

мативные документы. Особое внимание уделено примерам, не только иллюстрирующим состояние вопроса, но и позволяющим студенту уяснить главные направления совершенствования методов диагностики технического состояния транспортных тоннелей, а также современные способы их ремонта и реконструкции, которые обусловлены требованиями закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Авторы глубоко признательны рецензентам книги: профессору кафедры «Подземные сооружения» МИИТа, кандидату технических наук В.К. Сергееву и первому заместителю директора Центра ИССО — филиала ОАО «РЖД» В.В. Батюне.

Раздел I. СОДЕРЖАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Глава 1. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

1.1. Основные понятия и определения

Эксплуатационная надежность транспортного тоннеля заключается в его способности выполнять на протяжении длительного времени (до 150 лет) заданные функции, сохраняя при определенных условиях свои технические характеристики в установленных пределах. К основным функциям относится безопасный и бесперебойный пропуск грузового и пассажирского транспорта с заданными параметрами подвижного состава или типами автомобилей, сохраняя пропускную способность, установленную на участке тоннельного пересечения.

Проблема обеспечения надежности транспортных тоннелей включает широкий круг вопросов, которые решаются в процессе работы над проектом, в период строительства и последующей эксплуатации. Одной из важнейших составляющих решения проблемы является систематизация и обобщение опыта организационно-технических мероприятий, которые проводят в период эксплуатации тоннеля, с последующей оценкой эффективности этих мероприятий.

Основные понятия, определяющие степень надежности сооружения, — *работоспособность и отказ*.

Работоспособность (работоспособное состояние) — это состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической или проектной документации. Соответственно *неработоспособность* — состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической или проектной документации. Для сложных или протяженных

объектов возможно деление неработоспособных состояний. При этом из множества неработоспособных состояний выделяют *частично неработоспособные состояния*, при которых объект способен частично выполнять требуемые функции.

С терминами работоспособность и неработоспособность связано следующее определение: *отказ* — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта вследствие недопустимого изменения его параметров. Возможность возникновения отказа сооружения и его вероятность устанавливается исходя из анализа ситуаций, ведущих к отказу. Анализ этих ситуаций строится на основе материалов, полученных в процессе содержания тоннеля.

Содержание тоннеля предполагает надзор и организацию текущих, профилактических и ремонтных работ. Надлежащее содержание тоннеля в процессе эксплуатации обеспечивает безаварийное и безопасное функционирование всех тоннельных конструкций, систем и устройств с сохранением их работоспособности в течение всего жизненного цикла сооружения.

В практической деятельности транспортным тоннелем называют инженерное сооружение, возведенное в толще грунтового массива, связанное выходами с поверхностью и предназначенное для пропуска транспортных средств. Однако транспортный тоннель является частью железнодорожной или автомобильной магистрали и, помимо основного сооружения, предназначенного для пропуска транспорта через препятствие, включает целую систему подземных и наземных объектов, которые обеспечивают ее нормальное функционирование. Поэтому такой сложный комплекс сооружений, устройств и различного рода инженерных систем на участке транспортной магистрали приобретает более широкое понятие — «тоннельное пересечение». Его основным сооружением является транспортный тоннель (тоннели) (рис. 1.1).

Тоннельное пересечение с протяженными железнодорожными или автодорожными тоннелями при современных требованиях безопасности может состоять из двух параллельных тоннелей, каждый из которых предназначен для движения в одном направлении. Тоннели связывают между собой аварийными сбойками через 250...300 м. Кроме того, в средней части трассы устраивают пункты аварийной остановки, связанные с поверхностью вертикальными или наклонными ходами. Показателен в этом отношении самый протяженный в мире (57 км) Сен-Готтардский железнодорожный тоннель (Швейцария), окончание



Рис. 1.1. Номенклатура объектов тоннельного пересечения

строительства которого планируется в 2012 г. Он предназначен для пропуска пассажирских поездов со скоростью 250 км/ч и грузовых — 160 км/ч (рис. 1.2).

В мировой практике строительства протяженных транспортных тоннелей в ряде случаев между двумя параллельными тоннелями располагают так называемый сервисный тоннель меньшего диаметра. Такое же решение было предложено при рассмотрении по заданию Госстроя РФ тоннельного варианта пересечения железнодорожной магистралью Берингова пролива (на Аляску) и варианта автодорожного тоннельного пересечения реки Невы в Санкт-Петербурге.

На рис. 1.3 приведена схема самого протяженного в России тоннельного пересечения Северо-Муйского хребта на Восточно-Сибирской железной дороге. В комплекс сооружений тоннельного пересечения входят: однопутный железнодорожный тоннель протяженностью 15,3 км, разведочная транспортно-дренажная штольня, дополнительные дренажные штольни, четыре шахтных ствола глубиной 301, 318, 157 и 256 м,

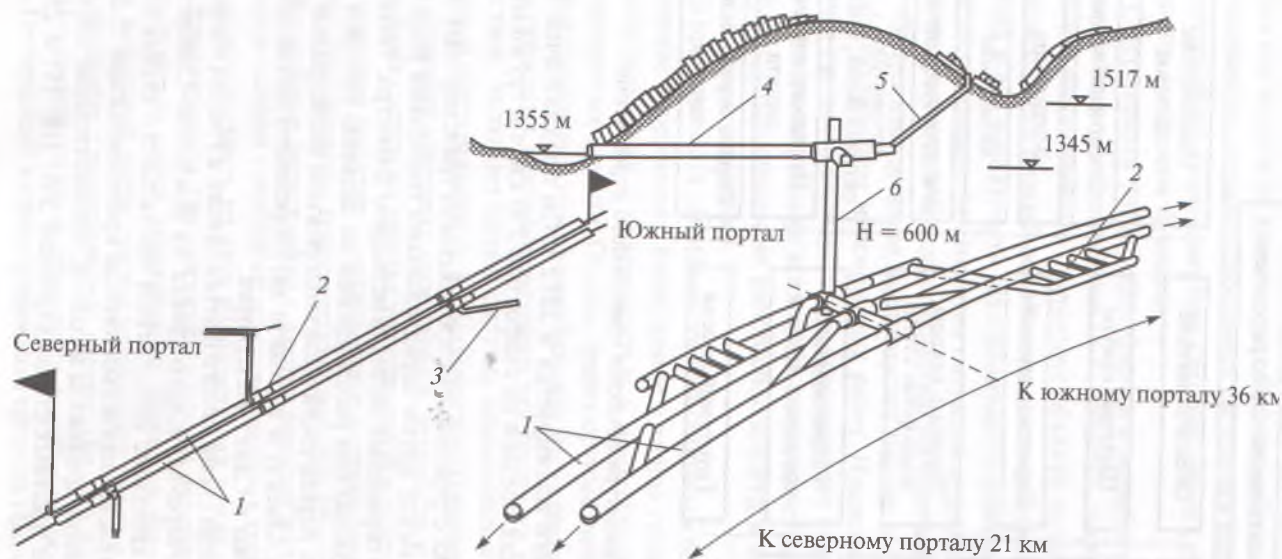


Рис. 1.2 Общий вид и центральная часть Сен-Готтардского тоннеля:
 1 — однопутные железнодорожные тоннели; 2 — станция аварийной остановки; 3 — промежуточные стволы;
 4 — тоннель аварийного выхода; 5 — вентиляционный тоннель; 6 — ствол аварийного выхода

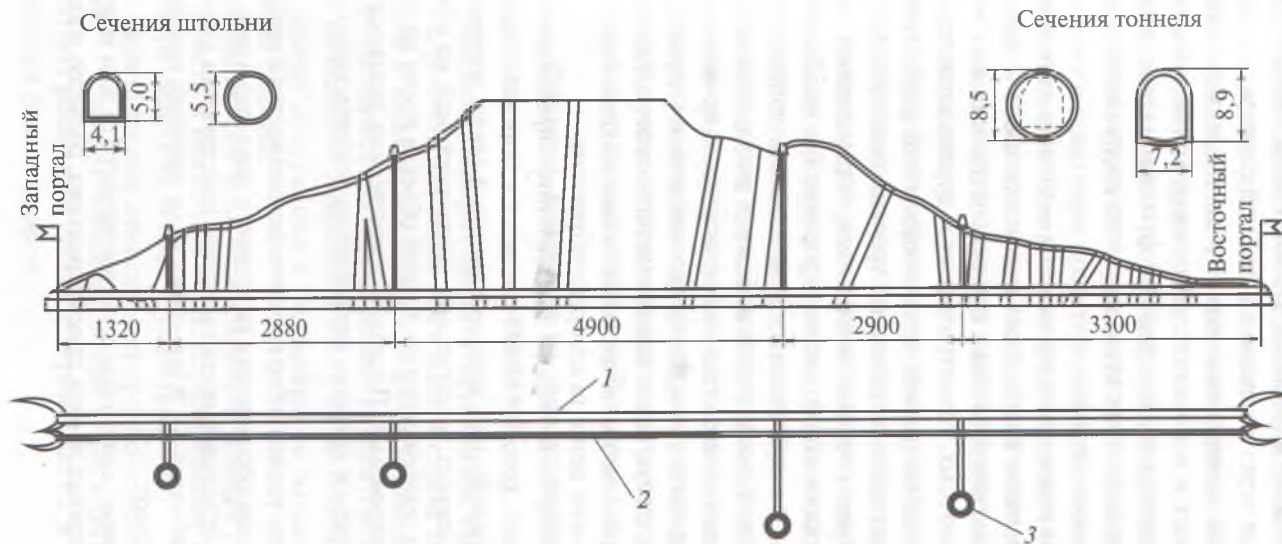


Рис. 1.3. Комплекс сооружений Северо-Муйского тоннеля:
 1 — однопутный железнодорожный тоннель; 2 — транспортно-дренажная штольня; 3 — стволы

подходные околоствольные выработки длиной соответственно 53, 90, 1067 и 250 м с выходом через штольню в основной тоннель.

Таким образом, под тоннельным пересечением следует понимать совокупность основных и вспомогательных сооружений, объектов и различного рода технических устройств, функционально взаимно связанных и обеспечивающих эксплуатацию этих сооружений на соответствующем техническом уровне.

Технический уровень тоннельного пересечения — степень соответствия нормативным требованиям постоянных (не меняющихся в процессе эксплуатации или меняющихся только при реконструкции или ремонте) объемно-планировочных, геометрических и других характеристик всех входящих в тоннельное пересечение сооружений и устройств. После сдачи в эксплуатацию технический уровень тоннельного пересечения в целом должен соответствовать всем нормативным требованиям, обеспечивающим его функционирование без необходимости введения каких-либо ограничений и ремонтных мероприятий для обеспечения безопасной эксплуатации. Если в результате внешних воздействий в сооружении и его отдельных подсистемах происходят отказы, то технический уровень тоннельного пересечения снижается. Дальнейшая эксплуатация требует введения соответствующих ограничений (скорости движения транспорта, габарита перевозимого груза и др.) либо выполнения капитального ремонта или реконструкции.

Технический уровень тоннельного пересечения определяется его *техническим состоянием*, которое характеризуется в определенный момент времени при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объект. Определение (оценка) технического состояния объекта носит название *техническое диагностирование*. Понятие «техническая диагностика» включает теорию, методы и средства определения технического состояния объекта.

Технический уровень тоннельного пересечения снижается в процессе эксплуатации вследствие образования различного рода *дефектов*.

Дефект — каждое отдельное несоответствие конструкции (элемента) установленным требованиям. В зависимости от причины возникновения, дефекты разделяют:

- на *конструктивные*, связанные с несовершенством или нарушением установленных правил и норм проектирования, расчетов и конструирования;

- *производственные* — связанные с нарушением установленного процесса строительства или ремонта;

- *эксплуатационные* — связанные с нарушением установленных правил или условий эксплуатации;

- *деградационные* — обусловленные естественными процессами старения, износа, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Своевременное обнаружение и предупреждение развития дефектов основных и обеспечивающих сооружений тоннельных пересечений является главной задачей содержания, обуславливающей их эксплуатационную надежность.

Опыт содержания железнодорожных и автодорожных тоннелей показывает, что важным условием обеспечения высокого технического уровня тоннельных пересечений является в первую очередь изучение и анализ возможных причин, прямо или косвенно влияющих на работоспособность тоннельных конструкций. Пренебрежение анализом причин или недооценка последствий воздействия негативных факторов на тоннельные конструкции неизбежно ограничивает работоспособность сооружения, увеличивает вероятность принятия малоэффективных, а в отдельных случаях — и ошибочных технических решений, приводящих к тяжелым последствиям, включая человеческие жертвы.

1.2. Факторы, влияющие на эксплуатационную надежность тоннелей

Обширная география эксплуатирующихся, строящихся и намеченных к строительству тоннелей в нашей стране обусловлена климатическими и инженерно-геологическими условиями (включая особенности сейсмического районирования территории России). Независимо от назначения тоннелей и места их расположения условия работы тоннельных сооружений в подавляющем большинстве случаев чрезвычайно сложны.

Основные факторы, определяющие условия работы конструкций и устройств и влияющие на эксплуатационные качества сооружения, можно разделить на четыре группы (рис. 1.4).

К первой группе относятся природно-климатические условия, ко второй — конструктивные характеристики, к третьей — отклонения от проектных решений в процессе строительства, к четвертой — эксплуатационный режим тоннеля.

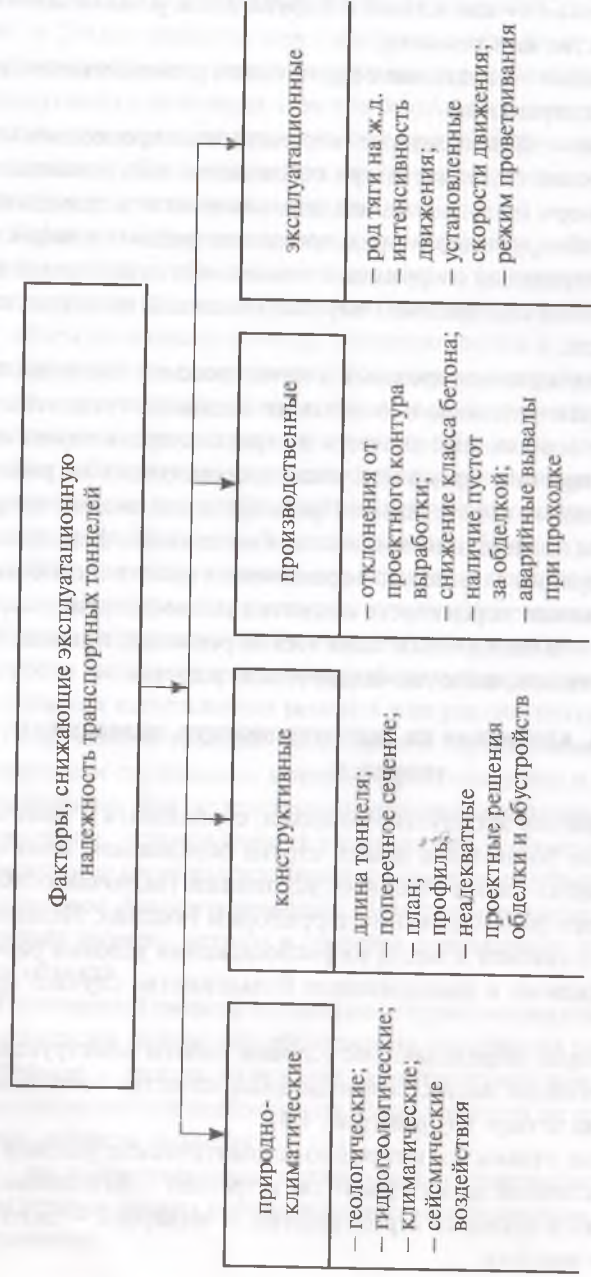


Рис. 1.4. Факторы, снижающие эксплуатационную надежность тоннеля

Природно-климатические условия (геологические, гидрогеологические и климатические условия, сейсмические воздействия) имеют первостепенное значение не только для выбора проектных решений в период строительства тоннеля, но и в процессе его эксплуатации.

Геологические условия определяют выбор типа конструкции и метода производства работ, глубину заложения тоннеля, а также положение трассы в плане и профиле. Всесторонняя высококачественная и своевременная оценка геологических условий заложения тоннеля во многом определяет не только сроки окончания строительства, стоимость сооружения, но и условия его эксплуатации. Однако именно материалы инженерно-геологических изысканий имеют в большинстве случаев недостаточную степень надежности, что негативно сказывается в процессе эксплуатации тоннеля.

В соответствии с действующими нормами, к сложным инженерно-геологическим условиям при строительстве горных тоннелей следует относить такие условия, при которых имеет место хотя бы один из следующих факторов:

- отсутствует пассивный отпор грунта при деформации обделки тоннеля;
- грунты несвязные водоносные при гидростатическом давлении более 0,1 МПа (исключена возможность понижения уровня грунтовых вод);
- грунты сильнообводненные полускальные и скальные (приток воды 200 м³/ч и более на забой) с коэффициентом крепости по М.М. Протодьяконову менее 6;
- прогнозируемое горное давление на обделку тоннеля превышает 0,6 МПа;
- возможна деградация вечной мерзлоты, приводящая к резкому нарастанию горного давления на обделку тоннеля.

С особой тщательностью необходимо анализировать инженерно-геологические условия в непосредственно примыкающей к трассе тоннеля зоне подземного сооружения. Ее ширину вдоль оси тоннеля определяют в зависимости от геологических и гидрогеологических условий района. По высоте зона подземного сооружения ограничена толщиной грунтов с отметками на 30...40 м выше и на 8...10 м ниже основания тоннеля, расположенного в связных полускальных и скальных грунтах. Если трасса тоннеля проходит в грунтах малосвязных и сыпучих, то указанная зона должна включать всю толщу грунтов до земной поверхности. В районах, подверженных воздействию карстово-суффозионных про-

цессов, а также вблизи горизонтов, содержащих высоконапорные воды, глубину зоны подземного сооружения увеличивают.

Важнейшей инженерно-геологической характеристикой участка тоннельного пересечения является его тектоническое строение (структура земной коры). Оно определяет степень трещиноватости и обводненности массива, характер и величину начального поля напряжений, а в процессе эксплуатации тоннеля — характер силового взаимодействия, количественные показатели напряженно-деформированного состояния системы «обделка—грунтовый массив», а также позволяет прогнозировать участки возможных дефектов в обделке и водопритоков в тоннель.

Остановимся лишь на тех геологических показателях и явлениях, которые позволяют работникам, занимающихся текущим содержанием тоннеля, ориентироваться в большом объеме информации и дают возможность понять, как, проявив надлежащую предусмотрительность в своих решениях, не усугубить, а свести к минимуму негативное воздействие неблагоприятных геологических условий.

В однородных слаботрещиноватых скальных массивах обделка работает в благоприятных условиях. Значительное проявление упругого отпора грунта практически полностью исключает возможность перемещений и деформаций. Слоистость и трещиноватость массива ухудшает его физико-механические характеристики тем активнее, чем выше степень трещиноватости и меньше толщина пластов.

Положение пласта в пространстве характеризуется углами падения и простирания (рис. 1.5). Если ось тоннеля параллельна линии простирания или составляет с ней небольшой угол, то говорят, что тоннель проходит *вдоль простирания*, если этот угол близок к 90° — *вкрест про-*

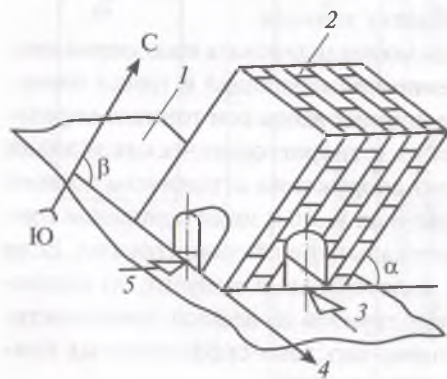


Рис. 1.5. Варианты расположения тоннеля относительно залегания пластов:

1 — горизонтальная плоскость; 2 — пласты; 3 — расположение тоннеля вдоль простирания пластов; 4 — линия простирания пластов; 5 — расположение тоннеля вкрест простирания пластов; α — угол падения; β — угол простирания

стирания. Наиболее благоприятно заложение тоннеля по простиранию мощных горизонтальных пластов, сложенных прочными слаботрещиноватыми грунтами (рис. 1.6, а).

При отсутствии сцепления между прочными пластами из-за глинистых прослоек между ними условия работы обделки на таком участке ухудшаются. При этом давление кровли на обделку будет велико и дефекты конструкции проявятся в своде или в пятах свода. Если же трасса тоннеля проходит по простиранию круто падающих пластов, то значительные напряжения испытывают стены обделки.

Менее благоприятно расположение тоннеля в наклонных пластах по их простиранию или вкрест простирания (рис. 1.6, б). В первом случае возникает сильное одностороннее давление грунтов, вызванное образованием зоны разуплотнения, размеры которой достигают половины пролета выработки. Во втором — провисание подрезаемых пластов обуславливает неравномерность нагрузки на обделку со значительным превышением по сравнению с прогнозируемой.

При заложении тоннеля в пластах, изогнутых в складку по их простиранию (рис. 1.6, в), область антиклинали будет сравнительно благоприятна. Здесь можно ожидать небольшое давление горных пород и малый приток воды. Неблагоприятным будет заложение тоннеля в крыле антиклинали и, особенно, в синклинали, где кроме повышенного давления пород на конструкцию следует ожидать большой приток подземных вод. Если тоннель заложен вкрест простирания складок, то условия работы обделки будут еще тяжелее, чем при заложении в наклонных пластах.

Весьма неблагоприятно пересечение тоннелем плоскости сброса или сдвига (рис. 1.6, г). На таком участке возможны взаимное смещение пластов, приводящее к серьезным деформациям обделки вплоть до ее разрушения, и большой приток подземных вод. Большие осложнения не только в процессе строительства, но и в период эксплуатации доставляют зоны тектонических разломов и размывы. Воздействие тектонических нарушений иногда сказывается лишь через довольно продолжительное время после завершения строительства и проявляется в виде значительных деформаций обделок с возникновением продольных и поперечных трещин.

Проходка зон тектонического разлома или размыва сопряжена с возможными обвалами и прорывами напорной воды, нередко вызывающими аварии, а в некоторых случаях — и катастрофы. После ликвида-

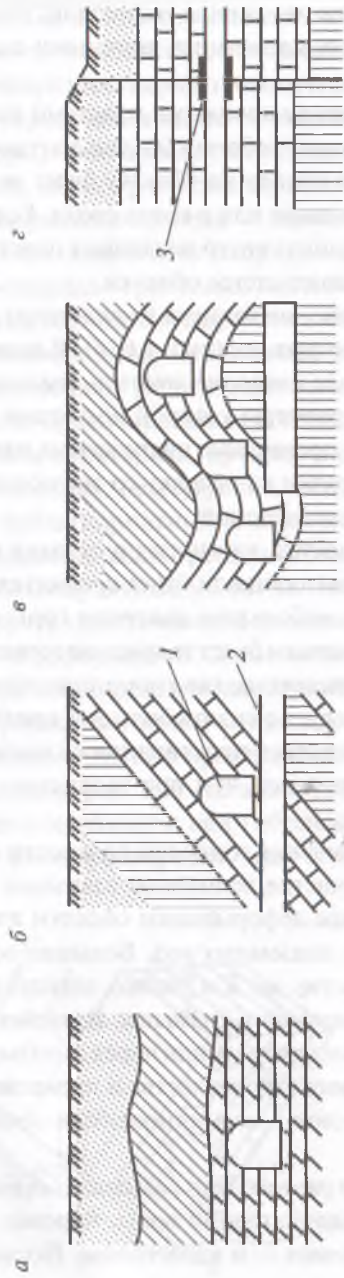


Рис. 1.6. Варианты заложения тоннеля в слоистом массиве:

а — с горизонтальными пластами; б — с наклонными пластами; в — с пластами, изогнутыми в складку; г — по простиранию; 2 — вкост простирания; 3 — в зоне сброса; 4 — усиленная обделка тоннеля

ции аварии вследствие разуплотнения грунтового массива на этом участке изменяются физико-механические характеристики грунта, повышается неопределенность в статической работе обделки (изменение начального поля напряжений, неравномерные нагрузки, существенное снижение отпора грунта на отдельных участках периметра обделки).

Одной из важнейших характеристик скальных и полускальных пород является трещиноватость. Степень и характер трещиноватости пород в массиве определяют его деформируемость и устойчивость, водопроницаемость, фильтрационную и механическую анизотропность и, в итоге, характер и величину нагрузок на обделку. Геомеханические процессы силового взаимодействия обделки с грунтовым массивом, сложенным скальными и полускальными породами, больше зависит от трещиноватости, чем от вещественного состава и прочности этих пород.

Применительно к подземному строительству выделяют следующие важнейшие типы трещин: тектонические, трещины отдельности, трещины напластования, трещины выветривания, трещины бортового отпора.

Тектонические трещины возникают вследствие разрывных тектонических дислокаций. Протяженность их в плане — от нескольких сотен метров до десятков и даже сотен километров. По глубине они развиты на десятки и сотни метров. Могут пересекать скальные породы разного вещественного состава и генезиса (магматические, осадочные, метаморфические), имеют линейную ориентировку. Ширина колеблется от нескольких миллиметров до нескольких метров. Встречаются они не повсеместно, а лишь в тектонически активных (в настоящем или в прошлом) районах. С точки зрения условий работы тоннельной обделки — это самый опасный тип трещин.

Трещины отдельности возникают лишь в магматических породах в момент остывания магмы. Образуют определенные системы в массиве, индивидуальные для каждого типа (гранита, диабазы и др.). Размеры их различны — от мелких до средних и даже крупных. Их влияние может проявляться по всему тоннелю, пересекающему данный генетический тип пород.

Трещины напластования встречаются в осадочных породах и приурочены к границам пластов.

Трещины выветривания образуются в скальных породах любого вещественного состава и генезиса (происхождения). Такие трещины не имеют какой-либо ориентировки в пространстве и обычно развиты в приповерхностной зоне. С глубиной трещиноватость резко снижается.

Они представляют наибольшую опасность при строительстве и эксплуатации порталов. Могут явиться причиной образования на склонах осыпей, вывалов и даже мелких обвалов.

Трещины бортового отпора возникают в приповерхностной зоне на косогорах. Ориентированы параллельно склону. Их размеры меняются в широком интервале, со временем в большинстве случаев (если не принять профилактических мер) закономерно увеличиваются. Могут явиться причиной возникновения мелких и средних обвалов. Представляют угрозу порталным сооружениям.

Большое осложнение в процессе эксплуатации могут доставить неразведанные карстовые пустоты, которые обычно образуются в результате выщелачивания растворимых в воде горных пород. В закарстованных породах возможно оседание кровли, внезапное разрушение обделки тоннеля. Особенно опасны карстовые пустоты, заполненные водой и образующие карстовые озера, из которых может произойти внезапный прорыв воды в тоннель. В связи с этим особое внимание должно быть уделено тоннелям в легко поддающихся выщелачиванию породах, таких как гипсы, ангидриты, известковые и доломитовые породы.

При анализе причин снижения показателей технического состояния тоннеля очень важно понимать, что физико-механические характеристики грунтов, окружающих тоннельную обделку, с течением времени могут изменяться. Изменяются, очевидно, и условия статической работы обделки. Известно немало случаев, когда после продолжительной эксплуатации тоннеля грунтовый массив подвергался сдвигам или просадкам, вызывая деформации обделок и даже их разрушение. Некоторые разновидности известняков и полевошпатных пород под влиянием процесса выветривания могут быстро разрушаться, увеличиваясь при этом в объеме, и оказывать на обделку давление разрушительного характера. При отрицательных температурах и обводнении глинистые тонкодисперсные грунты склонны к пучению, создавая дополнительную нагрузку на обделку, вызывая деформации основания пути в тоннеле и на подходах к нему.

В районах с суровым климатом и вечномерзлыми грунтами причинами снижения эксплуатационных качеств тоннеля являются: развитие морозного пучения глинистых грунтов на порталных участках, увеличение горного давления на обделку эксплуатируемого тоннеля при оттаивании вечномерзлых грунтов, оттаивание и прорыв подземных вод в тоннель в случае серьезных повреждений обделки.

Гидрогеологические условия горного массива при проходке тоннеля претерпевают существенные изменения. При отсутствии надлежащей гидроизоляции тоннель, прорезая толщу пород и перехватывая потоки подземных вод, превращается в своеобразное дренажное сооружение, принимая на себя интенсивную фильтрацию подземных вод.

Для успешного прогнозирования обводненности тоннеля необходимы сведения об источниках питания водоносных горизонтов, путях поступления воды в подземную выработку, возможное изменение гидрогеологических условий под влиянием построенного сооружения.

Обводненность массива на трассе тоннеля определяют следующие факторы:

- климатические условия района: среднегодовое количество атмосферных осадков, характер их выпадения (ливневые дожди, морось, интенсивное или медленное снеготаяние), испаряемость;
- гидрография района: наличие и расположение рек, ручьев, озер, водохранилищ, заболоченность территории. Тоннели, расположенные на отметках выше местного базиса эрозии, обычно хорошо дренированы существующей гидрографической сетью, вследствие чего слабо обводнены. Тоннели, находящиеся на отметках ниже местного базиса эрозии и, особенно, приуроченные к зоне влияния поверхностных водоемов, обводнены значительно больше, чем первые;
- рельеф местности: при сильно расчлененном рельефе основная масса атмосферных осадков идет на поверхностный сток и лишь незначительная — на их инфильтрацию. Кроме того, глубокие эрозионные врезы сокращают площадь водосбора водоносных горизонтов, а следовательно, ухудшают условия их питания;
- геологическое строение: соотношение водопроницаемых и водупорных слоев определяет количество водоносных горизонтов, их размеры, условия питания, наличие или отсутствие гидравлической связи;
- тектоника района: наличие или отсутствие региональных или локальных зон тектонических разломов, степень и характер трещиноватости скальных пород;
- степень и характер выветренности или закарстованности пород по простиранию и глубине относительно проектируемого тоннеля.

Применительно к тоннельным сооружениям можно выделить следующие основные типы водоносных горизонтов, к которым приурочены: пластовые воды (типа артезианских вод); трещинные воды; карстовые воды; грунтовые воды.

Пластовые воды обычно приурочены к определенной литологической разности или комплексу слоев, обладающих ярко выраженными фильтрационными свойствами. Поэтому по гидрогеологическим картам и разрезам легко установить положение этого водоносного горизонта в пространстве. Чаще всего он бывает приурочен к синклинальным складкам. Водовмещающий слой подстилается и перекрывается водоупорными разностями. Этот водоносный горизонт характеризуется значительной площадью распространения, составляющей сотни и (чаще) тысячи квадратных километров, а следовательно, огромным статическим запасом воды. Он имеет большую глубину залегания, измеряемую десятками и даже сотнями метров. Обладает напором, величина которого определяется положением пьезометрической поверхности. В отличие от грунтовых вод режим артезианского бассейна стабильный, мало зависящий от атмосферных факторов.

Трещинные воды приурочены к скальным и полускальным породам разного генезиса и вещественного состава. Их запасы, закономерности движения, гидравлический режим и даже химический состав обусловлены интенсивностью и характером трещиноватости этих пород, генезисом преобладающих трещин, вещественным составом заполнителя, а также глубиной их распространения.

В верхней зоне скального массива (до глубины 50...60 м) подземные воды в основном приурочены к трещинам выветривания. Питание осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков или из поверхностных водоемов. С глубиной степень трещиноватости пород, а следовательно, их водообильность закономерно снижаются. Обычно этот водоносный горизонт ненапорный, режим его постоянен как во времени, так и в пространстве, как и запасы воды на отдельных участках. На больших глубинах трещинно-грунтовые воды постепенно сменяются трещинными напорными. Глубина, на которой прослежена обводненность пород по трещинам, достигает, как правило, 300...400 м, но обычно не превышает 500...600 м. На таких глубинах как статические, так и динамические запасы подземных вод невелики. Удельный водоприток в забой не превышает $1 \text{ м}^3/\text{ч}$. Чрезвычайно серьезную опасность в этой зоне представляют тектонические разломы. Они нередко ограничены в плане (от нескольких метров до нескольких десятков метров), но в глубину распространяются на сотни метров. С ними связаны внезапные большие поступления воды в тоннель.

Трещинные воды снижают устойчивость скального массива с водорастворимым заполнителем трещин. Следствием являются многочисленные

вывалы. Размыв глинистого заполнителя происходит локально и значительно медленнее, чем выщелачивание растворимых солей (карбонатов, сульфатов, галоидов). Время устойчивого состояния скального массива от момента проходки выработки до резкого нарастания горного давления на обделку зависит от степени и характера трещиноватости, размера трещин, напора подземных вод и исчисляется от месяца до нескольких лет.

Карстовые воды приурочены к водорастворимым породам (известнякам, гипсам, доломитам, каменной и калийной солям). Как правило, они содержатся в крупных полостях, образуя настоящие подземные реки и озера. Соответственно и законы движения этих вод ближе к поверхностным потокам, чем к подземным.

Факторами, способствующими развитию карстовых полостей, являются сильная трещиноватость этих пород, степень их растворимости (легкорастворимые — каменная и калийная соль, среднерастворимые — гипс и ангидрит, плохо растворимые — известняк и доломит), высокая скорость движения подземных вод. Поэтому осушение подземных выработок заобделочными дренажными устройствами способствует росту карстовых полостей. Интенсивность выщелачивания пород значительно увеличивается с повышением температуры воды и наличием в ней растворенной углекислоты. Процесс выщелачивания нередко приводит к образованию полостей в непосредственной близости от обделки тоннеля. Последствием может быть деформация и даже полное ее разрушение на отдельных участках тоннеля.

Грунтовые воды встречаются обычно лишь в припортальных участках. Водовмещающей породой являются делювиальные отложения, имеющие пылевато-глинистый состав, а следовательно, малую водопроницаемость и водоотдачу. Режим их непостоянный, зависит от атмосферных осадков и снеготаяния. Крупных притоков в тоннель этого типа подземных вод можно не опасаться, однако в результате увлажнения делювиального чехла может активизироваться оползневый процесс.

Подземные воды, как правило, понижают прочность и устойчивость грунтов. Некоторые из них, например мергели, глины и пески, в присутствии воды теряют прочность. Опыт эксплуатации тоннелей показывает, что большинство дефектов является результатом взаимодействия воды с тоннельным сооружением и окружающим его грунтовым массивом. Следствием этого является выщелачивание и вымывание грунтов и цементного камня из бетона обделки, коррозия бетона и арматуры, разжижение балласта, разрушение бетона конструкций при воздействии знакопеременных температур, разрушение гидроизоляционных покрытий и др.

Ярко выражено вредное воздействие подземных вод на бетонные конструкции при отсутствии наружной гидроизоляции отделки. Фильтруясь через тело отделки, химически нейтральные воды (водородный показатель $pH = 5...5,5$) вызывают коррозию бетона по первому типу — выщелачивание (вымывание солей кальция). Воды с водородным показателем $pH \leq 5$ фактически являются растворами кислот, которые вступают в химическую реакцию с цементным камнем и растворяют его с образованием солей этих кислот. Менее агрессивны по отношению к бетону минерализованные и щелочные воды с $pH > 6$, за исключением сульфатных вод, вызывающих сульфатную коррозию, обусловленную разрастанием и увеличением в объеме кристаллов сульфата натрия и калия в микротрещинах и порах бетона, механически разрушая его.

Обводненность тоннелей мелкого заложения обычно находится в прямой зависимости от количества атмосферных осадков и талых вод, наличия на надтоннельной поверхности водоемов, рек и ручьев. Большое влияние при этом оказывают рельеф и состояние надтоннельной поверхности, свойства и литологический состав грунтов. Пологие склоны с местными впадинами, оврагами, густая растительность на надтоннельной поверхности способствуют накоплению снега в зимний период и аккумуляции ливневых и талых вод в грунтовом массиве. В цементированных грунтах, имеющих слабые фильтрационные свойства, обводненность, как правило, невелика. В закарстованных и легко растворимых грунтах обводненность значительная, а в рыхлых водопроницаемых грунтах — сильная. Зонами обильного водопритока к тоннелю являются участки тектонических нарушений, связывающие водоносные горизонты между собой и с дневной поверхностью.

Климатические условия сопряжены с повышенными трудностями содержания тоннелей в районах сурового климата. Если в тоннеле не защищены конструкции и обустройства от неблагоприятных воздействий отрицательных температур, подземные воды, проникая в тоннель через отделку, зимой замерзают на сводах, стенах и пути, образуя наледи, угрожающие безопасности движения поездов и подвергая опасности обслуживающий персонал. Кроме того, попеременное замораживание и размораживание воды в материале отделки ведет к ее интенсивному разрушению.

Сейсмические воздействия относятся к особым нагрузкам на тоннельные конструкции, которые следует учитывать при проектировании, строительстве и текущем содержании тоннелей, эксплуатируемых в сей-

смических районах. Интенсивность сейсмических воздействий (балльность) принимается по картам сейсмического районирования, принятым еще Академией наук СССР с изменениями, внесенными Российской Академией наук. Однако реальная сейсмичность участка, где непосредственно расположен тоннель, может существенно отличаться от сейсмичности, определенной по картам сейсмического районирования вследствие особых геологических условий на трассе тоннеля. Поэтому сейсмичность на участке тоннельного пересечения определяют на основании сейсмического микрорайонирования. В районах, для которых отсутствуют карты сейсмического районирования, допускается определять сейсмичность в зависимости от категории грунтов. Даже при одинаковой нормативной балльности характер и интенсивность влияния землетрясения на тоннель на разных его участках нередко существенно отличаются и обусловлены как геологическим строением массива, так и конструктивными особенностями сооружения.

Наибольшие остаточные деформации тоннельных отделок возникают на участках тоннелей, расположенных вдоль горных склонов, в местах смены литологического состава грунтов, при изменении глубины заложения тоннелей вследствие резкой смены рельефа. При этом степень устойчивости тоннельных отделок при прочих равных условиях пропорциональна крепости грунтов. Повреждения отделки тоннелей на участках мелкого заложения являются наибольшими по сравнению с участками, расположенными на большей глубине.

В припортальных участках тоннеля во время землетрясения происходит инерционное воздействие масс грунта, теряющих устойчивость при колебаниях массива. Поэтому порталы большинства тоннелей при сильных землетрясениях разрушаются практически полностью. В лучшем случае на припортальных участках по всему периметру отделки возникают многочисленные продольные и поперечные трещины, что связано с воздействием инерционных сил от давления грунта на порталные подпорные стенки, особенно при большой крутизне откоса у портала тоннеля. При пересечении трассой тоннеля тектонических трещин возможно смещение участков отделки (независимо от ее конструкции) на расстояние до нескольких десятков сантиметров от первоначальной оси тоннеля в поперечном к оси трассы направлении.

Большое влияние на подземные сооружения при землетрясениях оказывают грунтовые условия. Наибольшие разрушения отмечены в рыхлых неуплотненных грунтах, а также в местах контактов слоев с резко отлич-

ными физико-механическими свойствами. Для подземных сооружений инерционные силы от элементов конструкций являются лишь частью сейсмической нагрузки, притом не всегда большей. Основное воздействие связано с изменением напряженного состояния грунтового массива при распространении сейсмических волн. Конструкция подземного сооружения, имеющая жесткость, отличную от жесткости грунтового массива, искажает поле сейсмических волн. Если она обладает достаточной гибкостью, то будет следовать за смещениями и деформациями грунтового массива. Если конструкция имеет жесткость большую, чем жесткость окружающего массива, то на границе с обделкой поле сейсмических волн претерпевает изменения, вызывая концентрацию напряжений в грунте вокруг обделки. В большей степени воздействию сейсмических сил подвержены тоннельные обделки из монолитного бетона незамкнутого очертания, имеющие разуплотнения и пустоты в заобделочном пространстве, а также сборные обделки без связей растяжения и сейсмических швов.

К конструктивным характеристикам тоннельного пересечения относятся: длина тоннельного пересечения; число параллельных тоннелей; их поперечное сечение; план, профиль, материалы и конструктивные решения обделки, порталов, ниш; гидроизоляция и водоотвод и другие устройства тоннелей.

Так, некоторые конструктивные решения, являясь вполне оправданными в техническом отношении на стадии проектирования и экономичными при строительстве, затем могут оказаться малоэффективными, так как потребуют усиленного постоянного надзора и повышенных затрат на эксплуатацию. Это замечание особенно актуально при организации надзора и текущего ремонта тоннелей, расположенных в суровых климатических условиях и малообжитых районах, где ощущается недостаток в рабочей силе, существуют проблемы с доставкой оборудования и материалов. От характеристик и качества конструктивных материалов, применяемых для сооружения обделки, зависят долговечность и эксплуатационные качества тоннелей. Применение бетонов повышенной плотности со специальными добавками, повышающими их водонепроницаемость и морозостойкость, а также полимерных бетонов может существенно снизить общую обводненность тоннеля. Однако монолитные тоннельные обделки, подверженные интенсивному трещинообразованию и не имеющие гидроизоляции, не могут быть в полной мере водонепроницаемыми. Кардинальным решением защиты тоннеля с монолитной бетонной обделкой от проник-

новения подземных вод является устройство наружной гидроизоляции по периметру обделки.

До настоящего времени сечение однопутного железнодорожного тоннеля, сооружаемого горным способом с обделкой из монолитного бетона, по традиции принималось подковообразного очертания. Такая обделка на всем протяжении тоннеля периодически нарушена устройством ниш и камер, что в местах их сопряжения приводит к повышенному трещинообразованию и водоприотуку в тоннель.

Новая концепция строительства железнодорожного тоннеля в условиях сурового климата, предложенная институтом «Бамтоннельпроект», предполагает удорожание строительства тоннеля, однако ориентирована на высокие темпы проходки, качество и безопасность проходческих работ. При этом окупаемость дорогостоящего объекта гарантируется за счет существенных сокращений расходов на его эксплуатацию с одновременным повышением безопасности обслуживающего персонала. На рис. 1.7 показан один из вариантов поперечного сечения однопутного железнодорожного тоннеля с обделкой кругового очертания.

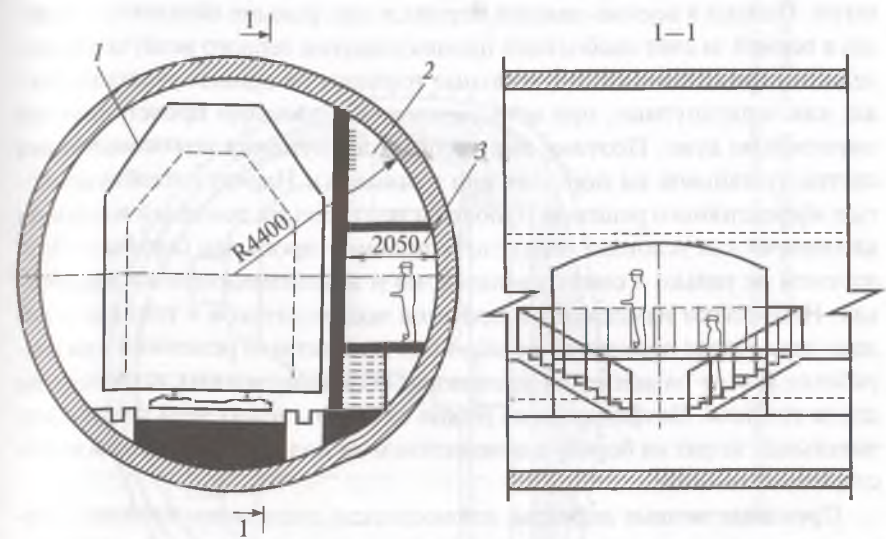


Рис. 1.7. Железнодорожный тоннель кругового очертания:
1 — габарит приближения строений С; 2 — кабельный отсек; 3 — отсек для обслуживающего персонала и ремонтных рабочих

...строено сооружение тоннеля со сборной железобетонной обделкой повышенной водонепроницаемости внутренним диаметром 8,8 м с применением тоннелепроходческого механизированного комплекса. Как видно из рисунка, характерной особенностью тоннеля является наличие зоны безопасности для обслуживающего персонала и размещения оборудования в пределах сечения обделки.

Следует отметить, что и для тоннелей большого сечения (двухпутных железнодорожных и автодорожных), сооружаемых горным способом, в практике мирового тоннелестроения отдают предпочтение овальной форме поперечного сечения с криволинейными стенами, замкнутыми на мощную лотковую плиту или обратный свод (рис. 1.8). Такая форма поперечного сечения большепролетных выработок целесообразна не только для повышения устойчивости выработки при проходке, но и обеспечивает эффективную работу конструкции в широком диапазоне инженерно-геологических условий.

Особенности профиля транспортных тоннелей отражаются не только на скорости движения по тоннелю, но и на решении вопросов вентиляции. Односкатные тоннели хорошо проветриваются естественной тягой. Однако в осенне-зимний период в них раньше образуются наледы, а весной за счет свободного проникновения теплого воздуха эти наледы быстро оттаивают. Двухскатные тоннели на кривых участках, также, как и двухпутные, при естественном побуждении проветриваются значительно хуже. Поэтому они требуют сооружения вентиляционных систем (установок на порталах или в стволах). Наряду с необходимостью эффективного решения проблемы вентиляции тоннелей в суровых климатических условиях, попутно возникают проблемы борьбы с обледенением не только в самих тоннелях, но и в вентиляционных выработках. Недостатки изысканий и прогноза водопритоков в тоннели в отдельных случаях приводят к ошибочным проектным решениям при разработке схемы размещения дренажных и водоотводных устройств по длине тоннеля. Неэффективная работа системы водоотвода требует значительных затрат на борьбу с обводнением и наледообразованием в действующем тоннеле.

Производственные дефекты, являющиеся следствием низкого качества строительства, снижают эксплуатационную надежность действующих тоннелей. Качество строительных работ при сооружении тоннелей оценивают в зависимости от степени приближения совокупности параметров сооружения или его элементов, полученных в ходе строи-

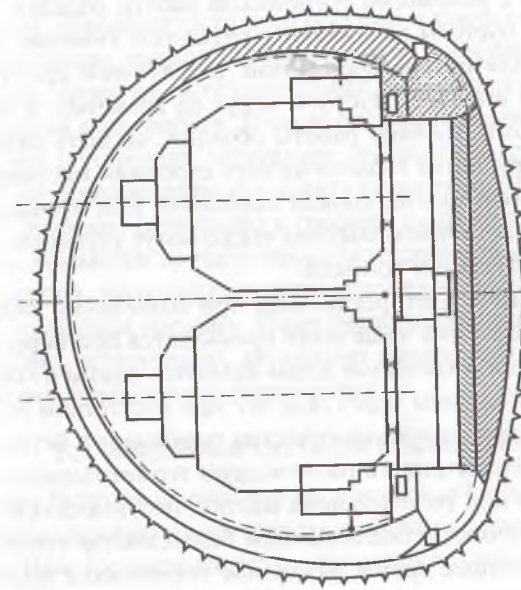
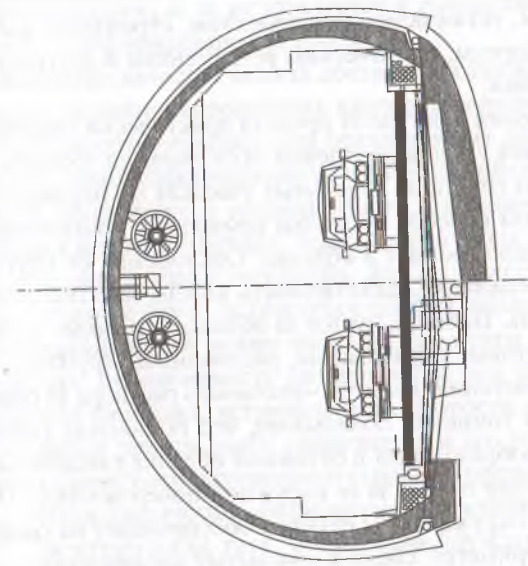


Рис. 1.8. Типичная форма поперечного сечения двухпутного железнодорожного (Австрия) и автодорожного (Чехия) тоннелей в трещиноватых скальных грунтах

мам и правилам, стандартам, техническим регламентам и другими нормативными документами.

Случайные отступления в натуре от проекта практически неизбежны, однако некоторые из них ухудшают условия эксплуатации тоннеля. Так, значительные переборы грунта на отдельных участках по периметру обделки при буровзрывном способе проходки приводят к концентрациям напряжений и появлению трещин в обделке. Отклонение от кругового очертания в сборных обделках (эллиптичность колец) заметно снижает их несущую способность. Наличие пустот за обделкой, помимо геологических факторов (карстовые образования, растворимые грунты и др.), зависит от качества нагнетания цементно-песчаного раствора за обделку.

Опыт эксплуатации тоннелей показывает, что появление сколов и интенсивного трещинообразования в бетонной обделке свидетельствует, как правило, о наличии пустот за ее наружной поверхностью. Плотный контакт обделки с окружающим грунтом обеспечивает их совместную работу по всему периметру, сводя к минимуму деформацию обделки и возможность концентрации напряжений в ее сечениях. Нагнетание, заполняя трещины и небольшие пустоты в прилегающем к обделке массиве, существенно влияет на величину упругого отпора грунта, что непосредственно связано с условиями статической работы обделки. Кроме того, заобделочные пустоты возникают в результате гниения оставленных за обделкой элементов временной деревянной крепи или забутовки переборов и вывалов. Пустоты могут со временем в значительной степени ухудшить условия работы обделки, вызвать развитие опасных дефектов. Нарушения геологического строения массива при допущении вывалов и обрушения кровли выработки при проходке со сдвижкой слоев и разуплотнением массива также могут ухудшить условия последующей эксплуатации тоннеля.

Нарушение технологического регламента при возведении обделки тоннеля из монолитного бетона чаще всего проявляется при перерывах в процессе бетонирования. «Холодные швы» являются одним из основных путей проникновения воды через обделку при отсутствии наружной гидроизоляции. В случаях технологических перерывов в бетонировании необходимо предусматривать надлежащую герметизацию швов применением «шпонок» или уплотняющих мастик, набухающих в присутствии воды. К сожалению, в подавляющем большинстве тоннелей, эксплуатируемых в настоящее время, указанное техническое решение

холодных и деформационных швов.

Повышение качества бетона достигается также за счет применения промытых фракционированных крупных заполнителей, дозируемых раздельно, неорганических или органических добавок, повышающих плотность, водонепроницаемость и морозостойкость возводимых конструкций, надлежащего операционного и выходного контроля при изготовлении и укладке бетона, тщательного ухода за ним и обеспечения благоприятных условий твердения. Для достижения высокого качества бетона в обделке бетон за опалубку следует подавать бетононасосами.

Эксплуатационный режим тоннелей (род тяги на железнодорожных магистралях, интенсивность движения поездов и автотранспорта в автотоннелях, установленные скорости движения и др.) влияют на условия работы всего сооружения и его техническое состояние. Выклопы двигателей внутреннего сгорания вредно воздействуют на бетон, вызывая химическое разложение и постепенное отслаивание обделки. Электрическая тяга, создающая блуждающие токи, вызывает коррозию металлических элементов пути, чугуна и арматуры железобетонной обделки, а также других металлических конструкций и устройств.

При этом скорость деградиционных процессов зависит не только от интенсивности движения поездов, но и от условий, усугубляющих эти процессы: обводненности конструкций и высокой влажности тоннельной атмосферы, плохого проветривания, несвоевременного устранения дефектов, проведения осушительных мероприятий и технического обслуживания обустройств. В свою очередь, повышенная интенсивность движения в тоннелях затрудняет текущее содержание тоннелей и не позволяет своевременно проводить ремонтные работы, которые выполняются в «окна» (перерывы в графике движения поездов). При интенсивном движении поездов продолжительность окон, их число в сутки сокращается, поэтому сроки проведения ремонтных работ откладываются «до лучших времен». Такое несвоевременное выполнение ремонтных работ, естественно, негативно скажется на уровне технического состояния тоннельного пересечения.

1.3. Аварийные ситуации и основы анализа риска

Ранее было отмечено, что транспортные тоннели в течение длительного срока должны удовлетворять требованиям эксплуатационной надежности. При хорошем качестве строительства обычно в первые 5—10 лет

эксплуатации никаких серьезных дефектов конструкций и обеспечивающих систем не возникает. В последующие годы наблюдаются различного рода повреждения, вызванные геологическими, гидрогеологическими и климатическими условиями. По данным различных источников, к 25—30 годам эксплуатации начинают проявляться ошибки изысканий, проектирования и строительства, нарастают деграционные процессы в конструкциях и окружающем грунтовом массиве.

Серьезные нарушения эксплуатационной надежности тоннелей могут возникнуть при несоблюдении условий безопасной эксплуатации, когда не выявлены опасные дефекты конструкций и обустройств (обделок, порталов, дренажных и водоотводных устройств, пути и проезжей части, эксплуатационного оборудования) и несвоевременно проведены ремонтные работы. В таких случаях возрастает вероятность возникновения ситуации, приводящей к аварии. Вследствие стихийных природных явлений (землетрясений, лавин, оползней и др.) авария может проявиться в виде внезапных разрушений и повреждений.

Следует отметить, что если при строительстве тоннеля аварийная ситуация возникает, как правило, в призабойной зоне, то в эксплуатируемых тоннелях аварийная ситуация может проявиться в любом месте по длине сооружения. При этом чаще всего она случается на участках, подверженных длительным коррозионным и деграционным процессам разрушения и деформирования несущих конструкций. К аварии в транспортном тоннеле могут привести обледенение конструкций, промерзание дренажных и водоотводных устройств, обледенение проезжей части или верхнего строения пути с недопустимыми деформациями от сил морозного пучения и просадок.

К наиболее распространенным авариям в эксплуатируемых тоннелях относятся: разрушение и деформирование обделок с обрушением вмещающего тоннель грунта; разрушение порталов и порталных выемок; разрушение вентиляционных, дренажных, сервисных и эвакуационных выработок; нарушение условий безопасности движения, сопровождающееся столкновением транспортных средств, наездом на конструкции, выходом из строя эксплуатационного оборудования; загазованность внутритоннельной атмосферы; пожары и взрывы.

Как показал многолетний опыт, эксплуатация транспортных тоннелей и метрополитенов характеризуется повышенным риском возникновения аварийных ситуаций. В действующих тоннелях аварии связаны с частичным или полным прекращением функционирования, эко-

номическими убытками, ограничением условий эксплуатации по скорости движения, пропускной способности, в железнодорожных тоннелях — с заменой типа тяги.

Все сказанное обуславливает особое внимание к обеспечению эксплуатационной надежности транспортных тоннелей. Однако теория надежности рассматривает только возможность возникновения аварийной ситуации, исследует вероятность ее возникновения, исходя из анализа дефектов, ведущих к аварии. Последствия аварии с прогнозированием и оценкой величины возможного ущерба могут быть установлены только в результате анализа риска. Он позволяет обосновать приемлемую степень риска для принятия технических решений.

Основу анализа риска составляют сценарии возможных аварийных ситуаций, число которых зависит от новизны конструктивно-технологических решений, полноты инженерно-геологических изысканий, профессиональной подготовки исполнителей всех уровней на всех этапах разработки, воплощения проекта и на период эксплуатации сооружения.

Риск при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей является приемлемым, если его степень настолько мала, что ради получения эффективных показателей при эксплуатации заказчик готов пойти на этот риск.

Анализ риска включает три основных аспекта: *идентификация риска, анализ частоты аварийных ситуаций и анализ их последствий* (рис. 1.9).

Идентификация риска является результатом анализа конструктивно-технологических решений конкретного объекта или сооружения. Все риски можно разделить на управляемые и неуправляемые. К управляемым относятся те, которые можно оценить и прогнозировать их последствия. К ним относятся природные риски (учет в проекте землетрясений, наводнений и др.) и технические риски (ошибки при оценке инженерно-геологических условий, просчеты в проектировании, недостатки технологии или несоблюдение технологических регламентов, некачественные материалы, неправильный выбор оборудования). К неуправляемым рискам относятся риски, вызванные временной экономической и политической нестабильностью, которые невозможно исключить или снизить до приемлемого уровня. Поэтому необходимо предусматривать их финансирование.

Для конкретного эксплуатируемого тоннельного пересечения, безусловно, существует несколько видов риска. По каждому из них должен

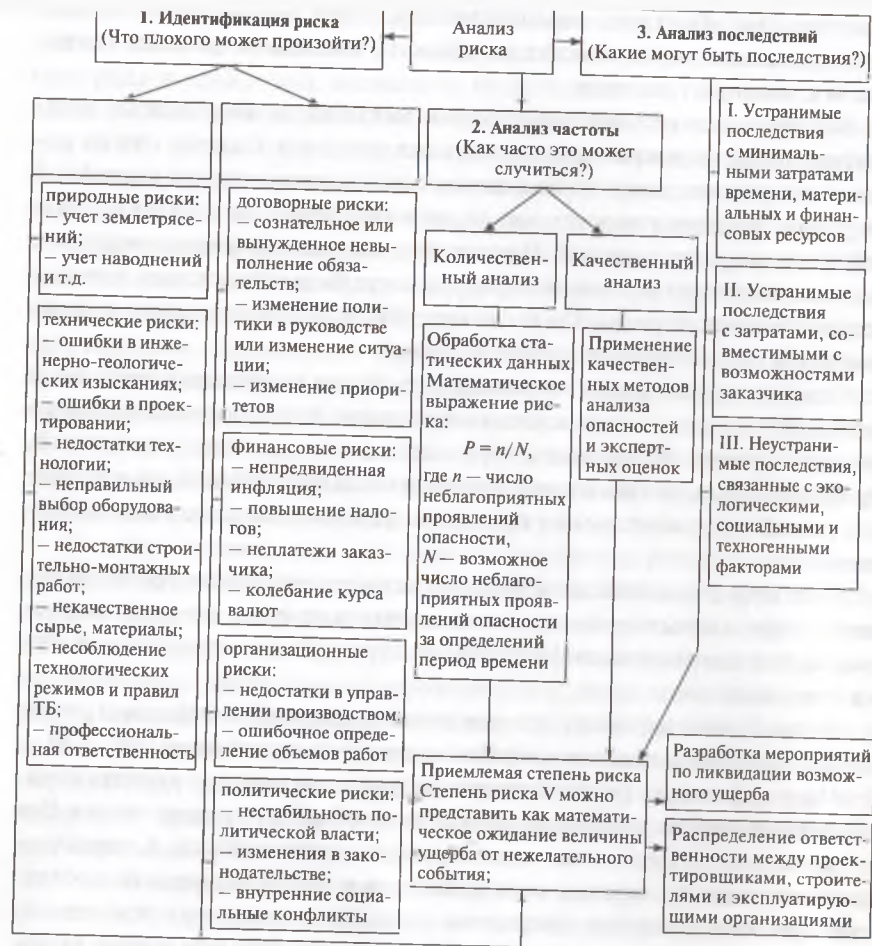


Рис 1.9. Структурная схема к анализу риска

быть проведен анализ частоты или вероятности возникновения определенного вида риска. Частота риска устанавливается в результате качественного и количественного анализа.

Качественный анализ риска основан на применении качественных методов анализа опасностей на основе экспертных оценок. Количественный анализ риска базируется на методах математической статис-

тики и теории вероятностей. Для вероятностно-статистической оценки частоты риска могут быть использованы материалы исследований каждого случая, связанного с авариями на железнодорожном транспорте, где сформулированы соответствующие выводы и определены необходимые мероприятия. Определив для каждого вида риска вероятность его возникновения, необходимо провести анализ последствий с определением величины возможного ущерба.

Последствия ущерба от возможного риска делятся на три категории: устранимые с минимальными затратами времени, материальных и финансовых ресурсов; устранимые с затратами, совместимыми с возможностями эксплуатирующей организации; неустраняемые, связанные с экологическими, социальными и техногенными факторами. Проведение идентификации риска, анализа частоты его возникновения и анализа последствий позволяет обосновать приемлемую степень риска для принятия эффективных решений при выборе мер по снижению или устранению риска.

Глава 2. ЗАДАЧИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

2.1. Задачи текущего содержания

Основной задачей текущего содержания тоннелей и всех элементов, входящих в систему тоннельных пересечений, является обеспечение работоспособного состояния тоннельных конструкций и устройств независимо от изменений эксплуатационных условий и неблагоприятных воздействий окружающей среды с целью безопасного и бесперебойного пропуска транспортных средств с установленными скоростями.

Решается эта задача путем организованного надзора за техническим состоянием тоннельного пересечения и своевременным выполнением ремонтных работ. Понятие «надзор» включает систему визуальных и инструментальных наблюдений, периодических и специальных обследований, направленных на раннее выявление дефектов, прежде всего основных конструкций и устройств, и анализ причин, вызывающих эти дефекты. Ремонтные работы в процессе текущего содержания направлены, в основном, на предупреждение и устранение на ранних стадиях причин и последствий выявленных дефектов. Качественно организованный надзор за техническим состоянием тоннельного пересечения, системный анализ причин и последствий выявленных дефектов и отказов являются залогом выбора своевременных и адекватных ремонтных мероприятий. Комплекс этих мероприятий обеспечивает, в итоге, безопасное функционирование всех элементов тоннельного пересечения в течение нормативных сроков эксплуатации.

Сооружения и оборудование тоннельного пересечения необходимо содержать в соответствии с регламентами, которые разрабатывают для конкретных объектов с учетом конструктивных особенностей, климатических и других местных условий. Очень важно, чтобы текущее содержание было организовано непрерывно в течение всего периода эксплуатации и предусматривало контроль и поддержание в заданных пределах не только технических, санитарных и экологических параметров,

но и состояние интерьера. Это улучшает видимость и условия работы водителей и машинистов транспортных средств, обслуживающего персонала и пассажиров, находящихся в подвижном составе.

Текущее содержание основных и обеспечивающих объектов тоннельного пересечения, за исключением путевых работ, возлагается на тоннельные бригады рабочих. На сети железных дорог руководство работами по содержанию тоннелей протяженностью более 500 м возложено на тоннельных мастеров, а для тоннелей меньшей протяженности они могут быть возложены на мостовых мастеров. На сети федеральных автомобильных дорог общего пользования руководство работами по содержанию тоннелей возлагается на тоннельных мастеров, в пределах участков, которые обслуживают дорожно-строительные управления, входящие в структуру данной федеральной автомагистрали.

Все изложенные в учебнике принципы, правила и рекомендации, касающиеся эксплуатации тоннелей, могут быть использованы при содержании галерей и других сооружений, предназначенных для защиты железных и автомобильных дорог от горных обвалов, осыпей, снежных лавин и селей.

2.2. Организационная структура службы эксплуатации тоннелей

Организационная структура службы эксплуатации искусственных сооружений (ИССО) в системе Министерства транспорта России и входящих в него Федерального агентства железных дорог (Росжелдор) и Федерального дорожного агентства (Росавтодор) представлена на рис. 2.1.

Концептуально структура служб эксплуатации реализует иерархическую схему многоступенчатого управления, при котором управляющие функции распределяются между соподчиненными частями системы от верхних уровней к нижним и отчетностью нижних уровней перед верхними. Ответственность за состояние ИССО несут начальники дистанций пути и работники, непосредственно обслуживающие эти сооружения.

При организации содержания транспортных тоннелей на всех уровнях организационной структуры руководствуются Правилами технической эксплуатации железных дорог, директивными документами федерального, регионального или отраслевого значения, инструкциями и другими нормативными и руководящими документами, устанавливающими требования по обеспечению безопасной эксплуатации сооружений, подвижного состава и пути.

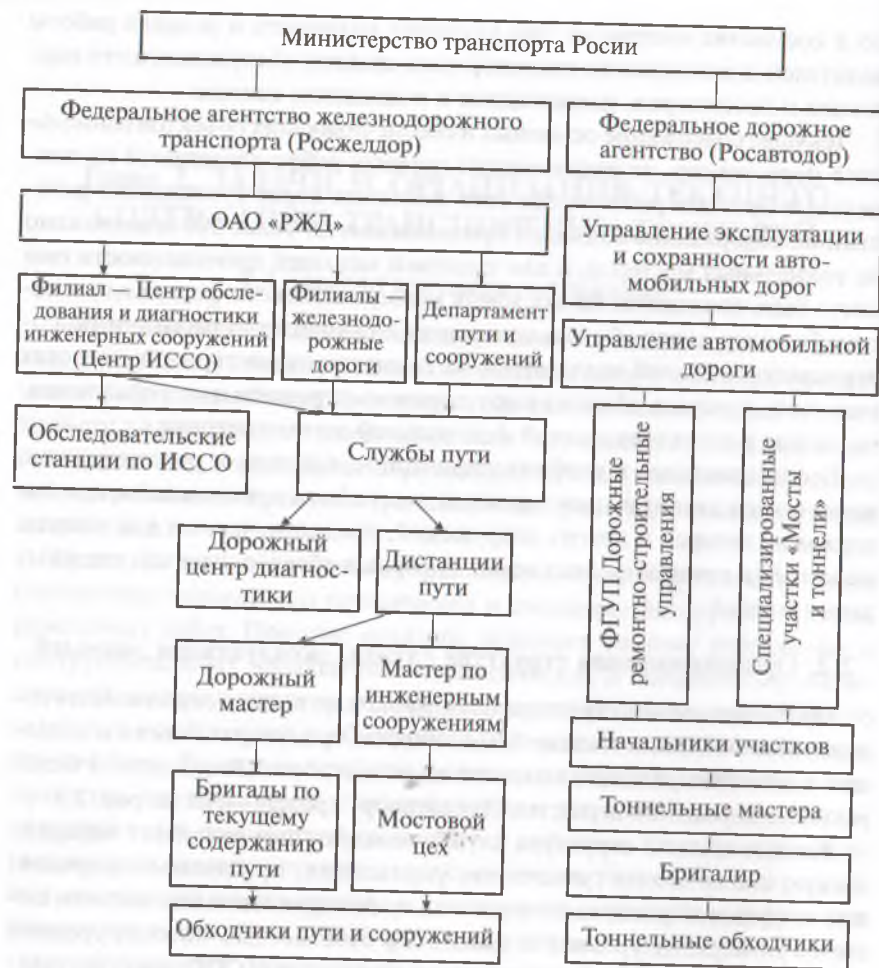


Рис. 2.1. Структурная схема организации содержания тоннелей на железных и федеральных автомобильных дорогах

Техническое состояние и качество содержания железнодорожных тоннелей оценивают в соответствии с «Инструкцией по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах Российской Федерации». Оценку технического состояния и качества содержания автодорожных тоннелей осуществляют в соответствии с «Руководством по техническому диагностированию автодорожных тоннелей».

Уровень эксплуатационной надежности сооружений на дистанции пути в целом или на участке железной дороги оценивают по средней балльной оценке технического состояния искусственных сооружений. Эта величина зависит от качества текущего содержания и ремонта сооружений, входит в основные показатели работы дистанции пути и является одним из критериев оценки ее деятельности.

В структурах управлений железных дорог функционируют диагностические центры и мостоиспытательные станции. Если на дороге имеются тоннельные пересечения, то в штат мостоиспытательной станции должен входить специалист-тоннельщик. Мостоиспытательные станции осуществляют периодический надзор за техническим состоянием пути и ИССО по утвержденным планам в пределах своей дороги.

Надзор за техническим состоянием тоннелей на всей сети железных дорог России осуществляет *тоннельно-обследовательская испытательная станция*. Она является структурным звеном Центра обследования и диагностики инженерных сооружений — филиала ОАО «РЖД».

В своей деятельности тоннельно-обследовательская испытательная станция руководствуется «Положением о тоннельно-обследовательской станции», приказами и распоряжениями директора центра. Кроме того, ее деятельность регламентируется актами федерального органа в области железнодорожного транспорта и другими нормативными актами, внутренними документами и распоряжениями ОАО «РЖД».

Основными задачами станции являются: оценка состояния и качества текущего содержания тоннелей и сооружений тоннельного типа, эксплуатируемых на сети железных дорог ОАО «РЖД», определение мер по обеспечению их нормальной эксплуатации, повышению их надежности и долговечности, обследование, изучение и оценка опытных и новых конструкций тоннелей и их элементов, разработка предложений по их применению, контроль качества строительства новых и реконструкции старых тоннелей и сооружений тоннельного типа.

Для решения возложенных задач сотрудники станции периодически обследуют тоннели и сооружения тоннельного типа, эксплуатируемые на сети железных дорог ОАО «РЖД», проверяют текущее содержание тоннелей и контролируют исполнение ранее намеченных мероприятий по устранению обнаруженных дефектов и неисправностей. Специалисты тоннельно-обследовательской станции разрабатывают и внедряют мероприятия по улучшению качества содержания и ремонта сооружений, повышению их надежности и долговечности.

В обязанность работников станции входит контроль качества строительства новых и реконструкции старых тоннелей, участие (в пределах своей компетенции) во внедрении новых технологий, оборудования и материалов в области обследования, испытания, содержания и ремонта тоннелей и сооружений тоннельного типа. В конечном итоге станция, в меру своей компетенции, обеспечивает безопасное и бесперебойное движение поездов по тоннелям и сооружениям тоннельного типа на территории России. Станция оснащена необходимым диагностическим оборудованием, а штатный состав укомплектован квалифицированными специалистами, что позволяет решать задачи по оценке технического состояния транспортных тоннелей на различных этапах их эксплуатации.

На сети федеральных автомобильных дорог общего пользования надзор за техническим состоянием тоннелей осуществляется штатными сотрудниками дорожно-строительных управлений, входящих в структуру данной федеральной автомобильной дороги. Периодичность работ по надзору и контроль их выполнения осуществляется техническими отделами этих дорог.

2.3. Габариты транспортных тоннелей

Внутреннее очертание обделок транспортных тоннелей должно удовлетворять действующим габаритам приближения строений. Габарит приближения строений транспортных тоннелей представляет собой предельное поперечное (перпендикулярное оси проезжей части) очертание, внутрь которого не должны заходить никакие части сооружений и строительных конструкций. Государственными стандартами для железнодорожных тоннелей, тоннелей на автомобильных дорогах и тоннелей метрополитенов определены различные по конфигурации и размерам габариты приближения строений.

Габарит приближения строений для железнодорожных тоннелей обеспечивает свободное прохождение обращающегося на сети подвижного состава с минимально необходимыми зазорами между подвижным составом и внутренним контуром тоннельной обделки. Размеры этих зазоров назначаются с учетом:

- возможных неточностей в очертании обделки;
- отклонений в расположении оси пути;
- колебаний проходящего подвижного состава;
- нормированных допусков и износов в подвижном составе;

- допусков содержания пути по уровню и шаблону;
- необходимости размещения изоляторов и проводов связи, освещения и сигнализации;
- возможности прохода людей между подвижным составом и стенами тоннеля при вынужденной остановке поезда;
- обеспечения возможности пропуска через тоннель грузов всех степеней негабаритности;
- возможности выполнения некоторых ремонтных работ без перерыва движения поездов.

Габариты приближения строений и подвижного состава за всю историю железных дорог в России претерпели значительные изменения. Это связано с изменением рода тяги, совершенствованием подвижного состава и увеличением скорости движения. Соответственно, в зависимости от времени постройки тоннеля менялись размеры их поперечного сечения.

Первый габарит приближения строений и подвижного состава был введен в действие Министерством путей сообщения в 1860 г., а в 1893 г. был пересмотрен и изменен. В 1925 г. был утвержден габарит 1-С (ОСТ 6435), составленный на основе габарита 1893 г, но уже с 1926 г. строительство железных дорог осуществлялось по габариту 2-С (ОСТ 6435) (рис. 2.2).

В 1934 г. были утверждены специальные тоннельные габариты СТ-1 и СТ-2 (рис. 2.3). После Великой Отечественной войны в 1947 г. очертание габаритов СТ-1 и СТ-2 были изменены: высоту увеличили до 6400 мм, а очертание в пределах стен приняли вертикальным (рис. 2.4).

С 1 января 1960 г. на железных дорогах колеи 1524 мм введен в действие габарит приближения строений С (ГОСТ 9238—59), ставший обязательным и для строительства тоннелей (рис. 2.5).

В 1973 г. постановлением Госстроя СССР утверждены габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм (ГОСТ 9238—73), ставшие общесоюзным стандартом при возведении зданий и сооружений на железнодорожном транспорте (рис. 2.6).

С 1983 г. внутреннее очертание как однопутных, так и двухпутных железнодорожных тоннелей должно удовлетворять действующим габаритам приближения строений С по ГОСТ 9238—83. Очертание габарита по этому ГОСТу сохранено без изменений, исключена только ширина колеи 1524 мм.

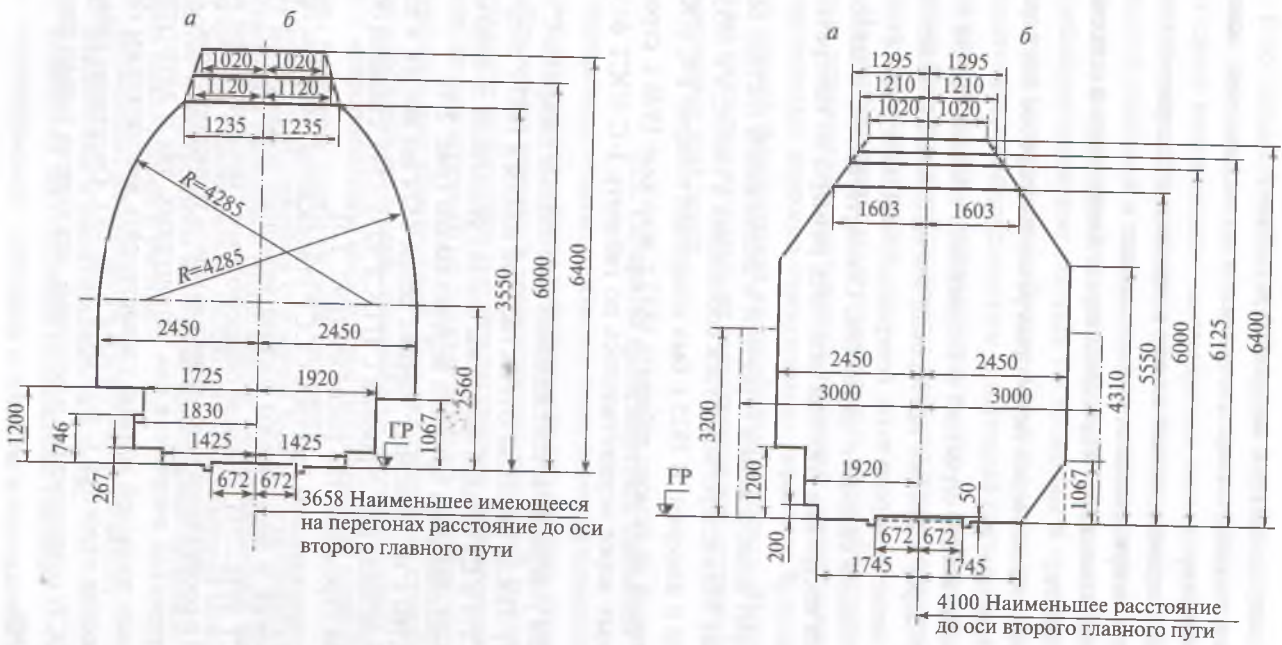


Рис. 2.2. Габариты приближения строений 1-С и 2-С:
 а — на станциях; б — на перегонах

Рис. 2.4. Габариты приближения строений СТ-1 и СТ-2 (1947 г.)

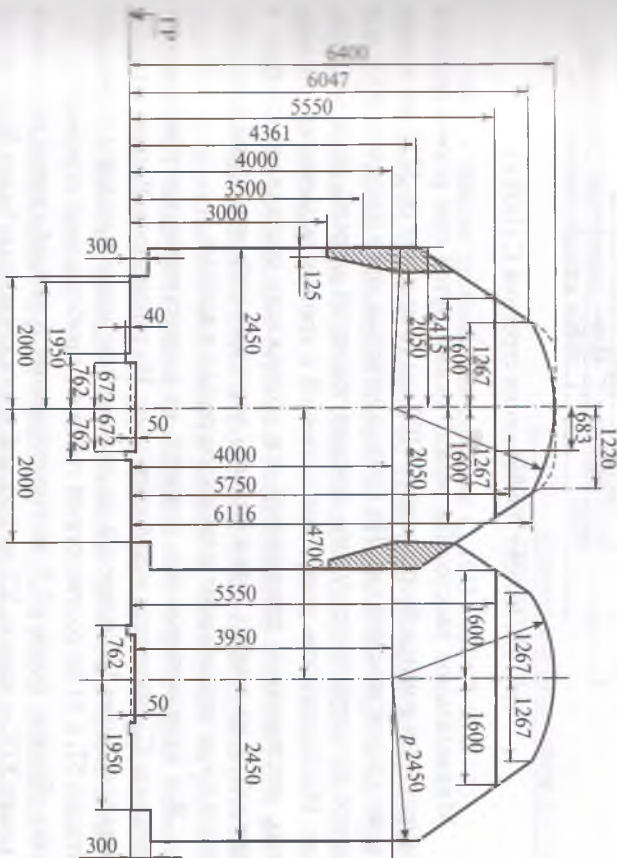
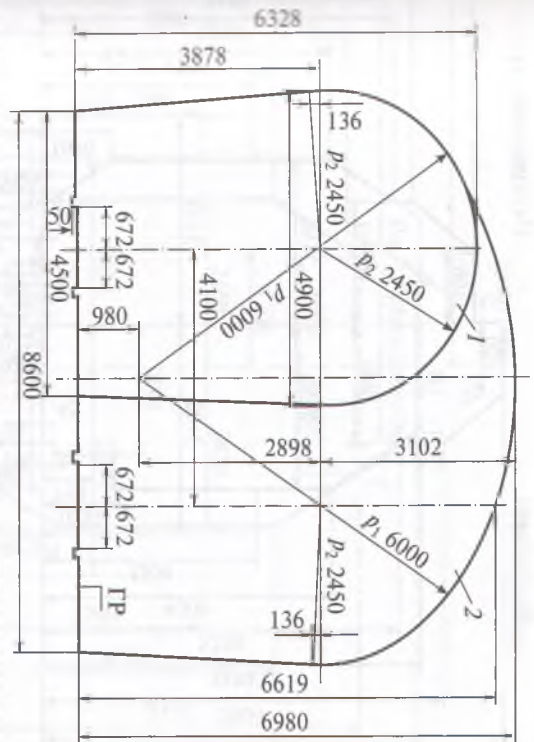


Рис. 2.3. Тоннельные габариты приближения строений СТ-1 и СТ-2 (1934 г.)



