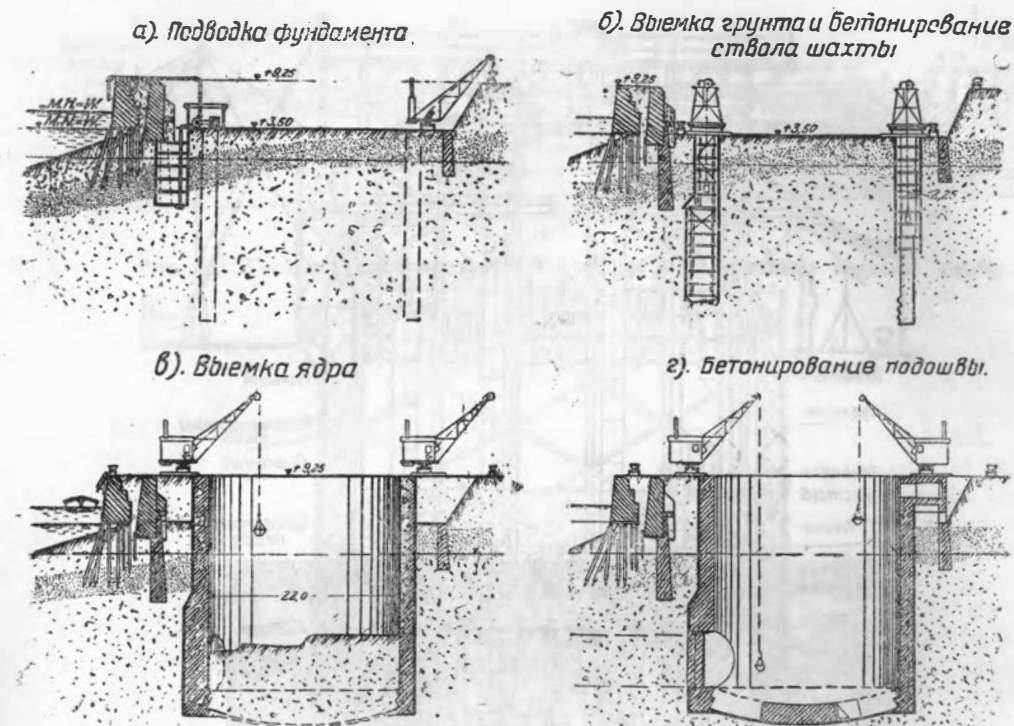


Рис. 430. Этапы производства работ по проходке шахты на стороне С. Паули Эльбского подводного тоннеля.

оборудования шахтных и тоннельных работ, на одной площадке шахты.

Проходка шахты С. Паули диаметром 22 м на глубину 28 м велась на первых 6 м в условиях водоносных грунтов с водоотливом, а в дальнейшем в плотной глине. До приступа к собственно проходческим работам в специальной траншее была произведена подводка под стену набережной бетонного ограждения.

Для устройства бетонной обделки ствола шахты прорывалась круговая траншея шириной 2,25 м на деревянном креплении, в которой снизу вверх и возводилась обделка (рис. 429).

Как указано было выше, на первых шести метрах земляные работы пришлось вести с усиленным водоотливом. При одном значительном подъеме воды в Эльбе имело место и затопление котлована, которое было быстро ликвидировано.

Для обеспечения полной водонепроницаемости шахты предварительно выкладывалась с внешней стороны защитная стенка из клинкера, которая обклеивалась в два слоя асфальтовой изоляционной прокладкой; к последней непосредственно прилегла несущая бетонная крепь шахты.

Деревянное крепление траншей снималось по мере возведения бетонной кладки.

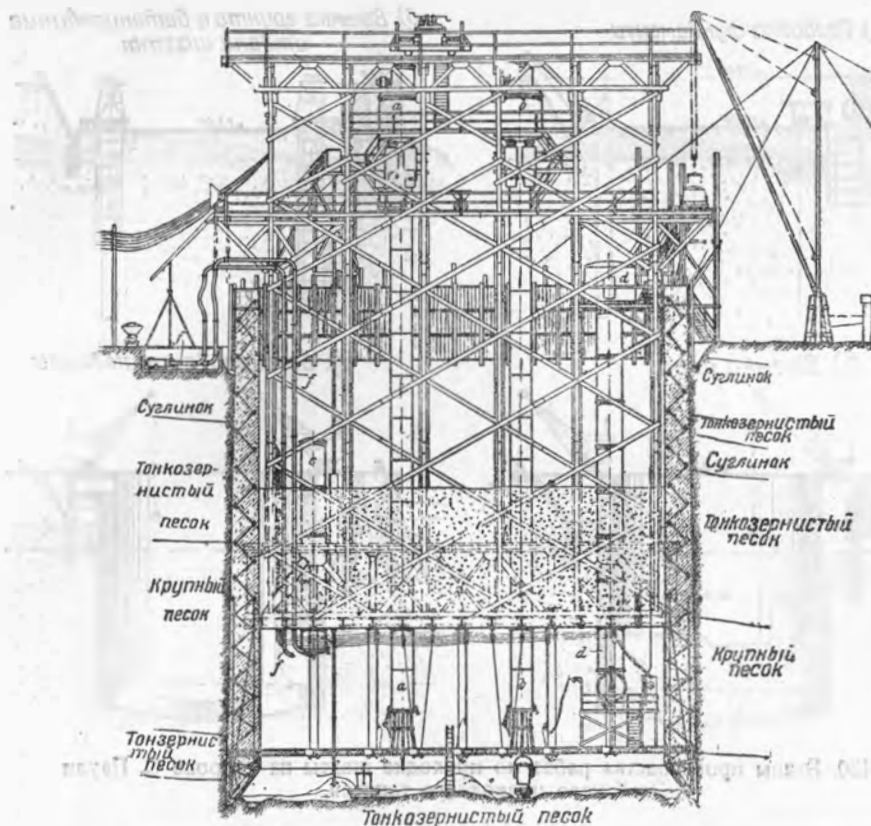


Рис. 431. Процесс опускания кессона в шахте „Штейнвердер“; загрузка потолка песчаным балластом.

По окончании бетонного цилиндра до отметки поверхности помощью двух грейферов, установленных у устья шахты, вели выборку внутреннего земляного ядра.

Подошва шахты представляла бетонный обратный купол толщиной в 3,0 м в соответствии с требованиями расчета на гидростатическое давление снизу.

Центральное бетонное ядро обратного купола было уложено по бетонной подготовке, которая была покрыта двумя слоями изоляционных асфальтовых плит. Далее по спиральному очертанию были забетонированы ленты, замыкавшие весь обратный купол шахты. На время производства этих работ подпор воды снизу был снят непрерывно действовавшим насосом через специальную трубу от зумпфа, заложенного в подошве. После того, как бетонный купол окреп до состояния, способного воспринимать полное гидростатическое давление снизу, насос был убран, а зумпф затампонирован.

Место сопряжения шахты с тубами было заложено кирпичной кладкой, которая пробивалась впоследствии при входе щитов, пущенных с противоположного берега (рис. 432).



Рис. 432. Геологический продольный профиль по подводному тоннелю Эльбы.

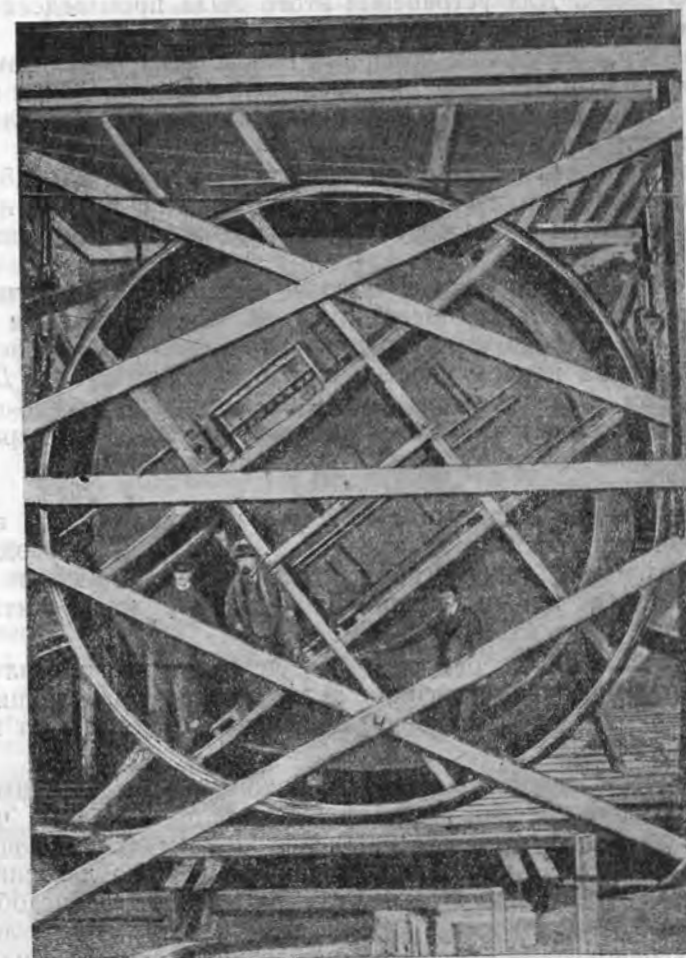


Рис. 433. Конструкция щита в шахте на отметке подошвы подводного тоннеля.

Наиболее сложной технической задачей явилась проходка шахты Штейнвердер. Проходка ее на глубину 28 м от поверхности была предпринята помощью вертикального кессона.

В котловане до уровня грунтовых вод был собран металлический нож и возведены двухметровые бетонные стены постоянного крепления шахты, армированные кольцевой вертикальной и диагональной круглой арматурой диаметром 25—36 мм. С внешней стороны была устроена изоляция из гудронированного толя на горячей клеемассе, защищенная металлическими листами. С внутренней стороны была устроена опалубка, перемещавшаяся вверх по мере возведения и твердения железобетонной кладки кессона.

На высоте 3 м от кромки ножа был устроен первый, металлической конструкции потолок, сообщавший кессону кроме того жесткость диафрагмы. На 7,00 м выше первого потолка следовало второе мощное перекрытие кессона.

Вначале опускание кессона производилось без применения сжатого воздуха, при водоотливе. В дальнейшем перешли на сжатый воздух, причем максимальное давление доходило до 2,8 атм. При таком давлении конструкция металлического потолка претерпела значительный прогиб вверх. Для устранения этого была произведена загрузка потолка сверху песчаным балластом (рис. 430).

Кессон был оборудован четырьмя шлюзовыми аппаратами; тремя для выдачи породы и спуска материалов, и одним людским на 15 человек; один из материальных шлюзов был приспособлен для шлюзования рабочих.

Средняя скорость опускания ствола шахты достигала 0,5 м в сутки. При опускании производилось рефулирование грунта и выдувание наружу песка из забоя через трубы; использовалась реакция давления воздуха в кессоне.

Через специальные люки в потолке кессона были опущены два смонтированных на поверхности щита весом по 120 тонн каждый. Высота потолка кессона была предусмотрена для возможности продвижения щитов на первом участке под сжатым воздухом. Для передвижения щита в шахте были устроены бетонные, упорные, направляющие приспособления. После продвижения лба забоя первого щита на расстояние 100 м от ствола шахты пускался второй щит для параллельного туба.

Щит внутренним диаметром 6,32 м (на 32 мм больше внешнего диаметра обделки) состоял из металлического корпуса, разделенного двумя диафрагмами, и двумя горизонтальными площадками. Всего в щите было 9 ячеек при выдвигном аванбеке. Оболочка щита имела толщину 52 мм. (рис. 432).

Для продвижения вперед щит был снабжен 16 гидравлическими домкратами, развивавшими усилия в 125 тонн, общей мощностью в 2000 тонн. Эректор для установки тоннельной обделки был прикреплен к диафрагме щита.

Особенностью Эльбского подводного тоннеля явился примененный тип металлической обделки тоннеля. Обычно применяемые чугунные обделки слабо сопротивляются растягивающим и скалывающим усилиям и претерпевают деформации от неравномерного давления пород и нажима домкратов щита. Поэтому здесь была применена обделка из стальных сегментов, согнутых из несимметричного профиля 25 см двутавровых балок. Для обеспечения надежности соединения отдельных сегментов впервые применялась клепка вместо распространенного в английской практике сблачивания сегментов (рис. 433).

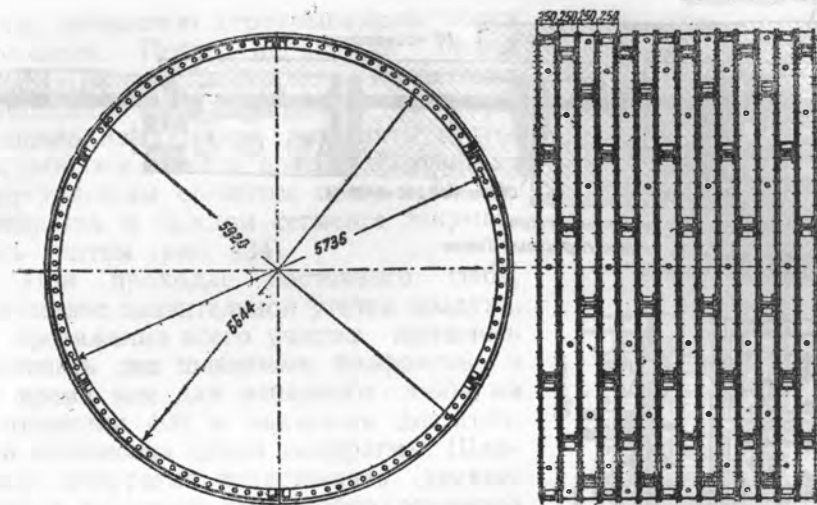


Рис. 434. Металлическая обделка Эльбского подводного тоннеля. Поперечный и продольный разрезы.

Технические данные примененной под Эльбой стальной обделки следующие:

1. Площадь сечения 25	86,6 см ²
2. Момент сопротивления	152 см ³
3. Вес 1 пог. м длины 25 см. профиля	67,55 кг.
4. Вес одного сегмента	220 кг.
5. Вес одного кольца из 6 сегментов	1 320 „
6. Количество сегментов одного кольца на один туб	1 695 шт.
7. Заклепки диаметром 22 мм. ставились через 166,76 мм в количестве 108 штук на кольцо	

Стыки сегментов перемещались по окружности на каждую треть сегмента обделки, что сообщало конструкции туба надлежащую жесткость.

Стальные сегменты до опускания их в тоннель тщательно проверялись на поверхности, причем элементы, имевшие в размерах отклонения от проекта более чем на 1 мм, браковались.

На защиту стальной обделки от ржавления было обращено особое внимание. После ряда экспериментов был принят к производству метод защиты внутренней и внешней поверхности стальных сегментов цементным раствором и бетоном. На специальной площадке вне тоннеля внешняя поверхность стенки двутавра между полками сегментов тщательно покрывалась слоем цементного раствора. После повторного нагнетания за обделку через специальные отверстия в сегменте и устройства внутренней бетонной рубашки металлическое кольцо оказывалось полностью защищенным от коррозии.

Водонепроницаемость тоннеля была достигнута расчеканиванием свинца между фланцами сегментов в желобках глубиной 30 мм и шириной 4 мм.

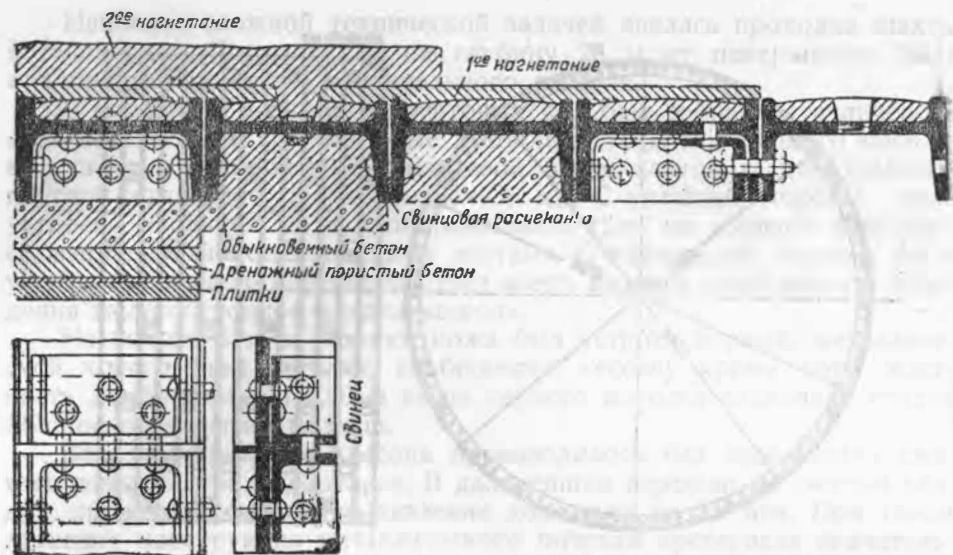


Рис. 435. Элементы обделки Эльбского тоннеля; показаны защитные мероприятия от коррозии.

Клепка отдельных элементов между собой хотя и осложняла и удорожала работы, но все же по настоянию города была выполнена вследствие того, что она обеспечивает изоляцию тоннеля в несравненно большей степени, чем сбалчивание.

Теснота работ в забое щита исключала возможность непосредственной клепки вслед за установкой эректором металлического кольца. На первых 20 м от забоя щита шла предварительная сборка сегментов сбалчиванием и лишь дальше следовала клепка. Нагревание заклепок в условиях работы под сжатым воздухом потребовало специального подхода. Были устроены оригинальные печи с воздухопроводами и дымоуловителями, соединенными с наружным воздухом.

Клепка производилась пневматическими инструментами, работавшими под 9-ю атмосферами.

Максимальное давление сжатого воздуха при работе щитом доходило до 2,8 атм. Лоб забоя крепился системой металлических шандор, поддерживавшихся специальными забойными, гидравлическими домкратами.

При продвижении вперед каждой шандорной доски в отдельности производилась выборка грунта на 50 см. Таким порядком продвигался на 50 см и закреплялся весь лоб забоя. При утечке воздуха между шандорами производилась забивка глиной. После продвижения забоя щит продвигался на 50 см — ход поршней домкратов, и производилась установка в хвосте щита обделки из стальных сегментов с внешней стороны, защищенных по стенке двутавров цементным раствором. Вслед через отверстия в сегментах, между внутренней поверхностью хвостовой части оболочки щита и установленными кольцами туба под давлением производилось нагнетание цементного раствора, с добавкой жирной извести. Последняя добавка применялась в целях замедления схватывания во избежание сцепления оболочки щита и обделки. При этом нагнетании образовывался защитный слой в

5 см, полностью перекрывавший полки двутавров. После продвижки вперед производилось повторное нагнетание пуццоланового цементного раствора, имевшее назначением заполнить пустоты, образовавшиеся вокруг обделки за счет толщины оболочки щита в 52 мм. Отверстия в каждом сегменте закрывались винтом (рис. 434).

При проходке восточного туба, вследствие значительной утечки воздуха, на протяжении всего участка пришлось поставить две шлюзовые диафрагмы, в то время как для западного туба на протяжении 400 м оказалось достаточной постановка одной диафрагмы. Шлюзовая диафрагма представляла двухметровую бетонную стену, оборудованную одним людским шлюзом в верхней и одним материальным шлюзом в нижней части профиля.

Регулирование сжатого воздуха при разнице давления воды в шельге и у подошвы тоннеля на 0,62 атм. было вначале весьма затруднено. Вопрос осложнялся наличием сильно водопроницаемых грунтов и действием прилива и отлива воды в Эльбе. Во время проходки были случаи местных прорывов воздуха, а на расстоянии 70 м от шахты Штейнвердер произошла катастрофа. Прорывом сжатого воздуха было стремительно вырвано крепление забоя и поднят столб воды в реке на 6—8 м вверх. Давление воздуха в тоннеле резко упало и вода из Эльбы ворвалась в тоннель, увлекая за собой около 650 м³ грунта (рис. 437).

Образованная промоина была засыпана сверху. В месте прорыва был наложен специальный глиняный пластырь. После этого вода была вытеснена из тоннеля повышением давления сжатого воздуха.

Давление обычно держалось по горизонту, ниже шельги свода на $\frac{2}{3}$ величины диаметра щита. В особо опасных местах в средней ячейке ставилось добавочное деревянное ограждение из 20 см брусков, заполненное впереди глиной. Благодаря этому величину давления воздуха удалось удерживать даже несколько выше горизонтального диаметра.

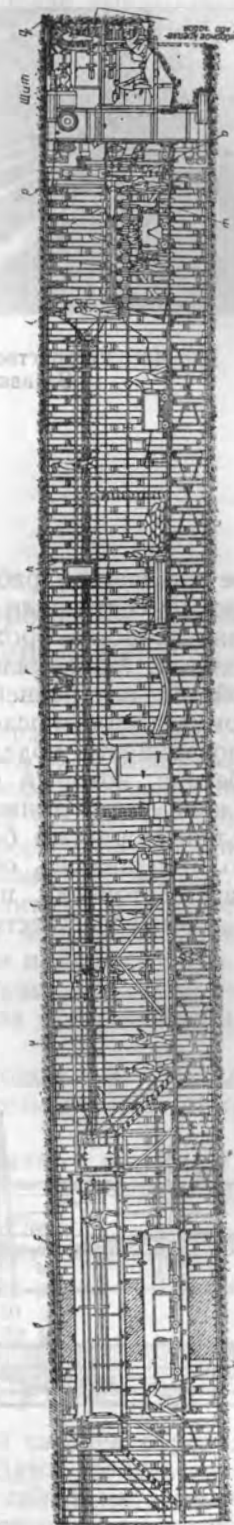


Рис. 436. Общая схема производства работ по сооружению Эльбского тоннеля щитовым способом под сжатым воздухом. а — Контрольный манометр, б — Шлюзовая диафрагма, в — Людской шлюз, г — Материальный шлюз, д — Воздухопровод, е — Телефон, ж — Растворонагнетатель, з — Эректор, и — Хвост щита, к — Аванбек, л — Исодолит, м — Спасательные мостики, н — Подвижные подмости, о — Спасательный экран.

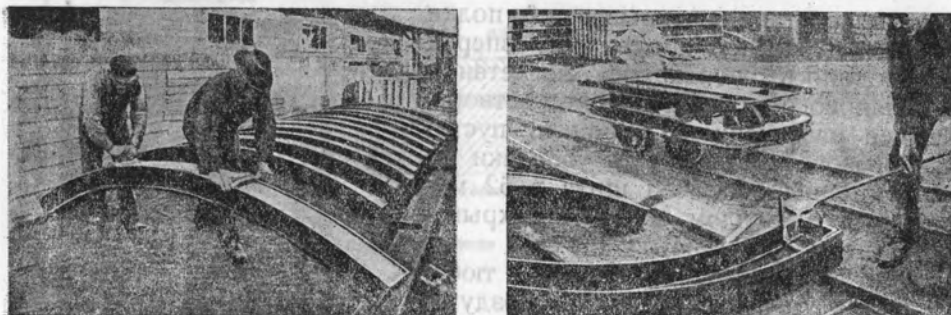


Рис. 437. Устройство защиты внешней поверхности сегмента. Заливка свинцом стыков сегмента.

Общее количество рабочих, одновременно работавших под сжатым воздухом, составляло 40 чел.

Средняя скорость проходки щитом составила 1,50 м в сутки готового тоннеля. Максимальная скорость—3,25 м в сутки.

Устройство внутренней бетонной обделки производилось при нормальном давлении после устранения течи в стыках и очистки внутренней поверхности обделки. Кроме обделки укладывался слой пористого бетона, который имел назначением отводить в дренажные трубы нижней части тоннеля воду, попадавшую из поврежденных мест обделки. Пористый бетон покрывался цементной смазкой 1 : 3, в которую втапливались облицовочные плитки (рис. 428, 434). В настоящее время тоннель, по наблюдениям автора, абсолютно сухой. Вентиляция тоннеля естественная, через две береговые шахты.

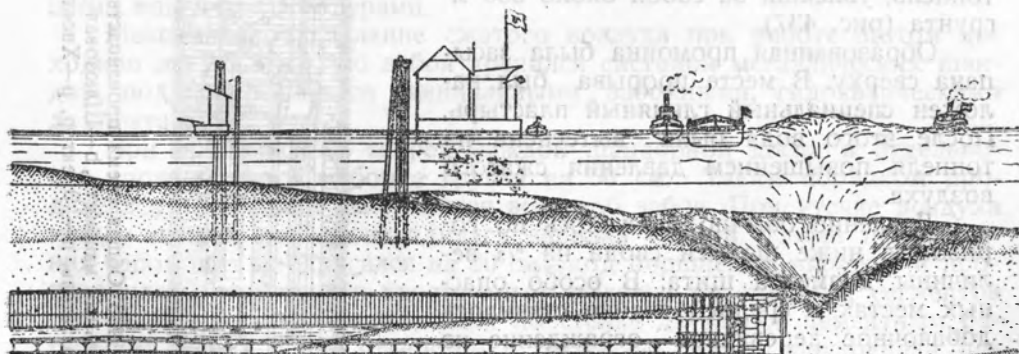


Рис. 438. Авария при производстве щитовых работ. Прорыв грунта и воды Эльбы в тоннель.

Эксплуатационная работа Эльбского тоннеля выражается в среднем пропуске в месяц: 850.000 чел., 9.000 грузо-единиц, до 15.000 велосипедистов.

