

А. А. АШРАБОВ, Ч.С.РАУПОВ

**РЕКОНСТРУКЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ
СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

ГАЖК «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

А. А. АШРАБОВ, Ч.С.РАУПОВ

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ
СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Часть II

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
для магистров специальностей
5А580212 –Мосты и транспортные тоннели,
5А580603–Эксплуатация мостов и транспортных тоннелей

Ташкент – 2007

УДК (624.21.8+624.19):625.1

В учебном пособии освещены вопросы технической диагностики эксплуатируемых тоннельных сооружений и обустройств, способы определения нагрузок на обделки тоннелей при их ремонте и реконструкции, а также основные принципы организации и производства ремонтных работ в эксплуатируемых тоннелях. Изложены основные принципы реконструкции тоннеля, однопутных тоннелей под двухпутное движение и удлинения тоннеля, а также раскрытия тоннеля в выемку. Приведены принципы ремонта, восстановления и реконструкции тоннельных сооружений и обустройств. Изложены методы организация и производство ремонтных работ в эксплуатируемых тоннелях.

Книга предназначена для студентов и аспирантов строительных ВУЗов и факультетов и может быть использована специалистами научных и строительных организаций в их практической деятельности.

Рекомендовано к печати учебно-методической комиссией института.

Рисунки – 56; таблицы –5; библиографии – 11 наим.

Составители: **А. А. Ашрабов**, д.т. н, проф., **Ч.С.Раупов**, к.т.н., доц.

Рецензенты: **А.А.Ишанходжаев** – д.т.н., проф. каф. «Мосты и транспортные тоннели» Ташкентского автомобильно-дорожного института;

Н. А. Красин – к.т.н., доц. каф. «Строительные конструкции, мосты и сооружения» ТашиИТ.

© Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта , 2007 г.

III. ДИАГНОСТИКА ЭЛЕМЕНТОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТОННЕЛЕЙ

1. Содержание и технический надзор за состоянием железнодорожных тоннелей

Факторы, определяющие техническое состояние тоннелей. В соответствии с требованиями действующих Правил технической эксплуатации железных дорог РУз и Инструкции по текущему содержанию искусственных сооружений все элементы железнодорожного пути (земляное полотно, верхнее строение и искусственные сооружения) должны соответствовать требованиям по прочности, устойчивости и техническому состоянию, а также обеспечивать безопасное и плавное движение поездов с наибольшими конструкционными скоростями, установленными для локомотивов на данном участке дороги.

Тоннели относятся к наиболее ответственным, сложным и дорогостоящим искусственным сооружениям железнодорожного транспорта, рассчитанным на длительный срок эксплуатации. Основным принципом текущего содержания тоннелей и имеющихся в них обустройств является постоянное поддержание их в исправном состоянии, обеспечивающем бесперебойный пропуск поездов с установленными скоростями. Это достигается постоянным надзором за тоннелями и их обустройствами, выявлением дефектов и изучением их причин, ограничивающих сроки службы отдельных элементов сооружений и их устранением в возможно более короткий срок, избегая развития более крупных и серьезных деформаций, небезопасных для движения поездов. Основная несущая конструкция тоннеля – его обделка – закрепляет горную выработку и воспринимает все виды действующих нагрузок, эксплуатационные условия её работы исключительно сложны и многообразны. Несущая способность обделки должна соответствовать давлению окружающей породы, а материал обделки обеспечивать долговечность ее работы. Основные факторы, влияющие на эксплуатационные и статические условия работы тоннельной обделки, могут быть подразделены на 4 группы.

1. *Внешние природные условия* (геологические, гидрогеологические и климатические условия; сейсмические воздействия) сильно влияют на состояние тоннельного сооружения. В любом горном массиве возникают оползни, сдвиги, просадки, вызывая тем самым деформации и дефекты сооружения. Эти явления определяются рельефом, мощностью и характером покровного слоя, внутренним трением и сцеплением породы, режимом подземных вод и наличием поверхностей скольжения и карстовых пустот в массиве. Нередко массив, вполне устойчивый до постройки тоннеля начинает смещаться в процессе эксплуатации вследствие нарушения режима подземных вод, вызванного обильным водопритоком к самой тоннельной выработке и дренажным сооружениям. В связи с этим особое внимание должно быть уделено тоннелям, заложенным в легко поддающихся выщелачиванию породах, в гипсах, ангидритах, известковых и доломитовых породах. Свойства пород в местах расположения тоннеля существенно влияют на условия статической работы обделки, которые наиболее неблагоприятны в тоннелях, заложенных в глинах и глинистых сланцах, склонных к пучениям, а также в интенсивно набухающих мергелях. При высоком значении коэффициента упругого отпора ($k \leq 20$ МПа) пассивный отпор породы практически исключает возможность перемещений и деформаций обделки в сторону породы. При малых же значениях этого коэффициента учет упругого отпора породы в расчетных схемах дает значительное уменьшение расчетных усилий по сравнению с принятыми схемами, рассматривающими обделку в условиях свободной деформации. Свойства пород, окружающих тоннельную обделку, с течением времени

под воздействием различных факторов могут меняться, тем самым, изменяя условия статической работы обделки. Некоторые разновидности известняков и полевошпатовых пород под влиянием процессов выветривания могут быстро разрушаться, увеличиваясь при этом в объеме, и оказывать на обделку давление разрушительного характера. Значительное (свыше 30%) увеличение объема породы при увлажнении и нагрузок на обделку могут вызвать химические процессы, имеющие длительный характер и оказывающие вредное воздействие на условия работы тоннельной обделки в течение десятков лет. Влияние гидрогеологических условий на тоннельные конструкции может проявиться в виде дополнительной гидростатической нагрузки. Подземные воды, как правило, понижают прочность и устойчивость горных пород. Некоторые из них, такие, как мергели, глины и пески, в присутствии воды становятся крайне непрочными, иногда даже превращаются в пльвуны. Вредное воздействие подземных вод на тоннельные конструкции проявляется также в виде фильтрации через тело обделки, растворения карбоната и гидрата окисей кальция и выщелачивания их из бетона, что в значительной мере снижает его прочность. Сейсмические силы, возникающие в горном массиве при землетрясениях, могут также в ряде случаев являться причиной значительных деформаций, а иногда и разрушения тоннельной обделки. Особенно интенсивно сказывается сейсмическое воздействие на порталах и входных участках тоннеля, а также на тоннелях, имеющих небольшую глубину заложения.

2. *Геометрические параметры и конструктивные характеристики тоннелей* (длина, поперечное сечение, план, продольный профиль; материал и конструкция обделки, порталов, ниш; гидроизоляция, водоотводные и дренажные сооружения и др.) имеют весьма существенное значение для условий эксплуатации железнодорожных тоннелей.

Условия проветривания тоннеля с естественной вентиляцией в основном зависят от его геометрических параметров. Чем длиннее тоннель, тем затруднительней становится обмен воздуха и тем интенсивнее воздействие вредных газов на материал обделки. Размеры поперечного сечения тоннеля в этом отношении оказывают обратное влияние: в двухпутных тоннелях концентрация вредных газов при прочих равных условиях меньше, однако в однопутных тоннелях в большой степени сказывается поршневое действие проходящих поездов.

Несмотря на современные конструктивные решения, тоннели требуют постоянного и тщательного надзора, выполнения всех требований содержания и своевременного текущего ремонта. Это особенно касается тоннелей, расположенных в суровых климатических и грунтовых условиях. В несущих конструкциях возникают трещины, нарушается гидроизоляция, засоряются, замерзают и выходят из строя дренажные и водоотводные сооружения и т. п. Конструктивные характеристики отражают фактическое состояние и очертание тоннельного сооружения по сравнению с проектным. Случайные отступления от проекта в пределах нормы допускаются. Так, например, обделка, толщина которой превосходит проектные размеры за счет укладки бетона в переборы, или укладка в конструкцию бетона более высокой марки может в значительной степени повысить прочность, устойчивость и долговечность сооружения. Излишки же профиля обделки, распределенные неравномерно по ее периметру, особенно в сводовой части, приводят к увеличению сосредоточенных нагрузок от собственного веса и обуславливают местные перенапряжения и появление трещин. Отступления от кругового очертания в сборных обделках заметно снижают их несущую способность.

Наличие пустот за тоннельной обделкой зависит от геологических факторов и качества строительства, в первую очередь от тщательности нагнетания цементно-

песчаного раствора в заобделочное пространство. Заполнение пустот создает плотный контакт между породой и обделкой, обеспечивает более равномерную передачу горного давления, улучшая условия статической работы конструкции и существенного влияния на величину упругого отпора породы. Заобделочные пустоты возникают вследствие недостаточного заполнения заобделочного пространства в процессе строительства, а также в результате постепенного гниения оставленной за обделкой деревянной крепи или забутовки переборов и вывалов. Такие пустоты со временем могут в значительной степени ухудшить условия работы обделки, вызвать существенные деформации и привести к образованию трещин.

3. *Эксплуатационный режим тоннеля* (род тяги и интенсивность движения поездов) оказывает немаловажное влияние на условия работы всего сооружения. Особенно неблагоприятной в этом отношении является паровая тяга, при которой газообразные продукты сгорания топлива в паровозных топках исключительно вредно воздействуют на материал обделки. В этом случае наиболее сильному химическому и термическому воздействию оказывается подверженный свод, т. е. самая ответственная часть обделки. При тепловозной тяге количество выделяющихся газов меньше. Однако и в этих условиях может происходить химическое выветривание, приводящее к разрушению и отслаиванию материала обделки. При электрической тяге на тоннельное сооружение вредное воздействие оказывают блуждающие токи, вызывающие коррозию чугуна и арматуры в обделках, элементах верхнего строения пути, а также всех остальных металлических конструкций, монтируемых в тоннеле. Все перечисленные воздействия, связанные с родом тяги, в количественном отношении зависят от числа поездов, проходящих через тоннель. Поэтому степень их вредного воздействия находится в прямой зависимости от интенсивности движения поездов.

4. *Появление и развитие дефектов в конструкциях тоннелей.* Многочисленные наблюдения за состоянием тоннелей показали, что в их обделках возникает множество видов разнообразных по характеру повреждений. Из большого разнообразия отдельных видов повреждений в обделках тоннелей наиболее часто встречаются следующие дефекты: продольные и поперечные трещины, косые трещины, сквозные и несквозные вывалы.

При диагностике состояния эксплуатируемых тоннелей, помимо выявления характера повреждений, необходимо также определять степень развития дефектов и наметить первоочередные мероприятия по их ликвидации. Основные факторы, влияющие на нормальную эксплуатацию тоннелей, причины их возникновения и оценка состояния сооружения могут быть представлены в табличной форме (табл. 1) и занесены в тоннельную книгу.

Перечисленные неисправности в зависимости от их характера и объема могут быть устранены как в процессе текущего ремонта, так и при капитальном ремонте, реконструкции или восстановлении тоннеля. Индексация и обозначения дефектов дают возможность в наглядной форме записать сведения о состоянии сооружения. При классификации дефектов за основу берется обделка подковообразного типа, конструкция которой условно разделена на пять элементов (рис. 48).

Правилами и указаниями Главного управления пути ГАЖК установлен единый для всей сети железных дорог РУз порядок осуществления технического надзора и контроля за состоянием земляного полотна, верхнего строения пути и всех искусственных сооружений, включая тоннели и галереи.

Основной задачей технического надзора за тоннельными сооружениями является предупреждение появления каких-либо неисправностей в обделке, пути, водоотводных и других тоннельных

Таблица 1

Цифры индекса														
первая	вторая	третья							четвертая				Индекс дефектов	
Наименование элемента конструкций	Наименование дефекта	Причины дефекта												Состояние дефектов конструкций (для всей обделки)
		Горное давление	Мороз, пучение	Обвалы, землетрясения	Недостатки изысканий	Недостатки проектирования	Недостатки строительства	Недостатки содержания, ремонта	Неровное	Неудовлетворительное	Удовлетворительное	хорошее		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1. Свод	1. Продольная трещина													
	2. Косая трещина													
	3. Поперечная трещина													
	4. Сквозной вывал		+								+			1422
	5. Несквозной вывал													
2. Стены	1. Продольная трещина													
	2. Косая трещина													
	3. Поперечная трещина													
	4. Сквозной вывал													
	5. Несквозной вывал										+		+	2573
3. Фундаменты	1. Просадка													
	2. Пучение													
	3. Сдвиг	+									+			3312
	4. Разрушение подошвы													
	5. Разрушение обреза													

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4. Обратный свод	1. Продольная трещина												
	2. Косая трещина												
	3. Поперечная трещина						+					+	4264
	4. Сквозное разрушение												
	5. Несквозное разрушение												
5. Вся обделка	1. Продольные трещины в своде и стенах												
	2. Косые трещины от фундамента к замку												
	3. Поперечные трещины от фундамента к замку												
	4. Уменьшение ширины тоннеля												
	5. Уменьшение высоты тоннеля												
	6. Полное разрушение обделки тоннеля					+				+			5632

Примечания:

1. Четырехзначный индекс расшифровывается следующим образом: первая цифра индекса указывает элемент конструкции, вторая – наименование дефекта, третья – причину его возникновения, четвертая – состояние названного элемента конструкции или всей обделки.

2. Состояние элементов конструкции или всей обделки оценивают следующим образом: цифрой 1 указывают аварийное состояние (в обделке сильно развиты трещины, их раскрытие увеличивается, а размеры в свету уменьшаются или произошло полное разрушение конструкции); цифрой 2 – неудовлетворительное (наличие в кладке сквозных вывалов или трещин с шириной раскрытия более 0,2 мм; цифрой 3 – удовлетворительное (наличие в кладке небольших несквозных вывалов и усадочных трещин раскрытием не более 0,2 мм; цифрой 4 – хорошее (наличие в кладке поперечных трещин и волосяных усадочных трещин).

обустройствах, выявление причин, вызывающих эти неисправности и их быстрейшее устранение. Руководство и контроль за правильным и своевременным проведением технического надзора и осмотров возлагается на начальника дистанции пути.

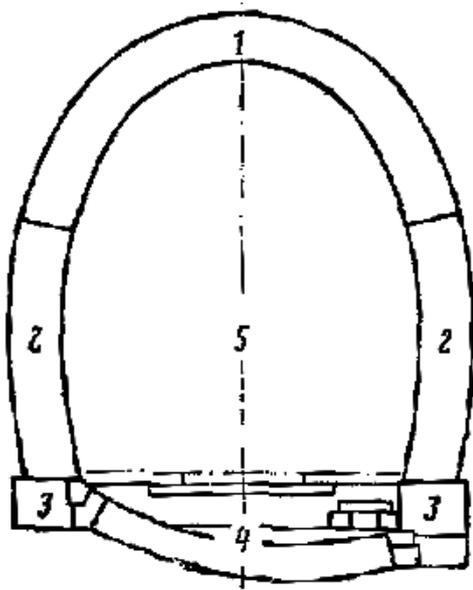


Рис. 48.
Условное наименование элементов
тоннельной конструкции:
1 – верхний свод, 2 – стены,
3 – фундаменты, 4 – обратный свод; 5
– вся обделка

Постоянный технический надзор за состоянием тоннелей. Такой надзор осуществляется непрерывно в течение всего года обходчиками железнодорожных путей и искусственных сооружений по сменным графикам, составляемым дистанцией пути и утверждаемым начальником отделения дороги. Этими графиками определяются границы обхода, время прохода с осмотрами – в тоннеле и на подходах к нему, и время на производство мелких текущих работ на отдельных участках, выделяемое, как правило, в окно.