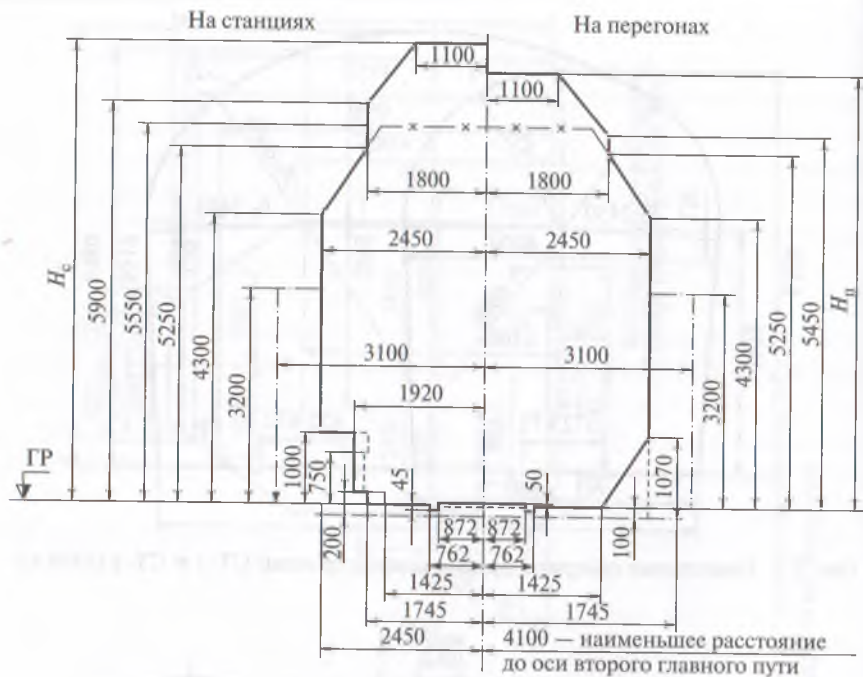


Рис. 2.5. Габарит приближения строений С (1959 г.)

Минимальное расстояние между осями путей при реконструкции двухпутных тоннелей составляет 4100 мм (в отличие от 3720 мм в тоннелях старой постройки). На кривых участках пути радиусом 4000 м и менее размеры поперечного сечения тоннелей должны быть увеличены. Необходимость уширения тоннелей в кривых вызывается, во-первых, отклонением продольной оси подвижного состава от оси пути в кривой, а во-вторых, отклонением вертикальной оси подвижного состава из-за возвышения наружного рельса в кривых.

Все железнодорожные тоннели, не удовлетворяющие требованиям габарита С, считаются негабаритными. На территории России из построенных более 160 тоннелей по разным причинам выведены из эксплуатации 57, а 41 не соответствует габариту приближения строений С. Таким образом, около 40 % эксплуатируемых тоннелей старой постройки (конец XIX — начало XX вв.) общей протяженностью более 30 км должны быть реконструированы с целью ликвидации их негабаритности.

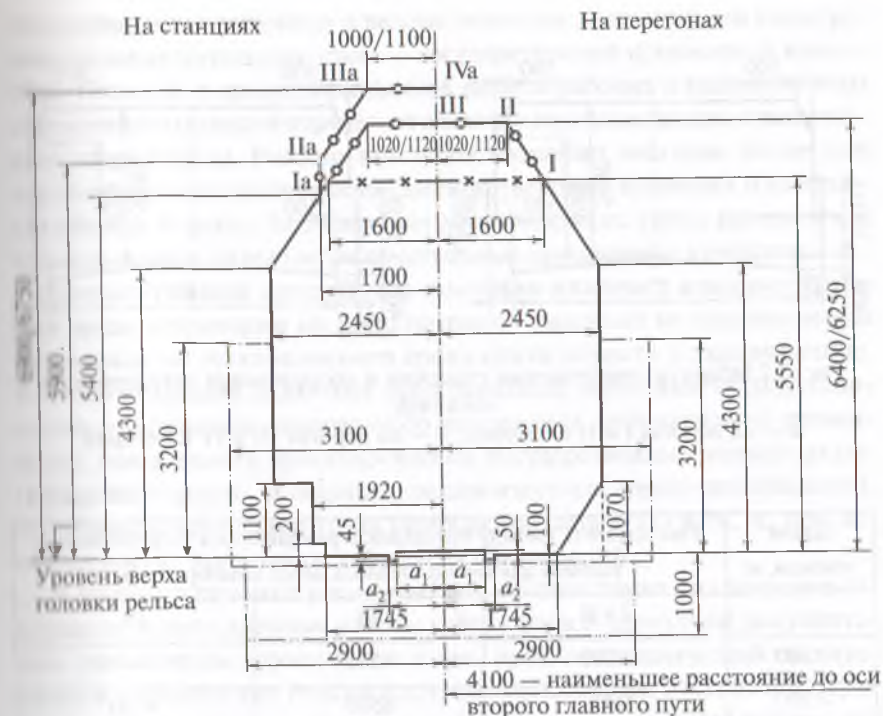


Рис. 2.6. Габарит приближения строений С, 1973 г. (ГОСТ 9238—73)

Следует заметить, что в это число не включены тоннели на Сахалинской дороге, где из 24 тоннелей общей протяженностью 7734 м эксплуатируется только 8. При этом все тоннели построены в 1925 г. под один путь колеи 1067 мм.

Габариты приближения строений автодорожных тоннелей при расположении тоннеля на прямых в плане участках и кривых радиусом более 1000 м должны соответствовать размерам, указанным на рис 2.7. Расстояние Г между боковыми ограждающими устройствами зависит от длины тоннеля и категории дороги и определяется по таблице 2.1. Ширина служебных проходов П принимается 750 мм, а ширина защитной полосы З — 500 мм.

Для автомобильных дорог I категории с числом полос движения 4 и более тоннельное пересечение, как правило, состоит из отдельных тоннелей, предназначенных для каждого из направлений движения. В том

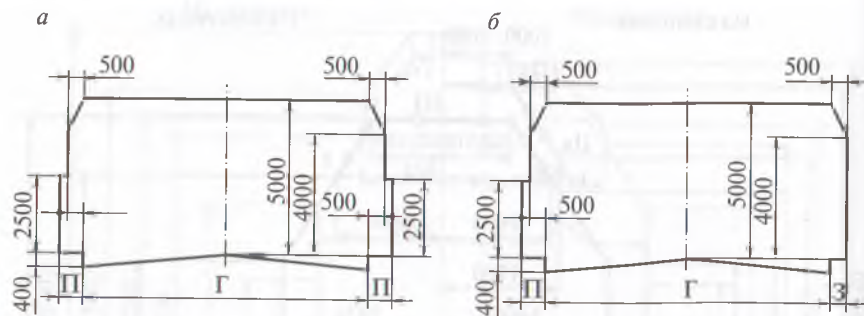


Рис. 2.7. Габариты приближения строений и оборудования автодорожных тоннелей:

а — на дорогах I и II категорий; б — на дорогах III и IV категорий

Таблица 2.1

| Длина тоннеля, м | Расстояние (Г) между боковыми ограждающими устройствами в тоннеле для автомобильных дорог категорий, мм | | |
|------------------|---|------|------|
| | I и II | III | IV |
| < 100 | 9500 | 8500 | — |
| < 300 | 9000 | 8500 | 8000 |
| > 300 | 8500 | 8000 | 7000 |

случае, если тоннель предназначен для обоих направлений движения, ширина разделительной полосы должна быть не менее 1500 мм.

Служебные проходы П на дорогах I и II категорий принимаются по обеим сторонам проезжей части. Для тоннелей, сооружаемых на дорогах III и IV категорий, устраиваются служебный проход (П) с одной стороны и защитная полоса (З) с другой. Тротуары в тоннелях допускается устраивать только при соответствующих технико-экономических обоснованиях. При расположении тоннелей на кривых участках дороги в плане с радиусом 1000 м и менее проезжую часть уширяют. Уширение проезжей части устраивается с внутренней стороны.

2.4. Техническая документация при сдаче тоннеля в эксплуатацию

После окончания строительства тоннель принимает в эксплуатацию приемочная комиссия. Принимают тоннель в два этапа. На первом при-

еме проводится рабочими и ведомственными приемочными комиссиями, на заключительном этапе — государственной приемочной комиссией. Порядок и продолжительность работы рабочих и ведомственных приемочных комиссий определяет заказчик по согласованию с генеральным подрядчиком. Рабочие комиссии назначает заказчик, после того как генеральный подрядчик письменно уведомит заказчика о готовности объекта к сдаче. За 30 дней до установленного срока приемки начальник дороги назначает ведомственные приемочные комиссии.

Государственные приемочные комиссии назначает административный орган территории по представлению заказчика не позднее чем за три месяца до установленного срока сдачи объекта в эксплуатацию. В состав комиссии включают представителей заказчика, эксплуатационной организации, генерального подрядчика, субподрядных организаций, генерального проектировщика, государственных надзорных органов (санитарного, пожарного, экологического, горно-технического), технической инспекции труда профсоюзов, штаба ГО и ЧС и, при необходимости, представителей других организаций.

В процессе приемки устанавливают, соответствуют ли сдаваемое сооружение и выполненные работы утвержденной проектной документации, требованиям строительных норм, правилам технической эксплуатации железных дорог России и другим нормативным документам. Приемка должна охватывать все виды работ, включая скрытые работы, все типы конструкций и их отдельные части.

Объекты строительства должны предъявляться к приемке государственной приемочной комиссией только после того, как будут устранены недоделки и замечания, выявленные рабочими комиссиями, и проведены пусконаладочные работы и испытания установленного оборудования.

Объекты строительства могут быть приняты и введены в эксплуатацию как в полном объеме, так и отдельными пусковыми комплексами, если это предусмотрено утвержденной проектной документацией. Однако из состава пусковых комплексов не могут быть исключены сооружения, предназначенные для обслуживания персонала, а также мероприятия по обеспечению здоровых и безопасных условий труда и защите природной среды. Объекты строительства могут быть приняты в эксплуатацию только в случае, если они укомплектованы эксплуатационными кадрами, обеспечены энергоресурсами, оборудованием и другим в объеме, предусмотренном проектом.

... каждый вводимый в эксплуатацию тоннель составляется техническая документация, которая при сдаче сооружения передается заказчику строительной организацией. В состав документации входит следующее:

- утвержденная проектно-сметная документация;
- документы об оформлении и согласовании допущенных в процессе строительства изменений и отступлений от утвержденных проектов;
- оформленный план полосы отвода земли над тоннелем и на подходах к нему;
- исполнительный инженерно-геологический разрез по оси тоннеля, включающий следующие данные:
 - пикетаж, тип и длину колец обделки;
 - инженерно-геологические характеристики грунтового массива, места тектонических нарушений, трещин и плоскостей скольжения, физико-механические свойства грунтов, основанные на испытаниях образцов из каждого слоя через 100 м тоннеля;
 - гидрогеологическую характеристику вскрытых грунтовых массивов, пикетаж мест выхода подземных вод и их дебит, результаты химического анализа воды, взятой из каждого забоя не реже двух раз в месяц;
- исполнительные чертежи конструкций порталов, водоотводных устройств перед порталами и над ними, крепи боковых откосов выемок перед порталами, крепи лобового откоса выемки, описание и абсолютное значение геодезического репера, устанавливаемого на фасадной части портала, чертежи конструкций подпорных стен в предпортальных выемках;
- исполнительные чертежи обделки тоннеля: продольный разрез тоннеля с разбивкой обделки на кольца (а при монолитной обделке — по температурным швам), поперечные сечения обделки с указанием отклонений от проектного положения, план тоннеля в уровне головки рельсов с указанием расположения ниш и камер; продольные профили и поперечные разрезы водоотводных лотков и дренажей, данные о проверке габарита тоннеля;
- план в горизонталях надтоннельной поверхности, включая предпортальные выемки в масштабе 1:500 или 1:1000 с указанием оси тоннеля и поверхностных водоотводных устройств;
- акты на все скрытые работы (в процессе строительства) с указанием размеров оснований фундаментов, толщины пят и замка свода и обратного свода обделки, акты на приемку скрытых работ по укладке

арматуры каждого кольца обделки, акты на приемку скрытых работ по устройству гидроизоляции и др.;

- документы, характеризующие качество применяемых материалов, соответствие их проекту и ТУ, сведения о марке и названии цемента, модуле крупности песка, щебня, гравия с указанием карьера, результаты испытаний бетонных образцов для кладки стен, свода и обратного свода обделки, данные о количестве отобранных проб бетона, результаты химического анализа воды затворения, журнал бетонных работ (с записями на каждое кольцо) и журналы нагнетания растворов за обделку, технологическая схема производства горнопроходческих работ по этапам, график обводненности тоннеля по каждому кольцу;
 - документы по оповестительной и заградительной сигнализации, видеонаблюдению, освещению и вентиляции: исполнительные чертежи, пояснительные записки и акты проверки работы этих устройств, по устройствам вентиляции дополнительно — акт о режиме эксплуатации, составленный проектной организацией совместно с врачебно-санитарной службой дороги, результаты проверки фактической загазованности тоннеля;
 - документация по устройству железнодорожного пути: журнал нивелировки V разряда прямым и обратным ходами, ведомость отметок реперов на порталах и стенах тоннеля;
 - акт приемки тоннеля в эксплуатацию, который должен содержать сведения о персональном составе комиссии, основание приемки, данные о параметрах тоннеля, характеризующих период строительства, данные об основных геометрических параметрах тоннеля, материале обделки, количестве колец, водоотводных устройствах, роде и толщине основания пути, электроосвещении, вентиляции, сигнализации и связи, системе подвески контактного провода в электрифицированном тоннеле, а также данные об обводненности, обнаруженных дефектах и недоделках с указанием сроков их устранения.
- Акт считается действительным только при наличии в нем подписей всех членов комиссии. Акт комиссии утверждает орган, назначивший комиссию, в срок не более месяца. При выявлении непригодности объекта к эксплуатации комиссия должна представить мотивированное заключение об этом в органы, назначившие комиссию, заказчику, генеральному подрядчику и генеральному проектировщику.

2.5. Техническая документация на эксплуатируемые тоннели

На каждый тоннель, как и на другие искусственные сооружения, заводят техническую документацию, которая содержит: паспорт тоннеля, карточки установленной формы (ПУ-15, ПУ-15а, ПУ-16, ПУ-17), тоннельную книгу (ПУ-12а), дело искусственного сооружения. Эти документы содержат основные сведения о сооружении, при изменении которых в них вносят соответствующие исправления.

Паспорт тоннеля включает основные данные принятой от подрядчика технической документации, которые необходимы для эксплуатационного надзора. Эта документация включает: геологический разрез; продольный профиль с указанием типов обделки, нумерации колец; краткое описание инженерно-геологических и гидрогеологических условий; план поверхности над тоннелем и подходах к нему; данные о водоотводных устройствах, устройствах сигнализации, освещения и вентиляции. В последующем в паспорт тоннеля, хранимый в дистанции пути, вносят изменения, происшедшие в результате капитального ремонта или реконструкции.

Карточка тоннеля (форма ПУ-16) содержит основные технические характеристики и данные о сооружении. Ее составляет тоннельный мастер по установленной форме на основании данных технической документации, сличенных с фактическим состоянием сооружения. Правильность составления карточки проверяет начальник дистанции пути и утверждает начальник службы пути дороги. Карточка составляется в трех экземплярах, первый из которых хранится в дистанции пути, второй — в службе пути дороги, третий — в Департаменте пути и сооружений Росжелдора.

В конце каждого года тоннельный мастер вносит в карточку тоннеля все изменения, вызванные проведением ремонтно-оздоровительных работ в течение указанного срока. Также корректируются технические показатели тоннельного пересечения после капитального ремонта или реконструкции.

Тоннельная книга (форма ПУ-12а), в которую заносят данные о состоянии, является важнейшим техническим документом. В ней фиксируется как текущее состояние всех сооружений и обустройств, входящих в тоннельное пересечение, так и осуществление надзора, обоснование и целесообразность проводимых ремонтно-оздоровительных работ. Отдельную тоннельную книгу заводят на каждый тоннель дли-

ной 100 м и более, на остальные ИССО — одну или несколько тоннельных книг по участкам. Тоннельная книга состоит из отдельных сброшюрованных и пронумерованных бланков.

Бланк 11 — «Схема тоннеля». Приводится схема тоннеля с указанием типов обделки, нумерации колец, поперечных разрезов, профиль и план пути.

Бланк 12 — «Характеристика тоннеля». Указываются год постройки, длина тоннеля, габарит приближения строений, количество путей, род и толщина балласта, количество полос движения, материал обделки, характеристики водоотводных и вентиляционных устройств, обеспечивающих систем и другого оборудования.

Бланк 13 — «История сооружения». Излагаются краткие сведения об особенностях постройки тоннеля, авариях, разрушениях, восстановительных работах, капитальном ремонте, мерах по борьбе с обводненностью, а также данные об ограничениях скоростей движения с указанием причин, сроков выдачи и отмены предупреждений, сведения о мероприятиях, способствовавших отмене ограничений.

Бланк 14 — «Стены, своды и порталы». Записываются результаты осмотров стен, сводов, порталов тоннеля с детальным описанием повреждений и расстройств, выявленных при осмотрах. По ранее выявленным неисправностям отмечается их состояние и описываются все изменения, происшедшие после предыдущего осмотра, указывается наименование и объем необходимых ремонтных работ.

Бланк 15 — «Внутритоннельный водоотвод и обустройства». Приводятся результаты осмотра водоотводных лотков, дренажей, штолен, галерей, колодцев, подходных выемок, надтоннельной поверхности, вентиляционных коллекторов, шахтных стволов. По ранее выявленным неисправностям отмечают их состояние и подробно описывают все изменения, происшедшие после предыдущего осмотра, с указанием объемов ремонтно-оздоровительных работ.

Бланк 17 — «Путь, проезжая часть и проверка габарита». Отмечаются результаты проверки рельсового пути и габарита. Все изменения очертания обделки показывают на чертежах поперечных разрезов соответствующих колец тоннеля.

Бланк 21 — «Ремонтные и строительные работы». Отражаются работы, произведенные дистанцией пути или строительной организацией.

Бланк 22 — «Записи инспектирующих лиц». Заносятся записи работников управления дороги и вышестоящих организаций, производящих осмотр сооружения и проверяющих правильность ведения книги.

За ведение книги отвечает тоннельный (или мостовой) мастер. Записи в тоннельной книге производят в ходе каждого текущего, периодического или специального осмотра, а также во всех случаях обнаружения каких-либо изменений в состоянии тоннеля. При отсутствии неисправностей в тоннеле, на соответствующих бланках тоннельной книги инспектирующее лицо делает отметку «В исправном состоянии».

Правильность ведения тоннельной книги проверяет начальник дистанции пути (директор ДРСУ) при каждом периодическом осмотре тоннеля, о чем делает отметку (подпись) на бланке 22. Записи в тоннельной книге являются важной исходной информацией при установлении причин появления дефектов и при разработке мероприятий по их устранению.

«Дело искусственного сооружения», которое вместе с описью имеющейся по тоннелю документации хранят в дистанции пути, состоит из исполнительных и других чертежей вместе с пояснительными записками, иными техническими документами, полученными при сдаче тоннеля в эксплуатацию. В него помещают также материалы стационарных наблюдений, акты и отчеты обследований, графики обводненности и развертки тоннельной обделки с нанесенными на них дефектами.

Для единообразия записей во всех технических документах счет колец тоннеля ведут по ходу километров, начиная с единицы. При этом термин «кольцо» используют независимо от формы поперечного сечения обделки (круговая, подковообразная, сводчатая и др.). Ширина кольца монолитной бетонной обделки принимается равной расстоянию между «холодными» кольцевыми швами, т.е. величине захватки бетонирования, принятой при возведении обделки.

Накопленная в технических документах информация о результатах текущих (при обходах) и периодических (плановые осмотры) наблюдений является основой для прогноза возможных изменений технического состояния тоннеля и разработки мероприятий по обеспечению его эксплуатационной надежности. Первичную информацию о состоянии тоннеля после каждого проведенного обхода и осмотра заносят в рабочие журналы, тоннельные книги и журналы распоряжений обходчики, бригадиры, тоннельные мастера, специалисты дистанции.

Если обследование производили специалисты дороги или тоннелеобследовательских станций, то результаты обследования заносят в тоннельные книги, журналы распоряжений с составлением актов, заключений и рекомендаций с указанием сроков устранения выявленных дефектов.

Глава 3. ПОВРЕЖДЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБУСТРОЙСТВ

3.1. Общие сведения

Обделка является наиболее ответственной частью сооружения, предохраняющей тоннельную выработку от обрушения. При неблагоприятных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, проявлениях интенсивного горного давления, а также при воздействии климатических, сейсмических или других факторов в обделке нередко возникают значительные усилия, отличные от расчетных (принятых в проекте). Существенные изменения условий работы приводят к локальным повреждениям и разрушениям тоннельных конструкций и устройств. Повреждения имеют различные причины возникновения и оказывают различное влияние на техническое состояние как отдельных элементов, так и тоннельного пересечения в целом.

Установлено, что большинство повреждений тоннельной обделки происходит не внезапно, а развивается в течение определенного времени и сопровождается рядом характерных признаков. В этих условиях поддержание хорошего внешнего вида обделки позволяет обнаружить возникающие дефекты на начальном этапе их развития и принять меры к быстрому их устранению. Правильная оценка тяжести последствий образования повреждений и назначение соответствующих профилактических защитных мероприятий является актуальной задачей при эксплуатации тоннелей.

По причинам возникновения дефекты конструкций разделяют на следующие виды.

Конструкционные дефекты связаны с ошибками изысканий, несовершенством или нарушением установленных правил, норм проектирования и конструирования. Примерами могут служить отсутствие гидроизоляции тоннеля, дренажных устройств, недостаточная несущая способность обратного свода или его отсутствие при интенсивном боковом давлении вмещающих грунтов, недостаточная тепловая защита дренажных и водоотводных устройств или их заложение в зоне сезонного промерзания грунтов при неблагоприятных температурных усло-

виях эксплуатации, неверное расположение или отсутствие деформационных и сейсмических швов, неорганизованный сток воды.

Производственные дефекты связаны с отступлениями от конструктивных параметров отделки, заложенных в проекте. Так, если бетон или набрызгбетон временной крепи (первичной отделки) по причине недосмотра при бетонировании или в результате чрезмерных деформаций крепи войдет в пределы проектного сечения постоянной отделки, то строитель обязан исправить этот дефект до ее бетонирования. Производственные повреждения часто связаны и с нарушением технологии бетонных работ. Например, нарушение технологического регламента приготовления и доставки бетонной смеси, некачественная с недостаточным уплотнением укладка за опалубку бетонной смеси. При отсутствии на обводненном участке организованного отвода грунтовой воды перед бетонированием отделки происходит вымывание цемента из вновь уложенного бетона. К ним относятся продольные холодные швы между блоками бетонирования в отделке, пустоты за отделкой из-за некачественного нагнетания раствора и др.

Производственный контроль, являющийся обязательной и ответственной технологической операцией, требует значительных затрат труда, времени и средств. В западных странах затраты на него в денежном выражении составляют 15...20 % от стоимости строительства, а в нашей стране до настоящего времени они не превышают 1 %.

Эксплуатационные дефекты связаны с недостаточным кадровым и техническим оснащением эксплуатирующих организаций, несвоевременным и некачественным выполнением ремонтно-оздоровительных мероприятий в процессе содержания тоннеля, а также с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации. Например, повреждение отделки негабаритным грузом или подвижным составом при отклонении положения пути в плане и профиле.

Деградационные дефекты проявляются в связи с естественным старением, изнашиванием, коррозией и усталостью материала отделки при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Дефекты тоннельных отделок могут быть *явными*, выявляемыми при осмотрах, и *скрытыми*, которые можно обнаружить лишь детальным обследованием с использованием специальных методик и оборудования и сопоставлением полученных данных с данными технической документации и результатами предшествующих обследований.

К явным повреждениям отделки относят трещины и разрушения материала сводов и стен, расстройство швов, нарушения работы водоотводных устройств, обводненность и наледи, к скрытым — деформации конструкций, образование пустот за отделкой, просадки основания, повреждения конструкций со стороны грунтового массива (в том числе обратных сводов). Скрытые повреждения наиболее опасны, поскольку их развитие вызывает появление других дефектов. Связанные с ними просадки и деформации конструкций нарастают медленно (годами, иногда десятилетиями), интенсивность их развития трудно устанавливается, а последствия непредсказуемы. В практике эксплуатации тоннелей имеются случаи, когда процесс нарастания деформаций тоннельных конструкций остается продолжительное время незамеченным или оставляется без должного внимания вплоть до разрушения конструкций. Это приводит к возникновению аварийных ситуаций с угрозой обрушения и необходимости принятия срочных мер по их ликвидации. Проведение срочных работ в таких случаях небезопасно для движения транспортных средств и работающих, сопряжено с большими трудностями.

3.2. Дефекты отделок из монолитного бетона и железобетона

Наиболее распространенными дефектами бетонных и железобетонных отделок являются: трещины в бетоне, сквозные и несквозные вывалы бетона отделки, отслоения бетона (сколы), пористый или слабый бетон, выщелачивание бетона; снижение прочности бетона из-за исчерпания ресурса морозостойкости, раковины и каверны в пределах толщины защитного слоя с оголением арматуры, химическая и электрохимическая коррозия арматуры.

Трещины в бетоне отделки могут возникнуть еще в период ее бетонирования. Это так называемые технологические трещины. Из-за охлаждения еще не набравшего проектной прочности бетона при раннем распалубливании с нарушением регламента ухода за уложенным бетоном образуются усадочные трещины. По форме и простираению они на отделке не имеют строгой направленности, хаотичны, часто представляют собой мелкую сеть «волосяных» трещин раскрытием менее 0,1 мм.

Как правило, трещины возникают по «холодным швам» на контактах между затвердевшим и вновь уложенным бетоном при перерывах, неизбежных во время бетонирования очередной захватки (рис. 3.1). В результате неравномерных по сечению отделки деформаций, возни-



Рис. 3.1. Кольцевые трещины с высолами по холодным швам

кающих от действия температуры окружающего воздуха, появляются температурные трещины.

В железобетонной обделке из-за стесненной арматурой усадки бетона, коррозии арматуры возникают продольные трещины вдоль рабочей арматуры. Причинами развития коррозии арматуры могут быть недостаточная толщина защитного слоя или низкая плотность бетона в этом слое. При изменении величин и характера нагрузок и воздействий на конст-

рукцию, принятых в проекте, либо отступления от проектных параметров обделки при ее возведении в обделке возникают силовые трещины. Чаще всего они простираются под углом или вдоль оси тоннеля с раскрытием внутрь в случаях развития вертикального или бокового горного давления.

Трещины различного происхождения в процессе эксплуатации тоннеля с той или иной степенью интенсивности могут развиваться в течение нескольких лет, снижая несущую способность обделки. Степень влияния трещин на долговечность сооружения зависит от их расположения, направления и динамики развития. Различают трещины продольные, поперечные или дуговые (восходящие, затухающие от основания к верхнему своду, и нисходящие, затухающие к фундаменту конструкции) и наклонные (рис. 3.2).

Наименее опасными являются продольные трещины, образующиеся при строительстве по условиям производства работ при раздельном бетонировании элементов обделки. Более опасны дуговые поперечные и наклонные трещины с раскрытием более 1 мм, иногда приводящие к разрушению участков обделок. Любые трещины, даже если они не влияют существенно на условия статической работы конструкции, повышают водопроницаемость обделки и, как правило, служат очагами зарождения более серьезных дефектов.

По активности развития различают трещины стабилизировавшиеся и активные. Стабилизировавшиеся трещины без обводнения не пред-



Рис. 3.2. Наклонные трещины в бетонной обделке раскрытием 5—6 мм с интенсивными высолами

ставляют угрозы и могут быть ликвидированы заполнением цементным раствором или другими материалами с предварительной обработкой (околкой, расчисткой) кромок. Активные трещины представляют серьезную угрозу несущей способности конструкций.

Следствием развития системы трещин чаще всего являются отслоения и вывалы бетона из обделки. Основная причина образования отслоения и вывалов — замерзание воды в трещинах и пустотах обделки и прилегающего к ней слоя грунта. Однако причиной вывалов могут стать пучение грунта за обделкой, а также гниение и разрушение древесины временной крепи, оставленной за обделкой при проходке. Различные по площади вывалы могут захватывать часть бетона по толщине обделки (несквозные вывалы, рис. 3.3, а), но могут распространяться и до грунта (сквозные вывалы, рис. 3.3, б).



Рис. 3.3. Несквозной вывал в своде обделки (а) и сквозной в стене (б)

Разрушение внутренней поверхности сводов и стен бетонных и железобетонных обделок проявляется в виде сколов, выщелачивания раствора в швах и коррозии арматуры. Сколы бетона обделки на небольшую глубину (защитного слоя в железобетонных обделках), если они не являются следствием деформации обделки, чаще всего происходят в результате воздействия низких и знакопеременных температур воздуха и фильтрации воды через обделку: вода, заполняя поры, при замерзании разрушает материал. Сколы возможны и при отсутствии обводнения вследствие впитывания влаги, избыточно содержащейся в воздухе тоннельной атмосферы.

Ускоренное разрушение монолитных бетонных обделок может быть вызвано действием агрессивных сред. Негативное воздействие агрессивной среды особенно скоротечно проявляется при низком качестве бетонирования. Пористый бетон (наличие раковин, каверн) так же, как и слабый (рыхлый, легко разрушающийся ручным инструментом) увеличивает водопроницаемость обделки, что активизирует процесс выщелачивания. Выщелачивание бетона проявляется в виде так называемых «высолов» — белых пятен, потеков и наплывов, что является признаком уменьшения прочности бетона (рис. 3.4). Разрушение бетона обделок в агрессивных средах происходит главным образом по связующему — цементному камню, а заполнители обладают, как правило, большой плотностью и химической стойкостью. Являясь высокощелочным материалом, бетон активно реагирует с газами и жидкостями, имеющими кислую природу.



Рис. 3.4. Разрушение поверхностного слоя обделки в результате выщелачивания бетона

Таким образом, интенсивность коррозии бетона во многом зависит не только от химического взаимодействия агрессивной среды с цементным камнем, но и в значительной степени от физического состояния бетонной конструкции, в первую очередь, плотности бетона, его газо- и водонепроницаемости.

3.3. Дефекты сборных железобетонных и чугунных обделок

Обделка из сборных железобетонных элементов (тюбингов или блочной) получила широкое распространение на строительстве подземных линий метрополитена, сооружаемых закрытым способом. В отечественной практике строительства железнодорожных и автодорожных тоннелей сборная обделка кругового очертания выполняется только на участках трассы, проложенной в слабых неустойчивых грунтах с применением проходческих щитов. В мировой практике при строительстве протяженных транспортных тоннелей в конце прошлого века наметилась тенденция применения тоннельно-проходческих механизированных комплексов. Проходка тоннелей с применением таких комплексов осуществляется в широком диапазоне инженерно-геологических условий с блочной железобетонной обделкой кругового очертания повышенной водонепроницаемости. Такие конструктивно-технологические решения принимаются при проектировании как железнодорожных, так и автодорожных тоннелей.

Дефекты тоннельных обделок из сборного железобетона несколько отличаются от повреждений монолитных конструкций. Это связано с особенностями конструкций и статической работы сборных обделок, как правило, кругового очертания со связями растяжения или без таковых, с центрированными или плоскими стыками. Заводское изготовление сборных железобетонных элементов позволяет обеспечивать высокие и стабильные технические параметры конструкций при строительстве.

Однако при эксплуатации в обделках из сборного железобетона часто проявляются производственные или эксплуатационные дефекты. В элементах блочной обделки или в спинках и ребрах тюбингов железобетонной обделки возможны усадочные трещины, допущенные при изготовлении сборных элементов. При монтаже обделки или транспортировке сборных элементов в забой возможны сколы кромок и углов с оголением арматуры. Из-за отступлений от технологического регламента при монтаже обделки может быть превышена допустимая эллиптичность колец, а блоки в кольце уложены с уступами. От усилий щитовых домкратов в блоках напротив уступов в смежном кольце наблюдаются косые и продольные трещины, возможны трещины и сколы в ребрах тюбингов. Эксплуатационные повреждения проявляются в виде разрушения и выпадения чеканочного материала из стыков сборной обделки, про-



Рис. 3.5. Сколы, трещины и высолы в блоках сборной железобетонной обделки

течек подземных вод через стыки и отверстия для нагнетания растворов за обделку, в том числе с выносом грунта, трещины и разрушения бетона в местах расположения закладных деталей (рис. 3.5).

Наиболее опасны деструктивные изменения в бетоне сборных железобетонных обделок в результате коррозии, длительных знакопеременных температурных и внутренних механических усилий, приводящие к снижению несущей способности обделки и проявляющиеся

в виде чрезмерных деформаций колец.

Особого рассмотрения заслуживает вопрос об эксплуатационной надежности железобетонных обделок нового поколения, собранных из блоков повышенной водонепроницаемости с профильными герметизирующими уплотнителями в стыках. Герметичность обделки обеспечивается за счет сжатия профильного элемента между торцами блоков в период монтажа обделки. Этому способствует также свойство материала разбухать под воздействием воды. Профильный элемент должен удерживаться в сжатом состоянии в течение всего срока эксплуатации сооружения. Укладка колец с перевязкой радиальных (продольных) стыков уменьшает риск нарушения герметичности обделки в углах блоков. Такая обделка, обладая высокой несущей способностью, обеспечивает герметичность тоннеля даже в сильно обводненных грунтах при гидростатическом давлении до 0,5 МПа.

Однако критерием оценки эксплуатационной надежности сборной обделки, расположенной в слабых водонасыщенных грунтах, следует считать сохранность гидроизолирующих прокладок в случае раскрытия стыков между блоками в кольце или взаимного смещения смежных колец. Поэтому эксплуатационную надежность тоннеля, пройденного в слабых водонасыщенных грунтах со сборной железобетонной обделкой, можно считать обеспеченной только при условии, если раскрытие стыков приведет лишь к частичному снижению обжатия герметизирующих прокладок между блоками, а смещение смежных колец не нарушит их целостности.

Здесь определяющими параметрами становятся допуски, ограничивающие взаимное смещение герметизирующих прокладок и степень их разуплотнения в процессе монтажа обделки и ее деформаций под нагрузкой. Только соблюдение параметров, которые определены этими допусками, может гарантировать герметичность обделки при заданном напоре грунтовых вод.

Следует иметь в виду, что требования, обеспечивающие эффективную работу герметизирующих прокладок, весьма высоки. Эти требования определяются допусками на сдвиг смежных прокладок и разуплотнение стыков, критическая величина которых измеряется миллиметрами. Однако в процессе длительной эксплуатации тоннеля в сложных инженерно-геологических условиях нельзя исключить развития таких деформаций или смещений, которые могут привести к недопустимому раскрытию стыков и нарушению гидроизоляции обделки и, следовательно, к снижению эксплуатационной надежности тоннеля. В таких условиях следует предусматривать конструктивные связи, препятствующие взаимному сдвигу блоков не только в радиальных, но и в кольцевых стыках сборной обделки.

При сооружении тоннелей в сложных и особо сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, в том числе в подводных тоннелях, применяют сборную обделку кругового очертания из чугунных тюбингов, уложенных с перевязкой продольных стыков между кольцами. Главное преимущество такой обделки при качественно выполненных проектных решениях и строительных работах заключается в высокой несущей способности и надежной гидроизоляции тоннеля, обеспечивающей долговечность и эксплуатационную надежность сооружения. Характер повреждений таких обделок связан, в основном, с недостатками конструирования, правильности учета реальных нагрузок на обделку и качества монтажа тюбингов и, кроме того, с недостаточной коррозионной стойкостью чугуна в агрессивных грунтах.

Наиболее опасны дефекты, вызванные ошибками, допущенными на стадии изыскания и проектирования. К ним относятся трещины в продольных и радиальных ребрах, в спинках тюбингов из-за несоответствия их геометрических параметров действующим нагрузкам, течи в стыках и болтовых соединениях из-за несоответствия примененного уплотнителя (герметика) величине гидростатического давления.

Основные виды производственных дефектов обделок из чугунных тюбингов проявляются в виде течей в стыках и болтовых соединениях



Рис. 3.6. Разрушение чугунного тубинга в обделке тоннеля в результате химической и электрохимической коррозии металла

через негерметичные стыки и болтовые отверстия, зачастую с выносом грунта. Особенностью проявления эксплуатационных дефектов чугунной обделки является химическая или электрохимическая коррозия тубингов и болтовых связей. Несвоевременные меры по предотвращению этого деградиационного процесса могут привести к необратимому снижению проектных сечений тубингов и, как следствие, к возникновению аварийной ситуации (рис. 3.6).

3.4. Деформации и смещения элементов обделки

Деформации и смещения отдельных элементов конструкций следует рассматривать, как и прочие конструкционные, производственные или эксплуатационные дефекты, с индивидуальными причинами возникновения и тяжестью последствий. Однако недопустимые деформации или смещения обделки могут быть значительно опасней трещин, отдельных вывалов или наледей, создавая риск обрушения обделки на деформируемом участке или образования высокой степени негабаритности с тяжелыми последствиями. Поэтому деформации и смещения, вызванные конструкционными или производственными причинами и

из-за некачественной чеканки стыков и отсутствия уплотнительных шайб в болтовых соединениях. В кольцевых ребрах тубингов от усилий щитовых домкратов могут возникать трещины, а из-за некачественной антикоррозионной обработки — коррозия болтов. Некачественный монтаж приводит к сверхнормативной эллиптичности колец обделки, изменяющей характер ее статической работы.

Повреждения, возникшие в процессе эксплуатации тоннеля, тесно связаны с производственными дефектами и, по существу, являются следствием их активизации со временем. К таким повреждениям относятся разрушение и выпадение чеканочного материала из стыков, разуплотнение шайб в болтовых связях, протечки подземных вод

выявленные уже на стадии строительства, должны быть незамедлительно устранены с отображением в исполнительной документации.

Существенные деформации обделки или отдельных ее элементов, изменяющие ее расчетную схему, принятую в проекте, возможны и в процессе эксплуатации тоннелей. Такая ситуация может возникнуть в результате образования в прилегающем к обделке грунтовом массиве карстовой полости, оползня, сдвига по трещинам разлома и др. Признаками деформаций подковообразной обделки является появление таких повреждений, как сдавливание стенок водоотводных лотков, смещение стен на уровне головки рельсов или проезжей части, сколы в своде и виде узкой полосы вдоль тоннеля. Смещение стен внутрь тоннеля происходит в результате развития горного давления, чаще всего на участках, где по тем или иным причинам обделка была сооружена без обратного свода. Стены могут смещаться как с одной стороны тоннеля, так и с обеих сторон. Смещение стен по подошве фундамента обычно влечет появление других дефектов обделки: продольного разлома по своду с раскрытием трещин с наружной стороны, смятия и отколов с внутренней стороны в месте разлома, разрушение конструкций водоотводных лотков, появления негабаритности.

Смещение стен по подошве фундаментов, просадки, размокание грунтов в подошве тоннеля, заиливание и промерзание лотков в большинстве случаев связаны с нарушением отвода воды, которая, растекаясь в подошве, обводняет грунты основания, что вызывает появление указанных дефектов. Деформации замкнутых обделок кругового очертания из сборных железобетонных или чугунных элементов проявляются в форме сверхнормативных отклонений внутреннего очертания обделки от проектного контура. Степень деформации обделки устанавливают инструментальной съемкой поперечных сечений и сравнением их с проектными данными.

Обнаружение деформаций и смещений обделки в эксплуатационный период требует немедленной организации специальных обследований с последующим выявлением причин их возникновения, интенсивности и динамики развития, прогнозирования возможных последствий и принятия мер по восстановлению проектного положения конструкций или стабилизации деформаций. Путем расчетно-теоретического анализа определяют несущую способность деформированной обделки и устанавливают режим эксплуатации деформированного участка с ограничением скоростей движения транспорта, предупреждении

...выполнением других мероприятий, обеспечивающих допустимый риск.

3.5. Коррозия металлических конструкций и пути

Высокая агрессивность атмосферы, грунтов и перевозимых грузов, воздействия блуждающих токов, большие скачки статических токов и переменного напряжения в сочетании с повышенной влажностью и обводнением вызывают интенсивную коррозию металлических тоннельных конструкций. Это приводит к разрушению металла, ухудшению состояния конструкций, снижению надежности и срока службы и большим затратам средств на их ремонт. Защита подземных металлических конструкций от коррозии является одной из главных задач по повышению долговечности и надежности эксплуатации транспортных сооружений.

Особенности подземной коррозии металла. Подземная коррозия может иметь химическую или электрохимическую природу. Процессы коррозии металла в подземных условиях сложны, что обусловлено своеобразием протекания химических и электрохимических процессов в капиллярно-пористых и трещиноватых средах, где взаимодействуют атмосфера, биосфера, литосфера и гидросфера. Замена дизельной тяги электрической освобождает тоннели от вредных продуктов горения, способствующих процессам химической коррозии. Однако в этом случае в тоннелях с постоянной влажностью нередко возникают процессы электрохимической коррозии, в еще большей мере разрушающей металл.

Подземная коррозия стальных конструкций в электрифицированных тоннелях имеет электрохимический механизм и является результатом протекания двух независимых реакций анодной реакции ионизации металла (железа) и катодного восстановления окисленного компонента, в роли которого в грунтах чаще всего выступает молекулярный кислород.

При отсутствии блуждающих токов и взаимосвязи с большими массами металла в среднем толщина диффузного слоя составляет 0,5 мм, а скорость коррозии не более 350 мкм/год. Однако бывают случаи, когда скорость коррозии в грунтах достигает 2 мм/год и более. Это объясняется действием нескольких факторов. Решающее значение имеет состав и агрессивность подземных вод, величины утечек блуждающих токов, скорость анодных процессов, соотношение площадей контактирующих поверхностей анодных и катодных участков и др.

Коррозия пути. В зонах утечки блуждающих токов неизбежно возникает электрохимическая коррозия заземленных поверхностей рельсов и креплений, причем на открытых участках дороги это явление незначительно и практического значения не имеет. В тоннелях отмечено немало случаев, когда на боковых гранях подошвы уложенных тяжелых рельсов, в костыльных и шурупных креплениях уже через 5—6 месяцев их работы в пути возникали сплошные каверны глубиной до 25 мм, а костыли и шурупы в своем поперечном сечении и по длине уменьшались более чем наполовину.

Многолетними наблюдениями установлено, что интенсивность электрохимической коррозии на различных участках тоннеля неодинакова, колеблется в широких диапазонах и в наибольшей мере проявляется на сырых участках тоннеля. Объясняется это тем, что костыльные и шурупные головки, а также плоскости подошвы рельсов и подкладок вследствие образующихся зазоров не имеют постоянного контакта. Попадающие в эти зазоры кислоты и влажная пыль создают проводящую электролитическую среду между являющейся в одном случае анодом подошвой рельса и катодом — головкой костыля или, в другом случае, анодом — костылем и катодом в виде окружающей среды.

В современных конструкциях верхнего строения пути защите от коррозии уделяют большое внимание. Наряду с электроизолирующими упругими прокладками между подошвой рельса и подкладкой, закрепленной на шпале, применяют полимерные покрытия клеммных и анкерных болтов, что максимально снижает утечки электрического тока в основание тоннеля. Только наличие влаги и пыли на промежуточных креплениях способствует этим утечкам. Особенно неблагоприятными в отношении образования анодных зон со значительной утечкой тока являются тоннели, расположенные на кривых, в том числе спиральные и петлевые тоннели.

3.6. Обводненность тоннелей

Обводненность тоннелей является актуальной проблемой в течение всего срока их строительства и эксплуатации. Если учесть, что до настоящего времени в России тоннели с обделками из тесаного камня, бутобетона, бетона и железобетона, в том числе сборного, сооружали без гидроизоляции, то практически каждый эксплуатируемый тоннель в большей или меньшей степени обводнен. Поэтому причиной подав-

ляющего большинства всех вышеперечисленных дефектов является обводненность тоннеля.

Характер водопроявлений в тоннеле многообразен и зависит от происхождения источника, дебита поступающей воды и напора, а также дислокации на обделке, характеристики места выхода воды (отверстие, трещина или пористый бетон). В зависимости от времени года обводненность тоннелей меняется. Весной, как правило, она усиливается за счет талых вод, просачивающихся в грунтовый массив, вмещающий тоннель, или подпитывая водоносные горизонты. Осенью аналогичная картина связана с ливнями, характерными для этого времени года. В целом обводнение тоннеля зависит от гидрологической обстановки района его заложения, фильтрационных свойств грунтов, наличия и эффективности работы дренажных и водоотводных систем, а также технического состояния обделки и показателя ее водонепроницаемости.

Классифицируют водопроявления по виду и интенсивности излияния внутрь тоннеля.

Течь — непрерывная струя воды, слабо или с напором изливающаяся в тоннель из трещин или отверстия в обделке (рис. 3.7). На практике иногда используют понятия: слабая течь — ненапорная с периодическим разрывом струи или сильная течь — напорная, без разрыва струи,



Рис. 3.7. Течь из деформационного шва и из трещины в обделке

при изливе из стены не растекается по ее поверхности и может падать на значительном расстоянии.

Капез — поступление воды в виде отдельных капель. Формирование капеза обусловлено малым дебитом питающих горизонтов в грунте, а также трещиноватой структурой бетона обделки, в связи с чем капез может наблюдаться не только из сквозных дефектов, холодных швов и стыков, но и на значительных площадях поверхности обделки.

Сырость — увлажнение обделки поступающими подземными водами без образования капеза (рис. 3.8). Иногда наряду с сыростью вводят понятие «мокрота», когда на поверхно-

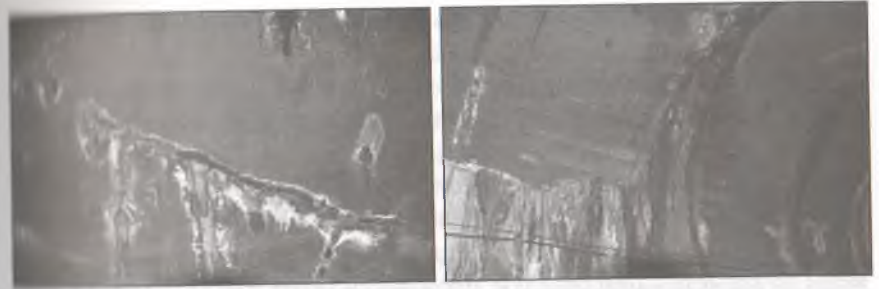


Рис. 3.8. Увлажнения бетона обделки, приуроченные к трещинам и холодным швам

сти обделки обнаруживают явно выраженную пленку воды, удерживающуюся на ней за счет сил поверхностного натяжения.

Химический состав подземных вод определяет выбор проектных решений по защите тоннельных конструкций от коррозии. Поэтому недостатки проектных решений при эксплуатации обуславливают коррозию, являющуюся конструкционным дефектом, требующим адекватных ремонтных воздействий.

При эксплуатации тоннелей анализ химического состава подземных вод проводят с периодичностью не чаще одного раза в пять лет из условия, если надзором за техническим состоянием сооружения не обнаружены признаки коррозии, связанной с химической агрессией воды. В случаях появления таких признаков (отложения солей на поверхности обделки, ржавые потеки в местах течей, снижение прочности и разрыхление цементного камня на обводняемых участках и др.) для анализа необходимо отбирать пробы воды до контакта с корродируемой конструкцией в чистую стеклянную посуду, промытую дистиллированной водой.

Если пробы воды будут взяты непосредственно в тоннеле, то ее химический состав будет искаженным за счет взаимодействия с материалом обделки. Тоннели, эксплуатируемые в удаленных горно-таежных местностях, как правило, обводняются стабильными по химическому составу водами и соответствуют данным изысканий. Что касается метрополитенов и горных тоннелей, расположенных в пределах промышленных зон и городов, здесь химический состав подземных вод может существенно отличаться от данных изысканий и меняться в процессе эксплуатации. Значительное агрессивное воздействие на тоннельные конструкции оказывают протечки канализационных стоков и тепловых

сетей, которые можно обнаружить в тоннеле по запаху поступающей воды и ее температуре.

Проникновение воды в тоннель связано с таким явлением, как суффозия — выщелачивание растворимых веществ и вынос мелких минеральных веществ из грунтов подземными водами. Суффозия вызывает оседание залегающих выше грунтов, образование понижений на поверхности и пустот за обделкой, что нарушает ее статическую работу. При обнаружении признаков суффозии необходимо принимать срочные меры по герметизации обделки, произвести тщательный тампонаж прилегающего к обделке грунтового массива.

3.7. Дефекты водоотводных и дренажных устройств

Важную роль в осушении тоннелей, не имеющих гидроизоляции, и обеспечении нормального функционирования железнодорожного пути и других конструкций и систем выполняют дренажные и водоотводные устройства. Даже незначительные отклонения в их работоспособности могут привести к серьезным нарушениям безопасной эксплуатации сооружения.

Неверный прогноз водопритоков к тоннелю может вызвать переполнение водоотводных лотков, выход воды на балластную призму, образование опасных наледей в зимний период. Забившийся или поврежденный дренаж обуславливает интенсивное обводнение обделки. При отсутствии системы поверхностного водоотвода, некачественном мощении канав в обводнении тоннеля участвуют поверхностные воды.

К повреждениям, являющимся следствием некачественно выполненных работ, относятся зазоры в стыках сборных лотков тоннельного водоотвода и в водоотводных устройствах, уступы, противои уклоны или впадины на дне канав и лотков, препятствующие свободному водотоку, отсутствие водопропускных трубок из балластного корыта в водоотводные лотки. Если в процессе бурения каптажных скважин было допущено отклонение от проекта в их пространственном положении или не выдержана глубина, эффективность работы такой дренажной системы будет довольно низкой.

В процессе эксплуатации тоннеля при неудовлетворительном его содержании выходит из строя система поверхностного водоотвода. Забиваются мусором или зарастают растительностью нагорные канавы, из-за чего поднимается уровень воды в них и снижается скорость водотока, появляются трещины в бетонном мощении канав, в днище и стенках внутритоннельных лотков. В зимнее время в тоннельных лотках из-

за недостаточного их утепления или отсутствия искусственного обогрева замерзает вода. Со временем проявляются и деградационные дефекты, такие как разрушение бетонного мощения канав вследствие утраты ресурса по морозостойкости или кольматация (заполнение частицами грунта, засорение) дренажных скважин.

3.8. Дефекты порталов, рамп, оголовков и подпорных стен

Порталы и оголовки, рампы и подпорные стенки, являясь элементами тоннельного пересечения, выполняют заданные функции по обеспечению безопасного въезда в тоннель, устойчивости порталной выемки, а также архитектурного оформления перехода от наземного участка дороги к подземному. Повреждения этих элементов тоннельного пересечения могут быть конструктивными, связанными с неверным учетом грунтовых и температурных условий при определении глубины заложения фундаментов или уклона откосов. В результате возможно морозное пучение фундаментов, образование трещин в порталных и подпорных стенках, расчленяющих их на отдельные блоки. При нарушении устойчивости откосов и осыпанию грунта возможно опрокидывание подпорных стенок и боковых открьлков порталов.

Опасность для движения транспорта и жизни обслуживающего персонала и пассажиров создает недостаточная высота парапета или подпорной стенки, принятая в проекте. В этом случае не исключено падение камней с лобового и боковых откосов на проезжую часть и подвижной состав. От воздействия атмосферных осадков в сочетании со знакопеременными температурами воздуха разрушаются декоративные покрытия поверхностей и бетонные конструкции с возможным падением отслаивающихся кусков на железнодорожный путь или проезжую часть автомобильной дороги.

Дефекты, рассмотренные в настоящей главе, представляют собой далеко не полный перечень, который может быть существенно расширен, учитывая многочисленность видов неблагоприятных внешних воздействий на тоннельные конструкции и условий эксплуатации сооружений, а также уровней качества их строительства и содержания. В процессе содержания тоннелей большое значение имеет не только своевременное обнаружение всех дефектов, но и анализ происхождения и степени опасности каждого дефекта для тоннельного сооружения с оценкой тяжести последствий их развития. Фактически, по результатам анализа оценивают техническое состояние тоннеля на конкретный момент времени и выбирают виды ремонтных мероприятий.

Глава 4. ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ТОННЕЛЕЙ

4.1. Надзор за техническим состоянием тоннелей

Правилами и указаниями Департамента пути и сооружений Федерального агентства железнодорожного транспорта и Управления эксплуатации и сохранности автомобильных дорог Федерального дорожного агентства установлен определенный порядок технического надзора и контроля за состоянием железнодорожных и автодорожных тоннелей. Работники каждого из этих ведомств руководствуются различными инструкциями по эксплуатации. Тем не менее принципиального различия в концепции организации текущего содержания и оценки технического состояния железнодорожных и автодорожных тоннельных пересечений не имеется.

В зависимости от специфических рельефных и климатических условий региона и особенностей тоннельного пересечения установленный порядок технического надзора может быть дополнен и откорректирован местными правилами, утвержденными начальником дороги. Установленный порядок технического надзора предусматривает периодические и постоянные наблюдения за тоннельным сооружением с целью обнаружения каких-либо дефектов в обделке, железнодорожном пути или проезжей части автомагистрали, водоотводных и других тоннельных устройствах, неисправностей в функционировании всех технических систем, связанных с обеспечением надлежащих эксплуатационных качеств тоннельного пересечения.

Постоянный технический надзор. Такой надзор за тоннелями, как и другими ИССО, осуществляют систематически обходчики пути и ИССО по разработанным тоннельными мастерами графикам обхода. Графики составляют с учетом интенсивности движения транспорта по закрепленному для обхода участку. Длина участка пути на подходах к тоннелю, обслуживаемого тоннельными обходчиками, на железных дорогах устанавливается начальником дистанции пути в пределах не более 500 м, а на автомагистралях — не более 150 м с каждой стороны сооружения.

При проведении осмотров особое внимание обращают на слабые элементы сооружений, участки с неустранимыми дефектами и места с периодически повторяющимися опасными проявлениями (наледями, интенсивным обводнением, падением камней с откосов и др.). При обнаружении дефектов или отказов систем, угрожающих безопасной эксплуатации тоннеля (повреждений конструкций негабаритными грузами, разрушений обделки с падением кусков бетона на путь или проезжую часть, крупных наледей на обделке и пути, сползаний откосов или сходов снежных лавин на подходах к тоннелю и др.), обходчик обязан ограждать опасное место в установленном порядке, немедленно доложить в случившемся тоннельному мастеру и принять возможные меры к устранению опасности.

В обязанности обходчиков входит содержание в чистоте камер и ниш в тоннелях, их побелка, скалывание и уборка наледей; наблюдение за состоянием обделки, проверка состояния выходов из штолен и контроль утепления их в зимнее время. Обходчики ведут «Журнал обходчика железнодорожных путей и ИССО» (форма ПУ-35), в который, помимо записей о приеме и сдаче дежурств, заносят результаты осмотров и проверок верхнего строения пути, тоннельных конструкций и устройств, а также отражают работы, выполненные во время дежурства.

Текущие осмотры. Текущие осмотры тоннелей осуществляют тоннельные мастера, начальник дистанции и его заместители по графикам, установленным начальником дистанции на закрепленных за ними участках. Периодичность текущих осмотров зависит от состояния и вида тоннеля. При исправном состоянии текущий осмотр транспортных тоннелей проводят один раз в три месяца. Для находящихся в ремонте и дефектных сооружений, угрожающих безопасности движения транспорта, необходимы более частые осмотры, вплоть до непрерывного наблюдения сроком до момента полного устранения неисправностей.

Целью текущих осмотров, помимо наблюдения за общим состоянием тоннельного пересечения, является выявление всех неисправностей с выделением тех из них, которые требуют незамедлительного устранения. По результатам текущего осмотра определяют объем необходимых ремонтных работ. В процессе текущих осмотров контролируют, насколько качественно обходчики железнодорожных путей и ИССО выполняют постоянный технический надзор. При необходимости тоннельный мастер инструктирует обходчиков пути и ИССО.

Текущему осмотру подвергают все элементы тоннельного пересечения: обделку тоннеля и штолен, рельсовый путь, порталы, ниши и камеры. К текущему осмотру относят также наблюдения за режимом работы водоотводных устройств и образованием наледей. Результаты текущего осмотра тоннеля с описанием обнаруженных неисправностей и указанием объемов необходимых ремонтных работ тоннельные мастера и бригадиры заносят в «Книгу записи результатов осмотра искусственных сооружений» (ПУ-30), которую ежемесячно проверяет начальник дистанции или его заместитель.

Каждый раз перед наступлением паводкового периода и после его окончания, а также после землетрясений силой 4 балла и более, начальник дистанции пути, его заместитель или главный инженер проводят дополнительный сплошной осмотр тоннеля. Существенные повреждения, выявленные при текущих осмотрах, а также результаты осмотров после землетрясений и сильных ливней заносят в «Тоннельную книгу» (ПУ-12а). Ответственность за ведение «Тоннельной книги», как и «Книги записи результатов осмотра искусственных сооружений» несет заместитель начальника дистанции пути по инженерным сооружениям.

Периодические осмотры. Периодические осмотры всех искусственных сооружений проводят начальник дистанции пути, его заместитель или главный инженер с участием тоннельного мастера. Сроки периодических осмотров устанавливает начальник службы пути в зависимости от состояния сооружений, но не реже двух раз в год (весной и осенью). При этом один из осмотров обязательно проводит лично начальник дистанции. В ходе периодического осмотра детально проверяют общее состояние тоннельного пересечения (в том числе верхнего строения пути на сооружении и подходах к нему) с производством в случае надобности инструментальных измерений.

При этом выявляют повреждения, требующие устранения, составляют перечень необходимых ремонтных работ, оценивают уровень надзора за сооружением, проверяют полноту и качество произведенных ранее работ, дают указания о порядке дальнейшего надзора. Результаты периодических осмотров оформляют актами, заносят в «Книгу записи результатов осмотра искусственных сооружений» (ПУ-30), а также в «Тоннельную книгу» (ПУ-12а) с перечислением выявленных дефектов и указанием объема и сроков требуемых ремонтных работ.

В случаях выявления опасных повреждений, кроме записи в «Тоннельной книге», составляют отчет для представления в службу пути. По

результатам периодических осмотров сооружений разрабатывают утвержденные начальником дистанции пути мероприятия по устранению выявленных неисправностей, дефектов и недостатков в организации содержания, с указанием сроков и ответственных за выполнение. Опасные повреждения, угрожающие безопасности движения поездов и жизни людей, устраняют немедленно.

Нормы содержания, организация надзора, полный перечень работ по текущему содержанию тоннельного пересечения, а также порядок осмотра устанавливаются Инструкцией по содержанию ИССО, другими нормативными документами ОАО «РЖД» по вопросам эксплуатации ИССО и приказами начальника дороги. Конкретные составы и объемы работ текущего содержания устанавливают на основании результатов текущих и периодических осмотров в зависимости от конструкции и состояния сооружения, времени года, эксплуатационных условий. При проведении периодических осмотров руководители управлений и отделений железных и автомобильных дорог, наряду с оценкой состояния сооружений, выявлением дефектов и разработкой мер по их устранению, проверяют организацию надзора и содержания, ведение технической документации, своевременность устранения недостатков, выявленных при предыдущих осмотрах. Результаты осмотров оформляют актами, которые прикладывают к «Тоннельной книге».

4.2. Наблюдения за техническим состоянием тоннельных конструкций и обустройств

Очевидно, что постоянный технический надзор, текущие и периодические осмотры являются профилактическими мероприятиями, призванными путем систематического наблюдения за техническим состоянием тоннельного пересечения обеспечить его безопасное функционирование. Наблюдения ведут за проявлениями деформаций всех несущих конструкций объекта, за обводненностью тоннеля и состоянием прилегающего к тоннелю грунтового массива, за габаритами тоннеля и состоянием верхнего строения пути. Постоянно контролируют вентиляционные устройства и состояние воздуха в тоннеле, исправность освещения, сигнализации и связи.

Наблюдения за повреждениями несущих конструкций. Наблюдения за дефектами тоннельной обделки, как правило, устанавливают на тех участках тоннеля, где при первичном осмотре выявлены дефекты. Все замеченные повреждения (фильтрация воды и выщелачивание бетона,

трещины, раковины, разрушения отдельных участков монолитной обделки или стыков сборной, разрушение защитного слоя, обнажения и коррозия арматуры и закладных деталей, пятна ржавчины на бетонной поверхности, значительные деформации, обнаруженные (невооруженным глазом) наносят на развертку тоннельной обделки с указанием даты их обнаружения (рис. 4.1). Необходимо фиксировать участки бетонной поверхности с пятнами ржавчины, которые являются очагами разрушения бетона вследствие коррозии арматуры. Особое внимание необходимо уделять тщательности зарисовки трещин с указанием их ориентации и фиксации таких параметров, как длина и величина раскрытия.

Наблюдение за характером развития трещин в обделке ведут при помощи гипсовых маячков. Устанавливать цементные маячки не рекомендуется, так как адгезия цемента с бетоном обделки может оказаться меньше, чем прочность перемычки над трещиной, и сдвиг марочки произойдет без разрушения перемычки. Маячки устанавливают по всей длине трещины примерно через 1 м. При этом обязательно наличие маячков в начале и конце трещины. Маячки представляют собой плоские гипсовые накладки в виде двух сопряженных вершинами треугольников, располагаемых таким образом, чтобы исследуемая трещина пересекала перемычку в месте сопряжения треугольников (рис. 4.2.)

На поверхности маячков обозначают дату и порядковый номер. Дальнейшее развитие наблюдаемой трещины определяют по размерам возникающих разрывов и измерением длины от ранее установленной конечной марки. Концы вновь обнаруженных трещин помечают масляной краской с установкой контрольных маячков. Интенсивность развития трещиноватости определяют на основе длительных наблюдений.

Состояние обделки проверяют визуально и выборочным простукиванием сомнительных мест, производя работы с передвижных подмостей и приставных лестниц. Помимо выявления мест слабого поверхностного слоя бетона при простукивании обнаруживают заобделочные пустоты по возникающему в этих местах характерному глухому звуку. При обнаружении видимых невооруженным глазом деформаций или смещений необходимо выполнить нивелировку по маркам, которые закладывают в обделку тоннеля.

Весьма важно вести наблюдение за техническим состоянием оголовков и порталов тоннеля. К их текущему содержанию предъявляют те же требования, что и к тоннельной обделке. Являясь по существу ее последним звеном, выходящим на поверхность, портал работает как подпор-

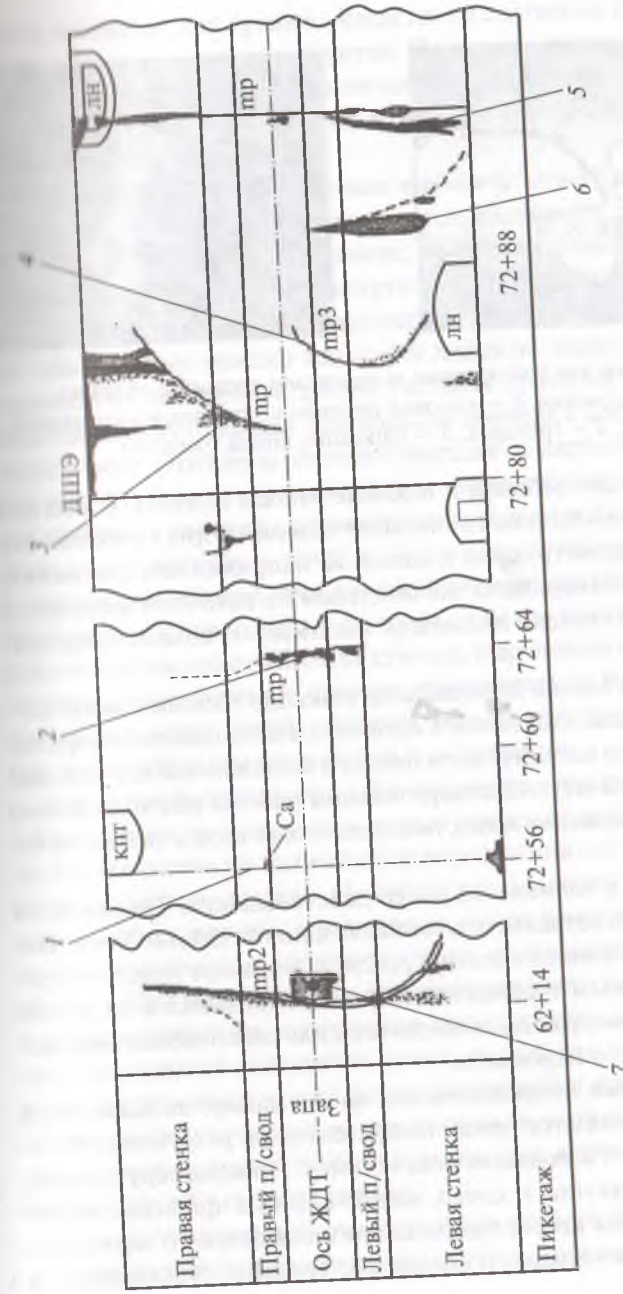


Рис. 4.1. Фрагмент карты дефектов обделки Северо-Муйского тоннеля: 1 — высолы калыцита; 2 — линейная течь; 3 — сильный каледж; 4 — трещина с раскрытием 3 мм; 5 — высолы из трещины; 6 — сплошная пленочная течь; 7 — экран над изолятором с капшем

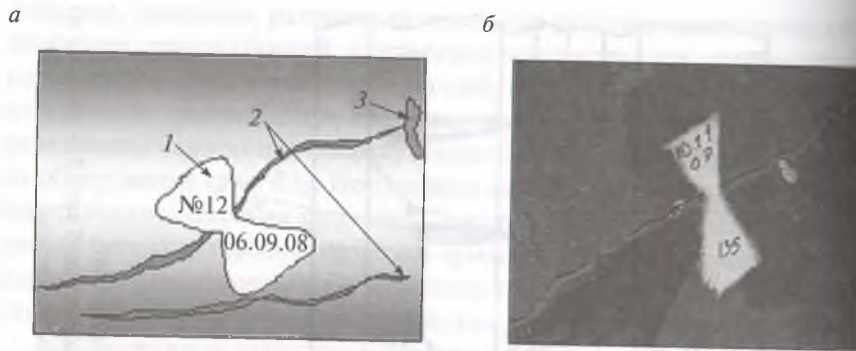


Рис. 4.2. Маяки для наблюдения за развитием трещин в обделке:
 а — схема установки маяка; б — силовая трещина с установленным маяком;
 1 — маяк; 2 — трещина; 3 — фиксация конца трещины

ная стенка, удерживая лобовой и боковые откосы выемки. В жестком контакте с последним звеном тоннельной обделки портал работает как пространственная конструкция в сложном напряженном состоянии, воспринимая неравномерные и значительные по величине нагрузки, и при этом в большой степени подвержен негативному воздействию природных факторов.

Обнаруженные в бетоне портала незатухающие трещины могут сигнализировать о начале оползневого процесса. Наблюдаемые на фасадной стороне порталов натеки и загрязнения в большинстве случаев оказываются следствием неудовлетворительной работы надтоннельного лотка или канавы, принимающих поверхностный сток с лобового откоса выемки.

Ниши и камеры в тоннеле по ранее действовавшим Техническим условиям требовалось устраивать в тоннелях длиной 250 м и более. Поэтому многие старые тоннели длиной до 250 м не имеют ниш, что противоречит современным требованиям. В таких тоннелях в плановом порядке устраивают необходимое число ниш для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

Распространенными повреждениями ниш и камер, вызываемыми горным давлением, являются трещинообразование и разрушение бетона обделки, чаще всего в подошве ниш и камер. По характеру трещин, возникающих на стенах ниш и камер, можно судить о причинах деформаций. Расширяющиеся сверху трещины свидетельствуют о вертикальной осадке обделки без бокового смещения. Трещины, уширяющиеся

книзу, являются, как правило, следствием смещения обделки в сторону пути от бокового давления грунтов. Появление трещин в подошвенных конструкциях ниш и камер тоннелей свидетельствует о пучении грунта. При возникновении деформаций обделки ниши или камеры, ее замечают более мощной.

Наблюдения за обводненностью тоннелей. Одной из основных задач текущего содержания тоннелей является наблюдение за его обводненностью и гидрологическим режимом, поскольку подавляющее большинство дефектов тоннельных конструкций и обустройств вызваны проникновением воды в тоннель. В результате наблюдений определяют наиболее обводненные участки тоннеля и дефекты, вызванные подземными водами. Осуществляется документальная привязка водопроявлений к существующему пикетажу или кольцам тоннеля с составлением карт обводненности. Эти карты обычно совмещают с картами дефектов обделки (см. рис. 4.1) Водопритоки фиксируют по дренажным скважинам в камерах заобделочного дренажа, заобделочным дренажным прорезам, на участках сосредоточенных течей в обделке (по трещинам, незаполненным шпуром и скважинам), стыкам между элементами сборной обделки, дренажным скважинам в штольнях, сбойкам между тоннелями, между штольней и тоннелем, около шахтных стволов. Нарушения гидроизоляции, если таковая предусмотрена в проекте, определяют по наличию течей, капелек, мокрых пятен, ржавых потеков, выноса грунта и выщелачивания бетона с образованием сталактитов и сталагмитов.

Наблюдение включает в себя гидрометрические работы, связанные с измерением расхода воды в лотках как на отдельных участках тоннеля, так и в целом по тоннельному пересечению на порталах и выпусках из подкюветного дренажа. Дебит сосредоточенной течи из обделки или дренажной скважины, как правило, легко измерить мерным сосудом, за исключением слабой течи из стены, растекающейся по поверхности обделки. При визуальной оценке интенсивности капелек иногда используют формулировки, страдающие определенным субъективизмом. Например, сильный или слабый капелек, частый или редкий капелек. В практических условиях, кроме факта поступления воды в незначительном объеме, такие уточнения не имеют смысла, если это не влияет на работу электрических систем и оборудования и не является причиной образования наледей в зимний период.

Для систематических измерений суммарного притока воды в лоток в качестве гидрометрических створов используют смотровые колодцы. Рас-

ход воды на створах определяют путем промера глубин с помощью мерной рейки и измерения скорости течения воды в водном сечении лотка гидрометрической вертушкой. На практике для измерения скорости течения часто используют поплавки с фиксацией времени их сплава между смотровыми колодцами. Расход воды Q ($\text{м}^3/\text{ч}$) вычисляют как произведение площади водного сечения F (м^2) на скорость течения V ($\text{м}/\text{ч}$).

В тоннелях значительной протяженности, пройденных в сложных гидрогеологических условиях, с системой дренажных сооружений для снижения обводненности тоннеля водопритоки могут достигать значительных величин. Так, по данным Тоннельно-обследовательской станции, в Северо-Муйском тоннеле протяженностью 15,3 км суммарный объем водопритока в 2004 г. составил 13 265 $\text{м}^3/\text{ч}$, в 2005 — 12 875, в 2006 — 11 847 $\text{м}^3/\text{ч}$. При обследовании систем водоотвода и дренажа в зимний период определяют объем наледей на стенах и в лотковой части тоннеля, фиксируют появление сосулек в своде тоннеля.

Наблюдение за состоянием надтоннельной поверхности, дренажных и водоотводных устройств. В тоннелях, построенных до 90-х годов прошлого века, с устройством пути на балласте лотки устраивали из сборных железобетонных элементов, бетонной или бутовой кладки с перекрытием сверху бетонными плитами. В последующие годы, с укладкой пути на жестком бетонном основании, лотки устраивают в теле путевого бетона, располагая дно лотка на поверхности обратного свода. Любые нарушения нормальной работы лотков вследствие, например, появления силовых трещин и трещин по холодным швам, загромождения наносами или балластом (при устройстве пути на балласте) могут привести к утечке отводимых вод в балластную призму, под путевой бетон и вызвать деформации обратных сводов или распорных плит тоннеля.

Поэтому состояние водоотводных лотков следует проверять не реже одного раза в месяц при текущем осмотре тоннеля, контролируя уровень воды в смотровых колодцах и ее расход. Снижение дебита воды в следующем по уклону колодце может указывать на утечку воды на контролируемом участке. При обнаружении хотя бы частичной утечки отводимых вод необходимо принять меры к быстрейшему устранению повреждения. В районах с суровыми климатическими условиями следует принять меры для предупреждения замерзания воды как в самом лотке, так и на выпусках за пределы порталных выемок.

В старых и вновь строящихся тоннелях воду выпускают за пределы порталных выемок по подкюветным дренажам, заглубленным ниже

планы сезонного промерзания грунтов. На порталах сброс воды из лотков и подкюветные дренажи осуществляется по быстротокам (резкое понижение отметки лотка), что увеличивает его пропускную способность на выходе, и за счет увеличения скорости потока снижает вероятность замерзания воды.

Установлено, что в районах с суровым климатом водоотводные лотки в тоннелях с дебитом менее 6 $\text{м}^3/\text{ч}$ зимой перемерзают при любом конструктивном утеплении и требуют искусственного обогрева. Эффективным способом является обогрев с помощью протяженных линейных электрических нагревателей в виде греющих лент и кабелей с автоматическим контролем температуры протекающей воды.

В тоннелях без гидроизоляции большое внимание необходимо уделять очистке дренажных отверстий в обделке (на всю глубину кладки) и дренажных скважин в камерах заобделочного дренажа. Признаком наступившего кольматажа дренажного устройства является прекращение или значительное уменьшение дебита выпускаемой воды, оно может сопровождаться увеличением площади увлажнения обделки вокруг дренажного отверстия или значительной площади поверхности обделки на участке расположения дренажа. В тоннельных лотках, проложенных на небольших уклонах и подвергающихся заиливанию наносным материалом, должны предусматриваться отстойники. Если они не предусмотрены проектом и наблюдается заиливание лотков, то целесообразно в процессе содержания устраивать отстойники через каждые 20...30 м, облегчающие периодические прочистки лотка без снятия плит покрытия на всем его протяжении.

Надзор и уход за имеющимися дренажными штольнями осуществляют в рамках общего плана содержания тоннельного сооружения. При систематических и периодических осмотрах оценивают характер и объем водопритоков как по отдельным характерным участкам, так и суммарно по штольне, эффективность работы каптажных скважин с замером расхода поступающей из них воды, надежность тепловой защиты штолен, обеспечивающей безналедный сброс воды и исключаящий наледообразование в выработке. Возникающие повреждения или отказы следует устранять в плановом порядке. Снижение дебитов в каптажных скважинах в сочетании с обводненностью тоннельной обделки на смежных участках указывает на падение эффективности работы этих скважин.

Наблюдения за габаритами тоннеля. Наблюдения за габаритами тоннеля проводят при необходимости пропустить через него негабаритные

грузы или для проверки соответствия внутреннего очертания тоннельной обделки требованиям габарита приближения строений. При перевозке негабаритных грузов по железным дорогам России колеи 1520 мм установлены габарит погрузки и пять степеней негабаритности груза (рис. 4.3).

Для оценки габаритности тоннеля рассматривают обеспеченность пропуска грузов от нулевой до четвертой степени негабаритности включительно. При этом все обрабатываемые грузы не должны выходить за пределы контура, очерченного по параметрам четвертой степени негабаритности (см. рис. 4.3). Зазор между контурами габарита приближения строений и четвертой степени негабаритности является контролируемой величиной. В случае отклонения положения пути в плане могут возникнуть боковая или нижняя негабаритность, а в кривых — верхняя негабаритность. Верхняя негабаритность появляется при изменении положения пути в профиле или переходе участка дороги на электрическую тягу. В связи с этим принимают решение о способах восстановления первоначального положения пути или снижении степени негабаритности перевозимых грузов.

На практике необходимость оценки габарита тоннелей возникает достаточно часто. Поэтому на дорогах с тоннельными пересечениями должны быть необходимое оборудование и приборы для выполнения этих работ. Отечественный опыт проверки габарита тоннелей представлен различными методиками, которые предполагают применение соответствующих устройств и приборов.

Продолжительное время для проверки габарита по тоннелю пропустили габаритную раму, установленную на железнодорожной платформе (рис. 4.4). При сравнительно небольших объемах работ использовали весьма простое измерительное устройство (рис. 4.5), которое состоит из тележки 1, установленного на ней штатива с уровнем 2 и угломером типа транспорта 3, обращенного выпуклой стороной вниз, измерительной штанги 4. Это оборудование усовершенствовано заменой шеста лазерной рулеткой, что позволяет вести работы, не снимая напряжения в контактной сети.

В настоящее время в процессе эксплуатации тоннелей для проверки габарита применяют лазерные рулетки с программой по расчету полярных координат, современные тахеометры-полуавтоматы отечественного или зарубежного производства (в том числе роботизированные) фирм *Leika*, *Sokkia*, *Topcon* и др. При специальном обследовании тоннеля могут быть использованы лазерные сканеры.

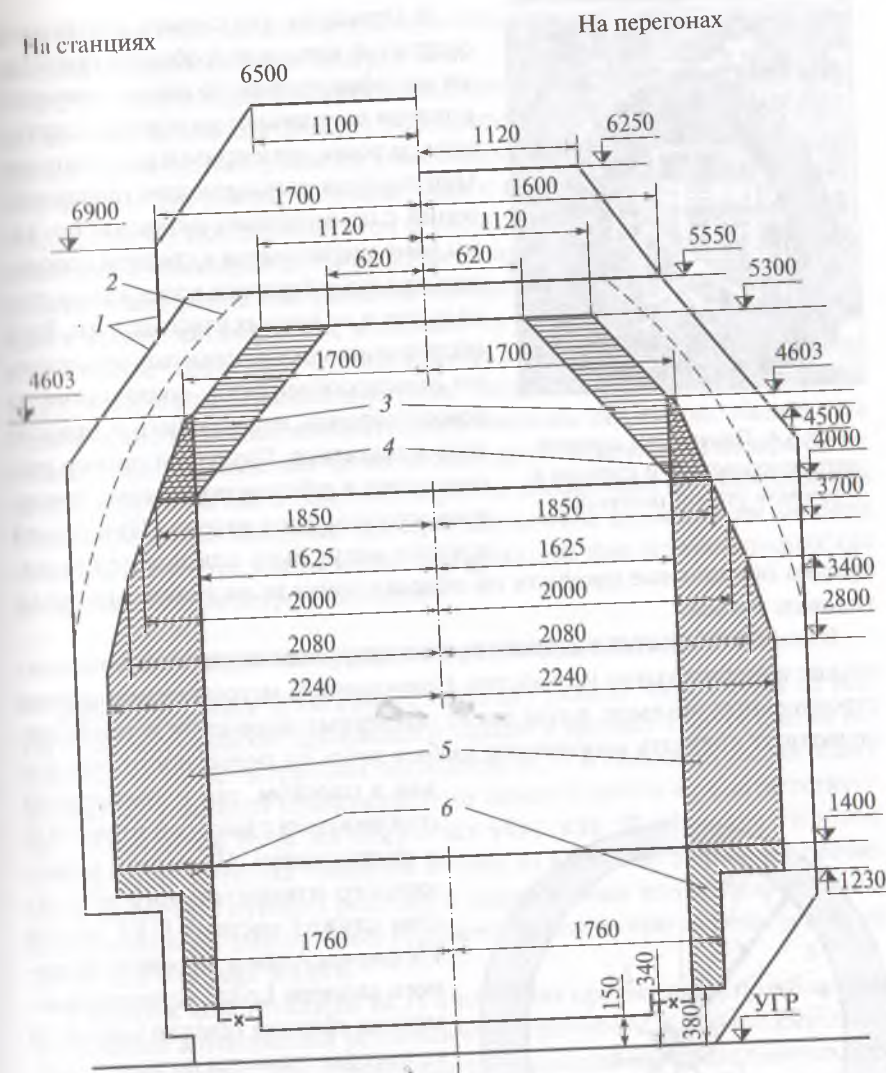


Рис. 4.3. Совмещенная схема степени негабаритности грузов: 1 — габарит С; 2 — габарит 1-С; 3 — зона верхней негабаритности; 4 — зона совместной верхней и боковой негабаритности; 5 — зона боковой негабаритности; 6 — зона нижней негабаритности



Рис. 4.4. Платформа с рамой негабаритности 4-й степени в тоннеле старой постройки

лучены продольные профили по обделке тоннеля на любой высоте от головки рельса.