Каждая шахта оборудована шестью лифтами, из коих: два лифта размерами 3×10 м, грузоподъемностью по 10 тонн, обслуживают тяжелые машины; вместительность лифта — 130 чел.; 2 лифта размерами $2,6 \times 8,0$ м, грузоподъемностью по 6 тонн обслуживают легковые машины; вместимость их 80 чел. Наконец, 2 лифта $1,8 \times 3,5$ м, грузоподъемностью 2,47 тонны, вмещают 24 чел. Продолжительность сооружения тоннеля—4,5 года. Стоимость тоннеля со всем оборудованием—10,7 млн. марок.

§ 2. Проект сооружения участка городских железных дорог „Анхальтер Банхоф—Штетинер Банхоф“

Для окончания Северно-Южного диаметра берлинских городских железных дорог, который имеет разрыв между тупиковыми станциями «Потсдамер Банхоф — Штетинер Банхоф», составлен проект постройки нового тоннельного участка длиной 5,9 км. Проходка этого участка должна вестись в крупнозернистых песках, насыщенных водой. Линия пройдет под искусственными сооружениями, домами, парками железнодорожных путей, линиями метрополитена, р. Шпрее и т. п.

Капиталистический кризис сказался на принципе проектировки тоннелей метро на этом участке. Строителям пришлось взять установку на облегчение технических условий, сокращение до минимума габаритов, причем все это делается конечно за счет снижения эксплуатационных качеств сооружаемой дороги.

Работы намечено вести Кельнским методом, на металлических гофрированных марчеванах, при предварительном искусственном понижении грунтовых вод.

При проектировании этого участка приняты следующие установки:

Максимальный уклон	33,30/00
Максимальный радиус закругления . . .	150 м
Высота по габариту над головкой рельса	3,80 м
Ширина междупутья	4,22 м
Полная ширина двухпутного тоннеля . .	9,40 м
Платформы островного типа, длиной . .	160 м,
рассчитаны на восьмивагонный состав	
Частота движения поездов	1½ минуты.

Прокладка этого нового отрезка линий связана с реконструкцией подземного узла «Потсдамер Пляц». Здесь получается сложное пересечение городских железных дорог и линий метрополитена при максимальном заглублении тоннелей под поверхностью около 16 м. Срок строительства намечен в 5 лет.

§ 9. Тоннельная обделка из клиновидных блоков

За последнее время в Германии находит широкое применение обделка из клиновидных блоков системы Герцбуха. Идея этих блоков заключается в том, что им придается клиновидная форма не только в направлении поперечного сечения тоннеля, но и вдоль его. Таким образом, при действии горного давления на одно кольцо, благодаря заклиниванию, вовлекаются в работу соседние кольца. В то время, как при обычной системе каждое кольцо работает самостоятельно, в системе Герцбуха работает цилиндр, смонтированный из заклиненных во всех направлениях блоков. Исключается таким образом местная перегрузка отдельных колец.

Меняется и расчетная схема самой тоннельной обделки, и при известных условиях, размеры элементов клиновидной обделки могут получиться меньше размеров обделки из разрезных колец по оси тоннеля.

При сооружении тоннельных обделок из клиновидных блоков для увеличения сопротивления их Герцбух применил следующий прием.

После изготовления блоков в формах Герцбух опускал их в воду. Через 4 дня блоки вынимались из ванн и твердели затем под действием воздуха при нормальных условиях. Благодаря твердению в воде блоки приобретали повышенное сопротивление. Через 3,5 недели величины сопротивления доходили до 650—720 кг/см². Сама система клиновидных блоков и метод их приготовления должны найти применение в наших условиях, в частности при щитовой проходке с обделкой из бетонитовых камней.

Г Л А В А V

СТОИМОСТЬ СООРУЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНОВ АНГЛИИ, ФРАНЦИИ И ГЕРМАНИИ

Стоимость сооружения метрополитенов находится в неразрывной связи с особенностями городских, гидрогеологических условий и методов ведения работ.

На первый взгляд казалось бы, что стоимость сооружения тоннелей должна все снижаться по мере накопления строительного опыта и совершенствования методов производства работ и конструкций. В действительности же, по мере развития сети в самом центре города, стоимость тоннельных сооружений метрополитена возрастает. Объясняется это, главным образом, усложнением конструкций и работ в связи с проходкой под домами, реками, пересечениями узловых станций, проходкой под искусственными сооружениями и т. д., в соответствии с усложнением сети.

Строительная стоимость одного километра Берлинского метрополитена в 1902 г. выражалась 2,3 млн. марок (14,2 млн. франков)¹. Законченная строительством в 1914 г. линия в 24,3 км обошлась в 97,4 млн. марок (603 млн. франков), что составляет в среднем 4,00 млн. марок (24,7 млн. франков) на 1 км.

При этом участок Александр-платц-Потсдамерплатц — протяжением 4,00 км стоил 40 млн. марок (247 млн. франков), что составляет около 10 млн. марок (61,7 млн. франков) на 1 км.

Стоимость, следовательно, остального участка протяжением в 20,3 км выражается в 57,4 млн. марок (354,2 млн. франков), что составляет около 2,83 млн. марок (17,5 млн. франков) на 1 км.

Имеющийся проект расширения сети Берлинского метро предусматривает: 38 км тоннеля общей стоимостью в 445 млн. марок (2.745 млн. франков), что составляет около 11,7 млн. марок на 1 км (72,2 млн. франков) метрополитена без подвижного состава. Примерно, около 25% стоимости (864 миллиона франков) идет на отчуждение земель, возмещение убытков владельцами от строительства и на перекладку сооружений подземного хозяйства. Общая стоимость, включая подвижной состав, проектируемой линии Штетинер Банхоф — Анхальтер Банхоф протяжением 5,9 км составляет 140 миллионов марок.

Строительная стоимость 7,92 км тоннелей метрополитена в Гамбурге выражается в 18,3 млн. марок (112,9 млн. франков), что составляет около 2,8 млн. марок (14,2 млн. франков) на 1 км метро.

Ниже приводим цифры стоимости метро в Париже и Лондоне.

¹ Для удобства сравнения элементов метро разных стран, стоимости приведены во франках.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ
средней стоимости километра Парижского метрополитена и Лондон

Парижский метрополитен		
I. Тоннель вчерне	—	13 200 000 рф.
II. Верхнее строение пути:		
а) Рельсы и шпалы	860 000 фр.	
б) Щебеночный балласт	480 000 "	
в) Токоприемники и оборудование	260 000 "	
	—	1 600 000 фр.
III. Кабели низкого напряжения	—	370 000 "
IV. Сигнализация	—	472 000 "
V. Станция длиной 105 м		
а) Вестибюли, входы, лестницы, машинное отделение, коридоры и т. д.	1 750 000 фр.	
б) Разница в стоимости станционного и обычного тоннеля	1 850 000 "	
в) Эскалаторы и машины	270 000 "	
г) Вентиляция	10 000 "	
д) Дренажные насосные установки	90 000 "	
е) Оборудование:		
Тоннелей	145 000 "	
Входов	545 000 "	
	—	690 000 фр.
ж) Освещение, указатели, телефоны, противопожарное оборудование	250 000 "	
	4 910 000 фр.	
Учитывая расположение станций через 500 м, имеем на 1 км	—	9 280 00 фр.
VI. Отчуждение		
VII. Подвижной состав и мастерские:		
а) Вагоны	6 820 000 фр.	
б) Мастерские и служебные здания и оборудование	1 074 000 "	
	—	7 894 000 фр.
VIII. Энергия:		
а) Подстанции	756 000 фр.	
б) Кабели высокого напряжения	710 000 "	
	—	1 466 000 фр.
В с е г о	—	34 822 000 фр.
И т о г о	—	2 089 000 "
Общие расходы—6%	—	
И т о г о: стоимость одного километра линий Парижского метрополитена	—	36 911 000 фр.

ТАБЛИЦА
ского Эндерграунда при полном оборудовании (во франках)

Лондонский Эндерграунд		
I. Тоннель вчерне	—	16 543 000 фр.
II. Верхнее строение пути:		
а) рельсовый путь и жесткое бетонное основание	1 605 000 фр.	
б) Третий и четвертый рельсы для тока, изоляторы и т. д.	313 000 "	
	—	1 918 000 "
III. Кабели низкого напряжения	—	588 000 "
IV. Сигнализация	—	391 000 "
V. Станция длиной 105 м. (тубы):		
а) Вестибюли, входы, лестницы, переходы и т. д. вчерне	4 541 000 фр.	
б) Разница в стоимости станционных и обычных тубов	2 349 000 "	
в) Эскалаторы и машины	1 801 000 "	
г) Вентиляция	133 000 "	
д) Дренаж и насосные установки	71 000 "	
е) Оборудование:		
Тоннелей	783 000 "	
Входов	1 175 000 "	
	—	1 958 000 фр.
ж) Освещение, указатели, телефоны, противопожарное оборудование	391 000 "	
	—	11 244 000 фр.
Учитывая расположение станций через 800 м имеем на 1 км	—	14 055 000 "
VI. Отчуждение (примерно)	—	3 915 000 "
VII. Подвижной состав и депо	—	8 770 000 "
VIII. Энергия:		
а) Подстанции	940 000 фр.	
б) Кабели высокого напряжения	391 000 "	
	—	1 331 000 фр.
В с е г о	—	47 511 000 фр.
И т о г о	—	2 375 000 "
Общие расходы 5%	—	
И т о г о: стоимость одного километра линий Лондонского Эндерграунда	—	49 886 000 фр.

В капиталистической Англии большие компенсации приходится уплачивать владельцам домов лишь за разрешение проходки под домами. Так, за дев вестибюлем станции Найтбридж 5-этажный дом, компания Эндерграунда платит владельцу этого дома 10.000 фунтов стерлингов.

В случае обнаружения значительных деформаций в доме после проходки, домовладелец заламывает бешеные суммы. Все это ложится накладным расходом на стоимость километра тоннеля.

Изложенное в одинаковой степени относится к Франции и Германии.

В заключение приводим таблицу относительной стоимости сооружения метро в Берлине, Париже, Лондоне.

Сравнительная таблица стоимости метрополитена по элементам в %
(Лондон, Париж, Берлин)

	Лондон	Париж	Берлин
Тоннель в черне	33,1	35,7	34,5
Верхнее строение пути	3,8	4,4	3,9
Кабели низкого напряжения	1,2	1,0	1,1
Сигнализация	0,9	1,3	1,2
Станции	28,1	29,6	27,2
Отчуждение	7,9	—	*)
Подвижной состав и мастерские	17,6	21,4	20,0
Энергия, подстанции и кабели	2,6	3,9	2,2
Общие расходы	4,8	5,7	4,6
Восстановление мостовой и перекладка подземных сооружений	—	—	5,3

*) Отчуждение при сооружении метрополитена в Берлине открытым способом составляет около 20% общей строительной стоимости.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗА ГРАНИЦЕЙ ТЕОРИИ ДАВЛЕНИЯ ПОРОД В СВЯЗИ С РАСЧЕТОМ ОБДЕЛОК ТОННЕЛЕЙ

При пересечении подземной выработкой грунтового массива проявляется горное давление, непосредственно действующее на крепление. Вопросы характера, направления и величины этого давления однако еще настолько не разработаны, что строителям приходится довольствоваться лишь примерной оценкой, устанавливаемой геотехническим прогнозом.

Статика сооружений дает возможность математически рассчитать тело обделки в том случае, когда известны величины и направления действия внешних сил. Но в условиях тоннельного режима характер внешних сил, первооснова статического расчета, до сих пор чрезвычайно слабо изучен, вследствие чего нельзя получить исчерпывающих данных о действительных напряжениях, возникающих в элементах обделки под влиянием окружающей породы.

Представление о сущности горного давления сложилось на основании практики, систематических исследований, наблюдений за строящимися и эксплуатируемыми тоннелями, рудниками и путем экспериментальных, лабораторных и теоретических работ.

При проходке тоннелей метро, подводных тоннелей и т. д. на небольших относительно глубинах вопрос о давлении пород на обделку разрешается обычно учетом полного веса всей налегающей земной толщи до поверхности.

Вопрос о характере и величине давления на обделку горных тоннелей еще не получил полного разрешения. В результате научных работ последнего двадцатипятилетия сложились следующие гипотезы:

а) Теория пластических деформаций гидростатического давления пород проф. Гейма (Цюрих), утверждающего, что на определенных глубинах не существует ярко выраженной разницы между жидкими и твердыми породами.

Гейм считает, что порода остается в твердом состоянии, пока она подвержена действию одностороннего давления. Как только обнаруживается всестороннее давление, превосходящее по величине прочность породы, в последней начинают происходить пластические деформации. Далее Гейм утверждает, что порода на определенной глубине воспринимает вес вышележащих пород. А отсюда следствие: кровля тоннеля подвергается полному давлению всей налегающей толщи горного массива. Примерно такого же взгляда придерживаются Адамс, Ван-Хейз, Поскинс и Грубенман.

Теория пластических деформаций пород Гейма однако не подтверждается на практике, в глубоко заложенных тоннелях.

Инж. Брандау доказывает неправильность геймовской теории следующим практическим соображением: несущему своду Сен-Готардско-

го тоннеля, залегающего на глубине около 1,5 км от поверхности, и рассчитанному по теории Гейма на поддержание всего вышележащего грунта, необходимо назначить толщину в замке около 5,5 м, а существующий свод размером в замке 65 см должен, был несомненно, обрушиться. В действительности же этот свод прекрасно работает.

б) По другой теории давления пород на обделки при пробивке тоннельного хода образуется естественный свод, защищающий кровлю от давления всей вышележащей толщи. Однако, породы, заключающиеся внутри естественного свода, имеют тенденцию к движению. Образуется зона обрушения, в которой сила тяжести породы превалирует над силами сцепления, вследствие чего порода производит давление на тоннельную крепь.

Приведенная теория признана сейчас большинством практиков тоннельного дела, но трактуется многими из них своеобразно. Большую работу в этой области проделали: Риттер, Ржиха, Энгессер, Брандау, Бирбаумер, Вагнер, Шульце, Форхгеймер, Левинсон-Лессинг, Валлиман и др.

Этими учеными с целью выявления законов, характера распределения и величин давления грунтов производились в большом масштабе исследования, наблюдения и эксперименты. Ими ставились опыты по искусственному сжатию пород, выявлялись направления силовых линий и диаграммы напряжений вокруг полости тоннельного отверстия.

Сделан ряд исключительно интересных математических исследований, основанных на теории упругости. Но все они не дают все же ключа для практического разрешения вопроса о горном давлении.

Особенно ценными являются работы венского профессора инж. Ржиха, который утверждает, что на тоннельную крепь давит лишь часть грунта, находящаяся ниже границы естественного свода. Выше последнего частицы грунтового массива находятся в равновесии и не испытывают дополнительных напряжений.

Очертания и размеры этого естественного свода зависят от физико-механических свойств пересекаемых пород, характера строения грунтового массива и напластования пород, водоносности, пролета и форм выработки, качества крепления и времени нахождения выработки в естественном состоянии без крепления.

Из числа приведенных факторов доминирующими являются по Ржихе физико-механические свойства пересекаемых пород.

Последние он подразделяет на четыре категории:

- 1) гомогенные, твердые породы;
- 2) пластичные породы (глинистые);
- 3) сыпучие сухие грунты (гравий, пески, галька);
- 4) породы плавунного характера (водоносные пески).

При проходке тоннеля в твердых породах в кровле образуется:

а) сфера стремительного обрушения, в пределах которой нарушенные частицы породы производят непосредственное давление на тоннельную крепь.

б) сфера замедленного обрушения, в пределах которой нарушенные частицы породы также проявляют давление на крепь;

¹ Redlich, Terzaghi, Kampe: Ingenieurgeologie. Berlin. 1929.

в) сфера пластичного состояния породы, в пределах которой частицы устремляются в выработку в случае разрушения тоннельных креплений под давлением породы зоны обрушения;

г) сфера статического равновесия пород, не оказывающая непосредственного влияния на крепление выработки.

При проходке в глинистых грунтах в условиях воздействия воздуха, воды, неизбежно пучение грунта. В этом случае глина начинает дышать и проявляет усиленное давление на крепи.

Известны случаи, когда для беспрепятственного расширения глины между породой и крепью оставлялся промежуток около 18—20 см. Но все же давление было настолько значительным, что сплошные штольневые оклады из дубового леса, диаметром до 40 см, деформировались и разрушались. Такие явления наблюдались при постройке лондонских подземных железных дорог до применения щита, в ряде тоннелей Японии (Кодмару, Курэка) ¹.

В других случаях при пересечении глинистых грунтов горное давление вначале почти отсутствовало. Впоследствии же глина проявляла усиленное, все нарастающее давление на крепи.

Успех при проходке в глинистых породах может быть достигнут только, если немедленно вслед за временным деревянным креплением возводится постоянная крепь, т. е. если выработка берется на свод. В противном случае неизбежны деформации крепей, осадки и т. п.

Большие исследовательские работы по сыпучим грунтам проведены Бирбаумером и Форхгеймером. Эти авторы в результате исследований пришли к выводу, что давление породы на крепь находится в пропорциональной зависимости от удельного веса вышележащей породы, угла внутреннего трения и пролета тоннельной выработки.

По Бирбаумеру в песчаных грунтах образуются вертикальные плоскости скольжения, по которым устремляется в выработку нарушенная порода. При этом величина давления породы уменьшается за счет трения по образуемым плоскостям (рис. 439).

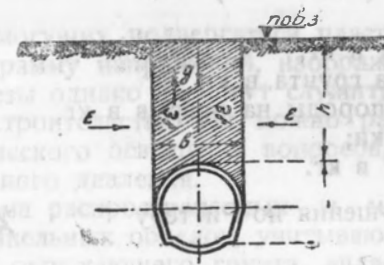


Рис. 439.

Вес давящего грунта по Бирбаумеру².

$$G = \theta \cdot \gamma \cdot b \cdot h$$

где $\theta < 1$ — коэффициент, зависящий от внутреннего трения.

γ — удельный вес грунта,

b — ширина выработки,

h — заглубление шельги свода.

¹ Sasaki. Тоннельные работы в Японии. Токио. 1926.

² Birbaumer. Die Dimensionierung des Tunnelmauerwerks. Leipzig—Berlin. 1913.

Минимальное значение θ :

$$\theta_{\min} \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right),$$

где ρ — угол внутреннего трения.

В плавунных грунтах наблюдается значительное уменьшение величины коэффициента внутреннего трения и давление приближается к гидростатическому.

Помимо вертикального давления, являющегося главенствующим в выработках, наблюдается и боковое давление. Последнее обнаруживается по характеру деформаций крепей и тоннельных обделок, элементы которых испытывают действие сдвига в сторону от продольной оси тоннельного сооружения.

Величина этого тангенциального давления примерно определяет в 20—35% от вертикального горного давления.

Зависит она от рода напластований и дислокации затрагиваемых пород и от склонности пластов к перемещению. В частности имеются в виду оползневые явления. Боковое давление проявляется и в подвижных грунтах.

В некоторых случаях, когда ожидаются значительные сдвиги (случай проходки тоннеля по косогору), прибегают к устройству несимметричных обделок с обратным сводом. Иначе неизбежны деформации крепления и изменения внутренней конфигурации облицовки.

В основу своей теории горного давления Риттер кладет действие силы тяжести естественного свода грунта, образующегося над тоннельной выработкой. Одновременно учитываются силы сопротивления отрыву свода от всей налегающей земляной массы.

Таким образом величину давления на крепи тоннельного профиля Риттер приравнивает к весу параболоида грунта за вычетом силы сцепления его по контуру отрыва.

$$T = Q - S = a \cdot \gamma \left(\frac{a^2}{48S} - S \right)$$

где:

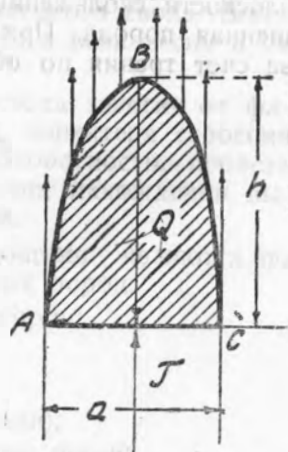
- T — давление пород в кг,
- Q — вес параболоида грунта в кг,
- S — сопротивление породы на разрыв в кг,
- a — пролет выработки;
- γ — вес 1 м³ грунта в кг.

Высота параболы обрушения по Риттеру в метрах:

$$h = \frac{a^2}{16S}$$

Не имея данных величины S сопротивления пород на разрыв, Риттер предложил оперировать величиной $1/S$, приравняв ее силе сцепления грунтов между собой γC .

Величина C для плотных глин установлена около 0,25—0,45. Однако в водоносных песчаных грунтах формула Риттера дает результаты, не совпадающие с данными практики. Так, например для песчаных и гравелистых грунтов, обладающих силой сцепления $C = 0$, высота параболы по формуле Риттера превращается в ∞ , что расходится с действительными условиями работы тоннельных обделок, заложенных в сыпучих грунтах.



Давление на тоннельную облицовку снизу вверх встречается на практике довольно редко, главным образом при сооружении подводных тоннелей.

Давление, направленное вдоль оси тоннеля, в случае своего проявления приводит к разрушению порталных колец, если они не обеспечены надлежащей устойчивостью.

Особое внимание следует обратить на так называемое местное давление породы, которое в меньшей степени зависит от характера и свойств пересекаемых напластований, а главным образом вытекает из выбранного метода и качества выполнения тоннельных работ.

При продолжительном оставлении кровли на временном креплении меняется структура грунта, нарастает усиленное давление, крепи деформируются и дело доходит до обвалов. Поэтому тоннельные работы должны вестись быстрыми темпами, и нагнетанием раствора за тоннельную облицовку должен быть восстановлен нормальный режим, обеспечивающий статическую работу обделки.

Проф. Терцаги на основании своих экспериментов и математических выкладок, основанных на теории упругости, выявил характер распределения напряжения у полости тоннельного отверстия. Считая, что величина давления распространяется равномерно в радиальном направлении, Терцаги дает следующую диаграмму напряжений по лучу, проходящему через центр тоннельного отверстия (рис. 441).

Для твердой породы кривая 1 идет от нуля у точки пересечения кривой с горизонтальным диаметром, где отсутствуют напряжения в радиальном направлении и постепенно возрастает до величины действующего давления « p ». Кривая II, отражающая тангенциальные напряжения, имеет вначале максимальную ординату $P_{\max} = 2p$, и снижается до величины действующего давления « p ». Обвал незакрепленной тоннельной выработки происходит по Терцаги тогда, когда величина максимального касательного напряжения $P_{\max} = 2p$, превосходит величину временного сопротивления породы пересекаемой тоннелем.

Для грунтов, могущих подвергаться пластическим деформациям, Терцаги дает диаграмму напряжений, изображенную на рис. 441с.

Все эти гипотезы однако не могут служить для практических целей тоннельного строительства. Их можно рассматривать лишь как попытку математического освещения вопросов, связанных с установлением закона горного давления.

Одной из весьма распространенных и математически развитых теорий расчета тоннельных обделок, учитывающих как активные, так и пассивные силы окружающего грунта, является теория немецкого профессора **Отто Коммереля**.

Коммерель полагает, что нарушенная в кровле порода частью отрывается от основного земляного массива по поверхности естественного равновесия. Эту поверхность Коммерель считает параболической, но для упрощения расчета без особой погрешности принимает эллиптической. Таким образом расчет вертикального давления на крепь Коммерель ведет на вес так называемого эллипса обрушения, вернее полуэллипса.

К оценке количественной стороны горного давления на обделку Коммерель подошел следующими рассуждениями:

Проведенная горизонтально касательная к шельге свода ABC, равная ширине выработки, под действием проявляющегося горного

¹ Otto Kommerel. Statische Berechnung of Tunnelmauerwerk. Berlin. 1912.

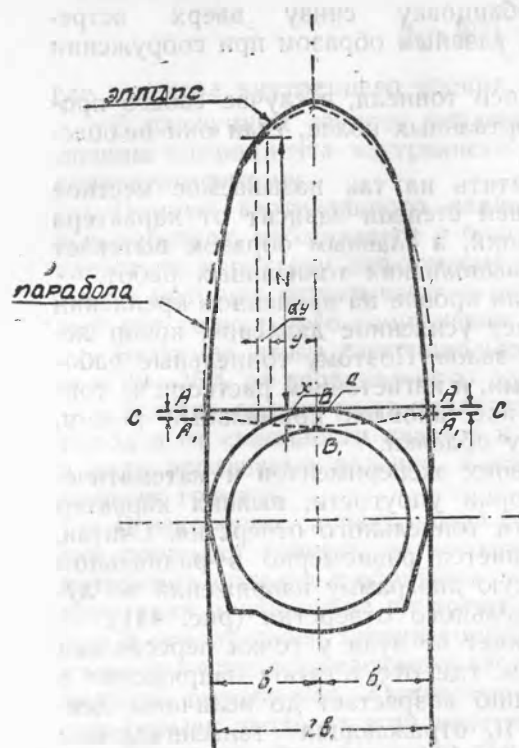


Рис. 440.

давления претерпевает деформацию, принимая вид линии $A_1 B_1 C_1$. Перемещение точек A B и C фиксируется соответствующими величинами (рис. 440).