Основной задачей постоянного технического надзора является своевременное выявление и немедленное устранение всех неисправностей, создающих угрозу для безопасности движения поездов. Постоянный технический надзор за состоянием тоннелей осуществляют дежурные обходчики и бригадиры пути, а также дорожные и тоннельные мастера в процессе выполнения своих основных обязанностей. Бригадиры пути лично не реже одного раза в неделю должны производить подробный осмотр пути в тоннеле с проверкой рельсовой колеи по уровню и шаблону. Данные еженедельных проверок состояния пути по уровню и шаблону заносятся в книги записи результатов проверок. Не реже одного раза в полмесяца сплошной смотр пути в тоннелях с проверкой его по уровню и шаблону производят и дорожные мастера.

Текущие осмотры. Основной задачей текущих осмотров является выявление дефектов в обделке и прочих тоннельных устройствах, установление причин их возникновения, тщательная проверка состояния деформирующихся элементов, взятых под постоянное наблюдение, проверка качества и эффективности выполнения и планирования ремонтных работ. Тоннельные мастера, координируя повседневную работу обходчиков, бригадиров пути и дорожных мастеров по осуществлению постоянного надзора за состоянием тоннелей, производят текущие осмотры тоннелей, как правило, в конце каждого месяца, приурочивая их обычно ко времени очередной проверки состояния пути. При наличии серьезных дефектов в обделке, взятой под особое наблюдение, и в периоды роста и спада пучин, а также интенсивных наледообразований текущие осмотры проводят не реже одного раза в неделю с занесением результатов в тоннельную книгу. Обнаруженные в процессе текущего осмотра трещины в обделке обмеряют и зарисовывают на развертке колец тоннеля (рис. 49), являющейся обязательным приложением к тоннельной книге.

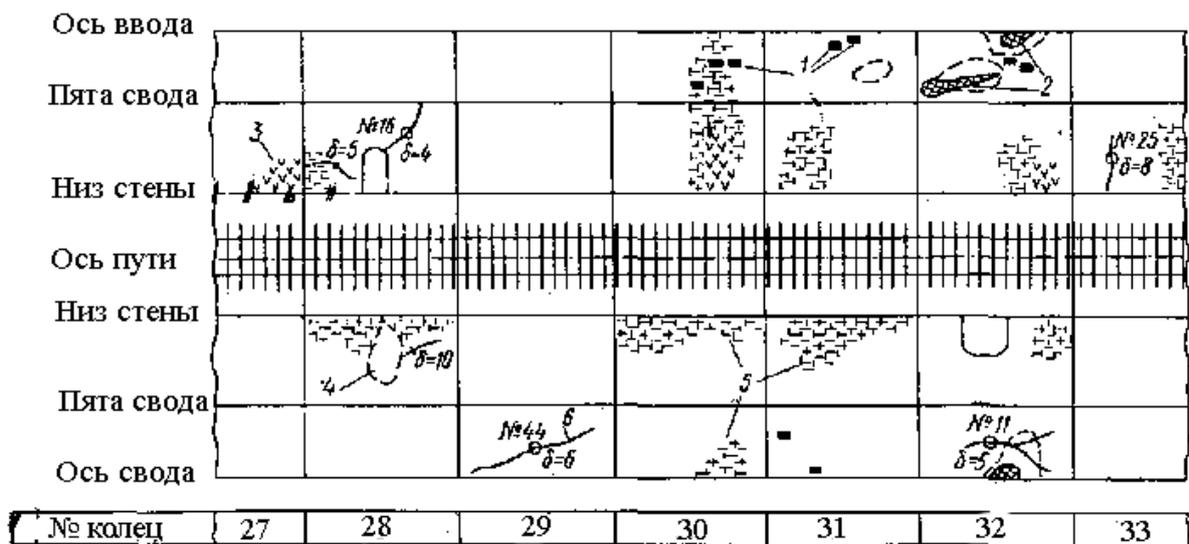


Рис. 49. Развертка тоннельной обделки с нанесенными дефектами: 1 – выпадение отдельных камней; 2 – вывалы из кладки; 3 – поверхностное разрушение кладки; 4 – места бурения при отстукивании; 5 – пустоты в швах; 6 – трещины с показом размеров их раскрытия в мм и № установленных маяков

Состояние обделки проверяют визуально и выборочным отстукиванием сомнительных мест с передвижных или переносных подмостей и приставных лестниц. При текущих осмотрах составляют график обводненности колец, тоннеля, замеряют дебит воды в лотках и у выходов дренажных штолен, а также проверяют состояние поверхностного водоотвода и устойчивость откосов предпортальных выемок. Характер и степень обводненности тоннельной обделки устанавливаются следующими определениями:

- влажная обделка, когда стены и свод кольца покрыты сыростью, без водяной пленки;
- мокрая обделка, когда выступает водяная пленка, без образования и падения капель;
- капеж, когда выступающая вода образует единичные капли;
- течь, когда капли сливаются и переходят в сплошные струи.

Периодические осмотры. Периодические осмотры проводятся для детальной проверки технического состояния тоннеля и всех его устройств. При осмотре проверяют состояние обделки с передвижных подмостей, устанавливаемых на железнодорожной платформе, оборудованной габаритной рамой и освещением. При обнаружении деформаций в стенах и своде тоннеля делают инструментальную съемку поперечных сечений внутреннего очертания колец тоннеля, а также нивелировку по обрезу фундаментов стен, рельсам и дну водоотводного лотка. Периодические осмотры тоннелей производятся начальником дистанции пути или его заместителем совместно с тоннельными и дорожными мастерами не реже двух раз в год, а также немедленно после каждого землетрясения силой 6 баллов и более. Периодически, примерно один раз в 5 лет, состояние тоннелей проверяется тоннельно – или мостоиспытательной станцией, а именно: правильность положения кривых в плане, состояние ниш и камер как слабых мест в тоннельной обделке, оголовки и порталы, кладка которых в наибольшей мере подвергается разрушительным процессам выветривания, эффективность работы имеющихся водоотводных и дренажных устройств.

Специальные обследования. При возникновении серьезных деформаций в

стенах и сводах тоннелей и предпортальных выемках или при наступлении резких изменений гидрогеологических условий горного массива, а также перед осуществлением капитального ремонта или реконструкции сооружения силами тоннельнообследовательской станции дороги тоннели подвергают специальным обследованиям. Задачами этих обследований являются: определение общего состояния тоннеля, его обустройств, установление методики и программы дальнейших наблюдений за деформирующимися элементами тоннеля, геологическими, гидрогеологическими явлениями и горным давлением, составление заключений по характеру и способам устранения происходящих деформаций и определение ориентировочного объема и производства ремонтных работ или реконструкции тоннеля. К участию в работах по специальным обследованиям тоннелей привлекают геологов, гидрогеологов, климатологов, сейсмологов, а также научно-исследовательские и проектные институты.

Обследование тоннельной обделки производят по каждому кольцу в отдельности, а при отсутствии поперечных швов обделку условно разбивают на участки длиной 5 или 10 м, все результаты обследования заносят в специальный журнал. Стены и свод тоннеля осматривают с передвижных или переносных подмостей и лестниц. При необходимости бурят шпуров или производят выемку образцов кладки для определения ее состояния и толщины обделки, а также состояния заобделочного пространства и породы. Фундаменты стен, обратные своды, распорные плиты, бетонную подготовку обследуют из шурфов и прорезей, закладываемых по обочинам или в балластной призме, не реже чем через 50 м. Габаритность тоннеля определяют съемкой поперечных сечений обделки по всему периметру. При обследовании водоотводных лотков в тоннеле и в предпортальных выемках фиксируют их конструктивные особенности, уклоны, поперечные сечения, общее состояние, сезонные расходы воды, наличие заиливающихся мест и условия их работы в зимнее время. В процессе обследования дренажных сооружений и устройств определяют их общее состояние и эффективность работы. Одновременно при обследовании тоннелей проверяют состояние ниш, камер и их внутренние размеры, определяют состояние пути и всех других тоннельных обустройств. Результаты обследований оформляют в виде отчетов, представляемых в службу пути дороги с приложением к ним необходимых графиков и чертежей.

2. Техническая диагностика тоннельных сооружений и обустройств

Основной целью технической диагностики тоннелей является получение сведений о состоянии тоннельного сооружения, а также о характере, динамике и интенсивности возможных повреждений и деформаций отдельных элементов его конструкции и горного массива под влиянием ряда факторов. Для этого выполняют периодические и постоянные наблюдения в сроки и порядке, устанавливаемые дистанцией пути или по программам и методикам, разрабатываемым службой пути дороги. Материалы этих наблюдений оформляют в виде ведомостей, таблиц, графиков, планов и схем, их подписывают исполнители. При технической диагностике железнодорожных тоннелей выполняют следующие мероприятия:

1. *Выявление трещин и деформаций кладки обделки.* В первую очередь устанавливают наиболее слабые участки обделки – места появления трещин, расслоений материала кладки, выпучиваний, обильной течи и частых ослаблений каменной кладки, приводящих к выпадению отдельных камней. Эти места наносят на развертку тоннельной обделки (см. рис. 49) с указанием даты их обнаружения. При этом особое внимание необходимо уделять тщательности зарисовки трещин.

Наблюдения за ростом и характером развития трещин, появившихся в тоннельной обделке, ведут при помощи цементных или гипсовых маячков, устанавливаемых примерно через 1 м по всей длине трещины. Маячки представляют собой плоские перемишки, накладываемые на кладку с таким расчетом, чтобы исследуемая трещина проходила примерно в их средней части. На их поверхности обозначают дату и порядковый номер. Дальнейшее развитие исследуемой трещины определяют по размерам и направлениям возникающих разрывов. В некоторых случаях взамен маячков применяют две металлические пластинки. На одной из них наносят риску, а на другой – миллиметровые деления, по которым и следят за дальнейшим развитием трещин. При нарастании деформаций выполняют нивелировку по маркам, закладываемым в обделке тоннеля. Для точного измерения деформаций, происходящих в тоннельной обделке, применяют индикаторы часового типа точностью до 0,01 мм (рис. 50).

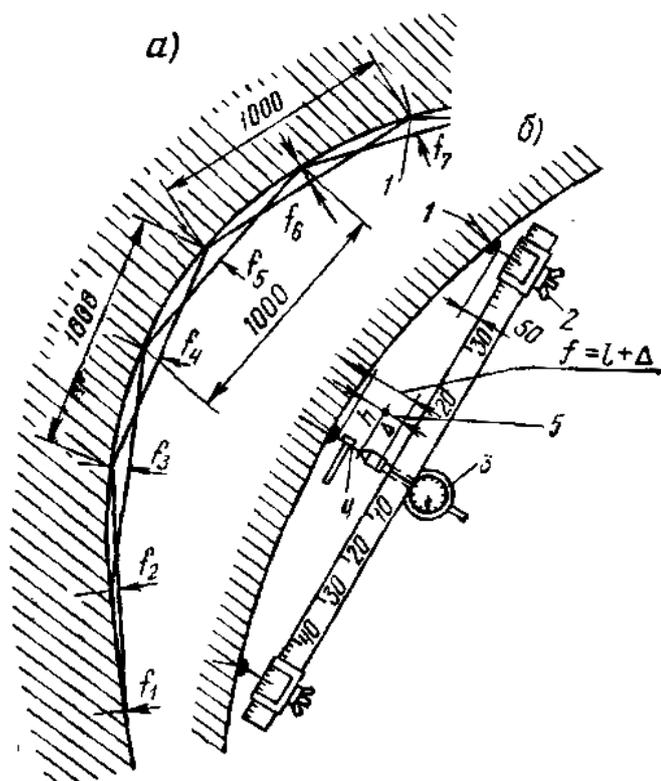


Рис. 50. Измерение деформации свода:
а – схема измерений;
б – установка линейки индикатора;
 1 – штыри;
 2 – подвижная обойма;
 3 – индикатор;
 4 – шаблоны;
 5 – диапазон отсчетов по индикатору (отсчеты в мм)

Серьезную опасность для цельности обделки создают заобделочные пустоты, их обнаруживают по возникающему в местах пустот при отстукивании кладки обделки характерному глухому звуку, называемому в тоннельной практике «бунением кладки».

2. *Наблюдения за обводненностью тоннеля.* Основными задачами наблюдений за обводненностью тоннелей и их гидрологическим режимом являются:

- изучение колебаний притока подземных вод по протяжению тоннеля и по временам года, периодам выпадения атмосферных осадков и таяния снежного покрова;
- установление степени агрессивности подземных вод, их термального режима, влияющих на прочность кладки обделки и продолжительность срока службы материалов верхнего строения пути и кабельного хозяйства;
- изучение условий и интенсивности наледеобразований и пучин, способствующих разрушению кладки обделки и создающих серьезную угрозу для безопасности движения поездов.

Зависимость количества проникающих в тоннель подземных вод и выводимых по тоннельному лотку от выпадающих атмосферных осадков, состояния снежного

покрова, температурных условий и других внешних факторов устанавливают проведением наблюдений за этими явлениями в течение двух-, трехлетнего периода, а результаты наблюдений оформляют в виде графиков. Возможность поступления поверхностных вод к тоннельной обделке устанавливают и наблюдениями за временем и путями фильтрации этих вод через надтоннельную толщу породы. Для этой цели на поверхности над тоннелем в приямки, заполняемые водой, добавляют концентрат стойкого красителя. Затем наблюдают за временем выхода окрашенных вод в тоннеле, измеряя при этом их расход. Продолжительность этих наблюдений зависит от фильтрационных свойств грунтов, наличия водоносных пластов, трещин в породе, протяжения пути фильтрации и может быть весьма различной – от 30 мин до нескольких суток.

1. *Изучение деформаций горного массива, прорезаемого тоннелем.* Долговечность тоннеля и его состояние во многом зависят от свойств и условий залегания пород прорезаемого тоннелем горного массива и особенностей его гидрогеологических условий. Наибольшая опасность возникает для тоннелей, заложенных на небольшой глубине под действующими оползнями или неустойчивыми горными склонами; косогорных тоннелей, расположенных в непосредственной близости от крутых склонов, при ограниченной ширине грунтового целика; тоннелей, расположенных в районах распространения карстовых пустот и в зонах значительных нарушений тектонического характера. Оценку отрицательных последствий этих факторов на стояние тоннелей осуществляют путем проведения периодических нивелировок реперов, установленных в характерных точках надтоннельной поверхности, а также посредством закладки разведочных шурфов или бурения скважин для выявления карстовых пустот и установления гидрологического режима грунтового массива.