В мировой практике широко применяют различного рода автоматические измерительные устройства. Современные методы сканирования строительных объемов, в том числе подземных выработок и тоннелей, позволяют получать координаты любых точек на поверхности обделок

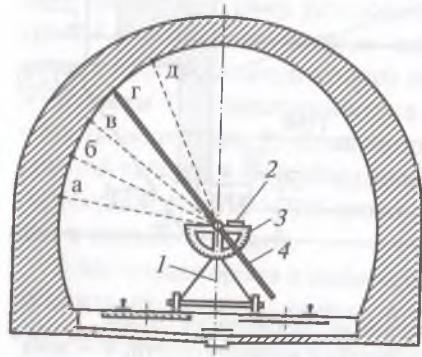


Рис. 4.5. Габаритомер с транспортером и штангой

В Германии для съемок внутренних очертаний тоннельных обделок применяют модифицированную габаритную раму, которую навешивают на тележку, следующую за тоннелеизмерительным вагоном. При помощи регулирующих приспособлений с применением натяжной пружины рама удерживается в среднем положении при любой ширине колеи как на прямых, так и на кривых участках пути. Рама оборудована механически записывающими приспособлениями, состоящими из манипуляторов, передающего и приводного механизмов. Пишущий прибор располагается в рабочем помещении тоннелеизмерительного вагона. При одной поездке могут быть одновременно полу-

как в плоском, так и трехмерном отображении с высокой точностью и разрешением. Примером современного измерительного устройства служит система GRP System FX фирмы Amberg на основе лазерного сканера Leika, устанавливаемого на сборной тележке массой 50 кг, которая движется по железнодорожному пути. Система позволяет в автоматическом режиме фиксировать положение пути в плане, профиле и измерять габаритные размеры сечения тоннеля, проводить визуальную фиксацию состо-

яния обделки тоннеля и последующую обработку этой информации специально разработанными программами.

В США наибольшее распространение получила лазерная измерительная система компании *L-Kopia*. Аппаратуру системы монтируют в передней части автомотрисы на комбинированном ходу. Генерируемый и лучателем луч лазера, направляемый с помощью системы отражателей, сканирует поверхность стен и свода тоннеля, давая полное представление о геометрии его поперечного сечения. Соответствующее результатам измерений изображение выводится на монитор, расположенный в кабине автомотрисы, и передается в запоминающее устройство компьютера. Затем полученные данные анализируются для определения потенциально опасных выступов, подлежащих срочному удалению. Применение лазерной измерительной системы позволило обследовать тоннель протяженностью 7,6 км за один день. В результате обзора более чем 20 млн точек была получена картина поперечных сечений обделки тоннеля. Однако лазерные сканеры достаточно дороги, а их высокая точность не всегда оказывается необходимой при установленных (до нескольких сантиметров) допусках.

4.3. Содержание пути в железнодорожных тоннелях

Верхнее строение пути (ВСП) включает рельсы, скрепления со всеми комплектующими, прокладки и шпалы и балласт либо бетонное основание пути. Конструкции элементов ВСП в большинстве железнодорожных тоннелей принципиально не отличаются от соответствующих элементов пути на открытых участках. В качестве типовой конструкции пути для тоннелей вплоть до последнего времени применяли звеньевую путевую решетку с деревянными или железобетонными шпалами на щебеночном балласте, аналогичную используемой на наземных участках дороги.

Однако к конструкциям ВСП в тоннелях предъявляют повышенные требования в отношении устойчивости, прочности и продолжительности срока службы. Это оправдывается сокращением продолжительности пребывания в тоннелях ремонтных рабочих. Установлено, что увеличение массы 1 пог. м рельсов на 1 кг уменьшает расход времени на текущее содержание пути на 2,8 %. Примерно на 10 % сокращается время пребывания в тоннеле рабочих при применении рельсов длиной 25 м вместо 12,5 м.

Как правило, в тоннеле укладывают рельсы на один тип выше, чем на открытых участках дороги. В настоящее время в железнодорожных тоннелях России уложены термоупрочненные рельсы Р65 и Р75, сталь которых характеризуется высоким содержанием углерода, придающим им достаточные прочность, твердость и износостойчивость, обеспечивающие при надлежащем уходе продолжительный срок службы. В тоннелях разрешается укладывать рельсы только первого сорта, имеющие соответствующую заводскую маркировку. Поврежденные рельсы подлежат замене в кратчайший срок. Остродефектные рельсы (имеющие любые трещины, выколы шейки, подошвы и головок, признаки расслоения металла в головке) должны заменяться немедленно. По таким рельсам до их замены можно пропускать отдельные поезда со скоростью не более 15 км/ч в зависимости от степени опасности дефекта. Не допускается укладка в тоннелях и на подходах к ним рельсов разных типов и рельсовых рубок, а также эксплуатация поврежденных рельсов. Предпочтительной является укладка в тоннелях бесстыкового пути.

До середины 70-х годов XX века в железнодорожных тоннелях России применяли деревянные шпалы из хвойных пород, пропитанные маслянистыми антисептиками. В настоящее время широко распространены железобетонные шпалы. Число шпал, укладываемых в тоннелях, на один разряд эпюры выше, чем на открытых участках (2000 шт./км на дорогах I категории, не менее 1840 шт./км — на остальных).

В тоннелях применяют промежуточные скрепления трех типов: нераздельные, полунрадельные и раздельные. Как показали наблюдения за работой промежуточных скреплений, наиболее эффективными являются промежуточные скрепления раздельного типа с применением упругих прокладок между подошвой рельса и подкладкой, а также между подкладкой и верхней постелью шпалы. Упругие прокладки в пути на деревянных шпалах ранее изготавливали из прессованной и пропитанной осины или тополя. Однако из-за ограниченного срока службы древесины и применения железобетонных шпал в настоящее время перешли на прокладки из резиновых смесей или полихлорвинилового пластика.

В балластной конструкции пути применяют щебень из твердых горных пород (граниты, базальты и стекловидные известняки) с пределом прочности на сжатие не ниже 8000 Н/см^2 , как исключение — сортированный гравий. В тоннелях, где имеют место наледообразование и промерзание балласта, допускается применение щебня только из морозо-

стойких пород. Щебень должен иметь крупность от 25 до 70 мм, загрязненность не более 1 %. Для защиты балластной призмы от быстрого загрязнения рекомендуется в ее верхней части, до половины толщины шпалы, применять щебень мелких фракций от 15 до 25 мм. Толщина щебеночного балласта под шпалой в тоннелях и на подходах к ним (не менее 100 м) должна соответствовать классу пути и быть не менее 35 см. В тех случаях, когда габарит тоннеля не позволяет соблюсти указанную толщину балластного слоя, допускается толщина не менее 20 см, а в исключительных случаях, по согласованию с ОАО «РЖД», не менее 15 см. Но избежание утечки токов с рельсов необходимо, чтобы верх балластной призмы был на 3 см ниже верхней постели шпал.

Однако в тоннелях условия производства работ по устройству, ремонту и текущему содержанию пути на балласте значительно сложнее, чем на наземных участках. Выше также финансовые и трудовые затраты из-за сложности механизации ремонтных работ. Балластная призма в замкнутом пространстве тоннеля интенсивно засоряется сыпучими грузами с открытого подвижного состава, пылью истирающихся тормозных колодок и посыпчного песка из локомотивных песочниц (для улучшения сцепления колес с рельсами), а также из-за истирания щебня между шпалами и твердым основанием. Загрязнение балласта не только уменьшает упругость пути в тоннеле и увеличивает его расстройство, но и задерживает воду, наличие которой в загрязненном балласте может привести к грязевым выплескам, просадкам пути, а в зимний период — к пучинным явлениям. При этом вырезка загрязненного балласта в тоннеле, выполняемая вручную, является одной из самых трудоемких работ при эксплуатации тоннелей.

Стыки в конструкции пути повышают сопротивление протеканию обратного тягового тока на электрифицированных линиях и тем самым способствуют его утечке из рельсовых цепей в балласт и грунт, повышая интенсивность электрохимической коррозии не только элементов пути, но и тоннельной обделки. Стыки являются источниками повышенных колебаний экипажа, ускорений их элементов и, как следствие, динамических воздействий, влияющих не только на путь, но и на обделку тоннеля.

Специфика условий эксплуатации пути в тоннелях привела к необходимости совершенствования существующих конструктивных решений и разработке новых. Прежде всего к новациям в этом направлении относятся ликвидация звеньевой конструкции рельсошпальной решетки

на балластном основании и устройство бесстыкового пути на монолитном бетонном основании.

При эксплуатации тоннелей с безбалластной конструкцией пути за счет удлинения рельсовых плетей уменьшается сопротивление движению и динамические воздействия на обратный свод. В качестве путевого применяют бетон класса по прочности не ниже В25. Поверхность бетонного основания должна быть ровной, без трещин и углублений, с уклоном в сторону водоотводного лотка не менее 3 ‰. Для установки противоугонов вдоль шпал со стороны ожидаемого угона устраивают приямки. Во избежание утечки тяговых и сигнальных токов металлические части ВСП не должны соприкасаться с путевым бетоном.

Современной конструкцией пути на жестком бетонном основании в тоннелях является конструкция, в которой вместо шпал используют малогабаритные железобетонные рамы МГР-Т4М-1520 (рис. 4.6) по типовому проекту ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс». Для обеспечения упругой работы пути на жестком основании в данной конструкции используют упругие промежуточные скрепления КН-65, разработанные в Сибирском государственном университете путей сообщения (рис. 4.7).

Малогабаритные путевые рамы в тоннеле устанавливают в проектное положение на временные опоры и закрепляют анкерами, заделываемые в обратный свод, после чего подрамное пространство заполняют путевым бетоном В40. Бесстыковую путь укладывают на рамы с использованием стандартных, применяемых на наземных магистралях, подрельсовых подкладок и других элементов. В настоящее время для уменьшения динамических воздействий на жесткое подрельсовое основание используют упругие демпферные прокладки (подбалластные маты) между путевым бетоном и обратным сводом (рис. 4.8). В местах сопряжения безбалластной конструкции пути в тоннеле с балластной на подходах к тоннелю должны укладываться участки переходного пути переменной жесткости на длине не менее 25 м с каждой стороны тоннеля. Отметим, что при усиленном ВСП плановые работы по содержанию пути носят, как правило, только предупредительный характер.

Текущее содержание и ремонт пути в тоннелях. В коротких хорошо проветриваемых сухих тоннелях условия работы пути мало отличаются от открытых участков. В протяженных и плохо вентилируемых тоннелях наблюдается интенсивный износ элементов ВСП. В первую очередь развивается химическая и электрохимическая коррозия стальных

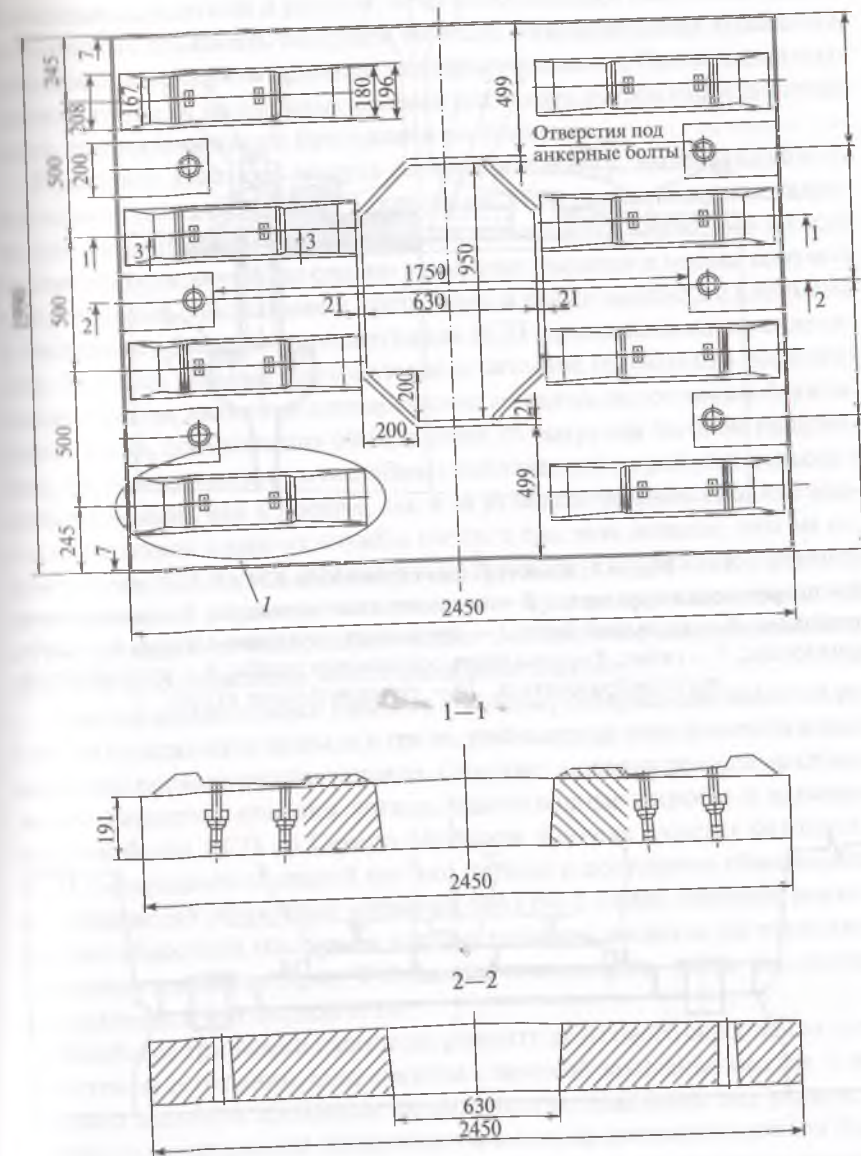


Рис. 4.6. Малогабаритная рама МГР — Т4М — 1520 — КН — 65

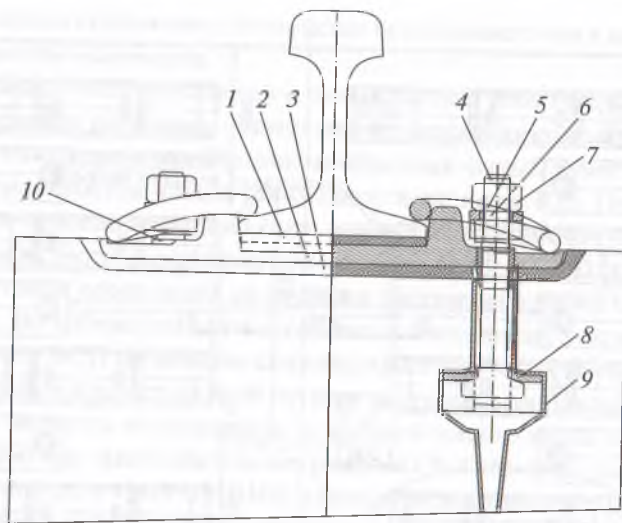


Рис. 4.7. Конструкция крепления КН-65:
 1 — подрельсовая прокладка; 2 — металлическая подкладка; 3 — нащпальная пружинная; 4 — закладной болт; 5 — пружинная прутковая клемма; 6 — скоба прижимная; 7 — гайка; 8 — закладная седловидная шайба; 9 — изолирующий пустотообразователь; 10 — уплотнительная втулка

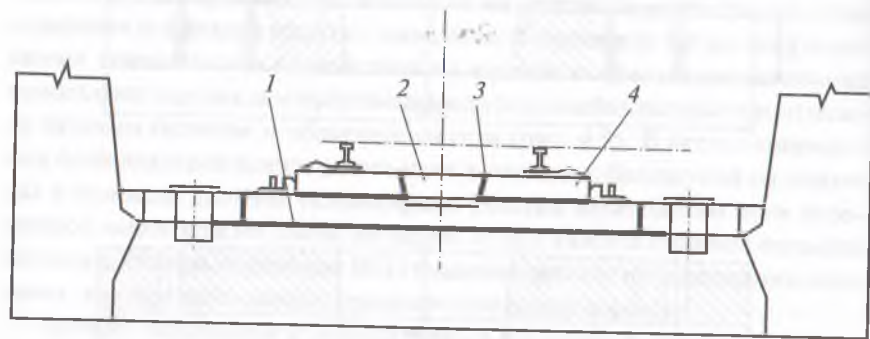


Рис. 4.8. Конструкция пути на виброзащитном основании:
 1 — демпферные маты; 2 — арматурная сетка; 3 — техноэласт-М2; 4 — рама МГР — Т4М — 1520 — КН-65

элементов креплений и рельсов, чему способствуют скопление воды и повышенная влажность воздуха в тоннеле, температурные колебания, газообразные продукты сгорания топлива тепловозов. Применение подсыпного песка на влажных рельсах усиливает истирающее действие колес при торможении и буксовании на подъемах.

В условиях влажного воздуха сернистая кислота, выделяющаяся из выхлопных газов, окисляется в серную кислоту, разъедающую металлические элементы. Рельсы и крепления разъедаются кислотами по всей их поверхности, особенно сильно в пределах головки и местах контакта с подкладками, накладками и костылями, а также контакта с клеммами и закладными болтами в конструкциях ВСП с отдельными креплениями. Ходовые рельсы, используемые в качестве проводника обратных тяговых токов, являются одновременно мощным источником блуждающих токов, достигающих 60 % и более от нагрузки тяговой подстанции. На основании многочисленных наблюдений за работой рельсов в сырых тоннелях как в России, так и за рубежом установлено, что продолжительность срока их службы почти в два раза меньше, чем на открытых участках дороги. Все работы по текущему содержанию и ремонту пути в тоннелях осуществляют дистанции пути в строгом соответствии с «Инструкцией по содержанию искусственных сооружений» и «Инструкцией по содержанию железнодорожного пути».

Важной составляющей работ по текущему содержанию является работа по очистке пути от пыли и грязи, уменьшение запыленности и поддержание порядка внутри тоннеля. Очистке подлежат рельсовые крепления, банкетки, крышки лотков, водоотводные штробы и канавки, путевой бетон ВСП. В Северо-Муйском тоннеле очистку бетонного ВСП, засоренного угольной пылью, песком и достаточно обводненного, производят уборочной машиной ФАТРА 2-17000. Рабочий поезд в составе уборочной машины и хоппер-дозатора движется по тоннелю с помощью тепловоза серии ТЭМ в технологические «окна» без снятия напряжения в контактной сети.

Наиболее трудоемкой работы по ремонту рельсового крепления пути на бетоном основании. Они связаны с заменой закладных болтов — основного элемента крепления металлических подкладок под рельсы. В процессе эксплуатации происходит изменение натяжного усилия болтов за счет температурного фактора, нагрузки от подвижного состава, хрупкости металла и других факторов, что приводит к разрыву болта вблизи головки. Изломанный болт выпадает, а гнездо его установки с

оставшейся головкой забивается шламом. Для того чтобы установить новый болт, гнездо закладного болта очищают и продувают сжатым воздухом, после чего специальным устройством поворачивают головку внутри гнезда параллельно входному отверстию в шпале и в подкладке и извлекают. Пустое гнездо закладного болта до установки нового закрушивают деревянной пробкой.

Закрепление положения пути. Правильное положение и геометрические параметры пути в тоннелях имеют исключительное значение для обеспечения безопасности движения поездов и работающих в тоннелях людей. Ширина колеи и уровень пути в тоннелях должны удовлетворять тем же требованиям, что и на перегоне, а отклонения оси рельсовой решетки в плане и профиле от проектного положения не должны вызывать нарушения габарита или увеличения негабаритности сооружения. Для контроля положения пути в стенах обделки тоннелей через 20 м на прямых и через 10 м на кривых участках пути устанавливают постоянные реперы и путевые сигнальные знаки, а на каждом портале железнодорожных и автодорожных тоннелей закладывают репер для нивелирования III класса. На прямых участках реперы устанавливают на правой стене по ходу километража, в кривых — со стороны наружного рельса, в двухпутных тоннелях — с обеих сторон. Существует несколько конструкций путевых реперов. Наиболее простой из них является конструкция репера в виде «завершенного» штыря, заделываемого в обделку тоннеля на уровне головки рельса (рис. 4.9).

Фиксированной точкой репера, заделываемого в стену, является керновая насечка на головке штыря. Применяют также реперы в виде вер-

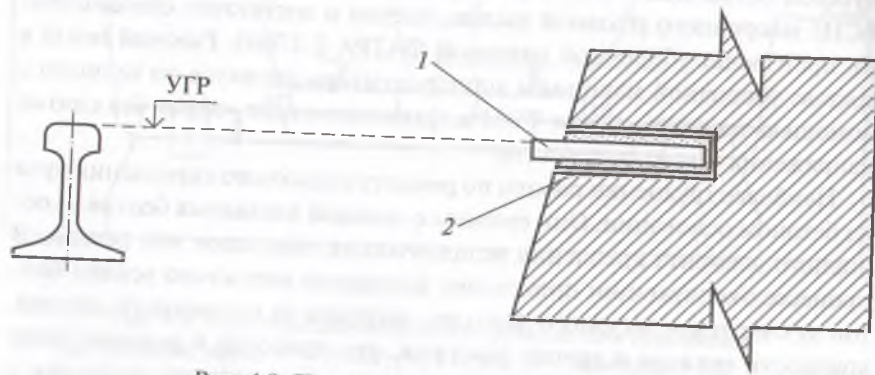


Рис. 4.9. Путевой репер, заделанный в стену

тикального штыря, замоноличенного в бетонный столбик, устанавливаемый у стены тоннеля на уровне с головкой рельса в виде закладной марки, заделываемый в обделку. Порядковый номер репера, расстояние до рабочей грани ближайшего рельса и превышение головки рельса над репером должны быть написаны на стене или табличках, укрепляемых над реперами. Проверочные промеры выполняют специальным шаблоном, укладываемым на штырь репера и головку рельса. Нивелирование на подходах к тоннелю ведут по головкам рельсов через 20 м, в тоннеле — по головкам рельсов и обреза фундаментом через 10 м, дну водоотводного лотка — через 20...30 м. В тоннелях и на подходах к ним рельсовый путь должен быть надежно закреплен от угона.

Оценка состояния пути в тоннелях. Своевременное обнаружение и распознавание причин возникновения дефектов в рельсах является важнейшей обязанностью эксплуатационного персонала. Оценка текущего состояния пути в тоннелях, как и на открытых участках дороги, производят по данным записи параметров рельсовой колеи вагоном-путеизмерителем и результатам натурального осмотра пути.

Аппаратура путеизмерительного вагона фиксирует отклонение от норм содержания рельсовой колеи по уровню и шаблону, вертикальным и горизонтальным толчкам, перекосам, просадкам и нарушениям рихтовки. Натурным осмотром определяют внешнее состояние пути: наличие негодных шпал, креплений, недостатки балластной призмы, выплески, загрязненность рельсов и др. Фиксируемые путеизмерительным вагоном отступления от норм содержания пути, выходящие за пределы установленного допуска, оценивают штрафными баллами в зависимости от степени неисправности.

Числовые значения штрафных баллов для открытых участков дороги приводятся в утвержденных нормах оценки пути по показаниям путеизмерительных вагонов. С целью усиления внимания к содержанию пути в пределах тоннелей и на подходах к ним, а также на изолирующих стыках баллы по всем видам неисправностей удваивают. Протяжение подходов принимают: для тоннелей длиной до 100 м — по 200 м, более 100 м — по 500 м в каждую сторону. Состояние пути оценивают в зависимости от установленной скорости движения поездов. Чем ниже скорости движения, тем больше допуски по состоянию колеи.

Путь считают отличным, если по показаниям записи на ленте путеизмерительного вагона сумма баллов на 1 км длины тоннеля (с учетом подходов) находится в пределах от 0 до 40, хорошим — при 40...150,

удовлетворительным, если сумма баллов при всех типах рельсов и при любом балласте не превышает 500, и неудовлетворительным — при оценке более 500 баллов. Наряду с этим путь может быть признан отличным, хорошим или удовлетворительным лишь при отсутствии остродефектных рельсов, негодных стыковых скреплений, гнилых шпал и серьезных нарушений рихтовки, а также при надлежащем закреплении его от угона и удовлетворительном содержании балластной призмы. С учетом высоких требований, предъявляемых к содержанию пути в тоннелях, его качество следует проверять путеизмерительным вагоном и визуально не реже одного раза в месяц. Результаты проверки оформляют актом формы ПУ-24, а общую оценку состояния пути заносят в «Тоннельную книгу».

Путевые и указательные знаки. Для ориентирования путевых бригад, обслуживающих тоннель, и машинистов локомотивов устанавливают путевые и сигнальные знаки и указатели. Из-за стесненности габарита эти знаки обычно надписывают черной краской на белом фоне на стенах тоннеля или оформляют в виде навесных эмалированных табличек.

В тоннелях устанавливают следующие постоянные путевые и сигнальные знаки и указатели: километровые, пикетные, начала, середины и конца кривых, порядковой нумерации колец, уклоноуказательные, предупредительные для машинистов о подаче свистка, начала толкания, конца толкания, отключения и включения тока, стрелы-указатели ближайших ниш, камер и кнопок включения заградительной сигнализации. Вид путевых и сигнальных знаков с указанием места их установки представлен на рис. 4.10.

4.4. Эксплуатация внутритоннельных устройств и оборудования

Вентиляция тоннелей. Подземные газы и газообразные продукты неполного сгорания топлива локомотивов, значительные увлажненность и парообразование от повышенной температуры внутри тоннеля вредно воздействуют на здоровье обслуживающего персонала и пассажиров, а также на прочность тоннельной обделки, сохранность верхнего строения пути и других устройств. Значительная влажность воздуха многих тоннелей снижает коэффициент сцепления колес с рельсами, тем самым ограничивая весовые нормы поездов, способствует образованию тумана, ограничивающего видимость при движении транспорта по тоннелю. Особенно в тяжелых условиях протекает работа тоннель-

| Наименование знака | Вид знака | Место установки |
|--|-----------|---|
| Знак подачи звукового сигнала | | С правой стороны по счету километров, на высоте 2 м над УГР |
| Километровый знак | | То же |
| Пикетный знак | | То же |
| Уклоноуказательный знак: а) ската б) подъема | | То же, в местах перелома продольного профиля пути |
| Порядковый номер кольца | | С правой стороны по счету километров, на высоте 1,5 м над УГР |
| Реперная таблица | | Справа по ходу движения поезда над репером |
| Таблица с элементами кривой | | С правой стороны по счету километров, на высоте 2 м над УГР |
| Знаки вертикальной сопрягающей кривой | | То же |
| Знаки начала и конца кривых: а) переходной б) круговой | | То же |

Рис. 4.10. Виды путевых и указательных знаков

ных обходчиков и ремонтных рабочих в тоннелях, расположенных на участках с неэлектрофицированной тягой.

При проследовании поездов через длинные и плохо вентилируемые тоннели и особенно при кратной тяге создается большая опасность и для локомотивных бригад. Известны случаи крушений поездов, вызванных обморочным состоянием машинистов из-за отравления выхлопными газами. Радикальным средством устранения отрицательного влияния указанных факторов является вентиляция, позволяющая приблизить качественный состав воздушной среды тоннеля к наружному воздуху и тем самым улучшить эксплуатационные условия. По действующим нормам предельно допустимое содержание окиси углерода (СО) в тоннелях не должно превышать значений, приведенных в табл. 4.1.

Вентиляция тоннелей осуществляется естественным или принудительным путем. Степень естественного проветривания и стабильность его действия вследствие зависимости от многих факторов не поддается точному расчету.

Поэтому естественную вентиляцию обычно применяют в прямолинейных односкатных тоннелях длиной до 500...700 м. Для повышения интенсивности естественного проветривания в тоннелях протяжением свыше 400...500 м иногда устраивают вентиляционные выработки, приспособив оставшиеся после строительства проходческие штольни и шахты. Если эффективность естественной вентиляции (за счет поршневого действия поездов, благоприятной розы ветров, а также тока воз-

Таблица 4.1

Предельно допустимые концентрации (ПДК) окиси углерода в воздухе транспортной зоны тоннеля, мг/м³

| Время нахождения транспортных средств в тоннеле <i>t</i> , мин. | ПДК в тоннеле, мг/м ³ | |
|---|----------------------------------|--------------|
| | Железнодорожный | Автодорожный |
| 5 | 28 | 60 |
| 6 | 24 | 51 |
| 7 | 21 | 45 |
| 8 | 19 | 41 |
| 9 | 17 | 38 |
| 10 | 16 | 35 |
| 15 | 12 | 26 |
| 20 | 9 | 21 |

ду из-за разности температур внутри тоннеля и на земной поверхности и разности высот порталов) оказывается недостаточной, то устраивают принудительную вентиляцию.

Принудительная вентиляция должна обеспечивать эксплуатацию железнодорожного или автодорожного тоннеля в следующих режимах:

А — нормальный, когда осуществляется безостановочное движение транспорта с максимальной разрешенной скоростью при интенсивности, соответствующей часу «пик» (ПДК, см. табл. 4.1);

Б — замедленный, когда осуществляется безостановочное движение транспорта со скоростью менее 20 км/ч;

В — транспортная пробка, когда имеет место остановка транспорта работающими двигателями длительностью до 15 мин. Для режимов Б и В приняты следующие значения ПДК (мг/м³): окись углерода — 200, оксид азота (в пересчете на NO₂) — 5, сажа — 4.

Средняя по сечению скорость движения воздуха в транспортной зоне тоннеля при эксплуатационных режимах вентиляции без учета влияния транспортных средств должна быть не выше 6 м/с, в зоне воздуховыпускных сооружений местное увеличение скорости не регламентируется. Составление тоннельного воздуха проверяют путем взятия его проб и последующим исследованием в лабораторных условиях. Пробы отбирают мокрым или сухим способом на разной высоте от уровня головки рельсов.

Мокрый способ пригоден для определения концентраций кислорода, окиси углерода, углекислого газа и метана. Проба берется в чистые стеклянные емкости объемом около 0,5 л каждая, которые доставляют к месту взятия пробы заполненными дисцилированной водой и плотно закрытыми пробками. На месте взятия пробы воду из сосудов выливают, и освобожденная емкость заполняется тоннельным воздухом. После этого плотно закрытые сосуды парафинируют и доставляют в лабораторию для анализа. Сухой способ пригоден для определения концентраций в тоннельном воздухе сернистого газа и сероводорода. В качестве емкости для сбора проб тоннельного воздуха могут использоваться резиновые автомобильные камеры.

Скорость движения воздуха в тоннеле измеряют в разных местах и на разных высотах над головкой рельса. Для этого при скорости движения воздуха до 6 м/с используют крыльчатые анемометры, а при больших скоростях — чашечные.

Эксплуатация принудительных систем вентиляции предусматривает регулярный надзор за чистотой и порядком в вентиляционных зда-

ниях, каналах и камерах подачи чистого воздуха в тоннель, а также проведение плановых и планово-предупредительных ремонтов и обслуживания электрических сетей и механического вентиляционного оборудования, для поддержания его в работоспособном состоянии.

В связи с электрификацией железных дорог в некоторых тоннелях нет необходимости в постоянном использовании имеющихся устройств искусственной вентиляции. Однако их следует содержать в постоянной исправности, обеспечивать соответствующий уход за ними и готовность к запуску в любое время. Такая необходимость может возникнуть при выполнении ремонтных работ, требующих использования машин с двигателями внутреннего сгорания или тепловозов в случае снятия напряжения с контактной сети.

Сигнализация и связь. Согласно требованиям правил промсанитарии и техники безопасности, при устройстве, содержании и эксплуатации железнодорожных тоннелей последние независимо от их длины должны быть оборудованы автоматически действующей звуковой и световой сигнализацией. Только при отсутствии постоянного и надежного источника энергоснабжения тоннели протяжением менее 300 м на прямых и менее 150 м на кривых участках могут не иметь автоматической сигнализации.

В железнодорожных тоннелях применяют два вида сигнализации: оповестительную, предназначенную для оповещения находящихся в тоннелях работников о приближении поезда, и заградительную — для предупреждения локомотивных бригад о возникновении в тоннеле препятствий для движения поездов или угрозы для безопасности находящихся в тоннеле людей. Схема размещения в тоннелях сигнальных ламп, сирен и кнопок включения заградительной сигнализации приведена на рис. 4.11.

Оповещение обслуживающего персонала и рабочих, находящихся внутри тоннеля, подается автоматически, не менее чем за 4 мин. до подхода к порталу тоннеля поезда, следующего с максимально допустимой скоростью. Этого времени бывает обычно достаточно для подготовки пути к пропуску поездов и отвода работающих в ближайшие ниши. Оповестительная сигнализация осуществляется одновременной подачей звуковых и световых сигналов, расположенных по всему протяжению тоннеля.

В качестве звуковых сигналов тоннельной сигнализации применяют сирены (гудки) с нормальной слышимостью на расстоянии не менее

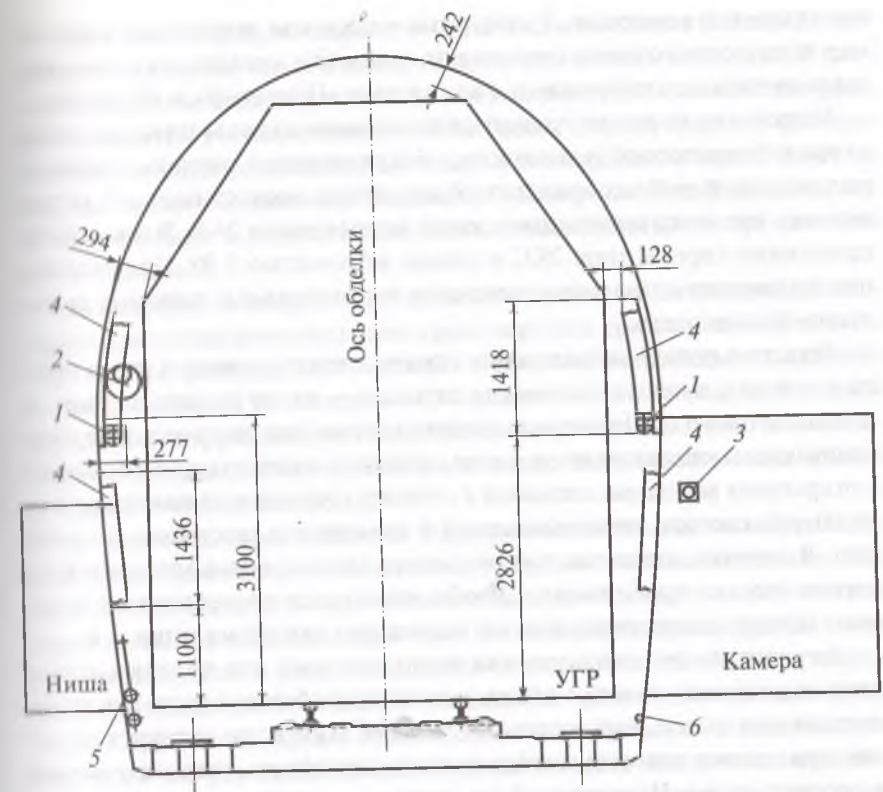


Рис. 4.11. Схема размещения сигнальных устройств в сечении тоннеля: 1 — светильник НСР01х200; 2 — сирены (гудки) ГПР; 3 — кнопки КУ 123-1; 4 — кабельные кронштейны; 5 — противопожарный трубопровод; 6 — трубопровод сжатого воздуха

140 м. Сирены (гудки) устанавливают попарно, рупорами вдоль пути в разные стороны на высоте не менее 2000 мм над головкой рельса. Первую пару сирен располагают на расстоянии 75 м от портала тоннеля, а остальные через каждые 100 м. В тоннелях, оборудованных принудительной вентиляцией, сирены устанавливают и у вентиляционных шахт. В помещении дежурного механика вентиляционной установки и на припортальных постах охраны устанавливают звонки.

Световые сигналы в виде мигающих ламп мощностью не менее 100 Вт, заключенных в светильники типа НСР01х 200, устанавливают над все-

ми нишами и камерами. У дежурных механиков вентиляционных камер и на постах охраны применяют лампочки накаливания коммутаторного типа под табличками с надписями «Нечетный» и «Четный».

Устройства оповестительной сигнализации должны питаться током от трансформаторной подстанции, обслуживающей тоннель. В некоторых эксплуатируемых тоннелях устройства оповестительной сигнализации питаются постоянным током напряжением 24 В. В этом случае применяют сирены типа 2КС и лампы мощностью 5 Вт. Для увеличения видимости эти лампы помещают в специальные поясные линзы лунно-белого цвета.

Звучание гудков сигнализации прекращается с момента входа поезда в тоннель, а подача мигающих сигналов — после выхода из тоннели последнего вагона. При недостаточном расстоянии от станции, не обеспечивающем оповещения за 4 мин, действие сигнализации увязывают с открытием выходных сигналов в сторону тоннеля или нажатием специальной кнопки, устанавливаемой в помещении дежурного по станции. В случаях, когда расстояние между двумя смежными тоннелями короче участка приближения, необходимого для оповещения, устраивают общую оповестительную сигнализацию для обоих тоннелей.

Заградительная сигнализация предназначена для подачи сигнала остановки поезду во всех случаях, угрожающих безопасности движения поездов или людей, находящихся в тоннеле. В качестве световых сигналов применяют типовые заградительные светофоры, устанавливаемые в соответствии с Инструкцией по сигнализации на железных дорогах РФ, на расстоянии не менее 50 м от каждого портала в сторону перегона. Заградительную сигнализацию приводят в действие вручную работники, находящиеся внутри тоннеля или у его порталов, нажав любую из опломбированных кнопок включения заградительной сигнализации. Эти кнопки устанавливают на обоих порталах тоннеля, а внутри него — через каждые 100 м по одной стороне тоннеля.

При разрыве рельсовой колеи заградительная сигнализация включается автоматически. Контролем горения красного света на заградительных светофорах служит ровный свет ламп сигнальных светильников. Гашение красного огня на заградительных светофорах осуществляется нажатием вручную опломбированных (отменяющих) кнопок, устанавливаемых на порталах тоннеля. Питание электроэнергией заградительной сигнализации, получаемой от трансформаторной подстанции, дополняется аварийным резервом от аккумуляторов.

Все тоннели длиной свыше 500 м, а также имеющие тяжелый профиль, независимо от их длины, оборудуют прямой телефонной связью с двумя смежными раздельными пунктами с установкой телефонных аппаратов у обоих порталов. В тоннелях длиной свыше 1 км телефонный аппарат устанавливают также и посередине, в одной из ниш, оборудованной освещенной надписью «Телефон». Телефонные аппараты помещают в специальные ящики, защищенные от проникания пыли и влаги.

На порталах автодорожных тоннелей устраивают светофоры и шлагбаумы для остановки движения транспортных средств на случай возникновения чрезвычайной ситуации в тоннеле. Устройства управления этими средствами размещают непосредственно на порталах и внутри тоннелей с интервалом, устанавливаемым проектом. Звуковую и световую сигнализацию в автодорожных тоннелях не устанавливают, однако применяют теленаблюдение.

Электроснабжение тоннелей. Хорошее освещение в тоннелях является одним из необходимых условий их правильной эксплуатации. Освещение в тоннелях должно обеспечивать достаточную видимость для прохода обслуживающего персонала, безопасные условия производства ремонтных работ и эксплуатационного надзора за состоянием сооружения, а также способствовать повышению производительности труда ремонтных бригад. Кроме того, постоянное освещение в тоннелях необходимо для улучшения видимости работникам локомотивных и поездных бригад, а также для пассажиров в случае вынужденной остановки поезда в тоннеле. В настоящее время большинство тоннелей освещается от постоянных линий электропередач напряжением 380/220 В. При отсутствии в тоннеле постоянного электрического освещения в экстренных случаях пользуются временным освещением от переносных электростанций ЖЭС-2 или ЖЭС-4, устанавливаемых за пределами тоннеля. При кратковременных работах разрешается пользоваться аккумуляторными и карбидными фонарями. Применение газовых, керосиновых, ацетиленовых светильников и факелов создает большие неудобства и загрязняет воздух продуктами горения. Поэтому эти способы освещения в тоннелях не допускаются.

Тоннели и сервисные штольни должны иметь искусственное стационарное освещение: железнодорожные тоннели длиной более 200 м на прямых и более 100 м на кривых участках. Помимо общего освещения, тоннели и сервисные штольни должны иметь аварийное освещение.

горизонтальная освещенность в железнодорожных тоннелях на уровне головки рельсов и в сервисных штольнях на уровне чистого пола должна быть не менее 1 лк.

Режимом общего освещения автодорожных тоннелей управляют автоматически в зависимости от естественной освещенности снаружи тоннеля, а также дистанционно — из помещения дежурного. При длине автодорожного тоннеля до 100 м в дневном режиме освещение не требуется. При снижении естественной освещенности до 100 лк включают вечерний и ночной режимы освещения. В тоннелях более 100 м осуществляется круглосуточное освещение в дневном, вечернем и ночном режимах.

Общее освещение. Общее освещение тоннеля предназначено для безопасного передвижения по тоннелю обслуживающего персонала, а также для улучшения видимости работникам локомотивных и поездных бригад и нормального самочувствия пассажиров, проезжающих длинные тоннели.

Особенностью тоннельного освещения является необходимость осветить участок, длина которого во много раз превышает ее ширину, а также обеспечить достаточный подсвет стен и свода тоннеля. Исходя из этого, а также учитывая специфические эксплуатационные условия, в тоннелях применяют светильники общего освещения, защищенные от попадания в них влаги, пыли и копоти. Они имеют защиту от блисткости источника света (лампы), излучают преимущественно прямой направленный свет. Светильники легко доступны для чистки и замены ламп, имеют небольшие габаритные размеры и надежную защиту металлических частей от коррозии. В настоящее время имеется значительный перечень отечественных и зарубежных светильников с удобной конструкцией для обслуживания и необходимыми эксплуатационными характеристиками. Светильники располагают вне габарита приближения строений на высоте 3 м от головки рельса, допускающей возможность их чистки с переносных лестниц. В тоннелях старой постройки, имеющих стесненный габарит, для размещения светильников устраивают неглубокие полуниши или вместо обычных светильников устанавливают плафоны.

Для общего освещения однопутных тоннелей рекомендуется устанавливать светильники с электролампами мощностью 150 Вт на расстоянии 12,5 м один от другого по одной стороне тоннеля.

В двухпутных тоннелях светильники с лампами мощностью 200 Вт размещают на расстоянии 25 м один от другого по каждой стороне тоннеля.

Исходя из положительного опыта применения газосветных ламп в городских тоннелях, такие лампы начали внедрять и для освещения железнодорожных тоннелей. В них применяют преимущественно ртутные и натриевые лампы, причем натриевые являются наиболее экономичными.

Ремонтное освещение включают только при выполнении путевых и ремонтно-строительных работ, требующих повышенной освещенности рабочего места. В зависимости от характера выполняемых работ, принятой технологии и числа работающих, пространство тоннеля, требующее повышенной освещенности, может быть весьма различно и находиться в разных местах тоннеля. Поэтому для ремонтного освещения применяют, как правило, переносные светильники.

По условиям безопасности их подключают к специальной низкопотенциальной линии передачи напряжением не выше 24 В или включают в общую сеть освещения через понижающие трансформаторы. Для подключения понижающих трансформаторов к осветительной сети необходимо иметь достаточное число водозащищенных штепсельных розеток.

Штепсельные розетки для питания переносного освещения располагают в однопутных тоннелях через 60 м один от другого со стороны подвески осветительных проводов. В двухпутных тоннелях штепсельные розетки устанавливают также через 60 м, но в шахматном порядке вдоль обеих стен тоннеля. Штепсельные розетки располагают у ниш и камер на высоте 0,8...1 м от головки рельса.

Переносный светильник с лампой напряжением 12 или 24 В позволяет изменять направление светового потока, защищает лампу от механических повреждений и обеспечивает минимальную освещенность до 20 лк. Такой светильник удобен при переноске, легко устанавливается и убирается с рабочего места.

Обеспечение тоннелей постоянным и переносным электроосвещением выполняют по специальным проектам, при разработке которых руководствуются типовым проектом устройства электроосвещения в тоннелях длиной до 1500 м, утвержденным МПС (ОАО «РЖД»). Вся электропроводка в целом должна удовлетворять требованиям правил безопасности для электроустановок в помещениях с повышенной влажностью. Осветительную сеть в тоннелях монтируют на кронштейнах, закрепленных на стенах.

4.5. Особенности эксплуатации транспортных тоннелей в районах сурового климата

Наиболее существенное влияние на долговечность и эксплуатационную надежность тоннелей оказывает действие низких отрицательных и знакопеременных температур воздуха в сочетании с обводнением. Именно в результате воздействия этих факторов на ряде сооружений введены ограничения скорости движения поездов, значительно снижена пропускная способность из-за обмерзания тоннелей в периоды зимних холодов. Негативное воздействие отрицательных температур проявляется не только в северных районах, но и в областях с относительно мягким климатом, например, на Урале или в горах Кавказа.

Последствия воздействия низких температур воздуха и воды на общее состояние тоннельных конструкций и обустройств разнообразны. К наиболее существенным, угрожающим безопасности движения поездов, относятся:

- образование наледей, вызывающих ускоренное разрушение обделки и пути, нарушающих габариты тоннеля;
- перемерзание дренажных и водоотводных устройств, вызывающих выход наледей на путь;
- морозное пучение грунтов, создающее дополнительное давление на конструкции обделки и верхнего строения пути;
- появление в обделке значительных температурных напряжений, вызывающих деформации и разрушение конструкций.

Недоучет специфических особенностей сурового климата приводит к тому, что практически сразу же после ввода тоннеля в эксплуатацию приходится выполнять значительные объемы ремонтно-оздоровительных работ. Воздействие знакопеременных температур ведет к разрушению тоннельных обделок, выходу из строя дренажных и водоотводных устройств, вызывает необходимость досрочного ремонта или реконструкции отдельных участков тоннелей. В результате в большинстве тоннелей, эксплуатируемых в районах с суровым климатом, действуют ограничения скорости движения поездов, а для ремонта конструкций и борьбы с наледями приходится предоставлять внеплановые «окна» и расходовать значительные трудовые и материальные ресурсы для устранения дефектов.

В бетонных обделках тоннелей железнодорожной линии Абакан—Тайшет уже за первые 5—7 лет эксплуатации возникло множество серь-

езных дефектов, в большей степени за счет воздействия низких температур воздуха в сочетании с интенсивным обводнением. Опыт эксплуатации тоннелей в таких условиях показывает, что затраты на периодический ремонт за многолетний период эксплуатации некоторых тоннелей старой постройки соизмеримы и даже превышают затраты на сооружение нового тоннеля.

При современном развитии техники и технологии строительства тоннелей, наличии обширной номенклатуры строительных и гидроизоляционных материалов в большинстве случаев более оправдана концепция увеличения разовых затрат на строительство тоннельного пересечения с целью снижения в дальнейшем эксплуатационных расходов.

Наледи в тоннелях. Наледь — ледяное образование в месте течи или каплепа. Наледь может быть действующей (активной), когда приращение тепла от источника превышает его теплопотери и идет процесс нарастания объема льда. Действующую наледь оценивают габаритными размерами и объемом вырубаемого льда. Недействующая наледь — состояние, при котором объем льда не увеличивается. Источник притока воды может полностью прекратить функционирование до момента оттаивания наледи или продолжать действовать под слоем льда.

Крупные течи с большими дебитами могут образовывать наледи, действующие в течение всей зимы, доставляя множество проблем эксплуатационникам. В начальный период наступления холодов в наибольшей мере подвергается обмерзанию обделка припортальных колец тоннелей, находящихся под воздействием внешней среды с низкой температурой. Затем порталные участки грунтового массива промораживаются, перекрывая выход грунтовыми водам и смещая зону активного наледообразования к середине тоннеля (рис. 4.12).

В эксплуатационной практике известно немало случаев длительных перерывов в движении поездов, вызванных интенсивным наледообразованием. Борьба с наледями и обводненностью тоннелей приобрела особую актуальность в связи с переходом на электротягу,



Рис. 4.12. Наледи в железнодорожном тоннеле



Рис. 4.13. Наледи (сосульки) в своде тоннеля

так как даже небольшие струйные течи и незначительные наледы могут привести к короткому замыканию. Наледи-сосульки в своде тоннеля создают угрозу поломки токоприемников электровазов и утечки тока из контактной сети с угрозой для жизни и здоровья людей (рис. 4.13).

Для обеспечения безопасности движения поездов тоннельным бригадам приходится иногда не-

сколько раз в сутки удалять эти наледы и вывозить лед за пределы тоннеля. Наледи в виде сосулек, свешивающихся со сводов и стен тоннеля, сбивают шестами. В электрифицированных тоннелях их удаляют с дрезинов, оборудованных изолированными вышками. Наледи, образующиеся на пути и у стен тоннеля, удаляют ручной или механизированной окирковкой. В зависимости от объема окиркованного льда последний вывозят за пределы тоннеля рабочими поездами. На эти работы иногда задействуют значительные силы.

Образование наледей существенно активизируется с началом перемерзания дренажных и водоотводных устройств. Способы осушения тоннелей с помощью заобделочных дренажей, дренажных прорезей, каптажных скважин, оправдавшие себя в условиях умеренного климата, оказались неэффективными в тоннелях, расположенных в районах сурового климата. Большое значение для уменьшения наледообразования на своде тоннеля имеет своевременная очистка ото льда дренажных устройств или их утепление, что способствует отводу подземных вод к водоотводным лоткам. Во избежание образования крупных наледей выходы заобделочных дренажей утепляют листами вспененным или экструдированным пенополистеролом.

Эффективность функционирования дренажных устройств существенно повысилась, когда с 70-х годов прошлого века их вынесли за обделку тоннеля вне зоны сезонного промерзания грунтов. С этого же времени стали применять электропрогрев лотков точечными электронагревателями — трубчатыми (ТЭН), а затем — греющими кабелями и лентами. Одновременно для тепловой защиты водоотводных лотков стали применять конструктивное утепление сначала шлаковыми

материалами, а затем — пенопластом. Однако конструктивное утепление лотков без дополнения электропрогревом, как правило, недостаточно эффективно.

Практика эксплуатации тоннелей в районах сурового климата показала, что наиболее радикальным мероприятием в борьбе с отрицательными последствиями обмерзания тоннелей является их капитальный ремонт, чтобы ограничить поступление воды к тоннелю с устройством гидроизоляции обделки.

Температурные напряжения в тоннельной обделке. Вследствие значительных перепадов знакопеременных температур внутритоннельного воздуха и, соответственно, тоннельной обделки в последней возникают растягивающие напряжения, превышающие иногда предел прочности бетона на растяжение. Это приводит к разрыву сплошности конструкции с образованием трещин разнообразной ориентировки. Отрицательные температуры вызывают раскрытие уже имеющихся трещин, а положительные — способствуют их смыканию. Большое значение имеет разность температуры обделки на ее внутренней и внешней поверхности — на контакте с грунтом. По данным исследований В. П. Казакова установлено, что на внутренней поверхности бетонной обделки толщиной 500...600 мм развиваются растягивающие напряжения 0,4 МПа на 1 °С разницы температуры между ее внутренней и внешней поверхностями. Наиболее активное развитие таких напряжений приурочено к припортальным участкам, где существенно влияние наружного воздуха.

Одной из причин трещинообразования является наличие жесткого контакта между грунтом и обделкой, что при изменении температуры приводит к напряжениям «стеснения», т.е. напряжениям, возникающим вследствие «зашемления» внешней поверхности обделки. Кроме того, чем меньше толщина обделки, тем при прочих равных условиях ниже возникающие в ней температурные напряжения. Отсюда следует, что уменьшить величину температурных напряжений возможно путем снижения степени сцепления на контакте обделки и вмещающим тоннель грунтом за счет нанесения на поверхность выработки пограничного слоя, уменьшения толщины обделки, введения добавок, увеличивающих прочность бетона на растяжение и уменьшающих модуль упругости бетона.

В северных районах Японии распространены теплоизоляционные покрытия тоннельных обделок, особенно вблизи порталов, для предот-

вращения трещинообразования и наледообразования. Следует отметить, что устройство в последнее время гидроизоляционных пленок на внешней поверхности обделок строящихся тоннелей фактически реализует одну из приведенных выше рекомендаций.

Морозное пучение грунтов за обделкой. Скопления подземных вод в прорезаемых тоннелями грунтах могут привести в зимний период к увеличению объема линз, склонных к пучению грунтов, а при оттаивании — к просадкам и разжижению пород, слагающих основание тоннельной обделки. Ряд наблюдавшихся в эксплуатируемых тоннелях деформаций в виде просадок стен и разрушений обратных сводов является следствием периодического действия сил пучения, величина которых может превышать величину прогнозируемого при проектировании горного давления.

Процесс пучения с наибольшей интенсивностью проявляется в пылеватых и лессовидных грунтах. Пройденные тоннельной выработкой глинистые грунты приобретают способность пучения лишь по прошествии нескольких лет, необходимых для утраты их водонепроницаемых свойств под действием периодического размораживания. Интенсивность пучения наряду с гранулометрическим и минералогическим составом грунтов зависит и от структуры последних, а также от гидрогеологических и температурных условий выработок. Помимо обычных отрицательных воздействий, оказываемых на железнодорожный путь на открытых участках дороги, пучение грунтов в тоннелях может привести к серьезным деформациям обделки с нарушением габарита.

Время появления деформаций морозного пучения и динамика их развития зависят от условий промерзания массива, глубины заложения пучинистых грунтов. При расположении таких грунтов в приконтурных слоях морозное пучение проявляется в начале зимы и развивается по мере увеличения промерзшего слоя до границы непучинистых грунтов. Если же пучинистые грунты удалены от контура тоннеля, то пучины проявляются позже. Балластное пучение появляется, как правило, в начале зимы при переувлажнении балласта. Такие пучины могут достигать 25...30 мм.

Наибольшие деформации пучения грунта за обделкой наблюдаются в зимний и весенний период в виде перемещения стен внутрь тоннеля. Деформации обделки могут достигать 150...200 мм и являться причиной нарушения нормальной эксплуатации тоннеля и разрушения обделки. Особенно опасны неравномерные деформации, причинами ко-

торых являются неоднородность состава и сложения пучинистых грунтов, неравномерность увлажнения и промерзания грунтов из-за различия гидрогеологических условий по длине тоннеля.

Предотвратить глубокое сезонное промерзание грунтов при эксплуатации тоннелей в условиях Сибири практически невозможно. Поэтому основные мероприятия по предотвращению негативных последствий морозного пучения должны быть предусмотрены в проекте. К таким мероприятиям относится применение обделок замкнутого сечения (подковообразных с обратным сводом или круговых), а также устранение обводненности пучинистых грунтов. Первоочередным мероприятием, выполняемым во всех случаях проявления пучения в эксплуатируемых тоннелях, является приведение в порядок балластной призмы, обочин и лотков, а также планировка поверхности основной площадки с целью обеспечения быстрого отвода подземных вод в тоннельный лоток.

Опыт эксплуатации тоннелей в районах с суровым климатом показывает, что если своевременно не повышать эффективность мероприятий по борьбе с неблагоприятными факторами, трудности их содержания существенно возрастают. К таким мероприятиям относятся снижение обводненности тоннеля и тепловая защита тоннеля. Мероприятия по снижению обводненности эксплуатируемого тоннеля относятся к работам по капитальному ремонту тоннеля и освещены в соответствующем разделе учебника.

Тепловая защита тоннелей. Первые попытки тепловой защиты тоннелей, эксплуатируемых в суровых климатических условиях, были приняты в начале XX века. С этой целью применяли отопление большими железными печами, устанавливаемыми внутри тоннеля, а порталы оборудовали брезентовыми завесами.

В настоящее время методы и средства тепловой защиты претерпели серьезные изменения. Долгое время оставалась неразрешенной проблема перемерзания водоотводных лотков. Сначала для обогрева внутри них укладывали трубы, по которым подавали горячую воду или пар от котельных, сооружаемых у порталов. С такой системой обогрева водоотводных лотков эксплуатировались многие тоннели, но трубы быстро корродировали и выходили из строя. В середине 60-х годов для обогрева лотков стали применять трубчатые ТЭНы.

Опыт применения ТЭНов для обогрева лотков выявил ряд недостатков, связанных с их конструктивными особенностями и условиями фор-

мирования водотока в лотках. Во-первых, нагревающий элемент ТЭНа должен быть полностью покрыт слоем воды, иначе при оголении он выходит из строя из-за быстрого перегрева. Поэтому в водоотводных лотках, где недостаточна глубина водного потока, устраивают платину, за которой с верхней стороны устанавливают ТЭН. Во-вторых, снижение уровня протекающей по лоткам воды из-за сезонных или других колебаний водопритоков к тоннелю также является причиной выхода из строя ТЭНов, увеличивающей риск замерзания воды при недостаточно эффективном точечном обогреве.

Поэтому в середине 1970-х годов система обогрева водоотводных лотков получила более совершенное решение — линейные нагревательные элементы в виде греющих кабелей и лент. Первый опыт обогрева воды в водоотводных лотках с использованием геофизического каротажного кабеля типов КГЗ и КГШ, подключенного к сварочному трансформатору, был получен в Нагорном тоннеле на БАМе. Кабель со стальными жилами в резиновой оболочке от протекающего тока нагревался до температуры 60...80 °С и не выходил из строя, даже если не был покрыт водой. Путем подбора длины кабеля и соответствующей силы тока были получены оптимальные уровни теплоотдачи с его поверхности для различных гидрологических условий лотков по длине тоннеля.

Несколько позже для решения аналогичных задач в тоннелях были применены греющие ленты. Преимуществами нагревательных лент являлись электробезопасность и эластичность. В настоящее время во всех вновь строящихся тоннелях предусматривают электрообогрев водоотводных лотков с использованием греющего кабеля и автоматического регулирования температуры нагрева. Как правило, кабель укладывают по дну лотков и покрывают цементно-песчаной стяжкой для защиты от механических повреждений во время очистки от наносов (рис. 4.14).

Для регулирования тепловентиляционного режима протяженных тоннелей применяют конструктивные и технологические меры. К конструктивным мероприятиям относят утепление обделки теплоизоляционными материалами, устройство механических порталных затворов, термоизолирующих зонтов. За рубежом в последнее время стали применять так называемые адиабатические обделки — многослойные конструкции с теплоизоляцией, устраиваемой по внутренней поверхности, или промежуточным слоем между первичной и вторичной обделками. В качестве утеплителя используют рулонные и листовые синтетические материалы (пенополиэтилен, пеноуретан, минеральную вату с оболоч-

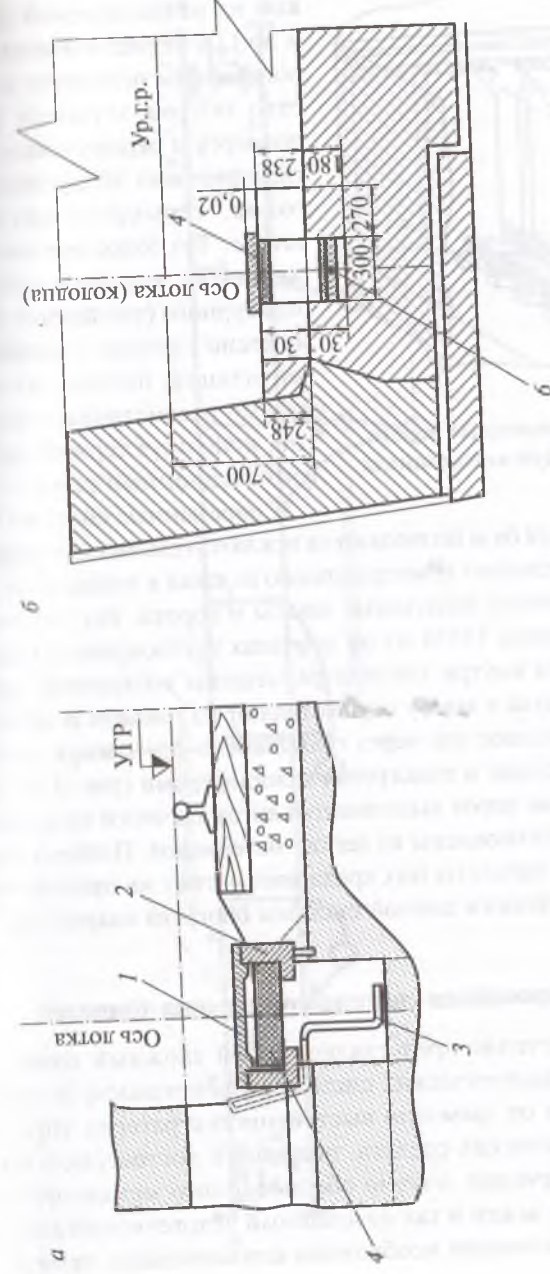


Рис. 4.14. Электрообогрев водоотводного лотка ТЭНами (а) и греющим кабелем (б): 1 — железобетонная крышка; 2 — железобетонный блок; 3 — ТЭН; 4 — пенопласт; 5 — защитный слой из армированной цементной стяжки; 6 — греющий кабель

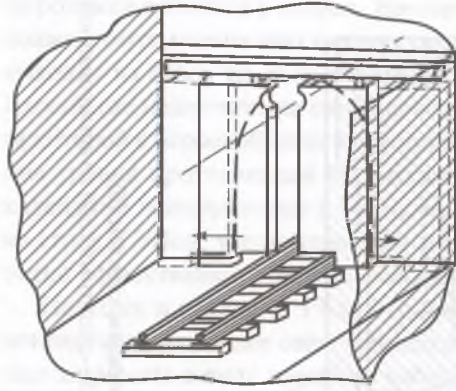


Рис. 4.15. Теплоизоляционные ворота на порталах Северо-Муйского тоннеля

и надежная элементная база позволяют (в исключительных случаях) для сохранения положительного температурного режима в тоннелях и метрополитенах использовать воздушные завесы и ворота. Так, в Северо-Муйском тоннеле (длина 15370 м) на порталах установлены раздвижные ворота, а за ними внутри тоннеля размещены воздушные завесы (рис. 4.15). Забор воздуха в завесу осуществляют из тоннеля и вентиляционных стволов и подают его через транспортно-дренажную штольню, дополнительно осушая и подогревая калориферами (рис. 4.16). Открывание и закрывание ворот выполняется автоматически по команде СЦБ. Полотна ворот изготовлены из легких материалов. Поэтому в аварийной ситуации при наезде на них вреда локомотиву не причиняется. За весь период эксплуатации данной системы обогрева аварийных ситуаций не случилось.

4.6. Автоматизированная система содержания тоннелей

Тоннельное пересечение представляет собой сложный комплекс конструктивных и технологических систем, эффективность управления которыми зависит от грамотно выстроенной стратегии управления, надежности технических средств, полноты и достоверности информационного обеспечения, научно обоснованного методологического подхода. Не менее важен и так называемый человеческий фактор. Для минимизации его влияния необходима автоматизация производ-

кой из металлической фольги и др.). К технологическим мероприятиям относятся устройство тепловоздушных завес, подогрев и рециркуляция вентиляционных воздушных потоков, терморегулирующие зонты. Технологические мероприятия регулирования температурного (теплового) режима тесно связаны с вопросами вентиляции, поэтому их необходимо рассматривать совместно, используя термин «тепло-вентиляционный режим».

Современные системы СЦБ

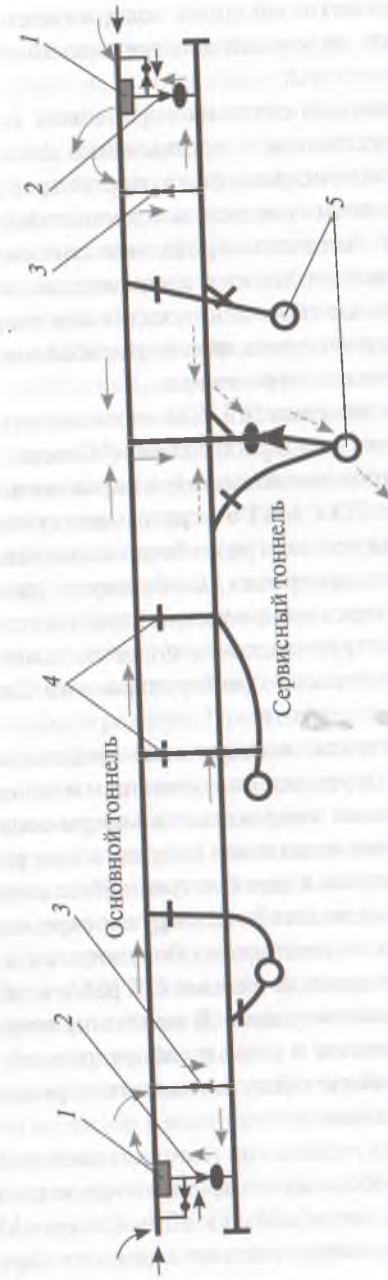


Рис. 4.16. Схема тепловентиляционного режима Северо-Муйского тоннеля в зимний период:
1 — основные калориферы; 2 — калориферные вентиляторы; 3 — распределительные вентиляторы; 4 — перемычки;
5 — вентиляционные стволы

ственных процессов, связанных с текущим содержанием тоннеля и обеспечивающих безопасный, надежный и непрерывный поток транспорта по тоннелю.

Создание автоматизированной системы управления текущим содержанием тоннельного пересечения — чрезвычайно сложная техническая и интеллектуальная задача, решение которой требует участия высококвалифицированных специалистов, владеющих вопросами из различных областей знаний. Автоматизированная система текущего содержания тоннеля включает различные направления, из которых первостепенное значение имеют геомеханический мониторинг и управление технологическими процессами, обеспечивающими работу сопутствующих систем тоннельного пересечения.

Рассмотрим принципы автоматизации технологического процесса содержания тоннельного пересечения на примере Северо-Муйского тоннеля. Проект автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП СМТ) в период эксплуатации этого самого протяженного в России тоннеля разработан коллективами проектного института «Ленметогипротранс», Сибирского университета путей сообщения, Конструкторско-технологического института вычислительной техники и Конструкторско-технологического института геофизического и экологического приборостроения Сибирского отделения РАН.

Система включает такие аспекты эксплуатации тоннеля, как повышение качества и оперативности управления основным и вспомогательным оборудованием, поддержание микроклимата внутри сооружения в заданных пределах, обнаружение нештатной ситуации при работе этого оборудования и создание условий для быстрой ее ликвидации. Автоматизированная система позволяет оператору своевременно получать достоверную информацию о состоянии оборудования в удобном для анализа виде, тем самым повышая надежность работы оборудования и предотвращая нештатные ситуации. В конечном итоге, сокращается время и объем обслуживания и ремонта оборудования, улучшаются и облегчаются условия работы обслуживающего персонала, снижаются эксплуатационные расходы.

Автоматизированная система управления технологическими процессами включает графическую информационно-справочную систему инженерно-технического оснащения и эксплуатации Северо-Муйского тоннеля. Информационно-справочная система содержит картографи-

ческие материалы (планы, профили, геологические разрезы, чертежи, схемы, техническую документацию) на все инженерные объекты и технические средства тоннельного пересечения, а также базы данных о показателях технического состояния сооружения (характер повреждений и отказов, объемы произведенных ремонтов и реконструкции, замены оборудования и др.) с аналитической системой решений по устранению дефектов и рекомендациями по техническим мероприятиям. По мере накопления информации представляется возможность прогнозировать поведение конструкций и оборудования, планировать соответствующие организационно-технические мероприятия.

В составе АСУ разработаны такие подсистемы, как материально-техническое снабжение, управление персоналом, финансовый учет и др. Технические средства АСУ ТП выполняют комплекс взаимосвязанных информационных, управляющих и вспомогательных функций.

К информационным функциям относятся: измерение и контроль технологических параметров, обнаружение, сигнализация и регистрация отклонений параметров от установленных норм, формирование и выдача данных оперативному персоналу, архивирование предыстории параметров, контроль и регистрация срабатывания противоаварийных защит (блокировок), формирование отчетных документов.

Измерение и контроль технологических параметров выполняются в автоматическом режиме. При этом осуществляются измерение параметров и сбор информации о положении и состоянии исполнительных механизмов, вентиляторов, калориферов, насосов, других средств управления, параметров климата внутри и снаружи тоннеля и состава воздуха в подземных выработках тоннеля на основе аналоговых сигналов, сигналов от цифровых измерителей влажности воздуха, сигналов от цифровых термометров. Сообщения о состоянии и нарушениях технологического процесса, о нарушениях состояния комплекса технических средств АСУ ТП выдаются оперативному персоналу посредством видеомониторов. Функция выполняется с периодическим опросом датчиков. Формирование и выдача данных, вызовы видеокadres осуществляются по инициативе оперативного персонала. Информация выдается на монитор в виде фрагментов технологических схем, графиков, таблиц, гистограмм.

Основные функции архивирования предыстории параметров реализуются на сервере АСУ ТП. Информация включает сведения о событиях, аварийных ситуациях, изменении во времени параметров. Архиви-

рование выполняется в виде исторических, часовых, сменных, суточных, произвольных фиксаций данных и представляется в виде графиков и таблиц.

Управляющие функции технических средств АСУ ТП заключаются в автоматическом регулировании, дистанционном и программно-логическом управлении, обеспечивая выдачу выходных сигналов управления.

Вспомогательные функции обеспечивают проверку достоверности информационных сигналов и исполнения управляющих воздействий, тестирование и самодиагностику состояния технических средств АСУ ТП.

В настоящее время АСУ ТП СМТ является действующей системой. Развитие ее предполагается в первую очередь в подключении системы геотехнического мониторинга.

Система геотехнического мониторинга, созданная еще в период строительства тоннеля, будет действовать и в период эксплуатации в составе АСУ Северо-Муйского тоннеля. Внедрение системы геотехнического мониторинга в стадии эксплуатации позволит накапливать изменения в геологических и гидрогеологических архивах. Становится возможным оперативное оповещение службы эксплуатации тоннеля о появлении признаков изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива, развитии деформаций конструкций, изменении прочностных и деформационных свойств грунтов, горном и гидростатическом давлении. Это позволит в случае потенциально опасных аварийных ситуаций принять своевременные технологические мероприятия по их предупреждению и нормализации условий эксплуатации тоннеля.

В настоящее время система поддержки эксплуатации, разработанная СГУПС, позволяет осуществлять мониторинг дефектов обделки и других конструкций, оценивать техническое состояние отдельных участков тоннеля.

Система мониторинга конструкций тоннеля (СМКТ) предназначена для своевременного выявления опасных деформаций конструкций тоннеля путем автоматического контроля и сбора информации о динамике изменения местоположения контрольных точек, установленных на его обделке. Структурная схема мониторинга представлена на рис. 4.17.

СМКТ осуществляет мониторинг относительного местоположения контрольных точек, установленных на обделке тоннеля в плоскости, перпендикулярной оси тоннеля. Оборудование разработано фирмой *Slope Indicator* специально для использования в тоннелях и отвечает

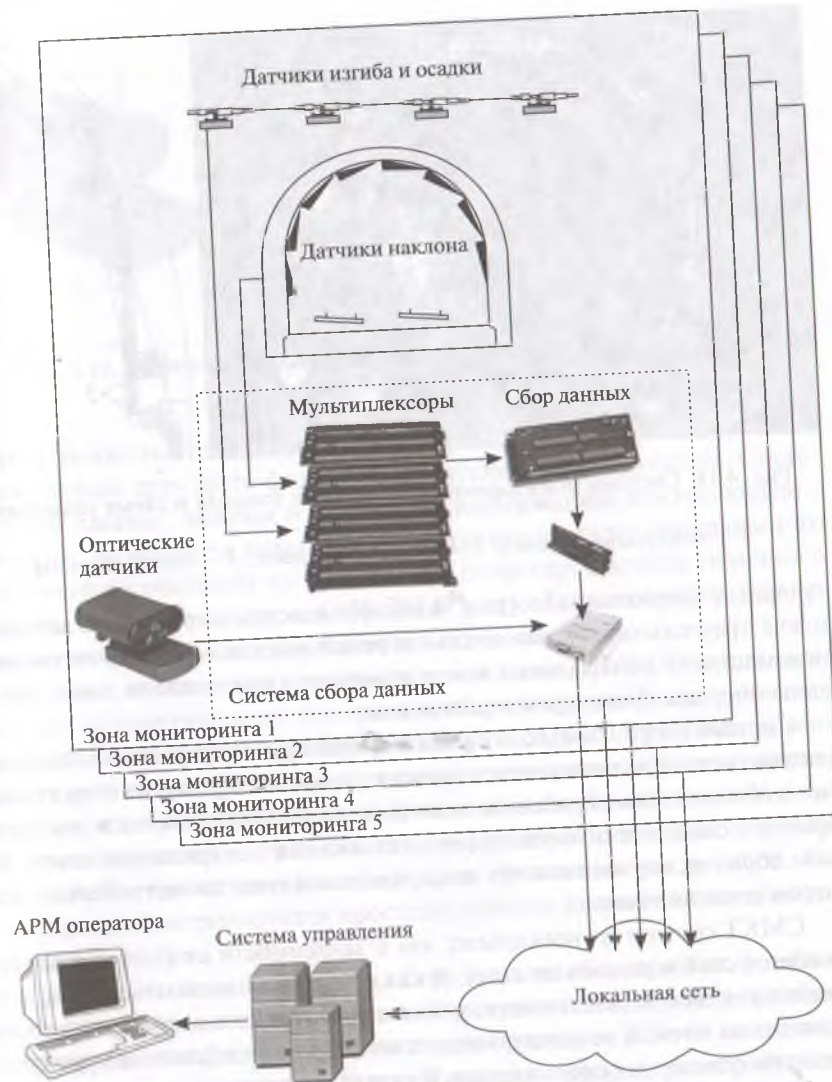


Рис. 4.17. Структурная схема мониторинга конструкций тоннеля

всем необходимым требованиям по степени защищенности от внешних воздействий, предъявляемых к подобным системам.

Система шарнирно соединенных коротких и длинных плеч соединяет каждую из контрольных точек с соседней точкой, образуя ряд вир-

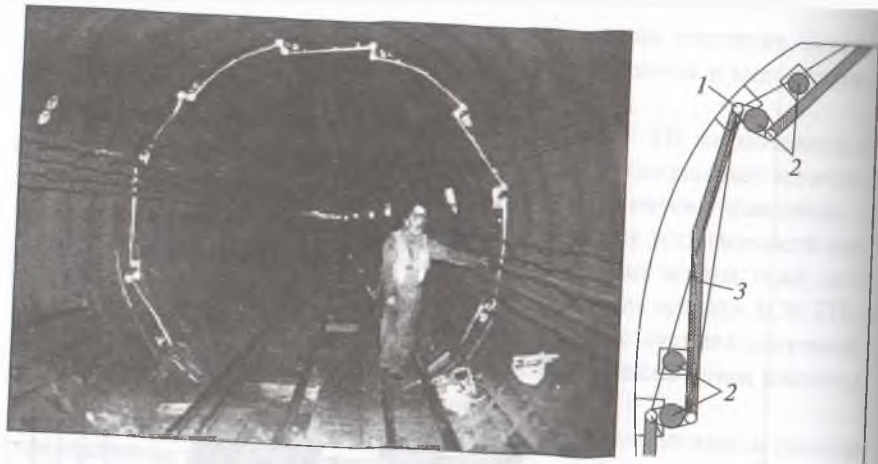


Рис. 4.18. Система мониторинга конструкций тоннеля и схема установки датчиков:

1 — контрольная точка; 2 — датчики наклона; 3 — плечо системы

туальных треугольников (рис. 4.18). На каждом коротком и длинном плече треугольника установлены датчики наклона. Пространственное перемещение контрольных точек изменяет углы наклона плеч, что, в свою очередь, фиксируется датчиками.

Система сбора данных, получая и анализируя информацию, поступающую с датчиков, позволяет с помощью специализированного программного обеспечения обработать и выдать оператору системы в реальном времени сведения о текущем местоположении контрольных точек. Таким образом, осуществляется контроль изменения геометрических размеров сечения тоннеля.

СМКТ состоит из нескольких зон в зависимости от конструктивных особенностей и решаемых задач. В каждой зоне в одной плоскости, перпендикулярной к оси тоннеля, устанавливают несколько шарнирно соединенных плеч, и на каждую пару плеч (короткое и длинное) прикрепляют по одному датчику наклона. Каждый датчик подключают к оборудованию сбора данных, установленному в камерах и нишах тоннеля. Терминальный интерфейс преобразует и передает информацию на автоматизированное рабочее место оператора системы мониторинга. В свою очередь в каждой из зон мониторинга установлена зональная контрольная точка. Мониторинг местоположения зональных контрольных точек осуществляют с помощью оптической системы мониторинга (рис. 4.19).



Рис. 4.19. Оптический датчик и схема работы системы оптического мониторинга

Изменение местоположения контрольных точек в трех плоскостях относительно друг друга фиксируется оптическими датчиками. Система сбора данных, получая и анализируя информацию, поступающую с датчиков, позволяет с помощью специализированного программного обеспечения в реальном времени выдать оператору системы сведения о текущем местоположении контрольных точек. Таким образом, осуществляют мониторинг искривления оси тоннеля.

Система мониторинга верхнего строения пути (СМВСП) предназначена для автоматического контроля и сбора информации о динамике изменения местоположения контрольных точек, установленных на верхнем строении пути, и своевременного выявления возникающих отклонений от эксплуатационных норм. В каждой контрольной точке на шпалах железнодорожного пути с шагом 6 м устанавливается датчик изгиба и осадки. Контрольные точки шарнирно соединены между собой. Таким образом контролируется пространственное положение железнодорожного пути (рис. 4.20).

Каждый датчик подключают к оборудованию сбора данных, установленному в камерах и нишах тоннеля. Терминальный интерфейс преобразует и передает информацию на автоматизированное рабочее место оператора системы мониторинга, где полученная информация обрабатывается посредством специализированного программного обеспечения.