Коммерель характеризует $A_1 B_1 C_1$ как параболу с уравнением:

$$y^2 = 2p(a - x),$$

принимая начала координат в точке B при $y = b_1$ — полупролете выработки, $x = c$ — осадке в точке A .

$$2p = \frac{b_1^2}{a - c}$$

откуда

$$y^2 = \frac{b_1^2}{a - c}(a - x)$$

или

$$x = a - \frac{(a - c)}{b_1^2} \cdot y^2$$

Дифференциальное приращение объема породы при ширине и глубине $1,0 \text{ м} = 1 \text{ х} \cdot dx$, а при высоте z .

$$Q_z = 1 \cdot z dy$$

Принимая коэффициент остаточного разрыхления грунта p в процентах, получаем величину разрыхления объема перемещающегося грунта:

$$\frac{p}{100} Q_z = \frac{p}{100} z dy$$

Кроме того дифференциальное увеличение объема породы:

$$1 \cdot x \cdot dy = \frac{p}{100} z dy$$

Следовательно:

$$z = \frac{100}{p} \left(a - \frac{a - c}{b_1^2} y^2 \right)$$

Имеем уравнение параболы, у которой величина $\frac{100}{p} a$ определяет расстояние от точки B — шельги свода.

$$\text{при } y = 0 : Z_0 = \frac{100}{p} a,$$

$$\text{при } y = b_1 : Z_{b_1} = \frac{100}{p} c,$$

С целью упрощения дальнейших выводов Коммерель без большой погрешности заменяет параболу эллипсом с уравнением:

$$\frac{y^2}{b_1^2} + \frac{z^2}{h^2} = 1,$$

где h — высота эллипса обрушения,

$$Z_0 = \frac{100}{p} a, \text{ а } b_1 \text{ — полупролет выработки.}$$

Таким образом величина полуэллипса обрушения определяется Коммерелем в зависимости от величины «а» — осадки кровли в центре выработки.

Величина «а» определяется в натуре по осадкам верхняков, наблюдаемым в процессе проходки направляющей штольни.

Коммерель дает следующую таблицу величин p на основании практических наблюдений:

Порода	«Р» в % Коэффициент разрыхления
Песок, гравий	1—1,5
Суглинистые грунты	2—4
Плотные грунты	6—7
Песчаники, мергели	4—5
Скальные породы	8—15

В случае проявления, кроме вертикального давления, еще активного тангенциального давления, полная величина давления на тоннельную обделку определяется по грузовой эпюре, строящейся следующим порядком: на отрезке горизонтальной касательной к шельге свода, между точками пересечения с линиями углов обрушения, очерчивается эллипс обрушения. Плоскость обрушения ведется по биссектрисе угла между линией угла естественного откоса и вертикалью (рис. 442).

При величине полупролета выработки b_1 и угле естественного откоса φ малая полуось эллипса обрушения определяется по формуле:

$$d_1 = b_1 + h \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Расчет тоннельной обделки, проведенный при учете действия только активных сил, приводит к большим напряжениям, а отсюда к преувеличенным размерам обделок, не соответствующим размерам,

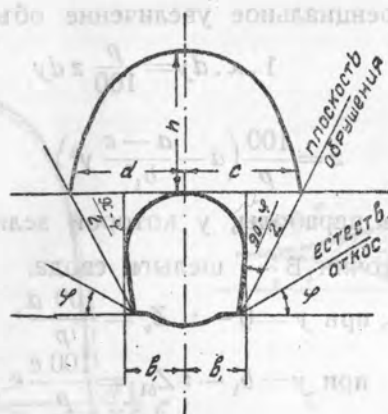


Рис. 442.

принятым в практике строительства тоннелей. Для уничтожения этого разрыва Коммерель сделал попытку математически обосновать практические размеры обделок, вводя в расчет пассивные силы, возникающие при работе обделки в окружающем грунте.

Особенность приема Коммереля в расчете тоннельных обделок заключается в том, что он отказывается от ведения расчета всей конструкции законченного контура обделки, а расчленяет расчет по отдельным элементам: своду, стенам тоннеля, обратному своду. Принятый Коммерелем принцип расчета по элементам конструкций в действительности соответствует постепенным фазам производства работ при проходке тоннелей на временном деревянном креплении.

Свод тоннельной обделки обычно рассчитывают на Мёршу, который исходит из первоначального рассмотрения условий работы бруса с одним заделанным концом.

Расчет стены тоннельной обделки

Активная равнодействующая сила давления в ляте свода S и сила собственного веса стены тоннеля Q уравниваются по Коммерелю пассивным отпором породы E_w и силой трения между породой и кладкой, направленной снизу вверх и равной

$$R = \mu E_w \text{ (где } \mu = 0,2 - 0,3 \text{)}^1$$

Пассивный отпор равен по величине и противоположен по направлению распору свода, направленному горизонтально, вследствие чего равнодействующая, проходящая через подошву стены тоннеля, имеет вертикальное направление (рис. 443).

Точка приложения равнодействующей по подошве и ширина последней определяются, сообразуясь с допускаемыми напряжениями на кладку и грунт.

Распределение пассивного сопротивления по стене тоннельной обделки Коммерель ведет по треугольнику на отрезке, равном $3x$, принимая, что под действием активных сил, подошва и стена тоннеля повернутся на один и тот же угол (рис. 444).

Это явление связано с местным уплотнением грунта, обуславливаемым, по Коммерелю, зависимостью между напряжением грунта и уплотнением его:

$$\frac{\sigma_e}{3x} = \frac{\sigma_a - \sigma_i}{b}$$

Грузовой треугольник пассивного отпора имеет уравнение:

$$\sigma_e = \frac{2E_w}{3x100}$$

Подстановка:

$$\frac{2E_w}{900x^2} = \frac{\sigma_a - \sigma_i}{b}$$

откуда величина

$$x = \frac{1}{30} + \sqrt{\frac{2E_w b}{\sigma_a - \sigma_i}}$$

Чем равномернее распределяется давление, тем больше x . Величина x достигает своего максимума при осуществлении полного соприкосновения обделки с породой.

Практически это достигается плотной забуткой к породе в процессе производства кладки с последующим нагнетанием под давлением раствора за тоннельную обделку для заполнения всех пустот.

При расчете необходимо проверить вызываемые распором свода напряжения на грунт.

Краевые напряжения в подошве и в швах обделки определяются по обычной формуле:

$$\sigma_{a,i} = \frac{P}{100b} \left(1 \pm \frac{6e}{b}\right),$$

где b — ширина подошвы, а e — эксцентриситет.

В результате расчета обделки тоннеля по Коммерелю приходится излишне увеличивать стенки тоннеля, вопреки требованиям практики. Такое расхождение между теорией Коммереля и практикой строительства тоннелей конечно объясняется главным образом тем, что теория его не охватывает многие природные факторы, влияющие на работу обделки.

В частности, Коммерель совершенно упустил реакцию грунта в виде силы трения по подошве стены тоннеля.

Над вопросами раскрытия неопределенности направления и величин давления пород на тоннельные обделки в условиях городского метростроения усиленно работает французский инженер Сюкэ¹.

На строящихся тоннелях им был поставлен целый ряд опытов и испытаний, которые пролили свет на чрезвычайно неясную игру внешних сил, воздействующих на обделку тоннеля.

Вначале, когда опыты велись приборами, охватывавшими небольшую зону влияния давления, получились местные разгружающие сводики, препятствовавшие выявлению истинной характеристики давле-

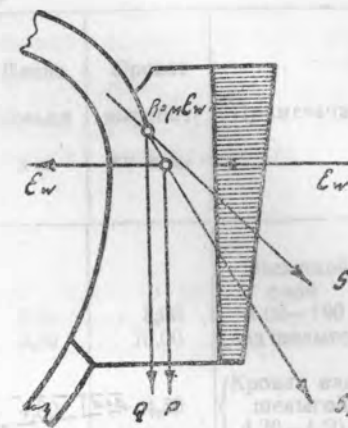


Рис. 443.

¹ Lucas. Der Tunnel, Band I. 1920.

¹ Annals des Ponts des Chaussées. 1927, статья инж. Сюкэ

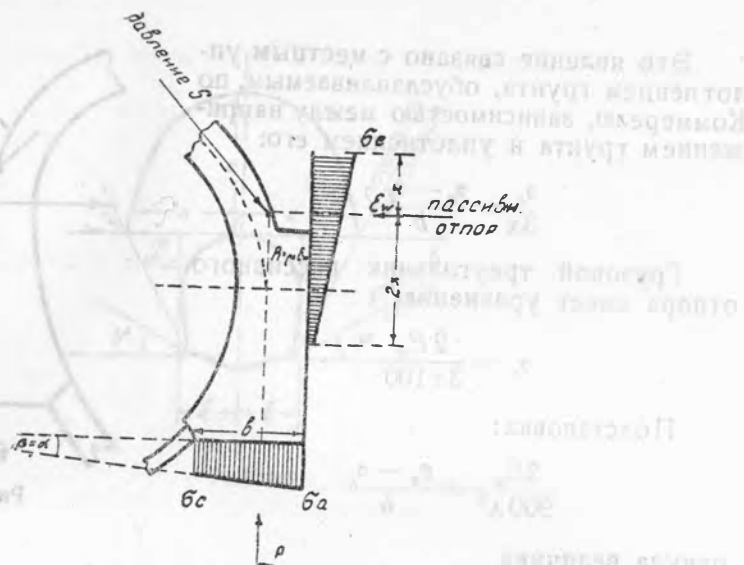


Рис 444.

ния на данный профиль, так что в итоге полученные результаты становились весьма сомнительными. Это привело к тому, что пришлось отказаться от приборов, снимающих давление с небольших площадей.

В дальнейшем опыты производились помощью разгружающих домкратов на постройке станции «Одеон», пролетом в 18 м, и в тоннелях под Сен-Жермен. Марчевана пролетом 1,5 м между верхняками штольневых рам поддерживалась через филату штендером на гидравлическом домкрате. Поджимая марчеваны на 1 мм. вверх выше ее нормального положения, удавалось снимать давление кровли при ширине ее в 1,10 м.

Беря момент вокруг точки у филаты, определяли силу Е:

$$E \cdot 0,802 = \frac{P}{2} \left[(1,5 - 0,23)^2 - 0,11^2 \right] 1,10.$$

Из этого выражения находилась интенсивность искомой нагрузки. Данные определялись при колебаниях величин давлений домкрата от 1½ до 4 тонн при кровле над шельгой свода в 1,60—2,00 м в культурном слое. Интенсивное уличное движение на мостовой, которое производило лишь динамическое влияние на крепления, практически не отражалось на домкратах, служивших для нахождения величин давления грунта, при его статическом состоянии.

Ряд испытаний был произведен при сооружении линий №№ 8 и 9 и станции Ришелье Друа. Результаты испытаний сведены Сюкэ в специальную таблицу:

№№ по порядку	Название участка	I давление на м² по данным испытаний	II Вес кровли выше- лежащего грунта на м²	Отноше- ние $\frac{II}{I}$	Длина кольца в м.	Пролет выработ- ки в м.	Примечание
1	Бульвар Сен Жермен линия №10	1,173	2,400	2,05	3,20	8,00	Насыпной слой 1.00—190 над шельгой
2	—	3,226	4,800	1,49	3,20	18,00	
3	Ришелье Друа линия №9	4,200	6,570	1,56	4,80	4,50	Кровля над шельгой 4,20—4,50 м
4	Ришелье Друа, линия № 8	0,742	6,300	8,49	3,20	14,00	
5	—	0,742	6,300	8,49	3,20	14,00	Около 3,80м насыпного грунта и от 0,4—0,70 м мелкозернистые пески
6	—	2,598	6,000	2,31	3,20	11 00	
7	—	1,245	6,000	4,82	3,20	8,00	
8	—	1,192	6,750	5,66	3,70	20,5	

Из таблицы, Сюкэ выделяет момент соотношений давлений, в связи с пролетами выработок.

2	пролет	18,00 м	соотношение давлений	1,49
6	"	11,00	"	2,31
1	"	8,00	"	2,05
7	"	8,00	"	4,82

При этом Сюкэ указывает, что при пролетах обычных однопутных тоннелей действительное давление на своды составляет от 1/3 до 1/2 веса слоя вышележащих пород; при больших станционных пролетах расчетное давление составляет до 2/3 веса вышележащих грунтов.

Для определения направления давления Сюкэ ставил ряд опытов в раскрытых выработках калоттного профиля, установкой системы штендеров под лонгарины в разных направлениях.

Для выявления направления кривой давлений в сооружаемом своде Сюкэ построил ряд кривых. На основании своих опытов Сюкэ считает весьма полезным давать пяте свода расширенное основание. Это указание реализуется на Парижском метро при опирании свода на слабые грунты.

Следует иметь в виду, что Сюкэ все же оговаривает, что его выводы основаны на весьма ограниченных материалах испытаний и требуют дальнейшего подтверждения.

При разработке тоннелей на деревянном креплении образуются осадки породы, которые иногда распространяются до поверхности. Распространение осадок происходит по плоскости, которые по Сюкэ сходятся под углом осадки.

При бельгийском способе производства работ плоскости осадок проходят через пяты свода. Тело AA' BB' представляют собой по Сюкэ грунтовой свод с пятами AA' и BB' (рис. 446).

Далее в вопросе о давлении пород на свод обделки Сюкэ полагает, что при определенной плотности грунта D грунтовой массив AA' BB' может работать независимо, не проявляя давления на свод обделки тоннеля. Избыток плотности породы и проявляется в виде давления грунта на тоннельную обделку.

Максимальное напряжение в своде Сюкэ принимает

$$P = \frac{2Q}{H \operatorname{tg} \alpha'}$$

где Q — вес грунта, давящего на половину свода,
 H — заглубление шельги свода (рис. 445).

Принимая полукалотту, равной $\frac{2}{3}lh$, имеем:

$$P = \frac{2D}{H} \left[l \left(\frac{H + \frac{h}{3}}{\operatorname{tg} \alpha} \right) + \frac{(H + h)^2}{2} \right]$$

При большом заглублении можно пренебречь стрелой h и тогда

$$P = 2D l \left[\frac{l}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{H}{2} \right]$$

Таким образом для расчета обделки необходимо знать величины:

D — плотность грунта,

α — угол осадки и

r — сопротивление грунта сжатию.

Получить все эти данные можно лишь в процессе проходки тоннеля, когда имеется возможность полностью выявить характеристику пересекаемых тоннелем пород. Но обычно требуется провести предварительный расчет обделки на основании данных гидрогеологического прогноза до проходки направляющей штольни. Для этой цели ориентировочно можно принять величины:

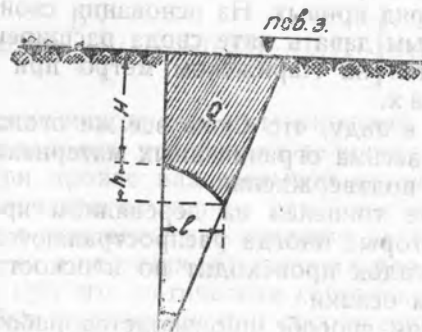


Рис. 445.

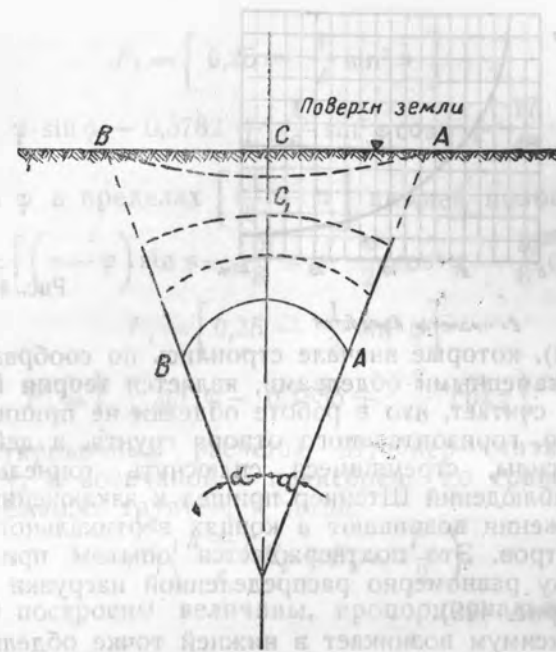


Рис. 446.

D — в пределах веса грунта от 1600 до 2100 кг/м^3 $r = kd$, где
 d — допускаемое давление на грунт, а k — коэффициент от 1,00 до 4,00.

α — угол осадки принимается равным $\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$, где

φ — угол естественного откоса,

При встрече напластований грунтов с отличающимися физико-механическими свойствами вычисляются требуемые величины среднего порядка.

Кроме указанных выше, Сюкэ поставил еще ряд наблюдений по давлению пород на тоннельные обделки Парижского метрополитена, имеющие заглубление шельги свода около 5 м. В результате опытов он пришел к заключению, что при нормальных пролетах однопутных и двухпутных тоннелей действительное давление меньше веса вышележащей породы, а при больших станционных пролетах до 18 м давление породы соответствует всей массе налегающей толщи.

Основываясь на своих опытах, Сюкэ построил кривую, характеризующую отношение теоретического давления, соответствующего полному весу грунта над тоннелем, к действительному (рис. 447).

Попыткой обосновать расчетом круглые металлические обделки

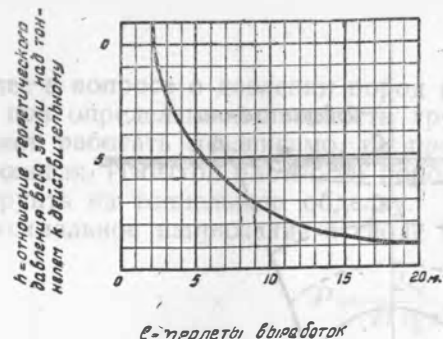


Рис. 447.

тоннелей (тюбы), которые вначале строились по соображению с существующими каменными обделками, является **теория Штейнера**¹.

Этот автор считает, что в работе обделки не принимают участия силы пассивного, горизонтального отпора грунта, а действуют лишь вертикальные силы, стремящиеся сплюснуть тоннельную обделку. В результате наблюдений Штейнер пришел к заключению, что максимальные напряжения возникают в концах вертикального и горизонтального диаметров. Это подтверждается опытом при действии на круглую обделку равномерно распределенной нагрузки или сосредоточенных сил (рис. 449).

Момент максимум возникает в нижней точке обделки. В шельге свода и в подошве возникают положительные, а в боках отрицательные моменты.

Далее на основании своих исследований Штейнер пришел к формуле, определяющей величину изгибающего момента в требуемой точки обделки:

$$M = r^2 \left(g - \frac{r\gamma}{2} \right) F_0 + \gamma_1 r^3 \left(\frac{h+r}{2} F_1 + F_2 \right),$$

где γ — удельный вес воды,

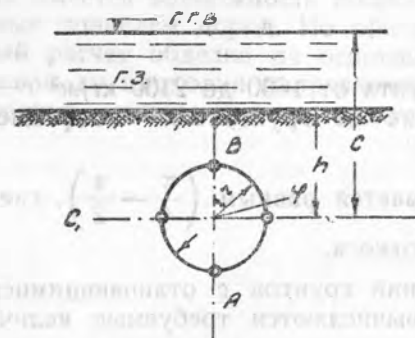


Рис. 448.

γ_2 — удельный вес грунта,

γ_1 — превышение удельного веса грунта над водой, γ_2 — γ_1 ,

G — собственный вес трубы.

Величины F_0, F_1, F_2 представляют, по Штейнеру, величины переменного порядка, зависящие от угла, определяющего данное сечение.

а) Для угла φ в пределах $\left(0 - \frac{\pi}{2} \right)$ верхней половины круга:

$$F_0 = \left[\frac{3\pi}{8} - \frac{5}{6} \cos \varphi - \varphi \sin \varphi \right]$$

¹Steiner. Beitrag zur Theorie „der Röhrentunnel Kreisförmigen Querschnitts Öterr Wochenschrift für der öffentlichen Baudienst. Heft 26.

$$F_1 = \left[0,25 - \frac{1}{2} \sin^2 \varphi \right]$$

$$F_2 = \left[\frac{1}{2} \varphi \cdot \sin \varphi - 0,5782 + \frac{1}{6} \sin^2 \varphi \cos \varphi + \frac{17}{48} \cos \varphi \right].$$

б) Для угла φ в пределах $\left[\frac{\pi}{2} - \pi \right]$ нижней половины круга:

$$F_0 = \left[\left(\pi - \varphi \right) \sin \varphi - \frac{5}{8} \pi + \frac{\pi}{2} \cos^2 \varphi - \frac{5}{6} \cos \varphi \right]$$

$$F_1 = \left[0,25 - \frac{1}{2} \sin^2 \varphi \right]$$

$$F_2 = \left[\frac{\pi}{8} \sin^2 \varphi - 0,1855 + \frac{1}{48} \cos \varphi \right].$$

При ориентировочных расчетах Штейнер считает возможным принять: $\gamma = \gamma_1$ а величиной G пренебречь по сравнению с общей массой вышележащих грунтов, и тогда:

$$M = r^3 \gamma \left(\frac{h+r}{r} F_1 + F_2 - \frac{F_0}{2} \right).$$

На рис. 449 построены величины, пропорциональные изгибающим моментам при

$$\frac{h+r}{r} = 4.$$

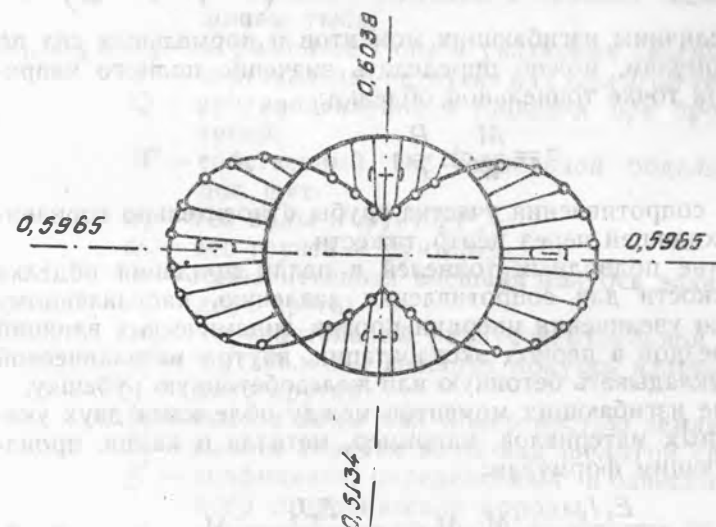


Рис. 449.

Величины F_0, F_1 и F_2 для углов $0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$ и π определяются по следующей таблице:

φ	0°	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	π
F_0	+ 0,3448	+ 0,0335	- 0,3927	+ 0,4406
F_1	+ 0,2500	+ 0,0000	- 0,2500	+ 0,2500
F_2	+ 0,2238	+ 0,0091	+ 0,2072	- 0,2063

Штейнер определяет величины осевых сил по следующим формулам:

$$P = \frac{gr}{6} (6\varphi \sin \varphi - \cos \varphi) + \gamma r C + \gamma r^2 \left[1 - \frac{5}{12} \cos \varphi - \frac{1}{2} \varphi \sin \varphi + \gamma_1 r (h+r) \sin^2 \varphi \right] - \gamma_1 r^2 \left(\frac{1}{2} \varphi \sin \varphi + \frac{1}{2} \sin^2 \varphi \cdot \cos \varphi + \frac{1}{48} \cos \varphi \right) - pr,$$

где p означает величины избыточного внутреннего давления над нормальным.

Величина осевых сил: в шельге свода B при $\varphi = 0$

$$p_B = -\frac{gr}{6} - pr + \gamma r(c + 0.5833) - \gamma r^2 \cdot 0.0208$$

В подошве тоннеля A при $\varphi = \pi$

$$p_A = -\frac{gr}{6} - pr + \gamma r(c + 1.4165r) - \gamma r^2 \cdot 0.0208$$

В боковой точке обделки C при $\varphi = \frac{\pi}{2}$.

$$p_C = \frac{gr\pi}{2} - pr + \gamma r(c + 0.2146r) - \gamma_1 r^2 \left(-\frac{h+r}{r} - \frac{\pi}{4} \right)$$

Определив величины изгибающих моментов и нормальных сил по приведенным формулам, можно определить значение полного напряжения в требуемой точке тоннельной обделки:

$$\sigma = \frac{M}{W} \pm \frac{P}{F},$$

где W — момент сопротивления участка трубы относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести.

При устройстве подводных тоннелей в целях придания обделке продольной жесткости для сопротивления давлению, направленному снизу вверх, и для увеличения инерции против динамических влияний при движении поездов в период эксплуатации, внутри металлической обделки следует укладывать бетонную или железобетонную рубашку.

Распределение изгибающих моментов между обделками двух указанных разнородных материалов, например, металла и камня, производится по следующим формулам:

$$M_1 = \frac{E_1 I_1}{E_1 I_1 + E_2 I_2} M; \quad M_2 = \frac{E_2 I_2}{E_1 I_1 + E_2 I_2} M,$$

где E и I означают модуль упругости и момент инерции материала соответствующей обделки.

Американцы пользуются рядом эмпирических формул, выведенных на основании опыта построенных тоннелей. Они определяют толщину чугунной обделки тубов из следующих двух уравнений:

$$\sigma_1 = \frac{R}{t} + \frac{pb^2}{2t^2} \quad \text{и} \quad \sigma_2 = \frac{pb^2}{2t^2},$$

где t — толщина чугунной обделки,

R — давление в кг на 1 п. см обделки по окружности,

p — давление породы в кг/см,

b — расстояние между ребрами в сегменте,

σ_1 — допускаемое напряжение на сжатие,

σ_2 — допускаемое напряжение на растяжение.