Наиболее распространенным в эксплуатационной практике видом наблюдений за состоянием прорезаемого тоннелем горного массива являются наблюдения за характером и интенсивностью оползневых смещений на склонах. Наблюдать за смещением породы надтоннельного массива можно по глубинным реперам. Эти реперы представляют собой отрезки металлических труб длиной от 0,5 до 1,0 м, расположенные с промежутками около 0,5 м в пробуренных до коренных несмещающихся пород скважинах. К каждому отрезку приварен металлический трос, верхнюю часть которого, выведенную на дневную поверхность, наматывают с некоторым запасом длины на барабан, расположенный в специальной коробке в устье скважины (рис. 51).

По мере смещения отдельных отрезков труб происходит размотка тросов на соответствующих барабанах коробки, суммарная длина размотанной части тросов и позволяет узнать о характере глубинного среза смещений. В тоннеле, заложенном на небольшой глубине под смещающимися толщами пород, наблюдения ведут через проходимые рядом с тоннелем вертикальные выработки, в которых подвешивают отвес (рис. 52).

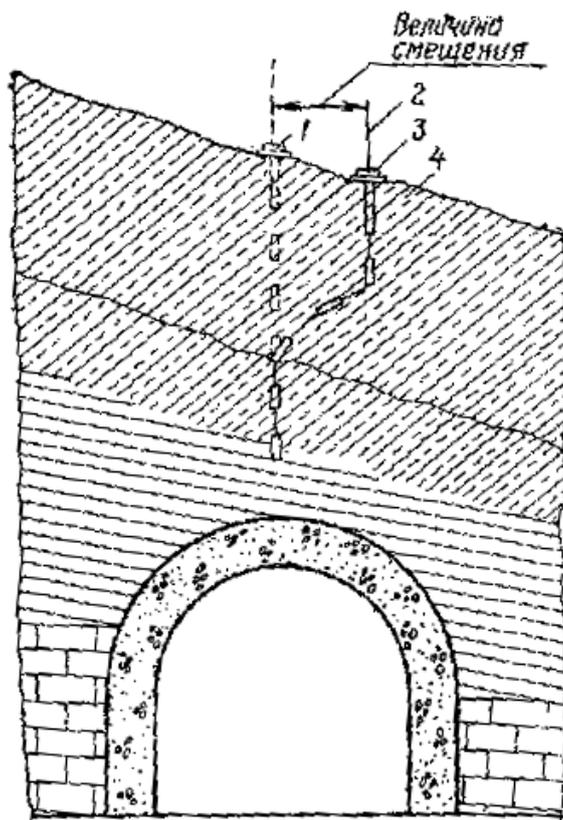


Рис. 51. Глубинный репер над тоннелем:
 1 – положение до смещения; 2 – вешка;
 3 – положение после смещения;
 4 – смещающаяся толща породы

По отклонениям этого отвеса, закрепленного в толще смещающихся пород, судят об оползневых явлениях в массиве. Наблюдения за общим состоянием надтоннельной земной поверхности осуществляют визуальным осмотром, сличением имеющихся топогеодезических планов поверхности с натурными условиями для установления происходящих изменений и с нанесением на них при очередных осмотрах вновь выявляемых западин рельефа, бугров, выпирания грунтов, поверхностных трещин, провальных воронок, родников и прочих изменений. Кроме того, на сличаемых с натурой планах следует показать все происходящие изменения в условиях землепользования на надтоннельной поверхности, например, вырубку леса или кустарника, распашку площадей, отсыпку насыпей, укладку водопроводных линий, канав. Изучение и анализ материалов таких осмотров, и сличение съемки прошлых лет с натурой могут в значительной мере способствовать распознаванию причин деформаций, возникающих в тоннелях.

Важным объектом наблюдений на поверхности являются водоотводные и дренажные устройства, исправность работы которых оказывает существенное влияние на состояние и продолжительность срока службы всех тоннельных обустройств. Задачами наблюдений за водоотводными устройствами являются: установление достаточности их сечений и укреплений для пропуска ливневых вод с бытовыми скоростями, выявление признаков инфильтрации стекающих по ним вод в грунтовую толщу и признаков оврагообразований. Наблюдения за работой дренажных устройств носят постоянный характер и состоят в проведении систематических замеров расхода вод, выводимых на дневную поверхность или к тоннельному лотку. Расход этих вод измеряют мерными сосудами с отсчетом времени их заполнения по секундомеру. При больших расходах такие замеры выполняют при помощи переносных водосливов.

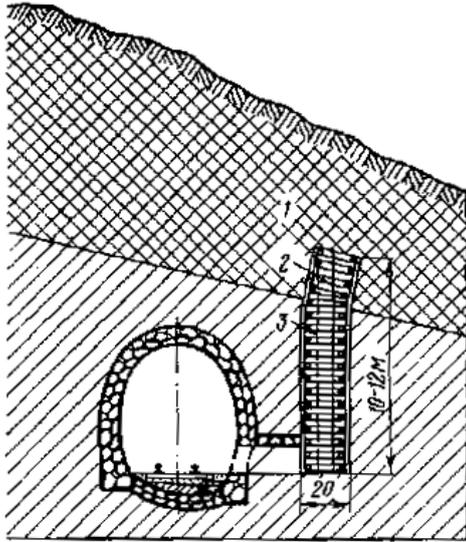


Рис. 52.
Вертикальная выработка для наблюдений за глубинным развитием оползня:
1 – смещающаяся толща пород;
2 – положение отвеса в выработке после смещения; 3 – положение отвеса до смещения

По данным наблюдений за дебитом дренажных вод составляют многолетние графики, позволяющие своевременно установить выход из строя того или иного дренажного устройства и принять меры к его восстановлению. Результаты наблюдений за обводненностью тоннелей, оформляемые в виде годовых и многолетних графиков, позволяют при проектировании осушительных мероприятий наметить наиболее рациональные и правильные решения, а после их осуществления выявить достигнутую эффективность осушения.

5. Наблюдения за габаритами тоннеля. Внутреннее очертание как однопутных, так и двухпутных железнодорожных тоннелей должно удовлетворять установленным габаритам приближения строений, т. е. предельному поперечному перпендикулярному оси очертанию, внутрь которого не должны заходить никакие части сооружений и устройств. Наружное очертание локомотивов и вагонов также регламентировано габаритом подвижного состава. Между очертаниями габаритов приближения строений и подвижного состава имеется зазор, учитывающий допуски на неточности при постройке сооружений, положения пути и подвижного состава, на колебания вагона и локомотива во время движения. С 1 июля 1973 г. утверждены и введены в действие Габариты приближения строений и подвижного состава, железных дорог колеи 1520 (1524) мм по ГОСТ 9238–73, (Приложение 1). Этим же стандартом установлены величины свободных зазоров между габаритом подвижного состава и наименьшим положением контактного провода, между токонесущими частями контактной подвески и очертанием обделки тоннеля (Приложение 2).

Уширение габарита приближения строений в кривых. На кривых участках габарит приближения строений необходимо увеличивать, так как при прохождении кривых концы и середина вагона выносятся в стороны от оси, и вагон наклоняется в соответствии с возвышением наружного рельса над внутренним. Нормальные измерения размеров габарита приближения строений С на перегонах на кривых участках пути определяются по специальным таблицам.

Проверка габарита тоннеля. Инструкцией по перевозке грузов, негабаритных и погрузенных на транспортеры, по железным дорогам колеи 1524 мм установлены габарит погрузки и пять степеней негабаритности (Приложение 3). Возможность перевозки негабаритных грузов через тоннель проверяют с помощью деревянной рамы, выполненной по очертанию одной из степеней негабаритности и установленной на железнодорожной платформе (рис. 53). Проверку габарита тоннеля выполняют, как правило, при помощи габаритной рамы, специального транспорта, тоннельного

тахеометра и оптического габаритомера. Габаритную раму монтируют на железнодорожной платформе. Она должна быть исправна, иметь гребни бандажей колесных пар, ходовые части не должны быть изношены. Наружное очертание по верхним концам основных стоек и боковым граням крайних стоек должно соответствовать габариту 1–Т подвижного состава для вагонов. На габаритной раме, соответствующей габариту 1–Т, устанавливают в перпендикулярном к оси пути положении отгибающиеся части рамы.

Наружное очертание отгибающихся частей габаритной рамы принимают по габариту 1–С, 2–С или С в зависимости от того, по какому габариту был построен проверяемый тоннель.

Такой порядок проверки габарита тоннеля установлен с целью обеспечения пропуска негабаритных грузов той или иной степени. Несколько иначе производят проверку габаритности тоннеля при уточнении размеров внутреннего очертания подземной конструкции. Для решения этой задачи предварительно на поверхности стен тоннеля отмечают мелом или известью места поперечных сечений через каждые 5 м чертят в журнале схематический план тоннеля на уровне головок рельсов и на нем отмечают пикетаж поперечников в тоннеле; на каждый поперечник составляют по данным проверки карточку.

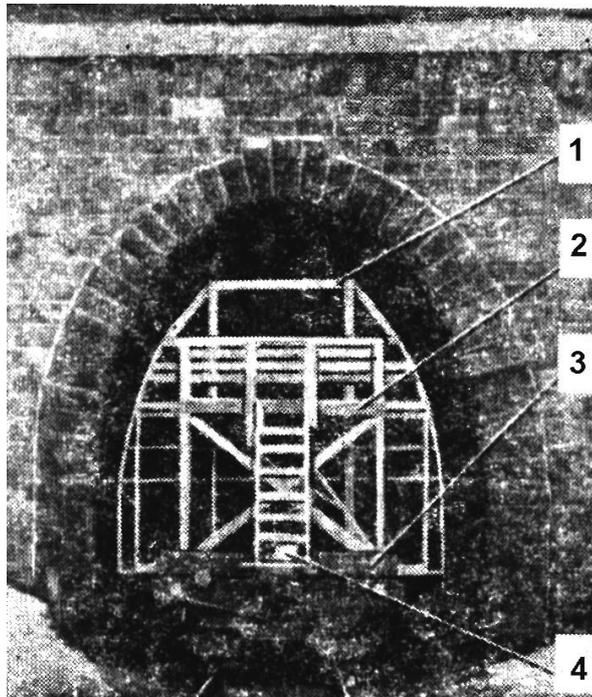


Рис. 53.
 Платформа с рамой негабаритности в тоннеле: 1 – рама с очертанием негабаритности IV степени; 2 – подмости для наблюдения за перемещением платформы с рамой; 3 – железнодорожная платформа; 4 – лестница

Технология съемки сечений при помощи габаритной рамы такова: плоскость габаритной рамы с очертанием габарита 1–Т совмещают с плоскостью отмеченного на поверхности тоннельной обделки поперечника; при помощи мерных реек измеряют расстояния от наружного очертания стоек габарита 1–Т до поверхности кладки через каждые 0,5 м по высоте. Затем в масштабе 1:50 строят поперечные сечения. Скорость движения платформы с габаритной рамой при проверке габарита не более 5 км/ч; сечения снимают со стоянки (рис. 54). Для съемки поперечного сечения, измерения ширины колеи и возвышения головки наружного рельса над внутренним используется транспортёр (изготавливаемый из плексигласа, целлулоида, дюралюминия или из трехслойной фанеры), который крепится к путевому шаблону. Это позволяет также измерять ширину колеи и возвышение головки наружного рельса над внутренним. По

краю полуокружности транспортира через полградуса наносят угловые деления. Съёмку внутреннего очертания тоннельной обделки при помощи транспортира выполняют методом полярных координат путем определения положения каждой точки по величине радиуса–вектора, т. е. расстояния от центра транспортира до обделки, и угла наклона этого радиуса относительно горизонта. Расстояние от центра транспортира до искомой точки обделки измеряют стальной лентой, прикрепленной к концу шеста вместе с капроновой нитью. Капроновая нить, натянутая между искомой точкой на поверхности тоннельной обделки и центром транспортира, позволяет отсчитывать величину угла и контролировать положение искомым точек в плоскости снимаемого поперечника. На поверхности обделки снимают не менее 25...30 точек для однопутного и 40...45 точек для двухпутного тоннеля. Перед построением поперечного сечения полярные координаты пересчитывают в прямоугольные с тем, чтобы иметь абсолютные отметки характерных точек обделки, позволяющие судить о наличии или отсутствии просадок.

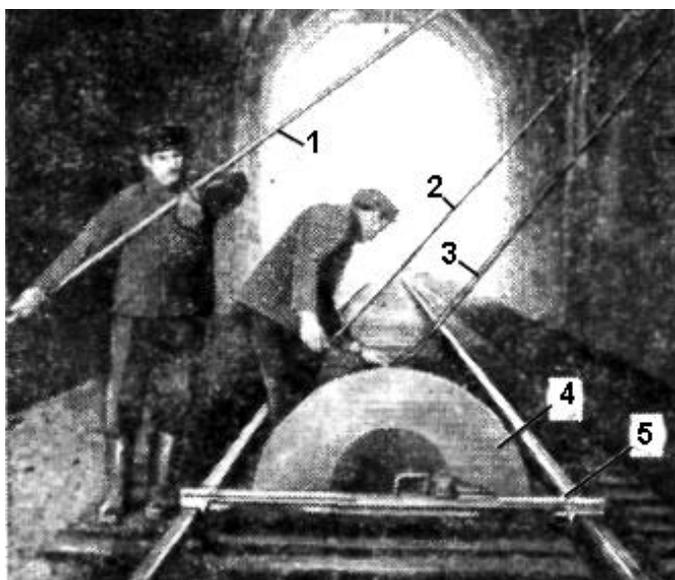


Рис. 54.
Съёмка сечения тоннеля с помощью транспортира: 1 – бамбуковый шест; 2 – капроновый шнур; 3 – металлическая рулетка, прикрепленная нулевым делением к концу шеста; 4 – транспортир из плексигласа; 5 – путевой шаблон

Совмещение оси абсцисс с линией, проходящей по уровню головок рельсов, имеющих абсолютные отметки, а оси ординат с осью полигонометрического хода, закрепленного металлическими знаками вдоль тоннеля, позволяет начерченное в масштабе поперечное сечение внутреннего очертания обделки тоннеля сравнивать с последующими промерами и судить о габарите и стабильности сооружения во времени.

Точность съёмки сечений транспортиром ± 2 см, продолжительность съёмки одного сечения 10...15 мин; выполняют съёмку три человека. После камеральной обработки результатов съёмки в полученный контур поперечного сечения вписывают действующий габарит, в точках перелома габарита – на высоте 1230, 4100 и 5300 мм от головки рельса – слева и справа от оси измеряют величину зазора между очертанием габарита и обделкой тоннеля; эти величины заносят в специальную ведомость. Аналогичным образом обрабатывают все измеренные поперечные сечения. По полученным данным строят график негабаритности тоннеля (рис. 55). Если тоннель находится на кривом участке пути, то прежде, чем вписывать очертание габарита, необходимо определить уширение, как с внутренней, так и с наружной стороны кривой.

Тоннельный тахеометр ТТМ предназначен главным образом для маркшейдерских измерений. Его отличают простота конструкции, повышенная точность, легкость установки и обслуживания. Прибор позволяет делать съёмку поперечных сечений электрифицированных тоннелей без снятия напряжения в

контактных проводах и не мешая движению поездов.