Автоматизированная система контроля габаритов (АСКГ) предназначена для контроля габаритных размеров грузов, пропускаемых через тоннель. Система строится с помощью 10 пар активных инфракрасных датчиков типа «Излучатель-приемник», предназначенных для создания лучевого габарита, контроллера и трех видеокамер. Семь пар датчиков

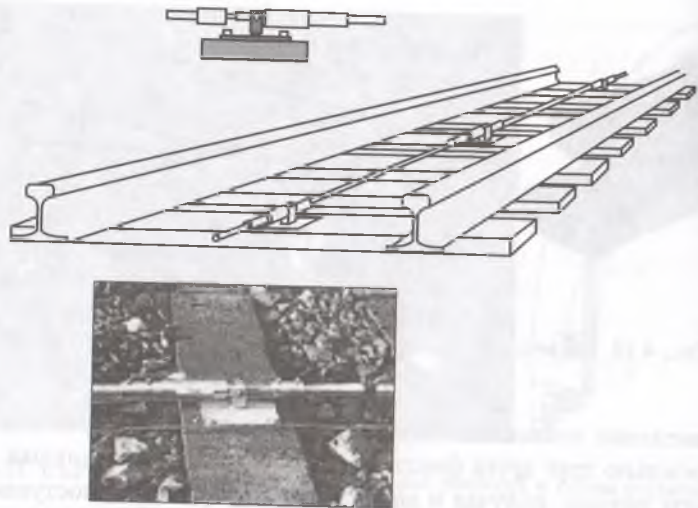


Рис. 4.20. Схема установки датчиков изгиба и осадки, общий вид устройства

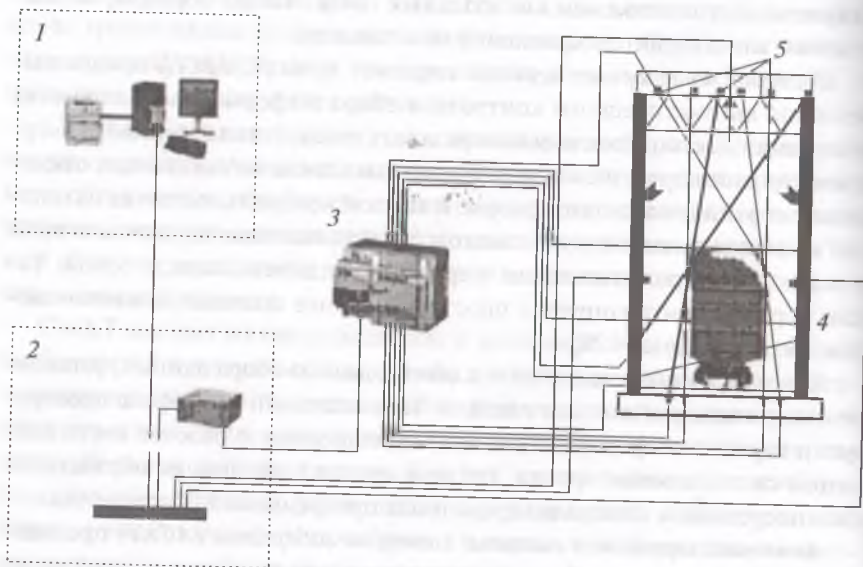


Рис. 4.21. Автоматизированная система контроля габаритов:
 1 — диспетчерский пункт; 2 — система управления; 3 — коммутатор;
 4 — ИК-датчик счета вагонов; 5 — ИК-датчик контроля габаритов

служат для контроля боковых габаритов и высоты погрузки грузов и три шпры — для счета вагонов (рис. 4.21).

Сервер системы АСКГ выполняет функции централизованного хранения базы данных системы, автоматического ведения журнала событий и тревог (данные о негабарите погрузки, счет вагонов, время прохождения состава и др.), автоматического оформления учетно-отчетной документации, подготовки отчетов, резервного копирования информации, обработки информации и выдачи ее по запросу оператора системы.

Автоматизированное рабочее место пользователя (АРМ) предназначено для просмотра сотрудником видеозображения камер, поиска и просмотра видеoinформации из архива, поиска событий и данных о негабарите погрузки в базе данных (БД) сервера, а также вывода на экран и печать учетно-отчетной документации.

Глава 5. ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБУСТРОЙСТВ

5.1. Общие положения

Для поддержания надлежащего технического состояния тоннельного пересечения и своевременной ликвидации возникающих дефектов в процессе эксплуатации тоннелей производят ремонтные работы. Если их объем невелик и может быть выполнен силами и средствами дистанции пути, то эти работы проводят в процессе текущего ремонта. Работы, требующие значительных трудовых и материальных затрат или применения специальных машин, механизмов и оборудования, выполняют специализированные строительные организации в процессе капитального ремонта тоннеля или его реконструкции.

Необходимость выполнения текущего ремонта и виды выполняемых при этом работ определяют по результатам текущих и периодических осмотров сооружений. Результаты весеннего осмотра являются основой для уточнения набора ремонтных работ, осеннего — для подведения итогов и оценки работы подрядчиков. Объемы и сроки текущих ремонтов на объекте устанавливают с учетом климатических, эксплуатационных и других местных условий. Работы проводят по месячным планам, разрабатываемым тоннельным мастером на основе утвержденных в установленном порядке годовых планов с учетом результатов осмотров сооружений. Работы, связанные с текущим ремонтом, выполняют, как правило, без нарушения графика или режима движения. Однако при этом должна быть обеспечена безопасность движения транспортных средств и людей, занятых на ремонтных работах. Если в процессе работ обнаружены повреждения, не учтенные в планах ремонта, их устранение следует включить в состав проводимых ремонтных работ.

К работам текущего ремонта относят укрепление обделки и контурного грунтового массива, расшивку швов и канавок обделок, а также малые объемы работ по омоноличиванию вывалов и повер-

стных дефектов монолитных обделок, перекладке отдельных колеи сборных обделок, локальных работ по ликвидации обводненности, переустройству водоотводных и дренажных устройств, систем обогрева и др.

Работы текущего ремонта выполняют по утвержденным технологическим правилам — регламентам или картам. Технологические регламенты или карты включают информацию о дефектных участках с указанием условий производства работ и требований нормативных и руководящих документов на их выполнение. Кроме того, в них изложен состав подготовительных, основных и заключительных операций, состав, численность бригад и разряд рабочих, потребность в материалах, оборудовании и инструменте, пооперационный график выполнения работ тоннельными бригадами. В заключительной части этих документов изложены вопросы охраны труда с указанием схемы ограждения мест работ в привязке к конкретному объекту.

Выполнение работ по текущему ремонту осуществляют без нарушения режима движения поездов или в короткие технологические «окна» (кратковременные перерывы в движении поездов не более 6 ч), с принятием мер по обеспечению безопасности движения поездов. Для производства больших и сложных работ продолжительность «окон», по возможности, увеличивают.

При ремонте стен обделки оборудование, материалы, инструмент завозят к месту работ заранее и размещают в ближайшей нише или камере. При ремонте свода их размещают и завозят на дрезине, а работы выполняют с подмостей или технологических площадок (рис. 5.1).

Руководство и технический надзор за выполнением работ осуществляет тоннельный мастер или другой работник, назначаемый приказом руководителя организации, в сложных или особо ответственных случаях — начальник дистанции или его заместители. Приемку выполненных работ осуществляет комиссия, назначаемая руководителем эксплуатирующей организации.

В ходе любого вида ремонта следует контролировать соблюдение технологии работ и оформление исполнительной документации. Необходимо также проверять соответствие применяемых материалов и осуществлять пооперационный контроль на всех этапах и стадиях технологического процесса.

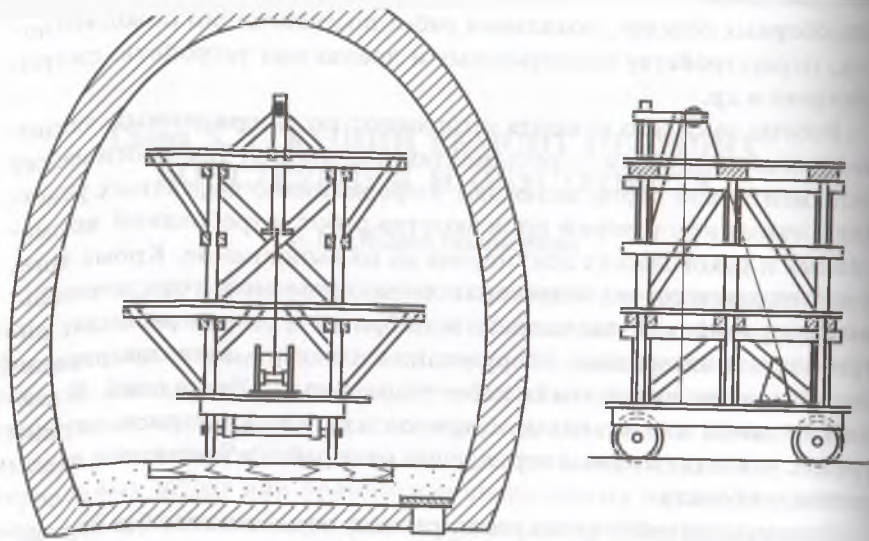


Рис. 5.1. Подмости для выполнения текущего ремонта в тоннеле

5.2. Текущий ремонт тоннельных обделок

Упрочнение тоннельных обделок цементацией. Для восстановления проектных прочностных характеристик бетона и придания обделке тоннеля большей водонепроницаемости в бетон обделки через пробуренные шпуров вводят цементный раствор с различными добавками (цементация). До начала работ по цементации заделывают швы и трещины в обделке и ликвидируют пустоты за обделкой.

Состав и консистенцию цементного раствора принимают в зависимости от состояния обделки и степени обводненности тоннеля, но удовлетворяющие следующим требованиям: растекаемость в начале нагнетания — не более 37 см при В/Ц = 1 и в конце нагнетания — не более 27 см при В/Ц = 0,8; размываемость — не более 0,1 %; сроки схватывания: начало — не позднее чем через 40 мин, конец — не позднее чем через 60 мин; водоудерживающая способность, характеризуемая коэффициентом водоотделения, для предупреждения расслаивания раствора во время инъекции (введения раствора) должна быть не менее 80 % при В/Ц = 1. Раствор после затвердения должен иметь плотную однородную струк-

туру, снижение предела прочности при сжатии после 10 циклов попеременного замораживания и оттаивания должно быть не более 1 % от прочности контрольных образцов.

В зависимости от пористости бетона выбирают необходимый по проницаемости растворонасос. Раствор готовят в растворонасосе емкостью до 150 л непосредственно на месте работ не ранее чем за 30 мин до нагнетания. Для цементации применяют инъекторы с обратной циркуляцией раствора. При небольших объемах работ инъекцию производят без обратной циркуляции раствора.

Расстояние между шпурами, пробуриваемыми в обделке, принимают в зависимости от пористости обделки: при мелкопористой обделке — 0,5...0,8 м, среднепористой — 1...1,2 м, крупнопористой — 1,5...2 м. Шпуров располагают в шахматном порядке. Если инъекцию производят азрированными цементно-песчаными растворами, то скважины располагают на расстоянии 0,5...1 м одна над другой.

Инъекцию раствора производят в шпуров диаметром 32...46 мм, при этом их длина не должна превышать 2/3 толщины обделки. На участке укрепляемой обделки шпуров бурят с обеих сторон тоннеля. Инъекцию производят, начиная с нижнего ряда шпуров, до тех пор, пока давление не поднимется до максимального, предусмотренного проектом, но не выше 6 бар.

Цементация обделки считается выполненной при удельном водоуплощении, не превышающем 0,01 л/мин, при нагнетании воды под давлением 3 бар в контрольные скважины. Прочность образцов обделки после цементации должна превышать прочность ее образцов до цементации: для мелкопористой обделки — на 45...55 %, среднепористой — на 60...80 %, крупнопористой — на 85...100 %.

Восстановление поверхностного слоя бетонной обделки. По степени сложности работы по восстановлению поверхностного слоя обделки подразделяют на две группы: ремонт отслоений глубиной до 100 мм и глубиной разрушения бетона свыше 100 мм.

При восстановлении обделки в местах отслоений бетона глубиной до 100 мм основные операции включают оборку обделки до обнажения прочного слоя бетона, бурение шпуров диаметром 10...12 мм глубиной 100...150 мм и установку в них металлических анкеров в шахматном порядке по сетке 200 × 500 мм, очистку поверхности (продувку, промывку водой или слабым раствором соляной кислоты), закрепление на анкерах арматурной сетки с ячейками, обеспечивающими свободный пропуск наносимого раствора, но не более 100 × 100 мм (рис. 5.2).

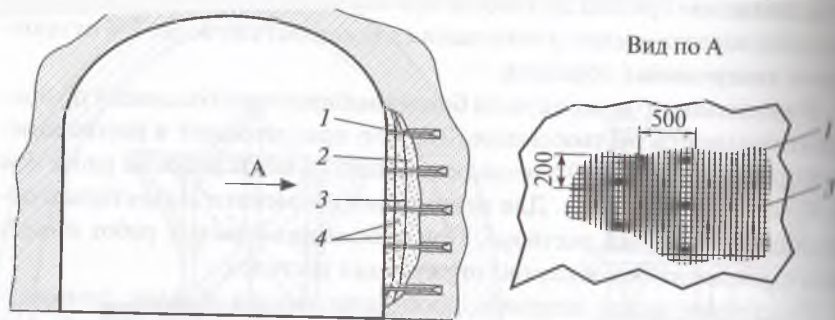


Рис. 5.2. Схема восстановления поверхностного слоя бетона обделки:
1 — шпурсы с анкерами; 2 — выравнивающий слой бетона; 3 — металлическая сетка 100 × 100 мм; 4 — слой бетона

Завершаются работы нанесением на подготовленную поверхность раствора на основе цемента высокой марки и песка (в соотношении 1:1). Для повышения прочности ремонтного состава в раствор может быть добавлен латекс СКС-65ГП (растворенный в воде в соотношении 1:2) в следующих объемных соотношениях: цемент—песок—добавка СКС-65ГП — вода = 1:(1...1,5):(0,2...0,4):0,5. Для ускорения сроков схватывания в раствор добавляют специальные добавки или силикат натрия (жидкое стекло) в объеме 5 % от массы цемента. Раствор наносят вручную или с применением специального оборудования. Так, при большой площади восстановления нарушенного слоя обделки эффективно использовать оборудование для нанесения набрызгбетона. По окончании твердения раствора на поверхность обработанного участка наносят гидроизолирующее покрытие на основе герметизирующих составов проникающего действия.

При ремонте сводовой части обделки инструмент, приспособления, оборудование загружают на технологическую платформу (дрезину), которую подают к месту работ в «окно». Работы выполняют с технологической площадки.

Последовательность операций при ремонте обделки глубиной разрушения свыше 100 мм та же, что и для ремонта при глубине разрушения до 100 мм, но полость обделки заполняют раствором послойно или укладывают ремонтный состав за опалубку на всю глубину разрушения.

Работы по устранению трещин в бетонных конструкциях. В зависимости от величины раскрытия трещины ликвидируют заполнением их цементным раствором, цементным «молоком» на эпоксидной смоле или полимерными составами. Поверхностные трещины глубиной до 50 мм после разделки затирают или заполняют с помощью шпателей и терок.

Трещины глубиной более 50 мм герметизируют с помощью инъекторов глубинного типа — пакеров (рис. 5.3). Вдоль трещины разделяется штроба на глубину 50 мм. Поверхность бетона в штробе тщательно очищают от пыли и грязи, в ней располагают металлическую мелкоячеистую сетку и заполняют ремонтным составом. После набора прочности ремонтного состава вдоль трещин в шахматном порядке с двух сторон с шагом 0,3...0,5 м бурят наклонные шпурсы $\varnothing 24$ мм на глубину не менее половины толщины обделки.

Угол наклона забуриваемых шпурсов должен обеспечивать пересечение последних с плоскостью простираения трещины, что гарантирует поступление в нее герметизирующего раствора. Пакеры или отрезки труб с резьбой на внешнем конце заделывают в шпурсы на цементном растворе или эпоксидном клее. Нагнетание в шпурсы производят с шагом в два шпура до появления раствора в соседних пакерах. Если раствор не поступает, то нагнетание производят в каждый шпур до «отказа» или достижения давления, установленного проектом.

Ремонт деформационных швов. Деформационные швы являются неотъемлемой частью конструкций обделок из монолитного бетона и

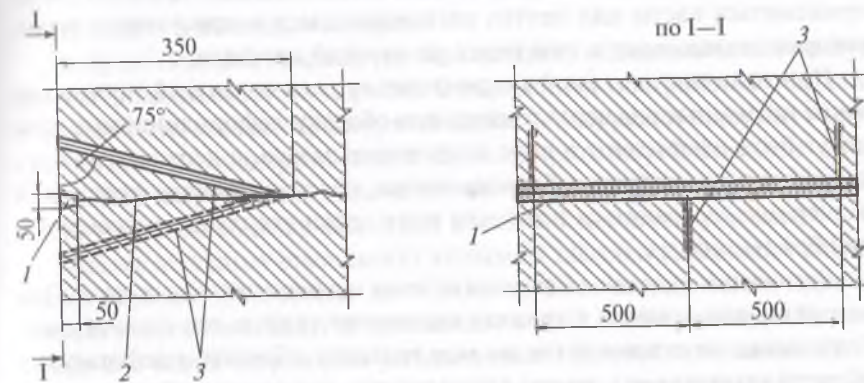


Рис. 5.3. Ликвидация трещины глубиной более 50 мм:
1 — штроба вдоль трещины; 2 — трещина; 3 — шпурсы диаметром 24 мм

...определя условия работы конструкции под нагрузками и различного рода воздействиями. В процессе эксплуатации тоннеля под воздействием подземных вод, проникающих в тоннель, знакопеременных температур, ослабления бетона и выколов у деформационного шва, снижается эффективность его работы.

Все указанные факторы отрицательно влияют на деревянные элементы, применяемые в конструкциях деформационных швов, приводят к преждевременному выводу его из рабочего состояния вследствие гниения древесины. В итоге деформационный шов становится местом интенсивного поступления подземных вод в тоннель.

Ремонт деформационных швов заключается в демонтаже деревянных элементов, зачистке и выравнивании боковых поверхностей шва абразивным инструментом, тампонаже заобделочного пространства цементно-песчаным раствором или другими составами, обеспечивающими осушение обделки в месте расположения шва. Водонепроницаемость шва может быть обеспечена, например, установкой в него шпонки «Ватерстоп». Торцевая поверхность в месте установки шпонки обрабатывается гидроизоляционным составом ТФ-1-ВА. Кроме того, применяют специальный профиль системы «Гармония», зафиксированный с помощью клея на основе эпоксидных смол (рис. 5.4). Систему профилей «Гармония» можно применять при раскрытии шва от 10 (тип Н-10) до 70 мм (тип Н-50) в диапазоне рабочих температур от -50° до $+120^{\circ}$ С. В случае низкой эффективности осушения обделки или невозможности выполнения тампонажа заобделочного пространства могут применяться пасты или ленты, расширяющиеся в присутствии воды, которые закладывают в шов перед установкой профиля.

При наличии наружной гидроизоляции, исключающей проникновение подземных вод через тоннельную обделку, деформационные швы могут быть оформлены в виде воздушного зазора, а деревянные прокладки между массивами бетонирования, обеспечивающие проектный размер шва, сохраняться в течение всего срока эксплуатации сооружения без демонтажа.

Ликвидация вывалов в бетонной обделке и ремонт холодных швов. При возникновении вывала в тоннеле оценивают тяжесть его последствий. Если вывал не сквозной (не на всю толщину обделки и деформации обделки отсутствуют), то его ликвидируют, выполняя работы в такой последовательности: производят оборку поверхности обнажения, забуривают шпур и устанавливают анкеры для крепления арматурной сет-

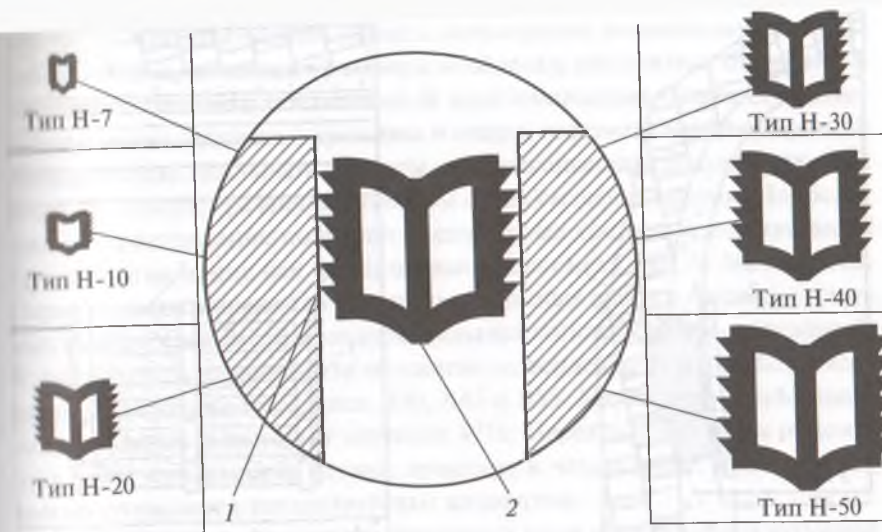


Рис. 5.4. Заполнение деформационного шва профилем системы «Гармония»: 1 — эпоксидный состав; 2 — элемент профиля

ки при глубине вывала до 150 мм или арматурного каркаса при глубине более 150 мм. Бетонирование полости вывала в зависимости от его объема выполняют методом наброски, набрызга или укладки бетона за опалубку. Опалубка может быть из досок, набранных на деревянных кружалах, или из стальных листов. Опалубку крепят на обделке в месте бетонирования с помощью анкеров.

В случае сквозного вывала (на всю толщину обделки и более) контур вывала дорабатывают по нормали к внутренней поверхности обделки, закрепляют на анкерах арматурный каркас и сооружают опалубку с закреплением на поддерживающие кружала (рис. 5.5). В опалубке устанавливают патрубки для подачи бетонной смеси. После набора прочности бетона за обделку нагнетают цементно-песчаный раствор.

Заделку холодных швов между кольцами обделки выполняют следующим образом. Отбойными молотками срубают слабый бетон, доработанные участки очищают и промывают водой. По периметру обделки попарно с обеих сторон шва устанавливают железобетонные анкеры с шагом 1 м. На каждую пару анкеров приваривают направляющие из арматуры и за них снизу вверх заводят и расклинивают затяжку из досок. Затем бетонируют шов через инъекционные трубки. Сначала бетониру-

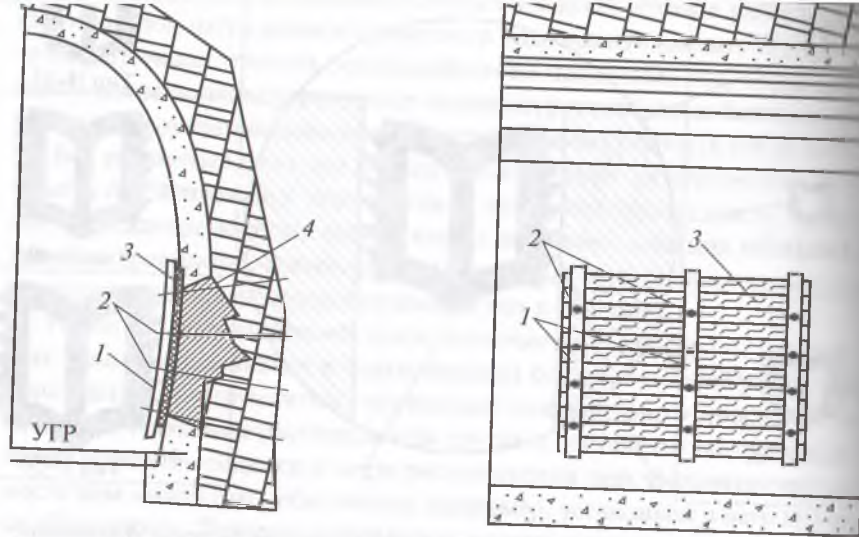


Рис. 5.5. Ликвидация сквозного вывала в бетонной обделке:
1 — кружала из швеллера; 2 — анкеры; 3 — опалубка; 4 — арматурные стержни

ют швы в стенах, затем — в своде обделки. Все работы производят в «окна», с технологической тележки. После набора прочности бетона выступающие из обделки части анкеров срезают и демонтируют затяжку.

Ликвидация протечек и восстановление водонепроницаемости обделки. На участке тоннельной обделки с обводненностью в виде капежа или слабых течей поступление воды в тоннель можно ликвидировать нагнетанием гидроизоляционного раствора за обделку. Для этого в обделке забуриваются шпury диаметром 42 мм с шагом 500 × 500 мм. Шпury должны выходить за пределы наружного контура обделки на 100...150 мм. В шпury устанавливают пакеры и нагнетают раствор под давлением до «отказа». В качестве такого раствора можно использовать, например, состав на основе сухой ремонтной смеси Натлен-2. Затем очищенную от пыли, грязи и другого внутреннюю поверхность обделки покрывают гидроизоляционной мастикой, например, ТФ-1-ВА. Мاستику наносят как на сухую, так и на влажную поверхности с предварительным обдувом сжатым воздухом.

Текущий ремонт сборных обделок. При эксплуатации тоннелей с обделкой из сборных чугунных или железобетонных конструкций основ-

ное внимание необходимо уделять заполнению чеканочных канавок, отверстий для нагнетания раствора за обделку, монтажных отверстий и состоянию болтовых соединений. В железобетонных обделках следует одновременно заделывать трещины и сколы, восстанавливать защитный слой арматуры, исключать факторы, обуславливающие ее коррозию. Для этого используют различные составы сухих смесей и мастик. Наибольшее распространение получили специальные составы отечественного производства, такие как безусадочная сухая смесь СБС и Монофлекс. Первая предназначена для гидроизоляционных работ и создания плотных стыков и швов сборных строительных конструкций и сооружений. В зависимости от прочности на сжатие затвердевшего материала смесь подразделяется на три класса: В30, В45 и В55. Марка водонепроницаемости материала достигает значения W10. Перед выполнением ремонтных работ поверхность бетона, арматура и чеканочные канавки тщательно очищаются пескоструйным аппаратом.

При значительных напорах грунтовой воды чеканку швов чугунной тюбинговой обделки предварительно производят оцинкованным шнуром с последующим заполнением чеканочной канавки составом СБС.

Болтовые соединения требуют периодической перетяжки, с заменой в случае необходимости комплекта соединения. Деформированные тюбинги необходимо заменять монолитными железобетонными вставками, выполненными по отдельным проектам.

5.3. Защита от обводнения эксплуатируемых тоннелей

Методами предупреждения и защиты тоннелей от обводнения при текущих ремонтах являются: организация поверхностного водоотвода, устройство защитных водоотводных экранов и локализация течей.

Поверхностный водоотвод — заключается в предупреждении проникновения в массив поверхностных вод путем расчистки и планировки поверхности надтоннельной зоны для регулирования стоков, создании сети водоотводных устройств и инфильтрационных покрытий. Эти меры должны выполняться для каждого эксплуатируемого тоннеля. Поверхность рыхлых грунтов покрывают водонепроницаемыми мембранами, слоем асфальтобетона или дерном. Трещины в прочных грунтах заполняют цементно-песчаным раствором или глиной с трамбованием. Для укрепления откосов на них высевают траву или высаживают кустарники. В откосах предпортальных выемок в необходимых случаях устраивают подпорные стены с системой водоотвода. Чтобы перехватывать

стекающие воды, устраивают нагорные и отводящие канавы и лотки, располагая их по направлению горизонталей склонов с плавным понижением к логам или оврагам. Разрушенные лотки должны быть восстановлены. При сложном рельефе канавы сооружают в несколько рядов. Поперечные сечения и уклоны водоводов должны обеспечивать сток воды без заиливания. При больших уклонах во избежание размыва русла водоотводных канав и лотков их выполняют ступенчатыми.

Установка защитных водоотводных экранов. Защитные водоотводные экраны устанавливают в местах капежа, течей воды из-за обделки на контактный провод или элементы его крепления, на электромеханическое оборудование. В качестве водоотводных экранов используют пластиковые зонты или листы оцинкованной стали толщиной 1,5...2 мм. Размер экрана определяется из расчета площади водопроявления. Для крепления защитных водоотводных экранов в обделке тоннелей применяют анкеры различной конструкции, например, клинощелевого или распорного типа диаметром 10...12 мм.

Работы по установке защитных водоотводных экранов проводят с подмостей, с изолированной площадки автототрисы АДМ или технологической площадки, установленной на МПТ-4. Вначале определяют ориентацию установки экрана — в крест или параллельно оси тоннеля в зависимости от площади и направленности водопроявления. Затем производят оборку слабоустойчивого бетона в местах установки экрана и бурят шпур диаметром 12...14 мм в обделке тоннеля, число которых определяют исходя из местных условий. В шпур устанавливают анкеры, на которых закрепляют защитный экран.

Локализация течей заключается в организации водоотвода поступающей в тоннель воды с помощью трубок, желобов и штроб, вырезанных в обделке, с последующим сбросом в водоотводные лотки. Для этого в месте поступления воды забуривают шпур и заделывают в него трубку. Поверхность обделки вокруг шпура покрывают гидроизолирующим составом проникающего действия, что позволяет максимально локализовать в шпуре поступающую воду. На заделанную трубку надевают шланг и закрепляют его хомутами на поверхности обделки или в прорезанной штробе. Второй конец шланга заводят в лоток.

В тоннелях с положительной температурой внутритоннельного воздуха установленную трубку срезают заподлицо с поверхностью и от нее вертикально вниз к водоотводному лотку на обделке закрепляют V-образный пластиковый или из оцинкованной стали профиль. Поступая

в шпур, вода стекает по стене под профилем, не смачивая смежные участки обделки и не отклоняясь от движения воздуха при прохождении поездов.

При низких отрицательных температурах воздуха в таких водоотводных возможно замерзание воды. Поэтому они должны иметь надежную тепловую защиту или искусственный обогрев в виде линейных электрических нагревателей. В зарубежной практике для локализации течей применяют индустриально изготавливаемые системы, которые позволяют существенно сократить время выполнения работ на их монтаж и обеспечить более надежный и эффективный сброс воды от истока до водоотводного лотка.

5.4. Защита тоннельных конструкций и пути от коррозии

Средства защиты от коррозии выбирают исходя из коррозионной активности грунтов и агрессивности грунтовых вод. Защита может осуществляться следующими способами: нанесением изолирующих покрытий, протекторной защитой, катодной защитой внешним током, применением изолирующих фланцев, муфт, изоляционных стыков.

Наиболее простым и распространенным средством защиты от коррозии являются защитные покрытия. Требования к антикоррозионным покрытиям: водо- и воздухонепроницаемость; химическая стойкость; непроницаемость для хлоридов, сульфатов и других ионов, ускоряющих процесс коррозии; противодействие длительному смачиванию и высушиванию; адгезия к металлу; механическая прочность; пластичность, препятствующая образованию трещин; биостойкость; неизменность свойств при низких отрицательных температурах; возможность механизации нанесения.

В качестве защитных покрытий применяют составы на основе органических и неорганических веществ, однако первые получили более широкое применение. К органическим веществам, применяемым в качестве антикоррозионных покрытий, относятся каменноугольные и битумные мастики. Для битумных покрытий используют изоляционные нефтяные битумы. Мастики на их основе готовят путем введения наполнителей и пластификаторов. Используют мастики различного состава: битумно-резиновые (их готовят в заводских условиях путем продувки через смесь резиновой крошки и битума перегретого пара с температурой 210...240 °С), битумно-минеральные (70...75 % битума, 3...5 % масла зеленого или соевого, 25 % известняка или доломита), би-

лупно-тальковые (65...85 % битума, 3...9 % масла, 15...20 % талька), битумно-атактиновые (95 % битума, 5 % атактического полипропилена) Битумно-минеральные, битумно-тальковые и битумно-атактиновые мастики готовят на рабочем месте.

В последнее время расширено производство синтетических полимерных покрытий, которые наносят экструзией, оплавлением, струйным, пламенным или электростатическим напылением, нанесением порошка в псевдосжиженном слое. Широкое применение получили покрытия на основе полиэтилена, поливинилхлорида, эпоксидной смолы и других полимеров.

Электрохимическая защита основана на том, что скорость электродных реакций (анодной или катодной) зависит от электродного потенциала. Электрохимической называют защиту металла от коррозии, осуществляемую поляризацией от внешнего источника тока или путем соединения с металлом (протектором), имеющим более отрицательный или более положительный потенциал, чем у защищаемого металла.

Для защиты подземных металлических конструкций от коррозии блуждающими токами в зонах знакопеременных потенциалов при малых плотностях анодного тока предназначены односторонние поляризованные протекторы. Их подключают к защищаемому сооружению через полупроводниковые диоды. Анод диода подключается к протектору, а катод — к сооружению.

В особо агрессивных сильно обводненных грунтах для защиты от коррозии чугунной обделки тоннеля может быть применена катодная защита. Она представляет собой поляризацию с помощью наложенного тока от внешнего (дополнительного) источника энергии, обычно — выпрямителя, который преобразует переменный ток промышленной частоты в постоянный.

Защищаемую конструкцию соединяют с отрицательным полюсом выпрямителя тока, и она действует в качестве катода. Второй электрод (анодное заземление) соединяют с положительным полюсом источника тока, и он действует в качестве анода. Необходимо учитывать, что большие размеры тоннелей потребуют больших затрат электроэнергии.

Иногда для защиты применяют токоотводы (заземлители, с которыми соединяют металлические сооружения при помощи изолированного проводника). Заземлители устанавливают в зонах, обладающих отрицательным потенциалом по отношению к заземляемому сооружению. В результате ток потечет в землю, и утечка тока с сооружения непосредственно в землю в этом месте уменьшается или совсем прекращается.

Изолирующие фланцы, изолирующие кабельные муфты, изолирующие стыки могут быть использованы самостоятельно и в сочетании с другими устройствами защиты. Основное назначение этих устройств — повышение эффективности электрохимической защиты.

В борьбе с электрохимической коррозией наиболее целесообразными являются мероприятия, призванные устранить или существенно ограничить утечки тяговых токов с созданием условий лучшей проводимости рельсовых цепей. К ним относятся уменьшение общего числа рельсовых стыков за счет укладки бесстыкового пути на всем протяжении тоннеля, приварка медных или стальных рельсовых соединителей сечением не менее 95 мм^2 электродуговой сваркой, соединение ходовых рельсовых нитей с дополнительно укладываемым нерабочим рельсом при помощи специальных рельсовых соединителей, что способствует выравниванию потенциалов и снижению утечки тяговых токов с рельсов в балласт, а также увеличение сечения ходовых рельсов, т.е. переход на более тяжелый тип верхнего строения пути. По экономическим соображениям последнее из перечисленных мероприятий применяется сравнительно редко.

Не менее важную роль в борьбе с явлениями электрохимической коррозии в тоннелях играет эффективное осушение лотковой части тоннеля и конструкция верхнего строения пути на бетонном основании с изолирующими прокладками.

5.5. Ремонт безобделочных тоннелей

На сети железных дорог России имеется немало тоннелей, заложенных в прочных скальных породах без устройства обделки или с укреплением обделкой только свода. Большинство тоннелей, сооруженных еще в начале прошлого столетия, имеют вполне удовлетворительное состояние, требуют минимум затрат по текущему содержанию. Однако за последние годы в некоторых из таких тоннелей, заложенных даже в очень прочных базальтах, начали появляться отколы и вывалы небольших линз породы толщиной от 5 до 20 см. Эти мелкие обрушения весьма опасны как для обслуживающего персонала, так и в случае попадания в стекло кабины машиниста поезда.

В тоннелях, не имеющих обделок, ремонты связаны, в основном, с обеспечением устойчивости контура выработки. Если при строительстве поверхность выработки не была закреплена сеткой на анкерах, а по сетке не нанесен облицовочный слой набрызгбетона, то в процессе

эксплуатации обнаженные грунты подвержены выветриванию, вследствие чего возможно отслоение отдельных кусков породы. Кроме того по трещинам внутрь тоннеля поступают подземные воды, создавая неблагоприятные условия для работы контактной сети, электромеханического оборудования. При низких отрицательных температурах они обуславливают образование наледей. В связи с этим важно своевременно обнаружить и произвести оборку неустойчивых камней на контуре выработки с последующей навеской сетки и нанесением облицовочного набрызгбетонного покрытия. Осушение грунтового массива, локализацию и отвод течей осуществляют аналогично тоннелям, имеющих обделку.

Глава 6. ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

6.1. Подземные сооружения метрополитена и организационная структура их содержания

В отличие от тоннелей на железных и автомобильных дорогах, представляющих собой разрозненные и, в подавляющем большинстве, весьма незначительной протяженности объекты, метрополитен — многокилометровая разветвленная сеть тоннелей, включающая сложный комплекс сооружений и обустройств. Достаточно сказать, что в Москве протяженность линий метро в двухпутном исчислении превышает 295 км (175 станций), в Санкт-Петербурге — 115 км (62 станции). В Нижнем Новгороде, Новосибирске, Самаре, Екатеринбурге и в Казани метрополитены продолжают развиваться. Общая протяженность линий метрополитенов, действующих в городах России, в 2010 г. превысит 500 км. Ведется строительство метрополитенов в Омске, Челябинске, Красноярске и Уфе. Обоснована необходимость метрополитена в комплексных транспортных схемах развития городского пассажирского транспорта Ростова-на-Дону и Перми.

Подземные линии метрополитена представляют собой сложный комплекс инженерных сооружений, выполняющих разнообразные функции, имеющих различные конструктивные решения, построенных с применением как классических, так и современных технологий в широком разнообразии инженерно-геологических условий. Все сооружения этого комплекса призваны обеспечить, помимо четкой организации интенсивного движения поездов (до 45 пар в час), удобное обслуживание пассажиров в надлежащих санитарно-гигиенических условиях. Многокилометровая городская железная дорога и напряженный эксплуатационный режим обуславливают и значительный контингент работников. Так, численность работников, отнесенная к 1 км линии в Москве и Санкт-Петербурге, составляет 78 человек. Однако с уменьшением протяженности линий метрополитена этот показатель существенно возрастает. Так, в городах России, где протяженность линий со-

ставляет 8...10 км, численность работников на 1 км линии превышает 100 человек. Представление о номенклатуре и назначении сооружений на линиях глубокого и мелкого заложения дает схема на рис. 6.1.

Все сооружения этого комплекса можно классифицировать как основные и вспомогательные.

К основным сооружениям метрополитена относятся путевые сооружения, предназначенные для обеспечения движения поездов, и станционные комплексы для посадки, высадки и пересадки пассажиров, а также для их обслуживания и организации движения.

В состав путевых сооружений входят: перегонные тоннели, камеры съездов, тупики, раструбы и выходы перегонных тоннелей на поверхность, соединительные тоннели, где расположены пути перехода с одной линии на другую, а также герметизирующие конструкции и затворы металлоконструкций, в том числе на границе со строящимися или законсервированными участками.

Перегонные тоннели — участки тоннелей между станциями, в которых расположены главные пути, составляют основную часть подземных коммуникаций метрополитена. Пути разных направлений могут быть расположены в одном тоннеле или путь каждого направления размещают в однопутном тоннеле. Размеры поперечного сечения перегонных тоннелей зависят от габарита подвижного состава, обращающегося на линии, и числа путей, расположенных в тоннеле, а конфигурация — от способа производства работ (открытый или закрытый) и от инженерно-геологических условий на трассе линии.

Камеры съездов — сооружения, предназначенные для размещения стрелочных переводов на тех участках линии, где подвижной состав переводят с одного пути на другой. На этих участках сечение тоннеля в соответствии с уширением междупутья постепенно увеличивается до размеров, позволяющих разместить пути каждой ветки в одиночном тоннеле.

Тупики предназначены для организации оборота поездов, для отстоя и мелкого ремонта вагонов. Располагают их между главными путями за станций. Тупики могут быть однопутными или двухпутными.

Раструбы — участки линий метрополитена, где один двухпутный тоннель разветвляется на два однопутных. На этом участке обделка двухпутного тоннеля постепенно увеличивается по ширине до размеров, необходимых для примыкания к нему однопутных тоннелей.

Выходы перегонных тоннелей на поверхность устраивают при переходе подземной части трассы на наземную ее часть или для связи тонн-

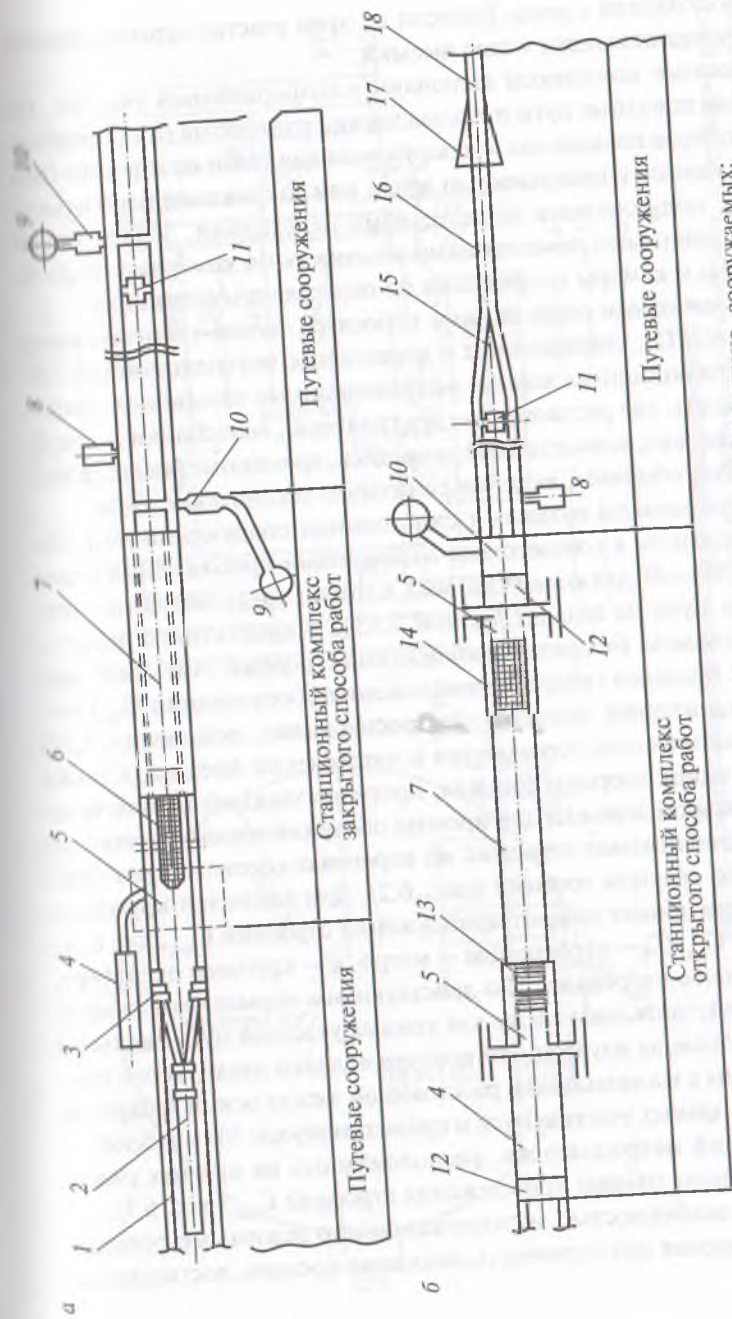


Рис. 6.1. Комплекс подземных сооружений на линиях метрополитена, сооружаемых:
 а — закрытым способом; б — открытым способом; 1 — перегонные тоннели; 2 — тупик; 3 — камеры съезда; 4 — камерная тягово-понижительная подстанция; 5 — вестибюль; 6 — эскалаторный тоннель; 7 — платформенный тоннель; 8 — санитарно-технический узел; 9 — вентиляционный ствол; 10 — вентилятор; 11 — камеры водопонижения; 12 — противодуговая сбойка; 13 — лестничные марши; 14 — эскалаторы; 15 — раструб; 16 — выход на поверхность; 17 — выход на поверхность; 18 — наземный участок двухпутный перегонный тоннель.

нелей метрополитена с депо. Тоннели на этом участке ограничиваются порталом, удерживающим откос выемки.

Станционные комплексы включают платформенный участок, где расположены поездные пути и пассажирская платформа (или платформы), и служебные помещения — сооружения для связи платформы (или платформ) станции с поверхностью земли или со станцией пересадки — вестибюли с подуличными пешеходными переходами, эскалаторные тоннели с машинными помещениями и натяжными камерами, подходы коридоры и камеры сопряжения на пересадочных станциях.

К *вспомогательным* сооружениям относятся тягово-понижительные подстанции (СТП), станционные и перегонные вентиляционные устройства (вентиляционные шахты, вентиляционные штольни, вентиляционные камеры, где расположены вентиляторы, вентсбойки и вентиляционные киоски), водоотливные установки, дренажные ходки, объекты гражданской обороны, включая санитарно-технические узлы.

Внутренние размеры путевых и станционных сооружений метрополитенов установлены в соответствии с габаритами приближения строений (ГОСТ 23961—80 для колеи 1520 мм), которые предусматривают верхнее строение пути на шпалах длиной 2,65 м и контактного рельса с нижним токосъемом. Габариты приближения строений учитывают размещение (вне пределов габарита приближения оборудования O_M) устройств пути, санитарной техники, электроснабжения, освещения, СЦБ и связи, автоматического торможения и автоведения поездов, а также размещение с одной стороны тоннеля, противоположной контактному рельсу, непрерывной дорожки для прохода обслуживающего персонала.

Габариты приближения строений на перегонах соответствуют форме поперечного сечения тоннеля (рис. 6.2). Для тоннелей кругового профиля сечения принят габарит приближения строений $C_{МК}$ для прямоугольного — $C_{МП}$ (C — строения, $м$ — метро, $к$ — круговое очертание, $п$ — прямоугольное очертание). По действующим нормативам габариты $C_{МК}$ и $C_{МП}$ действительны также для кривых участков пути радиусом 200 м и более. Размеры внутреннего контура обделки двухпутного тоннеля установлены с минимальным расстоянием между осями габаритов (междупутье) на прямых участках пути и кривых радиусом 500 м и более — 3,4 м. Для станций метрополитена, расположенных на прямых участках пути, установлен габарит приближения строений $C_{МС}$ (рис. 6.3).

Характерной особенностью эксплуатационного режима метрополитена является высокая интенсивность движения поездов, достигающая

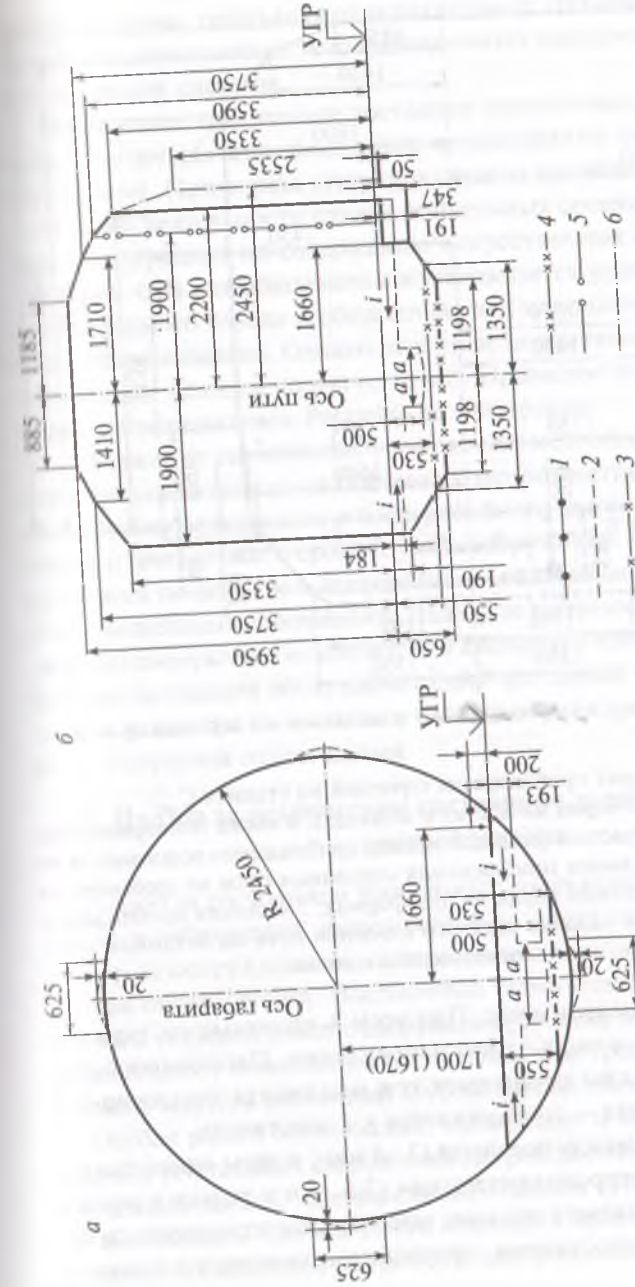


Рис. 6.2. Габариты приближения строений на перегонах:
 а — $C_{МК}$ (для тоннелей кругового очертания); б — $C_{МП}$ (для тоннелей прямоугольного очертания, сооружений и устройств наземных и надземных участков); 1 — линия приближения дорожки для прохода обслуживающего персонала; 2 — линия приближения водоотводного лотка при укладке верхнего строения пути на бетонном слое; 3 — для габаритов $C_{МК}$ — линия приближения основания пути, для габарита $C_{МП}$ — линия приближения основания пути на бетонном слое; 4 — линия приближения основания пути на щебеночном слое; 5 — линия приближения колонн; 6 — линия приближения перил на мостах и эстакадах, а также подпорных стен на открытых наземных участках линий

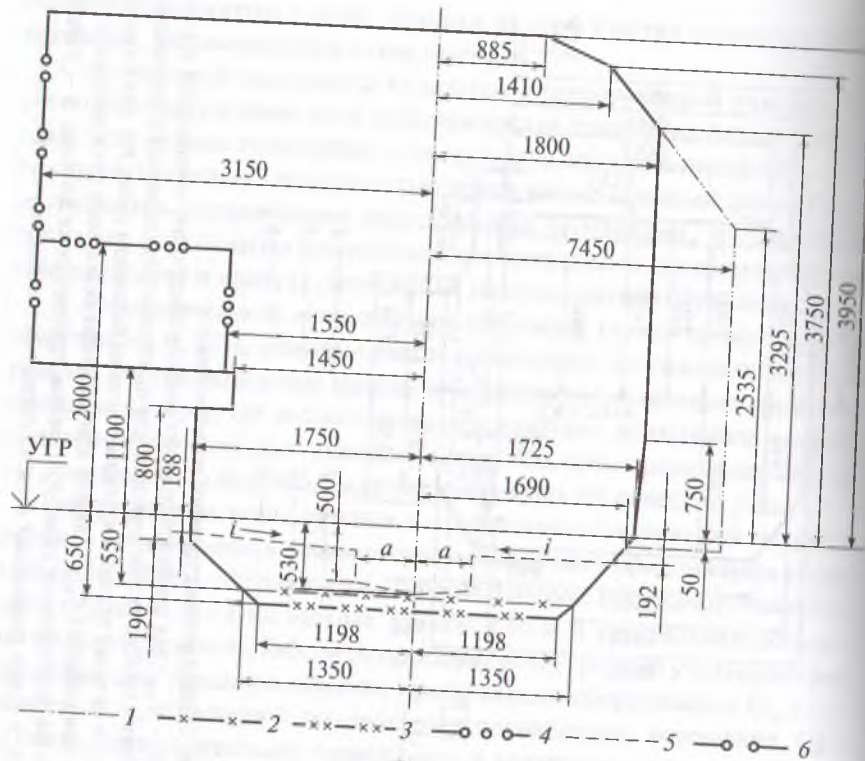


Рис. 6.3. Габарит приближения строений на станциях $C_{мс}$:

1 — линия приближения перил на мостах и эстакадах, а также подпорных стен на открытых наземных участках линий; 2 — линия приближения основания пути на бетонном слое; 3 — линия приближения основания пути на щебеночном слое; 4 — линия приближения перил на платформах; 5 — линия приближения водоотводного лотка при укладке верхнего строения пути на бетонном слое; 6 — линия приближения колонн

в часы «пик» 45 пар поездов в час. При этом 8-вагонные составы перевозят до 70 тыс. чел. в час в одном направлении. Пассажирооборот метрополитена г. Москвы превышает три миллиарда пассажиров в год, г. Санкт-Петербурга — приближается к 1 миллиарду.

Короткий интервал между поездами (3...4 мин, в часы «пик» снижающийся до 1,5 мин) с непродолжительным (3,5...4 ч и только в ночное время) перерывом в движении поездов, высокая ответственность за безопасность миллионов пассажиров, ежедневно находящихся в тоннелях

метрополитена, предъявляют повышенные требования к работе всех служб, обеспечивающих эксплуатационную надежность такой сложной транспортной системы.

Надлежащее техническое состояние тоннельных сооружений городских внеуличных железных дорог осуществляют службы тоннельных сооружений. Примерная структура службы приведена на рис. 6.4.

В своей деятельности служба тоннельных сооружений руководствуется Инструкцией по содержанию искусственных сооружений метрополитена. Она разрабатывается и утверждается руководством метрополитена данного города и обязательна для исполнения всеми службами этого метрополитена. Однако основные положения и правила местной инструкции должны соответствовать Правилам технической эксплуатации метрополитенов Российской Федерации.

Содержание тоннельных сооружений метрополитена — это комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасного и бесперебойного движения поездов и пассажиров в течение всего срока службы сооружений. Эти мероприятия реализуются посредством непрерывного надзора за техническим состоянием тоннельных сооружений. Надзор за техническим состоянием тоннельных сооружений возлагается на дистанции тоннельных сооружений. Каждая дистанция обслуживает одну-две линии метрополитена. Дистанция разделена на несколько околотов, каждый из которых включает 2—3 перегона со станциями.

6.2. Надзор за техническим состоянием тоннельных сооружений метрополитена

Надзор за состоянием тоннельных сооружений включает в себя осмотры и наблюдения, выполняемые с определенной периодичностью, надзор за сооружениями, нуждающимися в особом контроле, специальные обследования. Постоянный технический надзор, текущие осмотры и текущий ремонт сооружений, а также периодические осмотры осуществляют помощники тоннельных мастеров, тоннельные мастера, старшие мастера дистанций, руководители дистанций.

Особая роль в организации, проведении и оценке технического состояния тоннельных сооружений метрополитена отводится Тоннельно-обследовательской испытательной станции (ТОИС).

К основным задачам ТОИС относятся проведение специальных обследований объектов метрополитена с оценкой их технического со-

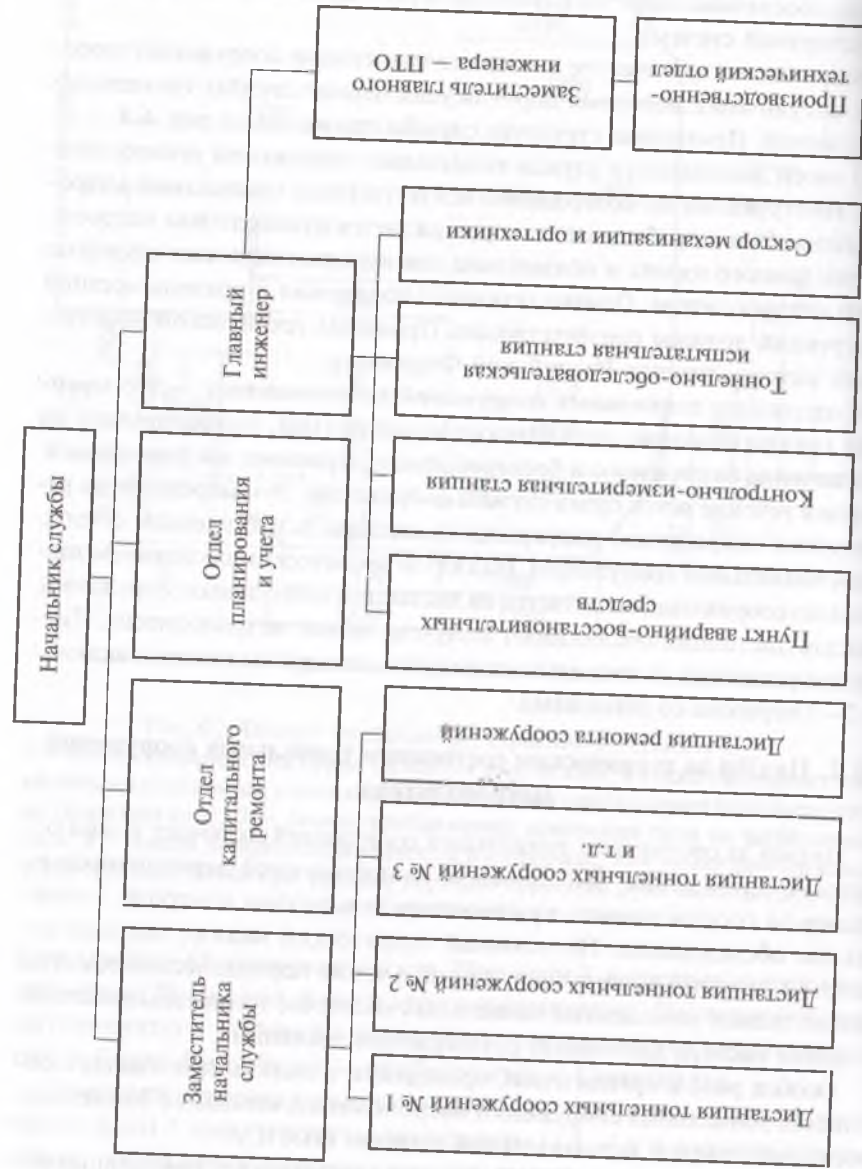


Рис. 6.4. Структурная схема службы тоннельных сооружений

стояния, анализ, классификация и систематизация данных по объектам, полученных при обследовании, выявление негативных факторов, влияющих на несущие конструкции сооружений и объекты метрополитена в целом. Сотрудники ТОИС проводят обследования и дают оценку качества вновь вводимых в эксплуатацию сооружений, а также объектов, сданных после капитального ремонта, осуществляют инспекторский надзор за производством строительно-монтажных и ремонтных работ на городских объектах, расположенных в непосредственной близости от объектов метрополитена, и организуют инженерный мониторинг с целью выявления влияния негативного этих работ на тоннельные сооружения.

Важным этапом в деятельности ТОИС является разработка и выдача рекомендаций по текущему содержанию сооружений, нуждающихся в особом контроле, и подготовка обоснованных рекомендаций по ограничению скорости движения поездов на этих участках.

Постоянный технический надзор и текущие осмотры организует тоннельный мастер дистанции. Он обязан детально знать состояние всех сооружений в границах своего околотка, выявлять причины появившихся в них повреждений, своевременно устранять их и предупреждать возникновение новых. Для этого не реже одного раза в месяц тоннельный мастер или его помощник обязаны осмотреть все сооружения в границах своего околотка.

Целью данных осмотров является наблюдение за общим состоянием тоннельных сооружений, выявление всех появляющихся неисправностей и их немедленное устранение. В случае невозможности немедленного устранения определяются объемы и сроки проведения необходимых ремонтных работ. Особое внимание при осмотре обращают на состояние ранее выявленных дефектов тоннельной обделки, интенсивность течей, выносы породы, контрольных «маяков», установленных на трещинах, состояние теплоизоляции.

О всех неисправностях и повреждениях, угрожающих безопасности движения, немедленно письменным рапортом информируется руководство дистанции. Текущий ремонт осуществляет дистанция ремонта сооружений. Содержание в исправном состоянии необходимых для этого механизмов и оборудования входит в обязанности сектора механизации и оргтехники.

Один раз в квартал тоннельные сооружения осматривает старший мастер дистанции. Цель осмотра — проверка качества выполненных на

околотке работ по содержанию сооружений, соблюдение технологических инструкций и периодичности выполнения работ, правильность ведения документации околотка. Осматривается также поверхность над тоннелями при глубине их заложения менее 30 м. При этом особое внимание обращают на участки над тоннелями заложеными на глубине 5...10 м. В частности, проверяют систему отвода поверхностных вод, фиксируют обнаруженные просадки грунта в пределах охранной зоны, равной 25 м, обследуют пространство у вентиляционных киосков, а также контролируют соблюдение регламента на работы, выполняемые в непосредственной близости от тоннельных сооружений.

Периодические осмотры всех сооружений, закрепленных за дистанцией, выполняют раз в полгода как в дневное, так и ночное время. Целью этих осмотров является проверка выполнения требований технологических инструкций и качества выполненных околотком работ по текущему содержанию, текущему и капитальному ремонтам искусственных сооружений, проверка эффективности принятых околотком мер по устранению неисправностей, определение околотком объемов ремонтных работ и сроков их выполнения.

Не реже одного раза в квартал сооружения осматривает комиссия под председательством начальника дистанции движения с привлечением представителей смежных служб, врача ЦСЭН и при участии руководства дистанции тоннельных сооружений.

Один раз в год проводят осмотры всех тоннелей с технологической платформы, оснащенной специальными подмостями и освещением для детального осмотра тоннельной обделки (при необходимости с простукиванием и вскрытием конструкции). Скорость движения поезда при таких осмотрах не должна превышать 10 км/ч.

Дефекты и неисправности, угрожающие безопасности движения поездов, устраняют немедленно, а при обнаружении менее значительных дефектов тоннельной обделки делают развертки этих участков и разрабатывают мероприятия с определением сроков выполнения работ по их устранению.

В течение года осмотры отдельных сооружений выполняются начальником службы тоннельных сооружений (его заместителем или главным инженером).

Все изменения, происшедшие в конструкциях сооружений в течение года, дистанция тоннельных сооружений заносит в технический паспорт дистанции. На основании этих данных производственно-тех-

нический отдел службы тоннельных сооружений (ПТО) вносит все изменения, происшедшие в конструкциях, в технический паспорт службы тоннельных сооружений. Эти данные являются исходными материалами при разработке производственным отделом нормативной документации, инструкций по текущему содержанию тоннельных сооружений, регламентов на выполнение текущего ремонта и проектных разработок на капитальный ремонт.

На весь период эксплуатации за положением сооружений в плане и профиле устанавливается инструментальный контроль, который осуществляет геодезическая контрольно-измерительная станция службы тоннельных сооружений (ГКИС) в сроки, установленные нормативными документами и в соответствии с инструкцией по производству геодезическо-маркшейдерских работ на метрополитене.

Для определения вертикальных осадок тоннеля выполняют прецизионное нивелирование, которое увязывают с постоянными реперами на поверхности. Сплошное прецизионное нивелирование тоннельных обделок проводят с определенным интервалом — не реже одного раза в год при эксплуатации тоннеля сроком до пяти лет, не реже одного раза в три года при эксплуатации тоннелей сроком от пяти до десяти лет и не реже одного раза в пять лет при эксплуатации тоннелей сроком свыше десяти лет.

Не реже одного раза в год производят проверку соответствия габарита приближения оборудования ГОСТу 23961—30. Габарит приближения оборудования проверяют габаритным вагоном, отмечая выявленные негабаритные места. При обнаружении деформаций, а также после производства работ, которые могут вызвать нарушение габарита, проверку габарита приближения оборудования выполняют незамедлительно до начала движения поездов.

Результаты надзора за техническим состоянием тоннельных сооружений с указанием всех осмотренных объектов и описанием их фактического состояния заносят в «Книгу записи результатов осмотров искусственных сооружений», находящуюся в каждой дистанции. Сведения о значительных неисправностях и дефектах записывают в «Книге тоннельных сооружений», находящейся на том околотке, в границах которого были обнаружены эти неисправности.

Особый режим наблюдений устанавливается для сооружений, имеющих повреждения, дефекты или деформации, которые при дальнейшем развитии могут снизить степень безопасности движения поездов.

такие сооружения нуждаются в особом контроле. Периодичность их визуальных осмотров определяется в зависимости от технического состояния сооружения. Для установления динамики деформаций и развития дефектов за такими сооружениями устанавливается инструментальный контроль. Результаты осмотра этих объектов заносят в «Книгу записи результатов осмотра искусственных сооружений, нуждающихся в особом контроле».

Специальные обследования осуществляют за участками тоннелей, находящихся в неблагоприятных условиях эксплуатации, при наличии осадок и деформаций тоннеля, выноса грунта из-за обделки, изменения нагрузки на сооружение, осадками вестибюлей и других наземных сооружений, деформациями и осадками тоннелей в зонах производства работ сторонними организациями. Специальные обследования тоннельных сооружений на пусковых участках строительства новых линий включают проверку технического состояния ИССО в части соответствия проектным решениям, требованиям СНиП и нормативным документам, Правилам технической эксплуатации метрополитенов и действующих инструкций.

Отличительной особенностью условий работы тоннелей метрополитена является опасная близость их от вновь сооружаемых городских объектов. Постоянное сокращение свободных территорий для наземного строительства в центральных районах города приводит к необходимости застройки площадей над действующими объектами метрополитена. Застройка в его охранной зоне и расположение подземных объектов городской инфраструктуры в непосредственной близости от тоннелей может существенно влиять на их напряженно-деформированное состояние.

В этой связи до начала строительства наземного объекта проводят внеплановое специальное обследование конструкций метрополитена, попадающих в зону влияния строительных работ. На основании заключения о техническом состоянии подземного сооружения решается вопрос о целесообразности реализации предлагаемого объекта городского строительства.

Для своевременного выявления возможных негативных изменений в техническом состоянии объектов метрополитена, вызванных строительством зданий и сооружений в охранной зоне, как во время строительных работ, так и в начальный период их эксплуатации организуют мониторинг технического состояния конструкций. Мониторинг дол-

жен осуществляться с частотой, позволяющей в кратчайшие сроки выявить изменение технического состояния конструкции, и должен быть увязан с этапами производства работ по наземному строительству. При проявлении признаков аварийных ситуаций организации, осуществляющие мониторинг, должны срочно информировать об этом службу тоннельных сооружений метрополитена и заказчика строящегося объекта.

Заключение о необходимости проведения специальных осмотров и обследований ИССО и проведения мониторинга дают комиссии в составе специалистов ТОИС, проектных, научно-исследовательских и специализированных организаций.

6.3. Текущее содержание сооружений метрополитена

Дефекты подземных сооружений метрополитена и связанные с ними работы по поддержанию надлежащих эксплуатационных качеств всех объектов этой сложной транспортной системы в большинстве случаев аналогичны тем, которые были описаны ранее в главах 3 и 5. При этом одним из основных факторов, определяющих особенность текущего содержания подземных сооружений метрополитена, являются различные техногенные воздействия, связанные с жизнедеятельностью большого города. Так, негативные воздействия на конструкции метрополитена возможны при строительстве в непосредственной близости от него новых объектов городской подземной инфраструктуры (например, подземных автостоянок и гаражей) или при строительстве наземных объектов (торговых комплексов, эстакадных развязок, путепроводов и др.).

В этих случаях изменяются характер и интенсивность нагрузки на конструкции, принятые при проектировании, что приводит к существенному изменению их напряженно-деформированного состояния. Характер и интенсивность нагрузок меняется в зависимости от стадии строительства. Возможны случаи, когда именно одна из стадий строительства (например, разработка котлована или устройство свайного основания) является наиболее опасной с точки зрения воздействия на состояние конструкций тоннельного пересечения, расположенного под строящимся объектом или в непосредственной близости от него.

Одной из наиболее значимых причин снижения эксплуатационной надежности городских транспортных тоннелей является воздействие агрессивных вод. В том случае, когда трасса тоннеля или участок линии метрополитена проходит вблизи нефтеперерабатывающих предприятий, складов горючесмазочных материалов, заводских территорий без орга-

низованного выпуска и очистки промышленных стоков, возможно загрязнение грунтовых вод химическими веществами и даже вынос в тоннели нефтепродуктов.

Обслуживание транспортных тоннелей и текущее содержание путевых сооружений метрополитена имеют много общего (см. пп. 5.1—5.4). Отличием является необходимость периодической промывки тоннелей. Поверхности перегонных тоннелей с уклоном менее 40 ‰ промывают механизированным промывочным агрегатом. Промывка путевого лотка и жесткого основания пути выполняется вручную (в том числе и тоннели с уклоном более 40 ‰) с помощью шланга, подключенного к системе водоснабжения метрополитена. До начала ручной и механизированной промывки поверхности перегонных тоннелей на участках с закрытой дренажной системой, последняя должна быть проверена, а обнаруженные засорения ликвидированы. После промывки тоннеля очищают и промывают дренажные лотки и закрытые дренажи. Промывку тоннелей осуществляют при движении промывочного агрегата со скоростью не более 10 км/ч веерообразной струей воды под давлением до 0,8 МПа.

Промывку тоннелей в зимнее время выполняют при температуре наружного воздуха не ниже $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. При минусовой ночной температуре наружного воздуха, во избежание образования тумана и обледенений, не подлежат промывке все перегоны, соединительные и вытяжные ветки, примыкающие к рампам на расстоянии не менее 500 м, и все перегонные тоннели, примыкающие к стволам вентиляционных шахт, по 200 м в обе стороны от ствола. Внутреннюю поверхность чугунных тубингов тоннелей и наклонных ходов, закрываемых в процессе эксплуатации зонтами, на участках с агрессивными водами следует защищать соответствующими покрытиями.

В местах пересечения трассы метрополитена с городскими инженерными сетями, реками и другими коммуникациями, которые могут повлиять на состояние тоннеля, по оси трассы этих коммуникаций на тоннельной обделке со стороны, противоположной контактному рельсу (на высоте 1100 мм от уровня головки рельса), наносится соответствующая маркировка (рис. 6.5). Пересечение с рекой обозначается по берегам.

В конструкциях или отдельных элементах сооружений метрополитена, таких как станционные тоннели, вестибюли и эскалаторные тоннели, проявляется ряд дефектов другого рода, требующих выполнения определенного вида работ по их текущему содержанию. Так, при ос-

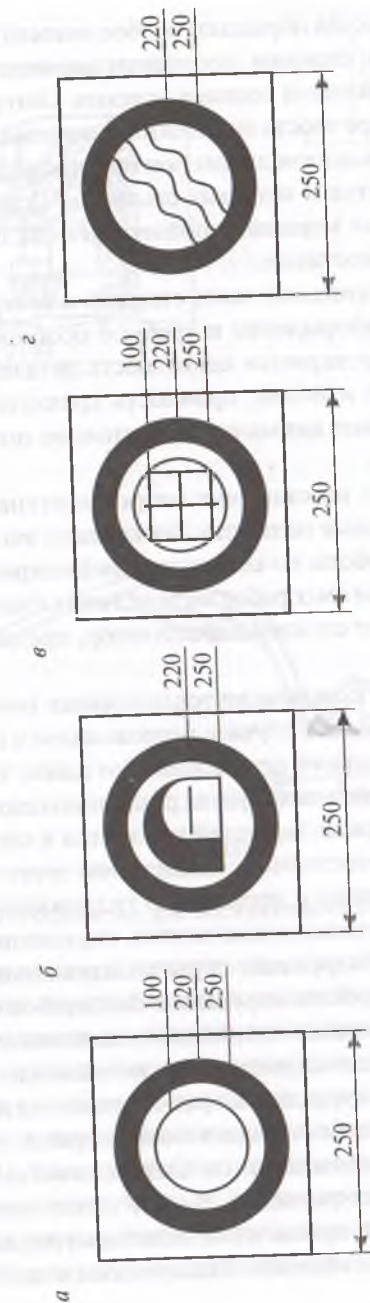


Рис. 6.5. Маркировка мест пересечения сооружений метрополитена с канализационным коллектором (а), тоннелем (б), водосток (в), рекой (г)

мотрах стационарных комплексов обращают особое внимание на дефекты в облицовке стен, колонн, пилонов, проверяют прочность крепления плит, наличие влажных пятен и солевых потеков. Оштукатуренные поверхности проверяют на прочность сцепления покрытия с конструкцией. Фиксируют дефекты водоотводящих зонтов, проверяют состояние элементов подвески зонтов и опорных столиков. Осмотру подлежат конструкции лестничных маршей и подлестничных помещений, пассажирских и служебных мостиков.

Во многих случаях платформенная часть станций и вестибюли имеют сложное архитектурное оформление и требуют особого внимания при текущем содержании. Проверяется целостность деталей лепных и металлических декоративных изделий, прочность крепления их к основной конструкции. Обращают внимание на состояние подвесок указателей, люстр, рекламы и др.

При текущем содержании на станциях метрополитена применяют передвижные индивидуальные подмости для каждого типа станций. В настоящее время ведутся работы по созданию унифицированных устройств для выполнения ремонтных работ на всех типах станций. Примером такого устройства может служить манипулятор, представленный на рис. 6.6.

Особого внимания требует содержание эскалаторных тоннелей, которые в подавляющем большинстве случаев расположены в слабых водонасыщенных грунтах. В условиях переменных по длине нагрузок и неравномерных осадок в обводненных грунтах различного литологического состава обделка эскалаторных тоннелей находится в сложном напряженно-деформированном состоянии. Следствием этого являются деформации обделки, приводящие к нарушению гидроизоляции, коррозии элементов крепления водозащитных зонтов, нарушениям их целостности. Несвоевременное обнаружение скрытых водозащитным зонтом дефектов может спровоцировать нарушение бесперебойной работы важнейшего сооружения в составе стационарного комплекса. Текущий ремонт по восстановлению водонепроницаемости обделки и ремонт зонтов требуют значительных трудовых затрат и продолжительны по времени, так как могут выполняться только в ночное время.

Условия работы стволов вентиляционных шахт во многом схожи с условиями работы эскалаторных тоннелей. Вместе с тем, текущее содержание и ремонт конструкций проще из-за более доступной для визуального контроля поверхности обделки. Практически в любом месте

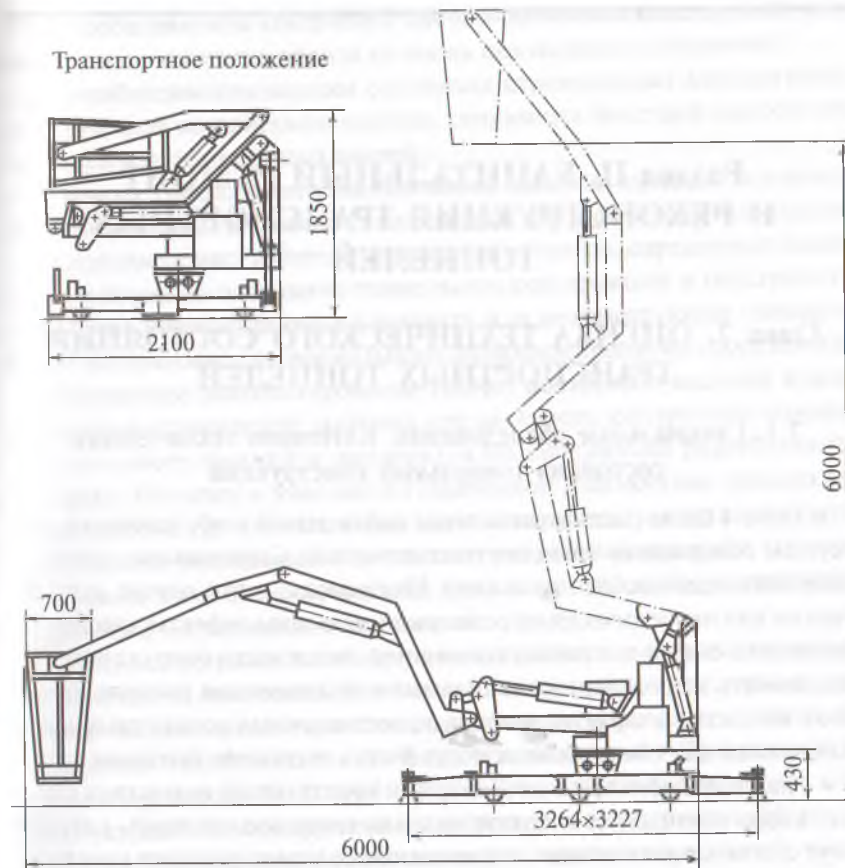


Рис. 6.6. Устройство для обслуживания станций метрополитена МОС-1

на обделку можно установить отражательные марки для проведения геодезического контроля за деформацией конструкции.

Признаками изменения технического состояния могут являться появление новых или увеличение расхода существующих течей, выносы грунта в тоннель, заиливание дренажной системы, раскрытие старых или появление новых трещин в обделке, изменение положения конструкции в плане и профиле, изменение формы и размеров поперечного сечения конструкции, усиление проявлений коррозионных явлений в конструкциях и оборудовании, появление в тоннеле признаков наличия нефтепродуктов и промышленных стоков.

Раздел II. КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Глава 7. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

7.1. Специальные обследования. Категории технического состояния тоннельных конструкций

В главе 4 были рассмотрены виды наблюдений и обследований при текущем содержании транспортных тоннелей. Специальные обследования занимают особое положение. Их проводят в том случае, если текущими или периодическими осмотрами выявлены дефекты, свидетельствующие о снижении эксплуатационной надежности сооружения. Необходимость в проведении специального обследования тоннеля, объем работ, их состав и характер зависят от поставленных конкретных задач. Основанием для обследования могут быть следующие причины:

- наличие дефектов и повреждений конструкций вследствие силовых, коррозионных, температурных или иных воздействий, которые могут снизить прочностные, деформативные характеристики конструкций и ухудшить эксплуатационное состояние тоннеля в целом;
- увеличение эксплуатационных нагрузок и воздействий на конструкции;
- выявление отступлений от проекта, снижающих несущую способность и эксплуатационные качества конструкций;
- отсутствие проектно-технической и исполнительной документации;
- изменение функционального назначения сооружений;
- возобновление прерванного строительства тоннелей при отсутствии консервации или по истечении трех лет после прекращения строительства при выполнении консервации;
- деформации грунтовых оснований;

- необходимость контроля и оценки состояния конструкций тоннелей, расположенных вблизи от вновь строящихся сооружений;
- необходимость оценки состояния строительных конструкций, подвергшихся воздействию пожара, стихийных бедствий природного характера или техногенных аварий.

В основу специального обследования положен принцип технической диагностики. Задачами технического диагностирования тоннеля являются поиск мест и определение причин отказов, определение (оценка) технического состояния тоннельных конструкций и обустройств, разработка рекомендаций по ремонту или реконструкции тоннеля с целью восстановления нормального функционирования сооружения.

Техническое диагностирование требует достаточно высокой квалификации исполнителей, наличия специального контрольно-измерительного оборудования и проводится по специально разработанной методике. Поэтому к участию в технической диагностике привлекают специалистов проектных и научно-исследовательских институтов. О результатах обследования составляют подробный отчет или заключение. Кроме того, на месте должны быть даны письменные указания о проведении неотложных мероприятий.

Контроль устранения обнаруженных дефектов и неисправностей возлагается на мостоиспытательные станции железных дорог и тоннельно-обследовательскую станцию, которая проводит плановые обследования тоннелей по перечню, утвержденному Департаментом пути и сооружений (ЦП) ОАО «РЖД». В автодорожных тоннелях контроль устранения обнаруженных дефектов и неисправностей возлагается на Управление эксплуатации и сохранности автомобильных дорог Росавтодора.