За последнее время в американской практике применяется расчет круглой обделки по Hewett¹⁾. Этот расчет однако основан на произвольном допущении, что при сооружении тоннеля пассивный горизонтальный отпор достигает такой величины, при которой изгибающие моменты обделки обращаются в нуль, что резко расходится с теорией Штейнера.

Инженер Hewett на основании своих опытов и исследований приходит к следующим формулам, определяющим величины изгибающих моментов и нормальных сил в сечениях, соответствующих концевым точкам вертикального и горизонтального диаметров:

$$M = Ka_1(n_1 w_2 a^2 + n_2 w_2 h_2 a) + n_1 w_1 a_1 a^2 + n_2 [w_1(h_1 + h_2) - Q]^2 a a_1$$

$$+ n_3 (w_1 + w_2) a_1 a^2 + n_4 W a_1 + n_5 (P - Q) a_1 a;$$

$$N_1 = b w_1 (0.67 b + h_1 + h_2) - K b w_2 (0.67 b + h_2) + Q b,$$

$$N_2 = -P a - 0.22 (w_1 + w_2) a b - 0.25 W + Q a;$$

$$N_3 = -b w_1 (1.33 b + h_1 + h_2) - K b w_2 (1.33 b + h_2) Q b,$$

где

M_1, M_2 и M_3 — изгибающие моменты в сечении шельги, боков и подошвы туба;

N_1, N_2 и N_3 — нормальные силы в указанных сечениях.

P — вертикальная нагрузка над шельгой свода в фун./кв. дм.

Q — противодавление в тоннелях при проходке с пневматикой.

W — собственный вес тоннельной обделки в фунтах на пог. фут.

w_1 — вес воды в фунт/фут³.

w_2 — вес грунта в фунт/фут³.

a — горизонтальная внешняя полуось эллипса в футах (радиус круга).

a_1 — горизонтальный радиус нейтральной оси.

b — вертикальная внешняя полуось эллипса в футах (радиус круга).

h_1 — высота воды над поверхностью земли в футах.

h_2 — высота стояния воды над шельгой свода в футах.

K — коэффициент, определяемый в зависимости от пассивного сопротивления породы.

$n_1, n_2 \dots n_5$ — величины переменного порядка, берутся по таблице № IV „Hewett and Iohannessen“ соответственно изгибающим моментам.

¹⁾ Hewett and Iohannessen Tunnel Shield and Compressed air. New-York. 1922.

Принципы расчета обделки Шельдского тоннеля¹

Чрезвычайный интерес представляет принцип, заключенный в расчете туба подводного тоннеля под р. Шельдой, в части подхода к подводной части.

При расчете учитывались местные условия грунтовых напластований и возможность подвижки грунтов в верхней части профиля туба, в случае производства в будущем строительных работ вблизи прокладываемого тоннеля.

Принималось, что при работе туба оказывает влияние лишь грунт в нижней части профиля.

1. Влияние собственного веса.

1. Величина изгибающего момента.

Учитывая, что точка В после проявления деформации остается на вертикальном диаметре, а касательная к этой точке горизонтальной — имеем следующие уравнения.

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M d\alpha = 0 \quad (1)$$

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M \cos \alpha d\alpha = 0 \quad (2)$$

Примем следующие обозначения:

m — изгибающий момент,

Q — нормальная сила,

R — радиус,



Рис. 450.

q — собственный вес кольца на 1 пог. м. по периметру кольца.

Для точки С, при которой $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$, имеем следующие выражения: (рис. 450).

¹ Extrait de „La Technique des Travaux“. 1933.

$$M_c = Q \cdot BE + m + \int_c^B f CF$$

$$BE = R(1 + \cos \alpha); \quad CF = R(\sin \alpha - \sin \beta);$$

$$f = q ds = q R d\beta$$

$$M_c = QR(1 + \cos \alpha) + m + qR^2[(\pi - \alpha) \sin \alpha - \cos \alpha - 1]$$

Произведя подстановку в уравнения (1) и (2), имеем:

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M d\alpha = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} QR(1 + \cos \alpha) d\alpha +$$

$$+ \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} m d\alpha + qR^2 \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} [(\pi - \alpha) \sin \alpha - \cos \alpha - 1] d\alpha = 0$$

$$QR \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) + m \frac{\pi}{2} + qR^2 \left[2 - \frac{\pi}{2} \right] = 0$$

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M \cos \alpha d\alpha = QR \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} (1 + \cos \alpha) \cos \alpha d\alpha + m \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \cos \alpha d\alpha +$$

$$+ qR^2 \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} [(\pi - \alpha) \sin \alpha - \cos \alpha - 1] \cos \alpha d\alpha = 0$$

$$QR \left[\frac{\pi}{4} - 1 \right] - m - qR^2 \left(\frac{3\pi}{8} - 1 \right) = 0.$$

Таким образом получаем систему двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} QR \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) + m \frac{\pi}{2} + qR^2 \left[2 - \frac{\pi}{2} \right] = 0 \\ QR \left(\frac{\pi}{4} - 1 \right) - m - qR^2 \left(\frac{3\pi}{8} - 1 \right) = 0 \end{cases}$$

$$Q = -q \frac{R}{2} \frac{32 - 3\pi^2}{\pi^2 - 8}$$

$$m = -q \frac{R^2}{2} \frac{\pi^2 + 2\pi - 16}{\pi^2 - 8}$$

Момент в точке, находящейся между D и B, выражается:

$$M = -q \frac{R^2}{2} \frac{32 - 3\pi^2}{\pi^2 - 8} (1 + \cos \alpha) - qR^2 \frac{\pi^2 + 2\pi - 16}{\pi^2 - 8} +$$

$$+ qR^2 [(\pi - \alpha) \sin \alpha - \cos \alpha - 1] = \frac{-qR^2}{2(\pi^2 - 8)} [2\pi +$$

$$+ (16 - \pi^2) \cos \alpha - 2(\pi^2 - 8)(\pi - \alpha) \sin \alpha]$$

Таблица 1

α	0	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π
M	$M = \frac{q - R^2}{\pi^2 - 8} \left(8 - 6\pi - \frac{\pi^3}{2} \right)$	$-0,1223qR^2$	$+0,0333qR^2$	$-0,0376qR^2$

2. Величина нормальной силы

$$N = -Q \cos \alpha + \int_{\beta=\alpha}^{\beta=\pi} f \sin \alpha;$$

$$Q = -q \frac{R}{2} \frac{32 - 3\pi^2}{\pi^2 - 8}; f = q R d\beta$$

$$N = q \frac{R}{2} \frac{32 - 3\pi^2}{\pi^2 - 8} \cos \alpha + q R (\pi - \alpha) \sin \alpha.$$

Таблица 2

α	0	60° 30'	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π
N	0,65 qR	2,14 qR	+1,5707 qR	+1,0145 qR	0,650 qR

Влияние налегающего над тубом слоя грунта

Нагрузка грунта делится на два элемента:

а) Нагрузка Р на м² является равномерной для всех точек туба и равна весу грунта, расположенного над горизонтальной касательной к шельге свода.

б) Нагрузка р на м², изменяющаяся в каждой точке и равная весу грунта, заключенному между верхней горизонтальной касательной и наружной поверхностью обделки тоннеля.

а) Влияние равномерной нагрузки Р.

1. Величина изгибающего момента.

$$dx = ds \cos(\pi - \beta) = -ds \cos \beta \quad ds = R d\beta$$

$$dx = -R \cos \beta d\beta$$

$$f = dP = P dx = -PR \cos \beta d\beta$$

$$M = QR(1 + \cos \alpha) + m + \int_{\beta=\alpha}^{\beta=\pi} f R (\sin \alpha - \sin \beta)$$

$$M = QR(1 + \cos \alpha) + m - \int_{\beta=\alpha}^{\beta=\pi} PR^2 (\sin \alpha - \sin \beta) \cos \beta d\beta$$

Момент в точки С, при которой $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$, имеем

$$M = QR(1 + \cos \alpha) + m + PR^2 \frac{\sin \alpha}{2}$$

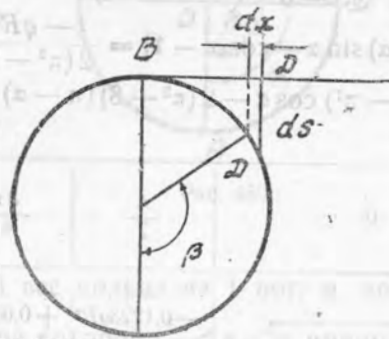


Рис. 451

Производя подстановку в уравнения (1) и (2)

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M dx = QR \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} (1 + \cos \alpha) d\alpha + m \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} d\alpha + \frac{PR^2}{2} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \sin^2 \alpha d\alpha =$$

$$= QR \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) + m \frac{\pi}{2} + PR^2 \frac{\pi}{8} = 0.$$

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M \cos \alpha d\alpha = QR \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} (1 + \cos \alpha) \cos \alpha d\alpha + m \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \cos \alpha d\alpha +$$

$$+ \frac{PR^2}{2} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \sin^2 \alpha \cos \alpha d\alpha = QR \left(\frac{\pi}{4} - 1 \right) - m - \frac{PR^2}{6} = 0$$

откуда имеем систему двух уравнений:

$$QR \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) + m \frac{\pi}{2} + PR^2 \frac{\pi}{8} = 0$$

$$QR \left(\frac{\pi}{4} - 1 \right) - m - \frac{PR^2}{6} = 0$$

$$Q = -\frac{PR\pi}{3(\pi^2 - 8)};$$

$$m = \frac{-PR^2}{3(\pi^2 - 8)} \left(\frac{3\pi^2}{4} - \pi - 4 \right)$$

Таким образом момент в данной точке выражается:

$$M = \frac{-PR^2\pi}{3(\pi^2 - 8)} (1 + \cos \alpha) - \frac{PR^2}{3(\pi^2 - 8)} \left(\frac{3\pi^2}{4} - \pi - 4 \right) +$$

$$+ \frac{PR^2}{2} \sin^2 \alpha = \frac{-PR^2}{3(\pi^2 - 8)} \left[-4 + \frac{3\pi^2}{4} + \right.$$

$$\left. + \pi \cos \alpha - \frac{3}{2} (\pi^2 - 8) \sin^2 \alpha \right]$$

Таблица 3

α	0	$\frac{\pi}{2}$	$\arccos \frac{-\pi}{3(\pi^2 - 8)} 124^\circ 30'$	π
M		-0,1084 PR ²	^{max} +0,0511 PR ²	-0,0454 PR ²

2. Величина нормальной силы.

Для точки С, при которой $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$ имеем:

$$N = -Q \cos \alpha + \int_{\beta=\alpha}^{\beta=\pi} f \sin \alpha; \quad Q = -\frac{PR\pi}{3(\pi^2 - 8)}$$

$$N = \frac{PR\pi}{3(\pi^2 - 8)} \cos \alpha - PR \sin \alpha \int_{\beta=\alpha}^{\beta=\pi} \cos \beta d\beta =$$

$$= \frac{PR\pi}{3(\pi^2 - 8)} \cos \alpha + PR \sin^2 \alpha = PR \left[\frac{\pi}{3(\pi^2 - 8)} \cos \alpha + \sin^2 \alpha \right]$$

Для точки C, при которой $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$, имеем:

$$N = Q \cos \alpha + \int_{\beta=\frac{\pi}{2}}^{\beta=\pi} f \sin \alpha;$$

$$N = \frac{PR\pi}{3(\pi^2 - 8)} \cos \alpha + PR \sin \alpha =$$

$$= PR \left[\frac{\pi}{3(\pi^2 - 8)} \cos \alpha + \sin \alpha \right].$$

Таблица 4

α	0	$\frac{\pi}{4}$	60° 30'	$\frac{\pi}{2}$	119° 30'	$\frac{3\pi}{4}$	π
					arctg 0,564		
N	$\frac{PR\pi}{3(\pi^2 - 8)}$ 0,562 PR	1,104 PR	1,148 PR макс.	PR	0	-0,310 PR	$-\frac{PR\pi}{3(\pi^2 - 8)}$

б) Влияние переменной нагрузки „p“.

1. Величина изгибающего момента.

Для объемного веса грунта γ меняющаяся нагрузка „p“ на m^3 имеет значение:

$$p = \gamma DD' = \gamma R(1 + \cos \beta).$$

Для элемента ds

$$f = p dx = -\gamma R^2 (1 + \cos \beta) \cos \beta d\beta$$

$$M = QR(1 + \cos \alpha) + m + \int_{\beta=\alpha}^{\beta=\pi} f R (\sin \alpha - \sin \beta)$$

$$M = QR(1 + \cos \alpha) + m - \gamma R^3 \int_{\beta=\alpha}^{\beta=\pi} (1 + \cos \beta) (\sin \alpha - \sin \beta) \cos d\beta$$

Момент в точки C, при которой $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$:

$$M = QR(1 + \cos \alpha) + m - \gamma R^3 \left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha - \frac{\sin^2 \alpha}{2} - \frac{\sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha}{2} - \frac{\cos^3 \alpha}{3} - \frac{1}{3} \right]$$

Производя подстановку, имеем:

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M d\alpha = QR \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} (1 + \cos \alpha) d\alpha + m \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} d\alpha -$$

$$- \gamma R^3 \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha - \frac{\sin^2 \alpha}{2} - \frac{\sin^2 \alpha \cos \alpha}{2} - \frac{\cos^3 \alpha}{3} - \frac{1}{3} \right] d\alpha = 0$$

$$QR \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) + m \frac{\pi}{2} - \gamma R^3 \left(\frac{8}{9} - \frac{7\pi}{24} \right) = 0$$

$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} M \cos \alpha d\alpha = QR \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} (1 + \cos \alpha) \cos \alpha d\alpha +$$

$$+ m \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \cos \alpha d\alpha - \gamma R^3 \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha - \frac{\sin^2 \alpha}{2} - \frac{\sin^2 \alpha \cos \alpha}{2} - \frac{\cos^3 \alpha}{3} - \frac{1}{3} \right] \cos \alpha d\alpha = 0;$$

$$QR \left(\frac{\pi}{4} - 1 \right) - m - \gamma R^3 \left(\frac{1}{2} - \frac{5\pi}{32} \right) = 0.$$

Получаем два уравнения с двумя неизвестными

$$QR \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) + m \frac{\pi}{2} - \gamma R^3 \left(\frac{8}{9} - \frac{7\pi}{24} \right) = 0;$$

$$QR \left(\frac{\pi}{4} - 1 \right) - m - \gamma R^3 \left(\frac{1}{2} - \frac{5\pi}{32} \right) = 0$$

$$Q = \frac{\gamma R^2}{\pi^2 - 8} \left(\frac{64}{9} - \frac{\pi}{3} - \frac{5\pi^2}{8} \right)$$

$$m = \frac{\gamma R^3}{\pi^2 - 8} \left(\frac{\pi^2}{24} + \frac{31}{35} \pi - \frac{28}{9} \right)$$

Таким образом момент в данной точке:

$$M = \frac{\gamma R^3}{\pi^2 - 8} \left(\frac{64}{9} - \frac{\pi}{3} - \frac{5\pi^2}{8} \right) (1 + \cos \alpha) +$$

$$+ \frac{\gamma R^3}{\pi^2 - 8} \left(\frac{\pi^2}{24} + \frac{31}{36} \pi - \frac{28}{9} \right) - \gamma R^3$$

$$\left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha - \frac{\sin^2 \alpha}{2} - \frac{\sin^2 \alpha \cos \alpha}{2} - \frac{\cos^3 \alpha}{3} - \frac{1}{3} \right] =$$

$$= \frac{\gamma R^3}{\pi^2 - 8} \left[\frac{4}{3} + \frac{19}{36} \pi - \frac{\pi^2}{4} \right] + \frac{\gamma R^3}{\pi^2 - 8} \left(\frac{64}{9} - \frac{\pi}{3} - \frac{5\pi^2}{8} \right) \cos \alpha -$$

$$- \gamma R^3 \left[\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha - \frac{\sin^2 \alpha}{2} - \frac{\sin^2 \alpha \cos \alpha}{2} - \frac{\cos^3 \alpha}{3} \right]$$

Таблица 5

α	0	$\frac{3\pi}{4}$	π
M	-0,008 γR^3	-0,0006 γR^3	+0,059 γR^3

2. Величина нормальной силы.

Для точки C, при которой что $\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$, имеем:

$$N = -Q \cos \alpha + \int_{\beta=\alpha}^{\beta=\pi} f \sin \alpha$$

$$Q = \frac{5R^2}{\pi^2 - 8} \left(\frac{64}{9} - \frac{\pi}{3} - \frac{5\pi^2}{8} \right)$$

$$N = \frac{5R^2}{\pi^2 - 8} \left(\frac{64}{9} - \frac{\pi}{3} - \frac{5\pi^2}{8} \right) \cos \alpha - 5R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} - \right.$$

$$-\sin \alpha - \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{2}$$

Для точки, при которой $0 < \alpha < \pi$, имеем:

$$N = Q \cos \alpha + \int_{\beta=\frac{\pi}{2}}^{\beta=\pi} f \sin \alpha$$

$$N = \frac{5R^2}{\pi^2 - 8} \left(\frac{64}{9} - \frac{\pi}{3} - \frac{5\pi^2}{8} \right) \cos \alpha - 5R^2 \left(\frac{\pi}{4} - 1 \right) \sin \alpha$$

Таблица 6

α	0	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π
N	$+0,053 \cdot 5R^2$	$+0,215 \cdot 5R^2$	$+0,1145 \cdot 5R^2$	$-0,053 \cdot 5R^2$

Проверка на возможность всплытия тоннеля не представляет затруднений. Для Шелдского тоннеля, собственный вес тоннельной конструкции = 69 тонн, а поперечное сечение тоннеля = 69,36 м². Приняв в расчет, кроме того, величину трения обделки тоннеля, в окружающем грунте, выявляется невозможность в данном случае доминирующего действия подъемной силы всплытия.

Необходимо отметить, что приведенный расчет далеко не претендует на свое прикладное значение и при пользовании им проектировщику следует быть весьма осторожным, считаясь больше с практическими данными.

Произведенный анализ существующих в практике и мировой литературе методов определения горного давления и расчетов тоннельных обделок указывает на исключительную неопределенность и неточность их.

Имеется богатейший материал практических, лабораторных, экспериментальных и теоретических исследований горного давления, который еще мало научно систематизирован и обработан.

Задача заключается в том, чтобы для изучения проблемы горного давления использовать весь этот материал.

Советские инженеры и ученые в этом направлении проводят крупные работы. Достаточно вспомнить исследования академика Левинсона-Лессинга, проф. Протодяконова, проф. Розанова, проф. Пассек, проф. Давиденкова и др., которые внесли ценный вклад в эту труднейшую область инженерного искусства.

На борьбу за приобретение недостающих здесь нам знаний и необходимо направить советскую инженерную мысль. Нет сомнения в том, что при правильной, широкой постановке опытов на строительстве Московского метрополитена, нам в большой степени удастся восполнить этот пробел и раскрыть существующую неопределенность при установлении характера и величины горного давления, а отсюда и размеров элементов тоннельных обделок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОПЫТ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТОННЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТРОПОЛИТЕНА МОСКВЫ

Постановление Июньского Пленума ЦК ВКП(б) 1931 г. о строительстве метро в Москве претворено в жизнь.

При строительстве первоочередных линий Московского метрополитена «Сокольники — Крымская площадь», длиной 8,9 км, и «Площадь Коминтерна — Смоленская площадь» — 2,6 км — советские строители столкнулись с большими природными трудностями.

Разнородные напластования слабых неустойчивых плавунных грунтов, спорадически залегающих юрских и карбонных отложений, эродированных подземными староречьями, создали условия, требовавшие исключительно высоко-культурной технической вооруженности.

Вопрос осложнялся тем, что трасса залегала по наиболее оживленным и застроенным артериям с развитым и хаотически заложенным подземным городским хозяйством.

На строительстве метро в Москве нашли применение буквально все наиболее современные способы проходки тоннелей метро, в некоторой части еще усовершенствованные советскими инженерами.

От Сокольников до Комсомольской площади, где позволяли грунтовые условия и ширина улиц, работы велись открытым способом. Там, где грунты отдавали воду, производилось искусственное понижение грунтовых вод, а при плавунных породах работы велись при металлическом шпунтовом ограждении. Проходка под железнодорожными путями у Митковского путепровода велась тоннельным бельгийским способом, при временном деревянном креплении и каменной обделке. Под путепроводом Курской ж. д. работы велись по специальной системе горизонтальной проходки под сжатым воздухом, запроектированной советскими инженерами. Для преодоления мощных плавунных переходного участка от мелкого к глубокому заложению у поймы подземного староречья р. Ольховки опускали большие железобетонные тоннельные кессоны: далее вели тоннельную проходку при замораживании плавунных и под сжатым воздухом.

Тоннели и станции шириной до 32 м под улицей Кирова, заложенные на глубине 30—35 м от поверхности под 20-метровой толщей плавунных, проходились в коренных породах юрского происхождения и карбонного комплекса, горным способом, на временном, деревянном креплении при каменной обделке.

В зависимости от давления пород и сечения профиля применялись разнообразнейшие системы: многоштольневая бельгийская, германская, метод «летучей арки», комбинированные приемы и т. д. В некоторых местах проходка велась непосредственно под много-

стажными домами. При проходке шахт на этих участках пришлось преодолеть мощные плывуны до 15 м.

Пересечение подземного староречья Неглинки между площадью Свердлова и пл. Дзержинского осуществлено двумя щитами, частью при нормальном давлении, и главным образом под сжатым воздухом, при обделке из железобетонных блоков.

Станция «Охотный ряд» и сложные узлы переходных камер передаточных ветвей с Кировского радиуса на Арбатский построены разнообразными методами временного деревянного крепления, частично под сжатым воздухом и применением силикатизации — химического закрепления слабых грунтов, замораживания и т. д.

Станция «Библиотека им. Ленина» раскрыта тоннельным способом в виде одного свода, пролетом в 16 м. Переход к станции «Дворец Советов» осуществлен траншейным способом.

Сооружение тоннелей по Остоженке проведено открытым способом.

Для Арбатского радиуса от площади Коминтерна до Смоленской площади найдено было остроумное решение в проведении трассы обходным путем. Остановочные пункты однако удалось расположить в требуемых местах. Перегонные тоннели сооружались без нарушения движения напряженных уличных артерий — Арбата и ул. Коминтерна. Арбатский радиус проходил траншейным путем.

Для проходки наклонных эскалаторных тоннелей глубоких станций через мощные плывуны применялся метод замораживания при наклонных скважинах и металлические тубинги.

Из приведенного беглого обзора методов работ по трассе Московского метро видно, насколько разнообразны приемы тоннелирования, примененные Метростроем. Советские инженеры овладели мировой тоннельной техникой, освоили и с успехом преодолели впервые встречавшиеся в технике метростроения природные трудности.

Но мы ни в коем случае не можем удовлетвориться достигнутыми успехами. Задача заключается в достижении рекордных вершин тоннельного строительства. Кроме того нам необходимо научиться вести тоннелирование наиболее изящными и культурными инженерными приемами без нарушения жизни города.

1. Техническая культура сооружения тоннелей

При сопоставлении организации и производства открытых и закрытых тоннельных работ за границей с нашими работами выявляются наши огромные достижения, смелые и новые приемы тоннелирования, примененные впервые в истории тоннельной техники, но вместе с тем и резко выявляются отсталость нашей тоннельной культуры, в части непосредственного производства работ.

Например котлованы открытых работ в Сокольниках и на Остоженке, были загромождены лишним креплением, ненужными обрезками и элементами оборудования, завалами породы, начатыми и временно оставленными вскрышами грунта, захватом значительной части территории улиц и переулков и т. д.

Немцы мастерски производят открытые работы. Они берут в работу один отсек в 10—20 м, и полный цикл земляных, бетонных и изо-

ляционных работ с устройством настила для беспрепятственного уличного движения продолжается 30 дней. В Германии не допускается загромождение бровок котлованов, завалов породы и т. п. Там отсутствует разрыв между возможностями транспорта и выдачей породы.

Заграничная практика указывает, что значительная доля успеха тоннельных работ заключается в предварительном проекте организации и механизации работ. За границей этот проект предварительно до мельчайших деталей продумывается, а затем и выполняется. К сожалению, у нас имеются пока лишь попытки составления таких проектов, при чем в жизнь последние не проводятся и в конце концов все расставляется на месте по интуиции и чутью начальника станции.

Под землей нам необходимо обеспечить чистоту откаточных путей, водоотливных канав и креплений. Это в значительной степени повысит производительность подземного труда.

Опрятность выработок в то же время влияет на чистоту и качество идущего в дело бетона, составляющего тело метро.

В дальнейшем там, где по местным условиям необходимо строить тоннели глубокого заложения, работы надлежит вести щитовым способом. Для этого в распоряжении Метростроя передается надлежащий парк щитов: однопутных, станционных, эскалаторных, полущитов и т. д.

Работы при временном креплении должны допускаться лишь в тех случаях, когда требуется пройти небольшие тоннельные участки, специальные профили, тоннели переменного сечения, конструкции тоннельных пересечений и т. д.