Тахеометр ТТМ включает оптический проекционно-визуальный дальномер с внутренним постоянным базисом и механическое устройство для установки и измерения вертикальных и горизонтальных углов поворота дальномера. Результаты измерений фиксируются в полярной системе координат, начало которой расположено на вертикальной оси прибора. Угловые координаты отсчитывают с помощью механического устройства, а радиус-вектор точки, до которой измеряется расстояние, определяют с помощью дальномера. Дальномер рассчитан для измерений в интервале 2...15 м, т. е. для расстояний, требующих фиксирования зрительной трубы.

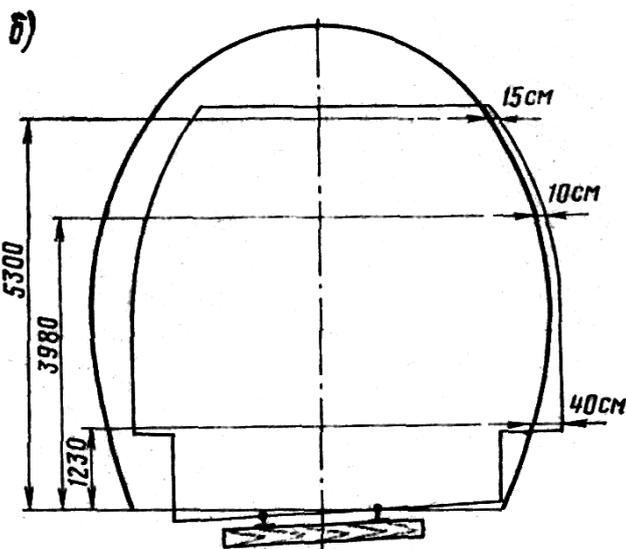
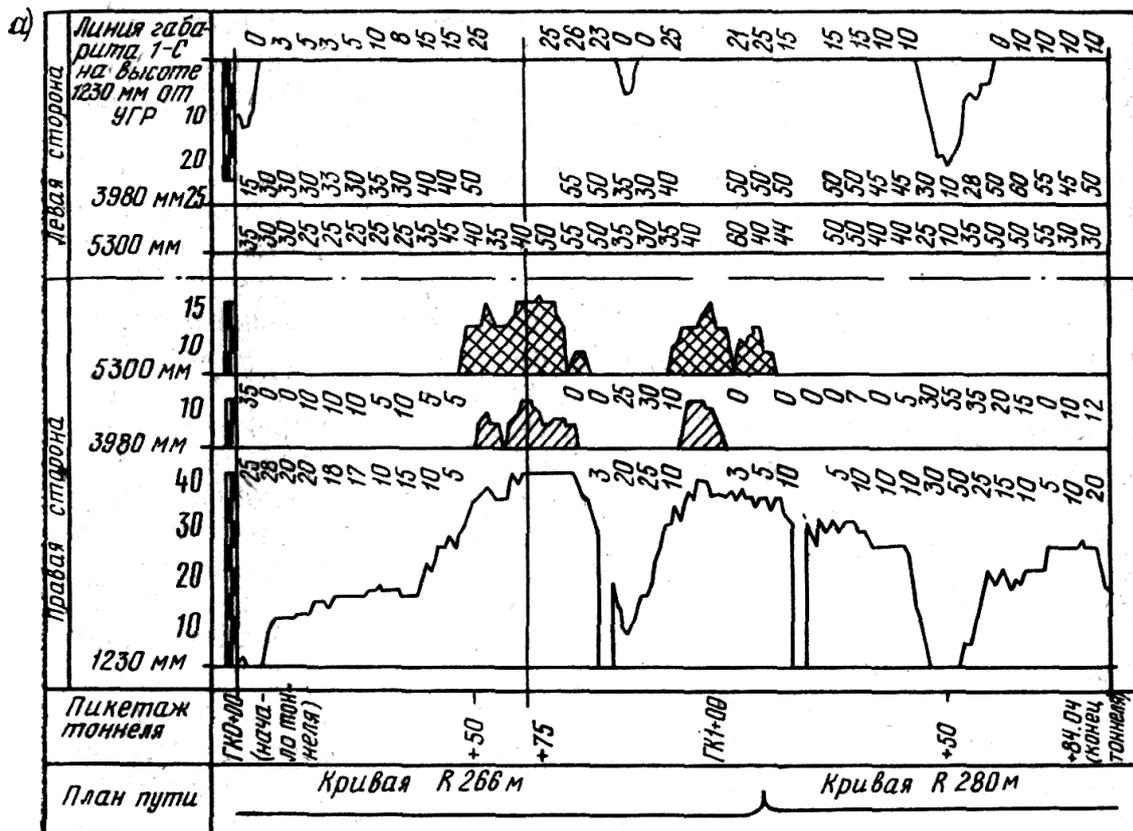


Рис. 55. График негабаритности тоннеля: а – в продольном направлении; б – в поперечном разрезе на пикете 0 + 75

Оптическая схема дальномера (рис. 56) содержит две симметричные ветви: проекционную и визуальную. Проекционную ветвь составляют объектив 1, система

зеркал 2,3, 4, сетка со штрихом 5 и лампа 6. Визуальную ветвь составляют объектив 1', система зеркал 2', 3', 4', сетка с биссектором 5' и окуляр 7. Все элементы схемы, кроме зеркал 2 и 2', установлены неподвижно. Зеркала 2 и 2' закреплены на общей штанге и могут перемещаться вместе с ней вдоль оси симметрии прибора. Это перемещение зеркал используется для компенсации измеряемой величины и для фокусирования. Прибор работает следующим образом. Лучи света от лампы 6 проходят через сетку 5, отражаются последовательно зеркалами 3, 2, 4 и направляются в объектив 1.

Объектив 1 проектирует изображение сетки 5 на поверхность S , до которой измеряется расстояние. Лучи, отраженные поверхностью S , с помощью объектива 1' и зеркал 4', 2', 3' (перечислены по ходу луча) передают изображение сетки 5 на сетку 5' с биссектором в визуальной ветви прибора. Зеркальная система рассчитана так, что резкое изображение сетки 5 после проекционной ветви располагается в месте пересечения оси симметрии с поверхностью S , а в визуальной ветви оно совмещается с биссектором сетки 5'.

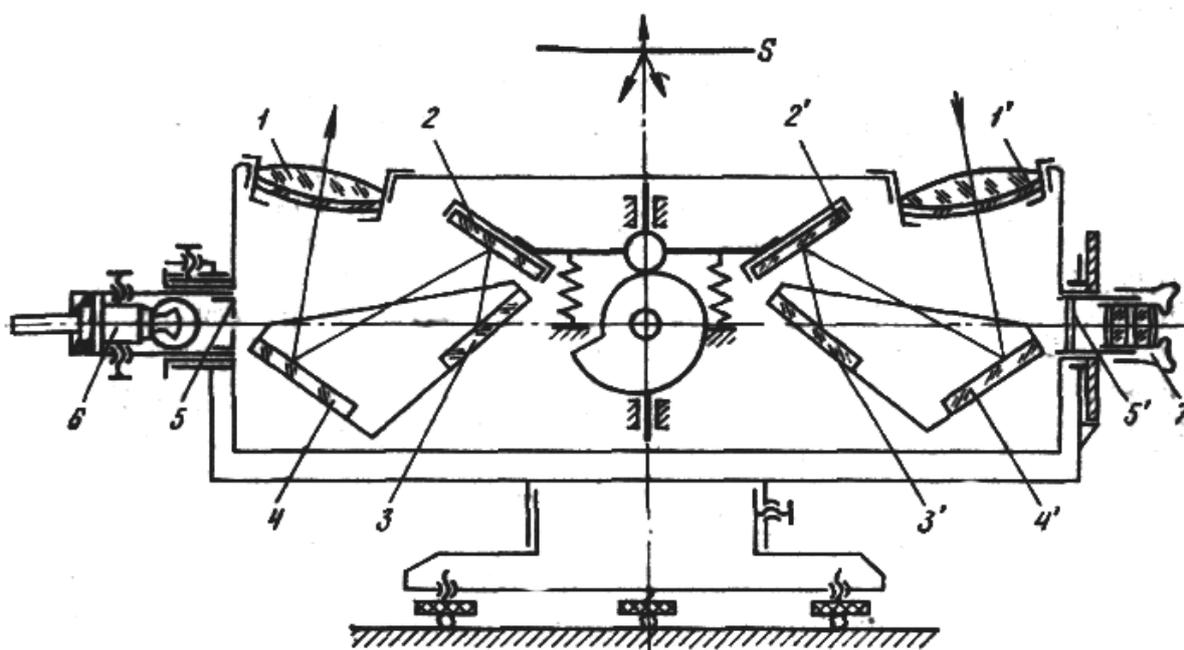
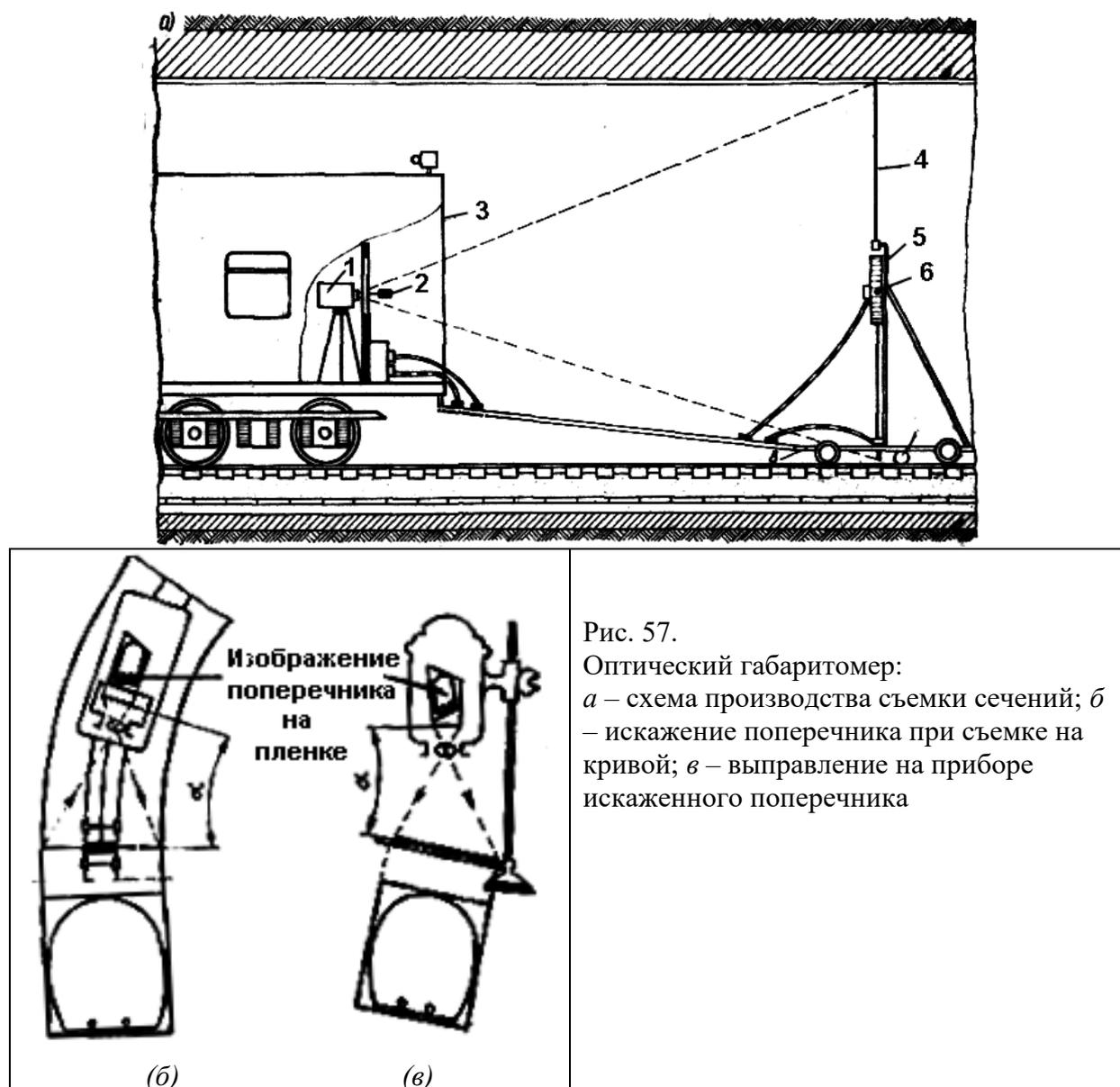


Рис. 56. Оптическая схема тахеометра ТТМ

Для определения расстояния до поверхности S требуется перемещением зеркал 2 и 2' вновь совместить изображение марки с биссектором и снять отсчет положения зеркал. Перемещение зеркал и изменение измеряемого расстояния связаны определенной функциональной зависимостью, вытекающей из законов геометрической оптики. Проекционно-визуальный дальномер с базисом 200 мм обеспечивает, измерение расстояний до 10 м с точностью ± 1 см. Продолжительность съемки одного сечения 10...15 мин.

Оптический габаритомер представляет собой передвижную установку для съемки сечений тоннелей и смонтированную в четырехосном вагоне (рис. 57,а). Принцип действия его заключается в следующем. Электрическая лампа 6 мощностью 1 кВт, помещенная в фонаре 5, имеющем 56 линз, устанавливается на тележке 8 перед вагоном 3 и создает световую плоскость перпендикулярно оси пути. Эта плоскость, пересекаясь с поверхностью тоннельной обделки, создает на ней световой контур 4,

соответствующий поперечному сечению тоннеля в данном месте. Контур вместе с прилегающей к нему поверхностью тоннельной обделки фотографируется кино- или видеокамерой 1, находящейся в вагоне.



Съёмка поперечного сечения тоннеля производится автоматически через каждый метр при перемещении вагона тепловозом или электровозом со скоростью 3...5 км/ч. Для подсчета и нумерации сечений служит счетчик 2, прикрепленный перед объективом кинокамеры, который связан с головкой рельса через ролик 7, имеющий поверхность катания длиной 1 м. Расшифровка киноплёнки обеспечивается при помощи снимаемых вместе с поперечником тоннеля четырех световых точек.

На прямых участках тоннеля, когда световая плоскость и плоскость объектива параллельны, фотоснимок получается без искажения. На кривом же участке между этими плоскостями образуется угол α и поперечное сечение тоннеля фотографируется с искажением, т. е. вместо масштабного прямоугольника получается трапеция (рис. 57,б). Но если этот снимок спроектировать на экран, повернутый по отношению к объективу специального фотоувеличителя на тот же угол α , но в обратную сторону, то изображение будет нормальным (рис. 57,в). Выправление искаженных снимков

производят при помощи специального прибора. При этом определяют величину зазора между очертаниями обделки и габаритом приближения строений в характерных точках перелома на высотах 1230, 3980 и 5300 мм от уровня головки рельса слева и справа от оси и записывают в специальную ведомость. По этим данным составляют график негабаритности тоннеля и определяют самое негабаритное место, лимитирующее перевозку грузов той или иной степени негабаритности. Оптический габаритомер, перемещаясь по тоннелю со скоростью 3...5 км/ч, автоматически фиксирует поперечные сечения через каждый погонный метр. За время, необходимое для съемки только одного сечения ручным способом, оптическим габаритомером можно снять поперечники по всей длине километрового тоннеля. Результаты съемки сечений могут быть использованы при составлении задания на реконструкцию тоннелей, расположенных на линиях, переводимых на электрическую тягу.