Необходимость оценки технического состояния тоннельных конструкций и обустройств существует на протяжении всего эксплуатационного периода. На основании этой оценки принимают решения по восстановлению работоспособности конструкций текущими ремонтами или обосновывают необходимость капитального ремонта или реконструкции.

Техническое состояние и качество содержания железнодорожных тоннелей оценивают в соответствии с Инструкцией по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах Российской Федерации, утвержденной ЦП ОАО «РЖД». В соответствии с ней уровень эксплуатационной надежности тоннельных конструкций

и обустройств характеризуется средней балльной оценкой технического состояния. Все дефекты искусственных сооружений классифицированы и разбиты на три категории. По степени влияния на техническое состояние сооружения дефектам каждой категории соответствует своя балльная оценка: I категория — «хорошо», II категория — «удовлетворительно», III категория — «неудовлетворительно».

Дефект наибольшей категории, даже если он всего один, определяет базовую балльную оценку сооружения. Чтобы существенно повысить балльную оценку сооружения, необходимо в первую очередь устранить наиболее опасные дефекты, по которым была установлена базовая оценка.

Инструкция устанавливает порядок оценки технического состояния сооружений и их содержания тоннельной бригадой дистанции пути. Величина этой оценки зависит от качества текущего содержания и ремонта, входит в основные показатели работы дистанции пути и является одним из критериев оценки ее деятельности. Методика, заложенная в инструкцию, ориентирована на применение автоматизированной информационно-аналитической системы содержания ИССО на железных дорогах России (АСУ ИССО).

На сети автомобильных дорог России техническое состояние тоннельных конструкций оценивают в соответствии с Методикой оценки транспортно-эксплуатационного состояния горных автодорожных тоннельных переходов, утвержденной Росавтодором. В этом документе приведена классификация дефектов и методика оценки технического состояния конструкций и обустройств горных автодорожных тоннелей. Методика основана на качественной оценке рисков по категориям критичности и количественной оценке, полученной в результате статистической обработки экспертных заключений о степени влияния различных дефектов на техническое состояние конструкций.

В настоящее время не существует единой методики для определения категории технического состояния конструкций транспортных тоннелей и обустройств по результатам специальных обследований. Если исходить из позиций оценки эксплуатационной надежности сооружений и управления рисками, то может быть рекомендована методика, изложенная в Правилах обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений, утвержденных Госстроем России (СП 13-102—2003).

Она предусматривает следующие категории технического состояния несущих тоннельных конструкций.

Работоспособное состояние, при котором некоторые из численно оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта, норм и стандартов, но имеющиеся нарушения требований, например по прочности или деформативности, в конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению функционирования конструкций, и их несущая способность, с учетом влияния имеющихся дефектов, обеспечивается.

Ограниченно работоспособное состояние, при котором имеются дефекты, приведшие к некоторому снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения и функционирование конструкции возможно при контроле ее состояния в условиях длительной эксплуатации.

Недопустимое состояние строительной конструкции и сооружения в целом характеризуется снижением несущей способности и эксплуатационных характеристик, при которых существует опасность для пребывания людей и движения транспорта (необходимо проведение строжайших мероприятий и усиление конструкций).

Аварийное состояние строительной конструкции и сооружения в целом, характеризующееся дефектами и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения (необходимо проведение срочных противоаварийных мероприятий).

Идентификация технического состояния тоннельных конструкций с одной из приведенных категорий является основой для принятия технических решений по выбору ремонтно-оздоровительных мероприятий и поддержания тоннельных конструкций в исправном состоянии.

7.2. Мониторинг технического состояния эксплуатируемых тоннелей

Для оценки изменений количественных и качественных контролируемых параметров тоннельных конструкций и обустройств ведут их мониторинг. Важной составляющей мониторинга является предварительное специальное обследование, которое осуществляют в три взаимосвязанных этапа: подготовительные работы, предварительное (визуальное) обследование, детальное (инструментальное) обследование.

Подготовительные работы предусматривают ознакомление с объектом обследования, проектной и исполнительной документацией на конструкции и строительство тоннеля, с документацией по эксплуатации

и имевшим место ремонтам и реконструкциям, а также анализ результатов предыдущих обследований.

По проектной документации устанавливают проектную организацию — автора проекта, год его разработки, конструктивную схему сооружения, сведения о примененных в проекте конструкциях, монтажные схемы сборных элементов, время их изготовления и проходки тоннеля, геометрические размеры тоннеля, его элементов и конструкций, расчетные схемы, проектные нагрузки, характеристики строительных материалов и прочее.

По данным об изготовлении конструкций и проходки тоннеля устанавливают наименования строительных организаций, осуществлявших строительство, поставщиков материалов и конструкций, сертификаты и паспорта изделий и материалов, данные об имевших место заменах и отступлениях от проекта.

По материалам и сведениям, характеризующим эксплуатацию конструкций тоннеля и эксплуатационные воздействия, вызвавшие необходимость проведения обследования, определяют характер внешнего воздействия на конструкции, данные об окружающей среде, данные о проявившихся при эксплуатации дефектах, повреждениях и прочее.

На этапе подготовки к обследованию тоннельного пересечения на основании технического задания составляют программу работ. В ней указывают цели и задачи обследования, перечень подлежащих обследованию строительных конструкций и устройств, отмечают места и определяют методы инструментальных измерений и испытаний. В программе также указывают места вскрытий и отбора проб материалов, исследований образцов в лабораторных условиях, перечень необходимых поверочных расчетов и др.

Предварительное (визуальное) обследование проводят для предварительной оценки технического состояния строительных конструкций по внешним признакам и для обоснования необходимости проведения детального инструментального обследования. Основой предварительного обследования является осмотр сооружения и отдельных конструкций с применением измерительных инструментов и приборов (бинокли, фотоаппараты, рулетки, штангенциркули, щупы и прочее).

При этом выявляют и фиксируют видимые дефекты, проводят контрольные обмеры, делают описания, зарисовки, фотографии дефектных участков, составляют схемы и ведомости дефектов с фиксацией их мест и характера. Проводят проверку наличия характерных деформаций

сооружения и отдельных строительных конструкций (прогибы, крены, выгибы, перекосы, разломы и др.). Устанавливают наличие аварийных участков, если таковые имеются.

По результатам визуального обследования делается предварительная оценка технического состояния строительных конструкций, которое определяется по степени повреждения и характерным признакам дефектов. Зафиксированная картина дефектов и тщательный анализ причин их происхождения в некоторых случаях могут быть достаточными для оценки состояния конструкций и составления заключения. Если результаты визуального обследования окажутся недостаточными для решения поставленных задач, то проводят детальное инструментальное обследование. В этом случае разрабатывается соответствующая программа работ.

Если при визуальном обследовании обнаруживают дефекты, снижающие прочность, устойчивость и жесткость несущих конструкций сооружения, то в программу детального обследования включают инженерно-геологические исследования. В случае выявления признаков, свидетельствующих о возникновении аварийной ситуации, незамедлительно разрабатывают рекомендации по предотвращению возможного обрушения.

Детальное инструментальное обследование может быть сплошным (полным) или выборочным в зависимости от поставленных задач, наличия и полноты проектно-технической документации, характера и степени дефектов и повреждений.

Сплошное обследование проводят, когда отсутствует проектная документация, обнаружены дефекты конструкций, снижающие их несущую способность, проводится реконструкция тоннеля или возобновляется строительство, прерванное на срок более трех лет без мероприятий по консервации. Выборочное обследование проводят при необходимости обследования отдельных конструкций и в потенциально опасных местах, где из-за недоступности конструкций невозможно проведение сплошного обследования.

Для уточнения фактических геометрических параметров строительных конструкций и их элементов, определения их соответствия проекту или отклонения от него проводят обмерные работы. При этом используют простые измерительные инструменты: линейки, рулетки, стальные струны, штангенциркули, нутромеры, щупы, шаблоны, угломеры, уровни, отвесы, лупы, измерительные микроскопы. При необхо-

дмости применяют специальные измерительные приборы: нивелиры, теодолиты, дальномеры, различные дефектоскопы и прочее, а также фотограмметрию. Все применяемые инструменты и приборы должны быть проверены в установленном порядке.

В бетонных и железобетонных обделках определяют наличие трещин и измеряют величину их раскрытия. Если на контрольной гипсовой марке со временем появляется трещина, это свидетельствует о продолжающемся процессе развития трещины в обделке, и на нее должна быть установлена мерная база для определения скорости происходящих процессов.

В железобетонных конструкциях устанавливается наличие, расположение, количество и класс арматуры, признаки ее коррозии и закладных деталей, а также состояние защитного слоя. В металлических конструкциях проверяют прямолинейность сжатых стержней, наличие соединительных планок, состояние элементов с резкими изменениями сечений, фактическую длину.

В зависимости от задач обследований могут применяться различные приборы и устройства. Для оценки напряженно-деформированного состояния обделки из бетона или железобетона в действующих тоннелях применяют метод разгрузки с использованием электротензометров или фотоупругих датчиков. Метод разгрузки основан на измерении деформаций при снятии напряжений на локальном участке исследуемой конструкции, где установлен датчик, путем создания вокруг него разгрузочных щелей. При этом происходит упругое восстановление освобожденного участка до первоначального ненагруженного состояния и высвобождение деформаций, адекватных деформациям конструкции при действующих нагрузках. При известном модуле деформации бетона нетрудно вычислить напряжения на внутреннем контуре обделки.

Такая методика была использована при исследовании напряжений в бетоне обделки на некоторых участках Северо-Муйского тоннеля. Фотоупругий датчик деформаций (рис. 7.1, а) представляет собой пластинку 1 из специального оптически чувствительного материала (затвердевшей эпоксидной смолы) с наклеенными по концам накладками 2, предназначенными для крепления датчика к конструкции. На верхнюю поверхность датчика нанесена линейная шкала 3 (1 деление = 1 мм) для фиксации положения интерференционных полос. На противоположных концах шкалы имеются знаки «+» и «-» для определения знака деформаций — растяжение или сжатие. Нижняя поверхность покрыта светоотражающим слоем 4.

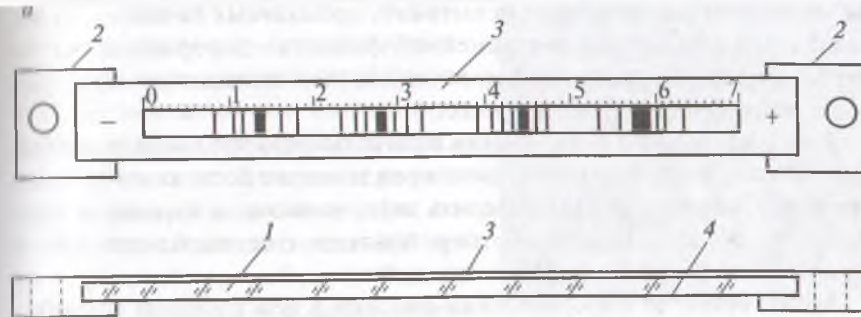


Рис. 7.1. Схема фотоупругого датчика деформаций (а) и интерференционные полосы в датчике, наклеенном на обделку (б)

Методика работы с фотоупругими датчиками методом разгрузки заключается в следующем. Датчик наклеивают в заданной точке исследуемого массива в направлении измеряемых деформаций, после чего фиксируют начальную картину расположения его интерференционных полос (рис. 7.1, б). Затем вблизи концов датчика перпендикулярно его оси в бетоне делают пропилов, исключаящие из работы сооружения фрагмент обделки, на котором укреплен датчик. При этом видимые в лучах поляризованного света интерференционные полосы датчика перемещаются вдоль его оси в одну или в другую сторону в зависимости от вида деформации (сжатие или растяжение).

Относительная деформация фрагмента обделки при постоянной температуре вычисляется как произведение цены деления шкалы по деформациям на разность величин, которые были зафиксированы на шкале датчика при положении полосы до и после выполнения разгружающих пропилов. Цену деления полосы датчика определяют по результатам

лабораторных тарировочных испытаний, проводимых на бетонных образцах-призмах путем одновременной фиксации деформаций бетона фотоупругим датчиком и деформометром (или тензодатчиком) в процессе нагружения призмы в прессе.

Для достоверного определения величины относительных деформаций методом разгрузки необходимо прежде всего с достаточно высокой степенью достоверности определить деформационные характеристики материала отделки. При обработке результатов измерений должны быть учтены температурные деформации датчика.

Мониторинг за деформациями отделки в действующих тоннелях удобно вести с помощью механических съемных деформометров с индикаторами часового типа, периодически измеряя длину мерной базы, фиксированную между запрессованными в конструкцию стальными маячками. С помощью механического деформометра исследуют также динамику раскрытия стыков сборной железобетонной отделки, измеряя расстояние между маячками, запрессованными по разные стороны стыка. Для этой цели используют также штангенциркуль (рис. 7.2).

Прочностные характеристики бетона в отделке определяют предварительно механическими методами неразрушающего контроля, используя склерометры «ОНИКС-2.4», ИПС-МГ4.03 (рис. 7.3) или Digi Schmidt-2000 австрийского производства. Чтобы получить результаты с большей достоверностью, для этих целей используют метод отрыва со скалыванием (рис. 7.4).

В случае необходимости характеристики бетона в конструкции определяют путем испытания образцов, отобранных при бурении. Для этого в действующем тоннеле можно использовать переносную портативную установку «Hilti».



Рис. 7.2. Измерение величины раскрытия стыков сборной железобетонной отделки

Использование буровой установки, помимо отбора кернов из тела отделки, позволяет установить фактическую толщину в любом ее сечении, определить характеристики грунта за отделкой, наличие пустот на контакте отделки с грунтом. Установка позволяет вести бурение в лотковой части тоннеля для установления параметров плиты основания пути или обратного свода.

Здесь следует отметить, что фактическая прочность бетона в конструкциях, определенная неразрушающими методами или испытанием отобранных из конструкции образцов, является необходимым расчетным параметром для получения достоверных сведений о реальной несущей способности отделки. Однако скрытые дефекты в отделке, нарушение контакта отделки с грунтом, развитие полостей в заобделочном пространстве при визуальном осмотре и выборочном (точечном) бурении остаются необнаруженными.

Поэтому для принятия проектных решений ремонта тоннеля часто недостаточно исходной информации.

Чтобы улучшить качество обследований, а также повысить объем и достоверности результатов технического диагностирования, в последние годы применяют геофизические методы получения информации как о состоянии материала тоннельной отделки, так и окружающего грунтового массива. С этой целью используют специальные приборы подповерхностного зондирования — георадары (51К-8 или «Око»). Георадар — радиотехнический прибор подповерхностного зондирования. Он предназначен для обнаружения точечных и протяженных нарушений структуры и различных объектов в неметаллических средах (грунт, вода, строительные конструкции и др.). Результаты зондирования выводятся на экран регистрирующего устройства в реальном времени и сохраняются в файле для обработки и вывода на печатающее устройство.

Область использования георадаров весьма обширна. Однако можно вы-



Рис. 7.3. Склерометр ИПС-МГ4.03 ударно-импульсного типа:

- 1 — ударно-импульсный механизм;
- 2 — регистрирующее устройство;
- 3 — соединительный кабель



Рис. 7.4. Определение прочности бетона методом отрыва со скалыванием



Рис. 7.5. Георадары с антенным блоком АБ-1700 (а) и АБ-400 (б)

делить некоторые аспекты, обосновывающие эффективность их применения в целях обследования технического состояния подземных сооружений. Так, при перемещении георадара по поверхности обделки на экран монитора выводится совокупность сигналов (радарограмма), по которой можно выявить толщину обделки в различных ее сечениях на всем протяжении тоннеля и скрытые дефекты в структуре бетона, а в железобетонной обделке — установить частоту и глубину заложения арматуры. Использование георадара позволяет обследовать окружающий обделку грунтовый массив с выделением зон разуплотнения, повышенной влажности, а также установить протяженность этих зон.

Георадар «Око-2» имеет два антенных блока — АБ-400 и АБ-1700, максимальная глубина зондирования которых составляет 5 и 1 м соответственно (рис. 7.5). Для выявления дефектов в обделке используют антенный блок АБ-1700, для получения информации о состоянии грунтового массива за обделкой — АБ-400 (табл. 7.1).

Антенный блок АБ-1700 проводят непосредственно по поверхности обделки. Для удобства перемещения он оснащен тремя колесами (одно колесо совмещено со встроенным датчиком перемещения). При работе с антенным блоком АБ-400 для уменьшения воздействия посторонних магнитных полей, искажающих результаты, зазор между лыжей антен-

Таблица 7.1

Технические характеристики и габариты антенных блоков

| Блок | Центральная частота, МГц | Глубина зондирования, м | Разрешающая способность по глубине, м | Габаритные размеры, см | Масса (с аккумуляторами), кг |
|---------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| АБ-400 | 400 | 5 | 0,15 | 28 × 68 × 12 | 4,2 |
| АБ-1700 | 1700 | 1 | 0,03 | 17 × 21 × 14 | 0,8 |

ны и исследуемой поверхностью оставляют минимальным. При работе в тоннеле антенный блок закрепляют на стреле мотовоза с зазором 0,3...0,4 м от обделки (рис. 7.6). Чтобы получить достаточную для анализа информацию, стрелу мотовоза последовательно после каждого проезда по тоннелю направляют напротив характерного сечения обделки (свод, пяты свода, середина стены, низ стены на уровне головки рельса). Мотовоз движется по тоннелю от портала до портала с постоянной скоростью 10...15 км/ч.

Радарограммы являются рабочим материалом для уточнения технического состояния обделки и характеристик грунтового массива и занимают значительный объем на бумажном носителе при их распечатке. В качестве примера на рис. 7.7 приведен фрагмент расшифрованной радарограммы на участке с выявленными дефектами.

Водонепроницаемость бетонной обделки в тоннеле определяют с помощью переносного прибора АГАМА-2Р (рис. 7.8). Морозостойкость бетона определяют испытанием по стандартным методикам отобранных из обделки образцов. При необходимости проверки и определения системы армирования железобетонной обделки (расположения арматурных стержней, их диаметра, толщины защитного слоя бетона) используют магнитный или радиационный методы. В случае необходимости проводят контрольное вскрытие бетона с обнажением арматуры для непосредственного замера диаметра и числа стержней, оценки класса арматурной стали по рисунку профиля и определения остаточного сечения стержней, подвергшихся коррозии.

Для выполнения инженерно-геодезических работ используют современные полуавтоматические лазерные тахеометры, лазерные рулетки. Контроль деформаций и положения обделки тоннеля в пространстве ведется электронным тахеометром относительно неподвижного репера, расположенного вне тоннеля. Целью контроля является своевременное предупреждение и прогнозирование возможных необратимых де-



Рис. 7.6. Зондирование обделки тоннеля и грунтового массива на глубину 5 м с использованием георадара «Око-2»: 1 — антенный блок АБ-400; 2 — ноутбук; 3 — блок питания

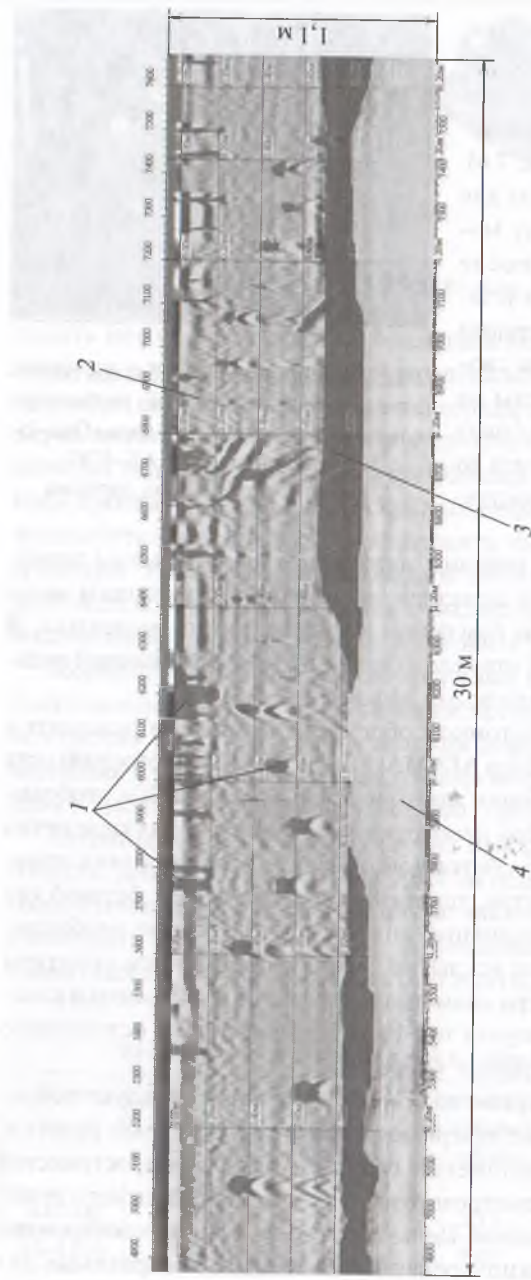
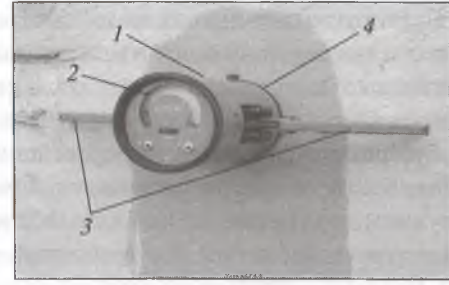


Рис. 7.7. Радарограмма дефектного участка бетонной обделки тоннеля, полученная при помощи антенны АБ-1700: 1 — нарушенная структура бетона, 2 — качественный бетон обделки; 3 — цементно-песчаное уплотнение; 4 — грунтовый массив

Рис. 7.8. Вакуумный прибор АГАМА-2Р для определения водонепроницаемости бетонных и железобетонных конструкций:

1 — кожух вакуумного цилиндра; 2 — счетчик количества воздуха, прошедшего через контактную поверхность конструкции; 3 — рычаги привода поршня насоса; 4 — герметизированный контур контакта прибора с поверхностью конструкции



формаций обделки. Отражатели (деформационные марки) используют для фиксации и контроля формы и положения тоннельной обделки в пространстве. Их устанавливают по периметру обделки на участках с множественными дефектами, обнаруженными в процессе визуального обследования. Дополнительный перечень измерений и обследований устанавливает заказчик в техническом задании.

7.3. Обоснование решений по восстановлению эксплуатационных качеств тоннеля

Обоснованием для восстановления эксплуатационных качеств тоннеля являются акт, заключение или отчет о техническом состоянии конструкций сооружения. В этих документах приводятся сведения, полученные из проектной и исполнительной документации, и материалы, характеризующие особенности эксплуатации конструкций, вызвавшие необходимость проведения обследования.

В итоговом документе по результатам специального обследования приводятся планы, разрезы, ведомости или схемы дефектов с фотографиями наиболее характерных из них. Кроме того, в них указывают значения всех контролируемых признаков, определение которых предусматривалось техническим заданием или программой проведения обследования, результаты поверочных расчетов, если их проведение предусматривалось программой обследования. В заключительной части этого документа перечисляют рекомендации по устранению дефектов или усилению конструкций. Основой для принятия решений является определение категории технического состояния конструкций.

планируемых тоннелях позволяют провести их ранжирование по тяжести последствий и, соответственно, по категориям технического состояния. Основываясь на эти исходных положениях, разработана методика балльной оценки технического состояния конструкций и обустройств тоннельного пересечения на транспортных магистралях. Она соответствует категориям технического состояния несущих конструкций, принятых в Правилах обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений, утвержденных Госстроем России (СП 13-102—2003).

По мере снижения тяжести последствий дефектов на эксплуатационную надежность тоннельного пересечения приняты следующие обозначения категорий технического состояния:

- A — аварийное состояние,
- B — недопустимое состояние,
- C — ограниченно работоспособное состояние,
- D — работоспособное состояние.

Виды планируемых ремонтов обозначены следующим образом:

- 1 — реконструкция или новое строительство,
- 2 — капитальный ремонт,
- 3 — планово-предупредительный ремонт,
- 4 — текущий ремонт,
- 5 — техническое обслуживание.

Оценка технического состояния тоннелей. В соответствии с указанной методикой техническое состояние тоннеля оценивают абсолютным и относительным количеством дефектов, идентифицированных по принадлежности к соответствующим конструкциям и обустройствам, совпадающим с описанием дефектов в табл. 7.2. Абсолютная оценка технического состояния рассчитывается по формуле

$$|TC| = k_a \Sigma A + k_b \Sigma B + k_c \Sigma C + k_d \Sigma D, \quad (7.1)$$

где $|TC|$ — абсолютная оценка технического состояния тоннельного пересечения;

k_a, k_b, k_c, k_d — коэффициенты ранжирования дефектов в соответствующих категориях технического состояния — A, B, C и D;

$\Sigma A, \Sigma B, \Sigma C, \Sigma D$ — сумма дефектов.

Абсолютная оценка $|TC|$ представляет собой сумму всех дефектов конструкций и обустройств тоннеля с учетом их ранжирования по тя-

жести последствий, что характеризует состояние тоннельного сооружения в определенный момент его функционирования. В связи с этим рост числа дефектов за фиксированный период наблюдений указывает на развитие деструктивных процессов и ухудшение технического состояния, и наоборот, снижение абсолютной оценки характеризует улучшение технического состояния в сравнении с предыдущим периодом. Улучшение или ухудшение технического состояния может быть связано как с изменением внешних воздействий, так и с проведением ремонтов.

В табл. 7.2 приведен пример ранжирования дефектов и соответствующие им категории технического состояния монолитных и сборных тоннельных обделок.

Для анализа технического состояния тоннеля по его длине или сравнения технического состояния различных тоннелей между собой и определения видов и объемов капитальных вложений используется относительная оценка. Относительная оценка технического состояния тоннеля определяется из соотношения

$$TC_0 = \frac{|TC|}{0,01L}, \quad (7.2)$$

где $|TC_0|$ — абсолютная оценка технического состояния тоннеля;
 L — длина тоннеля, м.

Относительное число дефектов ΣD_{i0} различных категорий технического состояния определяют из соотношения

$$\Sigma D_{i0} = \frac{\Sigma D_i}{0,01L}, \quad (7.3)$$

где ΣD_i — сумма дефектов с i -й категорией (A, B, C или D).

Полученные оценки $|TC|$, TC_0 , ΣD_{i0} используют для анализа динамики дефектообразования, транспортно-эксплуатационных показателей тоннельного пересечения и выработки организационно-технических мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию сооружений.

Существенные различия условий заложения тоннелей, их конструктивного исполнения, неблагоприятных воздействий природно-климатических и других факторов даже в пределах одной дороги не позволяют установить единые количественные критерии для назначения различных видов ремонта по наличию определенного перечня дефектов.

Таблица 7.2

Ранжирование дефектов и соответствующие им категории технического состояния монолитных и сборных тоннельных обделок

| Индекс дефекта | Описание дефекта | Категория технического состояния | Коэффициент ранжирования | Предельные состояния и последствия дефектов | Вид ремонта |
|----------------|--|----------------------------------|--------------------------|--|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Тоннельная обделка из монолитного бетона или железобетона | | | | |
| 1.1 | Тоннель разрушен с образованием завала | A | 1 | Сквозные разрушения и необратимые деформации тоннельной обделки, прочность, водонепроницаемость и морозостойкость на 50 % ниже проектной. Внезапное обрушение обделки с образованием завала и заполнением пространства проезда грунтом и обломками конструкций; полное прекращение функционирования тоннеля минимум на период краткосрочного восстановления | 1 |
| 1.2 | Негабаритность (внутри габарита тоннеля расположены части конструкций, устройств, коммуникаций или наледи) | B | 1 | Размещение на 50 мм внутрь очертания габарита части конструкций, устройств, коммуникаций или наледей. Опасность столкновения транспортных средств с негабаритными конструкциями, коммуникациями, наледями; требуется введение особых условий движения транспорта и эксплуатации сооружения | 2 |
| 1.3 | Отслоение бетона обделки (выдвижение внутрь тоннеля локального участка обделки, очерченного дугообразной трещиной) | B | 0,95 | Величина выдвигания (отслоения) бетона — 10 мм. Опасность внезапного обрушения отслоившегося участка обделки | 3 |

Продолжение табл. 7.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----|---|---|------|---|---|
| 1.4 | Вывал бетона сквозной в своде (локальное нарушение целостности обделки в результате обрушения отслоившегося бетона с образованием полости глубиной до контура тоннельной выработки и более) | B | 0,8 | Устойчивый бетон и грунт в полости; отсутствие воды и наледи, площадь разрушения до 1 м ² . Возможность выпадения из полости вывала кусков грунта и бетона, поступление воды с образованием наледи; снижение несущей способности обделки, опасность для движения, требующая введения особых условий движения и эксплуатации тоннеля | 2 |
| 1.5 | Косые и дугообразные трещины, увеличивающиеся в размерах при наличии течей (образуются в местах заобделочных пустот и слабых грунтов, в результате образования ледяных мешков за обделкой) | B | 0,75 | Начало необратимого раскрытия трещин, замерзание воды в трещинах. Быстрое формирование отслоения с возможностью произвольного обрушения бетона обделки | 3 |
| 1.6 | Необратимое сближение стен навстречу друг другу, сопровождающееся деформациями проезжей части и водоотводных лотков | B | 0,7 | Появление развивающихся продольных трещин в обделке, максимальное сближение пят свода по измеренным хордам — 50 мм, деформации лотков. Деформация водоотводных лотков с поступлением из них воды в основание тоннеля и проезжей части; опасное снижение несущей способности обделки и ее обрушение | 2 |
| 1.7 | Смещение продольной оси тоннеля по горизонтали или вертикали после землетрясений | B | 0,7 | Смещение оси относительно проектного положения — 30 мм. Деформации обделки, образование сквозных трещин, расчленяющих ее на отдельные блоки с возможностью обрушения | 2 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|---|---|------|--|---|
| 1.8 | Деформация обратного свода | В | 0,65 | Просадки или пучины верхнего строения пути, наличие воды в трещинах путевого бетона или в балластной призме. Снижение несущей способности обделки, разрушение верхнего и нижнего строения пути и в водоотводных лотках, ухудшение условий движения | 2 |
| 1.9 | Вывал бетона несквозной (локальное нарушение целостности обделки в результате обрушения отслоившегося бетона с образованием полости в пределах толщины обделки) | С | 1 | Устойчивый бетон в полости, отсутствию воды и наледи, глубина разрушения до 1/3 толщины обделки. Снижение несущей способности обделки, опасность выпадения кусков бетона и образования сквозного вывала с необходимостью введения особых условий движения и эксплуатации тоннеля | 3 |
| 1.10 | Продольные трещины, увеличивающиеся в размерах (пластические шарниры), в своде при наличии течей и капеза | С | 0,5 | Одна трещина и разрыв гипсовых маяков на ней; начало сдвижения стен или просадка свода. Деформация обделки с возможностью образования дополнительных трещин и негабаритности | 3 |
| 1.11 | Поперечные трещины раскрытием: $\geq 0,2$ мм, в том числе увеличивающиеся, в холодных и деформационных швах, при наличии обводнения | Д | 1 | Усиление обводненности и агрессивного воздействия на бетон конструкций | 4 |
| 1.12 | Деструктивный бетон (размороженный или выщелоченный, разбирающийся вручную) глубиной более 20 мм | Д | 0,65 | Снижение несущей способности обделки; опасность внезапного обрушения слабого слоя бетона или крупного заполнителя | 4 |
| 1.13 | Отслоение покрытий бетона обделки или выработки (торкрет, набрызг-бетон) | Д | 0,55 | Опасность внезапного обрушения покрытия | 4 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|--|---|-----|---|---|
| 1.14 | Снижение прочности бетона обделки более 25 % относительно проектной | Д | 0,5 | Снижение несущей способности обделки | 3 |
| 1.15 | Раковины и каверны на поверхности обделки глубиной более 20 мм | Д | 0,3 | Возможность оголения арматуры и ее коррозии | 5 |
| 2 | Тоннельная обделка из сборного железобетона или чугунных тюбингов | | | | |
| 2.1 | Частичное или полное разрушение колец обделки тоннеля с выпадением отдельных блоков (тюбингов) | А | 1 | Сквозные разрушения отдельных элементов колец с необратимыми деформациями; прочность, водонепроницаемость и морозостойкость на 50 % ниже проектной. Внезапное обрушение обделки с образованием завала и заполнением пространства проезда грунтом и обломками конструкций, полное прекращение функционирования тоннеля минимум на период краткосрочного восстановления | 2 |
| 2.2 | Негабаритность (внутри габарита тоннеля расположены части конструкций, устройств, коммуникаций или наледи) | В | 1 | Размещение на 50 мм внутрь очертания габарита части конструкций, устройств, коммуникаций или наледей. Опасность столкновения транспортных средств или перевозимого груза с негабаритными конструкциями, коммуникациями, наледями; требуется введение особых условий движения транспорта и эксплуатации сооружения | 2 |
| 2.3 | Эллиптичность колец сборной обделки | В | 0,9 | Отклонение от кругового очертания в результате удлинения (+) или укорочения (-) диаметров на 50 мм и более. Опасность возникновения негабаритности, критичных деформаций колец и их обрушения; требуется введение особых условий движения транспорта и эксплуатации сооружения | 2 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|--|---|------|--|---|
| 2.4 | Трещины в ребрах чугунных тюбингов | В | 0,85 | Волосяная трещина по кромке ребра или около болтового отверстия. Опасность дальнейшего развития трещины с увеличением деформации дефектного и смежных колец обделки, нарушение герметичности обделки с поступлением воды внутрь тоннеля с суффозией грунта | 3 |
| 2.5 | Деструкция бетона | В | 0,8 | Размороженный или выщелоченный бетон, разбирающийся вручную на глубину более 20 мм с оголением арматуры. Коррозия арматуры и снижение несущей способности обделки; снижение долговечности конструкций | 3 |
| 2.6 | Продольные (вдоль оси тоннеля) трещины по телу блоков, увеличивающиеся в размерах | С | 1 | Раскрытие трещин 0,2 мм и более с образованием эллиптичности колец. Возможность развития опасных деформаций, негабаритности и разрушения обделки | 3 |
| 2.7 | Косые и дугообразные трещины на железобетонных блоках и тюбингах | D | 1 | Возможность образования отслоений, сколов и каверн, коррозия арматуры | 3 |
| 2.8 | Отслоение бетона, отколы кромок в блоках сборной обделки, раковины и каверны глубиной более 20 мм с оголением арматуры | D | 0,85 | Возможность разрушения блока, коррозия арматуры, снижение несущей способности | 3 |
| 2.9 | Нарушение гидроизолирующих уплотнителей в стыках и болтовых соединениях | D | 0,8 | Поступление воды внутрь тоннеля, коррозия болтов и тюбингов, образование наледей и др. | 4 |
| 2.10 | Прочность бетона обделки снижена на 25 % и более по отношению к проектной | D | 0,7 | Снижение несущей способности и долговечности обделки | 4 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|---|---|------|---|---|
| 2.11 | Сеть мелких трещин с наличием высолов | D | 0,5 | Коррозия арматуры, снижение несущей способности и долговечности обделки | 5 |
| 3 | Обводненность | | | | |
| 3.1 | Замерзание воды в водоотводных лотках | В | 1 | Появление льда на дне или стенках лотка, шуги на поверхности водяного потока. Выход воды из лотка на проезжую часть, прекращение водоотвода по лотку, образование наледей, препятствующих движению транспорта | 2 |
| 3.2 | Течи с выносом грунта из-за обделки | В | 0,75 | Наличие частиц грунта в пробах поступающей воды. Образование пустот за обделкой с нарушением ее напряженно-деформированного состояния и возможностью последующего обрушения | 2 |
| 3.3 | Действующие (увеличивающиеся в объеме) налееди на поверхности обделки, в нишах и камерах | В | 0,7 | На поверхности обделки толщина налееди 50 мм, в нишах и камерах 100 мм. Опасность возникновения негабаритности и препятствий для движения автотранспорта | 4 |
| 3.4 | Течи и капез с попаданием на устройства сигнализации, освещения и электромеханического оборудования | В | 0,6 | Увлажнение устройств, превышающее требования ТУ и ПЭУ. Отказ электрических систем и оборудования | 3 |
| 3.5 | Сырость и отдельный капез на площади $F > 50\%$ поверхности обделки, течи отсутствуют | D | 1 | Ухудшение эксплуатационных параметров тоннеля, развитие коррозионных процессов в обделке | 4 |
| 3.6 | Сырость и отдельный капез на площади $10\% < F \leq 50\%$ поверхности обделки, течи отсутствуют | D | 0,8 | | 4 |

Окончание табл. 7.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|---|---|------|--|------|
| 3.7 | Образование наледей в вентиляционных камерах, устьях стволов и штормовых | D | 0,75 | Нарушение теплоизоляционного режима выработок | 4 |
| 3.8 | Недействующие наледы толщиной до 50 мм на поверхности обделки и до 100 мм в нишах и камерах | D | 0,65 | Не влияют на безопасную эксплуатацию тоннеля, при температурах около 0 °С возможно образование действующих наледей | 4(2) |
| 3.9 | Сырость и отдельный капез на площади F≤10 % поверхности обделки, течи отсутствуют | D | 0,5 | | 4 |
| 3.10 | Течи с выносом ржавчины | D | 0,45 | Коррозия арматуры, опасность снижения несущей способности конструкции | 4(2) |

В связи с этим принятие технических решений основывают на анализе динамики дефектообразования в тоннельных конструкциях и устройствах относительно установленного технического уровня конкретного тоннеля.

В абсолютных оценках транспортно-эксплуатационное состояние тоннельного сооружения может быть признано стабильным, если

$$|TC|_{\text{БАЗ}} \geq |TC|_{\text{РАСЧ}}, \quad (7.4)$$

где $|TC|_{\text{БАЗ}}$ — абсолютное количество дефектов (базовое) по результатам оценки технического состояния за предыдущий отчетный период;

$|TC|_{\text{РАСЧ}}$ — абсолютная оценка, рассчитанная по формуле (7.1) по результатам обследований и наблюдений в отчетный период.

Соотношение (7.4) может характеризовать эффективность работы эксплуатирующей организации. Аналогичное соотношение базовых и расчетных значений количества дефектов по различным категориям критичности позволяет судить о качестве и эффективности ремонтов.

$$\Sigma D_{\text{БАЗ}} \geq \Sigma D_{i \text{ РАСЧ}}, \quad (7.5)$$

где $\Sigma D_{\text{БАЗ}}$ — число дефектов (базовое) i -й категории тяжести последствий по результатам оценки технического состояния за предыдущий отчетный период;


$\Sigma D_{i \text{ РАСЧ}}$ — количество дефектов i -й категории критичности, рассчитанное по результатам обследований и наблюдений в отчетный период.

Результаты расчетов, выполненные по формулам (7.1)—(7.5), округляют до целых чисел и могут использовать при анализе транспортно-эксплуатационного состояния тоннелей. Полученные оценки являются количественными критериями принятия решений по видам, срокам и объемам ремонтно-оздоровительных мероприятий, обеспечивающих их безопасную эксплуатацию.

7.4. Расчетно-теоретический анализ несущей способности обделки с учетом реальных условий ее работы

На участках тоннелей, где по результатам детального инструментального обследования техническое состояние обделки было предварительно признано неработоспособным, ее несущая способность должна быть оценена соответствующими расчетами. К опасным дефектам обделки, существенно снижающим ее несущую способность и требующим дополнительной расчетной проверки, рекомендуется относить ослабления (силовые трещины, выколы, участки с пониженной прочностью материала), имеющие длину вдоль тоннеля более пролета выработки.

Напряжения в обделке, рассчитанные с учетом реальных условий ее работы

| Схема | № сечения | Напряжения σ_0 , МПа | |
|--|-----------|-----------------------------|---------------------|
| | | на внутреннем контуре | на наружном контуре |
|  <p>Схема сечения тоннеля. Показаны шесть мест измерения напряжений: 1 (вершина свода), 2 (верхняя часть свода), 2* (нижняя часть свода), 3 (верхняя часть стены), 3* (нижняя часть стены), 4 (нижняя часть стены), 4* (нижняя часть стены), 5 (нижняя часть стены), 5* (нижняя часть стены), 6 (дно тоннеля). Также отмечены «Трещина» и «Зона разуплотнения».</p> | 1 | 2,5 | 11,2 |
| | 2 | 7,0 | 7,2 |
| | 2* | 1,1 | 8,1 |
| | 3 | 19,7 | -0,6 |
| | 3* | -7,6 | 15,2 |
| | 4 | 13,8 | 4,8 |
| 4* | -7,5 | 18,8 | |
| 5 | 5,0 | 5,6 | |
| 5* | 5,4 | 6,7 | |
| 6 | 5,3 | 10,5 | |

Специалисты научно-исследовательского центра «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС рекомендуют использовать следующую методику для проверки степени опасности выявленного дефекта обделки.

Вначале разрабатывают рабочую гипотезу распределения нагрузок, вызвавших обнаруженные дефекты, и производят ее расчетную проверку. Если расчет бездефектной обделки показывает, что рабочая гипотеза верна (т.е. дефект должен появиться при принятом сочетании нагрузок в месте обнаружения), то прогнозируют развитие дефекта на будущее, при неблагоприятном прогнозе разрабатывают меры по его устранению.

Современные методы расчета напряжений и соответствующие им программные комплексы позволяют с достаточной степенью достоверности оценить несущую способность обделки тоннеля и определить напряженно-деформированное состояние окружающего грунтового массива как в плоской, так и в объемной постановке задачи. Одним из таких методов является метод численного моделирования — метод конечных элементов.

Использование данного метода предусматривает разбивку грунтовой среды и обделки тоннеля на конечное число объемных элементов, что дает возможность в полной мере учитывать обнаруженные дефекты в обделке, нарушение плотного контакта с грунтом, наличие пустот за обделкой. При этом сравнительно легко моделируются вариации работы обделки при различных параметрах грунтового массива.

Так, с целью установления несущей способности бетонной обделки однопутного тоннеля и выявления категории ее технического состояния после многолетней эксплуатации были произведены расчеты с использованием метода конечных элементов. Выполнено несколько вариантов расчетов по расчетным моделям системы «обделка—грунтовой массив», соответствующим реальным условиям работы конструкции с учетом выявленных дефектов. Прочностные и деформационные характеристики материала конструкции и окружающего грунтового массива, геометрические параметры обделки, а также наличие трещин в бетоне принимались по результатам специального обследования.

Результаты расчета, приведенные в табл. 7.3, соответствуют трем расчетным моделям, каждая из которых отвечает следующим условиям статической работы конструкции:

I — модуль деформации бетона ослабленной трещинами обделки по сравнению с проектными параметрами снижен на 20 %, модуль упруго-

сти ослабленного грунтовыми водами массива (дислоцированные обводненные мергели) — на 35 %;

II — при тех же характеристиках материала обделки и грунтового массива за обделкой образовалась линза разуплотненного грунта, модуль деформации разуплотненного грунта линзы снижен еще на 25 %;

III — в дополнение к условиям работы по варианту II в обделке появилась сквозная трещина на уровне пяты свода.

В качестве примера, иллюстрирующего материалы, подлежащие оценке несущей способности обделки, на рис. 7.9 представлена картина деформированного состояния обделки при расчете по третьему варианту. Результаты расчета позволили оценить техническое состояние конструкции на обследованных участках как неработоспособное, что явилось основанием для капитального ремонта по усилению обделки на этих участках.

Одним из наиболее сложных вопросов, возникающих при проектировании реконструкции тоннелей, являются вопросы статического расчета усиленных или новых обделок, восстановленных после реконст-

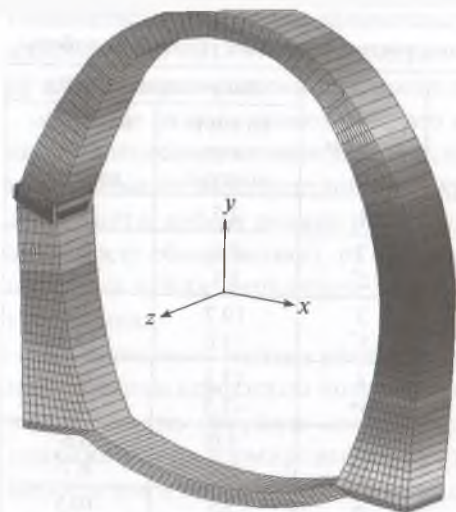


Рис. 7.9. Картина деформаций обделки тоннеля, полученная по расчетной модели, построенной с учетом выявленных дефектов

рукции. При этом расчетные модели также должны в наибольшей степени отражать характер нагрузок и воздействий, выявленных в результате специального обследования тоннеля. По сравнению с вновь строящимися тоннелями, особенности учета нагрузок и статического расчета обделок реконструируемых тоннелей на заданные нагрузки определяются единственным положением норм СНиП 32-04-97, п. 5.31, согласно которому в случае реконструкции тоннеля с полной заменой обделки нормативную нагрузку от горного давления на тоннель необходимо увеличить в 1,3 раза.

В общем случае грунты горного массива анизотропны, нелинейно деформируемы и обладают реологическими свойствами. В расчетах допускается использовать изотропные линейно деформируемые и упругопластические модели грунта. Для этих моделей в качестве деформационных параметров принимают модуль деформации и коэффициент Пуассона, а в качестве прочностных параметров для мягких грунтов — угол внутреннего трения и сцепление, для скальных грунтов — прочность на одноосное сжатие и прочность на одноосное растяжение.

Начальные (бытовые) напряжения в горном массиве при отсутствии результатов натурных исследований допускается определять приближенно по собственному весу и прочности грунта, глубине заложения тоннеля, а также по имеющимся данным о тектонике и морфологии горного массива. При расположении тоннеля в неоднородных и анизотропных грунтах, при разветвлении тоннеля, изменении его сечения рекомендуется выполнять пространственный анализ напряженно-деформированного состояния системы «обделка—массив» по расчетным счетным схемам метода конечных элементов. Для участков тоннеля с

более или менее однородными условиями по длине допускается использовать плоские расчетные модели.

Одной из распространенных расчетных моделей является стержневая система на упругом основании, представленном упругими опорами, находящаяся под воздействием заданных нагрузок (методика расчета Метропроекта). Другой распространенной расчетной моделью является модель, в которой грунт подчиняется законам механики сплошной среды — упругой или упругопластической, а тоннельную конструкцию (обделку или крепь) представляют стержневой системой, деформирующейся совместно со сплошной средой. Эта модель позволяет учесть свойства каждого слоя грунта, поэтапную технологию возведения крепи и постоянной обделки. Более универсальной следует признать модель, в которой и грунт и обделка представлены в виде двух сред, находящихся в силовом взаимодействии и подчиняющихся законам механики сплошных сред

Для расчета тоннельных сооружений следует применять специализированные программные системы для инженерных расчетов строительных конструкций, прошедшие апробацию. В качестве расчетного аппарата для стержневой модели обделки (крепей) с упругими опорами рекомендуется использовать программы «РК-6» (Ленметрогипротранс), «Муссон» (Метрогипротранс) или «РОБД» (НИЦТМ ЦНИИС). Для определения усилий в плоской модели, где обделка представлена стержневой системой, а горный массив — сплошной упругопластической средой, рекомендуется использовать комплекс программ «РУПС.03» (НИЦ ТМ ЦНИИС), в котором заложена возможность расчета усилий в анкерах.

Для исследования влияния выработок, пройденных в непосредственной близости от действующего тоннеля, наиболее эффективны методы механики сплошной среды, например, метод конечных элементов с расчетными программными комплексами *Plaxis 3D*, *Cosmos M* и др.

Глава 8. КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ ТОННЕЛЕЙ

8.1. Общие сведения

Капитальный ремонт выполняют для восстановления эксплуатационной надежности тоннельного пересечения в том случае, если большой объем ремонтных работ не может быть выполнен силами дистанции пути в процессе текущего содержания из-за больших затрат малопроизводительного ручного труда и потребности в частых и продолжительных «окнах». К работам капитального ремонта относят прежде всего те мероприятия, которые связаны с повышением несущей способности обделок, устройством обратного свода, заобделочных дренажных устройств, сооружением дополнительных ниш и камер, с модернизацией систем и обустройств тоннельного пересечения.

К капитальному ремонту относят также большие объемы работ, связанные с укреплением обделки и приконтурного грунтового массива, заделкой вывалов и поверхностных дефектов монолитных бетонных обделок, расшивкой швов и канавок, перекладкой отдельных колец сборных обделок. Кроме того, капитальный ремонт может быть связан с выполнением отдельных мероприятий по ликвидации обводненности, перекладке водоотводных и дренажных устройств, ремонту систем вентиляции и обогрева. При составлении перспективных планов по капитальному ремонту тоннелей предстоящие затраты ориентировочно определяют с учетом периодичности и объемов работ по нормативному перечню (табл. 8.1).

Все работы, связанные с капитальным ремонтом однопутных тоннелей, ведут в «окна». Очевидно, что капитальный ремонт тоннелей в короткие промежутки времени накладывает много ограничений, существенно увеличивающих сроки работ. Кратковременные «окна» невозможно использовать эффективно, так как в этот период необходимо доставлять и вывозить рабочих, материалы, механизмы, осуществлять мероприятия по снятию напряжения с контактной сети и организации заземления на электрифицированных участках.

Периодичность и объемы работ по капитальному ремонту тоннелей

| Наименование ремонтных работ | Периодичность, лет | Средний объем ремонтных работ |
|---|--------------------|---------------------------------|
| Частичная перекладка обделки тоннелей и конструкций галерей: в нормальных условиях | 40...50 | 20 % объема кладки |
| в неблагоприятных условиях | 30 | - « - |
| Нагнетание цементного раствора за обделку тоннелей, эксплуатируемых в нормальных условиях | 35...40 | На протяжении 50 % длины |
| Ремонт поверхностей бетонной, железобетонной, кирпичной или каменной обделки | 30 | 50 % внутренних поверхностей |
| Замена и устройство вновь дренажных сооружений | 60 | На протяжении 75 % длины |
| Ремонт водоотводных и дренажных сооружений тоннелей и галерей | 12 | 100 % |
| Осушение (устройство новых дренажных штолен, скважин, лотков) тоннелей | При необходимости | По специальному проекту |
| Устройство железобетонных облочеч («рубашек») в галереях | 35...40 | 10 % поверхности опор (столбов) |

Кроме того, продолжительность «окна» может быть сокращена по условиям поездной обстановки. Рваный нециклический график работ отражается на качестве их выполнения. В протяженных тоннелях с большой интенсивностью движения организация работ в короткие «окна» становится малоэффективной из-за низких темпов и сложности обеспечения качества работ, невозможности использования высокопроизводительной техники и, следовательно, трудностей в обеспечении должной надежности, долговечности и прочности конструкций.

Для того чтобы сократить потери времени на производство работ в относительно короткие промежутки времени между движением поездов по тоннелю, подрядчик формирует тоннельно-ремонтные поезда. Характерным примером такого решения является тоннельно-ремонтный поезд ООО «Крастоннель», оборудованный для производства работ при капитальном ремонте тоннельных пересечений на линии «Абакан—Тайшет» (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Схема тоннельно-ремонтного поезда

Назначением поезда является автономное выполнение строительно-монтажных работ по капитальному ремонту тоннелей. Они связаны с восстановлением бетонной обделки в местах интенсивного трещинообразования, вывалов и выщелачивания бетона. В состав таких работ входит бурение шпуров, установка анкеров и арматурной сетки, установка и демонтаж опалубки; первичное и контрольное нагнетание, установка (при необходимости) поддерживающих кружал. Кроме того, оборудование поезда позволяет ремонтировать и устраивать дренажные прорези, капитально ремонтировать элементы пути и водоотводных лотков, элементы крепления контактной подвески, крепления и навески кабельной связи, сигнализации и СЦБ, а также монтировать электросиловые коммуникации.

Руководители работ и бригада рабочих располагаются в административно-бытовом пассажирском вагоне 1. В состав поезда входят энергетический вагон с электростанцией ЭД-500-Т-400-2РКС и компрессорной станцией 6ВВ-25 2, технологические платформы с буровой установкой БУ-1 3 и подмостями 4 и 7, с растворосмесительной установкой 5, с бетоносмесительной установкой и пневмобетоноукладчиком ПН-0,35СБ-92 6, вагон с оборудованием для первичного и контрольного нагнетания 8. Замыкают поезд технологические платформы, оборудованные приспособлением для установки поддерживающих кружал 9 и для монтажа электрокабельных коммуникаций 10. В двухпутных тоннелях работы можно выполнять без перерыва движения поездов с закрытием одного пути и сохранением движения по второму пути.

Капитальный ремонт выполняют в соответствии с проектно-сметной документацией, утвержденной в установленном порядке, и организуют по месячным графикам. Руководство и технический надзор за выполнением ремонтных работ осуществляет тоннельный мастер или другой работник, назначаемый приказом руководителя организации, в сложных или особо ответственных случаях — начальник дистанции или его заместители. Приемку выполненных работ осуществляет комиссия, назначаемая руководителем эксплуатационной организации.

8.2. Усиление тоннельных обделок

Усиление обделки внутренней железобетонной рубашкой. Устройство железобетонной рубашки по внутреннему контуру тоннельной обделки является эффективным способом ее усиления и применяется как при наличии зазора между обделкой и габаритом приближения строений,

чают в зависимости от глубины разрушения существующей обделки, запасов габарита и условий производства работ, но не менее 200 мм. Без установки поддерживающих кружал допускается срубить слой бетона толщиной не более 50 мм.

Пример усиления монолитной бетонной обделки тоннеля железобетонной рубашкой показан на рис. 8.2. Технологический цикл в этом случае включает следующие операции. Предварительно очищают внутреннюю поверхность обделки от грязи, копоти и отслоившихся частей конструкции отбойными молотками и металлическими щетками. Затем выполняют насечку. Подготовленную поверхность промывают струей воды под давлением для обеспечения сцепления старого и нового бетона. В пятах существующей обделки забуривают шпуров диаметром 42 мм, глубиной не более 3/2 толщины обделки, заполняют шпуров раствором и устанавливают анкеры диаметром 25.

Арматурные каркасы закрепляют на существующей обделке железобетонными анкерами, которые устанавливают в шахматном порядке и шагом 1...2 м. Арматурные каркасы изготовляют на поверхности или на месте производства работ. В зависимости от объема работ бетон укладывают за опалубку, установленную на кружальных арках или используют секционную передвижную металлическую опалубку с помощью бетононасоса с передвижных подмостей. Перед бетонированием рубашки по контуру примыкания ее к торцам обделки, не подлежащей усилению, устраиваются бентонитовые маты.

При бетонировании монолитной железобетонной рубашки предусматривается устройство деформационного шва. Его водонепроницаемость может быть обеспечена, например, установкой шпонки Ватерстоп. Торцовая поверхность рубашки в месте установки шпонки обрабатывается гидроизоляционным составом ТФ-1-ВА. При наличии оборудования для нанесения набрызгбетона работы по устройству железобетонной рубашки значительно упрощаются. Принцип безопалубочного бетонирования снижает трудоемкость работ, но требует особой квалификации рабочих.

При отсутствии зазоров, достаточных для размещения железобетонной рубашки за пределами габарита приближения строений, обделку предварительно подкрепляют металлическими кружалами и срубают необходимый слой старой кладки. Далее работы ведут по изложенной выше технологической схеме. В слабых грунтах разрешается использо-

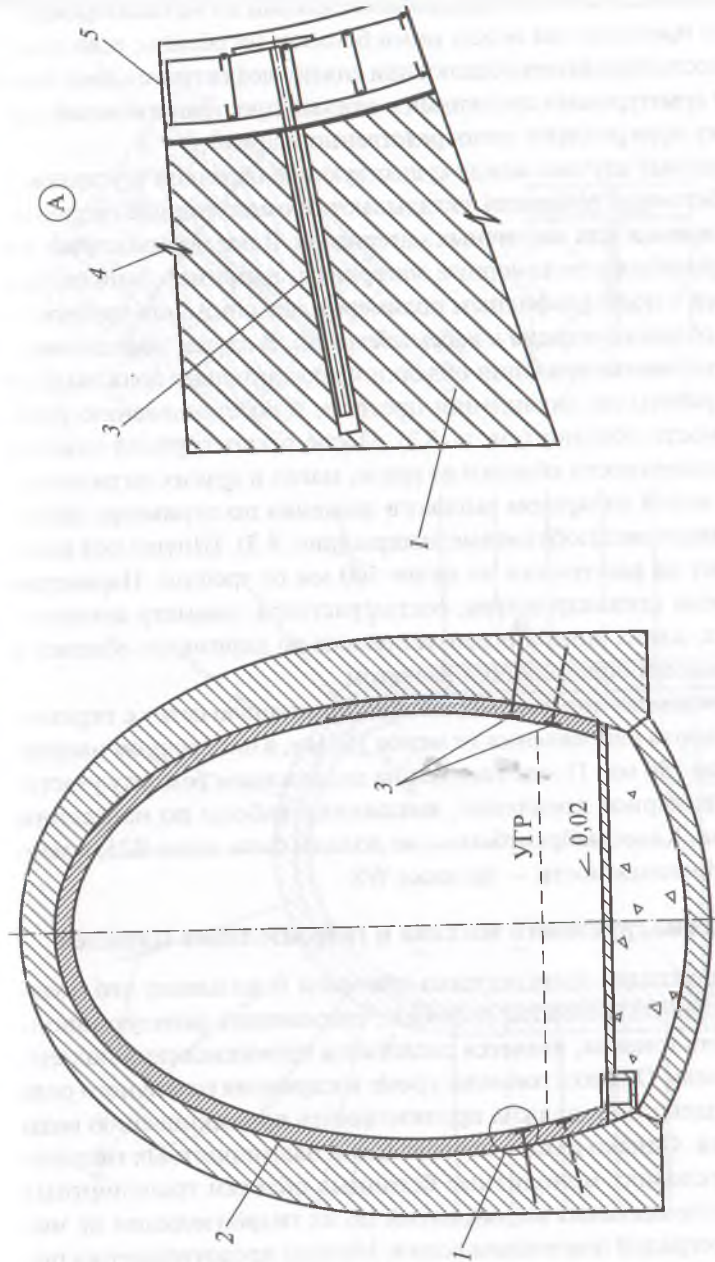


Рис. 8.2. Усиление обделки железобетонной рубашкой:
1 — обделка тоннеля; 2 — железобетонная рубашка; 3 — железобетонный анкер; 4 — гидроизоляция; 5 — арматурный каркас

вать так называемое жесткое армирование арками из металлопроката с заполнением пространства между ними бетоном (особенно, если существует опасность обрушения обделки при снятии дефектного слоя). Арки объединяют арматурными стержнями в единый пространственный каркас, опалубку прикрепляют непосредственно к аркам.

В необходимых случаях между существующей обделкой и устраиваемой железобетонной рубашкой укладывают промежуточную гидроизоляцию из рулонных или мастичных материалов. В последнем случае для этой цели применяют полимерные материалы, например, эпоксидные смолы в смеси с полисульфидным полимером для снижения хрупкости.

Усиление обделки анкерами и набрызгбетоном. В случае обводненности тоннеля на участке усиления обделки предварительно должны быть выполнены работы по ликвидации протечек и восстановлению водонепроницаемости обделки (см. п. 5.2). После пескоструйной очистки внутренней поверхности обделки от грязи, масел и других загрязнений и промывки водой аппаратом высокого давления по периметру обделки устанавливают железобетонные анкеры (рис. 8.3). Шпury под анкеры забуривают на расстоянии не менее 500 мм от трещин. Параметры анкерной крепи (диаметр шпура, состав раствора, диаметр армирующего стержня, длина анкера и шаг установки по периметру обделки и вдоль оси тоннеля) определяются расчетом.

На установленных анкерах закрепляют арматурную сетку с перехлестом в продольном направлении не менее 150 мм, в поперечном направлении не менее 290 мм. После того как на подлежащем ремонту участке установлено анкерное крепление, выполняют работы по нанесению набрызгбетона. Класс набрызгбетона не должен быть ниже В25, а марка по водонепроницаемости — не ниже W8.

8.3. Осушение грунтового массива и гидроизоляция тоннелей

Опыт эксплуатации транспортных тоннелей показывает, что появление и развитие большинства дефектов, снижающих эксплуатационную надежность тоннеля, является следствием проникновения подземных вод в тоннель. Обделка тоннеля, кроме восприятия различного рода нагрузок и воздействий, должна препятствовать проникновению воды внутрь тоннеля. Однако даже в относительно благоприятных гидрогеологических условиях монолитные бетонные обделки транспортных тоннелей без специальных мероприятий по их гидроизоляции не могут служить преградой подземным водам. Методы предотвращения по-

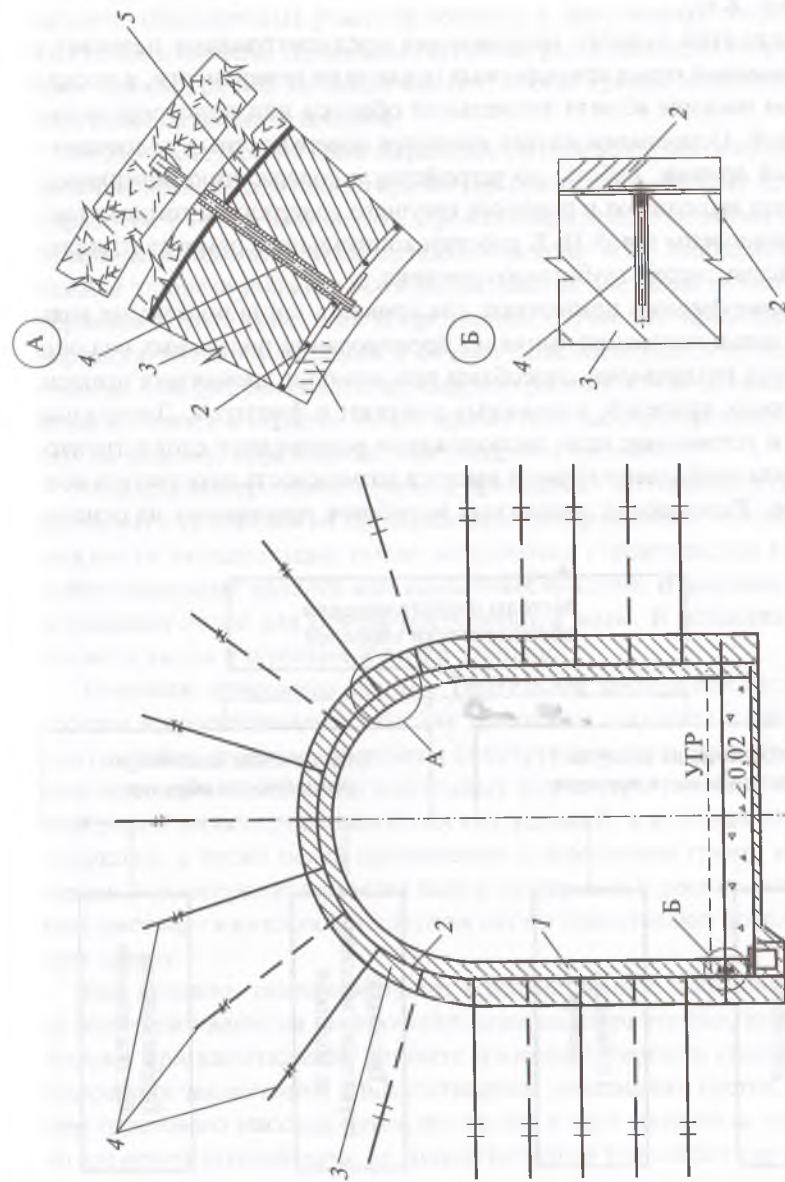


Рис. 8.3. Усиление обделки набрызгбетоном и анкерами:

1 — набрызгбетонное покрытие; 2 — металлическая сетка; 3 — существующая обделка; 4 — железобетонный анкер; 5 — гидроизоляционный тампонажный раствор

ления (рис. 8.4).

Мероприятия первого направления предусматривают перехват и организованный отвод атмосферных осадков на поверхности, а также в грунтовом массиве вблизи тоннельной обделки или непосредственно за обделкой. Основными из них являются поверхностный водоотвод и глубинный дренаж. Работы по устройству и содержанию поверхностного отвода выполняют в процессе текущего содержания тоннеля (они были перечислены в п. 5.3). К работам капитального ремонта относится устройство систем глубинного дренажа.

Глубинные дренажи применяют, как правило, когда подземные воды залегают выше основания тоннеля. Дренажное устройство осуществляется различными способами при помощи дренажных штолен, заобделочных прорезей, каптажных скважин и фильтров. Дренажные выработки устраивают, если расположение водоносного слоя в грунтовом массиве определено точно и имеется возможность перехватить водный поток. Размещение дренажных выработок принимают на основа-

нии гидрогеологических расчетов с учетом положения водоносного горизонта, обводняемых участков тоннеля и мест выхода сосредоточенных течей в тоннель. Дренажные штольни располагают со стороны притока подземных вод на такой высоте, чтобы кривая депрессии оказалась ниже основания тоннеля.

В случае отсутствия явно выраженного горизонта подземных вод или наличия нескольких таких горизонтов применяют систему дренажных выработок в несколько ярусов. Дренажные выработки дополняют вертикальными или веерными скважинами (рис. 8.5). Заобделочные дренажные прорези должны быть расположены вне зоны сезонного промерзания грунта (рис. 8.6). В противном случае это приводит к перемерзанию путей фильтрации и создает опасность наледеобразования в тоннеле. Следует учитывать, что близкое расположение дренажных прорезей и штолен к обделке может привести к несимметричным нагрузкам на обделку, образованию деформаций и трещин.

Размеры поперечного сечения дренажных штолен целесообразно принимать из условий их проходки механизированным способом и возможности эксплуатации после завершения строительства в качестве вентиляционных каналов или аварийных выходов. В подошве штольни устраивают лоток для отвода поступающей воды. В условиях сурового климата входы в штольни и лотки утепляют.

Тампонаж грунтового массива. Тщательное заполнение пустот, пор и трещин в прилегающем к обделке грунтовом массиве не только улучшает условия статической работы конструкции, но и существенно препятствует проникновению подземных вод внутрь тоннеля. Из-за разнообразия инженерно-геологических условий, в которых проводится инъекция, а также целей применения (закрепление грунта или повышения водонепроницаемости) выбор конкретного состава инъекционного раствора в каждом конкретном случае представляет довольно трудную задачу.

Как правило, тампонаж пустот и инъекционное закрепление грунта за обделкой являются первоочередными мероприятиями, которые планируют при капитальном ремонте тоннеля. Сущность способа тампонажирования заключается в искусственном заполнении пустот, трещин и пор грунтового массива путем инъекции в него материала, способного со временем затвердевать, не только повышая тем самым его прочностные характеристики, но и препятствуя движению подземных вод к обделке. Для этого в массиве через обделку по определенной схеме бурят

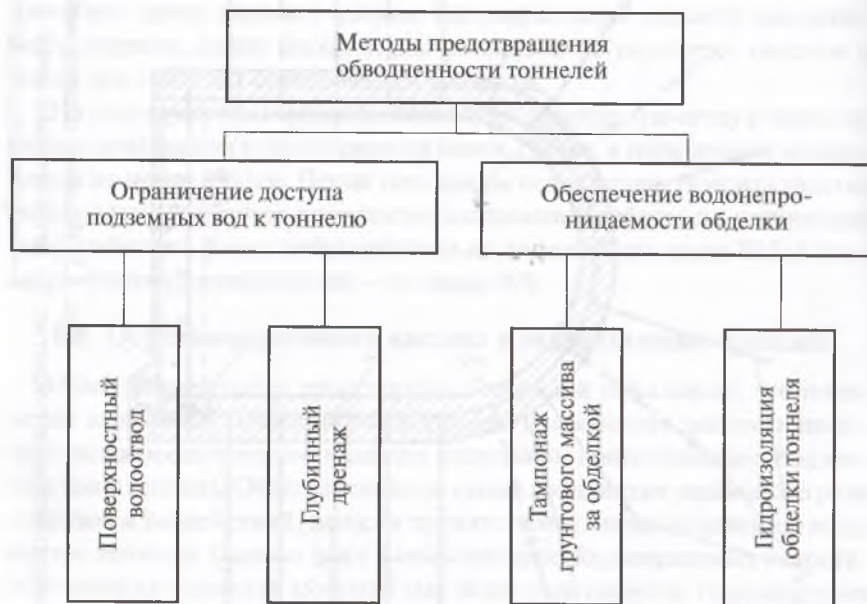


Рис. 8.4. Методы защиты тоннелей от подземных вод

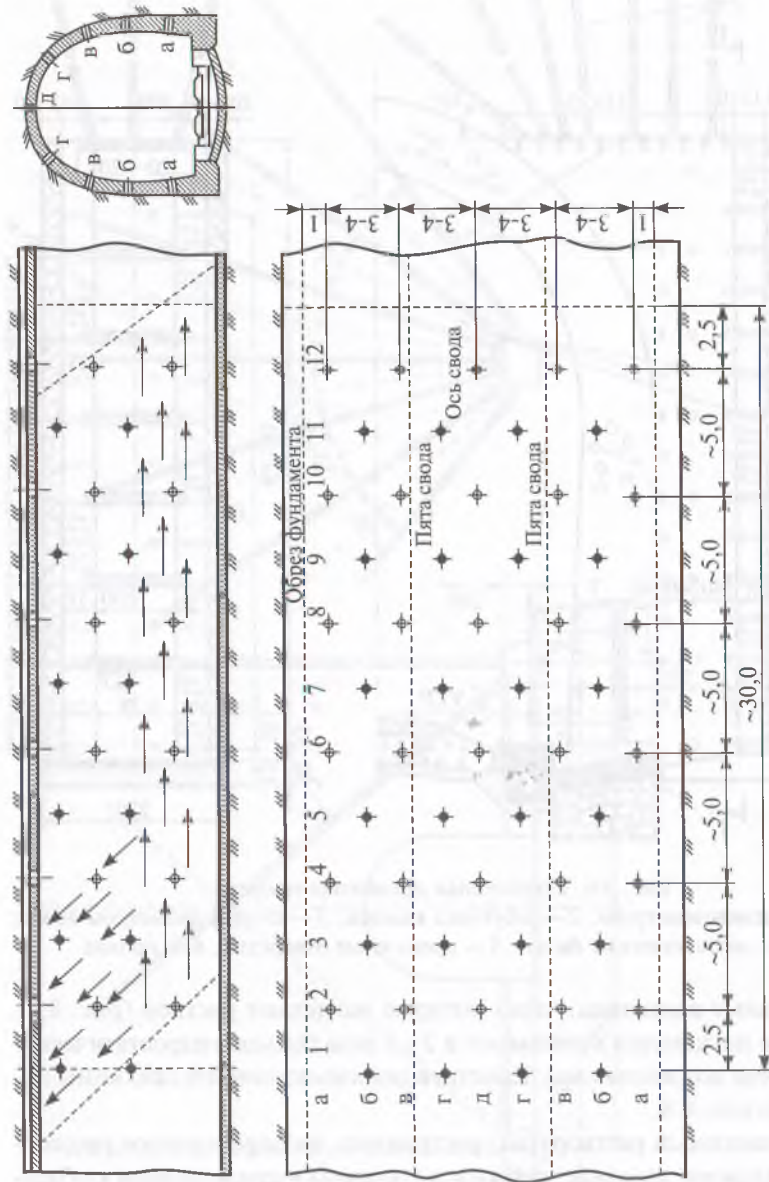


Рис. 8.7. Схема нагнетания раствора за монолитную бетонную обделку

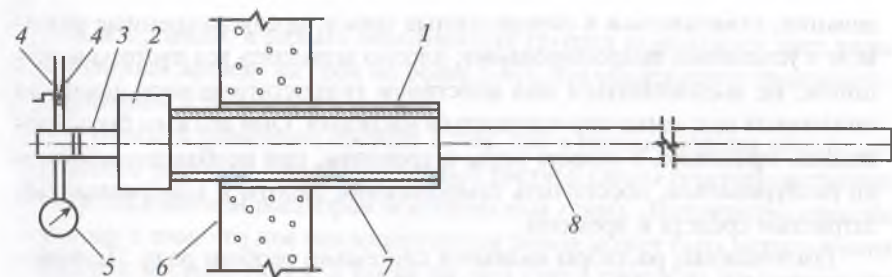


Рис. 8.8. Конструкция инъекционной скважины:

1 — кондуктор диаметром 89...114 мм; 2 — вертлюг-сальник; 3 — обратный клапан; 4 — сбросной клапан; 5 — манометр; 6 — бетонная стена толщиной 1...3 м; 7 — скважина диаметром 101...132 мм под кондуктор; 8 — скважина диаметром 65...76 мм

кие характеристики грунта существенно повышаются, а водопроницаемость грунтового массива в значительной степени снижается. Таким образом, достигается двойной эффект: во-первых, усиление всей системы «обделка—грунтовый массив», так как за счет плотного контакта обделки с грунтом восстанавливается их совместная работа, стабилизируется горное давление, выравниваются напряжения в сечениях обделки, во-вторых, создание защитной гидроизоляционной завесы, препятствующей проникновению подземных вод внутрь тоннеля. Успешные результаты при тампонировании зависят от достоверности знаний инженерно-геологических и гидрогеологических свойств грунтового массива. Тампонажные работы выполняют в основном в пористых, трещиноватых и трещиновато-пористых грунтах.

В зависимости от того, какой материал нагнетают в грунтовый массив, различают следующие виды тампонирования: цементация, глинизация, битумизация, силикатизация, смолизация. Несмотря на огромный опыт тампонажа заобделочного грунтового массива, накопленный в отечественной и зарубежной практике, теоретические основы способа разработаны недостаточно. Эффективность тампонирования во многом определяется производственным опытом и навыками подбора тампонажных растворов с такими свойствами, которые наиболее полно соответствовали бы основным требованиям, предъявляемым к ним. Так, тампонажные растворы должны быть устойчивыми к агрессивному воздействию подземных вод, не пропускать через себя воду после затвер-

девания; схватываться в определенные сроки, предусмотренные режимом и условиями тампонирования; плотно заполнять все пустоты и трещины; не выдавливаться под действием гидростатического давления подземных вод; легко перекачиваться насосами. Они должны быть подвижны, проникать в мелкие поры и трещины, при необходимости легко разбухать, обеспечить тампонажные работы с минимальными затратами средств и времени.

Тампонажные растворы являются системами особого рода. Первоначально они представляют собой механические смеси, затем после затворения водой переходят в пластическое состояние и далее, после нагнетания в массив, превращаются в камень. Поэтому при проектировании и подборе тампонажных растворов необходимо знать их свойства как в пластичном, так и в затвердевшем состоянии. Обычно к свойствам тампонажных растворов в пластическом состоянии относятся вязкость, тиксотропия, стабильность, в затвердевшем состоянии — сроки схватывания, выход тампонажного камня, содержание воды в тампонажном камне, прочность и водопроницаемость тампонажного камня.

В зависимости от того, какой материал нагнетают в грунтовый массив, различают следующие виды тампонирования: цементация, глинизация, битумизация, силикатизация, смолизация.

В наибольших объемах применяют *цементацию* грунтов. В грунтовый массив нагнетают цементные растворы, которые, заполнив полости и трещины, затвердевают и образуют водонепроницаемый массив зацементированного грунта. Цементацию целесообразно применять в крепких трещиноватых горных породах с размером трещин не менее 0,1 мм и скорости движения подземных вод менее 600 м/сут; в гравийно-галечных породах с размером зерен более 2 мм при условии, что поры между зернами свободны от глинистых или песчаных частиц, а также в крупнозернистых песках, диаметр зерен которого более 0,8 мм.

Растворы нагнетают в два этапа (первичное и контрольное нагнетание). Первичное нагнетание проводят цементно-песчаным раствором в целях заполнения пустот на контакте обделки с поверхностью выработки. Нагнетание производят насосом, обеспечивающим подачу раствора с давлением до 0,5 МПа. Контрольное нагнетание выполняют цементным раствором для заполнения мельчайших трещин и пустот, образовавшихся в результате твердения и усадки раствора первичного нагнетания. Нагнетание производят насосом, подающим раствор под давлением до 1 МПа.

Как правило, в сильно обводненных грунтах цементация дает лишь временный эффект на срок не более 5 лет, что объясняется трещинообразованием в цементном камне.

Сущность *глинизации* состоит в том, что в горные породы вместо цементного раствора нагнетают водный раствор глины (преимущественно с использованием растворов бентонитовых глин). Достоинство способа состоит в том, что для тампонирования пород может быть использована дешевая местная глина, а также то, что глина способна противостоять действию агрессивных вод, разрушающих даже специальные цементы. К недостаткам глинизации можно отнести малую сопротивляемость глинистого тампонажного камня внешнему давлению, а также ненадежность тампонирования тонкотрещиноватых горных пород. В связи с этим глинизацию целесообразно применять только в карстовых породах или в породах с весьма крупными тектоническими трещинами в качестве предварительного этапа тампонажа.

Сущность *битумизации* заключается в том, что в трещиноватые породы через скважины нагнетают расплавленный битум. Попадая в заполненные водой трещины или пустоты горных пород, горячий битум, остывая, отвердевает и, таким образом, делает массив грунта водонепроницаемым. Способ рекомендуется в скальных грунтах с раскрытием трещин более 3 мм при значительных скоростях движения и агрессивности подземных вод. Перед началом нагнетания битумную смесь нагревают в специальных котлах до температуры 140...190 °С и в расплавленном виде насосом нагнетают в скважины. Однако способу битумизации присущи крупные недостатки. Основными из них являются производственные неудобства, связанные с использованием горячего битума и подогрева его в процессе нагнетания. Поэтому способ не нашел широкого применения и носит эпизодический характер.

Сущность *силикатизации* основывается на применении неорганических высокомолекулярных соединений силикатных растворов жидкого стекла и их производных, которые при соединении с коагулянтom образуют гель кремниевой кислоты, цементирующей частицы грунта. Нагнетание растворов ведут по двум схемам: однолинейной или двухлинейной.