На строительство первого советского метрополитена смотрит весь мир. Весьма важен конечный результат — готовые тоннели метро, но не менее важным является процесс их сооружения, происходящий на глазах мира, интересующегося Советским Союзом. Культурно решить техническую задачу это значит — решить ее изящно и мастерски. За это нам необходимо бороться со всей большевистской настойчивостью. Надо обеспечить чистоту, порядок и опрятность в забое, выработках, котловане и т. д.

2. Проект сети Московского метрополитена и развязка узлов

Как мы уже указывали во введении в книгу, основным дефектом всех метрополитенов капиталистических столиц является бесплановость их сети, смонтированной из отдельных неувязанных между собой отрезков линий.

Недавно проведенная англичанами проектная работа по развязке неудобных для пассажиров станционных узлов на Лондонском Эндерграунде доказала, что в большинстве случаев станции расположены не на том месте, где это требуется. Условия нормальной эксплуатации линий требуют строительно-хирургических операций — уничтожения существующих станций и сооружения новых иногда в расстоянии 500 м от старых.

В условиях нашего планового строительства этот коренной вопрос, определяющий развитие перспективной сети метрополитена, решается совершеннейшим путем.

Нам необходимо немедленно провести огромную проектную работу по развязке всех пересечений сети Московского метро, в частности по центральному узлу станций: пл. Революции, Свердлова, Охотный ряд и т. д.

В результате проведения этой работы мы будем уверены в том, что в схеме сети советского метрополитена будут совершенно исключены неувязки, свойственные всем без исключения метрополитенам капиталистических столиц.

3. Установление методов сооружения тоннелей в Москве

Попадая в каждую из стран — Германию, Францию или Англию, — знакомясь с техникой тоннельного дела и беседуя с инженерами, с особенной яркостью я видел какой разрыв, какая пропасть лежит между каждым из техников этих капиталистических столиц.

Буржуазно-экономические условия данной страны сковывают творческую мысль техника и заставляют его работать в определенном направлении.

Француз, создающему тоннели исключительно на временном деревянном креплении, при каменной отделке, чужда техника открытого способа работ. Француз в исключительных случаях при пересечении водных протоков прибегает к щитовой проходке. Французские инженеры имеют весьма туманное знакомство с немецкой и американской техникой открытого способа и английской тоннельной техникой. Они исключительные приверженцы своей кустарной системы деревянных креплений.

Германские техники применяют почти исключительно открытый способ производства работ. Им чужды французские и английские приемы тоннелирования и они даже при пересечениях рек строят тоннели (под Шпрее, Альстер) при шпунтовом ограждении, открытым путем.

Наконец английские техники не признают в работе, вернее, не интересуются и не знают приемов французских и немцев, и работают только по своей системе. Английские инженеры находятся под давлением металлургических магнатов, входящих в состав метрополитенных компаний. В результате мы видим невероятную расточительность металла в 3 млн. тонн, омертвленного в отделках Лондонского Эндерграунда; при этом в технических условиях указывается, что материалы и металл должны быть обязательно английскими.

Этот замкнутый и ограниченный национализм в работе капиталистических техников поражает советского инженера. Сразу во всей полноте мы видим, какую арену для активной технической деятельности наша партия и правительство предоставили советским инженерам. Какими ограниченными кажутся иностранные инженеры, которым связали руки и парализовали мысль хищники капиталистического режима.

Инженеры в СССР имеют возможность использовать буквально весь опыт техники проходки тоннелей.

Опыт строительства первоочередной линии метрополитена Москвы и сооружения и эксплуатации метрополитенов Лондона, Парижа, Берлина и Гамбурга убедил меня окончательно в том, что решение

метрополитена в Москве методом глубокого заложения в коренных породах, как это было в свое время мною предложено для первоочередных линий (см. «Правда» от 1/III 1932 г. — «Как строить метрополитен»), является единственно правильным. Механизированный подъем и спуск пассажиров при современной технике не является проблемой. Сотни эскалаторов, установленных на метрополитенах, разрешили полностью эту задачу, обогатив кроме того станции красивой и динамической транспортной деталью. Метро Берлина и Парижа по сравнению с глубокой сетью лондонских тубов и блестящими станциями Московского метро им. Л. М. Кагановича кажутся провинциальными предприятиями.

Метод же ведения тоннельных работ на деревянном креплении при каменной отделке должен быть со всей категоричностью отброшен. Даже при развертывании работ из штолен и галлерей на большом протяжении средний суточный успех тоннельных работ не превышает 0,65 м/сутки, в то время как щитом, проходящим в тяжелых гидрогеологических условиях, при отделке из железобетонных блоков, мы давали до 4,5 м/сутки тоннеля. В Москве, при глубоком заложении тоннелей метрополитена наиболее правильным является вести работы следующим порядком:

1. Сооружение станционных тоннелей вести щитами.
2. Там, где перегонные тоннели пересекают карбонный и юрский комплекс, при выклинивании известняков, работы вести щитами.
3. В местах, где перегонные тоннели пересекают сплошные известняки, при большом коэффициенте крепости породы, работы вести по способу, примененному на Мерсейском тоннеле без щита (см. стр. 279).

4. При проходке под водными протоками, или под древними староречьями, в частности под Москва-рекой, Яузой, применение щита обязательно; при чем в этом случае щит должен быть специальной системы, оснащенный закрытой грудью, со специальными затворами и спасательными экранами, иначе при утечке воздуха и при падении воздушного давления вода из реки может стремительно прорваться в тоннель. В этой части мировая техника не разрешила еще полностью вопроса. Учитывая высокие требования безопасности работ, предъявляемые в наших условиях, советским инженерам необходимо провести большую творческую работу для полного разрешения задачи подводного тоннелирования. Овладение техникой последнего даст возможность в некоторых местах пересечение водного протока решать в пользу подводного тоннеля, а не моста.

За границей сейчас разработаны проекты новых систем щитов Гая, Олитша, Гаага и др., дающих возможность прокладывать тоннели на любых глубинах при огромном гидростатическом давлении. Однако при капиталистическом режиме все эти запатентованные проекты не могут найти применения. В наших же условиях они могут быть применены на практике, и над вопросами создания таких новых щитов должна работать наша творческая мысль. Помимо щитовых работ необходимо будет вести тоннельные работы по созданию профилей переменного сечения растробов, переходных камер, станционных пересечений и т. д. Здесь найдет применение ряд новых приемов тоннелирования, в частности Кельнский способ.

Решающее значение при сооружении метрополитена второй очереди в Москве будет иметь материал тоннельных отделок. Применение металлических сегментов для тубов дает огромный технико-экономический эффект.

1. Объем земляных работ, в виду уменьшения поперечного сечения выработки, значительно снижается.
2. Периметр тоннельной обделки уменьшается.
3. Значительно повышается качество работ.
4. Обеспечивается полная водонепроницаемость тоннелей.
5. Металлическая обделка сразу в состоянии воспринимать горное давление.

6. Отпадает надобность в кружальной тележке эректора, так как при металлических тубингах рычаг эректора может быть помещен непосредственно на диафрагме самого щита.

7. Скорость проходки щитом значительно увеличивается.

Для сегментов обделки чугун является на основании долголетнего опыта эксплуатации метрополитенов наиболее проверенным материалом, мало подвергающимся коррозии. На чугун сейчас ориентируется и Метрострой. Но при этом не исключена возможность применения в будущем специальных нержавеющих стальных тубингов (например, с примесью меди), которые при сварке дадут абсолютно водонепроницаемый туб. Надо обратить внимание и на плавленный базальт, который при термической обработке дает качества, превосходящие сталь. Но для этого надо сделать ряд экспериментов. Таким образом и в области материалов перед нами стоят огромные задачи.

Одним из немаловажных вопросов при сооружении городских тоннелей метрополитенов является решение транспорта породы и подачи материалов. В этом отношении является весьма полезным изучить опыт французов, строивших метрополитен линий №№ 8 и 9 под Большими Бульварами из двухпутной транспортной штольни от берега Сены до места работ длиной 700 м. (см. стр. 149).

Для второй очереди Московского метрополитена надо спроектировать систему штолен, через которые можно было бы передавать породу к железным дорогам и к Москва-реке.

Открытый способ работ в случае его применения должен производиться под временными мостами для пропуска уличного движения. Крепление котлованов надо вести металлическими растрелами. Искусственное водопонижение — системой глубинных насосов. Работы должны производиться отсеками в 20—30 м, при полном последовательном окончании земляных, изоляционных и бетонных работ и восстановлении мостовой данного отрезка.

Применение горизонтальных подвижных форм при тоннелях значительного протяжения и объема обеспечит надлежащие темпы.

В Западной Европе метод химического закрепления грунтов находит все большее развитие и усовершенствование. Ведется исследовательская и практическая работа в части рецептуры, которая должна обеспечить требуемые сопротивления закрепленного объема. Как указывалось выше (см. стр. 230), метод химизации грунта употребляется при метрополитенном тоннельном строительстве, в гидротехнических сооружениях и в горной практике.

Наша задача заключается в том, чтобы усовершенствовать и широко внедрить метод химического укрепления грунтов в строительную практику СССР, в частности в дело метростроения.

За последнее время за границей получили усиленное развитие вибрация и первибрация при бетонных работах (см. стр. 335).

В наших условиях вибрацию и первибрацию необходимо внедрить как можно глубже. В частности, вибрационный метод должен дать блестящие результаты при создании бетонных блоков для тон-

нельной обделки при щитовой проходке. Набивая чугунные формы, даже ультра-жестким бетоном, под действием первибрации мы получим пластичный бетон, высококачественный, плотный, однородный и повышенного сопротивления. Это сведет к минимуму трещины в блоках, от неравномерного нажима гидравлических домкратов щита в процессе его продвижения.

Надо развернуть работу по усовершенствованию вибрационных приборов, аппаратов и необходимого оборудования.

Вибрация и первибрация должна войти в широком масштабе в последнюю практику советского метростроительства.

За последнее время американцами разработано много новых методов строительства тоннелей: Нидлбим-систем, Фланг-арч, подвижные механизированные платформы, при которых установлен мировой рекорд проходки тоннелей и бетонирования обделки на Хувер-Дам и т. п.

Грандиозность принятых американцами масштабов, новизна технических идей и приемов тоннельного строительства говорят о том, что Европа отстала от Америки. Поэтому практическое изучение нами американской техники тоннелирования — задача неотложного порядка.

Приведенный перечень далеко не исчерпывает того, что нам необходимо взять из иностранного опыта; при наших грандиозных масштабах и темпах строительства тоннелей мы должны искать новых приемов и путей этого дела.

Техническая сложность создания метрополитена в Москве, а главное исключительно высокие требования, предъявленные к советскому метро, ставят перед советскими строителями задачу не только освоения передовой техники мира, но и нахождения своих путей и методов работы. Для этого советские техники имеют широкие возможности.

Партия и правительство, окружая строителей метро исключительным вниманием, дают им все материальные и технические возможности для претворения в жизнь всех их идей. О таких условиях работы по созданию метрополитена, какие имели и имеют инженеры Москвы, не могли и мечтать инженеры и техники капиталистических столиц.

И результат этого уже налицо. Сравнивая Московский метрополитен им. Л. М. Кагановича с зарубежными, которые я изучал, будучи в заграничной командировке, я с чувством огромной радости могу констатировать, что советское метро, блестяще построенное под непосредственным руководством т. Кагановича, превосходит в строительном, эксплуатационном и архитектурном отношении существующие метрополитены капиталистических столиц.

На некоторых участках Парижского метрополитена уклоны до 45% , а радиус кривых в плане — 75 м. У нас максимальный уклон — 33% , а минимальный радиус кривых — 125 м.

Наш метрополитен обладает обширными подземными станциями — дворцами прекрасно архитектурно оформленными. Обрамленные мрамором колонны и стены станций, обработанные плафоны, отраженный свет создают композицию, при которой пассажир совершенно не чувствует подземелья, что он всегда испытывает на станциях метро за границей.

Наш метрополитен имеет станции с шириной островных платформ от 8 до 15 м (ст. «Дворец Советов») и даже до 22 м (ст. «Охотный ряд»). Ширина платформ станций Парижа и Лондона, обычно бокового типа, составляет лишь по 4, максимум по 5 м.

Длина станций нашего метрополитена 155 м. Станции Берлина, Парижа и Лондона имеют максимальную длину 110 м, обычно около 93 м.

Наш метро имеет все станции, расположенными на прямой. Берлин, Париж и Лондон имеют огромное количество станций, трассированных по кривой. Я наблюдал в Париже станции на кривой 75 м, что у нас не допускается даже и для перегонного тоннеля. В этом случае у дверей, между полом вагона и платформой образуется порядочная щель, куда неосторожный пассажир может провалиться. Кроме того отправляющийся поезд не видит всех дверей, что также может привести к несчастным случаям.

Глубокие станции Москвы оборудованы двумя эскалаторными ходами, обеспечивающими максимум удобств для пассажиров. В Лондоне ни одна станция метро не имеет более одного эскалаторного хода.

Некоторые наши глубокие станции оборудованы пассажирскими одномаршевыми эскалаторами, самыми большими в мире (глубина 32 м).

Наш метро отличается разнообразием своих станций. Индивидуальны все они по архитектурным и конструктивным особенностям, условиям глубины залегания и методам производства работ. В Париже и Лондоне станции все похожи одна на другую.

Наш метрополитен обеспечен специальной изоляцией от воды и сырости. Вопросу изоляции и сухости тоннелей в Москве было уделено исключительное внимание. Парижский же метрополитен характерен подтеками и ржавыми пятнами не только на перегонных тоннелях, но и на станциях. Для изоляции парижских тоннелей ограничивались лишь цементной штукатуркой, в лучшем случае торкретом. В наших тоннелях устроена специальная оклеечная битуминозная изоляция и защитная железобетонная рубашка, рассчитанная на полное гидростатическое давление.

Наш метрополитен оборудован на всем протяжении мощной искусственной вентиляцией. Даже участки тоннелей станций мелкого заложения, которые обычно в Берлине и Париже вентилируются естественным путем, у нас обеспечены искусственной вентиляцией.

Наш метрополитен имеет сплошной путь, рельсы которого сварены почти на всем протяжении, чем обеспечивается плавность хода поездов без толчков и ударов. Такого пути нет ни на одном метро мира.

Наш метрополитен построен темпами, невиданными в истории тоннельной техники, — фактически в течение одного 1934 г. В 1934 г., когда были развернуты работы по всему фронту, выполнено 84,7 % из общего объема в 2,5 млн. м³ грунта и 91,1 % из общего объема 800 тыс. м³ по бетону, в то время, как обычно за границей такой объем тоннельных работ осваивается в течение 4—5-летнего периода.

Наш метрополитен строится по плановой сети, увязанной с генеральным планом Москвы. Этим обеспечена увязка линий и пересадочных станций, чего нет ни в одной сети метро капиталистических столиц.

Можно было бы перечислить еще ряд других преимуществ созданного первенца — советского метро, но и приведенное выше представляет достаточно яркую его характеристику.

Создание первоочередной линии метро в рекордные сроки и такого качества естественно вызывает у зарубежных инженеров вопрос: «чем объяснить успехи советского метростроения?»

Ответ на это один и вполне определенный: выдающиеся успехи на первом советском метро достигнуты благодаря тому, что 70-тысячный коллектив метростроителей, с энтузиазмом устремившийся на штурм подземной Москвы, был обеспечен вниманием со стороны нашего великого вождя т. И. Сталина и повседневным руководством т. Л. М. Кагановича.

Сталинское руководство чувствовалось при составлении первого советского проекта метро, при установлении методов производства работ по сооружению тоннелей, в основном определивших тип метро.

Сталинское руководство обеспечило создание мощного рабочего и инженерно-технического коллектива метростроителей и победу над упорным сопротивлением подземной стихии.

Сталинское руководство дало возможность создать шедевр техники метростроения — советский метрополитен им. Л. М. Кагановича.

Трудящиеся Москвы и всего Союза могут гордиться своим первенцем метростроения.

Вторая очередь тоннелей Московского метрополитена — Горьковский и Покровский радиусы — строится глубоким заложением — щитами при обделке из металлических тубингов.

Наша мощная промышленность обеспечивает нам необходимую теперь техническую вооруженность для полной индустриализации тоннельных работ второй очереди.

Факт сооружения шедевра метро в труднейших условиях Москвы еще раз подтверждает слова нашего мудрого вождя тов. Сталина, инициатора московского метро: «Нет таких крепостей, которых не могли бы взять большевики».

1. ТАБЛИЦЫ

2. БИБЛИОГРАФИЯ

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. ТАБЛИЦЫ

2. БИБЛИОГРАФИЯ

Основная характеристика чугунных обделок тоннелей (Англия)

№ пп.	Наименование тоннеля	Внешний диаметр тоннеля, м.		Ширина колец, м.	Толщина обделки, мм.	Высота фланца, мм.	Количество сегментов в кольце без замков	Вес на погонный метр тоннеля, кг./п.м.	Болтов на кольцо		Диаметр болтов, мм.	Максимальное давление в полойше тоннеля, МПа
		шт.	шт.						шт.	шт.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Tower London	2,19	0,46	22	76	3	1445	31	—	19	22,8	
2	City and South London Ry	{ 3,32 3,43 6,86 9,75	{ 0,48 0,51 0,46 0,46	{ 25—22 22 29 38	{ 111 114 197 305	{ 6 6 12 16	{ 2798 2798 — —	{ 47 47 83 113	—	{ 25 25 29 32	10,4	
3	Mersey	3,05	0,41	25—27	152	10	4555	28	22	—	16,4	
4	Glasgow Harbour	5,17	0,46	25	152	13	6785	66	28	—	18,9	
5	Glasgow District	3,66	0,46	19—25	152	9	3335	46	20	25	21,3	
6	Blackwall	{ 8,23	0,76	38	254	14	14 001	—	75	38	24,4	
7	Waterloo and City	{ 3,96 4,16 7,47	{ 0,51 0,51 0,46	{ 22 22 32	{ 130 130 229	7	3460	57	24	25	—	
8	Central London	3,81	0,51	22	124	12	—	92	—	22	—	
9	Baker St. and Waterloo	3,90	0,46	25	203	12	—	81	39	29	—	
10	Greenwich	3,89	0,51	32	124	6	3933	53	14	22	21,4	
11	Lea	3,75	0,53	22	152	8	4584	47	—	25	21,3	
12	Rotherhith	9,14	0,76	51—44	356	16	—	29	21	22	9,1	
13	River Dee Scotland	2,44	0,46	19	127	5	21877	85	79	38	29,5	
							2917	42	18	25	15,2	

Элементы чугунных тубов по английским стандартам

№№ пп.	Внутренний диаметр чугунной обделки		Внешний диаметр чугунной обделки		Болты		Болтов на кольцо		Толщина оболочек		Число сегментов на кольцо				Вес коль-ца		Вес сегмента	
	м.	м.	мм.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	шт.	мм.	шт.	шт.	шт.	шт.	тн.	кг.	кг.	кг.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
1	2,13	2,34	98 × 19	35	21	19		2	1	0,791	136,5	110,6	37,6					
2	2,74	2,97	98 × 19	35	21	19	4	2	1	1,090	186,9	158,7	43,5					
3	3,05	3,29	98 × 19	39	21	19	4	2	1	1,230	219,1	163,7	44,9					
4	3,66	3,90	108 × 22	53	21	22	4	2	1	1,644	280,3	248,5	51,7					
5	4,27	4,57	108 × 22	55	27	25	6	2	1	2,297	293,5	255,4	52,2					
6	4,88	5,18	108 × 22	71	27	25	6	2		2,578	329,3	291,2	62,6					
7	5,94	6,29	114 × 22	71	39	25	10	2	1	3,244	275,8	237,2	63,4					
8	6,46	6,86	127 × 28	83	39	28	10	2	1	4,160	354,2	298,9	86,6					
9	7,07	7,47	127 × 28	83	39	28	10	2	1	4,506	383,5	328,8	87,0					
10	7,62	8,08	× 32	97	45	32	12	2	1	5,896	428,6	374,8	96,2					
11	8,84	9,45	146 × 32	97	45	35	12	2	1	9,970	728,4	642,7	102,6					

Таблица № 5
Таблица толщин каменных шлюзовых диафрагм и проходке тоннелей под сжатым воздухом
(по данным английской практики)

№ по пор.	Наименование тоннеля	Внутренний диаметр Д м.	Максимальное давление кг/см ²	Материал диафрагмы	Толщина диафрагмы Н м.	Отношение толщины к диаметру $K = \frac{H}{D}$
1	Blackwall	7,62	2,60	бетон	3,81	0,50
2	Baker and Waterloo	3,66	2,46	кирпич	2,45	0,67
3	Greenwich	3,37	1,97	"	2,36	0,70
4	Mersey	2,74	1,90	"	1,89	0,69
5	Clasgow Harbour	3,35	1,62	"	1,81	0,54
6	Waterloo City	3,67	—	"	1,76	0,48
7	Lea	3,37	1,05	"	2,43	0,72

$$H = (0,48 \sim 0,72) D$$

Таблица № 6
Сжатый воздух при щитовой проходке (Англия)

№ пп.	Наименование тоннеля	Максимальное гидростатическое давление м	Защитная кровля грунта м	Воздушное давление кг/см ²	Характер грунта Объем подаваемого воздуха м ³ /мин
1	City and South London	10,4	12,8	1,02	Водоносный песок (47 м ³ /мин.)
2	Blackwall	24,4	1,5	2,40	Водоносный гравий (283 м ³ /мин.)
3	Baker and Waterloo	21,4	5,5	1,97	Водоносный гравий (46 — 93 м ³ /мин.)
4	Greenwich	21,3	9,1	1,41	(141 м ³ /мин.)
5	Rotherhith	29,5	—	—	472 м ³ /мин.)

Таблица № 7
Объемы всасываемого воздуха в тоннель по данным английской практики

№ пп.	Внешний диаметр тоннеля м.	Число рабочих в зоне сжатого воздуха	Объем воздуха всасываемого в минуту м ³	Примечание
1	1,5	7	27	Узаконенная английская норма на 1 человека 3,76 м ³ /мин.
2	3,0	11	41	
3	4,6	19	71	
4	6,1	30	113	
5	7,6	44	165	
6	9,1	61	230	
7	10,7	82	310	

Таблица № 8

Данные сооружения тоннелей метрополитенов Европы (1934 г.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Лондон	Париж	Берлин	Гамбург	Бухарст	Москва	Афины	Мадрид	Рим	Прага	Варшава	
В эксплуатации	В эксплуатации	В эксплуатации	В эксплуатации	В эксплуатации	В эксплуатации	Построено	Проектируется	Проектируется	Проектируется	Проектируется	Срок постройки 35 лет
414 км.	128,6	80,148	68,12	3,7	11,9	2,4	10	25	21,3	46	
$2,57 \times 2,89$	$2,40 \times 3,40$	$2,62 \times 3,42$	$2,60 \times 3,38$	—	$2,70 \times 3,70$	$3,05 \times 4,16$	$2,40 \times 3,40$	$2,60 \times 3,30$	—	—	
1863 г.	1898 г.	1896 г.	1906 г.	1894 г.	1932 г.	1927 г.	—	—	—	—	
<p>а) Последняя линия, 6,5 миль, построена за 15 месяцев; б) Максимальная скорость: миль в месяц готового тоннеля; в) первые отрезки линий строились около 4—5 лет.</p>											
Протяжение сети в километрах	Габариты поперечного сечения (ширина на высоту)	Начало строительства первой линии метрополитена	Характеристика работ	<p>Сроки постройки: Линий 1-й очереди 9,3 км. к 1936 г. " 2-й " 6,0 " " 1942 г. " 3-й " 6,0 " " 1950 г. (Начало строительства намечалось в 1933 г., но из-за кризиса работы сорвалось)</p> <p>Срок постройки 12 лет (к работам не приступлено).</p> <p>Начало постройки 1927 г. Открытие движения 1930 г. (3 года).</p> <p>Объем работ по сооружению первоочередных линий 11,9 км. в сложных городских и геотехнических условиях выполнен фактически за один 1934 г. 1932 и 1933 гг. надо считать использованными на изысканиях, проектирование, подготовку к развернутому фронту тоннельных работ 1934 г.</p> <p>Начало постройки 1894 г., открытие 1897 г. (два года).</p>							

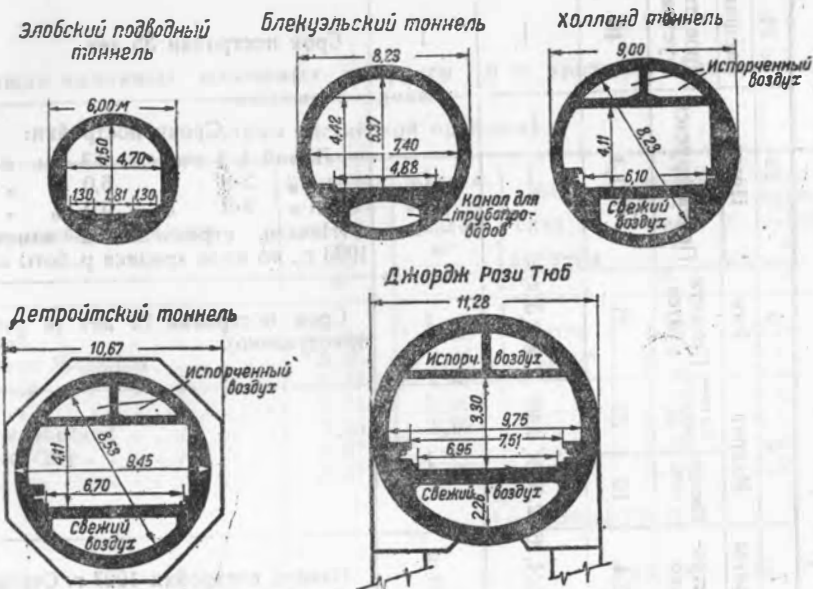


Рис. 451.