6. *Диагностика деформаций порталов, лобовых откосов и откосов подходных выемок.* Конструкцию тоннельных порталов, предназначенных для обеспечения устойчивости лобового откоса и откосов подходных выемок и наиболее подверженных влиянию колебаний температуры и атмосферным воздействиям, как правило, облицовывают камнем чистой тески из прочных и морозоустойчивых пород. К содержанию порталов предъявляют те же требования, что и к тоннельным обделкам и подпорным стенам. На фасадной стороне порталов часто появляются натски выщелачивающегося раствора и загрязнения, что является в большинстве случаев следствием плохой работы надтоннельного водоотвода. В предпортальных выемках с крутыми откосами необходимо следить за состоянием откосов, своевременно подкрепляя или удаляя элементы горной породы, угрожающие произвольным обрушением на железнодорожный путь. Основными причинами возможных обрушений и обвальных явлений в глубоких предпортальных выемках могут быть: чрезмерная крутизна откосов, подрезка ниспадающих пластов породы, допущенная при разработке выемки, трещиноватость породы и ее раздробленность. Последнее обусловлено тектоническими нарушениями или применением при устройстве выемки взрывов на выброс, а также разрушением породы путем выветривания.

Чрезмерная крутизна откосов предпортальных выемок в сочетании с неблагоприятными гидрогеологическими условиями и свойствами вскрытой породы может стать причиной возникновения опасных оползневых смещений. Систематические наблюдения за состоянием лобовых и боковых откосов предпортальных выемок и прилегающих к ним горных склонов позволяют своевременно обнаружить и удалить всю неустойчивую горную породу или подкрепить ее на месте, а при необходимости построить специальные защитные сооружения в виде подпорных, одевающих или улавливающих стен. Наблюдения за малоустойчивыми отдельностями горной породы ведут с помощью цементных маяков, устанавливаемых на трещинах в породе. За оползневыми смещениями наблюдают по точкам створных линий, разбиваемых заблаговременно на этих откосах и прилегающих склонах.

7. *Оценка состояния верхнего строения пути и путевых устройств.* Железнодорожный путь в тоннелях, в значительной степени обеспечивающий безопасность движения поездов, следует содержать в безукоризненном состоянии, т.к. непредвиденная остановка поезда внутри тоннеля из-за неисправности пути рассматривается как чрезвычайное происшествие. К элементам верхнего строения пути в тоннелях предъявляют повышенные требования в отношении прочности и устойчивости. В тоннелях разрешается укладывать рельсы не легче типа Р50, только первого сорта, изготовленные мартеновским способом. Наиболее рациональными для тоннельных условий являются промежуточные скрепления раздельного типа с упругими прокладками между подошвой рельса и подкладкой, а также подкладкой и

верхней постелью шпалы. Такие прокладки изготавливают из прессованной осины или тополя, а в настоящее время изготавливают из кордрезины или различных синтетических материалов. Дефектные рельсы и крепления в тоннелях подлежат замене немедленно после их обнаружения. К дефектным относят рельсы, имеющие любые трещины, выколы шейки, подошвы и головки, признаки скрытого расслоения металла. По таким рельсам, впредь до их замены, пропускают отдельные поезда со скоростью от 5 до 15 км/ч. Проверка рельсового хозяйства в тоннелях производится не реже одного раза в месяц пропуском вагона–дефектоскопа, а при его отсутствии – съемными магнитными, ультразвуковыми или универсальными дефектоскопами.

Количество шпал в тоннелях должно быть большим, чем на открытых участках, обычно принимают 2000 шт на 1 км. Широкое применение в железнодорожных тоннелях получили деревянные шпалы из хвойных пород, пропитанные антисептиками. В последнее время применяют и железобетонные шпалы, имеющие больший срок службы в сырых тоннельных условиях. Уход за деревянными шпалами в тоннелях состоит в зачистке заусенцев, заделке появляющихся трещин антисептическими пастами, обмазке шпал гидроизоляционными составами, стяжке и обвязке торцов. В качестве балласта в тоннелях применяют щебень из твердых и морозостойких пород, с крупностью зерен от 25 до 70 мм. Загрязненность вновь укладываемого щебеночного балласта не должна превышать 1% (по массе). Толщина щебеночного балласта под шпалой в тоннелях и на подходах к нему (на протяжении 100 м) должна во всех случаях быть не менее 25 см. Во избежание утечки обратных тяговых токов с рельсов необходимо, чтобы верх балластной призмы был на 3 см ниже верха шпал. Балластная призма между торцами шпал и стеной тоннеля должна быть спланирована под пешеходную дорожку для обслуживающего персонала.

В последнее время в железнодорожных тоннелях стали укладывать путь на жестком бетонном основании с водоотводным лотком, устраиваемым посередине тоннеля. При этом типе верхнего строения пути основанием рельсо-шпальной решетки является путевой бетон марки 150 толщиной слоя не менее 40 см, укладываемый на подготовку из тощего бетона. Основными преимуществами такого пути являются: сокращение до минимума времени, необходимого для текущего содержания пути, отсутствие пыли и грязи, неизбежных при наличии балласта, возможность очистки пути промывкой и главное – его большая устойчивость. К недостаткам пути этого типа относятся большая его жесткость, а также сложность замены шпал, втиснутых в путевой бетон. Поверхность путевого бетона должна быть ровной, без трещин и углублений с общим 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 верхнего строения пути не должны соприкасаться с путевым бетоном. Наиболее распространенные в тоннелях типы верхнего пути приведены на рис. 58.

Путевые и сигнальные знаки и указатели. Для ориентирования обслуживающего персонала, рабочих путевых ремонтных бригад и машинистов локомотивов в тоннелях устанавливают снующие постоянные путевые и сигнальные знаки и указатели километровые, пикетные; начала, середины и конца кривых; порядковой нумерации колец обделки; уклоноуказательные, предупредительные для машинистов о подаче свистка, начала и конца участка толкания вторым локомотивом, стрелы–указатели ближайших ниш, камер, телефонов и кнопок включения заградительной сигнализации.

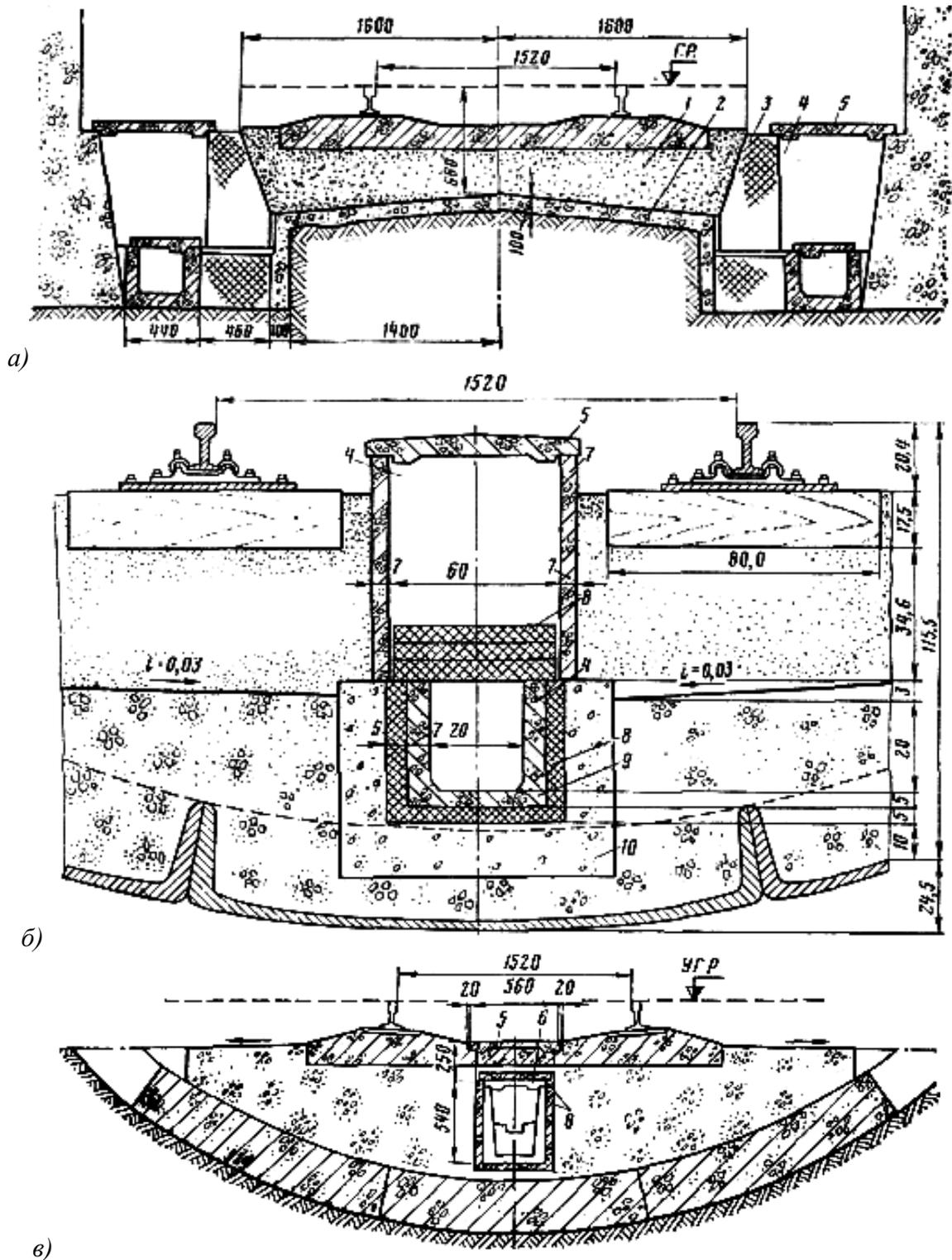


Рис. 58. Верхнее строение пути в тоннелях: *a* – на балласте при отсутствии обратного свода и лотках сбоку; *б* – на балласте при обратном своде и лотке посередине; *в* – на жестком бетонном основании; 1 – щебеночный балласт; 2 – бетонная стяжка; 3 – бордюр из шлакобетонных блоков; 4 – стекловата; 5 – крышка смотрового колодца; 6 – крышка лотка; 7 – железобетонный блок колодца; 8 – пенопласт; 9 – железобетонный блок водоотводного лотка; 10 – монолитный керамзитобетон (размеры в мм)

Закрепление положения пути в тоннеле. Для контроля за правильным

положением оси пути в тоннелях устанавливают постоянные реперы высот и направления, которые надежно закрепляют в стенах тоннеля через каждые 20 м на прямых и кривых участках пути. На прямых участках реперы устанавливают на правой стороне по счету километров, а на кривых – со стороны наружного рельса. В двухпутных тоннелях реперы устанавливают с обеих сторон.

Оценка состояния пути в тоннелях. Состояние пути в тоннелях оценивают по данным механической записи путеизмерительного вагона и результатам натурального осмотра, как правило, не реже одного раза в месяц. Аппаратура путеизмерительного вагона фиксирует на бумажной ленте отклонения от установленных норм содержания рельсовой колеи по уровню, шаблону, перекосам, просадкам, вертикальным толчкам и нарушениям рихтовки. Фиксируемые вагоном отступления от норм, выходящие за пределы установленных допусков, оценивают штрафными баллами в зависимости от степени неисправности. В тоннелях значительной длины, плохо вентилируемых и влажных, происходит интенсивный износ всех элементов верхнего строения пути, в особенности его металлических и деревянных частей. Во многих электрифицированных тоннелях, помимо обычной коррозии металлических частей верхнего строения пути, вызываемой химическими процессами окисления металла, наблюдается еще и электрохимическая коррозия, приводящая к быстрому разрушению рельсов и креплений. Ходовые рельсы, используемые в качестве проводника обратных тяговых токов, являются одновременно мощным источником блуждающих токов.

Установлено, что интенсивность электрохимической коррозии на различных участках тоннеля неодинакова, она колеблется в широких пределах и в наибольшей мере проявляется не на сухих и не на мокрых, а на сырых участках тоннеля. Объясняется это тем, что костыльные и шурупные головки, подошвы рельсов и подкладки имеют зазоры, а попадающие в эти зазоры кислоты, образующиеся во влажной среде от газообразных продуктов сгорания топлива локомотивов, и влажная пыль создают токопроводящую электролитическую среду, в одном случае анодом служит корродирующая подошва рельса, а катодом – головка костыля, в другом случае анодом является костыль, а катодом – окружающая среда (рис. 59).

Для защиты металлических частей верхнего строения пути от соприкосновения с водой, проникающей в тоннель через обделку и вызывающей энергичное окисление металла, в местах неустраняемых течей применяют, если позволяют габаритные условия, зонты, изготовляемые из оцинкованного железа или асбоцементных листов. Широкое распространение получила защита от химической коррозии нанесением на нерабочие поверхности рельсов и креплений предохранительных покрытий из красок, асфальтового лака, горячей смолы, известкового молока, смеси мазута и отработанного солярового масла или специально приготовляемых антикоррозионных паст. При борьбе с электрохимической коррозией металлических частей верхнего строения пути в тоннелях осуществляют мероприятия, направленные на улучшение токопроводимости рельсовых цепей и повышение электрической сопротивляемости переходных креплений и балластной призмы.

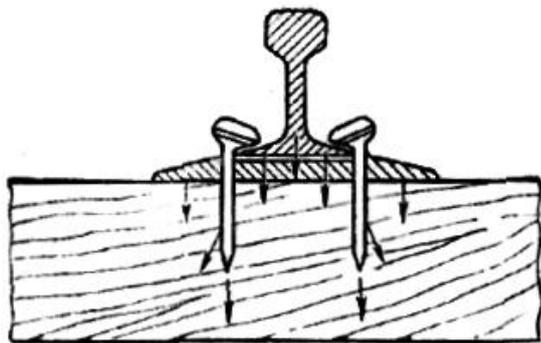


Рис. 59.
Схема утечки
обратных тяговых
токов с рельсов

8. *Диагностика вентиляционных устройств в тоннеле.* Подземные газы и газообразные продукты неполного сгорания топлива локомотивов и вагонных печей, значительная увлажненность и другие факторы могут оказывать вредное воздействие на здоровье людей, а также на прочность тоннельной обделки, сохранность верхнего строения пути и других обустройств. Особенно тяжелые условия для работы создаются в тоннелях, расположенных на участках паровой и тепловозной тяги. По действующим санитарным нормам предельно допустимое содержание окиси углерода (СО) в тоннелях через 15 мин после выхода из него поезда не должно превышать 0,03 мг/л, а при длительности пребывания в нем людей до 1 ч – 0,05 мг/л; до 30 мин – 0,10 мг/л и до 10 мин – 0,20 мг/л. Содержание других вредных газов в тоннельном воздухе не должно превышать следующих величин: углекислого газа (СО₂) – 6 мг/л; сернистого газа (SO₂) – 0,02 мг/л; метана (СН₄) – 0,2% и сероводорода (H₂S) – 0,0007%.