При *однолинейной* (рис. 8.9) схеме силикатизации в грунт закачивается один гелеобразный раствор, приготовленный из смеси силиката натрия с коагулянтom (однофосфорная, кремнефтористоводородная кислоты или алюминат натрия). При смешивании этих ра-

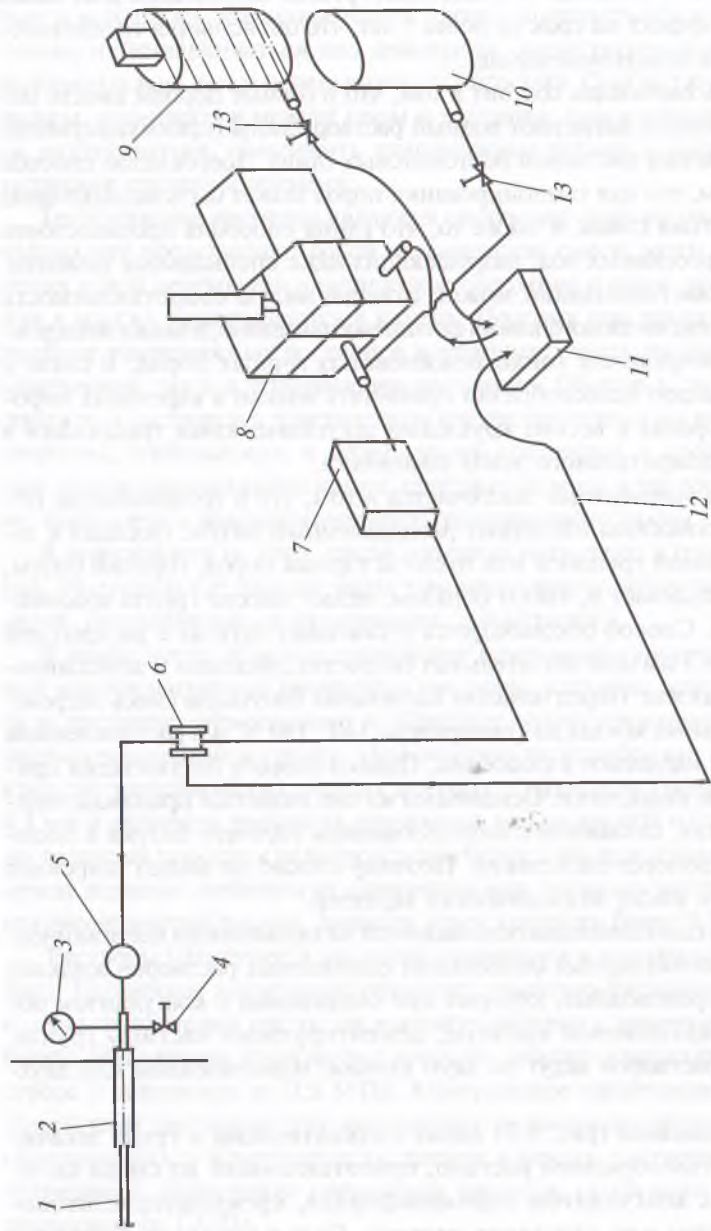


Рис. 8.9. Принципиальная однолинейная схема нагнетания укрепляющих растворов:

1 — инъекционная скважина; 2 — кондуктор; 3 — манометр; 4 — кран для пуска раствора; 5 — обратный клапан; 6 — расходомер-самписец; 7 — расходомер-самписец; 8 — инжекционный насос; 9 — растворомешалка; 10 — емкость для воды; 11 — расходная емкость; 12 — обратный трубопровод; 13 — вентиль

створов в заданное время, зависящее от количества коагулянта, происходит образование геля кремниевой кислоты. Закрепленный на основе силиката натрия и кремнефтористоводородной кислоты грунт препятствует поступлению воды к обделке и имеет прочность на сжатие 2...5 МПа. Однолинейный способ силикатизации применяют для создания водонепроницаемых завес в песчаных грунтах с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 50 м/сут. Однолинейную силикатизацию можно применять для тех же целей в лессовых грунтах. В этом случае в грунт нагнетают силикат натрия. Гель образуется за счет реакции силиката натрия с сернокислыми солями, которые обычно имеются в лессовых грунтах и, таким образом, заменяют собой раствор хлористого кальция.

При *двухлинейной* (рис. 8.10) схеме силикатизации через перфорированные трубы (инъекторы), погруженные в грунт на заданную глубину, закачивают поочередно компоненты разных составов (А и Б), которые смешиваются при выходе из сопла. Так, образуемый в результате смешивания растворов силиката натрия и коагулянта — хлористого кальция гель кремниевой кислоты придает грунту прочность при сжатии, равную 1,5...5 МПа, и водонепроницаемость. Двухлинейный способ силикатизации применяют для упрочнения песков с коэффициентом фильтрации 2...80 м/сут, в которых скорость движения подземных вод менее 5 м/сут.

При двухлинейной схеме нагнетания силикатных растворов эффективным является введение в состав раствора синтетических смол. Так, при упрочнении неустойчивых тектонически нарушенных зон обводненных скальных грунтов успешно применяют полимерную органоминеральную композицию «Монолит-3». Готовят композицию смешением компонентов А и В в равных объемах. Компонент А представляет собой раствор полиизоцианата в пропиленкарбонате, компонент В — водный раствор жидкого стекла с добавкой пластификатора СДБ. Применение растворителя полиизоцианата пропиленкарбоната позволяет уменьшить вязкость компонентов в 2,5—3 раза.

Сущность *газовой силикатизации* состоит в том, что в грунт, подлежащий закреплению, через забитые в него инъекторы или пробуренные и специально оборудованные скважины нагнетается углекислый газ для предварительной активизации грунта. Затем нагнетают раствор силиката натрия и, наконец, вторично углекислый газ для отверждения раствора силиката натрия. Закрепленные способом газовой силикати-

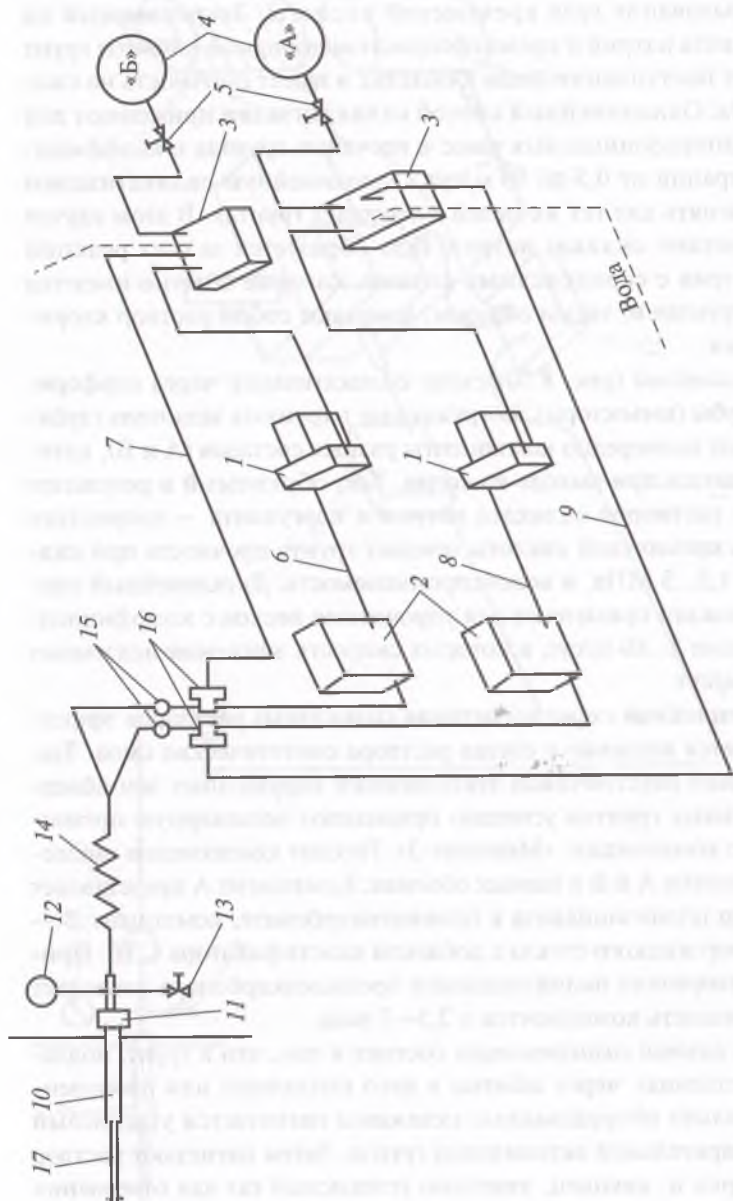


Рис. 8.10. Принципиальная двухлинейная схема нагнетания укрепляющих растворов:

1 — инъекционный насос; 2 — расходомер-самписец; 3 — расходная емкость; 4 — растворомешалка компонентов А и Б; 5 — вентиль; 6 — трубопровод компонента Б; 7 — обратный трубопровод компонента А; 8 — трубопровод компонента А; 9 — обратный трубопровод компонента А; 10 — кондуктор; 11 — вентиль-сальник; 12 — манометр; 13 — сливной кран; 14 — шаровый клапан; 15 — смеситель; 16 — трехходовой кран; 17 — инъекционная скважина

зации песчаные и лессовые грунты приобретают прочность, водоустойчивость и водонепроницаемость.

Сущность *смолизации* заключается в том, что в массив горных пород нагнетают водные растворы высокомолекулярных органических соединений (смола) с добавками коагулянтов. В результате химических реакций, происходящих в массиве горных пород, смолы переходят из жидкого в твердые состояния. В итоге грунтовый массив упрочняется, уменьшается его водонепроницаемость и увеличивается прочность. Так, пески, закрепленные синтетическими смолами, обладают прочностью на сжатие до 5 МПа в зависимости от типа песков и смол. Способ смолизации может применяться в трещиноватых крепких породах, мелко-зернистых и даже пористых породах с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 50 м/сут. Следует отметить, что, несмотря на высокую стоимость, смолизация находит все более широкое применение для упрочнения грунтов в различных областях строительства.

Гидроизоляция тоннелей. Устройство гидроизоляции обделки является самым надежным способом исключения фильтрации воды в тоннель. Гидроизоляцию обделки эксплуатируемого тоннеля из монолитного бетона или железобетона выполняют нанесением на ее внутреннюю или наружную поверхность различных изоляционных материалов, а гидроизоляцию сборных обделок — за счет водонепроницаемости стыков. На внутренней или наружной поверхности монолитной бетонной обделки создают водонепроницаемые покрытия из различного рода мастик, пленок и оболочек.

При реконструкции тоннелей с полным переустройством обделки целесообразно применить наружную пленочную гидроизоляцию. Предотвращение фильтрации воды через бетон обделки является важным условием ее долговечности. Так, при реконструкции тоннелей на Транссибирской магистрали и Северокавказской железной дороге применили водонепроницаемую пленку типа «Агруфлекс» толщиной 2,2 мм фирмы Romex (Германия). Для снятия гидростатического давления и защиты пленки от повреждения между временной крепью и пленкой укладывали слой геотекстиля толщиной 4 мм. Общий вид наружной гидроизоляции обделки и схема расположения слоев показаны на рис. 8.11.

Наружная гидроизоляция предпортальных колец обделки устраивается до засыпки их грунтом и выполняется нанесением битумных мастик. Гидроизоляцию устраивают из двух слоев горячей или холодной

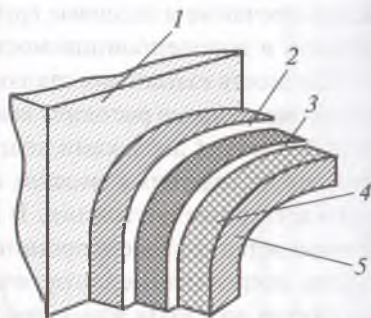


Рис. 8.11. Общий вид и схема наружной гидроизоляции обделки:
1 — грунтовой массив; 2 — первичная обделка (временная крепь); 3 — геотекстиль; 4 — пленочная гидроизоляция с защитным слоем; 5 — постоянная обделка

битумной мастики марки С-IV слоями 1,5...3 мм. Заслуживает внимания применение водно-битумных суспензий, позволяющих создавать устойчивые битумные покрытия на обводненных поверхностях. Весьма эффективна в этом случае и оклеечная гидроизоляция в виде, например, полотнищ стеклоизола.

В последнее время появились новые кольматирующие (заполняющие поры в бетоне) и упрочняющие материалы для гидроизоляционных покрытий, наносимых на внутреннюю поверхность бетонных обделок. К таким материалам относятся растворы проникающего действия на основе латексов и полимерных составов. В подземных сооружениях применяют такие кольматирующие материалы, как «Силор», «Кольматрон» и др. Однако следует отметить, что массовому применению любого нового материала должна предшествовать опытная проверка его использования в конкретных условиях.

В качестве альтернативы пленочной гидроизоляции в последние годы разработан полимерный гидроизоляционный водный состав, модифицированный цементом, который можно наносить на изолируемую поверхность методом набрызга. Основой состава служит этиленвиниловый ацетатный сополимер с быстротвердеющим цементом. После нанесения состав формирует цементированный слой, препятствующий проникновению воды. Отличная двухсторонняя адгезия к бетону, а также эластичность от 80 до 140 % в широком диапазоне температур позволяет использовать этот материал в качестве промежуточной гидроизоляции между набрызгбетонной крепью и обделкой.

Гидроизоляционный материал поставляется к месту работ в форме порошка и вступает в реакцию с водой перед распылительным соплом, как при нанесении набрызгбетона по «сухой» технологии. Хорошее сцепление материала с грунтом и защитным слоем набрызгбетона позволяет использовать его и при капитальном ремонте безобделочных тоннелей.

Для тоннелей, расположенных выше уровня грунтовых вод или в грунтах низкой водопроницаемости, наносимая набрызгом гидроизоляция может использоваться как трехслойная конструкция (рис. 8.12). В этих условиях гидроизоляционное покрытие толщиной 3...5 мм наносят на первичный слой набрызгбетонной обделки. По слою гидроизоляции наносят второй слой набрызгбетона или фибронабрызгбетона. За счет высокой адгезии между гидроизоляцией и двумя слоями бетона трехслойная обделка способна воспринимать гидростатическое давление до 1,5 МПа.

Для тоннелей с интенсивной инфильтрацией и высоким гидростатическим давлением может быть рекомендовано решение, показанное на рис. 8.13. Слой гидроизоляционного покрытия толщиной 3...5 мм наносят на во-

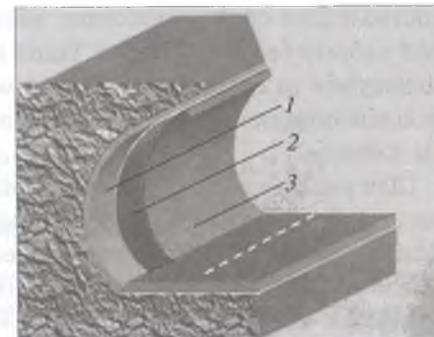


Рис. 8.12. Поперечное сечение тоннеля с гидроизоляцией, нанесенной методом набрызга:
1 — первый слой набрызгбетонной обделки; 2 — гидроизоляция; 3 — второй слой набрызгбетонной или постоянной монолитной обделки

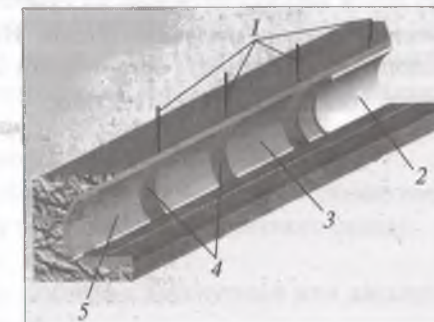


Рис. 8.13. Устройство в тоннеле гидроизоляционной мембраны, создаваемой методом набрызга, с дренажной системой:
1 — организация дренажа через равные интервалы для снятия гидростатического давления; 2 — постоянная обделка; 3 — гидроизоляция; 4 — дренаж из слоя геотекстиля; 5 — временная крепь из набрызгбетона

1 — организация дренажа через равные интервалы для снятия гидростатического давления; 2 — постоянная обделка; 3 — гидроизоляция; 4 — дренаж из слоя геотекстиля; 5 — временная крепь из набрызгбетона

доотводящий слой геотекстиля, который крепят дюбелями к временной набрызгбетонной крепи. Такой подход позволяет собрать воду, находящуюся за гидроизоляционной мембраной, к основанию стен тоннельной обделки и с помощью дренажной системы отвести ее за пределы тоннеля.

Для изоляции стыков сборных обделок из железобетона и чугуна, а также для герметизации деформационных швов в монолитной обделке можно применять безусадочную смесь «Монофлекс А» и герметизирующую мастику «Монофлекс Е». Сначала гидроизолируемый стык покрывается мастикой «Монофлекс Е» слоем 1...2 мм. Затем с помощью специальной установки под давлением 0,4...0,6 МПа стык на всю глубину заполняют раствором из материала «Монофлекс А». Связывая элементы сборной обделки в единое монолитное целое, стык воспринимает взаимные смещения этих элементов, не допуская протечек воды в тоннель. Кроме смеси отечественного производства «Монофлекс», можно применять и такие материалы, как бетонные смеси *Macflou* или *Emaco* фирмы *Basf*.

При ремонте и реконструкции тоннелей гидроизоляция может наноситься непосредственно на существующие конструкции или после нанесения выравнивающего слоя. На участках тоннелей с активными водопроявлениями для организации водоотвода устанавливают дренажные трубы или маты геотекстиля.

Глава 9. РЕКОНСТРУКЦИЯ ТОННЕЛЕЙ

9.1. Общие положения

Реконструкция тоннеля — это комплекс строительных работ и организационно-технических мероприятий, связанных с изменением основных технических и технико-экономических показателей тоннельного сооружения. Она призвана повысить технический уровень тоннельного пересечения, соответствующего современным требованиям эксплуатации сооружений на железных и автомобильных дорогах.

Работы по реконструкции обусловлены либо изменением габаритов подвижного состава, нагрузки на ось или переводом железнодорожных линий на электротягу, либо требованиями максимального восполнения ущерба от имевшего место физического или морального износа сооружения (необходимость замены деформированной и дефектной обделки на большом протяжении тоннеля). Решение о реконструкции тоннеля принимают после специальных обследований, выполненных тоннельно-обследовательской станцией или другой специализированной организацией.

К видам реконструкции транспортных тоннелей относят:

- замену обделки более мощной конструкцией (замену верхнего свода, полную замену обделки, замену или возведение обратного свода);
- устранение негабаритности;
- переустройство однопутного тоннеля в двухпутный или двухпутного старой постройки в однопутный;
- устройство обделки в безобделочном тоннеле;
- удлинение тоннеля;
- раскрытие тоннеля в выемку.

Реконструкция может включать проходку дополнительных выработок для водоотвода, повышения эффективности вентиляции, а также безопасности людей в случае возникновения аварийной ситуации. Реконструкция сооружений метрополитена чаще всего связана с переустройством участка перегонных тоннелей в станцию, сооружением дополнительных входов на станцию, устройством камер съездов на дей-

ствующей линии (см. главу 10). При реконструкции тоннелей применяют в основном те же приемы и технологии, которые приняты при строительстве тоннелей, используя для откатки грунта и материала разбираемой обделки существующий железнодорожный путь.

Работы по реконструкции железнодорожных тоннелей ведут по трем принципиально отличным вариантам:

- работы выполняют в «окна» (предусмотренные перерывы в графике движения поездов);
- на период ремонта полностью закрывается движение поездов по тоннелю и возобновляется по временному обходу без нарушения графика, принятого на перегоне;
- работы выполняют без перерыва в движении поездов, пропуская составы по одному пути в двухпутных тоннелях;

При выполнении сложных и трудоемких видов работ в «окна» их производительность и качество снижается, возрастают сроки окончания. Особые сложности возникают в районах с суровым климатом, где необходимо учитывать сезонность работ. Так, предварительный анализ вариантов реконструкции второго Джебского тоннеля линии Абакан—Тайшет показал, что полная реконструкция этого сравнительно короткого тоннеля длиной всего 660 м из-за приостановки работ в три самых холодных зимних месяца даже при ежедневных «окнах» продолжительностью 16 ч возможна только за 9,5 лет. В связи с этим было принято решение о строительстве нового тоннеля параллельно действующему.

Вариант реконструкции с полным закрытием движения по тоннелю и устройством временного обхода эффективнее по темпам, уровню механизации и качеству работ, однако он приемлем только в том случае, когда есть возможность переключить движение на параллельные ходы с незначительными материальными и финансовыми затратами. Такая технология была применена для реконструкции петлевых тоннелей линии Армавир—Туапсе Северо-Кавказской железной дороги.

В том случае, если работы выполняют с прекращением движения по тоннелю до окончания его реконструкции, возможны различные схемы переключения движения на участке тоннельного пересечения. С этой целью либо устраивают временный бестоннельный обход (например, при реконструкции Сонского тоннеля на линии Ачинск—Абакан Красноярской дороги), либо на линии вторых путей рядом с существующим тоннелем сооружают новый (например, при реконструкции Нанхчуль-

ского тоннеля на линии Междуреченск—Абакан и второго Джебского тоннеля на линии Абакан—Тайшет). На двухпутных участках Дальневосточной железной дороги с двухпутными тоннелями старой постройки, которые из-за несоответствия современному габариту эксплуатировались как однопутные, реконструкцию тоннельных пересечений провели с переустройством существующих двухпутных тоннелей в однопутные и сооружением новых параллельных однопутных тоннелей.

Преимуществами варианта с полным закрытием тоннеля на период производства работ являются высокие темпы работ за счет применения высокопроизводительной техники, снижения капитальных затрат за счет создания производственной базы (стройплощадки, вахтового поселка и др.), лучшее качество работ.

Если при строительстве тоннеля выбор типов обделки и способов производства работ зависит главным образом от достоверной оценки геологических, гидрогеологических, климатических и других местных условий, то при реконструкции тоннеля необходимо прежде всего учитывать техническое состояние обделки (число и степень опасности дефектов обделки в целом или отдельных ее элементов с учетом свойств материалов, из которых она выполнена). Поэтому при разработке проекта реконструкции необходимо установить причины дефектообразования, в какой степени состояние тоннельных конструкций угрожает безопасности движения транспортных средств, определить объемы работ для приведения тоннеля в состояние, обеспечивающее его нормальную эксплуатацию на длительный срок.

Проектно-сметную документацию (ПСД) на реконструкцию тоннеля выполняют по материалам, содержащим данные не менее чем годичного цикла наблюдений за его состоянием, а также режимами подземных и поверхностных вод. Задание на проектирование составляют исходя из данных паспорта тоннеля, тоннельной книги и акта осмотра сооружения комиссией с участием представителей служб заказчика, проектной организации, санитарного и пожарного надзоров. В зависимости от сложности и объемов работ, ПСД разрабатывают в одну или две стадии, что устанавливается в задании на проектирование. В состав ПСД при одностадийном проектировании входят рабочие чертежи, пояснительная записка, сметы, ведомости потребности рабочей силы, оборудования и материалов. При двухстадийном проектировании ПСД состоит из проектного задания и рабочих чертежей с пояснительной запиской.

способом, щитовым или с помощью специальных механизированных комплексов.

9.2. Горный способ реконструкции тоннелей

Горный способ реконструкции тоннелей отличается значительной трудоемкостью, низким уровнем механизации и, как следствие, низкими темпами производства работ. Поэтому горный способ применяют в том случае, когда предстоит выполнить относительно небольшой объем работ при замене обделки или ее элементов более мощной конструкцией на отдельных участках тоннеля или по всей длине тоннеля небольшой протяженности.

Работы по ликвидации негабаритности тоннелей, связанные с частичным или полным переустройством обделки, а также работы по переустройству однопутных тоннелей в двухпутные выполняют двумя принципиально разными способами: внутренним и наружным.

При *внутреннем способе* работы выполняют в «окна» изнутри тоннеля. Большие объемы работ и ручной малопроизводительный труд требует продолжительных «окон», что на грузонапряженных линиях не всегда возможно. Поэтому его применяют при замене обделки на участках небольшой длины или в коротких тоннелях.

При *наружном способе* работы по доработке профиля выработки ведут за пределами существующей тоннельной обделки через предварительно пройденные или существующие штольни. Такой способ применяют, когда переустройству подлежит обделка тоннелей на линиях с интенсивным движением поездов.

Работы по реконструкции однопутных железнодорожных тоннелей горным способом ведут только в «окна», используя действующий путь для перемещения механизмов оборудования и технологических подмостей. Передвижные технологические подмости монтируют на железнодорожных платформах в составе рабочих поездов и перемещают мотовозом (рис. 9.1). В двухпутных тоннелях работы по реконструкции можно выполнять без перерыва движения поездов с сохранением движения по одному из путей. При небольших объемах работ на различных участках по длине тоннеля можно использовать подвесную вертикальную перегородку из двойной плетеной металлической сетки (рис. 9.2). Такая перегородка отделяет рабочую зону от эксплуатируемой части тоннеля, обеспечивая безопасность работ и надежно предохраняя действующий путь и проходящие поезда от попадания кусков разбираемой обделки и грунта.

При переустройстве обделки или при устранении негабаритности двухпутного тоннеля ось действующего пути целесообразно совмещать с осью тоннеля. В таком случае действующий путь ограждают объемлющими подмостями (рис. 9.3), которые передвигают вручную или лебедками. При установке подмостей, а также временного крепления должен быть обеспечен габарит приближения строений С или утверждаемый на время производства ремонтных работ льготный габарит приближения строений (как правило, габарит Т) с обязательным соблюдением минимально допустимых зазоров между подвижным составом и очертаниями крепи и подмостей.

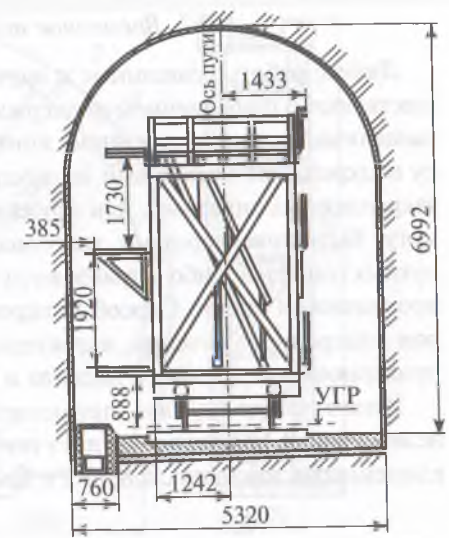


Рис. 9.1. Подмости с откидными площадками для работ в однопутных тоннелях, смонтированные на железнодорожной платформе

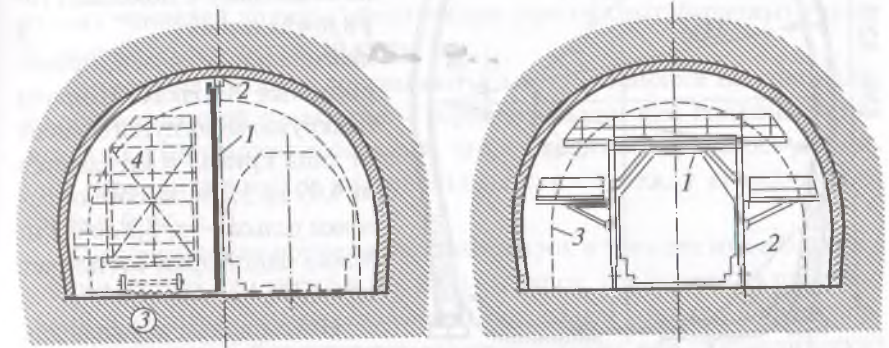


Рис. 9.2. Односторонние передвижные подмости для работы в двухпутных тоннелях:

1 — защитная подвесная перегородка; 2 — тельфер; 3 — железнодорожная платформа; 4 — подмости

Рис. 9.3. Объемлющие передвижные подмости для работы в двухпутных тоннелях:

1 — льготный габарит; 2 — объемлющие подмости; 3 — контур реконструируемой обделки

9.2.1. Временное подкрепление обделки

Любые работы, связанные с нарушением целостности обделки, осуществляют с применением поддерживающих металлических кружал, устанавливаемых по внутреннему контуру поврежденной обделки. Обделку подкрепляют подхватами на анкерах, установкой одиночных кружал, закрепленных анкерами, или кружал, объединяемых в секции. Кружала могут быть инвентарными, изготовленными для однопутных или двухпутных тоннелей, либо устраиваются на месте производства работ по типу проходческой крепи. Способ подкрепления выбирают исходя из размеров поперечного сечения, характера повреждения обделки, состояния прилегающего грунтового массива и технологических соображений.

Инвентарные кружала, применяемые при ремонте однопутных тоннелей (рис. 9.4), состоят из двух полуарок двутаврового сечения 1, соединенных в замке накладкой 2 и замыкаемых нижней раздвижной распоркой 4. Кружала опирают на

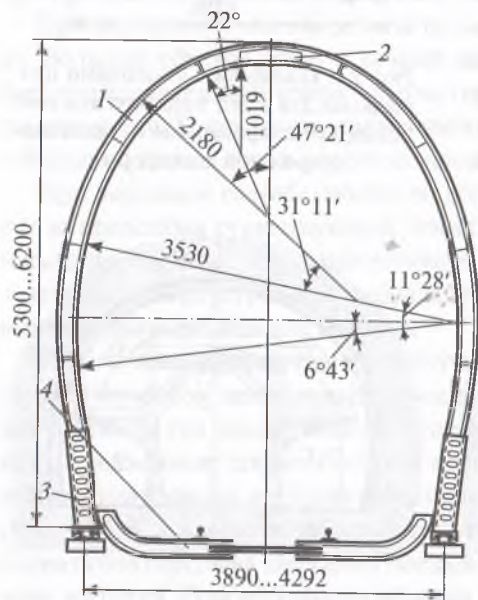


Рис. 9.4. Универсальные поддерживающие кружала для однопутных железнодорожных тоннелей:

1 — кружало; 2 — замковая накладка; 3 — выдвижные стойки; 4 — раздвижная распорка

на заранее подготовленное основание из деревянных брусьев и выравнивают по высоте выдвижными стойками 3. В продольном направлении кружала соединяют с помощью горизонтальных и диагональных связей, привариваемых к полкам. Ширина подкружальных путей зависит от типа кружал и колеблется от 4,09 до 5,2 м, высота от головки рельса — от 5,3 до 6,2 м. Масса одной арки составляет 1,6—1,9 т.

Инвентарные кружала для двухпутных тоннелей представляют собой трехшарнирную арку с шириной подкружальных путей 7 м и такую же высоту от головки рельса (рис. 9.5). Размеры кружал как для ремонта однопутных, так и двух-

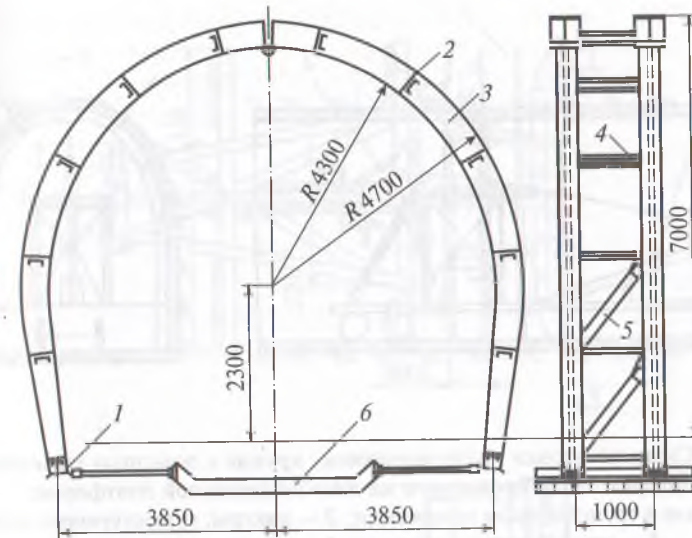


Рис. 9.5. Поддерживающие металлические кружала для двухпутных железнодорожных тоннелей:

1 — опорная часть; 2 — стык на сварке; 3 — кружальная арка; 4 — продольные связи; 5 — диагональные связи; 6 — подрельсовая распорка

путных тоннелей должны обеспечивать пропуск негабаритных грузов II степени со скоростью 30 км/ч.

Одиночные кружала доставляют к месту установки на специально оборудованной платформе в горизонтальном или наклонном положении и монтируют лебедками, закрепляя их анкерами без устройства горизонтальных и диагональных связей между кружальными арками (рис. 9.6).

Для сокращения времени установки арок в тоннеле их собирают в секции из трех или четырех кружальных арок, соединенных продольными и диагональными связями, за пределами тоннеля и транспортируют к месту работ с помощью механических или гидравлических кружалоустановщиков. Механический кружалоустановщик для перевозки и установки секции из трех кружал в двухпутном тоннеле показан на рис. 9.7.

Установка кружал в однопутном тоннеле на неэлектрифицированных участках дороги с помощью кружалоустановщика требует «окно» продолжительностью 4 часа на установку секции из семи арок.

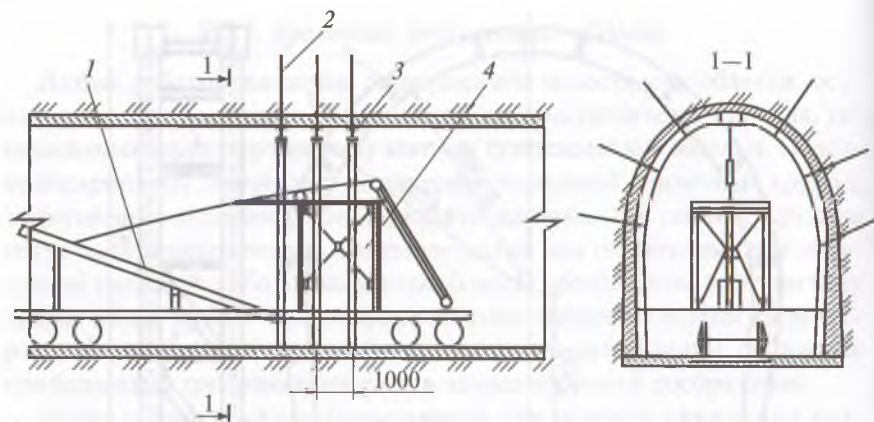


Рис. 9.6. Схема установки поддерживающих кружал с помощью кружалостановщика, смонтированного на железнодорожной платформе:
 1 — кружала в транспортном положении; 2 — анкеры; существующая обделка;
 3 — установленные кружала; 4 — кружалостановщик

Чтобы повысить эффективность использования «окон» в тоннелях, обеспечивающих свободную установку поддерживающих кружал вплотную к обделке без устройства штроб, применяют передвижные крепи в виде секций из 3—5 кружал. Передвижная поддерживающая крепь монтируется вне тоннеля и перемещается на участок работ по специально устраиваемым рельсовым путям.

9.2.2. Замена дефектной обделки и ее элементов

Полная или частичная замена дефектной обделки. Необходимость в замене существующей обделки или отдельных ее элементов возникает в том случае, когда после специального обследования техническое состояние конструкции признано недопустимым или аварийным. Напомним, что недопустимое состояние конструкции и сооружения в целом характеризуется снижением несущей способности и эксплуатационных характеристик, при котором существует опасность для пребывания людей и для движения транспорта. Аварийное состояние характеризуется дефектами и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности.

Перед переустройством дефектной обделки на участке работ монтируют поддерживающие кружала. Тип кружал и расстояние между их ося-

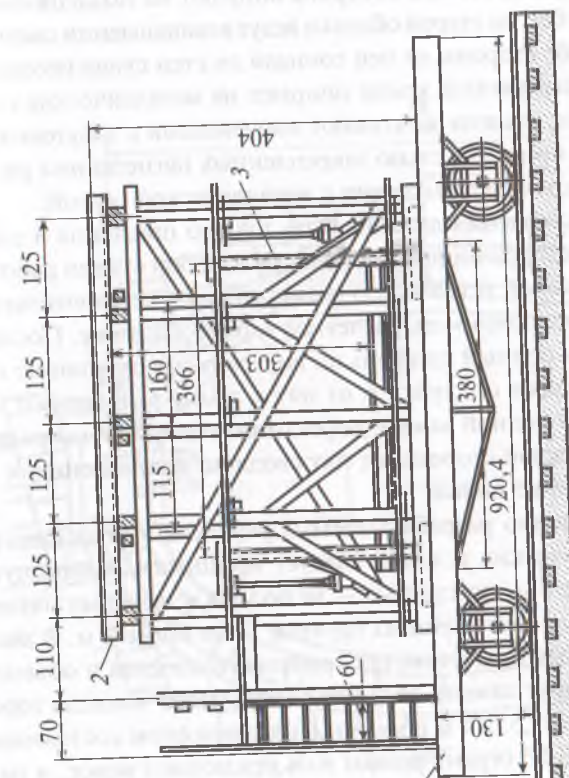
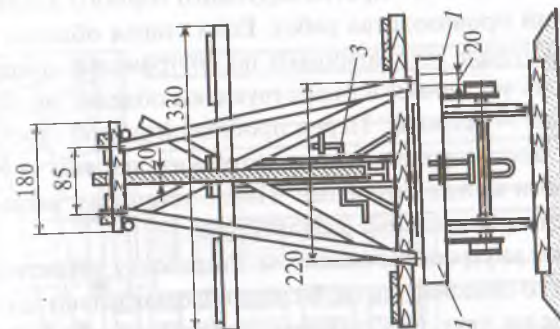


Рис. 9.7. Кружалостановщик для перевозки и установки кружалых секций:
 1 — платформа; 2 — подмости; 3 — подъемная балка с домкратами

ми выбирают в зависимости от прогнозируемого горного давления и конкретных условий производства работ. Если старая обделка имеет негабаритность, то кружала устанавливают по внутреннему очертанию новой обделки. До их установки в существующей обделке пробивают специальные борозды — штробы. Перед пробивкой штроб старую обделку подкрепляют дополнительными предохранительными кружалами, устанавливаемыми между штробами. После установки поддерживающих кружал предохранительные демонтируют.

Работы выполняют внутренним способом. Разработку дефектной обделки ведут, начиная со сводовой части. В своде обделки делают продольную рассечку в пределах двух-трех поддерживающих кружал (рис. 9.8). Высоту рассечки назначают таким образом, чтобы верхняки крепи оставались за пределами проектного контура новой обделки. Верхняки поддерживают унтерцугом, стойки которого опирают на поддерживающие кружала. Выломку бетона старой обделки ведут в направлении сверху вниз симметрично по обе стороны от оси тоннеля до стен существующей обделки. Элементы деревянной крепи опирают на металлические поддерживающие кружала, кровлю затягивают марчеванами с забутовкой пустот. В устойчивых предварительно закрепленных нагнетанием раствора грунтах кровлю закрепляют анкерами с металлической сеткой.

Все элементы крепления должны быть плотно пригнаны и расклинены, крепление разобранной части обделки в любой стадии работ должно представлять собой устойчивую геометрически неизменяемую систему, способную воспринимать расчетное горное давление. После разработки калотты на полный профиль по внутреннему очертанию новой обделки устанавливают опалубку и от пят к замку укладывают бетон новой обделки. При полной замене дефектной обделки стены разрушают поочередно с каждой стороны от пят свода по направлению к фундаментам и бетонируют новые.

Длину одновременно разрабатываемых участков в зависимости от инженерно-геологических условий следует принимать: в однопутных тоннелях — не более 6 м, двухпутных — не более 4 м, в любых тоннелях, заложенных в слабых неустойчивых грунтах, — не более 2 м. В зависимости от прочностных характеристик грунтового массива и объема работ темпы при полной замене обделки однопутного тоннеля горным способом составляют 7,5...15 м в месяц. При аварийном состоянии обделки применение БВР ограничивают или исключают вовсе, и разработку грунта ведут с использованием механизированных инструментов.

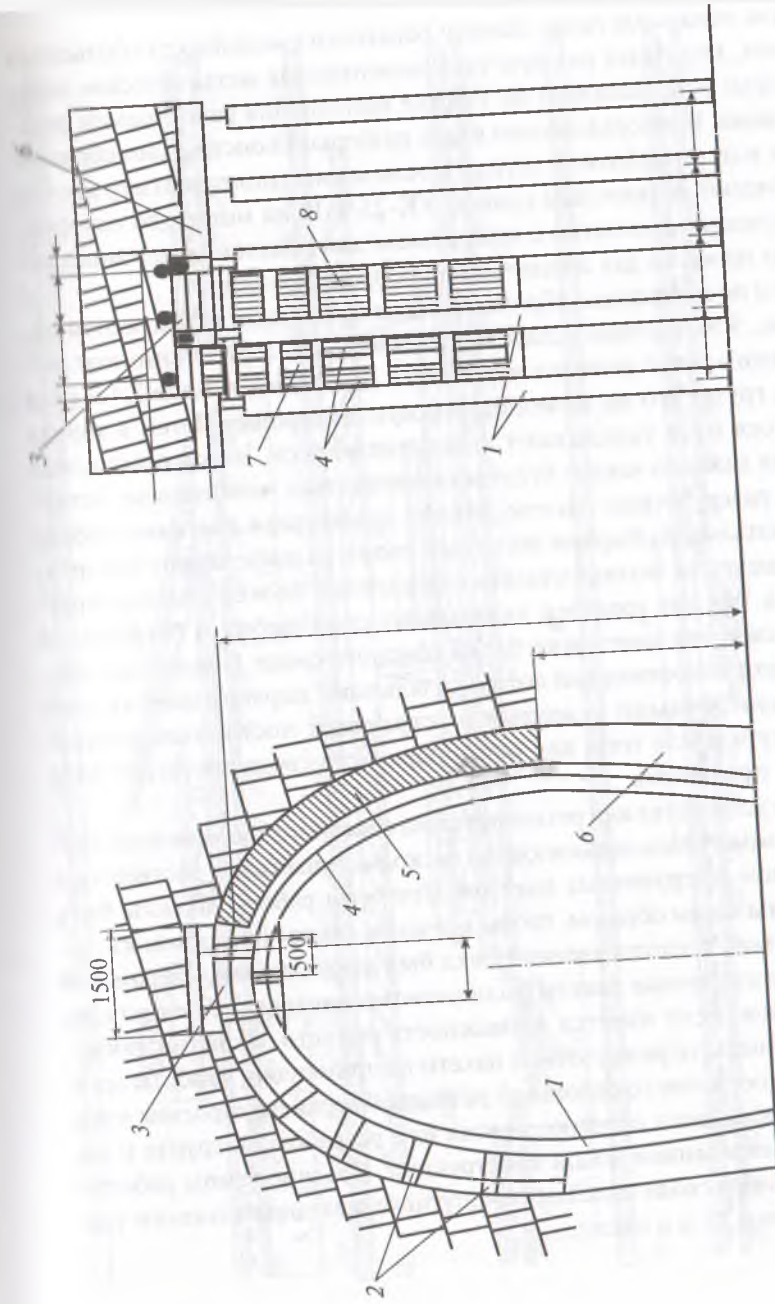


Рис. 9.8 Переустройство дефектной обделки горным способом:
 1 — поддерживающие кружала; 2 — лонгарины; 3 — унтерцужная система штольны; 4 — деревянные лекала;
 5 — бетон новой обделки; 6 — бетон существующей обделки; 7 — опалубка; 8 — затяжка кровли

Замена обратного свода. Замену обратного свода ведут небольшими участками, используя разгрузочные инвентарные металлические пакеты, которые устанавливают на участке выполнения работ взамен рельсового звена. Непосредственно перед разборкой конструкции обратного свода или разработкой грунта в основании тоннеля разгрузочный пакет убирают укладочным краном УК-25/9-18 на моторную платформу, работающую совместно с ним, а после завершения «окна» вновь укладывают на место для обеспечения пропуска поездов.

Работы по перекладке обратного свода производят в следующем порядке (рис. 9.9). Вначале укладочным краном УК-25/9-18 снимают звено рельсошпальной решетки и вырезают балласт на участке 7,4 м (или 12,5 м) и грузят его на железнодорожную платформу. Затем в торцах оставшегося пути укладывают шпальные клеточки, на которые после окончания каждого «окна» будут устанавливаться инвентарные металлические разгрузочные пакеты. Между шпальными клеточками отбойными молотками разбирают обратный свод и разрабатывают поперечную траншею для бетонирования или укладки блоков нового обратного свода. На дне траншеи укладывают слой щебня и бетонизируют обратный свод или монтируют блоки сборного свода. После этого восстанавливают водоотводный лоток, укладывают выравнивающий слой бетона с поперечными уклонами и устраивают постоянное верхнее строение пути после того, как бетон обратного свода достигнет 70 % проектной прочности.

В случае устройства или реконструкции обратного свода по всей длине тоннеля может быть организовано несколько участков с соответствующим числом разгрузочных пакетов. При этом работы должны быть организованы таким образом, чтобы в течение «окна» на каждом из участков очередной технологический цикл был завершен, а к завершению «окна» все разгрузочные пакеты были смонтированы для открытия движения поездов. Если имеется возможность полного закрытия движения через тоннель, то разгрузочные пакеты не применяют, а работы организуют круглосуточно со сплошной разборкой верхнего строения пути, разборкой дефектного обратного свода или разработкой грунта и поточным бетонированием новой конструкции. Средние темпы работ по замене обратного свода обделки однопутного железнодорожного тоннеля составляют 15 м в месяц.

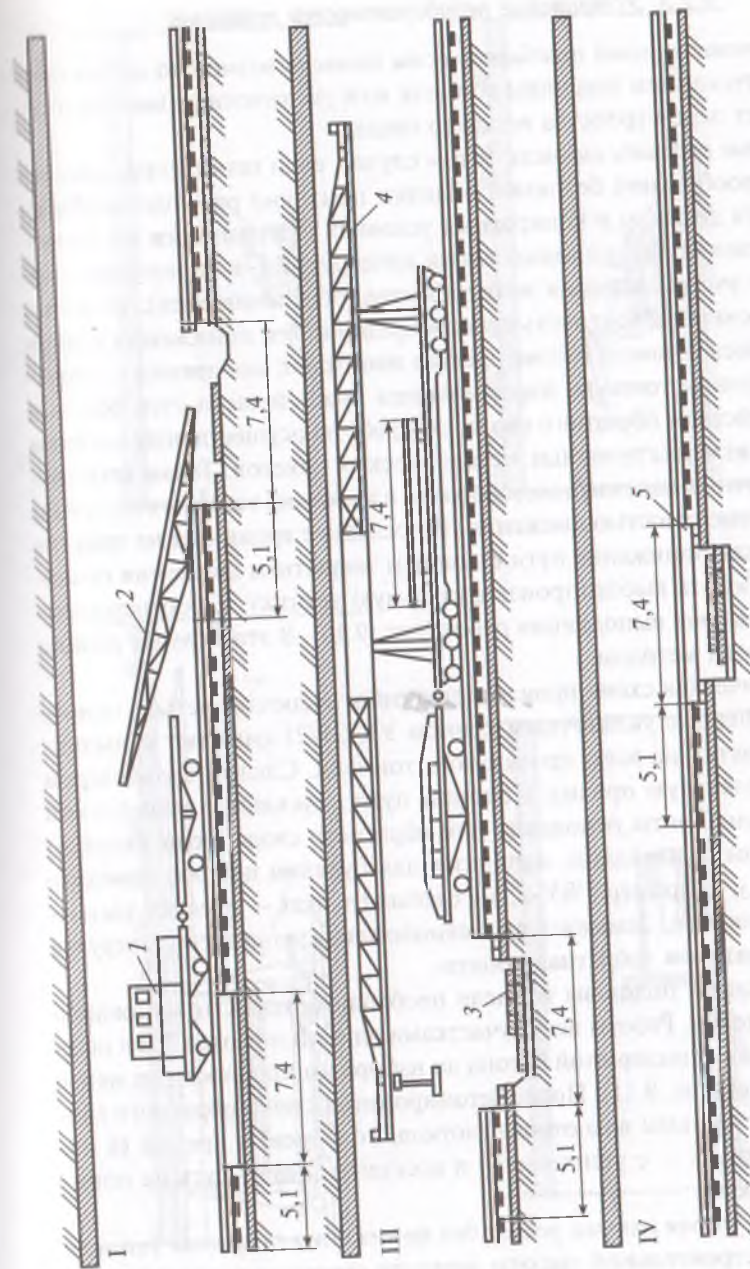


Рис. 9.9. Технологическая схема производства работ по переустройству обратного свода:
1 — дрезина с платформой; 2 — ленточный транспортер; 3 — устройство обратного свода; 4 — укладочный кран;
5 — инвентарный металлический пакет

Устранение верхней негабаритности тоннеля возможно двумя способами: опусканием подошвы тоннеля или увеличением высоты тоннеля за счет переустройства верхнего свода.

Опускание подошвы тоннеля. В том случае, если техническое состояние подковообразной бетонной обделки признано работоспособным (имеющиеся дефекты в конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению функционирования конструкции, и ее несущая способность, с учетом влияния этих дефектов, обеспечивается), то устранить верхнюю негабаритность целесообразно путем понижения уровня головки рельса. Уровень головки рельса понижают, как правило, с опусканием подошвы тоннеля, наращиванием нижней части стен обделки и переустройством обратного свода. Эти работы осуществляют в «окна» с применением разгрузочных металлических пакетов. Такая технология разгрузочных пакетов целесообразна в коротких тоннелях на линии с малой интенсивностью движения. В последнее время она не практикуется, так как понижение пути с полным закрытием движения позволяет использовать высокопроизводительную технику и, соответственно, сократить срок выполнения работ (рис. 9.10). В этом случае работы ведут поточным методом.

Технологическая схема производства работ включает четыре основных этапа. Вначале укладочным краном УК-25/21 снимают рельсошпальную решетку на всем протяжении тоннеля. Следом бульдозером снимают балластную призму. Подошву пути опускают с разработкой грунта и бетона плиты основания или обратного свода (если имеется) мелкошпуровыми зарядами, используя для бурения шпуров самоходную установку, например СБУ-2, а в слабых грунтах — насадку-рыхлитель на экскаваторе. Замыкает эту технологическую цепочку погрузка грунта экскаватором «обратная лопата».

При опускании подошвы тоннеля необходимо нарастить нижнюю часть стен обделки. Работы ведут участками длиной не более 3 м в шахматном порядке, с выдержкой бетона до набора им прочности не менее 70 % проектной (рис. 9.11). После бетонирования стен и обратного свода монтируют системы водоотвода (лотков, колодцев) и дренаж (в необходимых случаях — с утеплением) и восстанавливают путь на пониженных отметках.

Понижение уровня головки рельса без понижения подошвы тоннеля (уменьшение строительной высоты верхнего строения пути) и без ре-

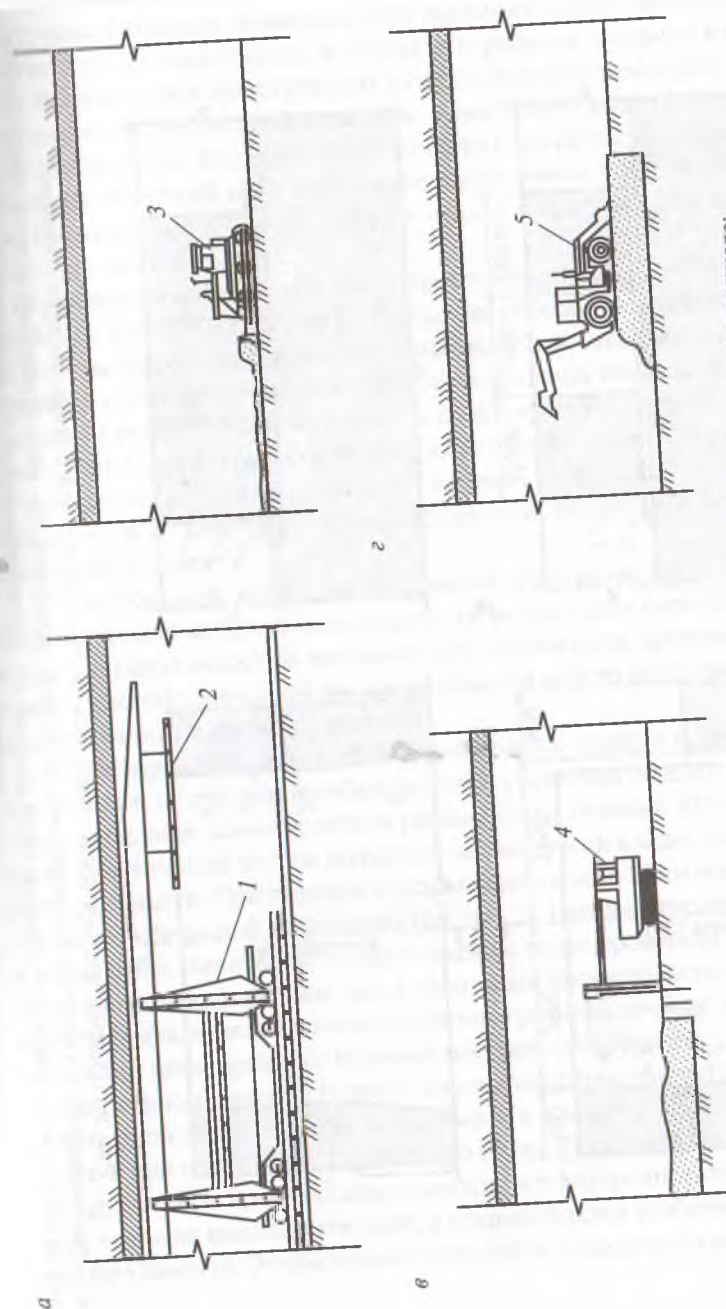


Рис. 9.10. Последовательность работ при понижении уровня пути в тоннеле: а — демонтаж верхнего строения пути; б — снятие балластной призмы; в — разработка подошвы; г — удаление разрабатанного грунта; 1 — укладчик пути; 2 — демонтируемая рельсошпальная решетка; 3 — бульдозер; 4 — самоходная бурильная установка; 5 — экскаватор «обратная лопата»

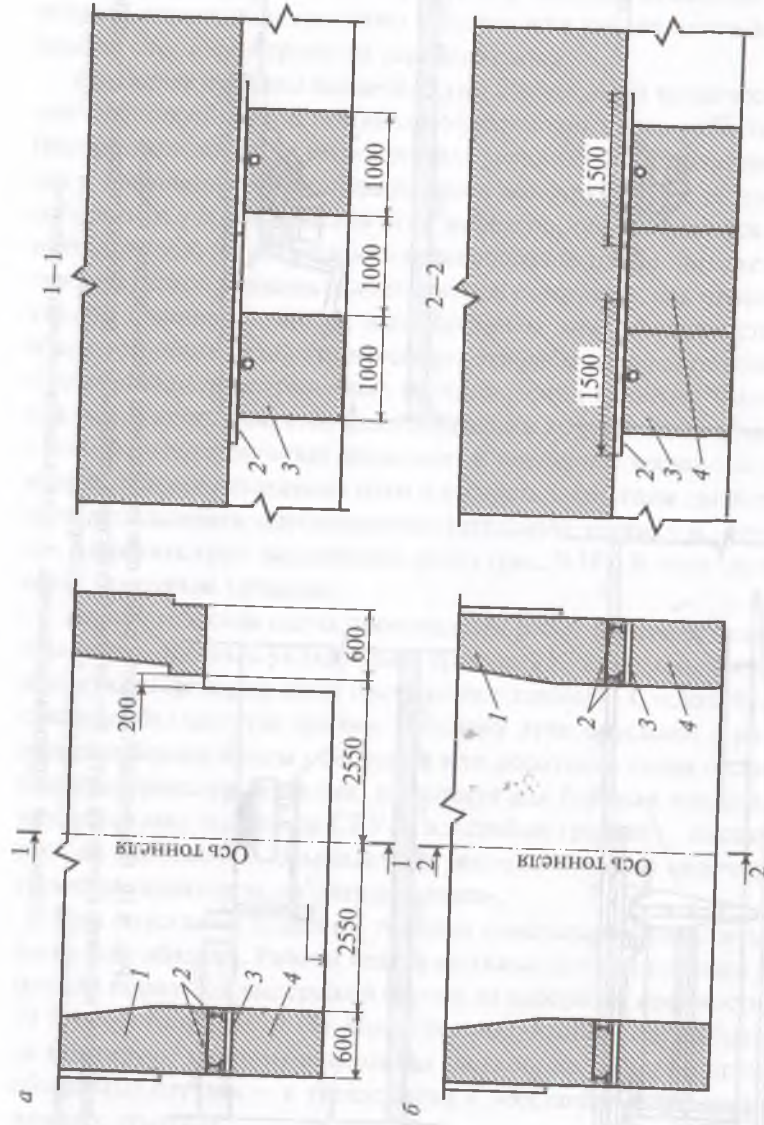


Рис. 9.11. Схема бетонирования нижней части стен обделки при понижении пути в тоннеле:
 а — участки разработки грунта и бетонирования на первом этапе работ; б — участок разработки грунта и бетонирования на втором этапе работ; 1 — существующая обделка; 2 — двутавровые балки; 3 — водоотводная трубка; 4 — бетон наращиваемой стены

конструкции обделки возможно при незначительной величине негабаритности (соответственно, и объемов доработки профиля в основании). В этом случае конструкцию пути на балласте заменяют на конструкцию пути с жестким основанием. Конструкция пути должна обеспечивать упругую передачу динамических нагрузок от подвижного состава на обратный свод и надежное закрепление бетонного основания. Работы в этом случае требуют полного перерыва движения на несколько месяцев.

Переустройство свода обделки. Переустройство свода обделки ведут наружным способом (рис. 9.12). Сущность способа заключается в том, что работы начинают с проходки транспортной штольни над сводом обделки на всю длину тоннеля. Затем из штольни последовательно на очередном участке, где приступают к переустройству обделки, раскрывают калотту симметрично в обе стороны от оси тоннеля. Длина калотты зависит от состояния грунтового массива за обделкой тоннеля и не превышает 6 м. Завершают работу установкой опалубки и бетонированием нового свода.

Из-за большой трудоемкости, малой производительности труда, низкого уровня механизации, опасности возрастания горного давления в связи с податливостью используемой деревянной временной крепи горный способ переустройства свода обделки можно рекомендовать при реконструкции коротких тоннелей.

Полное переустройство негабаритной обделки тоннеля осуществляют в зависимости от степени негабаритности и состояния обделки либо односторонним, либо симметричным расширением сечения. Негабаритность тоннеля величиной до 5 см устраняют за счет стески кладки или бетона по контуру обделки. При толщине стесываемого слоя до 20 см обделку усиливают железобетонной «рубашкой» (см. п. 8.2). Негабаритность более 20 см в однопутных тоннелях устраняют полным переустройством обделки, а в двухпутных — как полным, так и частичным переустройством. При этом не только обеспечивают новые габаритные размеры сечения тоннеля, но и сооружают конструкцию с большей несущей способностью.

При горном способе полной замены обделки однопутного тоннеля работы производят теми же приемами и в такой же последовательности, что и при переустройстве верхнего свода. Разница заключается в том, что кружальные арки должны охватить все внутреннее очертание тоннеля, включая подошву тоннеля, а старая обделка разбирается до подошвы фундамента. Этапы выполнения работ показаны на рис. 9.13. Мак-

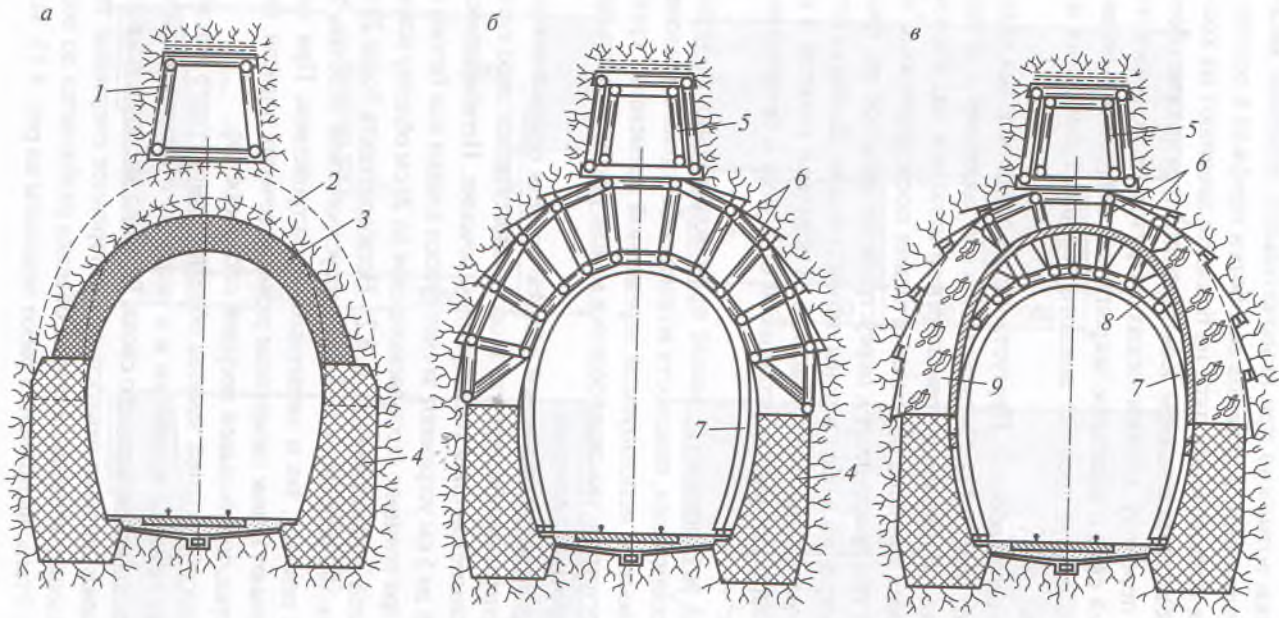


Рис. 9.12. Этапы работ при переустройстве свода наружным способом:
a — проходка верхней штольни; *б* — раскрытие калотты; *в* — бетонирование нового свода; 1 — крепь штольни; 2 — проектное очертание новой обделки; 3, 4 — свод и стены старой обделки; 5 — унтерцуг; 6 — веерная крепь калотты; 7 — поддерживающие кружала; 8 — опалубка; 9 — бетон нового свода

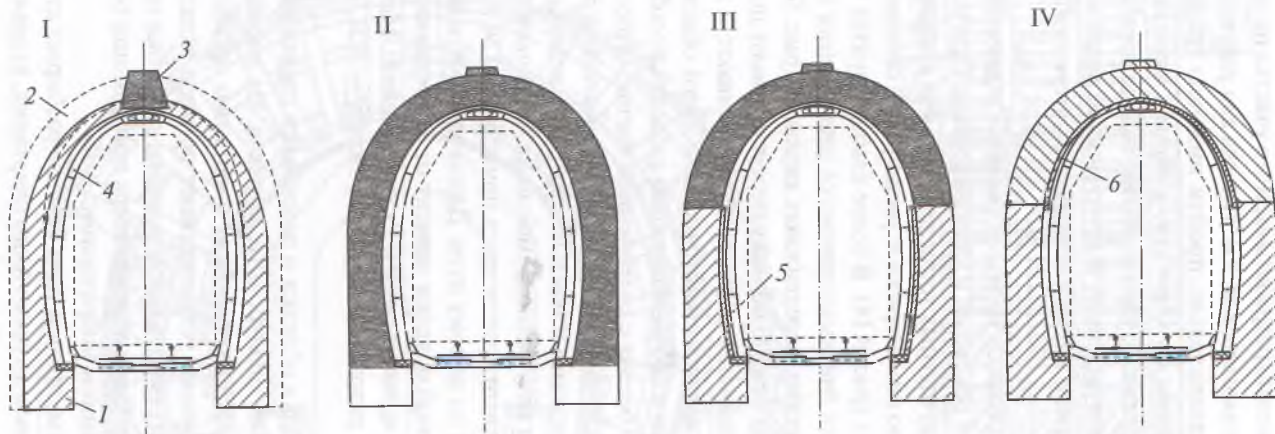


Рис. 9.13. Последовательность работ при устранении негабаритности тоннеля с полным переустройством обделки:
 I — установка поддерживающих кружал и проходка штольни; II — разборка старой обделки и доработка грунта сверху вниз; III — бетонирование стен новой обделки; IV — бетонирование свода; 1 — существующая обделка; 2 — проектное очертание новой обделки; 3 — верхняя штольня; 4 — поддерживающие кружала; 5, 6 — опалубка

с м, а в слабых грунтах уменьшается до 2 м. Иногда для развития фронта работ целесообразно предварительно пройти нижнюю транспортную штольню на уровне подошвы фундамента, а затем с использованием вертикального ходка — верхнюю. При наличии только верхней транспортной штольни разобранные кладку и грунт подают вверх из тоннеля скипом. В нижнюю штольню груженные наверху вагонетки опускают тельфером или лебедками.

Работы по перекладке обделки горным способом в двухпутном тоннеле отличаются большими объемами и трудоемкостью. При устранении боковой негабаритности двухпутных тоннелей в грунтах средней и выше средней крепости возможно симметричное расширение сечения с минимальной доработкой грунта (рис. 9.14). В более слабых грунтах применяют вариант одностороннего (несимметричного) расширения тоннеля с использованием металлических передвижных каркасов (рис. 9.15). При симметричном расширении старую обделку переустраивают полностью, а при одностороннем — половину обделки переустраивают, а другую — сохраняют. Если имеются дефекты в сохраненной части обделки, то ее усиливают перечисленными в соответствующем разделе способами. Для лучшего сцепления нового бетона с сохраненной частью существующей обделки необходимо тщательно очищать старую поверхность от копоти и пыли металлическими щетками и обильно смачивать водой.

В обоих случаях работы ведут одновременно на нескольких участках по длине тоннеля, отстоящими друг от друга примерно на 50 м, с сохранением движения поездов по одному пути. Длина участка одновременно разбираемой негабаритной обделки зависит от ее состояния, крепости окружающих грунтов и гидрогеологических условий. Максимальная длина одновременно разрабатываемого участка — 4 м, в слабых грунтах — 2 м.

После окончания разборки обделки и разработки грунта до проектного профиля устанавливают опалубочные кружала. Их внешнее очертание должно соответствовать внутреннему очертанию проектируемой обделки. Опалубку по кружалам устанавливают по мере укладки бетона. После установки и инструментальной выверки опалубки приступают к укладке бетона, которую ведут снизу вверх при помощи бетононасоса с послойным уплотнением вибраторами.

Работы ведут в три смены, причем одна бригада разбирает старую обделку и дорабатывает профиль до проектного очертания, вторая устанавли-

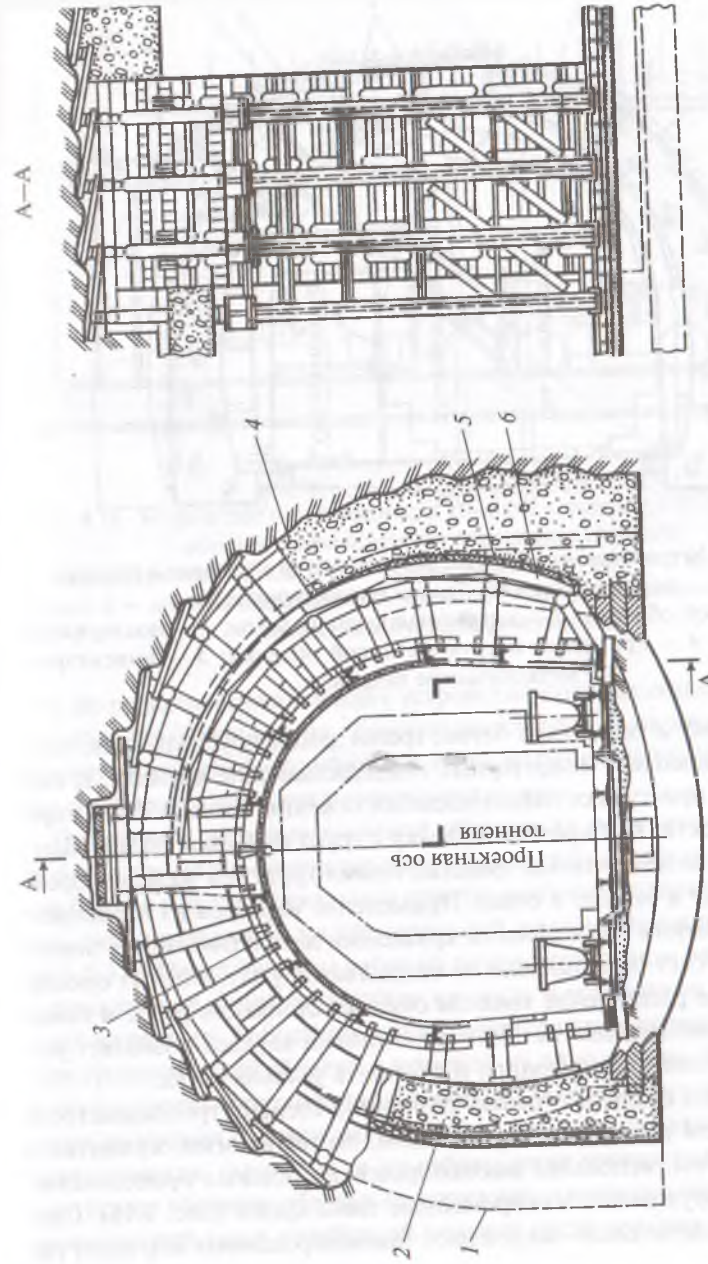


Рис. 9.14. Устранение негабаритности двухпутного тоннеля с полным переустройством обделки (симметричное): 1 — проектное очертание новой обделки; 2 — старая обделка; 3 — поддерживающие кружала; 4 — бетон новой обделки; 5 — опалубка; 6 — деревянные кружала

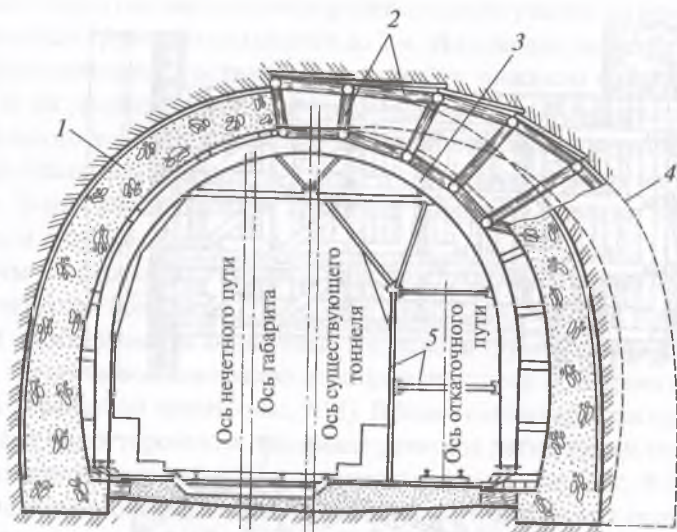


Рис. 9.15. Устранение негабаритности двухпутного тоннеля с полным переустройством обделки (одностороннее):
 1 — часть старой обделки; 2 — деревянная крепь калотты; 3 — поддерживающие кружала; 4 — проектное очертание новой обделки; 5 — инвентарные металлические подмости

ливают опалубку и укладывают бетон, третья демонтирует кружала, передвигает и раскрепляет инвентарные поддерживающие кружала. К снятию опалубки приступают только после достижения бетоном 75 % от проектной прочности. Разбираемые обделку и грунт опускают по желобам в бункеры, откуда ленточными транспортерами грузят на железнодорожную платформу и отвозят в отвал. Применение каркасов из нескольких кружал в сравнении с отдельными кружалами дает возможность экономить время за счет перестановки не отдельных кружал, а целых секций. Одностороннее расширение тоннеля снижает стоимость работ и повышает их производительность. Наличие обшивки каркаса позволяет устроить искусственную вентиляцию и улучшить условия труда.

В устойчивых скальных грунтах различной степени трещиноватости сечение тоннеля расширяют, в основном, по технологии, принятой в тоннелестроении, используя высокопроизводительные проходческие машины и оборудование и современные типы крепи (рис. 9.16). Слабый грунт предварительно закрепляют тампонирующим или ведут ра-

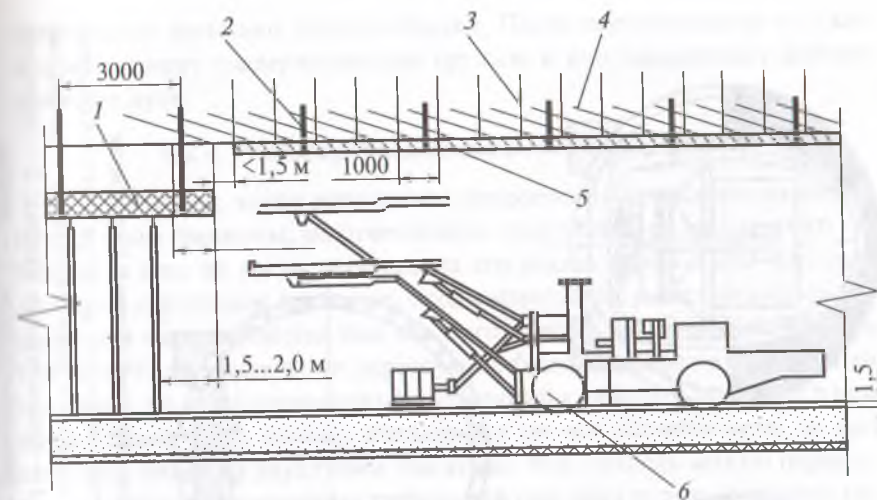


Рис. 9.16. Устранение негабаритности тоннеля с полным переустройством обделки с применением опережающей крепи:
 1 — существующая обделка; 2 — тампонажные шпурсы; 3 — железобетонные анкеры; 4 — анкеры опережающей крепи; 5 — набрызгбетонная обделка; 6 — самоходная бурильная установка

боты по расширению профиля с устройством опережающей крепи. Старую обделку заменяют на сборную конструкцию из железобетонных элементов или комбинированную из набрызгбетона по сетке в сочетании с анкерами или металлическими арками.

При замене деформированной обделки из монолитного бетона на сборную кругового очертания из чугунных тубингов или железобетонных блоков в крепких скальных грунтах применяют тоннельный укладчик, смонтированный на четырехосной железнодорожной платформе (рис. 9.17). Перед началом работ на реконструируемом участке тоннеля устанавливают поддерживающие кружала и устраивают разгрузочный пакет из рельсов. Работы по расширению сечения начинают с разборки стен существующей обделки с заходкой на одно кольцо. Разрабатывают грунт до проектного очертания новой обделки от горизонтального диаметра до уровня головки рельса. Затем расширяют лотковую часть сечения тоннеля, выполняя те же работы ниже уровня головки рельса, и монтируют сборную обделку до горизонтального диаметра. Завершают проходческий цикл доработкой верхней части сечения до проектного

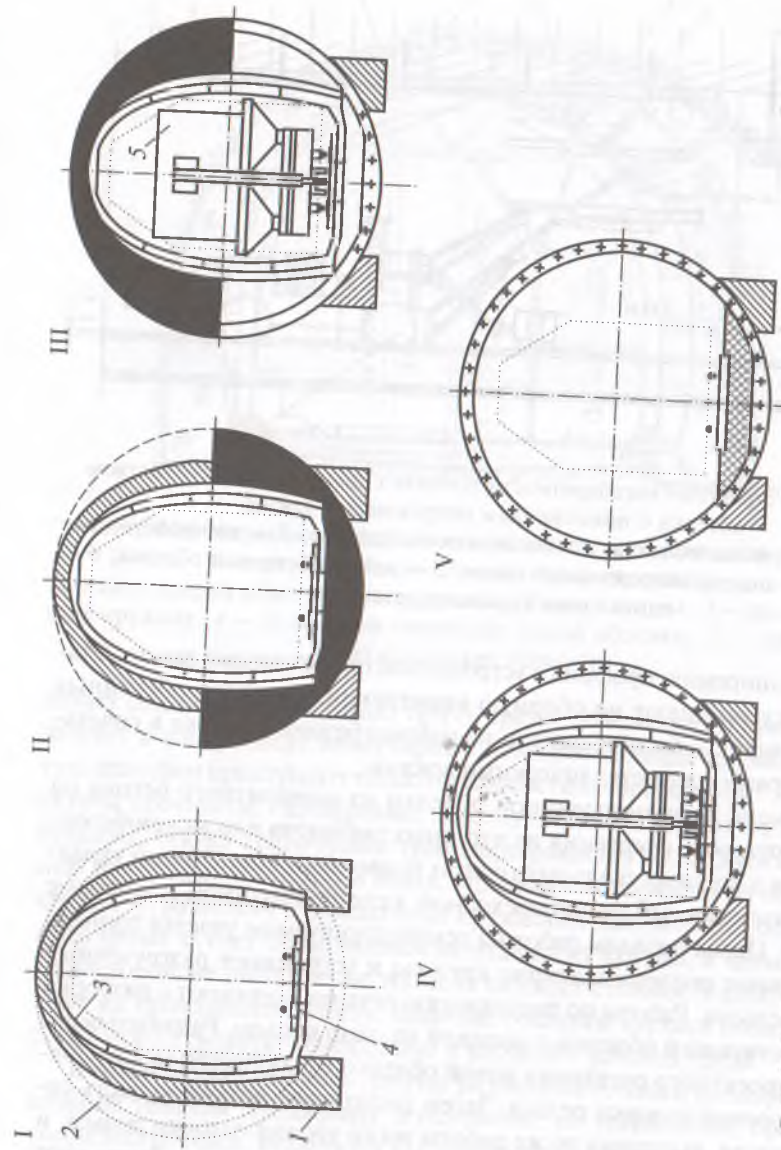


Рис. 9.17. Последовательность работ при переустройстве подковообразной обделки в круговую:
 I — установка поддерживающих кружал; II — доработка профиля ниже горизонтального диаметра круговой обделки;
 III — монтаж кольца до горизонтального диаметра и доработка профиля верхней части тоннеля; IV — замыкание
 кольца круговой обделки; V — восстановление верхнего строения пути; 1 — существующая обделка; 2 — проектное
 очертание новой обделки; 3 — поддерживающие кружала; 4 — рельсовые пакеты; 5 — эректор

очертания и замыкают кольцо обделки. После переустройства 4—5 колец демонтируют поддерживающие кружала и восстанавливают верхнее строение пути.

9.2.4. Реконструкция тоннельного пересечения

В тех случаях, когда тоннельное пересечение представлено одним однопутным тоннелем, не отвечающим требованиям современного габарита, и в то же время необходима его реконструкция при переходе линии на двухпутное движение, предпочтительнее может оказаться вариант его переустройства под два пути вместо строительства второго тоннеля. Если тоннельное пересечение было выполнено двухпутным тоннелем, но из-за современных требований к габариту движение в нем осуществлялось по одному уложенному по оси тоннеля пути, то при переходе линии на двухпутное движение этот тоннель можно переустроить с учетом современных требований под один путь и соорудить параллельно действующему новый однопутный тоннель.

К работам по реконструкции тоннельного пересечения следует отнести и реализацию таких решений, как удлинение тоннеля или раскрытие тоннеля в выемку.

Переустройство однопутного тоннеля в двухпутный осуществляют либо изнутри тоннеля, либо снаружи. В первом случае изнутри тоннеля разбирают всю или часть старой обделки, дорабатывают грунт до нового профиля и возводят новую обделку (внутренний способ). Во втором — разрабатывают грунт по наружному контуру существующей выработки, возводят новую обделку и затем разбирают старую (наружный способ).

Внутренний способ малопроизводителен, но обеспечивает минимальный объем доработки профиля. Вариант двустороннего (симметричного) расширения сечения уменьшает толщину доработки грунта по периметру сечения, упрощает крепление прорезей (рис. 9.18). Одностороннее расширение сечения, в отличие от двустороннего, дает возможность частично использовать старую обделку, если несущая способность такой комбинированной обделки обеспечит эксплуатационную надежность сооружения (рис. 9.19).