Сравнительная таблица 1 подводных

№ № по порядку	Наименование подводного тоннеля	Длина тоннеля с подходами м.	Длина тоннеля без подходов м.	Длина подводной части тоннеля м.	Внешний и внутренний диаметр тоннеля (сечение) кв. м.	Ширина проезжей части и тротуара для пешеходов		Автомобильное движение
						Проезжая часть м.	Тротуары м.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Blackwall под р. Темзой	1890	1360	372	8,23 — 7,62 53,2	4,90	0,94 (д а)	двухпутное
2	Rotherhith под р. Темзой	2083	1498	478	9,14 — 8,23 65,7	4,90	1,45 (два)	двухпутное
3	Mersey	4630	3470	1 372	14,03 — 13,41 156	10,97 главный путь 5,80 ответвления	2 тротуара для охраны	4 пути на главном тоннеле и 2 пути на ответвлениях.
4	Holland Tunnel, New-York City to Mersey City под Гудзоном (два однопутн. тоннеля)	Северный 2798 Южный 2827	Северный 2607 Южный 2551	1 028	8,99 — 8,08 63,4	6,10	1 тротуар для охраны	Однопутное движение в каждом тоннеле.

По данным „Engineering“

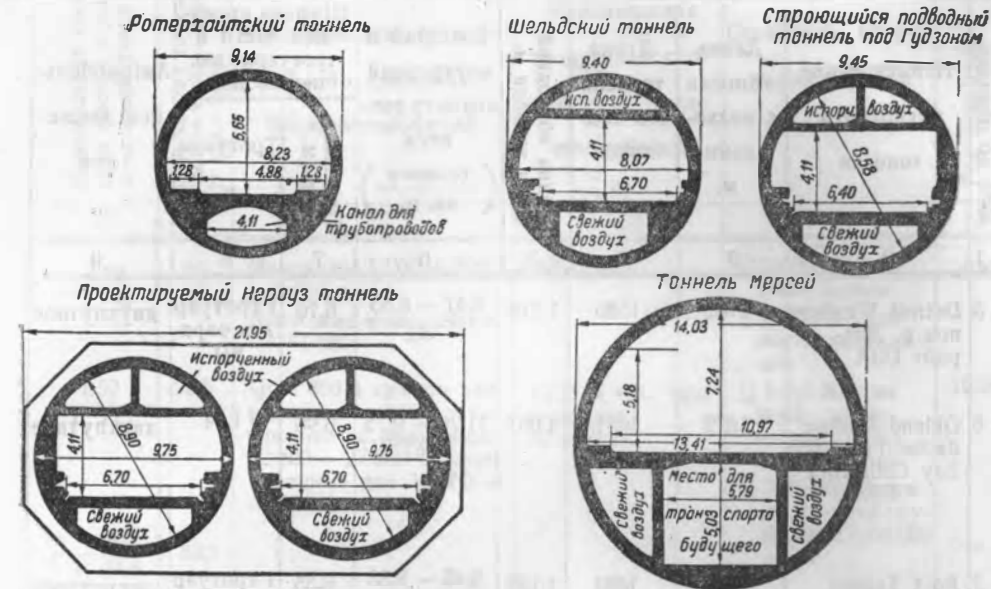


Рис. 452.

тоннелей под обыкновенную дорогу

Таблица № 9

Минимальная свободная высота и максимальный уклон	Максимальное заглубление при высоком горизонте вод в реке	Характеристика существующего движения. Число автомобилей	Максимальная пропускная способность. Число автомобилей	Стоимость сооружения (фунтов стерлингов)	Год открытия
10	11	12	13	14	15
4.42 1:34	24,4	428 в час (среднее за 12 час.) 680 в час (максимум—1931 г.) 5 142 за 12 час. (средняя за 1930 г.)	1 440 в час.	£ 869,476 (работы) £ 537,510 (право собственности)	1897
4.88 1:36,5	29,6	389 в час (среднее за 12 час.) 537 в час (максимум 1931 г.) 4 664 за 12 час. (средняя за 1930 г.)	1 440 в час.	£ 1 015 000 (работы) £ 638 878 (право собственности)	1908
5.18 1:30	51,8	—	4 150 в час (при четырех путях)	£ 7 077 800	1934
4.12 1:28	31,4	12 765 174 в 1931 г. максимум в час в 1929 г. 1 926 + 2 074 = 4 000. Максимум в день в 1931 г. = 59 000 Максимум в час в одном тоннеле = 2 500	1 900 в час в каждом тоннеле. 17 000 000 в год. 46 000 в день. Возможно до 60 000 в день.	£ 9 500 000	1927

№№ по порядку	Наименование подводного тоннеля	Длина тоннеля с подхо- дами м.	Длина тоннеля без под- ходов м.	Длина подводной части тоннеля м.	Внешний и внутренний диаметр тон- неля (сечение кв. м.)	Ширина проез- жей части и тротуара для пешеходов		Автомобиль- ное движе- ние
						Проезжая часть м.	Тротуары м.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Detroit Windsor под р. Дет- ройт USA	1782	1585	1 218	9,47 — 8,53 73,1	6,70	1 тротуар для охра- ны	двухпутное
6	Okland-Aladme- da San-Francisko Bay California USA	1372	1081	1 067	11,28 — 9,75 107	6,96	1,04	двухпутное
7	Boat Tunnel Mass under harbour	2012	1691	1 182	9,45 — 8,53 70,4	6,55	1 тротуар для охра- ны	двухпутное
8	Antwerp. под Шельдой	2110	1769	864	9,16 — 8,69 69,0	6,75	1 тротуар для охра- ны	двухпутное
9	Midtown tunnels под Гулзоном New York City to Mersey City	—	2438	945	9,45 — 8,38 70,0	6,55	1 тротуар для охра- ны	двухпутное
10	Durford под Темзой	2274	1540	823	10,36 — 9,16 84,4	5,80	1,45 (два)	двухпутное

Минимальная свобо- дная высота и мак- симальный уклон	Максимальное заглубле- ние при высоком горизон- те вод в реке	Характеристика сущест- вующего движения. Число автомобилей	Максимальная пропускная спо- собность. Число автомобилей	Стоимость соору- жения (фунтов стерлингов)	Год открытия
10	11	12	13	14	15
4.12 1:20	25	Максимум 1 200 + 800 = 2 000 в час Движение июль 1931 г. = 151 000	2 400 в час.	£ 2 000 000 из этой суммы £ 240 000 стои- мость вентиля- ции	1930
4.52 1:22,2	26,5	По 1 800 в каждом нап- равлении = 3 600 в час Среднее за праздники 22 000 — 27 000. В обык- новенные дни 18 000 — 20 000	4 224 в час, при скорости 32 км/час.	£ 1 040 000; из этой суммы строительная стоим. тюбов £ 780 000. Венти- ляция и обору- дование L 50 000	1928
— 1:23,8	33,5	—	—	—	—
4.50 1:28,5	30,2	—	2 000 в час.	£ 1 425 000	1933
4.27 1:28,5	32,00	—	Для двух одно- путных тоннелей 17 500 000 в год Максимум 60 000 в день	Южный тоннель \$ 40 000 000 дол- ларов Оба тоннеля \$ 70 000 000 дол. £ 2 993 000	В по- строй- ке 1934 г. Проек- тиру- ется
4.88 1:28	34,1	—	—	—	—

Стокгольмская подземная железная дорога

Первая линия подземной городской дороги в Стокгольме сдана в эксплуатацию в октябре 1933 г.

К строительным работам по сооружению линии, общей длиной всего 1370 м, было приступлено в конце 1931 г.

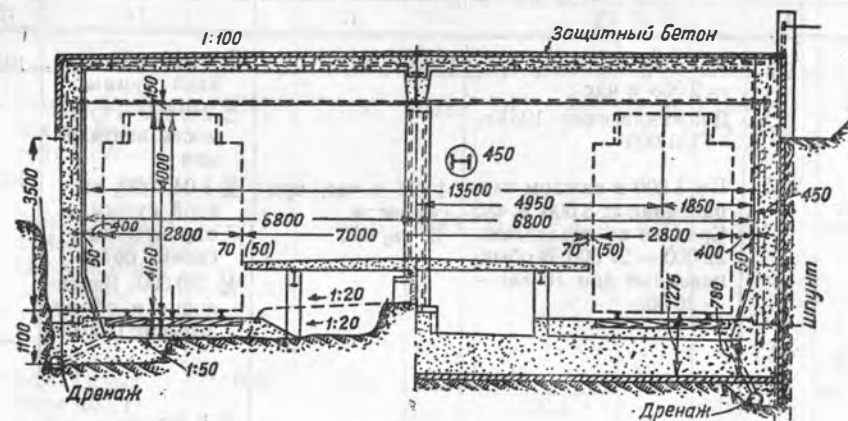


Рис. 453. Поперечное сечение станции с плоским перекрытием при островной платформе.

На протяжении 400 м, трасса пересекает тоннелем при глубоком заложении горный массив, где пришлось применить взрывные работы. Учитывая высокий коэффициент крепости породы и отсутствие

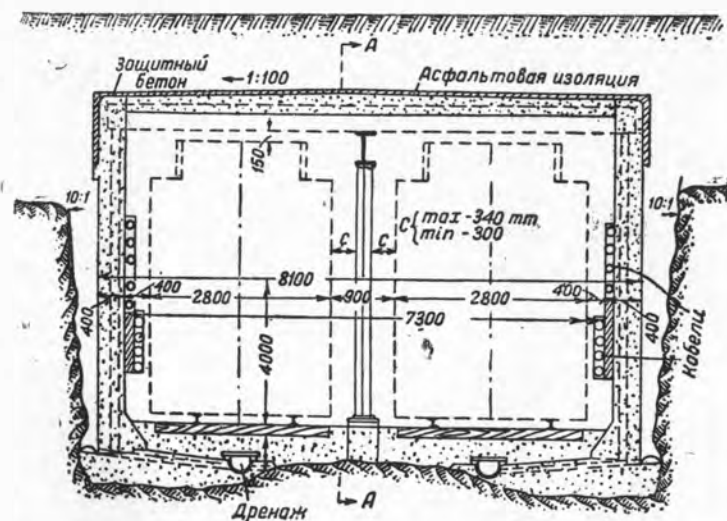


Рис. 454. Конструкция двухпутного тоннеля с плоским перекрытием.

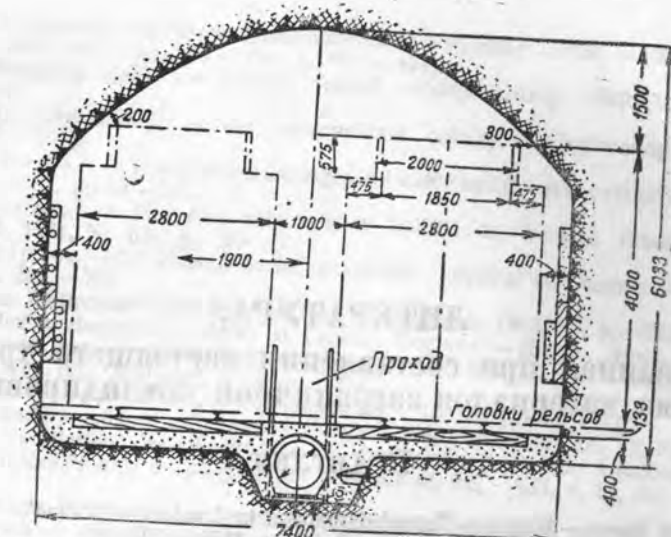


Рис. 455. Сечение тоннельной обделки в скале.

выветриваемости, тоннель по всей этой длине оставлен без обделки, за исключением припортальных частей, где применена бетонная облицовка.

Остальной участок, длиной около 970 м, пройден мелким заложением при открытом способе ведения работ.

При открытых работах пришлось преодолеть трудности борьбы со слабыми грунтами. При этом тоннели фундировались на сплошной плите и на свайном основании. Конструкции применялись металлические и железобетонные. При применении плоского перекрытия с колоннами, в статическом расчете учитывалась устойчивость перекрытия в случае сбития колонн, при сходе поезда с рельсов.

Для обеспечения изоляции тоннелей от сырости и блуждающих токов, применялся патентованный водонепроницаемый бетон, который кроме того еще покрывался асфальтовой изоляцией, защищавшей тело обделки в местах трещин, появляющихся от усадочных и осадочных явлений.

Характерные данные подземной дороги в Стокгольме	
Максимальный уклон на перегоне	4%
" " на станции	2,5%
Минимальный радиус кривой	200 м
Ширина профиля тоннеля	7,4 м
Ширина вагона — 2,36 м, однако, сооружения проектировались на габарит 2,8 м.	
Высота по габариту 5,5 м (расчет на контактный провод, а не на третий рельс).	
Ширина платформы (островного типа)	7,00 м
Длина платформы	60—100 м
Объем работ:	
Скальные работы при сооружении тоннеля	18000 м³
" " при открытой выемке	26000 м³
Земляные работы при открытой выемке	50000 м³
Бетонные работы	14000 м³
Металл	2200 тн

ЛИТЕРАТУРА,

использованная при составлении настоящего труда, помимо материалов заграничной командировки

I. Англия

1. Baker Street — Waterloo Tunnelröhrenbahn in London. — (Uhland's Techn. Rundschau, 1907, ss. 89 — 92; Elektrot. Zeit., 1907, 28, ss. 1178 — 79).
2. Central London railway — the Bank station and Subways. — (Engineer, 1898, 86, pp. 439 — 42).
3. The Central London railway. — (Builder, June 30, 1900).
4. The Central London railway. — (Brit. arch., sept. 2, 1928).
5. Le chemin de fer metropolitain de Londres. — Revue (génér. d. chem. de fer, 1893, 161, p. 81 F.).
6. Cooper, Frederick. — The underground railways of London. — (Eng. Mag., sept., 1898).
7. Darmply-Hay. The Waterloo and City railway. — (Min. of Civ. Eng., Proc., 1903, 139, ss. 25 — 55).
8. Dieudonne. — Le chemin de fer électrique souterrain de Londres. — (Vie scientifique, 1904, ss. 244 — 245).
9. The electric railway under the Mersey. — (Modern Transport, v. 19, Nr. 480, 1929).
10. Die elektrische Great Northern and city Röhrenbahn. — (Uhland's Verkehrszeit. u. ind. Rundschau, 1903, 17, s. 258).
11. Die elektrische Linie nach Watford d. London und Nord West Bahn. — (Zeitschr. f. Kleinbahn, 1907, 14, s. 535).
12. Extensive Modernization Program f. London Underground. — (Elec. Ry. J. vol. 68, Nr. 2, 1926, pp. 57 — 60).
13. Goodswax. — (Engineer, 1922, v. 154, Nr. 4003, p. 401).
14. Grinling. — London's new tube railway. — (Railroad, Cazv, 20, 1904, i, ss. 83).
15. Henslowe, B. — Underground London. — (Railway Mag., v. 28, 1911, Nr. 167, pp. 369 — 373).
16. Lamb, D. R. — Subway Developments in London. — (El. Traction, vol. 21, Nr. 1, 1925, pp. 5 — 8).
17. London subway reconstruction. — (Tramway and Ry. World, v. 67, Nr. 8, feb. 13, 1930, pp. 69 — 72).
18. Jaenecke. — Die Londoner Untergrundbahnen und ein Vergleich des Berliner und Londoner Nahverkehrs. (Verkehrstechn. Woche, 1926, Nr. 14, ss. 157 — 159, Nr. 15, ss. 172 — 176; ss. 184 — 186, Nr. 17, s. 195 — 201 u. Nr. 18, ss. 209 — 212).
19. Millin, G. F. — The future of London railways. — (Contemporary Rev., July 1900).
20. Neue Untergrundbahn in London. — (Zeitschr. f. Kleinbahn, 1907, 14, s. 117).
21. Der neue Untergrundbahnhof Piccadilly-Cirkus. — (Railway Gazette, Nr. 16, 1928, v. 49, Hf. 24 u. 1929, v. 50, Hf. 1 — 3).
22. Die neueste Londoner Röhrentunnelbahn der Great Northern and City railway. — (Bayr. Ind. und Gewerbebl., 1905, s. 238).
23. Neueste Röhrenbahn in London. — (Zeit. f. Kleinbahnen, 1907, 14, ss. 683 — 84).
24. New London underground railway. — (Eng. and Build. Reco'd, 1907, 55, p. 43).
25. New metropolitain railway branch to Stanmore. — (Ry. Gaz., v. 57, Nr. 24, 1932, pp. 704 — 710; Engineering, v. 134, Nr. 3492, 1932, pp. 717 — 718).
26. Pally. — London's new tube railway. — (Mech. World, 1907, 41, p. 41).
27. Progrès des chemins de fer électriques souterrains de Londres. — (Rev. Gen. Chemins Fer., an 35, 1912, 1 sem., Nr. 3, pp. 255 — 256).
28. Proposed New Line for the Metropolitan Railway. — (Engineer, vol. 140, Nr. 3651, 1925, p. 677).

29. The railway and Urban improvements at Piccadilly Circus. — (Engineer, v. 143, Nr. 3720 u. 3721, 1927, pp. 458 — 460, u. 492 — 494).
30. Shipping and the Thames tunnel. — (Shipbuilding, 1930, v. 35, Nr. 11, pp. 318 — 319).
31. Stanmore branch of the metropolitain railway. — (Engineering, 1932, v. 134, dec. pp. 717 — 718).
32. Thomas, J. P. — London underground traffic and the new extensions. — Ry. Gaz., v. 54, Nr. 1, 1931, pp. 9 — 11).
33. Thomas, J. P. — New tube railway facilities to western suburbs. — (Modern transp., v. 25, 1931, Nr. 631, pp. 3 — 4).
34. Tripiet. — Le chemin de fer souterrain central de Londres. — (Eclair elect 1898, 16, pp. 265 — 79).
35. The Whitechapel and Bow railway. — (Engineer, 1903, 75, pp. 582 — 83).
36. Latest underground railway at London, England. — (Engin. News, 1936).
37. Mersey tunnel. — (Civil Engineer, London, V. XXIX, № 287, 1933).
38. Halden tube Railways. London, 1914.
39. New Methods of Excavating Quicksands. The Engineer, 1933.
40. Piccadilly railway extension. — (Modern transport, 1933, Juli 29, Kr. 750, p. 6).
41. La ventilation des chemins de fer souterrains (tubes) de Londres. — (Bull. de l'Association internationale du congrès des chemins de fer, 1933, v. 15, Nr. 9, pp. 867 — 872; 5 figs.).
42. Modern London tube stations. — (Railway Gazette, 1933, vol. 59, Nr. 18, p. 698).
43. Escalator tunnel construction at Knightsbridge tube station. — (Underground system). — (Engineering, 1933, Nr. 3540, pp. 535 — 538).
44. Die Lüftung der Londoner Untergrundbahn. — (Bautechnik, 1933, Nr. 23, p. 302).

II. Франция

1. Godfernaux. — Dunod — Paris — 1900. — Le Chemin de fer Metropolitain de Paris.
 2. Dumas, A. — Beranger — Paris — 1901. — Le Chemin de fer Metropolitain de Paris.
 3. Hervieu — Beranger — Paris — 1903, 1908 — Le Chemin de fer Metropolitain de Paris. T. 1 — 2.
 4. Biette — Chaix — Paris — 1906. — Le Metropolitain de Paris.
 5. Thiery, J. B. — Beranger — 1907. — Etude sur le Metropolitain de Paris. Les installations interieures.
 6. Biette — Eyrolles — 1932. — Le Metropolitain de Paris.
 7. Biette — Paris — 1923. — Libr. de l'enseignement technique.
 8. Biette — Baillié — 1928. — Les Chemins de fer urbains parisiens. Historique. Modalites de la concession. Construction de l'infrastructure.
 9. Virgitti, I. — L. Eyrolles. Paris — 1933. — Les installations du chemin de fer metropolitain de Paris.
- „Genie civil“
10. A. Dumas — No 19 — 1901. — Lignes actuellement en construction.
 11. A. Dumas — 1901 — No 38, pp. 277 — 293 — Le Metropolitain de Paris.
 12. A. Dumas — 1903 — No 22. — Construction de la circulaire Nord.
 13. A. Dumas — 1903 — No 24. — Construction de la circulaire Sud. Viaduc sur la Seine à Passy.
 14. A. Dumas — 1904 — No 26. — Viaduc deusterlitz sur la Seine.
 15. A. Dumas — 1905 — No 5. — Traversée de la Seine par la ligne No 4 (Transversale Nord-Sud).
 16. A. Duma — 1906 — No 25 — Situation des nouvelles lignes projetées et état des travaux des lignes en cours d'exécution.
 17. A. Dumas — 1908 — No 6 — Traversée de la ligne d'Orléans par la ligne No 4.
 18. A. Dumas — 1908 — No 26 — Traversée de la Seine par la ligne No 4.
 19. P. Calfas — 1910 — No 3. — Traversée de la Seine par la lignes No 4. — (Parties exécutées; au bouclier et par congélation).
 20. A. Dumas — 1910 — No 6. — Le Chemin de fer électrique souterrain du Nord-Sud.
 21. A. Dumas — 1910 — No 17. — Usines frigorifiques des chantiers sous la Seine pour la ligne No 4.
 22. L. Biette — 1911 — No 19. — Ligne No 8 d'Auteuil à Opérs par Grenelle.
 23. Suquet — 1911 — No 25. — Construction de la partie de la ligne No 7 „Buttes-Chaumont“.
 24. H. Brot — 1913 — No 26. — Traversée de la Butte Montmartre par le Nord-Sud.

25. L. Biette — 1921 — No 1. — Prolongement de la ligne No 7 jusqu'au Pont Marie.
26. L. Biette — 1921 — No 12. — Construction de la ligne No 9.
27. L. Biette — 1921 — No 13. — Construction de la ligne No 9.
28. L. Biette — 1921 — No 18. — Nouvelle convention entre la Compagnie du Métropolitain et la Ville de Paris.
29. L. Biette — 1922 — No 5. — Construction de la ligne 3.
30. L. Biette — 1923 — No 7. — Métropolitain — Etat actuel — Consistance du réseau.
31. L. Suquet — 1930 — No 7. — Les extensions du Métropolitain de Paris. Prolongement des lignes No 7 et 10.
32. M. Fauconnier — 1931 — No 3. — Les nouveaux ateliers du Métropolitain de Paris à la Porte de Choisy.
33. M. Fauconnier — 1931 — No 6, pp. 129 — 140. — Le chemin de fer métropolitain de Paris.

„Revue generale des chemin de fer“

34. M. Godfernaux — 1900 — Septembre 23 — 2 Jan. pp. 421 — 427. — Construction du tunnel ligne N 1.
35. M. Godfernaux — 1909 — Avril, pp. 251 — 286. — Construction des tunnels pour la traversée de la Seine. Pont et viaduc d'Austerlitz. Pont de Passy. Tunnels sous la Seine.
36. M. Godfernaux — 1912 — 2 sem. No 5, pp. 233 — 267 — Novembre — Ligne No 8 — Boucliers sous la Seine. Ligne No 7 — Traversée des carrières des Buttes-Chaumont.
37. M. Godfernaux — 1931 — No 3, pp. 193 — 217. — Le chemin de fer métropolitain de Paris.

„Technique moderne“

38. M. Deniau — Les travaux de 8-me lot de la ligne Métropolitaine No 10 sous le Bd Saint-Germain entre la rue du Four et le square de Cluny. 1926 — No 5.
39. M. Deniau — Les travaux du 8-me lot de la ligne Métropolitaine No 10 Construction de l'ouvrage de superposition des lignes No 4 et 10 sous le carrefour St-Germain — Danton — 1927
40. G. Crene — La traversée de la Seine en aval du Jardin des Plantes. — 1928 — 1er Decembre.
41. Hervieu, J. — Chemin de fer Métropolitain de Paris. — (Nouv. ann. de con t. 1902, 48, pp. 108 — 112, 1904, 50, pp. 137 — 141; 1907, 53, pp. 1 — 10).
42. Hervieu, J. — Chemins de fer Métropolitain de Paris. — (Nouv. ann. de constr.), 1908).
43. Hervieu, J. — Le chemin de fer métropolitain de Paris. — (Nouv. ann. de constr., 1909, 650, pp. 18 — 25).
44. Hervieu, J. — Le chemin de fer Métropolitain de Paris. — (Nouv. ann. construction, t. VII, 1910, Nr. 661, pp. 1 — 12, Nr. 662, pp. 17 — 19, Nr. 663, pp. 33 — 36, Nr. 664, pp. 49 — 52, Nr. 667, pp. 97 — 101, Nr. 668, pp. 113 — 119; t. VIII, 1911, Nr. 673, pp. 1 — 9, Nr. 674, pp. 17 — 29).
45. Hervieu, J. — Le chemin de fer Métropolitain de Paris. Ligne Nr. 4. — (Nouv. ann. construction, 6 serie, t. 8, 1911, Nr. 678, pp. 81 — 86, Nr. 679, pp. 97 — 102, Nr. 680, pp. 113 — 119).
46. M. Léon Brun. — Canal de Marseille au Rhone. Marseille, 1927. „La Technique des Travaux“.
47. Les Tunnels; sous l'Escaut à Anvers. Par Paul Hauwaert. 1933.