Единственным радикальным средством устранения недопустимых концентраций вредных газов в тоннелях является вентиляция, позволяющая приблизить качественный состав воздушной среды тоннеля к составу наружного воздуха. Вентиляция осуществляется естественным или искусственным путем. Состояние тоннельного воздуха проверяют взятием его проб и исследованием их в лабораторных условиях. Пробы отбирают мокрым или сухим способом.

9. *Наблюдения за освещением, сигнализацией и средствами связи.* Хорошее освещение в тоннелях является одним из необходимых условий их правильной эксплуатации. Освещение должно обеспечивать достаточную видимость для прохода обслуживающего персонала, безопасные условия производства ремонтных работ и эксплуатационного надзора. Все железнодорожные тоннели должны иметь общее освещение и оборудование для подключения местного переносного освещения при производстве ремонтных работ и осмотров. Только в тоннелях длиной менее 300 м на прямой и до 150 м на кривой при отсутствии вблизи источника электроэнергии искусственное освещение можно не устраивать. Постоянная горизонтальная освещенность на уровне головки рельса в тоннелях должна быть не менее 1 лк, а с учетом нормируемого запаса на запыленность светильников – не менее 2 лк. Стрелы-указатели расположения ниш, камер, телефона и кнопок заградительной сигнализации, должны освещаться специальными подсвечивающими светильниками с лампами мощностью не менее 60 Вт.

Все железнодорожные тоннели, в которых устраивают электроосвещение, должны быть оборудованы:

автоматической оповестительной сигнализацией – для оповещения работников, находящихся в тоннеле и дежурных на вентиляционных установках о приближении и проследовании поезда и направлении его движения;

заградительной сигнализацией – для подачи сигнала остановки поезда в случаях, угрожающих безопасности движения поезда или жизни людей, работающих в тоннеле.

Оповестительная сигнализация осуществляется одновременной подачей по всему протяжению тоннеля звуковых и световых сигналов. В качестве звуковых сигналов внутри тоннеля применяются гудки, обеспечивающие нормальную слышимость на расстоянии до 150 м, устанавливаемые попарно по одной стороне тоннеля рупорами вдоль пути, направленными в разные стороны, на высоте не менее 2000 мм над головкой рельса. Первую пару гудков располагают на расстоянии 75 м от портала тоннеля, а остальные – через 100...150 м друг от друга. У дежурного на вентиляционной установке устанавливают звонки.

В качестве мигающих световых сигналов внутри тоннеля применяют светильник повышенной надежности с лампами мощностью не менее 60 Вт, устанавливаемыми над всеми нишами и камерами, а также у дежурного на вентиляционной установке.

Оповестительная сигнализация включается автоматически не менее чем за 4 мин до подхода поезда к portalу тоннеля, следующего с максимально установленной скоростью. Звучание гудков сигнализации прекращается с момента входа поезда в тоннель, а подача мигающих световых сигналов прекращается после выхода из тоннеля последнего вагона поезда.

Для световой заградительной сигнализации применяют типовые однолинзовые светофоры, устанавливаемые на перегонах на расстоянии не менее 50 м каждого портала. Заградительная сигнализация включается в действие вручную работниками, находящимися внутри тоннеля, при нажатии любой из опломбированных кнопок включения заградительной сигнализации, располагаемой через каждые 100 м по одной стороне тоннеля и у его порталов.

Все железнодорожные тоннели длиной более 100 м должны иметь прямую двухпроводную телефонную связь с ближайшими станциями по обе стороны тоннеля. Телефонные аппараты должны быть у обоих порталов, а также в каждой камере по одной стороне тоннеля. Их помещают в специальные ящики, защищенные от проникания пыли и влаги. Провода телефонной связи подвешивают на фарфоровых изоляторах на высоте не менее 3 м от уровня головки рельса, а при недостаточном габарите прокладывают телефонный кабель.

10. *Наблюдения за состоянием безобделочных тоннелей.* На горных железных дорогах имеются тоннели, проложенные в прочных и слабывветривающихся породах, оставленных без обделки или укрепленных обделкой только в сводовой части. Большинство этих тоннелей, сооруженных еще в конце прошлого и в начале текущего столетий, находятся, в общем, в удовлетворительном состоянии и не требуют устройства несущей обделки. Однако в последние годы в некоторых из этих тоннелей, проложенных даже в очень прочных скальных породах, начали наблюдаться отколы и вывалы небольших линз породы толщиной от 5 до 20 см. Обследованиями установлено, что причиной этих отколов являются процессы выветривания, проникающие в глубь породы по незначительным трещинам, возникшим еще в период строительства тоннеля при производстве буровзрывных работ. Для предупреждения произвольных отколов кусков породы в безобделочных тоннелях необходимо периодически осматривать поверхность выработки и простукивать ее молотками для выявления слабоудерживающихся в монолите отдельностей породы, их принудительного откола и удаления. При значительной трещиноватости пород в отдельных случаях в таких тоннелях устраивают каменную или бетонную обделку или наносят на поверхность выработки покрытие из торкрета или набрызгбетона. В некоторых случаях такие покрытия наносят по металлической сетке, закрепленной анкерной крепью.

11. *Диагностика тоннелей в зимний период.* В зимних условиях значительно усложняется содержание тоннелей из-за появления таких отрицательных факторов, как наледи на поверхности кладки и верхнего строения пути, замерзание воды в пустотах за

обделкой тоннеля и в водоотводных лотках, пучение грунтов за обделкой и загрязненного балласта в основании пути и т. д. Наледи образуются на поверхности кладки и верхнего строения пути в результате проникания воды через поры бетона, пустые швы каменной кладки или нарушенную чеканку швов и изоляцию болтовых отверстий сборной обделки из чугунных или железобетонных тубингов. Наледи создают трудности для перевозки грузов (из-за создаваемой ими временной негабаритности), уменьшают размеры внутреннего очертания тоннеля, нарушают установленные минимальные воздушные зазоры между очертанием обделки свода и частями подвески контактных проводов, находящихся под напряжением в электрифицированных тоннелях. Замерзание воды в пустотах за обделкой приводит к разрушению элементов тоннельной конструкции, выпадению каменных или бетонных глыб на действующий путь, т. е. к нарушению безопасности движения поездов. Перемерзание водоотводных лотков приводит к выходу воды на действующий путь, увлажнению балластной призмы, т. е. к ухудшению состояния пути и ограничению скорости движения поездов.

Пучение грунтов вызывает деформацию тоннельной обделки, если она не рассчитана на восприятие этих дополнительных сил. Пучение особенно опасно в основании пути, как при наличии, так и при отсутствии обратного свода. Это объясняется тем, что поднятие абсолютной отметки головок рельсов при пучении уменьшает высоту тоннеля к свету, а на электрифицированной линии, кроме того, изменяет минимально допустимое расстояние между головками рельсов и контактными проводами.

IV. РЕМОНТ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТОННЕЛЕЙ

1. Ремонт тоннельных сооружений и обустройств

Текущий ремонт обделки тоннеля, порталов ниш и камер. Большинство тоннелей железных дорог старой постройки имеют каменную или кирпичную обделку, которую теперь в отечественной практике тоннелестроения не применяют. В последующие годы чаще всего применяли обделки из монолитного бетона и лишь в исключительных случаях в сложных гидрогеологических условиях – чугунные и железобетонные обделки. Под воздействием ряда неблагоприятных факторов в обделке, могут возникать различные дефекты, приводящие к местным повреждениям и разрушениям обделки. Установлено, что большинство деформаций тоннельных обделок происходит не внезапно, а в течение некоторого времени. Наиболее частыми повреждениями каменной кладки тоннельной обделки являются растрескивания и выкрашивания швов кладки, по которым воды могут проникать в тело кладки и, замерзая, разрушать ее. Технология восстановления разрушенных швов каменной кладки предусматривает их расчистку и промывку водой и заполнение новым цементным раствором. Поверхностная затирка раствором разрушенных швов запрещается. Расшивку швов в стенах и сводах выполняют со специальных подмостей в перерывах между поездами или в «окна».

Слабо закрепленные облицовочные камни в кладке свода тоннельной обделки создают серьезную угрозу для безопасности движения поездов и людей, работающих в тоннелях. Такие камни, обнаруженные в своде, следует немедленно закреплять или временно удалять. Временное подкрепление отдельных камней стен и сводов тоннелей выполняется расклинкой открытых швов деревянными клиньями, изготовленными из древесины твердых пород. Камень для замены ослабевшей облицовки заготавливают из морозоустойчивых пород прочностью не менее 40 МПа, не имеющих трещин. Раствор

для постановки выпавших камней готовят из портландцемента марки не ниже 400 и песка от 0,5...1 мм, в соотношении 1:3 при $v/c = 0,5$; вода для приготовления раствора не должна содержать сульфатов более 1500 мг/л. В ряде случаев взамен удаленных камней укладывают бетон класса В30 и выше. Для лучшего удержания заделки бетон армируют металлическими штырями, заделываемыми в смежные камни.

В обделке старых тоннелей из-за разрушительного действия агрессивных вод и некачественной кладки могут появляться локальные деформации обделки, требующие ее перекладки. Во многих случаях такие обделки можно достаточно прочно закрепить путем нагнетания цементного раствора. Во многих обводненных тоннелях старой постройки, подвергаемых периодическому замораживанию и оттаиванию, поверхность каменной или бетонной обделки на отдельных участках настолько разрушается, что возникает необходимость в ее удалении и замене новой кладкой. Очень часто такую замену выполняют вырубкой материала кладки на толщину ее разрушения и заделкой выломанных мест в тоннельной обделке железобетонной рубашкой, толщина которой составляет от 10 до 30 см (рис. 60).

При возникновении в своде тоннеля вывалов обделка на этих участках подлежит немедленному подкреплению. При достаточной прочности прилегающей обделки такое подкрепление выполняют закладкой за обделку коротышей (для подвязки подвесных секторных кружал) и устройством потолочной затяжки из досок (рис. 61). При недостаточной прочности прилегающей к вывалу тоннельной обделки подкрепление осуществляют несущими кружалами, устанавливая их по ее внутреннему периметру. Заделку и усиление несквозных вывалов кладки в своде тоннельной обделки выполняют установкой секторных кружал, подвешиваемых к ненарушенной части кладки металлическими скобами, заделываемыми на глубине не менее 40 см. Бетонную заделку такого вывала усиливают поперечной и продольной арматурой, прикрепляемой к металлическим штырям, заделываемым на глубину не менее 25 (рис. 62). Перед бетонированием вывала необходимо установить несколько металлических трубок для отвода в процессе бетонирования подземных вод и для последующего заполнения заобделочных пустот нагнетанием раствора. В целях замоноличивания вывала нижнюю часть защитного покрытия наносят по металлической сетке, прикрепляемой к обделке анкерами (рис. 63).

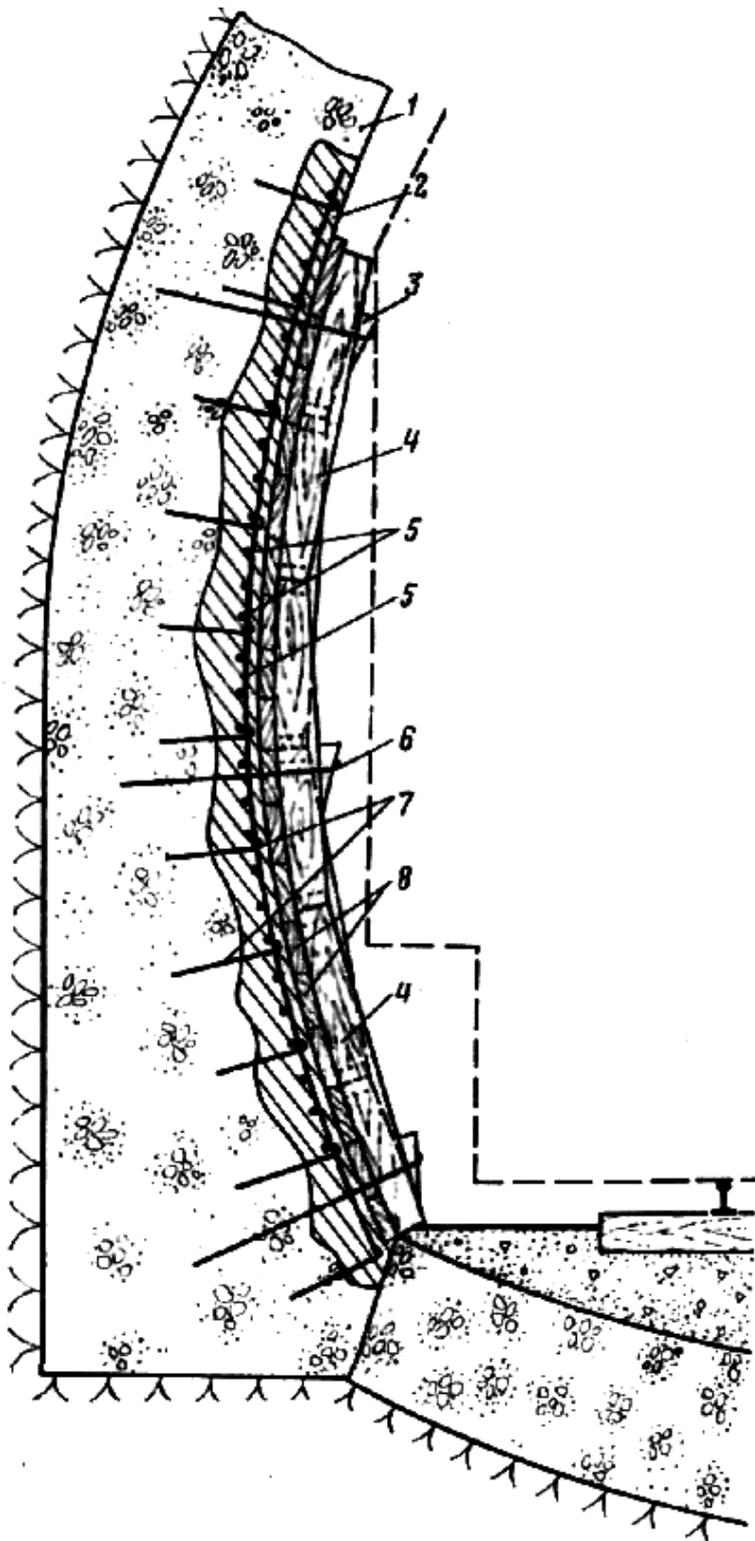


Рис. 60. Укрепление обделки тоннеля железобетоном:
 1 – обделка;
 2 – вырубка дефектного слоя;
 3 – клинья;
 4 – кружала;
 5 – арматура;
 6 – скобы; 7 – штыри;
 8 – опалубка

Нередко поверхность тоннельных обделок из камней слабых пород или из недостаточно прочного бетона, подвергается интенсивному разрушению, вызываемому процессами выветривания, действием выхлопных газов локомотивов, агрессивными водами, а также периодическими замораживаниями. Разрушение обделки начинается с поверхности и может проникнуть вглубь обделки. Наиболее рациональным способом защиты каменной или бетонной обделки тоннелей от выветривания и придания ей большей

водонепроницаемости является нанесение защитных покрытий. Перед нанесением покрытия поверхность обделки очищается и промывается водой. При глубоких трещинах в кладке обделки, а также при её обводненности покрытие наносят по металлической сетке (рис. 64).