Наружный способ дает возможность вести работы без перерыва движения поездов, но требует увеличенных объемов разработки грунта. При этом способе в грунтах выше средней крепости доработку профиля осуществляют сверху вниз аналогично классическому способу проходки

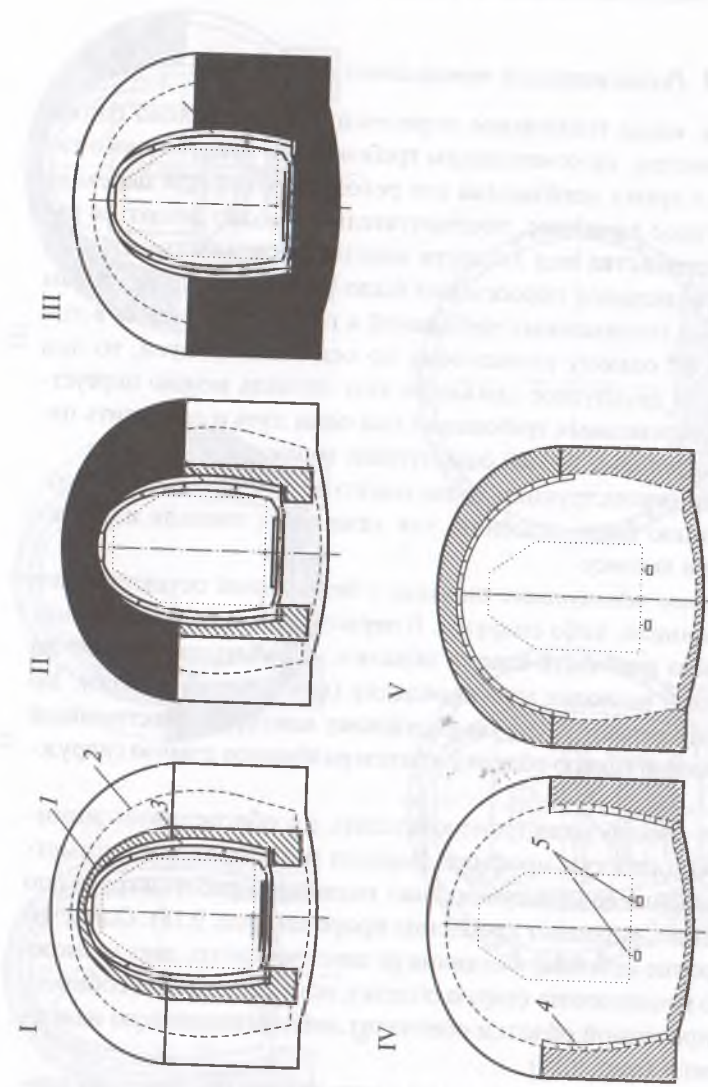


Рис. 9.18. Последовательность работ при переустройстве однопутного тоннеля под двухпутное движение внутренним способом с симметричным расширением профиля:
 I — установка поддерживающих кружал; II — доработка каллотной части профиля до проектного очертания; III — бетонирование верхней свода; IV — бетонирование обратного свода и стен; V — бетонирование верхнего свода; 1 — обделка однопутного тоннеля; 2 — проектное очертание обратного свода и стен; 3 — бетонирование обратного свода и отделки двухпутного тоннеля; 4 — опалубка; 5 — рельсовые пакеты

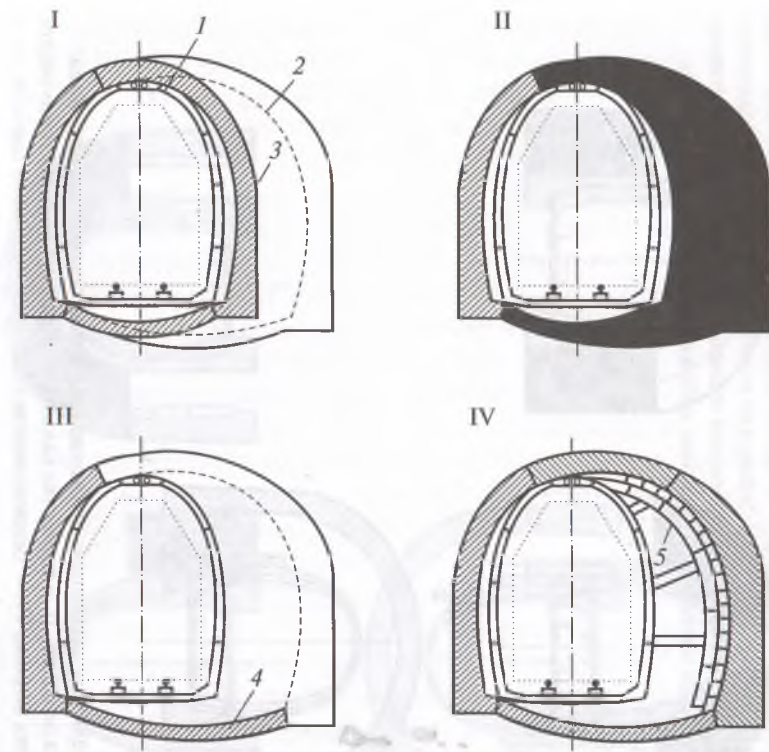


Рис. 9.19. Последовательность работ при переустройстве однопутного тоннеля под двухпутное движение внутренним способом с односторонним расширением профиля:

I — установка поддерживающих кружал; II — доработка профиля сверху вниз до проектного очертания; III — бетонирование обратного свода; IV — бетонирование новой обделки; 1 — поддерживающие кружала; 2 — проектное очертание обделки двухпутного тоннеля; 3 — обделка однопутного тоннеля; 4 — обратный свод двухпутного тоннеля; 5 — опалубка

полностью раскрытого профиля (рис. 9.20). Из первоначально пройденной верхней штольни симметрично в обе стороны раскрывают калотту, а затем боковые штроссы у стен тоннеля. Бетонирование ведут в обратном направлении снизу вверх. В слабых грунтах переустройство однопутного тоннеля в двухпутный ведут наружным способом снизу вверх аналогично классическому способу опорного ядра (рис. 9.21). Сначала осуществляют проходку боковых штолен первого и второго

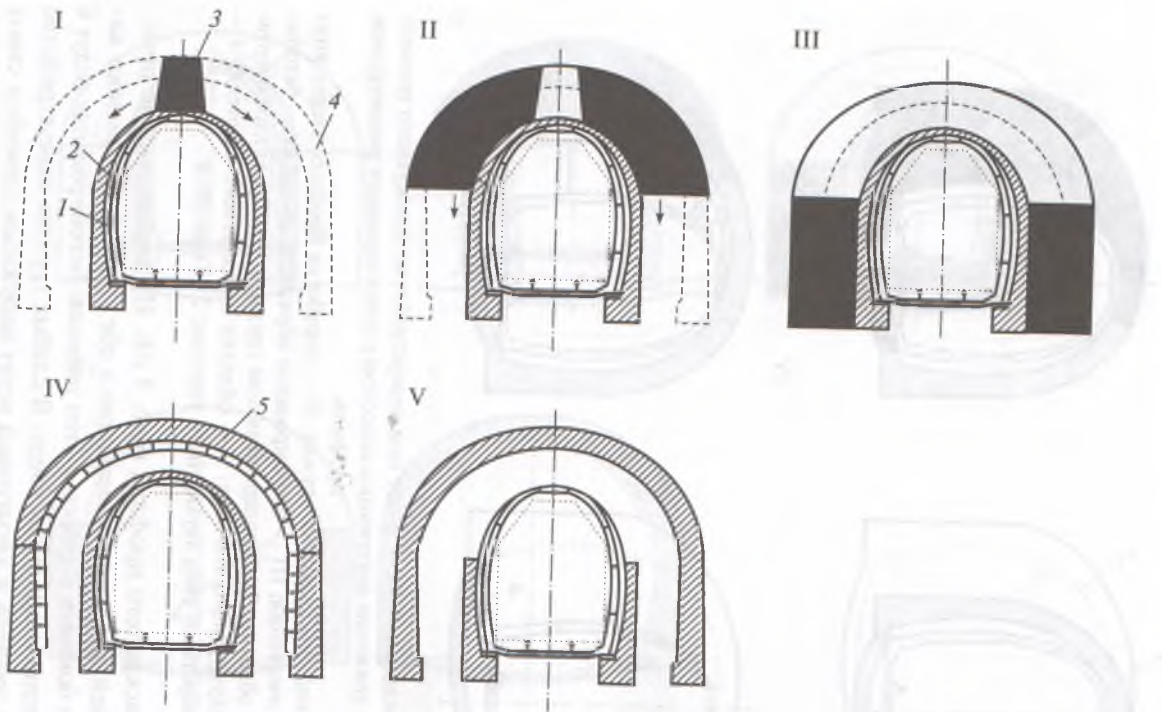


Рис. 9.20. Переустройство однопутного тоннеля под двухпутное движение наружным способом сверху вниз: I — установка поддерживающих кружал и проходка штольни; II — доработка каллотного профиля до проектного очертания обделки двухпутного тоннеля; III — разработка штросса; IV — бетонирование обделки двухпутного тоннеля снизу вверх; V — разборка обделки однопутного тоннеля сверху вниз; 3 — верхняя штольня; 4 — проектное очертание обделки двухпутного тоннеля; 5 — обделка двухпутного тоннеля

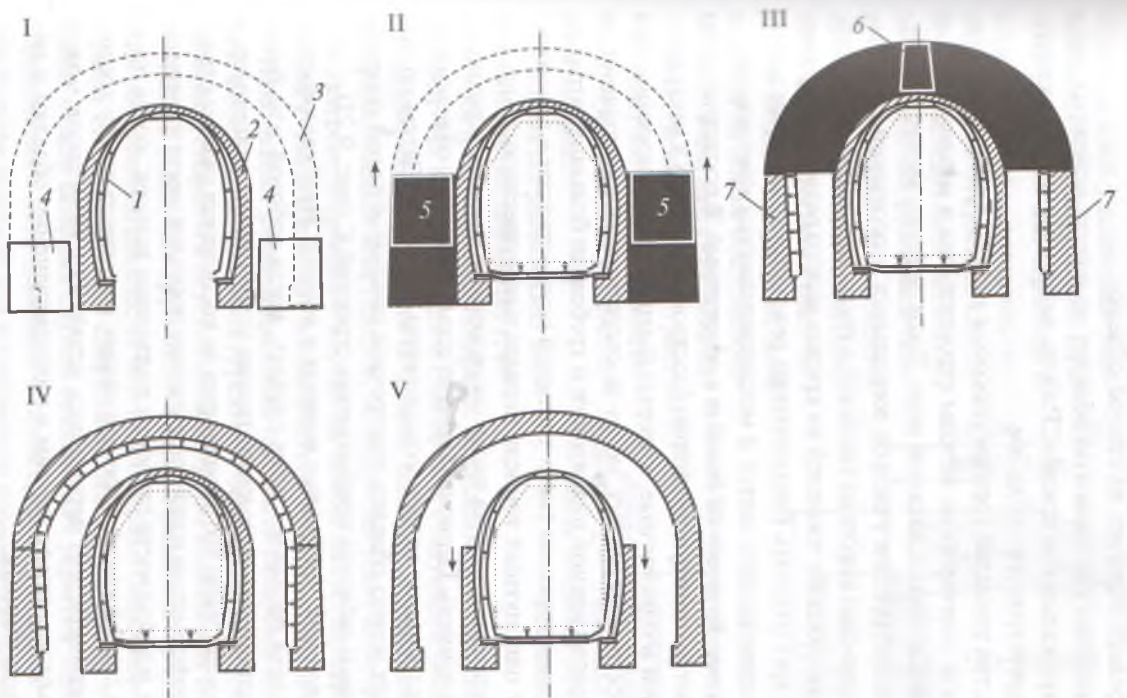


Рис. 9.21. Переустройство однопутного тоннеля под двухпутное движение наружным способом снизу вверх: I — установка поддерживающих кружал и проходка нижних штолен; II — проходка штолен второго яруса; III — бетонирование стен обделки двухпутного тоннеля, проходка верхней штольни и доработка каллотного профиля до проектного очертания обделки двухпутного тоннеля; IV — бетонирование свода; V — разборка обделки однопутного тоннеля сверху вниз; 1 — поддерживающие кружала; 2 — обделка однопутного тоннеля; 3 — проектное очертание обделки двухпутного тоннеля; 4 — нижние штольни; 5 — штольни второго яруса; 6 — верхняя штольня; 7 — стены обделки двухпутного тоннеля

лрусов, в которых бетонируют стены, затем разрабатывают калотту и сооружают свод. Этот вариант дает возможность сразу после бетонирования стен передать нагрузку на старую обделку.

В обоих вариантах разбираемую обделку до начала основных работ подкрепляют кружальными арками. Работы ведут участками аналогично полному переустройству обделки.

Переустройство тоннелей горным способом ведется в крайне стесненных условиях, где современные методы строительства и механизации не могут быть использованы в должной мере. Такое решение может быть оправдано при реконструкции участков тоннельных пересечений с небольшим числом (один-два) коротких тоннелей в труднодоступной местности, а также при расположении тоннелей на кривых малого радиуса. В противном случае следует отдавать предпочтение реконструкции тоннельного пересечения с применением щитов и механизированных комплексов.

Переустройство двухпутного тоннеля в однопутный. В последние годы развивается опыт реконструкции старых (постройки начала XX века) двухпутных тоннелей в однопутные, которые были реконструированы при переходе на электрическую тягу, но из-за отсутствия гидроизоляции не отвечали эксплуатационной надежности и требовали больших затрат на содержание. Реконструкцию таких тоннелей осуществляют в два этапа: 1 — сооружают однопутный тоннель параллельно существующему; 2 — переводят движение поездов на вновь сооруженный тоннель и реконструируют старый тоннель. Первоначально по всему периметру обделки старого тоннеля устраивают гидроизоляционную мембрану. Затем по оси тоннеля возводят новую обделку, поперечное сечение которой соответствует требованиям габарита приближения строений С (рис. 9.22).

Удлинение тоннеля, раскрытие тоннеля в выемке. Необходимость в удлинении тоннеля возникает в тех случаях, когда лобовой или боковые откосы предпортальной выемки теряют устойчивость, например, в результате оползней. Чаще это проявляется на косогорных участках трассы. Серьезные деформации и даже разрушение порталов могут проявиться и при потере устойчивости глубоких подходных выемок, когда из-за экономических соображений проектировщик сокращает длину тоннеля. Следует учитывать, что переоценка устойчивости откосов может привести к серьезным последствиям в виде разрушения обделки и образования завалов тоннеля.

В таком случае мероприятия по укреплению откосов и повышению их устойчивости малоэффективны. Становится целесообразным восста-

новить эксплуатационную надежность тоннельного пересечения за счет удлинения тоннельного участка трассы. При этом возможны два варианта: с устройством обделки существующего типа открытым способом и последующей засыпкой выемки или сооружением галереи со сводчатым или плоским перекрытием. Удлинение тоннеля в конструкции существующей обделки и устройством портала на новом месте целесообразно в выемке с крутыми откосами. В случае если трасса подходит к тоннелю в полувыемке, предпочтение следует отдать галерее.

Работы по удлинению тоннеля включают доработку грунта откоса до требуемого профиля, возведение конструкций обделки или галереи. Их ведут открытым способом в следующей последовательности: разбирают портал или оголовок тоннеля, дорабатывают откосы до профиля тоннеля или галереи, возводят несущие конструкции обделки или галереи, устраивают портал на новом месте, производят обратную засыпку, вылаживают лобовой откос и организуют водоотвод.

Наибольшее распространение получили галереи в виде прямоугольной железобетонной конструкции с балочным перекрытием. Стену с нагорной стороны в неустойчивых грунтах выполняют сплошной и массивной, в скальных грунтах — в виде отдельных опор, поддерживающих продольный ригель, на который опирают балки перекрытия. С подгорной стороны обычно сооружают отдельные опоры с ригелем. Прометы между опорами служат нишами для укрытия персонала, а также обеспечивают освещенность и проветривание тоннеля. Верх перекрытия должен иметь уклон в подгорную сторону. По перекрытию устраивают грунтовую подушку для смягчения ударов на случай обрушения камней с откоса.

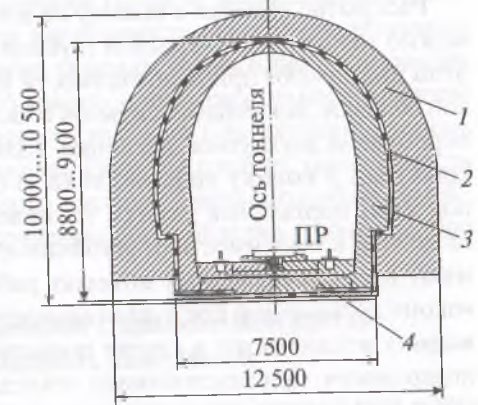


Рис. 9.22. Схема переустройства обделки при реконструкции двухпутного тоннеля в однопутный:

1 — обделка существующего двухпутного тоннеля; 2 — пленочная гидроизоляция; 3 — новая бетонная обделка; 4 — плита основания

Раскрытие тоннеля в выемку на всей или части длины тоннеля возможно только при небольшой глубине заложения тоннеля. Решение об этом принимают при необходимости увеличения габарита, замены ветхой обделки, ликвидации сильной обводненности и наледиобразования, переходе на двухпутное движение. Только короткие тоннели могут раскрываться в выемку по всей длине. В большинстве случаев раскрытию подлежат порталные участки тоннелей с предельной глубиной выемки до 40 м в зависимости от устойчивости грунтов. Этот вариант принимают при значительных объемах работ, невозможности получения «окон» достаточной продолжительности. Вариант раскрытия тоннеля в выемку исключается в случае повышенной ценности на тоннельной поверхности, при неустойчивых откосах, особенно на оползневых участках, а также при повышенных эксплуатационных затратах выемки по сравнению с тоннелем.

К преимуществам варианта относят независимость работ от движения поездов, возможность ведения реконструкции на большом фронте и, следовательно, в короткие сроки, отсутствие необходимости искусственной вентиляции и искусственного освещения в дневное время, большую безопасность работ, что позволяет снизить требования к квалификации персонала. К недостаткам относят зависимость работ от времени года, климатических условий, сложность отвода поверхностных и грунтовых вод из разрабатываемой выемки.

Работы включают установку поддерживающих кружал внутри тоннеля, разработку выемки уступами сверху вниз (скальные грунты можно разрабатывать буровзрывным способом до отметки на 1,5 м выше шельги свода обделки, далее — отбойными молотками), разборку обделки тоннеля. Кружала устанавливают до начала работ или к моменту уменьшения целика над тоннелем. Разработку выемки ведут от поверхности земли к обделке горизонтальными слоями по 5...6 м. Разборку обделки ведут отдельными участками от замка симметрично в обе стороны. Для уменьшения обводнения разрабатываемой выемки необходимо отводить ливневые и талые воды в подходящую выемку и далее по имеющимся и сооружаемым кюветам.

Превращение тоннеля в выемку устраняет его недостатки, но может вызвать сложности при дальнейшей эксплуатации участка. Известны случаи, когда из-за неустойчивости откосов приходилось снова превращать выемку в закрытое сооружение тоннельного типа. В каждом случае устанавливают предельную глубину, при которой раскрытие в вы-

емку предпочтительней реконструкции тоннеля закрытым способом. Особую опасность с точки зрения устойчивости откосов представляют выемки, расположенные на горных склонах. К факторам, влияющим на устойчивость склонов, относят высоту и крутизну откосов, наличие естественных водотоков и ливневых стоков на поверхности, степень обводненности, простираение пластов, системы трещин, однородность и другие характеристики грунтового массива. Уменьшить объем выемки можно за счет включения сохранных стен обделки в конструкцию подпорных стен.

9.3. Реконструкция тоннелей с применением щитов и механизированных комплексов

Альтернативой горному способу переустройства тоннельных обделок является щитовой способ или новейшие технологии с применением специальных механизированных комплексов. Впервые в практике работ по реконструкции тоннелей в середине прошлого столетия был применен комплекс оборудования с полуштитом для ликвидации верхней негабаритности однопутного тоннеля путем переустройства верхнего свода (рис. 9.23). Он позволил заменить дефектную обделку в своде на сборную из железобетонных тюбингов со средними темпами 3 м в сутки без организации «окон» в движении поездов.

Полуштит представляет собой передвижную металлическую крепь, под защитой которой выполняют строительные работы и движется поезд. Полуштит монтируют вблизи портала и с помощью крана устанавливают на стенах предварительно разобранный свод порталного звена обделки тоннеля. Для передвижки полушпита в торцевой части опорного кольца размещены 14 гидравлических цилиндров. Связи и горизонтальные распорки, обеспечивающие прочность и жесткость всей конструкции, расположены за пределами габарита подвижного состава. Впереди полушпита, под ним, а также позади него устанавливают передвижные кружальные секции, которые перемещаются по рельсам одновременно с передвижкой полушпита.

Разработку грунта до проектного профиля, как и разборку свода существующей обделки, производят вручную отбойными молотками или буровзрывным способом. Для крепления кровли в слабых грунтах применяют специальные выдвигные металлические трубы, помещающиеся в опорном кольце со стороны забоя. По кружальным секциям укладывают металлические листы, предохраняющие действующий путь и

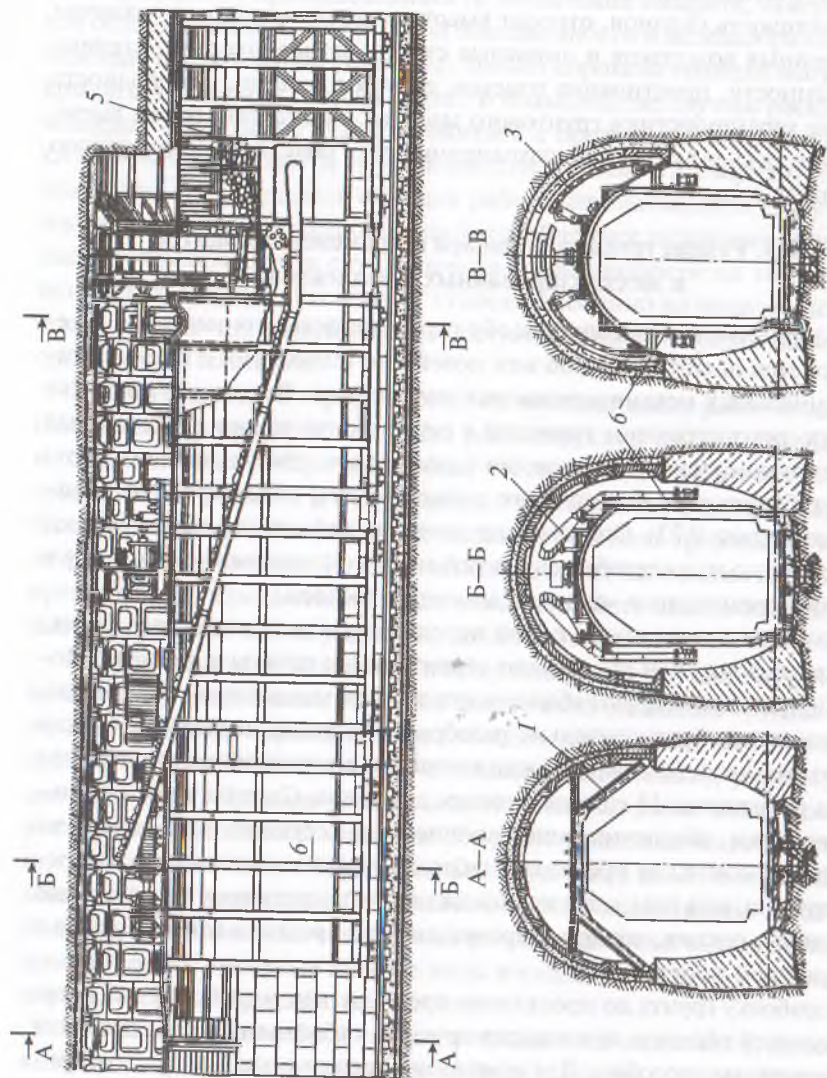


Рис. 9.23. Переустройство свода тоннеля с помощью полушита:
 1 — технологические подмости для откачки грунта; 2 — легкие транспортеры, 3 — тубингоукладчик;
 4 — полушит; 5 — приемный бункер; 6 — ограждающий портал

проходящие поезда от кусков разработанного грунта или камней разбираемой кладки. На кружальной секции под оболочкой полушита находится приспособление для монтажа тубингов. За хвостовой частью полушита устанавливают насос для нагнетания цементно-песчаного раствора за обделку.

Работы по перекладке свода выполняют в три стадии. Сначала на длину заходки, равную ширине тубинга, разбирают свод старой обделки и добирают профиль до проектного очертания. Грунт и куски разобранной обделки убирают из забоя в вагонетки с помощью транспортеров, установленных с обеих сторон от передвижных кружальных секций. Непосредственно за передвижными кружальными секциями устроены технологические подмости, по которым уложен узкоколейный путь для движения вагонеток и доставки тубингов. Затем передвигают полушит и кружальные секции. Ведут первичное нагнетание за обделку сборного свода, сошедшего с оболочки полушита.

Завершают цикл монтаж тубингов и наращивание технологических подмостей. Приспособление для монтажа тубингов, расположенное под оболочкой полушита, состоит из направляющих дуг, двух гидравлических цилиндров и двух лебедок. Гидравлическими цилиндрами тубинги поднимают на направляющие дуги и при помощи лебедок устанавливают на место.

При переводе Дальневосточной железной дороги на электрическую тягу в 1976—1981 гг. с помощью шита без перерыва движения поездов была устранена негабаритность двухпутного тоннеля старой постройки. Реконструкция включала полное переустройство обделки под габарит С с пропуском грузов всех степеней негабаритности.

Щит подковообразного очертания оборудован выдвижными площадками для разработки бетона старой обделки и грунта отбойными молотками или для бурения и зарядания шпуров, выдвижными козырьками-шандорами для крепления кровли и гидравлическими цилиндрами для передвижки на очередную заходку (рис. 9.24). В состав щитового комплекса входят три передвижных кружальных секции: грузовая с погрузочной машиной и транспортером, монтажная с рольгангом для укладки блоков свода обделки и механизмом для укладки стеновых блоков и вспомогательная, оборудованная площадками для первичного и контрольного нагнетания раствора за обделку, чеканке швов.

Применение щитового комплекса при реконструкции тоннеля с полным переустройством обделки позволяет обеспечить производство ра-

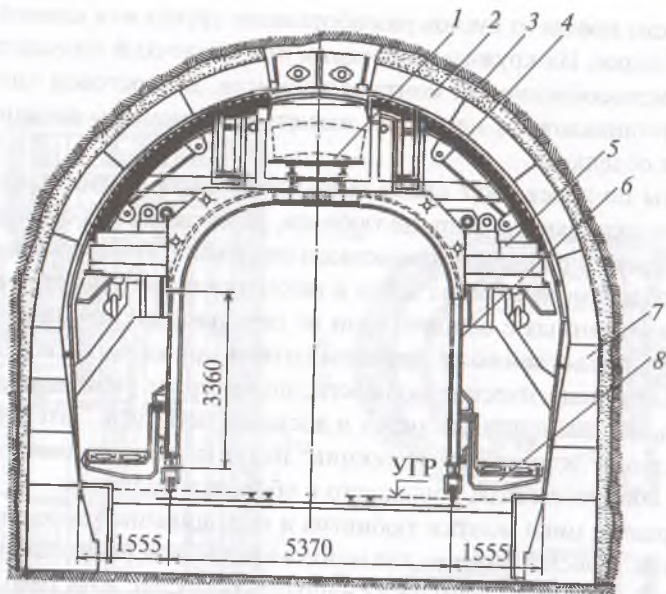


Рис. 9.24. Механизированный комплекс для переустройства обделки двухпутного тоннеля:

- 1 — податчик блоков на рольганг; 2 — блоки сборной обделки; 3 — цементно-песчаный раствор; 4 — рольганг укладчика блоков свода; 5 — механизм подъема стеновых блоков; 6 — ограждающий портал; 7 — стеновой блок; 8 — подъемник стеновых блоков

бот в широком диапазоне инженерно-геологических условий, за счет механизации части работ проходческого цикла повысить темпы проходки до 2 м в сутки и обеспечить безопасность труда в стесненных условиях эксплуатируемого тоннеля.

Представляют несомненный интерес отечественные разработки последних лет, внедренные при реконструкции тоннелей на Сахалинской железной дороге. Все тоннели на островной магистрали (24 тоннеля общей протяженностью 7774 м, из которых 16 тоннелей не эксплуатируются) были построены в период 20—30-х гг. прошлого столетия по существующим в Японии стандартам с шириной колеи 1067 мм. При этом внутренние размеры поперечного сечения старых тоннелей составляли 3,4 м по ширине и 4,59 м по высоте. Напомним, что аналогичные параметры тоннеля для габарита С в зависимости от подъемистости свода составляют соответственно 5,7...6 м и 6,9...7,2 м (от уровня головки рельса).

В 80-х гг. прошлого столетия на линии, расположенной вдоль западного побережья о. Сахалин, проводились работы по расширению отдельных участков пути до колеи 1520 мм. За последние годы здесь было реконструировано пять действующих тоннелей под габарит С и сооружены железнодорожные пути в обход еще четырех тоннелей. Продолжаются работы по реконструкции шестого тоннеля под габарит С. Все работы велись с применением нового щитового комплекса.

Щитовой комплекс состоит из нескольких автономных агрегатов, позволяющих механизировать реконструкцию однопутного тоннеля, проложенного в сложных инженерно-геологических условиях. Принцип действия агрегатов комплекса основан на последовательном выполнении ими всех технологических операций по переустройству тоннеля под новый габарит. Главный агрегат комплекса — шандорный щит — представляет собой передвижную крепь, под защитой которой ведут разработку грунта до нового сечения, разборку (разработку) старой обделки реконструируемых тоннелей (рис. 9.25). Перегородки и площадки щита расположены за пределами принятого на железных дорогах

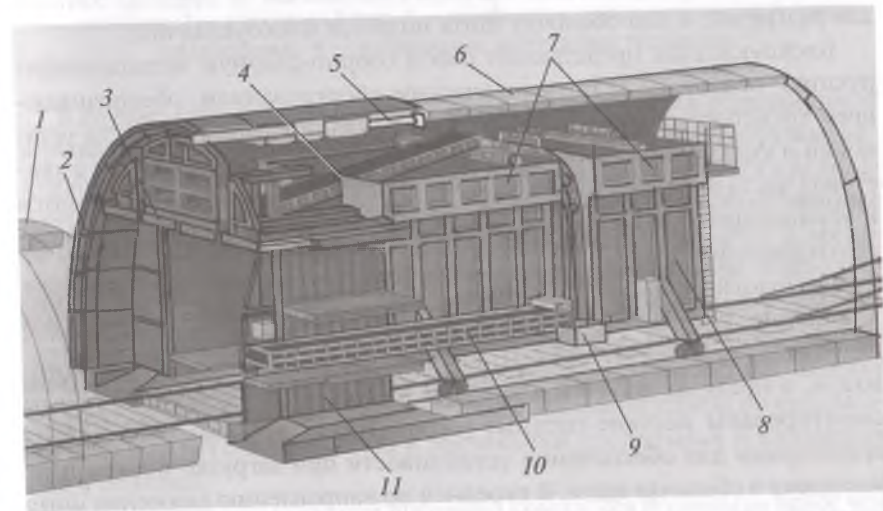


Рис. 9.25. Щит для переустройства обделки тоннеля:

- 1 — существующая обделка; 2 — выдвижные шандоры; 3 — выдвижные площадки; 4 — транспортер; 5 — щитовые гидроцилиндры; 6 — блоки новой обделки; 7 — бункеры-накопители; 8 — защитные портал; 9 — скиповый подъем; 10 — боковые транспортеры; 11 — перегородки щита

Сахалина габарита приближения строений $C_{ю}$ с необходимыми технологическими зазорами.

В щитах этого типа реализуется принцип крепления кровли выдвижными козырьками-шандорами, что повышает безопасность при разработке забоя в слабых неустойчивых грунтах. Щит оснащен системами электро- и гидрооборудования, обеспечивающими передвижение щита (19 щитовых гидроцилиндров), выдвижение и уборку шандор, площадок, балок вертикально-подъемной рельсовой рамы, элементов крепления лба забоя (7 забойных гидроцилиндров), взрывозащитных решеток.

Основной объем грунта и обделки старого тоннеля разрабатывается во внеконное время. Разработанный грунт и разобранный обделка транспортируются в передвижной бункер-накопитель. Он представляет собой порталную металлоконструкцию, в верхней части которой находятся емкости для грунта объемом 32 м^3 , верхним и боковыми транспортерами, скиповым подъемником, автономными электро- и гидросистемами. После разработки забоя на одну заходку во время передвижки щита бункер-накопитель отвозится мотовозом за пределы тоннеля для разгрузки, а под оболочку щита подается блокоукладчик.

Блокоукладчик представляет собой сборно-сварную металлоконструкцию, оснащенную технологическим оборудованием, обеспечивающим транспортировку блоков от места складирования до места установки и укладку блоков обделки тоннеля в проектное положение в хвостовой части проходческого щита (рис. 9.26). Одновременно перевозятся и устанавливаются все шесть блоков, составляющих кольцо новой обделки шириной 1 м.

Технологическое оборудование блокоукладчика смонтировано на платформе, которая опирается на тележки для перемещения блокоукладчика по рельсовому пути. Чтобы перемещать блокоукладчик мотовозом, в пределах рабочей площадки на торцевых балках платформы смонтированы жесткие сцепные устройства. Платформа оборудована ауригерами для обеспечения устойчивости при загрузке блоков и их установке в оболочке щита. В передней по направлению движения щита части платформы расположена тельферная эстакада, предназначенная для монтажа лоткового блока. Остальные блоки в проектное положение устанавливают гидравлическими механизмами. Управляют гидроцилиндрами всех механизмов укладчика с подмостей, расположенных на верхнем ярусе платформы.

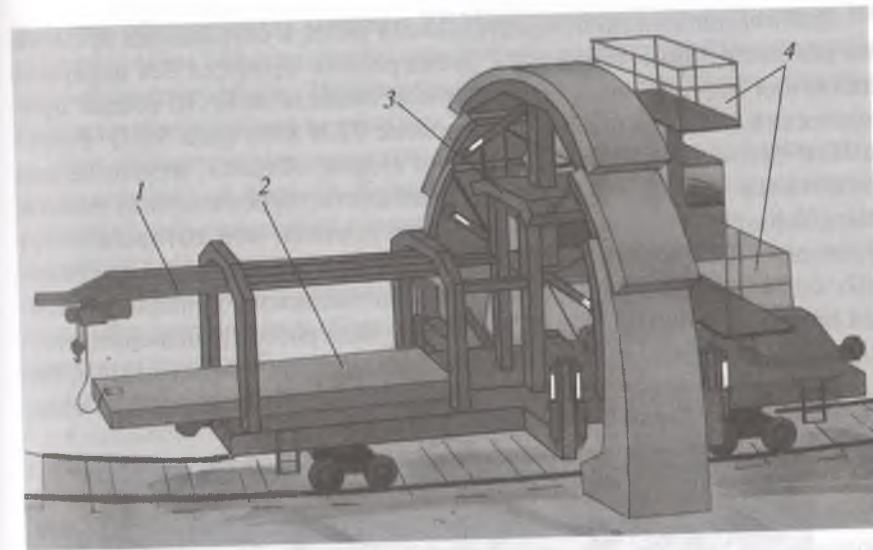


Рис. 9.26. Блокоукладчик:

1 — тельфер; 2 — лотковый блок; 3 — монтажная рама с лебедками и гидроцилиндрами; 4 — выдвижные монтажные площадки

В случае, если работы ведут в «окна», грунт и старая обделка после взрыва обрушаются непосредственно в лоток забоя. Для загрузки, аккумуляции и транспортировки взорванной массы из тоннеля предназначен входящий в состав комплекса перегружатель — установленные на открытую и бортовую платформы ленточный транспортер и экскаватор. В состав щитового комплекса включены также объемлющие технологические подмости в виде металлической порталной рамы, перемещающейся по временному рельсовому пути. Подмости предназначены для нагнетания цементно-песчаного раствора на обделку тоннеля, а также для заполнения стыков лотковой плиты со стеновыми блоками бетонной смесью и расчеканки продольных и кольцевых швов обделки.

Технические возможности щитового комплекса позволили более чем в два раза сократить сроки реконструкции тоннеля по сравнению с горным способом, практически не уменьшая пропускную способность Сахалинской дороги, существенно повысить уровень механизации горнопроходческих работ, снизить их трудоемкость при соблюдении необходимых требований техники безопасности.

на реконструкцию тоннелей с расширением профиля без перерыва движения поездов германской фирмой *Deutsche Bahn AG* создан проходческий механизированный комплекс *TEM 8400* (рис. 9.27). Разрушение бетона или каменной кладки старой обделки, механическая разработка грунта или, при необходимости, буровзрывные работы выполняют под защитой самоходного портала, под которым могут проходить поезда. На портале расположены один верхний и два боковых манипулятора. Верхний оборудован сменными исполнительными органами, которые в зависимости от вида работ трансформируются: верхний манипулятор — в бурильный молоток или бетонолом, боковые — в отбойные молотки или в погрузчик экскаваторного типа.

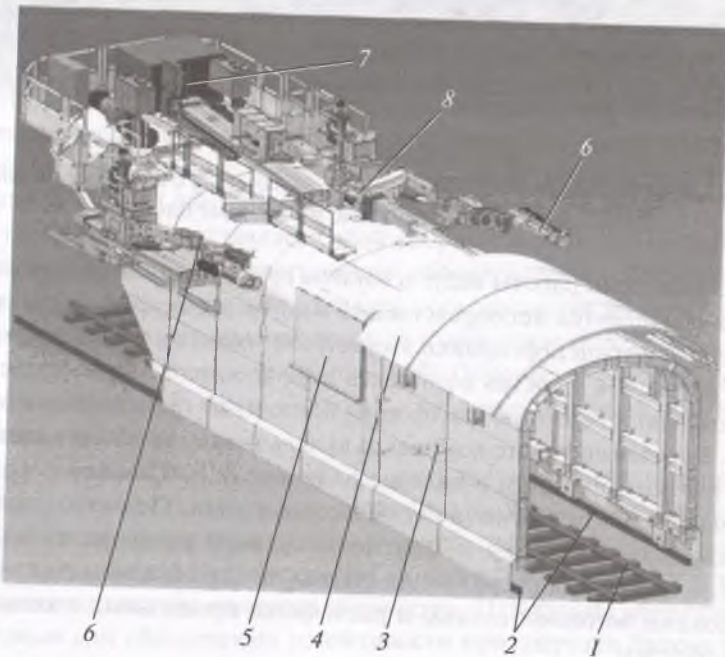


Рис. 9.27. Проходческий механизированный комплекс *TEM 8400* для расширения профиля тоннеля:

- 1 — действующий путь; 2 — рабочий путь комплекса; 3 — защитный портал; 4 — выдвигаемые поддерживающие устройства; 5 — выдвигаемые рабочие подмости; 6 — манипуляторы с породоразрушающим оборудованием; 7 — энергетический узел; 8 — манипулятор с породопогрузочным оборудованием

гаоочее оборудование машины 1 см выдвигается и размещается на портале таким образом, чтобы обеспечить доступ к любым участкам тоннельного профиля. Центральный силовой узел в хвосте машины снабжает энергией все ее агрегаты.

Для реконструкции тоннелей с симметричным расширением профиля германской фирмой *Herrenknecht* разработан механизированный комплекс, объединенный в один самоходный агрегат (рис. 9.28). Он выполняет все операции рабочего цикла, начиная с разрушения старой обделки и заканчивая возведением новой, без перерыва движения поездов. Все механизмы и оборудование комплекса смонтированы на самоходном портале 2.

Производственный цикл включает следующие операции:

- подкрепление обделки существующего тоннеля 7 распорным устройством 6;
- разработка бетона существующей обделки и доработка профиля до проектного очертания двумя каретками, оснащенными породоразрушающим органом фрезерного типа 5 с погрузкой грунта породопогрузочными машинами 9 на боковые транспортеры 10;
- передвижка арочной крепи 4 гидравлическими цилиндрами, закрепленными на металлической оболочке;
- монтаж новой сборной обделки из железобетонных блоков повышенной водонепроницаемости 1 вакуумным блокоукладчиком 3.

На рис. 9.29 представлен проект *AG* фирмы *Herrenknecht* — механизированный комплекс «Sabine». Он предназначен для обеспечения пожаробезопасности в транспортных тоннелях путем нанесения на внутреннюю поверхность обделки покрытия из огнеупорных материалов. Комплекс может быть использован также для усиления обделки железобетонной рубашкой или возведения набрызгбетонной обделки в эксплуатируемых безобделочных тоннелях.

Весь комплекс состоит из трех автономно работающих агрегатов длиной 10 м каждый. Первый агрегат предназначен для очистки поверхности обделки и удаления деструктивного слоя бетона на толщину до 200 мм (рис. 9.29, а). Он оснащен гидросистемой, которая подает воду к соплу, образующему мощную струю воды под огромным давлением (140 МПа). Защищенное кожухом сопло закреплено на манипуляторе, который передвигается по направляющим, закрепленным на самоходном портале. Разрушенные струей воды обломки бетона падают на защитный козырек и скатываются на боковые транспортеры, которые сбрасыва-

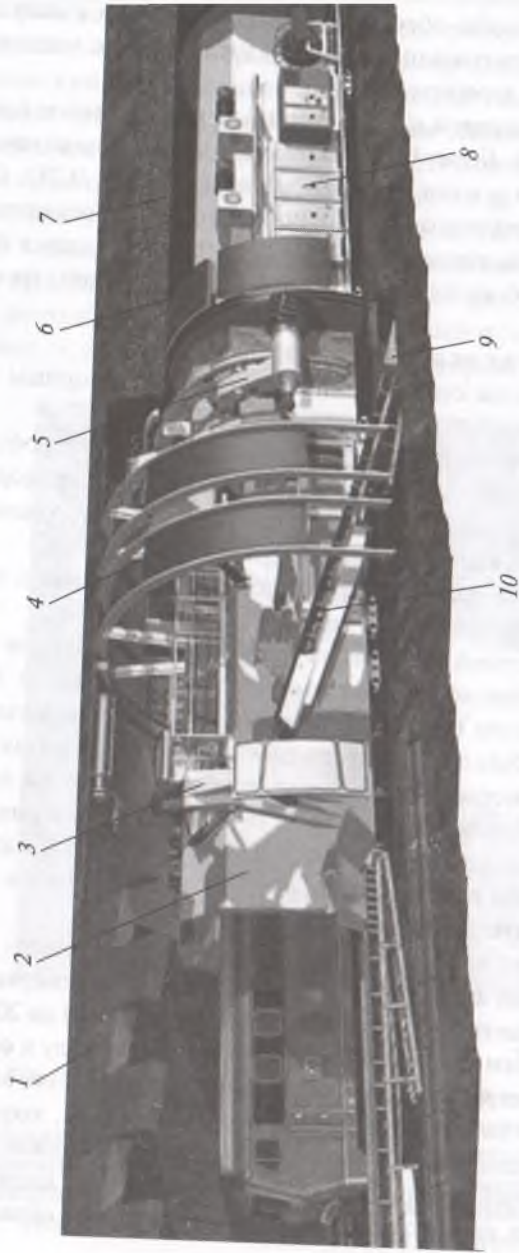
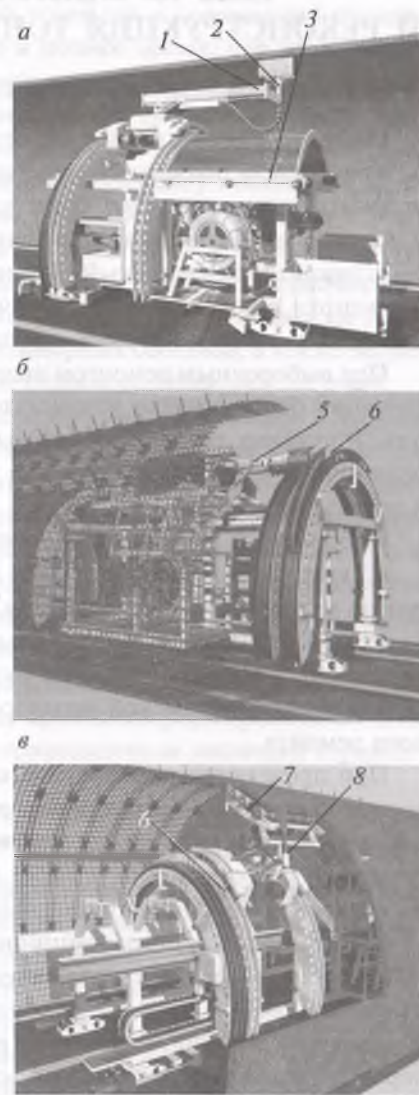


Рис. 9.28. Механизированный комплекс фирмы Heinrich для переустройства тоннелей:
 1 — новая обделка тоннеля из железобетонных блоков; 2 — самоходный ограждающий портал; 3 — вакуумный блок укладчик; 4 — временная механизированная крель; 5 — породоразрушающий механизм; 6 — выдвижные поддерживающие устройства; 7 — обделка существующего тоннеля; 8 — энергетический узел; 9 — породопогрузочная машина; 10 — транспортер

ют их в приемные бункеры. На следующем агрегате расположены арматурные сетки, которые устанавливаются в проектное положение и закрепляются на обделке анкерами (рис. 9.29). Все операции этого рабочего цикла механизированы и выполняются устройством, которое движется по направляющим аркам, установленным в торцах самоходного портала.

После того как арматурная сетка будет установлена по всей длине тоннеля или аварийного участка, на нее наносится набрызгбетон. Работа производится с помощью третьего агрегата, который оснащен оборудованием для нанесения набрызгбетона и специальным устройством в виде стальной ленты, вращающейся на роликах. Это устройство выравнивает толщину набрызгбетонного покрытия строго по проектному очертанию. В случае усиления обделки набрызгбетоном, армированным стальными фибрами, применение арматурных сеток исключается, что сокращает сроки выполнения ремонтных работ.

Рис. 9.29. Механизированный комплекс фирмы Heinrich для ремонта тоннельных обделок:
 а — секция для снятия нарушенного слоя обделки; б — секция для установки металлической сетки и анкеров; в — секция для нанесения набрызгбетонного покрытия; 1 — манипулятор; 2 — сопло с защитным коробом; 3 — боковые транспортеры; 4 — бункеры-накопители; 5 — механизм для установки металлической сетки и устройства анкеров; 6 — направляющие дуги; 7 — выравнивающее устройство; 8 — сопло набрызгбетонмашины



Глава 10. КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

10.1. Капитальный ремонт подземных объектов метрополитена

На метрополитене из-за его протяженности и разветвленности линий, большого числа подземных сооружений, выполняющих различные функции в различных инженерно-геологических условиях и отличающихся условиями эксплуатации, проводят выборочный капитальный ремонт. Комплексный капитальный ремонт какого-либо сооружения в целом проводится в исключительных случаях, так как предполагает выключение объекта из эксплуатации, как правило, на длительный период.

Под выборочным ремонтом подразумевается ремонт отдельных конструкций основных или вспомогательных сооружений или оборудования. Например, ремонтные работы ведут на участке перегонного тоннеля или станции, в эскалаторном тоннеле, в вентиляционных стволах и других местах.

Выборочный капитальный ремонт производится в случаях:

- когда комплексный ремонт может вызвать серьезные помехи в работе метрополитена в целом или отдельного его участка;
- при большом износе отдельных конструкций, угрожающем сохранности остальных частей сооружения, оборудования;
- при экономической нецелесообразности проведения комплексного ремонта.

При проведении выборочного капитального ремонта необходимо в первую очередь предусматривать ремонт техконструкций, от которых зависит нормальный ход технологического процесса эксплуатации сооружений метрополитена, а также конструкций, от исправности которых зависит сохранность остальных частей.

Капитальный ремонт станционных комплексов включают замену покрытий и деталей облицовки стен и пола станции, ремонт или замену водозащитных зонтов и декоративных элементов архитектурного оформления станции, перекладку внутростанционных коммуникаций, переустройство внутростанционных помещений и многое другое. Для

защитных зонтов, устранение течей в стыках сборных обделок.

К работам по капитальному ремонту перегонных тоннелей, кроме перечисленных в главе 8, относятся работы по замене полушпал, ремонт водопроводных и канализационных сетей.

Капитальный ремонт перегонных тоннелей и сооружений станционного комплекса проводят только в ночное время, что увеличивает продолжительность работ. Кроме того, ремонт станционных комплексов в зонах, где возможен доступ пассажиров, требует устройства специального ограждения зоны производства работ.

Основными работами по капитальному ремонту вентиляционных шахт являются восстановление водонепроницаемости обделки, ремонт и усиление обделки, восстановление внутренних конструкций. Восстановление водонепроницаемости обделки осуществляется расчисткой чеканочных канавок и чеканкой швов ремонтными составами на основе расширяющегося цемента или полимерных составов, а также нагнетанием за обделку уплотнительных и гидроизоляционных составов.

Для усиления обделки и ремонта разрушенных тюбингов в необходимых случаях (иногда по всей длине ствола) устраивают железобетонную обойму. Восстановление внутренних конструкций в настоящее время проводится с заменой металлических деталей на элементы из композитных материалов, что позволяет существенно увеличить их срок службы. Капитальный ремонт вентиляционных стволов в большинстве случаев осуществляется с подачей материалов и доступом рабочих и техники с поверхности земли, что позволяет вести работы в дневное время. При проявлении признаков аварийных ситуаций организации, осуществляющие мониторинг, должны срочно информировать об этом службу тоннельных сооружений метрополитена и заказчика строящегося объекта.

10.2. Реконструкция подземных сооружений метрополитена

Основной причиной реконструкции объектов метрополитена является изменение условий их эксплуатации, вызванное увеличением пассажиропотоков и пассажирооборотов вследствие развития селитебных территорий города, его инфраструктуры и необходимостью координации метрополитена с другими видами городского транспорта. Наиболее сложной задачей является реконструкция подземных сооружений метрополитена глубокого заложения.

Возрастание пассажиропотока на линии и пассажирооборота на станции обуславливает необходимость увеличения ее пропускной способности. Эта проблема решается путем различных технических разработок, к числу которых относятся:

- создание дополнительного выхода на поверхность с действующей станции;
- удлинение среднего зала станции;
- удлинение путевых тоннелей станции;
- раскрытие дополнительных проемов в глухих участках пилонной станции.

Развитие сети метрополитена требует также устройства пересадочных станций в местах пересечения действующих линий с вновь сооружаемыми, а в некоторых случаях и строительства станции на действующей линии. С целью дополнительного путевого развития линии (например, устройства камеры съезда в перегонном тоннеле) появляется необходимость увеличения профиля тоннеля.

Все перечисленные выше виды работ должны выполняться по технологиям, позволяющим минимизировать их негативное влияние на функционирование метрополитена в городе.

Создание дополнительного выхода на поверхность с действующей станции является одним из наиболее распространенных видов работ по увеличению пропускной способности станционного комплекса. В большинстве случаев при строительстве станций глубокого заложения в одном из торцов предусматривается возможность примыкания второго входа на станцию. Можно соорудить наклонный тоннель и расположить в нем не менее трех лент эскалаторов или выполнить проходку стволов шахт, оборудованных двумя или тремя лифтовыми подъемниками.

Эскалаторный тоннель может быть устроен различными методами в зависимости от инженерно-геологических условий расположения этого сооружения. Особенность сооружения наклонного хода в том, что он в большинстве случаев прорезает толщу слабых водонасыщенных пород, расположен вблизи крупных зданий на поверхности земли, а на глубине рядом с ним находятся тоннели действующего метрополитена. В таких случаях наклонный ход обычно проходят с применением предварительного закрепления слабых грунтов и различных приемов водоподавления. При наличии над кровлей выработок подземных коммуникаций необходимо создавать условия, исключающие нарушение их нормальной эксплуатации без перекладки и их повреждения при вы-

полнении подготовительных работ. Для этого применяют зональное замораживание или контурную опережающую крепь. В остальном проходка эскалаторных тоннелей к действующей станции производится аналогично сооружению эскалаторного тоннеля на строящемся метрополитене.

Другим вариантом устройства второго входа на станцию может быть вход в виде лифтовых подъемников. Число кабин лифтов, диаметр ствола и параметры подземного лифтового аванзала подбирают в зависимости от расчетного увеличения пассажирооборота станции. Для замены трехленточного эскалаторного подъема с высотой подъема 50...60 м достаточно четырех лифтовых кабин с площадью пола 8 м² и вместимостью 50 человек каждая. Кабины могут быть размещены в двух стандартных стволах диаметром 6 м или одном диаметром 8,5 м.

При расположении нижнего подземного лифтового аванзала в междупутьи станционных тоннелей пол его устраивают на уровне платформы станции, а при расположении этого аванзала в стороне от станции уровень его пола принимают на высоте переходных мостиков через пути метрополитена. Подземный лифтовый аванзал размещается в возводимой горным способом камере, имеющей обычно монолитную бетонную обделку. Стволы шахт сопрягают со сводчатой частью камеры. Проходка стволов шахт лифтового подъема не имеет особых отличий от проходки шахт иного назначения, сооружаемых при строительстве линий метрополитена. Наибольшую трудоемкость представляют горнопроходческие работы по созданию нижнего лифтового аванзала, имеющие значительные размеры.

Удлинение среднего зала станции пилонного типа обусловлено тем, что эти станции в большинстве случаев были построены со средним залом минимальной длины и пятью парами проходов в путевые тоннели. С увеличением пассажирооборота станции возникает необходимость в устройстве дополнительных проходов на платформу, расположенную в глухих участках путевых тоннелей станции. Удлинение среднего зала станции пилонного типа необходимо и в том случае, когда станция на действующей линии включается в состав пересадочного узла на вновь строящуюся линию.

Работы выполняют без перерыва движения поездов. Метод производства работ по удлинению среднего зала станции выбирают в зависимости от инженерно-геологических условий. При удлинении среднего тоннеля станции, залегающей в неустойчивых слабых грунтах, проход-

ку тоннеля с обделкой из тюбингов ведут методом пилот-тоннеля (рис. 10.1, а). После проходки пилот-тоннеля, расположенного обычно по оси среднего тоннеля, расширяют тоннель на полный профиль. В такой последовательности возводят средний тоннель станции на всю длину. При этом в обделке среднего станционного тоннеля устанавливают рамы проемов с тюбингами временного заполнения.

В устойчивых необводненных грунтах возможна проходка среднего станционного тоннеля способом сплошного забоя (рис. 10.1, б). При этом лоб забоя крепят в несколько ярусов досками с распором в телескопические расстрелы. Для снижения материалоемкости крепи и трудоемкости работ может быть рассмотрен вариант опережающего крепления лба забоя системой горизонтальных скважин, заполненных цементно-песчаным раствором. Порода и материалы транспортируют либо через ранее пройденный ствол шахты, либо через вновь сооружаемый эскалаторный тоннель.

Удлинение путевых тоннелей станции связано с удлинением пассажирской платформы для пропуска поездов с большим количеством вагонов. Удлинение платформы вызывает необходимость удлинения путевых тоннелей станции. При реконструкции станции пилонного типа путевые тоннели удлиняют без перерыва движения поездов. Эти работы связаны с расширением профиля и заменой на этом участке станции обделки перегонного тоннеля на обделку станционного (рис. 10.2).

Удлинение путевых тоннелей начинают с устройства ограждения части пассажирских платформ и рабочего места в торце станции, а также подкрепления с внутренней стороны специальными кружальными кольцами обделки перегонного тоннеля. Проведение качественного подкрепления особенно важно, если обделка перегонного тоннеля состоит из железобетонных тюбингов или блоков. Затем устраивают штольни, в которых бетонируют опоры свода путевого тоннеля 1 (см. рис. 10.2). После этого разрабатывают свод путевого тоннеля на длину одного тюбинга и дуговым блокоукладчиком 2 монтируют обделку путевого тоннеля станции 3. После сооружения обделки путевого тоннеля разбирают обделку перегонного тоннеля 4. Доступ рабочих обеспечивается по передвижным подмостям 5, доставка тюбингов осуществляется тюбинговозкой 6. Удаляют породу и подают тюбинги и другие материалы во время ночного перерыва движения поездов метрополитена с помощью грузовых платформ. В случае, если планируется удлинение среднего зала станции и создание допол-

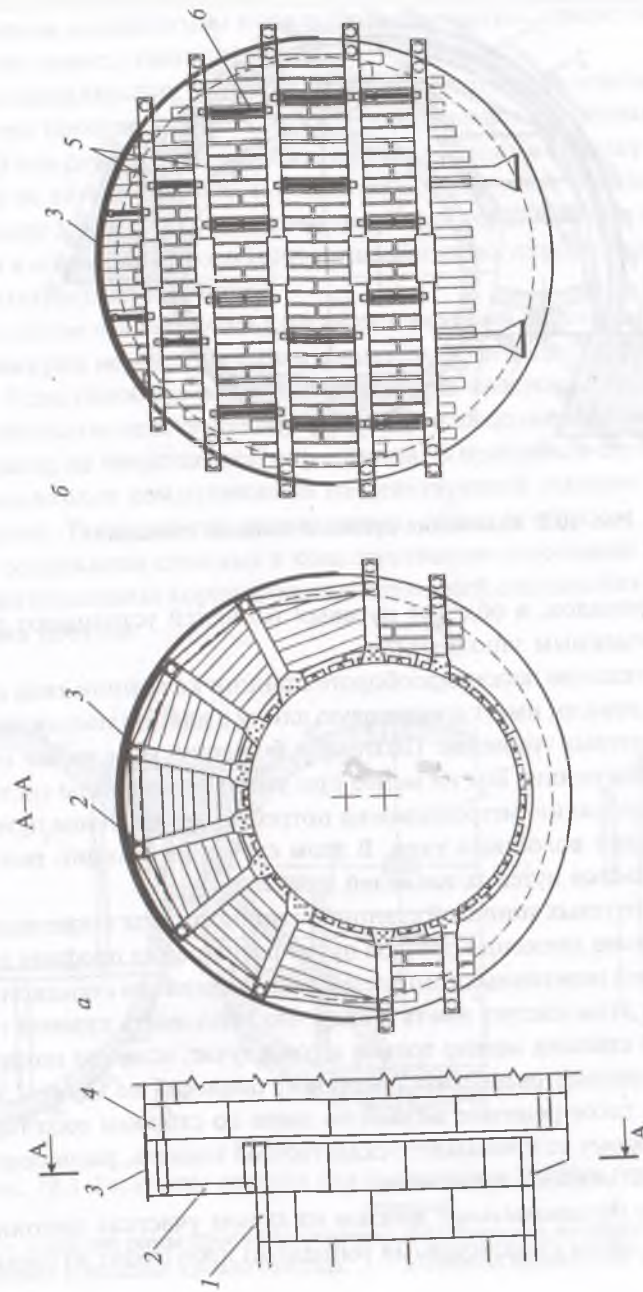


Рис. 10.1. Схема проходки среднего станционного тоннеля пилонной станции:
а — способом пилот-тоннеля; б — способом сплошного забоя; 1 — обделка пилот-тоннеля; 2 — стойки крепления лба забоя; 3 — крепь кровли; 4 — обделка станционного тоннеля; 5 — телескопические расстрелы; 6 — домкратные стойки

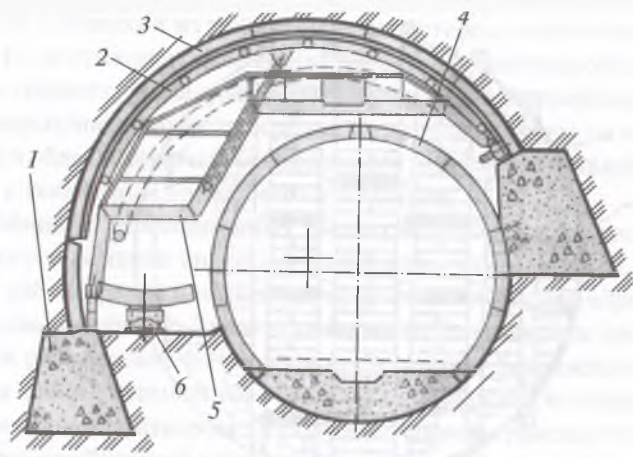


Рис. 10.2. Удлинение путевого тоннеля станции

нительных проходов, в обделке путевых тоннелей устраивают рамы проемов с временным заполнением.

При значительном пассажирообороте станции колонного типа средний зал, как правило, имеет одинаковую длину с длиной пассажирских платформ в путевых тоннелях. Поэтому в большинстве случаев он не нуждается в удлинении. Тем не менее при увеличении длины составов обслуживающих линию метрополитена потребуются удлинение путевых тоннелей станции колонного типа. В этом случае на станции появляются глухие участки путевых тоннелей.

Удлинение путевых тоннелей станций колонного типа также выполняют без перерыва движения поездов путем расширения профиля примыкающих к ней перегонных тоннелей и закрепления его станционной обделкой. При этом следует иметь в виду, что продлевать путевой тоннель колонной станции можно только в том случае, если его поперечное сечение позволяет разместить платформу шириной не менее 2,9 м. Очевидно, что такое решение возможно лишь со стороны того торца станции, к которому не примыкает эскалаторный тоннель, расположенный между перегонными тоннелями.

Устройство дополнительных проемов на глухих участках пилонной станции между двумя станционными тоннелями производят из средне-

го тоннеля в шахматном порядке по технологии, принятой при строительстве новых станций (рис. 10.3).

На пассажирских платформах боковых тоннелей действующей станции при проведении этих работ устанавливают специальное ограждение. В том случае, если при сооружении станции в обделку путевых тоннелей на глухих участках не были включены рамы проема, устройство проходов значительно усложняется. Тогда перед началом проходческих работ в обделке путевого тоннеля необходимо устроить рамы проема из монолитного железобетона.

Создание пересадочного узла на действующей линии дает возможность пассажирам перейти на вновь возведенную станцию другого направления. Если подобное переустройство было предусмотрено заранее (при строительстве действующей станции), то выполнение таких работ даже поэтапно не представляет затруднений. В противном случае устройство пересадочных коммуникаций на действующей станции вести гораздо сложнее. Такие работы усложняются, главным образом, необходимостью сооружения сложных в конструктивном отношении камер примыкания подходов коридоров к действующей станции без перерыва движения поездов.

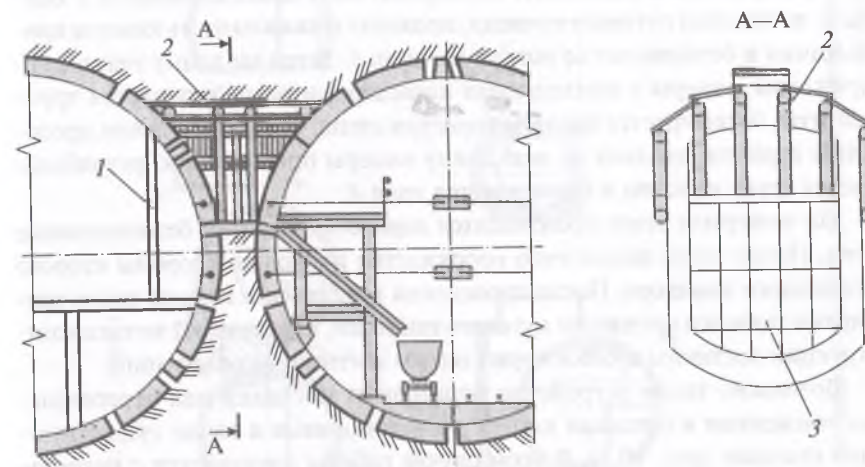


Рис. 10.3. Раскрытие проемов между средним и путевым тоннелем пилонной станции:

1 — усиление рамы проема со стороны действующего путевого тоннеля; 2 — временное крепление кровли прохода; 3 — элементы временного заполнения проема

ного коридора, примыкающего к пилонной станции над путями метрополитена. При этом устраиваются проемы между средним залом и боковыми платформами станции, лестницы и переходные мостики к переходному коридору. Эти переходные мостики (два или более), монтируемые на высоте 3...3,2 м над уровнем пола платформы, через монолитный раструб с двумя или тремя галереями соединяются с аванзалом, расположенным вблизи бокового станционного тоннеля. К нему примыкает коридор, ведущий к другой станции этого пересадочного узла. Порядок производства этих работ представлен на рис. 10.4.

Первый этап включает работы по устройству проемов в станционных тоннелях 1 и начинается с ограждения зоны производства работ со стороны пассажирской платформы и со стороны среднего зала. После этого демонтируют облицовку станции и контролируют качество сооружения пилонов 2 на этом участке, осуществленного при строительстве станции. При необходимости в тело пилонов нагнетают раствор. Затем выполняются работы по усилению пилонов и рам проемов 3. В путевом тоннеле сооружают металлоконструкцию с настилом, представляющую собой часть конструкции лестницы 5.

Работы второго этапа ведут со стороны подходов коридоров 3. Вначале, до обделки путевого тоннеля, проходят нижнюю часть камеры примыкания и бетонируют ее лотковую часть 6. Затем на длину участка сопряжения камеры с подходными коридорами разрабатывается грунт калотты, бетонируется свод 7 и торцевая стена. На третьем этапе проходится верхняя штольня на всю длину камеры примыкания, разрабатывается грунт калотты и бетонируется свод 8.

На четвертом этапе производится доработка грунта и бетонирование стен. После этого аналогично сооружается проход со стороны второго подходного коридора. После проведения всех работ в ночное время разбирают тубинги среднего и путевого тоннелей, наращивают металлоконструкции лестницы и бетонируют опоры лестниц 9 (пятый этап).

Возможно также устройство переходных мостиков над перегонными тоннелями в пределах камер, расположенных в торце существующей станции (рис. 10.5). В этом случае работы начинаются с нагнетания цементно-песчаного раствора за обделку перегонного тоннеля 2, расположенного со стороны переходного коридора 3. Таким образом, создается слой упрочненного грунта 4 вокруг обделки перегонного тоннеля, что уменьшает его деформации.

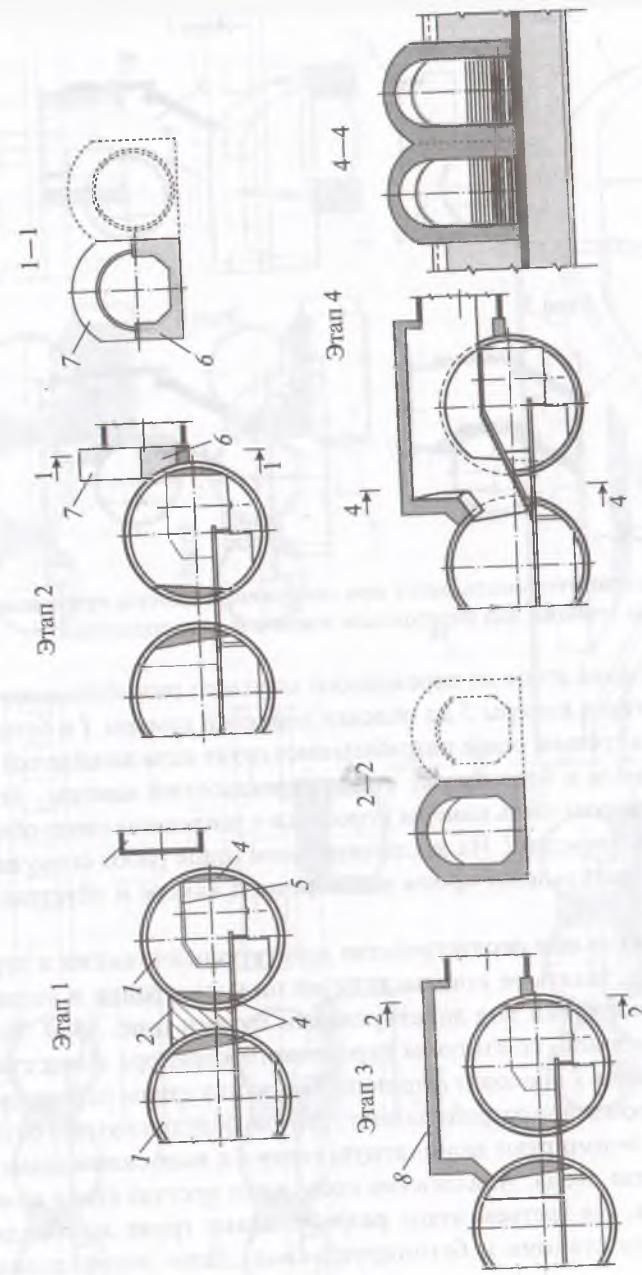


Рис. 10.4. Последовательность работ при сооружении камеры примыкания к пилонной станции над путями метрополитена

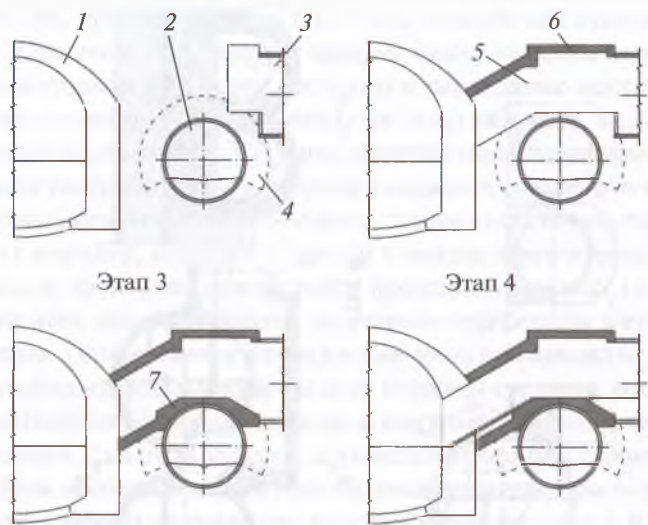


Рис. 10.5. Последовательность работ при сооружении камеры примыкания в торце станции над перегонным тоннелем метрополитена

Затем на втором этапе из переходного коридора разрабатывают каюту пересадочной камеры 5 до отделки торцевой камеры 1 и бетонируют свод 6. На третьем этапе разрабатывают грунт ядра до отделки перегонного тоннеля и бетонируют стены пересадочной камеры. Затем бетонируют нижнюю часть камеры пересадки с усилением свода отделки перегонного тоннеля 7. На заключительном этапе работ сооружают раму усиления, раскрывают проем в поперечной камере и устраивают лестницы.

Гораздо сложнее при переустройстве действующей станции в пересадочную осуществлять ее примыкание на нижнем уровне и устраивать специальные ходки под действующими путями (рис. 10.6). Вначале, на первом этапе, со стороны переходного коридора 2 под станционным тоннелем 1 проходят штольню 3 на длину стены переходной камеры. На втором этапе разрабатывают грунт до отделки путевого тоннеля станции и бетонируют монолитную стену 4 с выпусками арматуры для устройства свода. Аналогично сооружают вторую стену камеры примыкания. На третьем этапе разрабатывают грунт до отделки путевого тоннеля станции и бетонируют свод. Далее дорабатывают

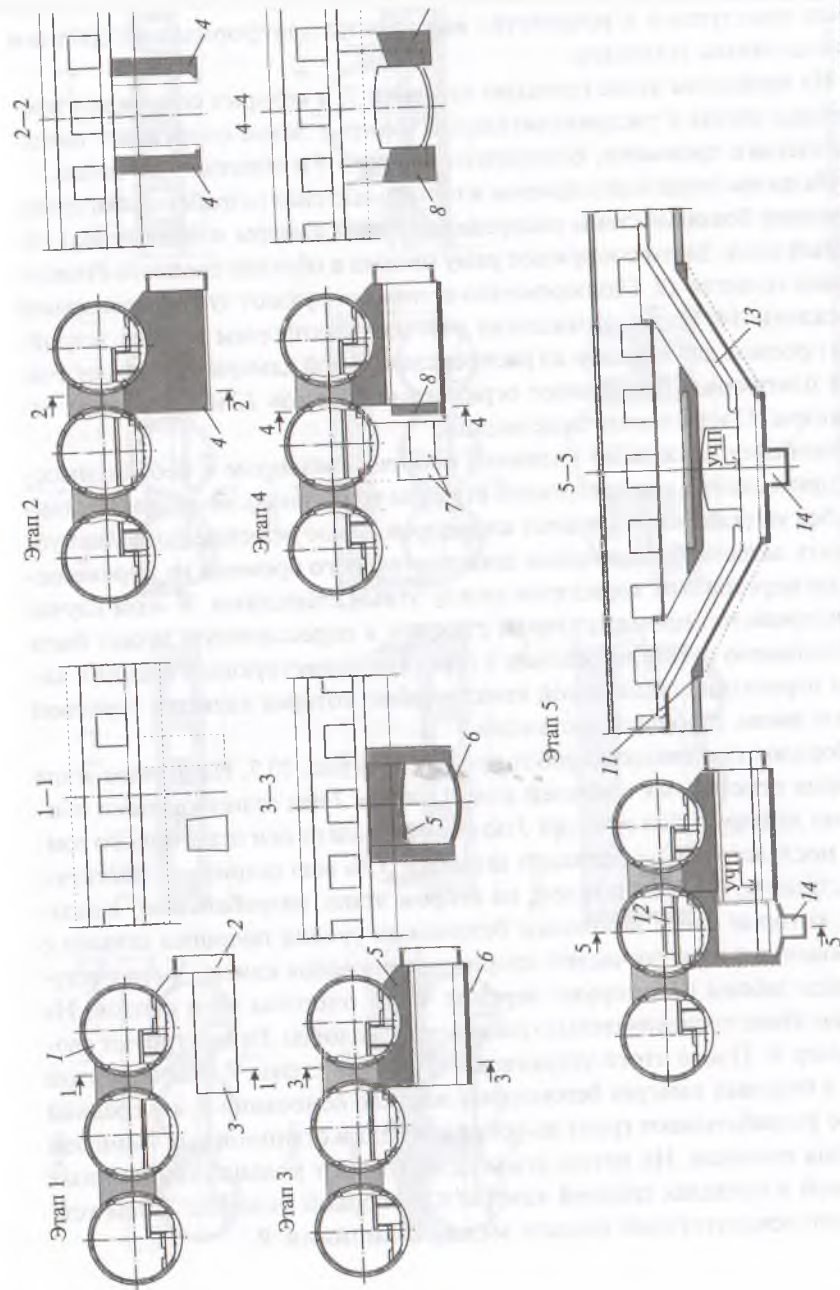


Рис. 10.6. Последовательность работ при сооружении камеры примыкания в нижнем уровне под путевым тоннелем станции

грунт в нижней части камеры и бетонируют обратный свод 6. После этого приступают к устройству выходов на платформы под средним станционным тоннелем.

На четвертом этапе проходят штольни 7, в которых сооружают продольные стены 8 распределительной камеры. Затем сооружают торцевые стены с проемами, бетонируют верхний 9 и обратный 10 своды.

На пятом этапе через проемы в торцевых стенах разрабатывают грунт, удлиняют боковые стены распределительной камеры и бетонируют обратный свод. Затем сооружают раму проема в обделке среднего станционного тоннеля 11. Одновременно с этим сооружают зумпф дренажной перекачки 14. После ограждения участков платформы в зонах устройства проемов для выходов из распределительной камеры разбирают участки платформы, устраивают ограждение проемов 12 и монтируют эскалаторы 13 или лестничные марши.

Наиболее сложными являются работы, связанные с необходимостью примыкания к действующей станции торца вновь возводимой станции без устройства подходных коридоров. Такое решение позволяет устранить затраты пассажирами дополнительного времени на перемещение по переходным коридорам между этими станциями. В этом случае переустройство промежуточной станции в пересадочную может быть осуществлено путем возведения в середине существующей станции камеры пересадки специальной конструкции, которая является торцевой частью вновь строящейся станции.

Порядок производства работ приведен на рис. 10.7. На первом этапе из торца перегонных тоннелей новой линии 2 над станционными тоннелями действующей станции 1 по обе стороны от оси перегонного тоннеля последовательно проходят штольни 3 на всю ширину существующей станции. Из этих штолен, на втором этапе, разрабатывают колодцы 4, которые затем заполняют бетоном до уровня подошвы штолен с образованием нижних частей опорных стен сводов камер. Затем отступающим забоем бетонируют верхние части опорных стен сводов. На третьем этапе последовательно раскрывают калотты 5 и монтируют своды камер 6. После этого устраивают торцевые стены 7. На четвертом этапе в боковых камерах бетонируют жесткое основание 8, а в средней камере разрабатывают грунт до уровня обделки станционных тоннелей и бетона пилонов. На пятом этапе демонтируют кольца станционных тоннелей в пределах средней камеры с разборкой пилонов. Затем устраивают эскалаторный подъем между станциями 9.

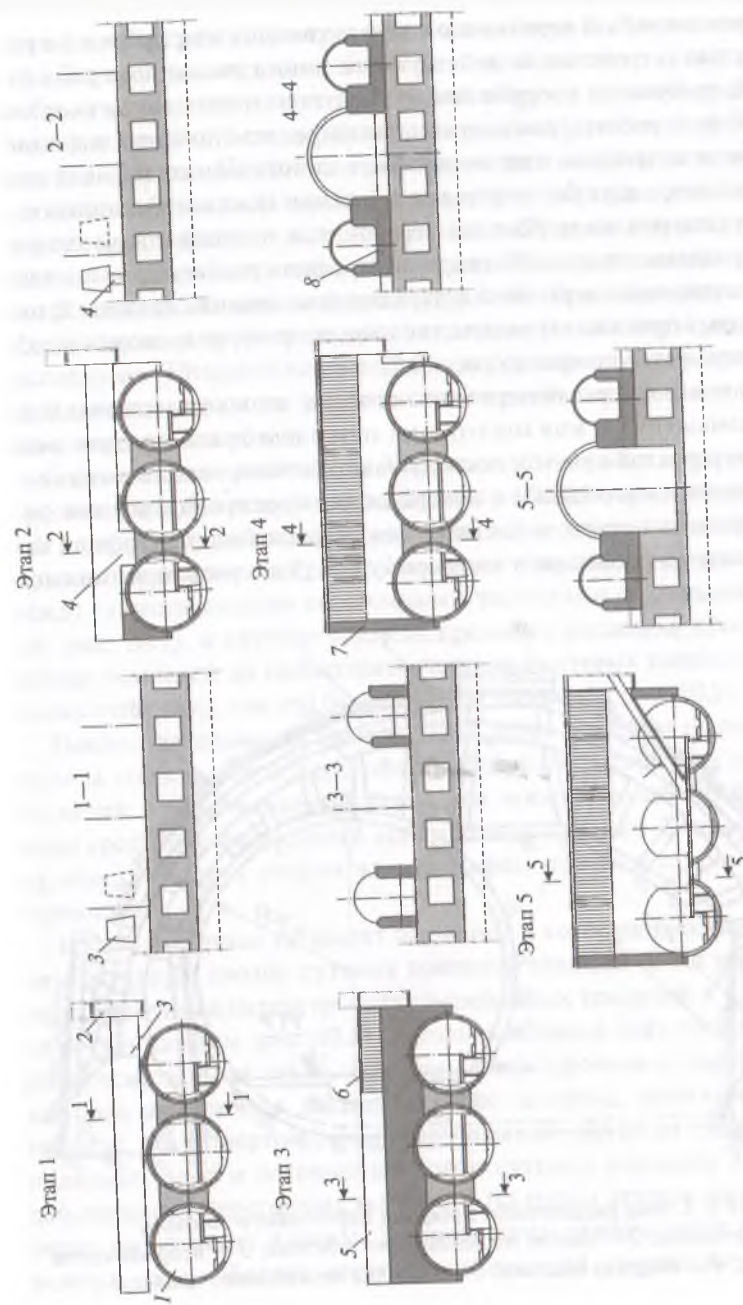


Рис. 10.7. Последовательность работ при сооружении камеры примыкания, являющейся торцевой частью строящейся станции

Расширение профиля перегонного тоннеля связано, как правило, с необходимостью устройства на действующей линии различного рода ответвлений, требующих сооружения на перегонах новых камер съездов. Во всех случаях работы, связанные с расширением профиля перегонного тоннеля метрополитена на профиль станционного тоннеля или камеры съездов, ведут без перерыва движения поездов и начинают с устройства подкрепления обделки перегонного тоннеля в виде специальных кружальных колец. Расширение профиля перегонного тоннеля начинают с проходки верхней 1 и двух боковых нижних штолен 2, подошву которых принимают на отметке низа опор вновь возводимой обделки увеличенного профиля (рис. 10.8).