III. Германия

1. Berliner Untergrundbahn. — (Zeitschr. f. Klein u. Strassenbahnen, dec. 1, 1899).
2. Die Berliner Untergrundbahn von Gesundbrunnen nach Neukölln. — (Deutsche Bauztg., Jg. 64, 1930, Nr. 40(10), ss. 77 — 80).
3. Die elektrische Hoch- und Untergrundbahn in Berlin v. Siemens & Halske. — (Deut. Bauz., 1902, 36, ss. 265 — 67).
4. Die elektrische Hoch- und Untergrundbahn in Berlin. — (Elektz. Zeit., 1902, 23, ss. 123 — 31; Deut. Bauz., 1902, 36, ss. 165 — 67; Revue Génér. d. chem. de fer. 1902, 25, 1, ss. 277 — 9; 2, ss. 113 — 43; Eng. New., 1902, 47, ss. 397 — 403).
5. Die elektr. Untergrundbahn der Stadt Schöneberg. — (Verkehrstechn. Woche, 5 Jg. Nr. 14, 1 jan. 1911, pp. 359 — 360).

6. Feldmann. — Nord-Süd-Stadtbahn. Berlin. — (Zentralbl. d. Bauverw., 1903, 23, ss. 458 — 460).
7. Giese, E. — Die im Betrieb u. Bau befindlichen Schnellbahnen in Gross Berlin. — Berlin. W. Moeser, 1915, 33 s.
8. Gradenwitz, A. — Le métropolitain de Hambourg. — (Cosmos, 61 an. 1912, Nr. 1426, pp. 567 — 68, 1 fig.).
9. Haag, P. — Le métropolitain de Berlin, construction, materiel exploitation Paris. Dunod. 1900. — (Ext. de la Revue gén. des chemins de fer).
10. Hamburg elevated and underground electric railway. — (Light railway Jnl., 1912, v. 26, Nr. 605, pp. 353 — 357, 11 figs., 1 map).
11. Hoch- Untergrundbahn Gesundbrunnen-Neukölln. — (AEG, 1912, Nr. 9, pp. 18 — 19).
12. Die Hoch und Untergrundbahn in Berlin. — (Baugewerk Zeit. 1901, 33, ss. 991 — 92).
13. Houroth, O. — Die Untergrundbahn Gesundbrunnen-Neukölln in Berlin. — (Verkehrstechnik, Nr. 5, jan. 30, 1931, s. 51 — 65).
14. Im meckenberg. — Die Berliner Tiefbahnen. — (Bohrmaschinenetc.). — (Elektrotechn. Anz., 1893, 10, s. 726; Zeit. f. Transport, 1892, 10, s. 118).
15. Mettersdorff, W. — Die Hamburger Hoch- u. Untergrundbahnen. — (Verkehrstechn. 2, 9 u. 16 fehr 1923, s. 36/38, 42/45, 50/52).
16. Die neue Schnellbahnnetz im Westen Gross-Berlins. — (Z. d. Ver. dt. Eisenbahnverw., 1910, 51, pp. 843 — 44; Technische Gem. Blatt, 1910, 13 G., 8, pp. 122 — 23; D. Strassen und Kleinbahnzeit., 1910, 23 J., pp. 457 — 58).
17. Die neuen Strecken der Berliner Hoch und Untergrundbahn in Charlottenburg. — (Dingler's polytechn. Journal. 1906, 321, pp. 129 — 131).
18. Ein neues Stück der Berliner Untergrundbahn. — (Oesterr. Wochenschr. f. d. öffentl. Baud. 1909, 12, pp. 176 — 77).
19. Die Neue Untergrundbahnstrecke v. Leipziger Platz zum Spittelmarkt in Berlin. — Baugew. Zeit., 1908, 40, ss. 880 — 81, 893 — 94).
20. Die neuen Untergrundbahnbauten im Westen Berlins. — (El. Z., 1912, Nr. 31, ss. 802 — 803).
21. Perlewitz. — Neubauten der Berliner Hoch und Untergrundbahn. — (Elektrot. Zeit., 1908, 29, ss. 1013 — 15).
22. Przycode. — Die Untergrundbahn Gesundbrunnen-Neukölln in Berlin. — (Etz. Bd. 51, 1930, Nr. 43, ss. 1492 — 1495).
23. Schröter, A. — Neuere Untergrundbahnbauten in Berlin. — (Bauingenieur, Bd. 8, Nr. 2 u. 4, 1927, pp. 19 — 27 u. 40 — 47).
24. Stein, W. — Neue Schnellbahnbauten in Hamburg und Berlin. — (Verkehrstechnik, vol. 43, Nr. 10, 1926, pp. 153 — 54).
25. Die Untergrundbahn Alexanderplatz-Friedrichsfelde in Berlin. — (Etz. Bd. 52, Nr. 13, März 26, 1931, pp. 413 — 416).
26. Die Untergrundbahn Gesundbrunnen-Neukölln in Berlin. (GN-bahn). — (Etz. Bd. 51, Nr. 43, 1930, ss. 1492 — 1493).
27. Untergrundbahn nach Westend. — (Verkehrst. Woche, 1908, 2, ss. 678 — 81).
28. Von 25 Jahren. Zur Geschichte der Berliner Nord-Süd-Untergrundbahn. — (D. Bauztg. 1912, Bd. 46, Nr. 46, ss. 417 — 418).
29. Krieger. — Städtische Untergrundbahnen Süd-Nord in Berlin. — (Zeit. d. Vereins deut. Eisenbahnverw., 1908, 46, ss. 540 — 41).
30. Emperger. — „Handbuch für Eisenbetonbau“. Der tunnelbau, Berlin, 1915.
31. Lucas. — Der Tunnel. Berlin. 1926.
32. Deutscher Verein Deutscher Ingenieure. Der Elbtunnel in Hamburg. 1912.
33. Reichsbahn baut Berliner untergrundlinie Nord-Süd. — (Elektrische Bahnen. 1933. Jg. 9, H. 7, s. 177).
34. Remy. — Die Nord-Süd S-Bahn Anhalter Bahnhof-Stettiner Bahnhof. — (Reichsbahn. 1933. Jg. 9, H. 32, ss. 680 — 687).
35. Wittig, P. — Die Architektur der Hoch- u. Untergrundbahnen in Berlin. B. 1922.
36. Der Bau des Alstertunnels der Untergrundbahnlinie Killinghusenstrasse. — Jungfernstieg im Hamburg. — (Bautechnik, 1933, Nr. 54, ss. 715 — 724).
37. Spundwandabdichtung beim Bau des Alster-Untergrundbahntunnels in Hamburg. — (Bautechnik, 1933, Nr. 33, s. 457).

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие, инж. П. П. Ротерт	5
Введение	7
ГЛАВА I. АНГЛИЙСКАЯ ТЕХНИКА СООРУЖЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРО.	
§ 1. Общие данные	13
§ 2. Методы сооружения тоннелей:	
А. Проходка шахт	24
Б. Проходка тоннеля щитом	29
§ 3. Постройка линии „Финсбюри-парк Кокфостер“	44
§ 4. Реконструкция подземных станций	56
§ 5. Сооружения наклонных тоннельных ходов для эскалаторов:	
Пилотсистема	67
Проходка наклонных эскалаторных тоннелей станции „Найтбридж“	69
Эскалаторные тоннели станции „Лейсестер-сквер“	75
Сооружение эскалаторного тоннеля станции „Ченсери-Лайн“	76
Тоннель машинного здания эскалатора станции „Банк-монумент“	77
Проходка эскалаторных тоннелей в плавунных породах „пилот-щитом“	79
Типы обделок наклонных эскалаторных тоннелей	80
§ 6. Сооружение подземных станционных вестибюлей	82
Подготовительные работы	83
Сооружение вестибюлей подземным способом	84
Сооружение подземного вестибюля станции „Пикадилли серкус“	86
Сооружение подземного вестибюля „Лейсестер-сквер“	89
Сооружение подземного вестибюля станции „Ченсери-Лайн“	92
Сооружение подземного вестибюля станции „Найтбридж“	92
§ 7. Вентиляция тоннелей Лондонского Эндерграунда	95
§ 8. Борьба с вибрациями и шумом на Лондонском Эндерграунде	97
ГЛАВА II. ФРАНЦУЗСКАЯ ТЕХНИКА СООРУЖЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРО.	
§ 1. Общие данные	101
§ 2. Парижский способ производства работ:	
а) Организация и производство работ по бельгийской системе	109
б) Двухшtolневая бельгийская система	121
в) Опускание стен в колодцах из калотты	121
г) Устройство стен в колодцах под готовым сводом	122
д) Проходка тоннелей по видоизмененной бельгийской системе со средним колодцем при водоносных грунтах в нижней части профиля	123
е) Метод пикотажа	123
ж) Система опускания столбов с арками на земляных кружалах	124
з) Усовершенствованная бельгийская система работ с подвижными кружалами типа „Блоу-Нокс“	126
и) Проходка тоннелей в слабых грунтах французским комбинированным щитовым способом	129
§ 3. Сооружение тоннелей у домов	130

CONTENTS.

	Page.
Foreword. By Eng. P. P. Rotert	5
Introduction	7
CHAPTER I. ENGLISH TECHNIQUE OF SUBWAY TUNNEL CONSTRUCTION	
Par. 1. General Data	13
Par. 2. Methods of Tunnel Construction:	
A. Sinking of Shafts	24
B. Tunnelling with Shields	29
Par. 3. Construction of „Finsbury Park — Cockfoster Line“	44
Par. 4. Reconstruction of Underground Stations	56
Par. 5. Construction of Sloping Tunnel Passages for Escalators:	
Pilot System	67
Sloping Tunnels for Escalators of the „Knightbridge“ Station	69
Escalator Tunnels of the „Leicester Square“ Station	75
Construction of the Escalator Tunnel of the „Chancery Lane“ Station	76
Tunnel of the Machinechamber of the Escalators of the „Bank-Monument“ Station	77
Excavation of Escalator Tunnels with the „Pilot-Shield“ on quicksands	79
Types of Lining Sloping Escalator Tunnels	80
Par. 6. Construction of Underground Station Vestibules	82
Preparatory Work	83
Construction of Vestibules by the Underground Method	84
Construction of the Underground Vestibules of the „Piccadilly Circus“ Station	86
Construction of the Underground Vestibule of the „Leicester Square“ Station	89
Construction of the Underground Vestibule of the „Chancery Lane“ Station	92
Construction of the Underground Vestibule of the „Nightbridge“ Station	92
Par. 7. Ventilation of the Tunnels of the the London Underground	95
Par. 8. Combatting Vibration and Noise at the London Underground	97
CHAPTER II. FRENCH TECHNIQUE OF SUBWAY TUNNEL CONSTRUCTION	
Par. 1. General Data	101
Par. 2. Paris Method of Work:	
a) Organization and Effecting of Work by the Belgian System	109
b) Double-Gallery Belgian System	121
c) Sinking of Walls in pits	121
d) Construction of Wells in Walls under a Ready Arch	122
e) Tunnelling by the Altered Belgian System with Average Well on Waterbearing Grounds in the Lower Profile Section	123
f) Piqueting Method	123
g) System of Sinking Pillars with Arches on Earth Ribs	124
h) Improved Belgian System of Work with Moving Forms of the „Blaw-Nox“ Type	126
i) Tunneling on Weak Ground by the French Combined Shield Method	129
Par. 3. Construction of Tunnels near Living Houses	130

	Стр.
§ 4. Проходка тоннелей под искусственными сооружениями и устройство пересечений:	
а) Проходка тоннеля метрополитена под коллектором „Д'Аснир“	136
б) Прокладка тоннеля метро под тоннелем линии № 7	137
в) Пересечение линий „Трокадеро—Опера“ линиями № 4 и „Норд-Зюд“	138
г) Проходка тоннеля под коллектором „Клиши“	139
д) Пересечение тоннеля канала с тоннелем метрополитена	141
§ 5. Реконструкция тоннелей и станций	—
а) Реконструкция двухпутного тоннеля в трехпутный у станции „Л'Еколь де Милитер“	142
б) Реконструкция узла у станции „Порт Майо“	144
§ 6. Сооружение тоннелей специальных профилей	147
§ 7. Катастрофы на тоннельных работах в городе:	
Авария у станции „Сан-Огюстан“	157
Аварии с домами	157
Авария под „Авеню Марсо“	160
§ 8. Шахты, наклонные тоннели для эскалаторов и вестибюли станций глубокого заложения:	
а) Наклонный тоннель для станции „Пляс де Фет“	160
б) Проходка наклонных тоннелей щитом	164
в) Шахты для лифтов	165
г) Сооружение вестибюля станции „Рю де Шаронн“	168
§ 9. Подводные тоннели при пересечении реки Сены:	
Опускание кессонов тоннелей	170
Проходка щитом с применением сжатого воздуха	175
Сооружение тоннеля у реки Сены замораживанием	183
§ 10. Вентиляция Парижского метрополитена	185
§ 11. Данные из французских технических условий по сооружению тоннелей	186

ГЛАВА III. ГЕРМАНСКАЯ ТЕХНИКА СООРУЖЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРО

Отдел I. Метрополитен Берлина	
§ 1. Общие данные	203
§ 2. Берлинский открытый способ работ	213
§ 3. Подводка и укрепление фундаментов домов	219
§ 4. Искусственное понижение грунтовых вод	225
§ 5. Химическое закрепление грунтов	230
§ 6. Новый Кельнский метод сооружения городских тоннелей	234
§ 7. Прямоугольный щит	239
§ 8. Методы подводного тоннелирования:	
а) Сооружение подводных тоннелей открытым путем	243
б) Сооружение подводных тоннелей щитом	251
в) Сооружение подводных тоннелей щитами системы Гаага	254
г) Подводный тоннель для пешеходного движения под рекой Шпрее в Фридрихсгафене	256
Отдел II. Метрополитен Гамбурга.	
§ 1. Общие данные	260
§ 2. Станция метро у канала Альстер „Юнгфернштиг“	267

ГЛАВА IV. СООРУЖЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.

Отдел I. Английская тоннельная техника	
§ 1. Проходка тоннеля Холливел	275
§ 2. Самый большой в мире подводный тоннель под рекой Мерсей	279
§ 3. Тоннельная деривационная система „Свенси“	296
§ 4. Тюб-коллектор „Вест Мидлсекс майн Сюрредж“	299
§ 5. Тоннельные обделки из бетонных блоков	302

Par. 4. Tunneling Under Artificial Structures and Making Intersections:	
а) Excavation of the Subway Tunnel under the „d'Asnir“ Collector	131
б) Finishing of the Subway Tunnel under the Tunnel of Line No 7	137
в) Intersection of the „Trocadero Opera“ Lines with the No 4 and „Nord-Sud“ Lines	138
г) Tunnelling under the Collector „Clichy“	139
д) Intersection of the Canal-Tunnel with the Subway Tunnel	141
Par. 5. Reconstruction of Tunnels and Stations:	
а) Reconstruction of the Doubletracked Tunnel into the Tritracked Line „L'Ecole des Militaires“ Station	142
б) Reconstruction of the Junction at the „Porte Maillot“ Station	144
Par. 6. Tunnel Construction of Special Profile Tunnels	147
Par. 7. Catastrophes at Tunnel Work in Towns:	
Breakdown at the „St. Augustin“ Station	157
Breakdowns with Houses	157
Breakdown near Avenue Marceau	160
Par. 8. Shafts, Sloping Tunnels for Escalators, and Vestibules of Deeply Laid Stations:	
а) Sloping Tunnel for the „Place de Fête“ Station	160
б) Excavation of Sloping Tunnels with Shield	164
в) Shafts for Lifts	165
г) Construction of the Vestibule of the „Rue de Charrons“ Station	168
Par. 9. Subaqueous Tunnels at the Intersection of the Seine River:	
Sinking of Tunnel Caissons	170
Tunnelling with Shield with the Application of Compressed Air	175
Construction of the Tunnel near the River Seine by Means of Freezing	183
Par. 10. Ventilation of the Paris Subway	185
Par. 11. Data Pertaining to French Technical Conditions of Tunnel Construction	186

CHAPTER III. GERMAN TECHNIQUE OF SUBWAY TUNNEL CONSTRUCTION

Section I. Berlin Subway

Par. 1. General Data	203
Par. 2. Berlin Open Method of Work	213
Par. 3. Methods of underpinning of buildings during subway construction	219
Par. 4. Artificial Lowering of ground Waters	225
Par. 5. Chemical Reinforcement of Grounds	230
Par. 6. New Koeln Method of City Tunnel Construction	234
Par. 7. Rectangular Shield	239
Par. 8. Methods of Subaqueously Tunnelling:	
а) Construction of Subaqueous Tunnels by the Open Method	243
б) Construction of Subaqueous Tunnels with Shields	251
в) Construction of Subaqueous tunnels with the Hague System Shield	254
г) Subaqueous Tunnel for Pedestrian Traffic under the River Spree in Friedrichshafen	256

Section II. Hamburg Subway.

Par. 1. General Data	260
Par. 2. Subway Station at the Alster „Jungfern-stieg“ Canal	267

CHAPTER IV. CONSTRUCTION OF TUNNELS FOR SPECIAL PURPOSES

Section I. English tunnel technique.

Par. 1. Excavation of the Hollywell Tunnel	275
Par. 2. World's Largest Subaqueous Tunnel under the Mersey River	279
Par. 3. „Swansea“ Tunnel Derivation System	296
Par. 4. „West Middlesex Maine Surrage“ Tube-Collector	299
Par. 5. Tunnel Lining of Concrete Blocks	302

	Стр.
Отдел II. Французская тоннельная техника	
§ 1. Железнодорожный тоннель „Бюссанг“	311
§ 2. Тоннель-канал „Де Ров“ на линии Марсель—Рона	314
§ 3. Медонский тоннель	318
§ 4. Реконструкция железнодорожного тоннеля „Круа де л'Орм“	324
§ 5. Проект специальной тоннельной сети под г. Парижем	325
§ 6. Элементы механизации тоннельных бетонных работ:	
а) Подвижные металлические формы	327
б) Вибраторы и первибраторы для бетонных работ	335
Отдел III. Бельгийская техника сооружения тоннелей	339
Подводные тоннели под р. Шельдой:	
а) Сооружение автомобильного тоннеля	340
б) Сооружение пешеходного тоннеля	348
Отдел IV. Германская техника сооружения тоннелей.	
§ 1. Подводный тоннель под р. Эльбой в Гамбурге	353
§ 2. Проект сооружения участка городских железных дорог „Анхальтер Банхоф—Штетинер Банхоф“	363
§ 3. Тоннельная обделка из клиновидных блоков	364
ГЛАВА V. СТОИМОСТЬ СООРУЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНОВ АНГЛИИ, ФРАНЦИИ И ГЕРМАНИИ.	365
ГЛАВА VI. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРАНИЦЕЙ ТЕОРИИ ДАВЛЕНИЯ ПОРОД В СВЯЗИ С РАСЧЕТОМ ОБДЕЛОК ТОННЕЛЕЙ.	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОПЫТ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТОННЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТРОПОЛИТЕНА МОСКВЫ	393
ПРИЛОЖЕНИЯ.	
Таблицы	404
Стокгольмский метро	414
Главнейшая использованная литература	416

	Page
Section II. French Tunnel Technique	
Par. 1. „Bussang“ Railway Tunnel	311
Par. 2. „De Rove“ Tunnel Canal on the Marseille—Rhône Line	314
Par. 3. Meudon Tunnel	318
Par. 4. Reconstruction of the „Croix de l'Orme“ Railway Tunnel	324
Par. 5. Project of a Special Tunnel System near Paris	325
Par. 6. Elements of Mechanisation of Tunnel Concrete Work:	
a) Moving Metal Form	327
b) Vibrators and Pervibrators for Concrete Work	335
Section III. Belgian Technique of Tunnel Construction	
Subaqueous Tunnels under the River Schelde:	
a) Construction of the Vehicular Tunnel	340
b) Construction of the Pedestrian Tunnel	348
Section IV. German Technique of Tunnel Construction.	
Par. 1. Subaqueous Tunnel under the River Elba in Hamburg	353
Par. 2. Construction Project of the Section of City Railways „Anhalter Bahnhof—Stettiner Bahnhof“	363
Par. 3. Tunnel Lining of Wedge-Shaped Blocks	364
CHAPTER V. THE MODERN THEORY OF GROUND PRESSURE AS APPLIED TO COMPUTING THE TUNNEL LINING	365
CHAPTER VI. COST OF CONSTRUCTION OF SUBWAYS IN ENGLAND FRANCE AND GERMANY	376
CONCLUSION. EXPERIENCE OF EUROPEAN TUNNEL TECHNIQUE AND OF THE CONSTRUCTION OF THE MOSCOW SUBWAY	393
APPENDICES.	
Tables	404
Stockholm Subway	414
Principal Literature Utilized	416

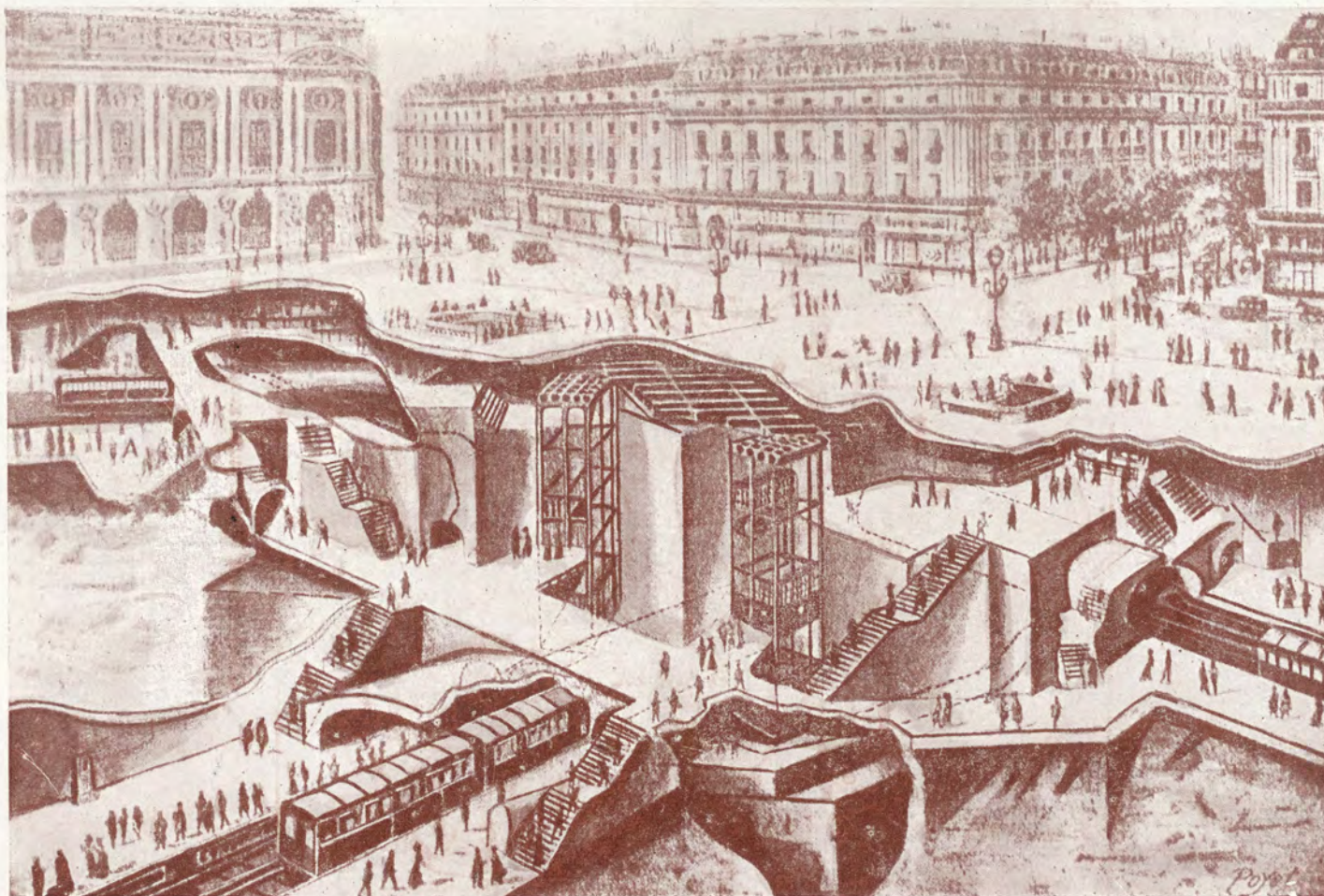


Рис. 102. Условный разрез станции „Опера“ Парижского метрополитена.