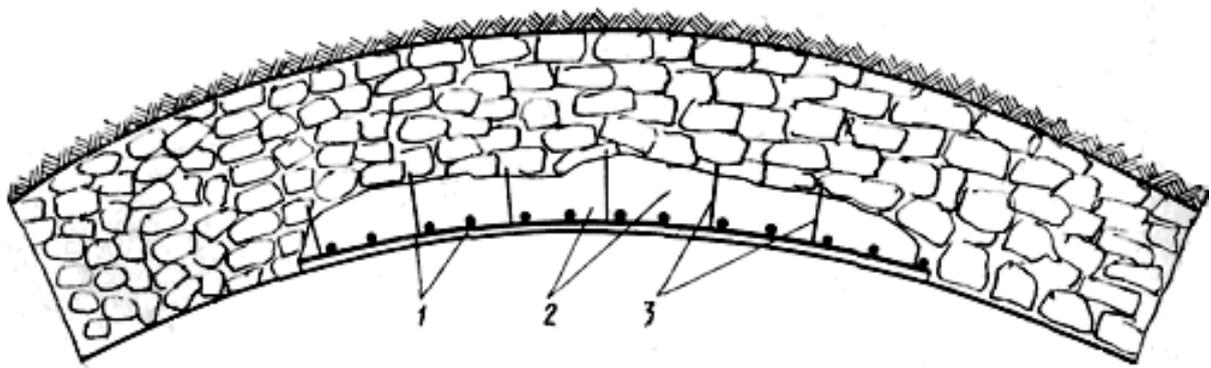


Рис. 63. Устройство защитного слоя из аэрированного раствора:
1 – металлическая сетка; 2 – аэроцем; 3 – штыри

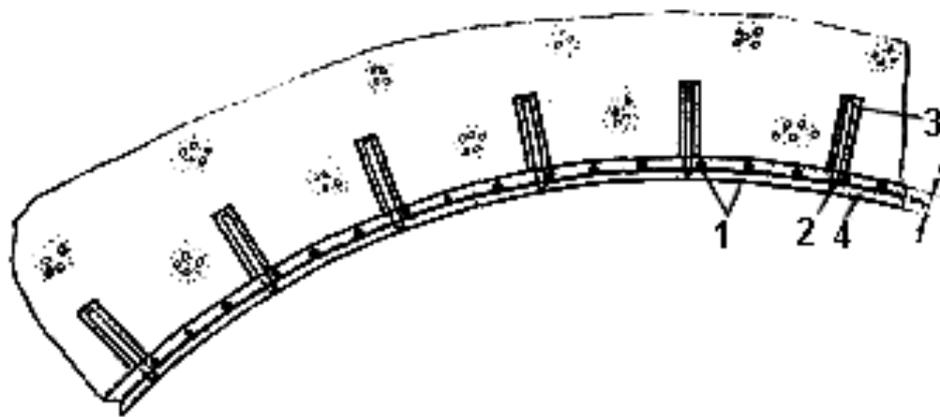


Рис. 64. Прикрепление сетки для покрытий: 1 – сетка; 2 – штыри; 3 – шпурсы глубиной до 20 см; 4 – торкретное или аэроцементное покрытие

При наличии подземных вод, проникающих тоннельную обделку, на поверхности последней появляются сырые пятна, потеки, капез и даже струи воды. При длительной фильтрации подземных вод происходит выщелачивание и разрушение бетона и раствора каменной кладки, образуются заобделочные пустоты. Обводненность железнодорожных тоннелей зависит и от возможности фильтрации поверхностных вод. Поверхностный водоотвод осуществляют при помощи грунтовых водоотводных каналов и открытых бетонных лотков. Чтобы каналы и лотки на надтоннельной поверхности не заиливались, они должны иметь уклон не менее 0,002 и надлежащую противофильтрационную одежду. Во избежание застоя поверхностных вод надтоннельную поверхность надо спланировать, срезать бугры, препятствующие нормальному стоку поверхностных вод, и заделать мятой глиной все поверхностные трещины. Родники на поверхности отводятся в лотки или мощеные каналы. В обделках большинства тоннелей старой постройки предусмотрены дренажные отверстия для выпуска поступающих к обделке подземных вод внутрь тоннеля. Уменьшение дебита вод в дренажных выпусках, а тем более их полное прекращение являются достоверным признаком кольматации. Прекращение или значительное уменьшение выхода подземных вод из дренажных окон в тоннельной обделке чаще всего происходит из-за их заполнения выносами породы. Для восстановления водоотдачи таких дренажей их прочищают ломом и штангами на полную толщину обделки. Восстановление дренирующей способности скважин практически неосуществимо и взамен скважин,

прекративших водоотдачу, пробуриваются новые. Надлежащее состояние тоннеля и всех его обустройств зависит во многом и от исправности и эффективности работы имеющихся в нем водоотводных устройств. Все подземные воды, поступающие внутрь тоннеля, отводятся по центральному лотку, располагаемому посередине или сбоку у стены тоннеля. Боковое расположение таких лотков чаще всего встречается в однопутных тоннелях. Лотки, как правило, устраивают из бетона и перекрывают сверху железобетонными плитами. Всякое нарушение нормальной работы центрального лотка из-за трещин, загромождения его наносами или осыпавшимся балластом может привести к утечке отводимых по нему вод, разжижению грунтов основания и вызвать деформацию обратных сводов или распорных плит. В тоннельных лотках, проложенных с небольшими продольными уклонами и загромождающихся наносным материалом, целесообразно через каждые 50...100 м устраивать отстойники (рис. 65), которые следует периодически очищать. При обнаружении хотя бы частичной утечки отводимых по центральному лотку вод необходимо принять срочные меры к быстрейшему устранению повреждения. Протекающую по лотку воду пропускают в пределах поврежденного участка по временно укладываемым металлическим или асбоцементным трубам диаметром 12...22 см, устраивая на границах ремонтируемого участка временные перемычки.

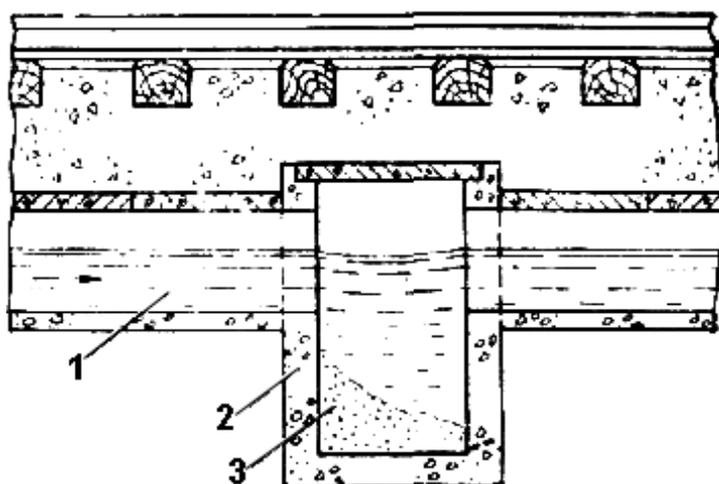


Рис. 65.
Отстойник в лотке
тоннеля: 1 – лоток;
2 – отстойник;
3 – наносный материал

Капитальный ремонт тоннелей. Нормальная эксплуатация тоннелей не всегда может быть обеспечена проведением текущего ремонта. В ряде случаев указанные выше факторы могут вызвать потерю устойчивости и несущей способности тоннельной конструкции, увеличить деформации и привести к необходимости капитального ремонта всего тоннельного сооружения. При достижении обделкой хотя бы одного из предельных состояний (по несущей способности, чрезмерным деформациям или раскрытию швов или трещин) ее дальнейшая эксплуатация прекращается. Появление серьезных дефектов в тоннельном сооружении (трещин и выпучиваний отдельных мест в обделке, расслоение и выщелачивание бетонной кладки, образование вывалов, недопустимые деформации, чрезмерное раскрытие швов, просачивание подземных вод через обделку и образование наледей в зимний период, и т. д.) и достижение конструкцией предельного состояния может быть вызвано следующими причинами:

- недостатки, вызванные неизученностью инженерно-геологических и гидрогеологических условий прорезаемого горного массива, результатом чего являются неполноценные исходные данные, закладываемые в проект;
- недостаточный учет при проектировании основных факторов, влияющих на эксплуатационные, статические и динамические условия работы тоннельных

конструкций, ошибки в расчетах обделок, не отвечающих фактической величине горного давления и т. п.;

– недостатки строительства, появляющиеся в несоблюдении правил производства работ в процессе сооружения тоннеля; низкое качество или неправильный подбор строительных материалов несущих конструкций;

– недостатки эксплуатации тоннельных сооружений и плохом техническом надзоре за ними. Так, например, неудовлетворительная работа водоотводных лотков и дренажей способствует деформациям обратных сводов и стен обделки, неудовлетворительная работа надтоннельного водоотвода увеличивает обводненность тоннеля, неудовлетворительный надзор за состоянием обделки и несвоевременно проведенный текущий ремонт могут привести к появлению весьма серьезных неисправностей самой несущей конструкции.

Такие дефекты требуют привлечения специализированной строительной организации для капитального ремонта или реконструкции тоннельного сооружения. При капитальном ремонте сооружения восстанавливают разрушившиеся по тем или иным причинам конструкции до своего первоначального вида, размеров и состояния. Такое восстановление целесообразно, когда в результате длительного воздействия ряда неблагоприятных факторов долговечность конструкции исчерпана и наступает ее отказ.

При реконструкции тоннельного сооружения обделку усиливают или заменяют существующую конструкцию более мощной, удлиняют тоннель или заменяют отдельные его участки, а в некоторых случаях и все сооружение выемкой. Необходимость в таких работах появляется в тех случаях, когда в процессе изысканий и проектирования не были учтены определенные факторы, которые в дальнейшем оказали существенное влияние на целостность сооружения, т. е. тогда, когда налицо имеются недостатки изысканий или проектирования.

Опыт эксплуатации показал, что нарушение нормальной эксплуатации тоннельного сооружения происходит не столько при их разрушении, сколько в результате проявления особых факторов: временная или постоянная негабаритность (причины, которой весьма многообразны) или недостаточная пропускная способность однопутного тоннеля, при переустройстве однопутной железнодорожной линии в двухпутную и т. п. В связи с этим для железнодорожных тоннелей большое значение имеет их нормальная и предельная эксплуатация. В условиях нормальной эксплуатации тоннельное сооружение используется без каких-либо ограничений, в то время как в условиях предельной эксплуатации оно может быть использовано с весьма существенным ограничением. Предел эксплуатации тоннеля часто наступает раньше пределов его прочности, устойчивости, деформаций, трещиноватости и связан с «моральным старением».

Как правило, в процессе капитального ремонта выполняют работы по перекладке отдельных элементов обделки, осушению тоннелей, ремонту верхнего строения пути и другие работы, не связанные с переустройством тоннельного сооружения или изменением его конструкции. При реконструкции тоннельных сооружений выполняют работы по усилению обделки или замене ее более мощной, возводят обделку в безобделочных тоннелях, устраняют негабаритность, переустраивают однопутные тоннели в двухпутные, удлиняют тоннели, выполняют их осушение и гидроизоляцию и т. д. Специфической особенностью капитального ремонта и реконструкции тоннелей является крайне стесненный фронт работ и в большинстве случаев неизбежность их ведения в условиях движения поездов, поэтому эти работы являются весьма трудоемкими и требуют затраты значительных материальных средств.

Тщательно проведенные изыскания, хорошо составленный проект и его выполнение без отступлений, а также своевременное устранение неисправностей,

выявленных в процессе содержания тоннеля, исключают необходимость его капитального ремонта и реконструкции. В этом случае необходимость в капитальном ремонте тоннельного сооружения появляется лишь при наступлении предела долговечности. Необходимость в реконструкции связана с наступлением предела эксплуатации. При эксплуатации железнодорожных тоннелей необходимость в их капитальном ремонте или реконструкции вызывается, как правило, не какой-либо одной причиной, а зависит от целого ряда обстоятельств. Например, наряду с устранением негабаритности может быть одновременно выполнена замена существующей конструкции, сооружение обделки в безобделочном тоннеле может преследовать также цель его осушения.

2. Определение нагрузок на обделки тоннелей при их ремонте и реконструкции

В общем случае на обделку железнодорожных тоннелей воздействует три типа нагрузок: основные, дополнительные и особые. К основным относятся нагрузки от горного давления, собственного веса обделки, гидростатического давления, а также веса подвижного состава проходящих поездов. Дополнительными нагрузками могут оказаться силы, возникающие в результате изменения температуры, усадки бетона при его твердении, давление на обделку при нагнетании раствора, монтажные нагрузки и т. п. Особыми являются нагрузки от воздействия сейсмических сил. Указанные нагрузки на тоннельные обделки определяются методами, применяемыми при расчете подземных конструкций, на основании действующих СНиП в зависимости от инженерно-геологических условий, глубины заложения тоннеля, его размеров и ряда других факторов. Однако следует иметь в виду, что действующие СНиП регламентируют порядок определения нагрузок лишь для вновь сооружаемых тоннелей, а для тоннелей, подвергающихся капитальному ремонту или реконструкции, условия формирования некоторых нагрузок имеют свои специфические особенности, которые должны быть учтены.

Многочисленные теории горного давления, основанные на различных предположениях, не дают исчерпывающего и достаточно надежного метода определения его величины. Это объясняется исключительным многообразием факторов, характеризующих условия равновесия горных пород вокруг подземной выработки. Не всегда состоятельными оказываются суждения по аналогии и обобщению. Вопрос нередко еще более усложняется в связи с изменением свойств пород и общей геологической и гидрогеологической обстановки во времени, что часто происходит в процессе эксплуатации тоннелей.

Опыт реконструкции ряда тоннелей, а также исследования, проводимые в этом направлении, показывают, что формирование нагрузки на обделку тоннелей, подвергающихся реконструкции, носит явно выраженный двухстадийный характер. На первой стадии формирования горного давления нагрузки на вновь возводимую обделку определяются весом пород, отслоившихся от массива при первоначальном сооружении тоннеля. Повторное нарушение равновесного состояния при капитальном ремонте или реконструкции приводит к увеличению зоны обрушения и возрастанию нагрузки примерно в 1,3...1,4 раза на второй стадии формирования горного давления по сравнению с фактической величиной, отмеченной до начала работ по реконструкции, т. е. на первоначальной стадии. Таким образом, окончательная нагрузка, действующая на вновь возводимую обделку при реконструкции тоннелей, может быть представлена в общем, виде как

$$q = q_1 + q_d k_{\Pi}, \quad (9)$$

где: q_1 – нагрузка на первой стадии формирования горного давления, т. е. установившаяся при первоначальной эксплуатации тоннеля до его реконструкции, тс/пог. м; q_d – дополнительная нагрузка, вызванная увеличением радиуса зоны неупругих деформаций при реконструкции тоннеля в случае максимально возможных смещений контура выработки, тс/пог. м; k_{Π} – коэффициент, учитывающий величину смещений контура выработки.