Внутренние размеры поперечного сечения штольни назначают из условий размещения в них откаточных путей для транспортирования породы и материалов с учетом последующего бетонирования в них ленточных фундаментов обделки с анкерами для крепления опорных фасонных тубингов нового тоннеля. Затем разрабатывают профиль калотты. Калотту разрабатывают на ширину 2,5...3 м с учетом возможной

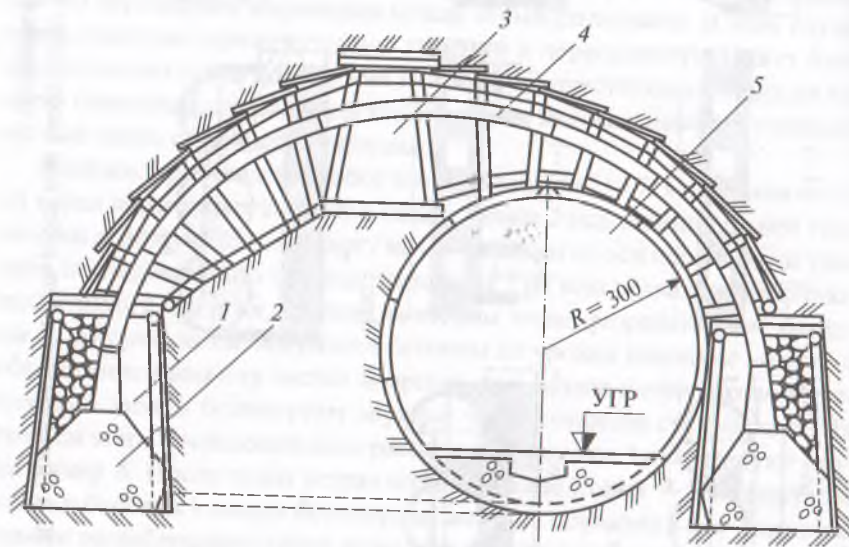


Рис. 10.8. Схема расширения профиля перегонного тоннеля:
1 — нижние штольни; 2 — опоры из монолитного бетона; 3 — веревная крепь калотты; 4 — сборная обделка; 5 — обделка перегонного тоннеля

сборки в ней первых двух-трех полуколец сборной обделки тоннеля. Внутреннее очертание калотты устанавливают с таким расчетом, чтобы между внешним контуром новой обделки и низом лонгарин оставался зазор 20...30 см, позволяющий устанавливать на них блоки при монтаже обделки. После окончания проходки калотты монтируют первые кольца обделки. Дальнейшую разработку породы производят с расширением профиля на одно полукольцо обделки и последующим ее монтажом. Разработку ядра выработки выполняют с одновременным раскреплением обнажаемой существующей обделки перегонного тоннеля во вновь сооружаемую обделку горизонтальными и радиальными распорками. Лотковую часть тоннеля сооружают путем разработки породы под действующим тоннелем отдельными заходками и последующим возведением обделки.

Строительство станции на действующей линии без перерыва движения поездов и без устройства временного обхода осуществляют по особой конструктивной схеме самой станции и определенной последовательности производства работ. Начинают с проходки среднего тоннеля между существующими перегонными тоннелями обычными методами (см. рис. 10.1), а путевые тоннели проходят, расширяя профиль перегонных тоннелей до проектного очертания путевых тоннелей станции, аналогично тому, как это было указано выше (см. рис. 10.2).

Последовательность производства работ показана на рис. 10.9. На первом этапе после подкрепления обделки действующих перегонных тоннелей 1 через шахтный ствол или эскалаторный тоннель сооружают средний станционный зал пилонной станции 2, включая в кольца обделки с двух сторон элементы рам проемов и временного заполнения.

На втором этапе проходят штольни, в которых бетонуют монолитные опоры сводов путевых тоннелей станции 3. На третьем этапе ведут работы по переустройству перегонных тоннелей в путевые тоннели станции (см. рис. 10.2). В кольца обделки этих тоннелей со стороны оси станции также включены рамы проемов с элементами временного заполнения, расположенные по схеме, принятой в среднем тоннеле. На четвертом этапе разрабатывают грунт до уровня низа монолитных опор и бетонуют лоток путевых тоннелей 4 до обделки действующих перегонных тоннелей. На пятом этапе в шахматном порядке раскрывают проемы. Завершающим этапом работ является демонтаж колец обделки перегонных тоннелей метрополитена, устрой-

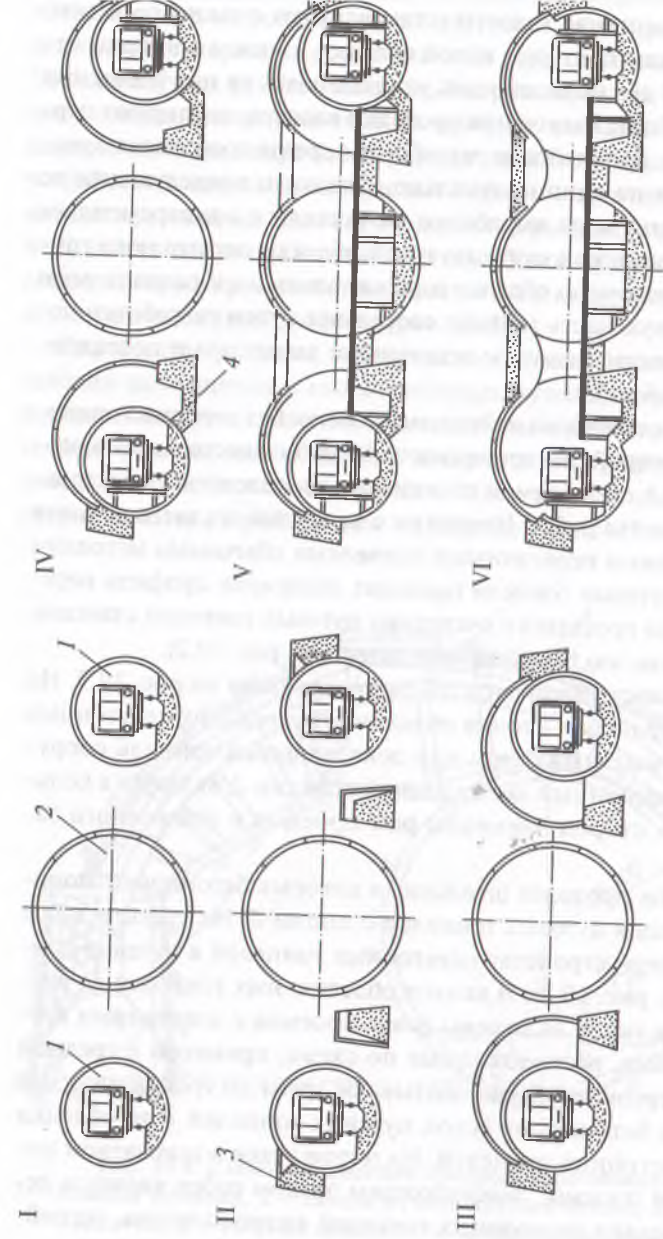


Рис. 10.9. Последовательность работ при сооружении станции на действующем перегоне

ство платформ, защитных зонтов и архитектурное оформление станции.

В некоторых случаях новую станцию целесообразно возвести рядом с действующими перегонными тоннелями и лишь по окончании ее сооружения переводить движение поездов на несколько смещенную трассу, на которой расположена новая станция. И наоборот, на период строительства станции движение поездов можно переводить на временные обходные тоннели и сооружать станцию на существующей трассе метрополитена, а затем возобновить движение по этой трассе. При этом следует иметь в виду, что такие решения требуют сооружения четырех групп камер съездов и перегонных тоннелей значительной длины.

изводится звуковой или световой сигнализацией, которая должна хорошо восприниматься на всех рабочих местах в тоннеле.

При проходе поезда все рабочие должны находиться в нишах, выходить из которых и приступать к работе после прохода поезда разрешается только по сигналу бригадира или мастера. В двухпутном железнодорожном тоннеле при закрытом одном пути при проходе поезда разрешается стоять в один ряд у стены за недействующим путем. Запрещается загромождать ниши, предназначенные для укрытия, и подходы к ним материалами и другими предметами. У входов в ниши установленные кружала не должны затруднять проход. Хранить материалы и инструменты, складировать отходы следует в специально отведенных местах, установленных проектом производства работ и обозначенных надписями.

Открытие перегона производится лишь после получения письменного уведомления, телеграммы или телефонограммы начальника дистанции пути или работника, им уполномоченного, об окончании ремонтных работ в тоннеле и отсутствии препятствий для бесперебойного и безопасного движения поездов независимо от того, какая организация выполняла работы. Перед выдачей письменного уведомления об открытии перегона руководитель работ обязан проверить габаритность внутреннего очертания установленных в тоннеле кружал инструментальной съемкой или при помощи габаритной рамы, уборку всех материалов и инструмента в пределах действующих габаритов, надежность и прочность закрепления обнаженного грунтового массива, предохранение пути или проезжей части от возможных вывалов грунта. Сменный мастер и бригадир при передаче смены должны отразить запись в горном журнале сведения о состоянии крепи, проявлениях горного давления, притоках воды, наличии отказов при взрывных работах и др.

Общие требования безопасности при производстве работ. При работе на высоте более 1,5 м в местах, где невозможно устройство ограждений (разборка обделки, доработка профиля, установка кружал или арматуры и др.), рабочие должны пользоваться предохранительными поясами, закрепленными за надежные опоры, указанные лицом технического надзора. При выполнении работ в два или более ярусов (на лобовых и боковых откосах припортальной выемки, в подземных выработках тоннелей) порядок выполнения работ, согласованный с исполнителями и утвержденный главным инженером генподрядной организации, вводится приказом по этой организации. При наличии технологичес-

ких перерывов в работе или во время отдыха находиться в опасных зонах запрещается.

Для оповещения работающих о приближении поезда на порталах в течение всего периода работ должны дежурить сигналисты, прошедшие обучение в установленном порядке. Оповещение о подходе поезда производится звуковой или световой сигнализацией, которая должна хорошо восприниматься на всех рабочих местах в тоннеле. При проходе поезда все рабочие должны находиться в нишах. Выходить из ниш и приступать к работе после прохода поезда разрешается только по сигналу бригадира или мастера. В двухпутном тоннеле при закрытом одном пути при проходе поезда разрешается стоять в один ряд у стены за не действующим путем.

Особенности ведения буровзрывных работ. При производстве буровзрывных работ (БВР) в эксплуатируемых тоннелях несоблюдение требований нормативных и руководящих документов по их ведению могут привести к аварийным последствиям и разрушениям конструкций. Для каждого объекта, где предстоят буровзрывные работы, строительная организация разрабатывает инструкцию по обеспечению безопасности, согласованную с органами Ростехнадзора, с указанием порядка производства работ, расхода взрывчатого вещества (ВВ), числа и величины заряда каждого шпура, конкретных мер по обеспечению безопасности и ответственного лица за выполнение инструкции.

Паспорта БВР при проходке подземных выработок и расчеты на взрывание отдельных элементов обделки и грунта в непосредственной близости от нее составляет и согласовывает с органами Ростехнадзора строительная организация. Взрывание грунта и дефектных частей обделки производят методом шпуровых зарядов с использованием ВВ и СВ, допускаемых к применению в подземных выработках, не опасных по газу и пыли. При опасности появления взрывоопасного газа (метана) порядок производства взрывных работ и типы ВВ и СВ устанавливают комиссией с участием представителей заказчика, строительной, проектной организаций и органов Ростехнадзора. При электрическом способе взрывания применяют электродетонаторы не менее трех степеней замедления. Производство взрывных работ осуществляют с учетом состояния обделки, интенсивности движения транспортных средств, расположения и размеров выработки.

Взрывные работы по перекладке элементов обделки, устройству и ремонту ниш и камер в тоннеле, проходке вспомогательных выработок

в непосредственной близости от обделки выполняют в «окна» в графике движения. До производства взрыва в опасной зоне тоннеля устанавливают кружала, поддерживающие обделку, и защищают деревянными брусками или бревнами проезжую часть. Предохраняют также от возможного повреждения все электрические, воздушные и другие коммуникации, а также эксплуатационные устройства тоннеля. Взрывные работы при перекладке стен обделки в случае расположения тоннеля в крепких грунтах и удовлетворительного состояния конструкций производят без установки поддерживающих кружал, при этом участок перекладки не должен превышать 2 м. При заложении тоннеля в плывунах взрывные работы недопустимы. Границы опасной зоны, отстоящие не ближе 100 м от места взрыва, охраняют постами проинструктированных рабочих.

В железнодорожных тоннелях на электрифицированных участках взрывные работы выполняют при снятом напряжении в контактном проводе по согласованному с дорогой графику. Во избежание преждевременных взрывов электродетонаторов под воздействием блуждающих токов, кроме общих требований безопасного ведения взрывных работ, необходимо обеспечить соответствие нормам технической эксплуатации электрических сопротивлений контактного провода и отсасывающих сетей, линий электропередачи, а также устройств электрических установок. Следует периодически измерять по графику, утвержденному главным инженером объекта, блуждающие токи для установления опасной зоны, отключать контактную сеть, силовые и осветительные электрические сети в пределах опасной зоны.

Во время производства взрывных работ локомотивы рабочих поездов или другие транспортные средства отводят за границу опасной зоны и надежно закрепляют от самопроизвольного движения. Взрывные работы в припортальной части тоннеля производят под прикрытием поддерживающих кружал, выступающих из портала на длину не менее 2 м. Опасную зону при взрывании портальной или других частей тоннельной обделки, выходящих на земную поверхность, устанавливают в соответствии с требованиями к взрывным работам, выполняемым на открытых горных разработках.

Допуск рабочих в забой после производства взрыва разрешает лицо технического надзора по истечении времени, указанного в паспорте БВР. При этом содержание газов, являющихся продуктами взрыва, не должно превышать ПДК в соответствии с требованиями санитарных норм и

правил. При перерывах в работе, а также при нарушении вентиляции забоев производитель работ обязан принять меры к восстановлению нормального проветривания выработок, убедиться при помощи приборов в отсутствии недопустимых концентраций вредных газов и только после этого давать разрешение на продолжение работ.

11.3. Обеспечение безопасности при капитальном ремонте и реконструкции подземных сооружений метрополитенов

Меры по обеспечению безопасности движения маршрутных поездов. В соответствии с ПТЭ метрополитенов РФ, ремонт сооружений и устройств метрополитена должен производиться при обеспечении безопасности движения и, как правило, без нарушения графика движения поездов. Ремонт ИССО, пути, контактного рельса, устройств СЦБ, связи, электроснабжения и других устройств на перегонах и станциях должен производиться, как правило, в ночное время после прекращения движения поездов и снятия напряжения с контактного рельса. Работы, не допускающие пропуск поездов, должны выполняться после закрытия для движения пути перегона, станции.

Перечень основных плановых работ на путях перегонов и станций, требующих закрытия этих путей для движения поездов, утверждает управление метрополитена. Порядок производства работ посторонними организациями в эксплуатируемых сооружениях метрополитена устанавливает инструкция, утвержденная управлением метрополитена. Порядок производства работ посторонними организациями на расстоянии до 10 м от сооружений метрополитена перечислен в совместном приказе по метрополитену и строительной организации.

Сроки начала и окончания ремонта: для работ с большим объемом в сложных условиях их производства — управлением метрополитена; для работ, требующих закрытия пути перегона, станции — руководителем работ по согласованию с поездным диспетчером; для работ, допускающих пропуск хозяйственных поездов, — руководителем работ. Руководитель работ, требующих закрытия пути перегона, станции, а также руководитель работ по устранению внезапно возникшей неисправности во время их производства обязаны поддерживать связь с поездным диспетчером.

Запрещается приступать к работе до ограждения сигналами препятствия или места производства работ, опасного для движения, снимать сигналы, ограждающие препятствие или место производства ра-

бот, до устранения препятствия, полного окончания работ, проверки состояния пути, контактного рельса и габарита. Всякое препятствие для движения (место, требующее остановки) на перегоне и станции, а также место производства работ, опасное для движения, требующее остановки или уменьшения скорости, должно ограждаться сигналами с обеих сторон независимо от того, ожидается поезд (состав) или нет. Порядок ограждения препятствий и мест производства работ устанавливается Инструкцией по сигнализации. Выходы на закрытый для движения главный путь ограждают со всех направлений переносными сигналами остановки, которые устанавливают в местах границ закрытого пути, указанных в приказе поездного диспетчера. В торцах пассажирских платформ эти сигналы устанавливает дежурный по станции или работник службы движения, имеющий право прохода на пути, а во всех других местах — руководитель работ. За правильность установки, показаний и исправность переносных сигналов отвечает установивший их работник.

На станционных путях запрещается производить работы, требующие ограждения сигналами остановки или уменьшения скорости, без согласия поездного диспетчера, дежурного по посту централизации, а на станциях без путевого развития — дежурного по станции и без предварительной записи руководителя работ в «Журнале осмотра». Ввод устройств в действие по окончании работ производится дежурным по посту централизации, а на станции без путевого развития — дежурным по станции на основании записи руководителя работ в «Журнале осмотра». При выполнении работ по устранению внезапно возникших неисправностей запись о начале или окончании работ может заменяться телефонограммой руководителя работ по тоннельной связи поездному диспетчеру и дежурному по посту централизации, регистрируемой в «Журнале осмотра», с последующей личной подписью руководителя работ.

Пути перегонов и станций закрывают для движения поездов в следующих случаях: в связи с производством работ повышенного объема и сложности, исключающих пропуск поездов до их окончания, когда временное прекращение работ для подготовки места их производства к безопасному проследованию составляет более 10 мин, когда временное прекращение работ в связи с пропуском поезда приводит к задержке их окончания в установленный срок. Полное или частичное прекращение движения поездов на линии в связи с производством работ допускается

по приказу начальника метрополитена и должно быть согласовано с Городским органом управления транспортом.

Закрытие и открытие путей перегонов и станций производится приказом поездного диспетчера. Закрытие и открытие парковых и прочих путей производится устными распоряжениями поездного диспетчера. Основанием для закрытия или открытия пути является письменная заявка перед началом работ или письменное уведомление после окончания руководящим работником службы пути и тоннельных сооружений не ниже мастера. Заявки или уведомления записывают в журнале осмотра путей одной из станций, ограничивающих закрываемый перегон. Если на закрытом пути предусмотрена работа одного или нескольких хозяйственных поездов, то в заявке указывают их номера, последовательность прибытия и отправления после окончания работ. В уведомлении на открытие путей указывается об окончании работ и отсутствии препятствий для движения поездов.

Запрещается приступать к работе до получения руководителем работ приказа поездного диспетчера о закрытии пути, снятии напряжения с контактного рельса и ограждения места работ сигналами остановки. Приказ поездного диспетчера о закрытии перегона записывается на примыкающих станциях в бланках приказа по установленной форме. Копия приказа выдается машинистам хозяйственных поездов. Она является основанием и дает право на занятие перегона. После окончания работ руководитель или назначенные им подчиненные обязаны осмотреть путь или другие устройства, где производятся работы, на всем протяжении участка работ обеспечить устранение препятствий движению и обеспечить требуемый габарит. Работы, не требующие закрытия перегона (участка), выполняют, как правило, в перерывах между движением хозяйственных поездов. Руководитель работ обязан обеспечить безопасный пропуск хозяйственных поездов. Заявка на выдачу предупреждений в этом случае не выдается. Руководитель работ обязан: иметь необходимый комплект сигналов для ограждения мест работ, обеспечить их исправность, своевременную установку и снятие, после окончания работ привести участок в состояние, обеспечивающее безопасность движения и возможность подачи напряжения на контактный рельс; обеспечить окончание работ в соответствии с заявкой ко времени, указанному в приказе поездного диспетчера.

Организация движения хозяйственных поездов. Порядок формирования и движения хозяйственных поездов устанавливается ПТЭ и Инструкцией по движению поездов и маневровой работе, порядок движения путевых тележек и других съёмных подвижных единиц — инструкцией, утверждаемой управлением метрополитена. Движение хозяйственных поездов по главным путям разрешается в ночное время после окончания движения электропоездов. Допускается выпуск хозяйственных поездов на главные пути до снятия напряжения с контактного рельса — за последним электропоездом. В этом случае машинист устно предупреждается мастером о наличии напряжения на контактном рельсе. Машинист обязан предупредить всех лиц, следующих с хозяйственным поездом.

После прибытия на место назначения машинист обязан убедиться в снятии напряжения с контактного рельса через дежурного по станции или поездного диспетчера. Движение хозяйственных поездов в неправильном направлении разрешается по приказу поездного диспетчера без закрытия пути перегона и допускается до снятия напряжения с контактного рельса после прохода последнего электропоезда. При формировании хозяйственного поезда локомотив прицепляют в голове или хвосте поезда. Как исключение допускается постановка локомотива в середине поезда. Общее число груженых или порожних платформ, прицепляемых к одному локомотиву, должно быть не более трех при движении по главному пути и не более пяти — по прочим путям вне зависимости от места постановки локомотива.

При формировании хозяйственного поезда наиболее тяжелые платформы прицепляют к локомотиву, а порожние или менее загруженные — первыми в голове или последними в хвосте поезда (далее от локомотива). Формирование хозяйственного поезда с постановкой двух локомотивов, прицепляемых в голове и хвосте поезда, производится в следующих случаях: при перевозке рельсовых плетей на рельсовых тележках; если общий прицепной вес превышает норму, установленную для одного локомотива; если крупногабаритный груз не обеспечивает нормальную видимость машинисту.

Хозяйственные поезда должны быть оснащены противопожарными средствами, набором инструментов и другим снаряжением по нормам, утвержденным управлением метрополитена. Запрещается выпуск на линию мотовозов и дрезин, имеющих хотя бы одну из неисправностей

тормозов, сцепных устройств, сигнальных приборов или радиосвязи, а также трещин в рамах, рессорах или буксовых узлах. Допускаемые скорости движения хозяйственных поездов устанавливаются приказом начальника метрополитена в зависимости от типа подвижного состава. Все хозяйственные поезда, находящиеся на линии в ночное время, должны прибыть к месту стоянки и освободить главные пути до второго предупредительного сигнала о подаче напряжения на контактный рельс. Поездной диспетчер обязан вести график исполненного движения хозяйственных поездов, а перед началом движения электропоездов проверить возвращение с линии к месту стоянки всех хозяйственных поездов после ночных работ.

Раздел III. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ

Глава 12. ПРИЧИНЫ И ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ

12.1. Причины разрушения тоннелей в процессе их эксплуатации

Аварии, вызванные разрушением тоннелей, представляют собой неконтролируемые ситуации, связанные с экономическими убытками, возможными материальными, временными и трудовыми затратами. В некоторых случаях они сопровождаются травмами и даже гибелью людей. Аварии в эксплуатируемых тоннелях во многом аналогичны тем, которые случаются в процессе строительства. Однако при строительстве транспортных тоннелей аварийные ситуации происходят в основном в призабойной зоне и лишь затрагивают участок готового тоннеля. В эксплуатируемых тоннелях авария может случиться в любом месте от въездного до выездного портала. При этом аварии в строящихся тоннелях происходят внезапно и неожиданно, а в эксплуатируемых в большинстве случаев (исключая землетрясения и террористические акты) являются следствием длительных процессов разрушения и деформирования элементов конструкций.

Транспортные тоннели — сооружения, рассчитанные на длительный срок эксплуатации (более 100—150 лет). В течение этого срока они должны отвечать требованиям эксплуатационной надежности, обеспечивая безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность. Однако в процессе длительной эксплуатации появляются повреждения, которые, как правило, являются следствием неудачного проектирования или некачественного строительства. Конструктивные ошибки, допущенные на ранних стадиях создания проекта, низкое качество работ приводят к возникновению цепочки последующих отказов технической системы. Так, после переустройства Лагар-Аульского тоннеля протяженностью 1278 м на Транссибирской магистрали с расширением профиля под двухпутное движение, заменой старой обделки на сбор-

ную железобетонную произошли смещения замковых блоков, сдвигка стеновых блоков в сторону грунтового массива и раскрытие стыков. Эти смещения были обусловлены рядом причин: сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, малой устойчивостью сборной обделки из мелких блоков, некачественным выполнением работ по нагнетанию раствора за обделку тоннеля, а также отсутствием опыта работы по реконструкции тоннелей щитовым способом без остановки движения поездов.

После десяти лет эксплуатации пятая часть протяженности этого тоннеля не соответствовала габариту С и этот участок создавал реальную угрозу безопасности движения поездов. Поэтому на участке деформированной обделки в междупутье были установлены металлические конструкции для усиления свода обделки. Принятые меры дали возможность эксплуатировать тоннель в течение 6—7 лет, пропуская поезда с ограничением скорости по «льготному» габариту Т. После того как был сооружен параллельно новый однопутный тоннель, двухпутный тоннель был переустроен под однопутное движение (см. п. 9.2.4).

Аварийная ситуация на участке «размыв» перегонных тоннелей метрополитена в Санкт-Петербурге привела к вынужденному затоплению тоннелей на длине около 400 м после 25 лет их эксплуатации. Потребовались значительные материальные и трудовые затраты, чтобы через несколько лет восстановить движение на линии по обходной трассе. К основной причине этой аварии можно отнести значительные деформации тоннеля при размораживании плавунного грунтового массива. Это привело к возникновению значительных продольных усилий и, как следствие, разуплотнению кольцевых швов в наружных кольцах многослойной обделки и к нарушению ее герметичности. Кроме того, обделка, составленная из наружных тубинговых колец, железобетонной обоймы и внутренней металлической мембраны, закрепленной анкерами в бетон обоймы, не в полной мере отвечала требованиям эксплуатационной надежности из-за очевидной неремонтпригодности этой многослойной сборно-монолитной конструкции. Был затруднен и контроль качества работ в процессе ее возведения.

В предыдущих главах отмечалось, что даже при эффективном проектном решении и хорошем качестве строительства тоннеля со временем возникают дефекты, вызванные резкими колебаниями температуры воздуха, агрессивными водами, обледенением, осадками основания.

При этом возможны опасные ситуации, связанные с явлениями старения материалов конструкций и изменением свойств окружающего тоннель грунтового массива, вызванным различного рода геотехническими процессами. Поэтому столь важны регулярный надзор за техническим состоянием тоннельных конструкций и обустройств, а также специальные обследования тоннельных сооружений, профессиональный анализ результатов обследования и адекватные мероприятия по предупреждению аварийной ситуации.

Таким образом, основными причинами разрушения тоннелей являются:

- неправильная оценка и недостаточный учет при проектировании и строительстве инженерно-геологических, гидрогеологических и других природных факторов или их негативного влияния в период эксплуатации;
- ошибки при выборе типов конструкций и определении их несущей способности;
- неправильный выбор способов, несоблюдение технологий и регламентов при строительстве или реконструкции тоннелей, низкое качество работ;
- нарушение режимов, норм и параметров, установленных технологическими правилами и регламентами;
- разрушающее агрессивное действие подземных вод, вызывающее изменение физико-механических характеристик грунтов;
- внезапное увеличение горного давления или изменение характера его проявления вследствие расположения тоннеля в зонах сбросов, сдвигов, оползней, карстовых образованиях, наличие в наклонных напластованиях грунтов плоскостей скольжения в виде прослоек или линз слабых водонасыщенных грунтов;
- воздействие сейсмических и других особых нагрузок;
- неудовлетворительное содержание и несвоевременное проведение специальных обследований.

Таким образом, аварии в тоннелях обусловлены комплексом причин, совокупность которых определяет характер и степень опасности аварийной ситуации. И все же еще раз отметим первостепенную роль в предотвращении аварийной ситуации профессионального уровня подготовки и согласованных действий всех тех, кто причастен к созданию, строительству и эксплуатации тоннельного пересечения.

12.2. Виды разрушения тоннелей

Характер проявления аварий при эксплуатации тоннелей определяется следующими факторами: длиной тоннеля, местом расположения (перевальный или мысовый тоннель), глубиной заложения, инженерно-геологическими условиями, размерами и формой его поперечного сечения, конструкцией обделки, наличием смежных выработок.

В зависимости от степени наносимых убытков и размеров разрушений аварийные ситуации делятся на *локальные* и *глобальные*. Аварии считают локальными, если они влекут за собой разрушения тоннелей только на ограниченном участке и последствия их могут быть быстро ликвидированы. Глобальными являются аварии, которые охватывают все тоннельное сооружение и приводят к прекращению его функционирования на длительное время. Например, землетрясения, наводнения, пожары, взрывы и другие ситуации, которые, как правило, связаны с травматизмом и гибелью людей.

По объему и местоположению разрушения тоннельных сооружений могут быть общими, частичными и местными. Обычно разрушаются отдельные участки тоннеля, расположенные у порталов, или, реже, внутри тоннеля. Разрушения тоннельных обделок, как полные, так и частичные (т.е. с сохранением отдельных элементов обделки), обычно сопровождаются образованием *завалов* — нагромождений обрушившегося грунта, обломков обделки, погребенного в них оборудования или транспортных средств, полностью или частично заполняющих участок тоннеля. Пространство, заполняемое ранее в массиве обрушившимся грунтом, называют вывалом, а свод — вывал-куполом.

Различают *завалы глухие*, полностью перекрывающие тоннель, *завалы с отрывом*, не полностью перекрывающие сечение, и *завалы переходного типа* (рис. 12.1). Глухие завалы могут быть полными, распространяющимися до земной поверхности, и неполными, имеющими купол вывала. Куполом (или полостью) вывала называют пространство, ранее занимаемое обрушившимся грунтом. Купол может иметь различную форму и различную степень устойчивости в зависимости как от физико-механических свойств грунта, так и от структурного строения массива.

В скальных слаботрешиноватых грунтах обычно наблюдается устойчивый купол. После оборки отслоившихся кусков в дальнейшем обрушения не происходит. В трещиноватых скальных грунтах часто наблюдается временная стабилизация вывала с последующим обрушением за

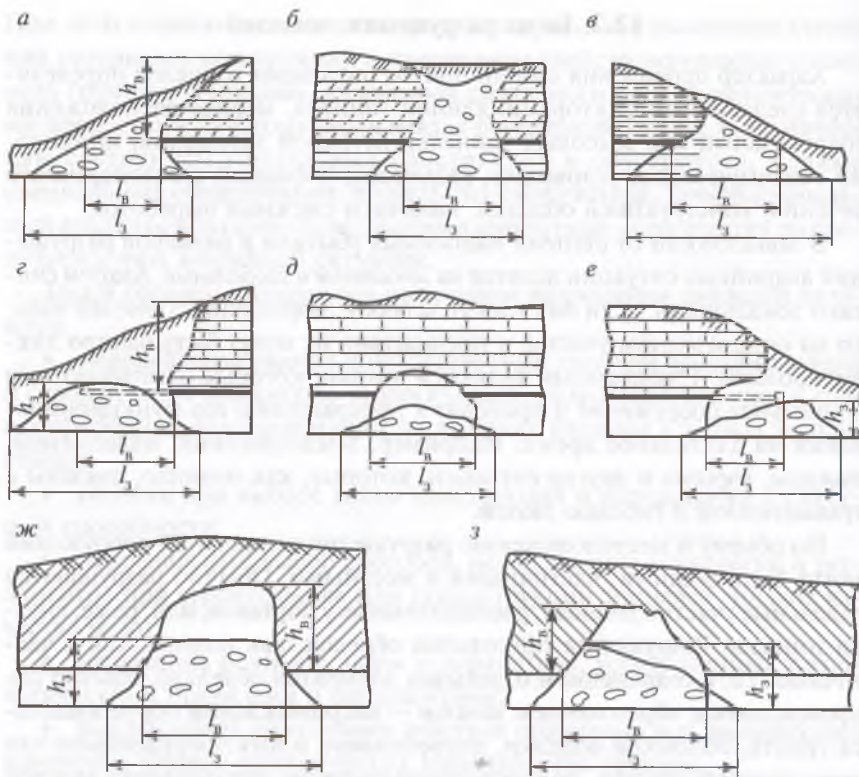


Рис. 12.1. Основные типы завалов в тоннелях:

a, б, в — глухие полные; *г, д, е* — с отрывом; *ж* — глухой неполный; *з* — переходного типа; L_B — длина вывала (длина разрушенного участка тоннеля); L_3 — длина завала (длина участка, занятого нагроможденной породой и кладкой); h_B — высота вывала; h_3 — высота завала

счет нарушения равновесного состояния из-за выпадения отдельных кусков. В слабых грунтах в результате обрушения создается неустойчивая стабилизация купола, которая грозит дальнейшими обрушениями больших объемов грунта. В этом случае восстановительные работы связаны с большой вероятностью новых обрушений.

При землетрясениях высокой интенсивности (более 6 баллов по шкале МКС) возможны просадки конструкций в сбросовых зонах и даже (в отдельных случаях) взаимное смещение осей тоннеля на смежных участках трассы (главным образом, порталных участков и участков в зонах тектонических разломов).

Глава 13. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ

13.1. Варианты восстановления тоннелей

Для выбора наиболее эффективного варианта восстановления тоннеля, успешного выполнения работ по его восстановлению и последующей эксплуатации проводят специальное обследование разрушенного участка и всего тоннеля. Его производят как снаружи, так и внутри тоннеля. Отчет о проведенном обследовании должен содержать общие сведения о тоннельном сооружении, включающие данные о его местоположении, топографии, инженерно-геологических условиях, геометрических параметрах (длина, поперечные сечения), габаритах, конструкциях, материалах обделки, порталов и внутритоннельных устройств, а также об имевшихся ранее разрушениях и выполненных ремонтно-восстановительных работах.

Во всех подробностях должны иметься сведения о разрушенном участке тоннеля: характере и размерах разрушений, составе и состоянии грунтов завала и окружающего грунтового массива, степени разрушения и состоянии обделки, габаритах в зоне разрушений и дефектах на прилегающих участках, наличии загромождений в завале, состоянии пути или проезжей части и внутритоннельных устройств. По результатам обследования разрушенного тоннеля проводят анализ полученных данных и технико-экономическое обоснование видов и вариантов восстановления.

При восстановлении движения по трассе тоннельного пересечения и возобновлении движения в в этом направлении возможны следующие решения:

- переключение движения на участок соседней действующей в том же направлении железной или автомобильной дороги;
- устройство местного обхода тоннеля открытой линией;
- раскрытие в выемку всего тоннеля или его разрушенных участков;
- восстановление разрушенных участков тоннеля с открытием движения по существующей трассе.

Первый вариант принимают при наличии густой сети линий с учетом их пропускной способности. Второй вариант применяют при благоприятных топографических условиях. Однако обеспечить требования нормативных документов в полном объеме в этом случае удается редко, часто приходится назначать облегченные технические условия (более крутые уклоны, меньшие радиусы кривых и др.). Перевод движения на период восстановления тоннеля на обходные линии существенно ограничивает пропускную способность этих участков. Поэтому часто восстановление осуществляют по оси старой трассы тоннеля.

В этом случае прибегают к раскрытию всего тоннеля или лишь части его на разрушенных участках в открытую выемку. Очевидно, что такое решение целесообразно при относительно небольшой глубине заложения тоннеля в грунтах, допускающих крутые откосы выемки. В дальнейшем такие выемки или раскрывают на полный профиль в соответствии с техническими условиями для постоянной эксплуатации, или заменяют тоннелем, сооруженным в ней открытым способом. Наиболее распространенным способом восстановления движения на участке тоннельного пересечения с разрушенным тоннелем является непосредственное восстановление этого тоннеля.

Восстановление разрушенного тоннеля может быть *краткосрочным, временным и капитальным*. Краткосрочное восстановление выполняется с предельным уменьшением габарита, постановкой временной крепи, иногда с устройством временного пути, ограничением скорости движения. Поэтому краткосрочное восстановление допускается только при особой срочности пропуска подвижного состава. Оно практически невозможно при наличии в завале погребенных подвижного состава, оборудования и обломков обделки. После открытия движения сразу же приступают к восстановлению по параметрам временного восстановления (главного этапа восстановительных работ).

Временное восстановление включает работы по расчистке завала, закреплению выработки надежной крепью по установленному габариту и укладке постоянного пути. В однопутном тоннеле работы на этом этапе могут осуществляться по двум вариантам: по профилю ограниченной тоннельной выработки (крепь устанавливается по внутреннему контуру тоннельной обделки) и по профилю полной тоннельной выработки (внутренняя поверхность устанавливаемой крепи совпадает с наружным очертанием обделки).

Восстановление по профилю ограниченной тоннельной выработки позволяет уменьшить объемы работ, применить более легкую крепь, но при переходе к капитальному восстановлению требует доработки профиля до внешнего контура постоянной обделки. Кроме того, этот вариант, так же, как и краткосрочное восстановление, не всегда возможен при наличии в завале обломков обделки и оборудования.

Восстановление по профилю полной тоннельной выработки хотя и требует больших объемов работ и мощной крепи, но позволяет применить более производительное оборудование. При переходе к капитальному восстановлению работы сводятся к возведению постоянной обделки. Временное восстановление двухпутных тоннелей обычно осуществляют на сечение под один путь, с проходкой в зоне завала, располагаемый по оси тоннеля, или по тому пути, где меньше помех проходке.

Капитальное восстановление является заключительным этапом, когда восстановлены все первоначальные технические характеристики сооружения, обеспечивающие его эксплуатационные качества. Капитальное восстановление, минуя этапы краткосрочного и временного, возможно в тех случаях, когда строительная организация укомплектована необходимыми механизмами и оборудованием, а сроки и объемы работ мало отличаются от планируемых для временного восстановления.

Выбор варианта восстановления тоннеля и установление целесообразной последовательности восстановительных работ зависят от инженерно-геологических условий, характера и размеров разрушений, типов конструкций, наличия средств и материалов, директивных сроков окончания работ и др.

13.2. Временное восстановление тоннелей

В соответствии с характером и объемами разрушений, а также видом восстановления (краткосрочное, временное, капитальное), применяют краткосрочные, временные и капитальные конструкции обделок. Их назначением является поддержание выработок на разрушенном участке в течение периода, соответствующего виду восстановления.

Срок службы обделки при краткосрочном восстановлении обычно не превышает полугод (до устройства временной или капитальной обделки), при временном восстановлении — до 5 лет (в отдельных случаях — более длительное время). При ее капитальном восстановлении должны удовлетворяться все требования обделок при сооружении новых тоннелей.

Любые конструкции обделки должны быть увязаны с размерами тоннельных выработок, габаритом приближения строений или конструкций и условиями восстановления тоннеля на данном этапе восстановительных работ. При краткосрочном и временном восстановлении по профилю ограниченной тоннельной выработки (т.е. по внутреннему контуру старой обделки) применяют габариты как существующие на остальном протяжении тоннеля, так и специальные «льготные» габариты, устанавливаемые применительно к конкретным условиям по согласованию с заказчиком.

При краткосрочном восстановлении для сокращения сроков работ допускают предельную негабаритность, позволяющую лишь пропускать подвижной состав. При временном восстановлении по профилю полной тоннельной выработки (т.е. по внешнему очертанию обделки) и капитальном восстановлении размеры и внутреннее очертание поперечного сечения в пределах разрушенного участка устраивают под действующий габарит приближения строений для новых тоннелей. При этом в любых случаях необходимо предусматривать запас на осадку и деформации временных конструкций по высоте 10...30 см и по ширине 5...15 см.

Краткосрочные и временные обделки должны быть простыми в изготовлении как в заводских, так и полевых условиях, удобными при монтаже и транспортабельными (масса элемента для удобства монтажа не должна превышать 100 кг, длина — 2,5...2,8 м). Они обязаны быть рассчитаны на восприятие максимальных нагрузок как в период возведения, так и при эксплуатации тоннеля, достаточно универсальными, т.е. рассчитанными на использование в разных условиях и при различных способах проходки. Обделки должны обеспечивать защиту от возгорания и предотвращать прорыв воды в тоннель, обеспечивать частичную замену или усиление при необходимости, т.е. быть ремонтнопригодными. Материалами обделок краткосрочного или временного восстановления тоннелей служат дерево, металл, реже — железобетон. Долговечность и огнестойкость дерева должна быть повышена применением пропиток (антисептиками и другими составами). При капитальном восстановлении тоннелей применяют монолитные бетонные и сборные обделки из бетона, железобетона и чугунных тюбингов.

Конструкции временных обделок могут быть в виде рам штольневой крепи, полигональных арок по ограниченному или полному профилю однопутной тоннельной выработки и в виде обделки универсального типа. Основная несущая конструкция штольнеобразной (трапециевидной, реже — прямоугольной) выработки представляет собой

рама имеет деревянные стойки и металлические верхняки из двутавров, рельсов или парных швеллеров. В слабых грунтах затяжку кровли выполняют забивной крепью, а боковую — закладными досками. Стойки рам могут опираться на лежни, грунт или сохранившийся обратный свод. Расстояние между рамами принимают от 0,6 до 1,2 м в зависимости от действующих нагрузок. Однако трапециевидная форма несущей конструкции даже для тоннелей малого сечения не может считаться удачной в статическом отношении. Металлоконструкции арочного типа способны лучше сопротивляться разностороннему давлению.

Наиболее рациональны двухшарнирные арки с расположением шарниров в опорных частях свода, реже — трехшарнирные. Многошарнирные конструкции арки при восстановлении тоннелей не применяют. В качестве конструкций арочной крепи используют рельсовые кружальные арки, составленные из скрепленных между собой двух или трех рельсов. В зависимости от прогнозируемой нагрузки и пролета выработки рельсы в арке могут быть расположены в один или два яруса.

Арки опирают на прогоны из двух брусьев, укрепленных на коротышах с помощью накладок, приваренных к каждому рельсу. Применение кружал криволинейного очертания по сравнению с полигональным позволяет избежать лишних переборов грунта и улучшает статическую работу конструкции, однако их изготовление более сложно. Во всех типах арочной крепи важную роль имеют сплошная затяжка с тщательным заполнением пустот за ней. Применение трехшарнирных арок облегчает их статическую работу, делает крепь менее чувствительной к неизбежным осадкам опор.

В мировой практике при восстановлении участков тоннеля со значительными вывалами грунта используют временные крепи, изготовленные в виде металлических кружал из прокатного профиля или арматурных ферм, по форме повторяющих контур поперечного сечения тоннеля. Над арками установлены уплотнительные подушки «Bullflex». При закачивании в них бетона подушки, наполняясь, плотно устраняют свободное пространство между кружалами и поверхностью выработки, передавая нагрузку на арки.

Восстановление тоннелей на участках завалов с отрывом. Перед расчисткой завала производят оборку купола и при необходимости наносят защитный слой набрызгбетона. Для принятия решения о способе расчистки завала оценивают степень устойчивости свода вывала. В зависимости

ти от степени его устойчивости либо расчищают завал без устройства несущей крепи свода и закладки вывала, либо первоначально устраивают специальную крепь свода, способную предотвратить его обрушение.

При устойчивой стабилизации свода вывала в слаботрешиноватых скальных грунтах завал расчищают без защитных приспособлений. После расчистки завала для безопасной эксплуатации тоннеля купол вывала закрепляют набрызгбетоном и анкерами. В трещиноватых скальных и полускальных грунтах завал расчищают под прикрытием временной крепи или защитного козырька, перемещаемых по мере разработки завала, или с помощью подвижного шатра. В первом случае временную крепь монтируют заранее, скрепив несколько арок между собой, а затем надвигают по мере расчистки завала. Для большей безопасности работ непосредственно перед надвигаемой конструкцией в головной ее части закрепляют защитный козырек. Во втором случае завал расчищают под защитой подвижных прикрытий небольших размеров, которые в хвостовой части опираются на установленные рамы временной крепи, а в головной части — на завал (рис. 13.1).

При расчистке значительных по объему завалов, требующих для обеспечения высоких темпов и безопасности работ применения высокопроизводительных машин и оборудования, работы ведут с помощью подвижного шатра (рис. 13.2). Подвижной шатер представляет собой агре-

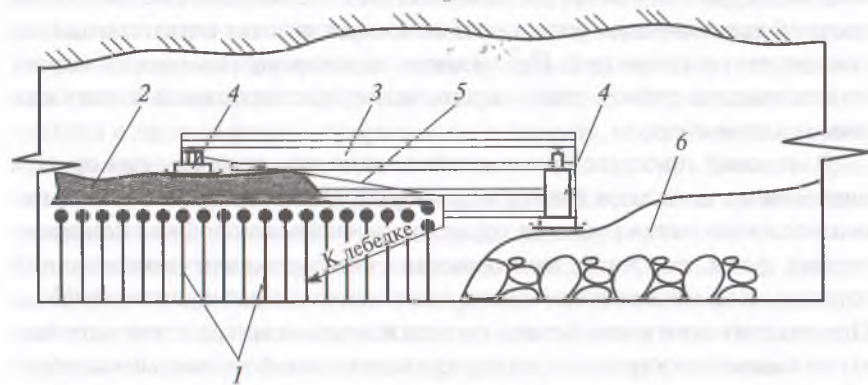


Рис. 13.1. Схема восстановления участка тоннеля под защитой подвижного прикрытия:

1 — рамы временной крепи; 2 — обваловка и ударогасящая засыпка; 3 — защитный козырек; 4 — подвижные опоры на салазках; 5 — трос; 6 — разбираемый завал

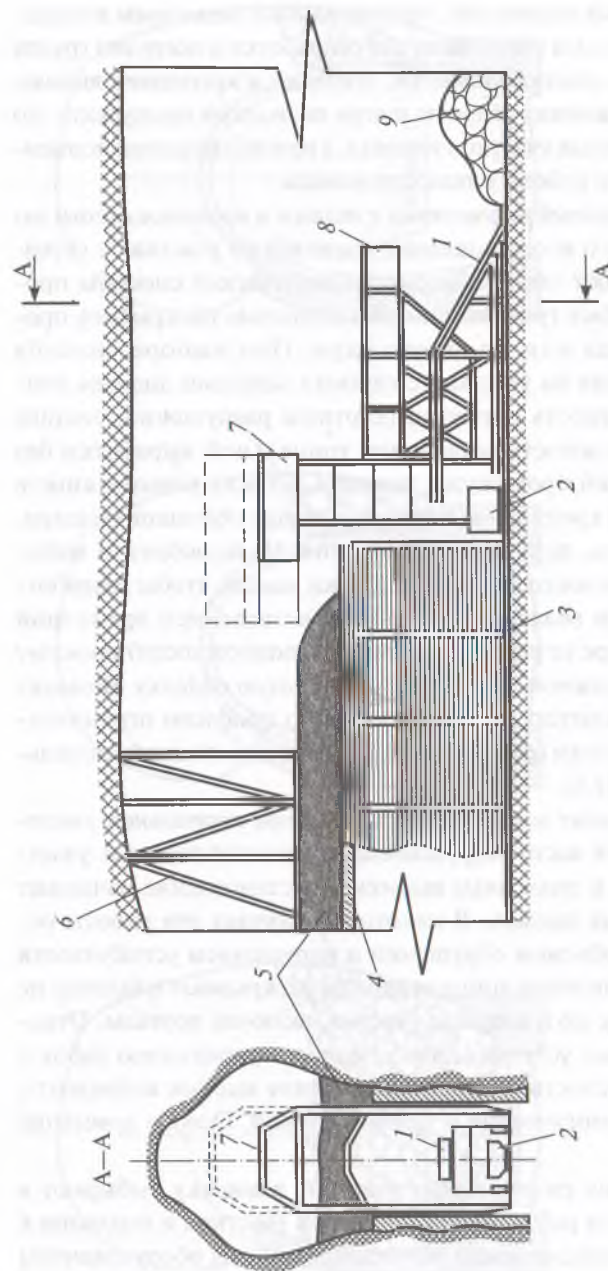


Рис. 13.2. Схема восстановления участка тоннеля с помощью подвижного шатра:

1 — породопогрузочная машина; 2 — вагонетка; 3 — закладная деревянная крепь по стальным аркам; 4 — часть возведенной обделки; 5 — забутовка вывала; 6 — крепление купола вывала; 7 — хвостовая подвижная часть шатра с козырьком; 8 — головной защитный козырек; 9 — разбираемый завал

гат в виде передвижных подмостей, оборудованных защитным козырьком и механизированными средствами для разработки и погрузки грунта при расчистке завала, монтаже обделки, закладки и крепления вывала. В транспортном положении габариты шатра позволяют пропускать его в пределах неразрушенных участков тоннеля, а при выдвигении подъемной площадки — вести работы в полости вывала.

Восстановление тоннелей на участках с полным и неполным глухим завалами. Для временного восстановления тоннелей на участках с глухими завалами применяют так называемые классические способы проходки в мягких и слабых грунтах: способ полностью раскрытого профиля, опертго свода или опорного ядра. При выборе способа восстановления тоннеля на участках с глухими завалами должны учитываться неопределенность ситуации (картины разрушения, состава завала и др.), невозможность оставления тоннельной выработки без крепи даже на короткий промежуток времени, а также невозможность применения забивной крепи из-за наличия в завале обломков обделки, крупных кусков грунта, деталей оборудования. Целесообразно выбирать такую схему последовательности разборки завала, чтобы разработка профиля выработки велась сверху вниз, с возведением временной крепи по частям по мере ее раскрытия или (при возможности) по всему контуру с учетом возможной замены на постоянную обделку. Возможными вариантами являются: восстановление по профилю ограниченной тоннельной выработки (рис. 13.3) или по профилю полной тоннельной выработки (рис. 13.4).

Расчистка порталных завалов и восстановление порталных участков тоннелей. Наиболее часто разрушаемыми являются входные участки тоннелей, порталы и подходные выемки. Восстановление начинают с расчистки подходных выемок. В некоторых случаях эти работы осложняются большим объемом обрушений и нарушением устойчивости откосов. При восстановлении тоннеля иногда раскрывают в выемку не только подходы к нему, но и входные участки, включая порталы. Откосы выемок часто делают уступами, что улучшает организацию работ и увеличивает их безопасность. Поперечное сечение выемок выбирают с учетом инженерно-геологических и других условий. Особое внимание уделяют водоотводу.

Способы раскрытия разрушенных участков в выемку выбирают в зависимости от объемов работ, местоположения участков и подходов к ним, сроков работ и оснащенности механизированным оборудованием

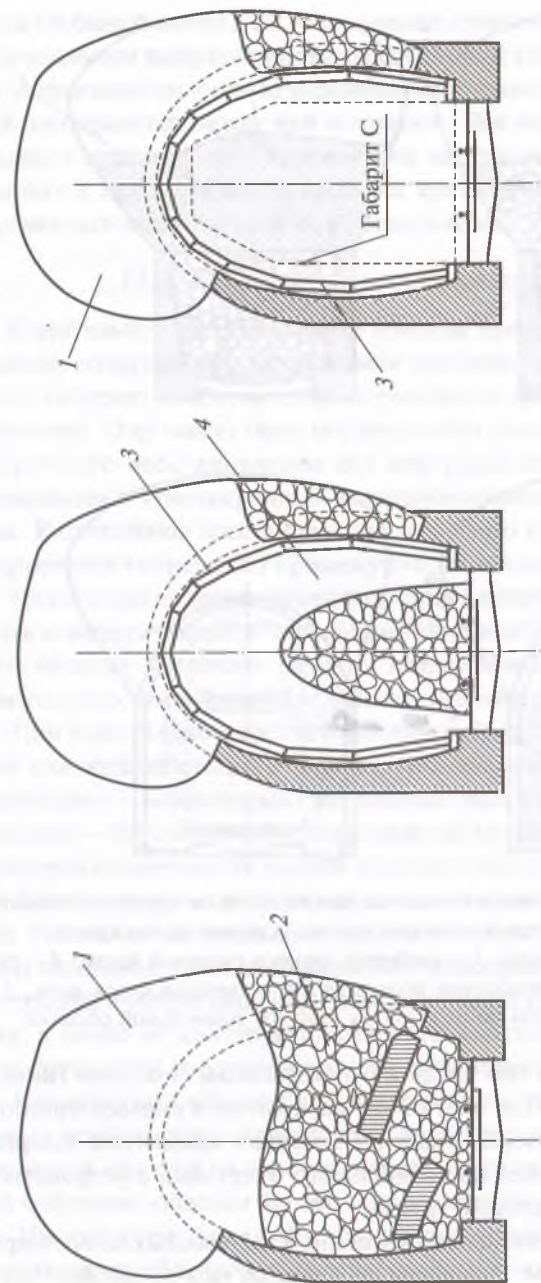


Рис. 13.3. Последовательность работ при восстановлении по профилю ограниченной выработки в завалах с отрывом: 1 — вывал; 2 — завал; 3 — стальные арки с закладной крепью; 4 — разборка завала вдоль стен с установкой арочной крепи и последующей разборкой ядра

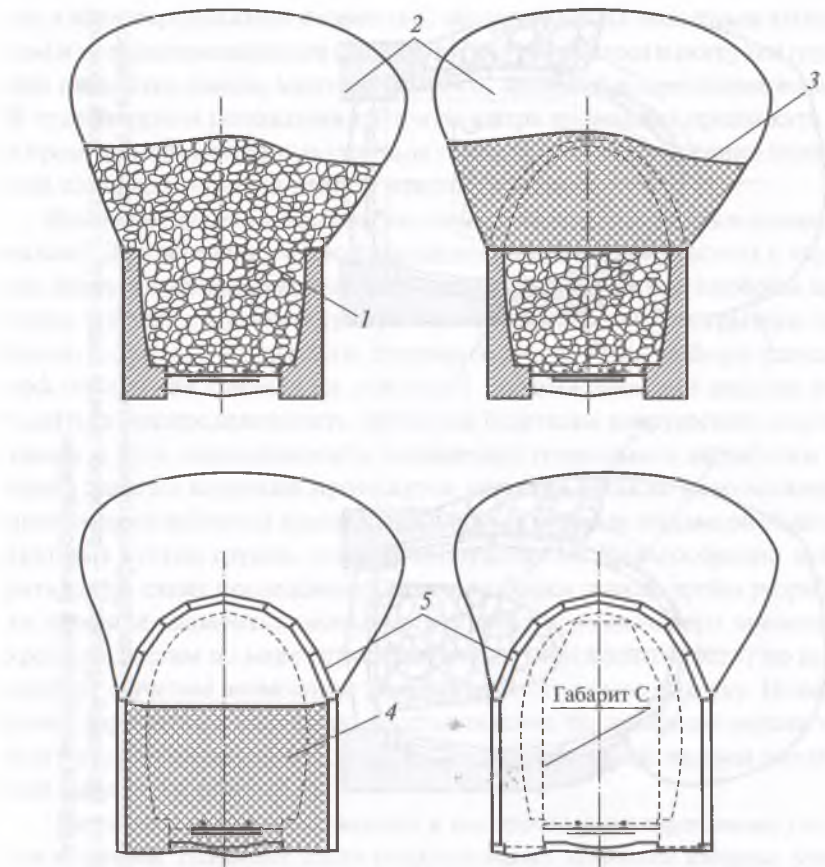


Рис. 13.4. Порядок работ при восстановлении тоннеля по профилю полной тоннельной выработки (крепление купола условно не показано): 1 — завал; 2 — полость вывала; 3 — разборка завала в сводовой части; 4 — разборка завала в уступе с разработкой колодцев для установки стоек арок; 5 — установка арочной крепи по наружному контуру тоннельной обделки

для разработки грунта, в том числе и буровзрывным способом (иногда и взрывом на выброс). При частичном раскрытии в выемку входного участка тоннель на некоторых участках заменяют временной галереей прямоугольного или (реже) полигонального очертания с устройством над ней подушки из насыпного грунта.

Диаметры отдельных элементов временных деревянных галерей принимают обычно 25...35 см. Элементы деревянных рам соединяют вруб-

ками глубиной около 5 см. Скрепление производят болтами и скобами. В продольном направлении рамы соединяют распорками. Между рамами устраивают сплошную деревянную обшивку с тщательной забутовкой пространства между ней и грунтом. Все деревянные элементы покрывают огнезащитной краской или мастикой. При частичных разрушениях в пределах свода обделки крепление осуществляют в виде деревянных защитных шатров (козырьков).

13.3. Капитальное восстановление тоннелей

Капитальное восстановление тоннеля предусматривает полное устранение разрушений с устройством постоянной обделки по действующему габариту и обеспечение нормальных условий эксплуатации сооружения. Оно может быть осуществлено после временного или краткосрочного восстановления без перерыва движения, либо вслед за временным и краткосрочным восстановлением при отсутствии движения. Капитальное восстановление возможно и непосредственно после разрушения тоннеля без промежуточных этапов работ.

Целесообразно одновременно с капитальным восстановлением улучшить конструктивные и эксплуатационные обустройства тоннеля (усилить обделку, увеличить размеры поперечного сечения, устроить гидроизоляцию, соорудить дополнительные ниши, камеры и др.).

При капитальном восстановлении применяют, в основном, бетонные или железобетонные обделки (монолитные или сборные). Работы выполняют с максимально возможным использованием средств механизации — бетононасосов, передвижной металлической опалубки, высокопроизводительных машин и специального оборудования.

Капитальное восстановление тоннелей после временного восстановления. Работы по капитальному восстановлению тоннелей после временного восстановления производят без перерыва движения. Технические и технологические решения зависят от характера и размеров разрушения, а также от конструктивных особенностей крепи, установленной при временном восстановлении разрушенного участка.

Конструкции обделок при капитальном восстановлении тоннелей имеют особенности, зависящие от характера разрушений. Так, при сооружении обделки на участках завала с отрывом при небольших вывалах очертание обделки может быть выполнено близкой к форме вывала. Иногда уменьшение объемов кладки достигают за счет заполнения пустот между обделкой и грунтом песком (с последующим закрепле-

ем путем нагнетания растворов) или тощим бетоном. Предварительно поверхность свода вывала может быть закреплена набрызгбетоном в сочетании с анкерами. При разработке проекта капитального восстановления обделок на участках с глухими завалами в расчетах следует учитывать, что грунты в завале не обеспечивают должного отпора. В таких случаях необходимо возводить армированные обделки, обделки с увеличенными сечениями, применять бетон повышенных классов прочности, замыкать подковообразную обделку обратным сводом.

Капитальное восстановление разрушенных тоннелей на временно восстановленных участках с временной обделкой, закрепляющей завал по профилю полной выработки, выполняется быстрыми темпами. При наличии свободного пространства, предусмотренного временным восстановлением, не требуется дополнительная доработка профиля. В данной ситуации сразу приступают к возведению обделки, используя передвижную или сборно-разборную металлическую опалубку. Значительно сложнее возводить обделку в завалах, которые при временном восстановлении были пройдены с креплением по ограниченному профилю. В этом случае работы ведут в последовательности, изложенной ранее в разделе о расширении профиля при полном переустройстве негабаритной обделки. Временную обделку используют как поддерживающие кружала (см. п. 9.2.2).

Капитальное восстановление тоннеля без промежуточных этапов работ. Капитальное восстановление тоннеля без промежуточных этапов работ рассматривают как один из основных вариантов восстановительных работ и применяют в сложных инженерно-геологических условиях, когда восстановление с использованием временных конструкций связано с повышенной опасностью повторных обрушений. Его выполняют также в случаях, когда необходимо восстановить тоннель в первоначальном виде в кратчайшие сроки. Способ капитального восстановления тоннеля выбирают в зависимости от характера завала и разрушений.

Восстановительные работы при небольших завалах с отрывом значительно облегчаются и сводятся к закреплению свода обрушения, уборки породы и забутовки пустот. В слабых несвязных грунтах или в раздробленных скальных сначала делается предохранительный потолок в виде брусчатого или бревенчатого настила, уложенного на нижнюю несущую конструкцию, которая опирается на поверхность обвала. Эта конструкция состоит из ферм, прогонов, стропильных стоек и кружал.

Немедленно вслед за этим укладывают настил защитного потолка на всем протяжении завала. Далее все пространство между потолком и сводом забучивают породой, а потом разбирают завал и бетонируют обделку. В глухих завалах применяют горные способы проходки: способ полнотью раскрытого профиля или проходку сплошным забоем.

Способ полностью раскрытого профиля с верхней штольной при восстановлении разрушенного участка тоннеля характерен тем, что после раскрытия калотты дальнейшее расширение профиля производят путем разработки боковых штросс, устанавливая крепь с распором на завал. Затем по всему профилю раскрытого участка длиной 4...6 м устанавливают кружала, лекала с опалубкой и бетонируют обделку. Под прикрытием готовой обделки расчищают завал, устраивают обратный свод и верхнее строение пути. Способ полностью раскрытого профиля связан с чрезвычайно высокими затратами труда и времени.

Капитальный ремонт тоннелей с проходкой глухих завалов сплошным забоем применяется в широком диапазоне физико-механических характеристик грунтов, заполнивших участок тоннеля. При полном глухом завале (до поверхности) до начала проходческих работ слабые несвязные грунты закрепляют одним из способов, изложенных в п. 8.2. На рис. 13.5 показана последовательность работ при капитальном восстановлении тоннеля при полном глухом завале с помощью предварительного закрепления грунтов и устройства защитного экрана из труб. При неполном глухом завале (с образованием купола) полость над ним заполняют бетоном.

Рассмотрим пример капитального восстановления тоннеля на участке неполного глухого завала (рис. 13.6). Разрушение обделки тоннеля с вывалом значительного объема произошло на участке пересечения тектонического разлома в толще центральной части синклинали складки, где грунтовый массив имеет интенсивную повышенную трещиноватость с многочисленными плоскостями скольжения. В самом очаге вывала, кроме того, наблюдаются многочисленные натёки по трещинам нефтепродуктов, являющихся дополнительной смазкой, снижающей устойчивость пород.

На первом этапе ликвидации вывала с помощью технологических подмостей 1 были установлены поддерживающие кружала 2, подъемником 5 уложены защитные перекрытия 4 и устроены железобетонные перемычки 3. Затем по бетонолитным трубам 8 за перемычки из авто-

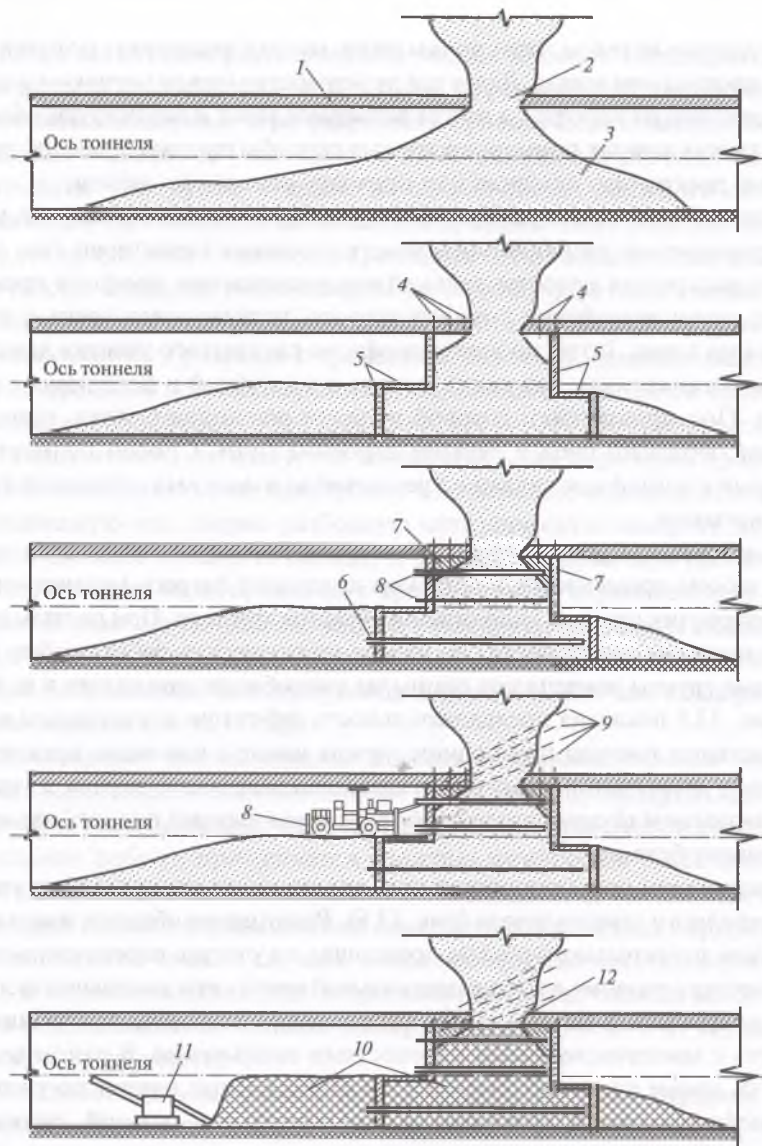


Рис. 13.5. Схема капитального восстановления участка тоннеля при полном глухом завале:

1 — тоннельная обделка; 2 — вывал; 3 — завал; 4 — анкеры с подхватами; 5 — железобетонные перемычки; 6 — перфорированные трубы для цементации или химического закрепления грунта; 7 — бетон-пазух; 8 — буровая установка; 9 — экран из труб в 3–4 яруса; 10 — разборка завала и перемычек; 11 — породопогрузочная машина; 12 — восстановленная обделка

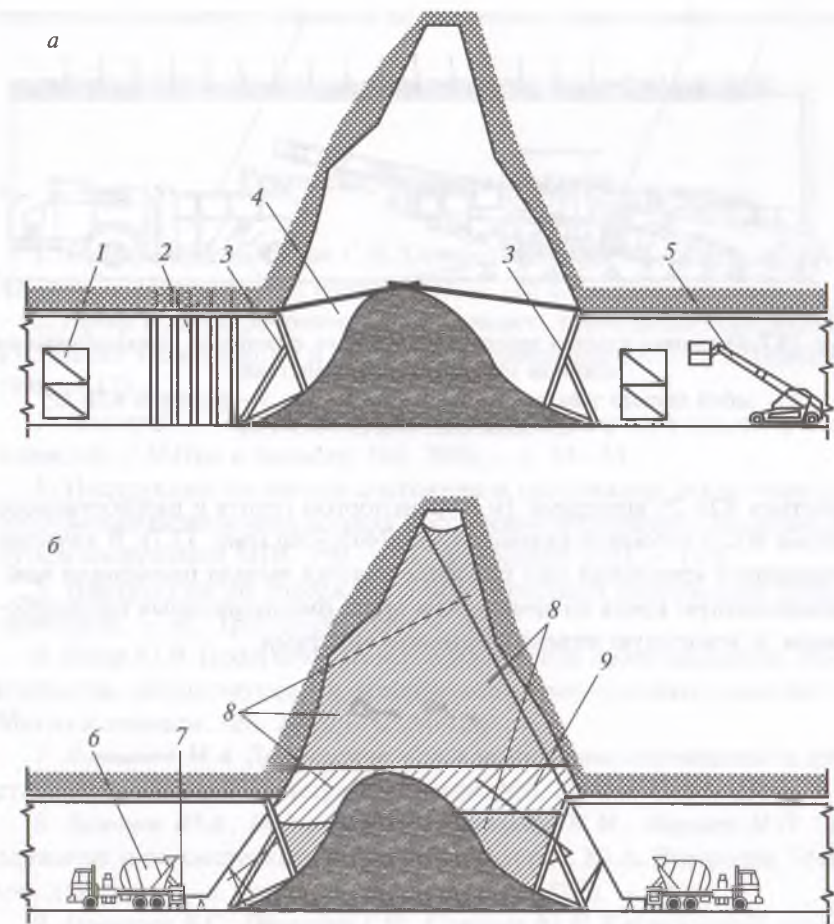


Рис. 13.6. Схема капитального восстановления участка тоннеля при неполном глухом завале

миксеров *б* бетононасосами *7* подавали бетон. Вначале до уровня сводовой части обделки — бетон класса В12.5, выше этого уровня — бетон класса В25 *9*, и, наконец, оставшаяся часть полости заполнялась бетоном класса В7.5.

На втором этапе капитального восстановления тоннеля вели проходку участка вывала горнопроходческим комбайном избирательного

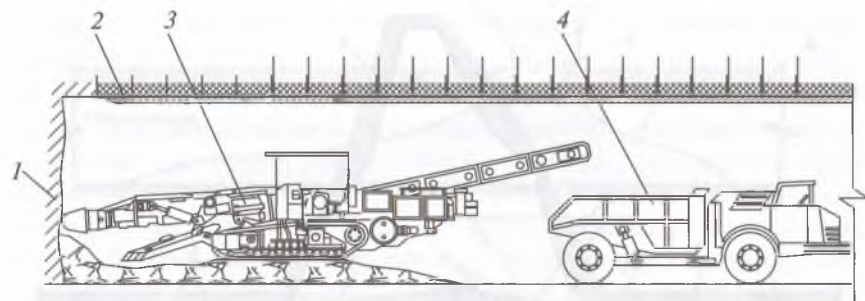


Рис. 13.7. Проходка участка завала комбайном со стреловым исполнительным органом избирательного действия:

1 — забой глухого завала; 2 — крепь выработки; 3 — комбайн КП-25;
4 — автосамосвал МоАЗ-7405-9586

действия КП-25 заходками 1м с транспортом грунта и разработанного бетона В12.5 автосамосвалами МоАЗ-7405-9586 (рис. 13.7). В качестве временного крепления при проходке участка вывала применяли комбинированную крепь из арматурных арок, омоноличенных набрызгбетоном, и усиленную железобетонными анкерами.

Рекомендуемая литература

1. *Быкова Н.М., Шерман С.И.* Северо-Муйский тоннель — из XX в XXI век. — Новосибирск: Наука, 2007. — 185 с.
2. *Гарбер В.А.* Метрополитен. Долговечность тоннельных конструкций в условиях эксплуатации и городского строительства. — М.: ЦНИИС, 1998. — 172 с.
3. *Гендлер С.Г.* Опыт управления тепловым режимом транспортных тоннелей // Метро и тоннели. №6. 2006. — с. 34—35.
4. Инструкция по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах Российской Федерации. Департамент пути и сооружений МПС РФ. — М.: Транспорт, 2003. — 10 с.
5. Инструкция по содержанию искусственных сооружений метрополитенов. — М.: Транспорт, 1996. — 74 с.
6. *Исаев Ю.И.* Геофизические исследования при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации транспортных тоннелей // Метро и тоннели. №6. 2006. — С. 28—29.
7. *Латышев М.А.* Деформационный мониторинг строящихся и действующих тоннелей // Метро и тоннели. №6. 2004. — С. 18—19.
8. *Лиманов Ю.А., Подчекаев В.А., Корольков Н.М., Меринов И.И.* Содержание и реконструкция тоннелей / Под ред. Ю.А. Лиманова. Учебник для вузов ж.-д. трансп. — М.: Транспорт, 1976. — 192 с.
9. *Молчанов В.С., Полянкин Г.Н., Савельев Ю.Н.* Капитальный ремонт и реконструкция железнодорожных тоннелей и метрополитенов. — Новосибирск: СГУПС, 2001. — 51 с.
10. Правила технической эксплуатации метрополитенов Российской Федерации. СПб.: 1995. — 135 с.
11. Руководство по техническому диагностированию автодорожных тоннелей. — М.: Росавтодор, 2001. — 132 с.
12. Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом совместимости материалов. — М.: ЦНИИС, 2005. — 128 с.
13. СНиП 32-02—2003. Метрополитены. — М.: Госстрой России. 2004.

14. СП 32-105—2004. Метрополитены. — М.: Госстрой России. 2004.
15. СП 32-106—2004. Метрополитены. Дополнительные сооружения и устройства. — М.: Госстрой России. 2004.
16. СП 13-102—2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений». — М.: Госстрой России 2003.
17. Справочник инженера-тоннелика / Под ред. В.Е. Меркина, О.Н. Макарова, С.Н. Власова. — М.: Транспорт, 1993. — 389 с.

Оглавление

| | |
|--|----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| Раздел I. СОДЕРЖАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ | 7 |
| Глава 1. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ | 7 |
| 1.1. Основные понятия и определения | 7 |
| 1.2. Факторы, влияющие на эксплуатационную надежность тоннелей | 13 |
| 1.3. Аварийные ситуации и основы анализа риска | 31 |
| Глава 2. ЗАДАЧИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ | 36 |
| 2.1. Задачи текущего содержания | 36 |
| 2.2. Организационная структура службы эксплуатации тоннелей | 37 |
| 2.3. Габариты транспортных тоннелей | 40 |
| 2.4. Техническая документация при сдаче тоннеля в эксплуатацию ... | 46 |
| 2.5. Техническая документация на эксплуатируемые тоннели | 50 |
| Глава 3. ПОВРЕЖДЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБУСТРОЙСТВ | 53 |
| 3.1. Общие сведения | 53 |
| 3.2. Дефекты обделок из монолитного бетона и железобетона | 55 |
| 3.3. Дефекты сборных железобетонных и чугунных обделок | 59 |
| 3.4. Деформации и смещения элементов обделки | 62 |
| 3.5. Коррозия металлических конструкций и пути | 64 |
| 3.6. Обводненность тоннелей | 65 |
| 3.7. Дефекты водоотводных и дренажных устройств | 68 |
| 3.8. Дефекты порталов, рам, оголовков и подпорных стен | 69 |
| Глава 4. ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ТОННЕЛЕЙ | 70 |
| 4.1. Надзор за техническим состоянием тоннелей | 70 |
| 4.2. Наблюдения за техническим состоянием тоннельных конструкций и обустройств | 73 |
| 4.3. Содержание пути в железнодорожных тоннелях | 83 |
| 4.4. Эксплуатация внутритоннельных устройств и оборудования | 92 |

| | |
|--|------------|
| 4.5. Особенности эксплуатации транспортных тоннелей в районах сурового климата | 102 |
| 4.6. Автоматизированная система содержания тоннелей | 110 |
| Глава 5. ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБУСТРОЙСТВ | 120 |
| 5.1. Общие положения | 120 |
| 5.2. Текущий ремонт тоннельных обделок | 122 |
| 5.3. Защита от обводнения эксплуатируемых тоннелей | 129 |
| 5.4. Защита тоннельных конструкций и пути от коррозии | 131 |
| 5.5. Ремонт безобделочных тоннелей | 133 |
| Глава 6. ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ | 135 |
| 6.1. Подземные сооружения метрополитена и организационная структура их содержания | 135 |
| 6.2. Надзор за техническим состоянием тоннельных сооружений метрополитена | 141 |
| 6.3. Текущее содержание сооружений метрополитена | 147 |
| Раздел II. КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ | 152 |
| Глава 7. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ | 152 |
| 7.1. Специальные обследования. Категории технического состояния тоннельных конструкций | 152 |
| 7.2. Мониторинг технического состояния эксплуатируемых тоннелей | 155 |
| 7.3. Обоснование решений по восстановлению эксплуатационных качеств тоннеля | 165 |
| 7.4. Расчетно-теоретический анализ несущей способности обделки с учетом реальных условий ее работы | 175 |
| Глава 8. КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ ТОННЕЛЕЙ | 180 |
| 8.1. Общие сведения | 180 |
| 8.2. Усиление тоннельных обделок | 183 |
| 8.3. Осушение грунтового массива и гидроизоляция тоннелей | 186 |
| Глава 9. РЕКОНСТРУКЦИЯ ТОННЕЛЕЙ | 203 |
| 9.1. Общие положения | 203 |
| 9.2. Горный способ реконструкции тоннелей | 206 |
| 9.2.1. Временное подкрепление обделки | 208 |

| | |
|--|------------|
| 9.2.2. Замена дефектной обделки и ее элементов | 210 |
| 9.2.3. Устранение негабаритности тоннелей | 216 |
| 9.2.4. Реконструкция тоннельного пересечения | 227 |
| 9.3. Реконструкция тоннелей с применением щитов и механизированных комплексов | 235 |
| Глава 10. КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА | 246 |
| 10.1. Капитальный ремонт подземных объектов метрополитена | 246 |
| 10.2. Реконструкция подземных сооружений метрополитена | 247 |
| Глава 11. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТОННЕЛЯХ | 264 |
| 11.1. Общие положения | 264 |
| 11.2. Меры безопасности при производстве работ в эксплуатируемых тоннелях | 265 |
| 11.3. Обеспечение безопасности при капитальном ремонте и реконструкции подземных сооружений метрополитенов | 269 |
| Раздел III. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ | 274 |
| Глава 12. ПРИЧИНЫ И ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ | 274 |
| 12.1. Причины разрушения тоннелей в процессе их эксплуатации | 274 |
| 12.2. Виды разрушения тоннелей | 277 |
| Глава 13. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ | 279 |
| 13.1. Варианты восстановления тоннелей | 279 |
| 13.2. Временное восстановление тоннелей | 281 |
| 13.3. Капитальное восстановление тоннелей | 289 |
| Рекомендуемая литература | 295 |

Учебное издание

Фролов Юрий Степанович
Гурский Валерий Алексеевич
Молчанов Виктор Сергеевич

СОДЕРЖАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТОННЕЛЕЙ

Под редакцией Ю.С. Фролова

Учебник

Подписано в печать 25.02.2011 г.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Печ. л. 18,75. Тираж 1500 экз. Заказ 6198.
ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию
на железнодорожном транспорте»
105082, Москва, ул. Бакунинская, д. 71
Тел.: +7 (495) 739-00-30,
e-mail: marketing@umczdt.ru,
<http://www.umczdt.ru>

ООО «МаркетМаш Принт»
107258, г. Москва, ул. 2-ая Прогонная, д.10, ком.13