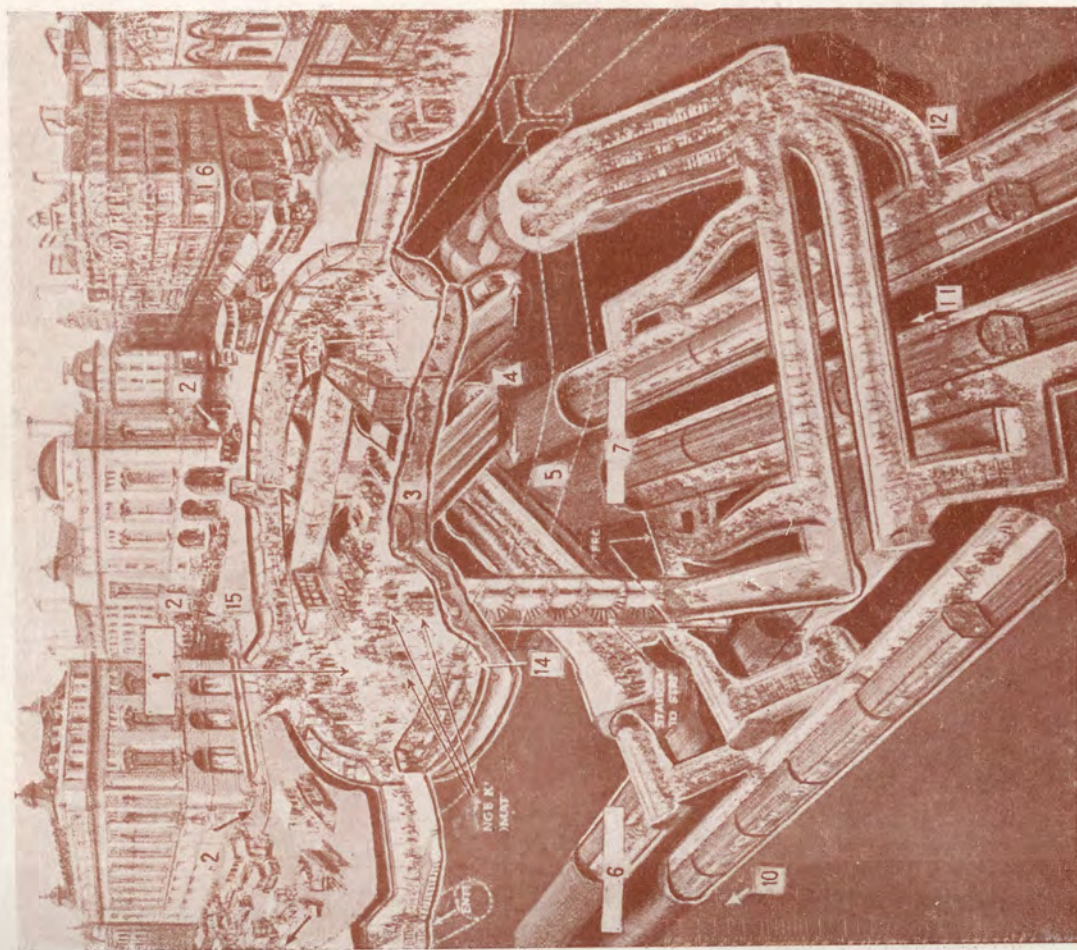


Рис. 1. Вид реконструированной станции „Пикадилли Серкус“
1. Вестибюль. 2. Вход. 3. Пол машинного здания. 4. Эскалаторы. 5. Переходы. 6. Пикадилли-линия. 7. Бэквелл-линия. 8. Лестницы на улицу. 9. Пересадка. 10. Бульвар-Запад. 11. Бульвар-Север. 12. Бульвар-Юг. 13. Кассы для размена денег. Автоматические билетные кассы. 14. Вспомогательные билетные кассы. 15. Улица Рейджейт. 16. Шеффсбери Авеню.



Рис. 102. Условный разрез станции „Опера“ Парижского метрополитена.

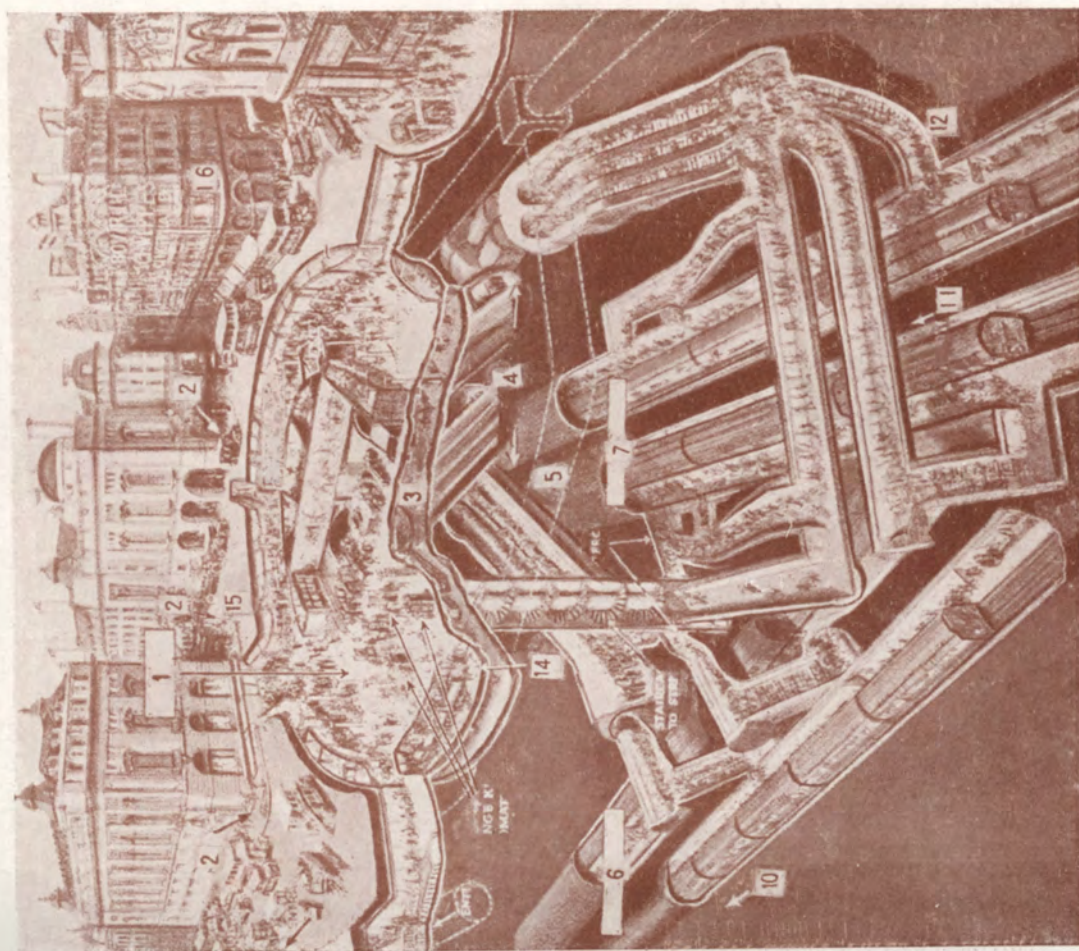
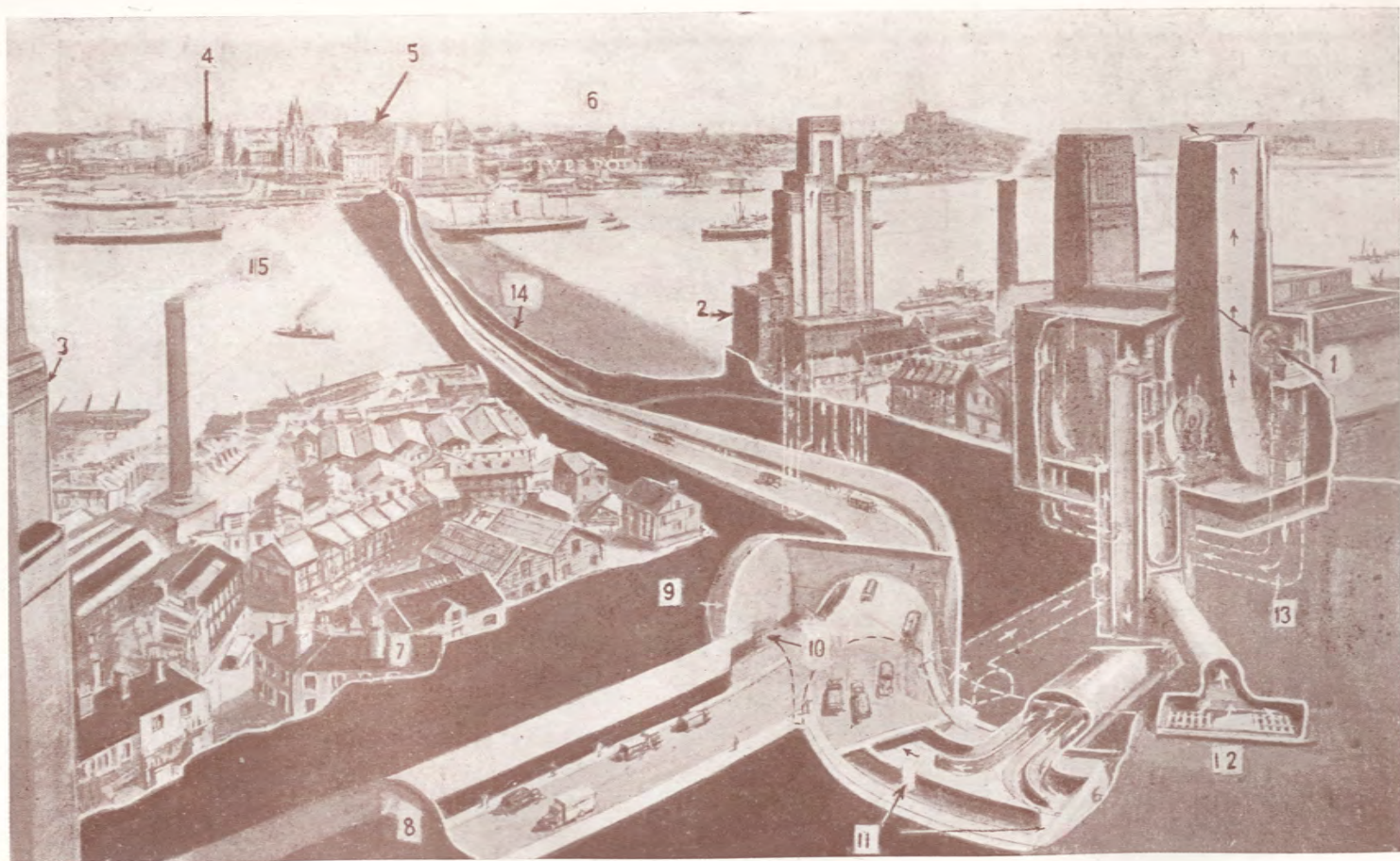
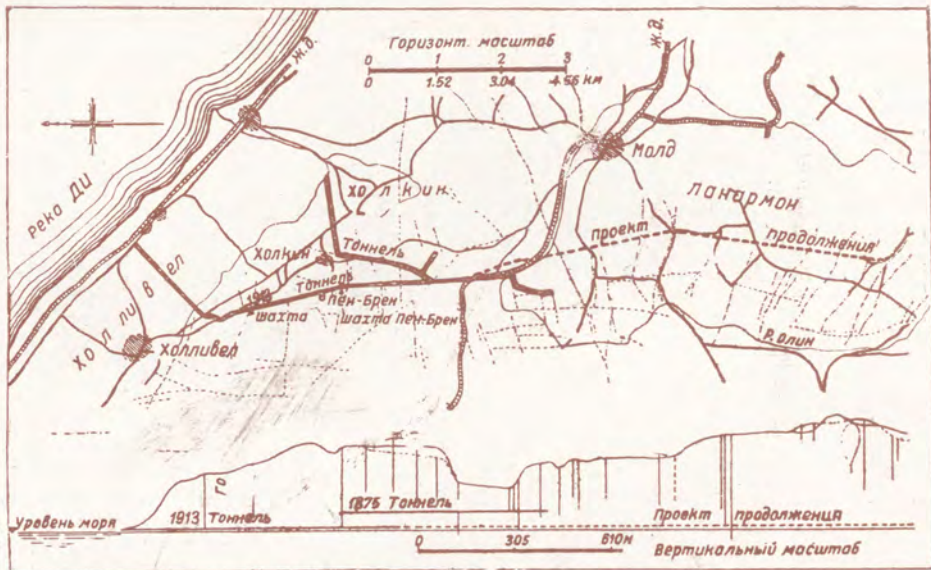


Рис. 1. Вид реконструированной станции „Пикадилли Серкус“
1. Вестибюль. 2. Вход. 3. Пол машинного здания. 4. Эскалаторы. 5. Переходы. 6. Пикадилли-линия. 7. Бакерлу-линия. 8. Лестницы на улицу. 9. Пересадка. 10. Боунд-Запад. 11. Боунд-Север. 12. Боунд-Юг. 13. Кассы для размена денег. Автоматические билетные кассы. 14. Вспомогательные билетные кассы. 15. Улица Реджайт. 16. Шефтсбери Авеню.



Условный разрез подводного тоннеля под р. Мерсей.

1. Вентилятор. 2. Вентиляционное здание. 3. Вентиляционное здание. 4. Портал Нью Ки. 5. Портал Хай Маркет. 6. Ливерпуль.
7. Биркенхэд. 9. Вход в доки. 9. Соединительная камера Биркенхэда. 10. Телефон и аварийный пост. 11. Подача свежего воздуха.
12. Тоннель ответвления на Честер. 13. Движение свежего воздуха. 14. Подводный тоннель. 15. Река Мерсей



План и профиль Холливедского тоннеля.

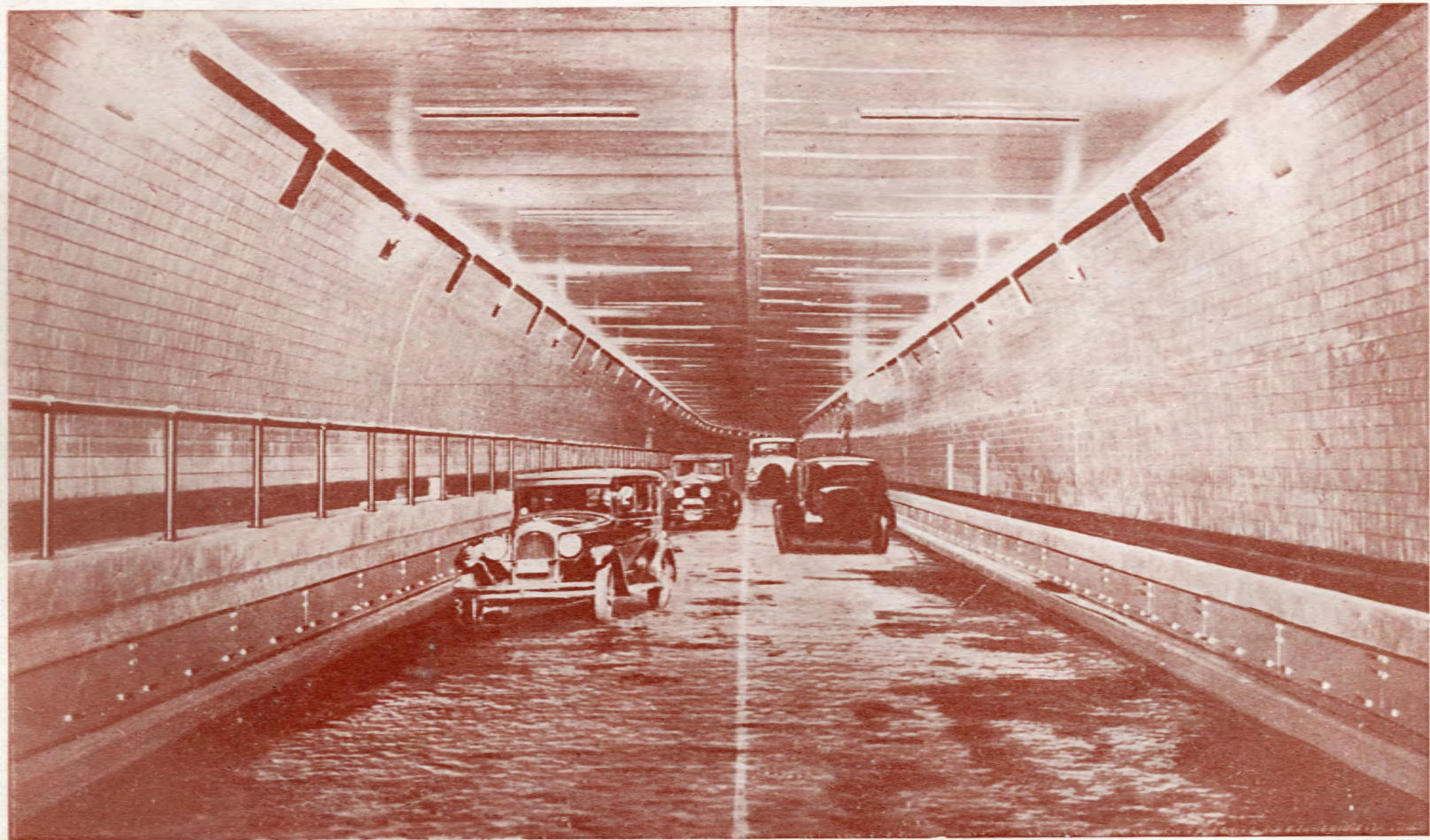


Рис. 422. Готовый Шельдский тоннель для автодвижения.

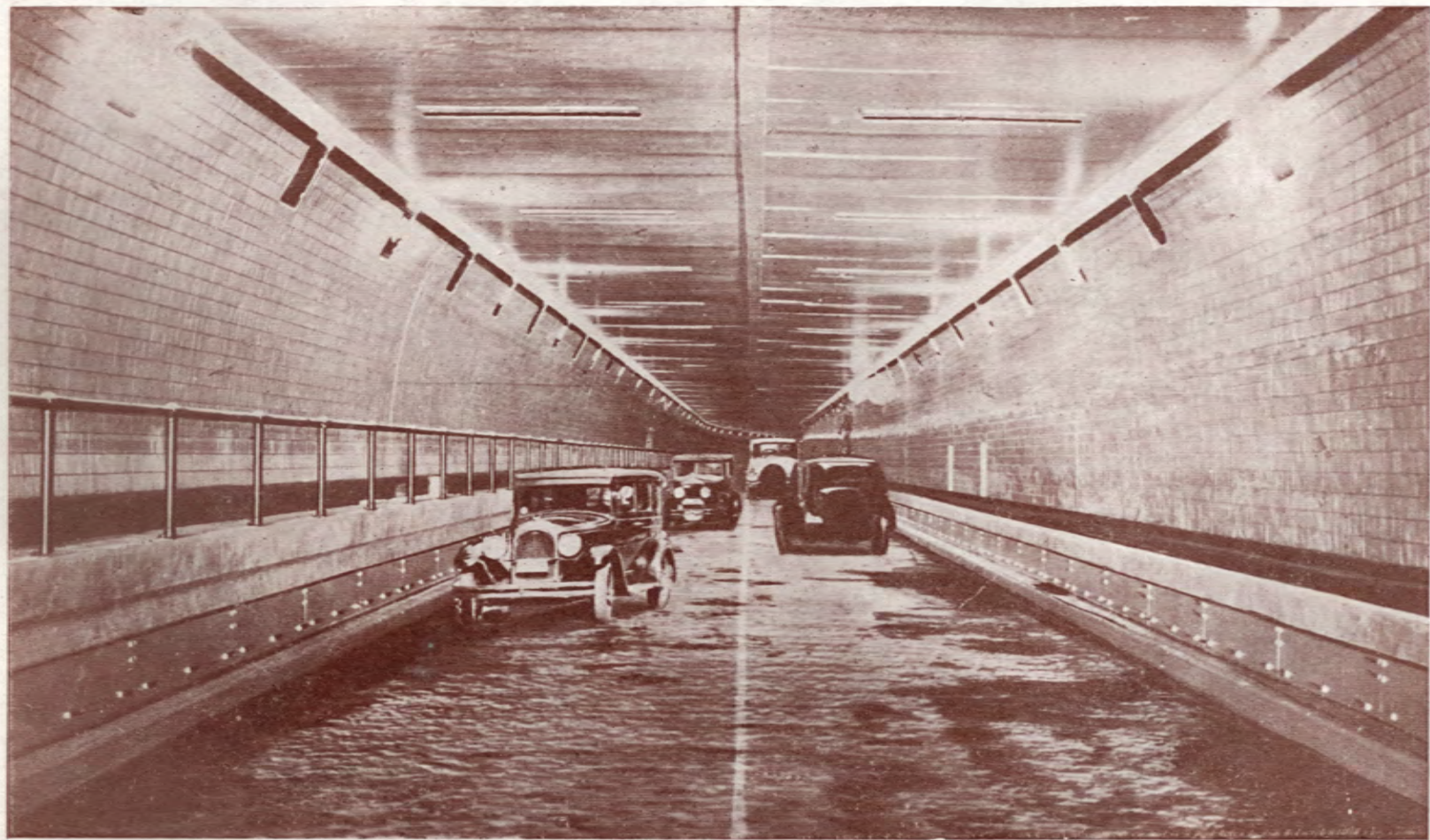
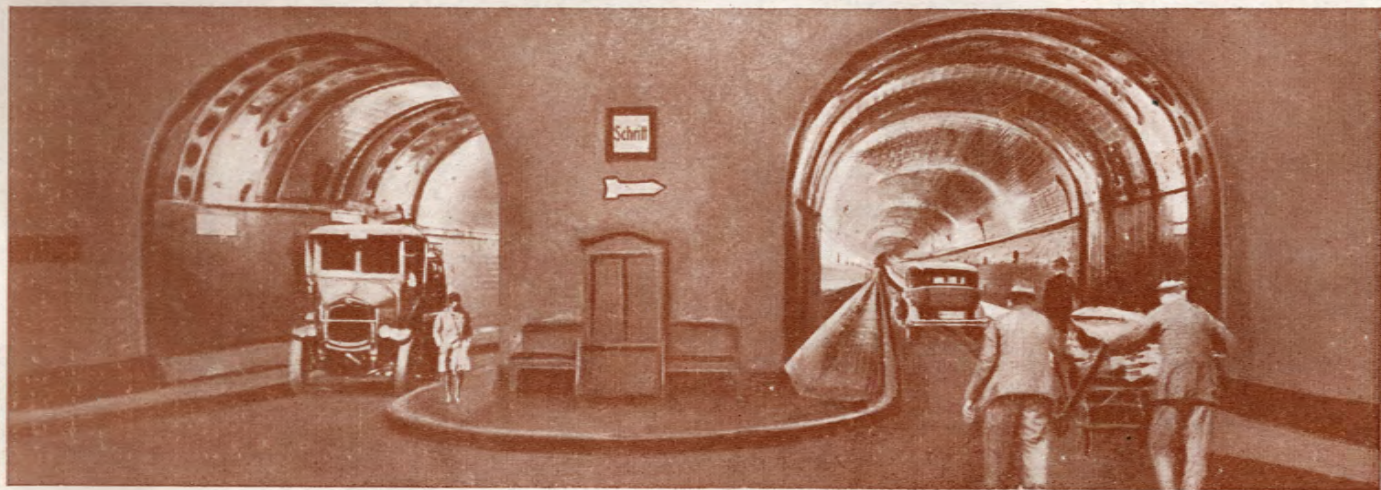
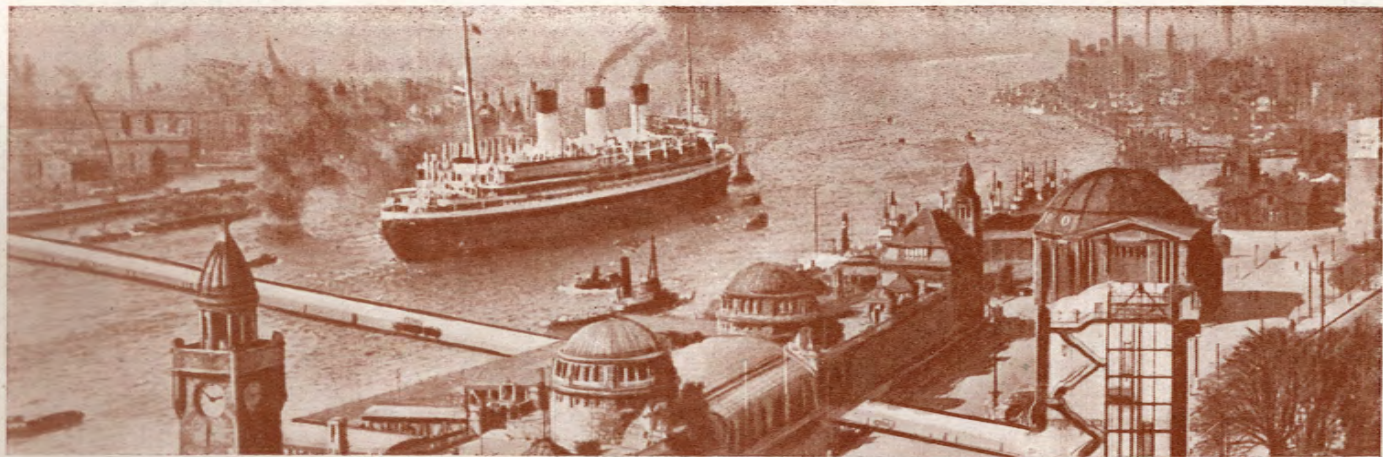


Рис. 422, Готовый Шельдский тоннель для автодвижения.



Тоннель под р. Эльбой в Гамбурге.



Тоннель под р. Эльбой в Гамбурге.