При реконструкции тоннелей способами, исключающими возможность смещения контура, коэффициент k_{Π} равен нулю. Таким образом, коэффициент k_{Π} учитывает принятый способ производства работ при капитальном ремонте или реконструкции тоннелей и колеблется в пределах от 0 до 1. В качестве мероприятий, уменьшающих смещение контура выработки, рекомендуется своевременное проведение нагнетания за обделку раствора, приготовленного на быстротвердеющем цементе, а также применение обделок из монолитно-прессованного бетона или набрызгбетона.

Применительно к скальным и полускальным породам, в которых в большинстве случаев расположены горные железнодорожные тоннели, метод определения нагрузок от горного давления базируется на решении упругопластической задачи о формировании горного давления. В соответствии с этой гипотезой вокруг выработки появляются неупругие деформации, которые захватывают некоторую область, имеющую повышенную трещиноватость. Зона повышенной трещиноватости отслаивается от основного ненарушенного массива горных пород и стремится обрушиться в выработку. Если не предотвратить вывалы разрушенной породы постановкой временной или постоянной крепи, размеры выработки увеличатся, что повлечет дальнейшее отслоение породы. В конечном итоге, вся выработка будет завалена разрушившейся породой. Таким образом, нагрузка рассматривается как давление части массива горных пород, перешедших в стадию неупругих деформаций, и определяется по формуле:

$$q = \frac{1}{4} \gamma L \left(\frac{4}{3} r - \frac{\pi}{2} \right), \quad (10)$$

где: γ – объемный вес (плотность), тс/м³; L – пролет выработки, м; $r = R/R_0$ – относительный радиус зоны неупругих деформаций; R – радиус зоны неупругих деформаций, м; R_0 – радиус или полупролет выработки, м.

Поскольку при реконструкции тоннеля реакция крепи практически отсутствует, так как при первоначальном строительстве тоннеля происходили значительные подвижки контура выработки, величину относительного радиуса зоны неупругих деформаций можно выразить следующей зависимостью:

$$r = \left[1 + \frac{\gamma H (1 - \sin \varphi) - c \cos \varphi}{c \operatorname{ctg} \varphi} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 - \sin \varphi}}, \quad (11)$$

где H – глубина заложения выработки, м; φ – угол внутреннего трения пород, град; c – сцепление по плоскостям ослабления, тс/м².

Дополнительное увеличение зазоров между обделкой и породой при капитальном ремонте или реконструкции тоннелей приводит к увеличению области неупругих деформаций. Степень увеличения относительного радиуса зоны неупругих деформаций в значительной степени зависит от класса трещиноватости пород, поэтому его новое выражение в общем виде может быть записано так:

$$r' = rk_T, \quad (12)$$

где r – относительный радиус зоны неупругих деформаций, соответствующий первой стадии формирования горного давления по (11); k_T – коэффициент, учитывающий модуль n относительной трещиноватости пород в забое, %.

Модуль относительной трещиноватости принимают равным отношению пролета L выработки к расстоянию l между трещинами, т. е.

$$n = L/l, \quad (13)$$

Классификация скальных пород по трещиноватости приведена в табл. 2. В таблице приняты следующие обозначения: l – расстояния между трещинами; V – средний объем блоков породы, разделенных трещинами; k_T – коэффициент трещинной пустотности; n – модуль относительной трещиноватости. На основании экспериментальных исследований для определения величины k_T (в %) была получена эмпирическая зависимость

$$k_T = 0,755 n^{0,178}, \quad (14)$$

в соответствии с которой можно определить k_T для пород, имеющих любой модуль n относительной трещиноватости. Установившаяся на второй стадии формирования горного давления нагрузка σ_2 может быть выражена, исходя из зависимостей (10) и (12), в виде

$$q_2 = \frac{1}{4} \gamma L_2 \left(\frac{3}{4} rk_T - \frac{\pi}{2} \right), \quad (15)$$

где L_2 – пролет выработки при реконструкции тоннеля, м.

Таблица 2

Классификация скальных пород по трещиноватости

Классы пород по трещиноватости	Значения качественных показателей породного массива			
	l , м	V , м ³	K_T , %	n
Нетрещиноватые	-	10-20	0,5	6
Слаботрещиноватые	0,5-1,5	0,1-5	0,5-2	6-12
Трещиноватые	0,25-0,5	0,01-0,1	2-5	12-25
Сильнотрещиноватые	0,1-0,25	0,002-0,01	5-10	25-60
Раздробленные	-	0,002	10-20	60

Имея в виду, что дополнительная нагрузка q_R в формуле (9) может быть представлена как

$$q = q_2 - q_1, \quad (16)$$

и проведя ряд преобразований, получим

$$q_D = \frac{1}{3} \gamma L_1 r \left(\frac{L_2}{L_1} 0,755 n^{0,178} - 1 \right), \quad (17)$$

где L_j – пролет выработки до реконструкции тоннеля.

Таким образом, формула для определения окончательной нагрузки от горного давления при реконструкции тоннелей в соответствии с выражениями (9) и (17) имеет вид

$$q = q_1 = \frac{1}{3} \gamma L_1 r k_{II} \left(\frac{L_2}{L_1} 0,755 n^{0,178} - 1 \right), \quad (18)$$

Другая составляющая общей нагрузки, действующая на обделку – собственный вес конструкции, содержит элементы неопределенности. Здесь имеется в виду не только непостоянство объемных весов материалов, но главным образом наличие переборов при образовании выработки, заполняемых материалом обделки. Эти переборы зависят от многих факторов, крайне изменчивы по размерам и степени равномерности размещения по периметру выработки. Так, при регламентируемых коэффициентах переборов $k = 1,05 \div 1,15$ вес обделки увеличивается на 25...40%, что, безусловно, следует учитывать при определении величины нагрузки от собственного веса. Значительное воздействие на тоннельную обделку оказывает широко применяемое в практике ремонта и реконструкции тоннеля нагнетание различных растворов под давлением в заобделочное пространство. Экспериментальные исследования показывают, что напряжения в обделке растут далеко не пропорционально величине давления нагнетания раствора. Это вполне закономерно, так как в результате нагнетания основная масса пустот за обделкой оказывается заполненной в самом начале процесса нагнетания и при последующем нагнетании раствора число и размеры площадок, на которые передается давление, уменьшаются. При расчете обделок на усилия, возникающие в процессе нагнетания растворов, величину давления необходимо умножать на коэффициент, учитывающий это уменьшение (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты уменьшения инъекционного давления

Давление нагнетания, атм	Нагнетание		Давление нагнетания, атм	Нагнетание	
	с перерывом	без перерыва		с перерывом	без перерыва
0...2	0,25	0,25	5...7,5	0,23	0,35
2...5	0,30	0,30	7,5...10	0,17	0,35

В ряде случаев в практике капитального ремонта и реконструкции тоннелей приходится сталкиваться с необходимостью проходки над шельгой свода обделки тоннеля специальной транспортной штольни, дающей возможность вести все работы без перерыва движения поездов. Опыт проходки подобных штолен показал, что в этом случае происходит значительное перераспределение нагрузок, действующих на тоннельную обделку.

Это обстоятельство следует учитывать при составлении расчетных схем. В первом приближении схема влияния транспортной штольни на величину нагрузки от горного давления на тоннельную обделку показана на рис. 66,а, где: L и L_1 – соответственно пролеты тоннеля и транспортной штольни; R_0 и $R_{1.0}$ – соответственно радиус и полупролет выработок тоннеля и транспортной штольни; R и R_1 – соответственно радиусы зон неупругих деформаций, образовавшихся при проходке тоннеля и транспортной штольни; Δ – расстояние от наружного контура обделки до низа транспортной штольни; h – высота транспортной штольни. На рис. 66,б дана схема активных нагрузок, где: q и q_1 – вертикальные составляющие нагрузки от горного давления на обделку тоннеля соответственно в пределах оставшейся части ширины тоннеля и ширины транспортной штольни; e – горизонтальная составляющая нагрузки от горного давления.

Проходка выработки в зоне, отслоившейся от основного массива породы, приводит к изменению объема и соответственно веса породы, участвующего в формировании величины горного давления. Это обуславливает в зависимости от соотношения между размерами тоннеля, штольни и расстояния. А от наружного контура обделки до низа транспортной штольни (см. рис. 66,а), как правило, уменьшение нагрузки на обделку в пределах ширины транспортной штольни и вызывает в ряде случаев существенное изменение величины и характера внутренних усилий в тоннельной обделке.

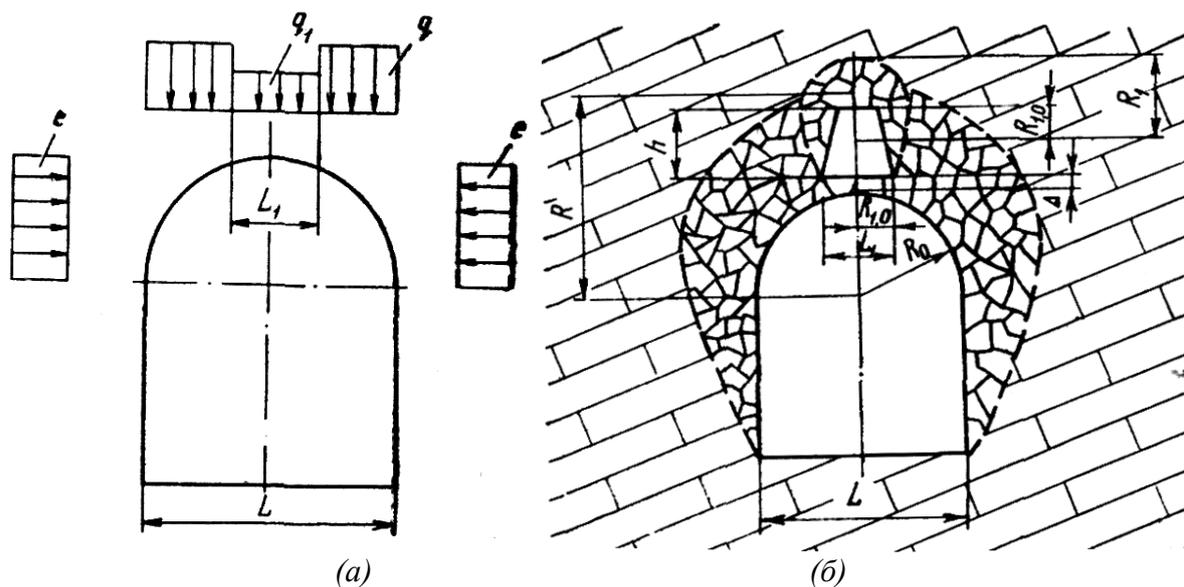


Рис. 66. Схема нагрузок на обделку от горного давления (а) и их формирование (б) при наличии транспортной штольни

Величина нагрузки в пределах ширины L_x штольни может быть с учетом ранее приведенной зависимости определена по формуле

$$q_1 = \frac{1}{4} \gamma L \left(\frac{4}{3} r - \frac{\pi}{2} \right) - \gamma h, \quad (19)$$

где h - высота штольни, м. Приведенная формула справедлива в том случае, если свод обрушения, образовавшийся при проходке транспортной штольни, не выходит за пределы свода обрушения, образовавшегося при проходке самого тоннеля, т. е.

$$R - R_0 \geq \Delta + h + R_l - R_{l,0}.$$

В противном случае величину нагрузки q_1 следует определять по формуле

$$q_1 = \Delta \gamma + \frac{1}{4} \gamma L \left(\frac{4}{3} r_{ш} - \frac{\pi}{2} \right), \quad (20)$$

где $r_m = R_l/R_{l,0}$ определяется в соответствии с выражением (11).

Если транспортная штольня пройдена за пределами свода обрушения, образовавшегося при проходке тоннеля, т. е. $\Delta \geq R - R_0$, то ее влияние практически сказывается на величине вертикальной нагрузки от горного давления, которую можно принимать равномерно распределенной и равной величине q , т. е. в этом случае $q = q_1$. Горизонтальная составляющая активного горного давления в пределах ранее нарушенных при проходке тоннеля пород, т. е., как правило, лишь в пределах верхнего свода, может быть определена по известной формуле

$$e = q t g^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (21)$$

При этом угол φ внутреннего трения пород следует принимать с учетом происшедших изменений их физико-механических характеристик, т. е. с учетом их фактической раздробленности. На участке стен необходимо учитывать реактивные силы упругого отпора породы.

3. Организация и производство ремонтных работ в эксплуатируемых тоннелях.

Выполнение любых работ и других производственных процессов, связанных с ремонтом и реконструкцией действующих тоннелей, осложняется влиянием ряда факторов, вызываемых их конструктивными особенностями, гидрогеологическими условиями прорезаемого горного массива и необходимостью пропуска поездов. К таким факторам относятся:

- стесненность, создаваемая предельным габаритным очертанием тоннельной обделки, невозможность складирования материалов, инструментов и необходимость заблаговременного прекращения работ при приближении поездов;
- выполнение многих видов ремонтных работ только в «окна»; необходимость

ограждения участка работ сигналами остановки;

- необходимость применения при производстве работ дополнительного переносного освещения;

- загрязненность воздушной среды дымом от паровозов и вагонных печей или выхлопными газами двигателей тепловозов и машин;

- наличие в тоннелях сквозняков, способствующих заболеваниям работающих.

- выполнение всех ремонтных работ в тоннелях по графикам, позволяющим в наилучшей мере скоординировать использование рабочей силы, средств механизации и транспорта в ограниченное время;

- оснащение ремонтных бригад высокопроизводительным исполнительным инструментом, машинами, механизмами и транспортными средствами;

- обеспечение работающего персонала спецодеждой;

- инструктаж о безопасных способах и приемах выполнения предстоящих работ.

Перекладка сводов и стен обделки. Полная или частичная перекладка элементов тоннельной обделки, выполняемая в порядке капитального ремонта тоннелей, как правило, не предусматривает их конструктивных изменений или усилений, а имеет целью лишь замену деформированной или пришедшей по каким-либо причинам в негодное состояние кладки. В последнее время для замены каменной обделки старых тоннелей в основном применяют бетон. Для этой цели следует применять бетон класса не ниже 200, приготовленный из быстротвердеющего портландцемента, а при наличии в подземных водах сульфатной агрессии – сульфатостойкий или глиноземистый цемент класса не ниже 300 с добавкой ускорителей схватывания бетона. При незначительных размерах перекладки дефектных сводов (не превышающих ширины 1,2...1,5 м) удаляемую каменную кладку из-за сложности выполнения каменных работ в стесненных условиях заменяют бетоном. После удаления дефектной кладки и придания торцам оставляемой обделки правильной радиальной формы торцы тщательно расчищают металлическими щетками, а перед бетонированием промывают водой. При наличии за обделкой слабых пород выработку крепят затяжкой из досок. В образовавшийся проем заводят рельсовые коротыши длиной 1,8...2,0 м, опирают их о торцы оставляемой обделки, на которые с помощью проволочных скруток подвешивают собираемые по профилю очертания обделки свода деревянные секторные кружала, за которые заводят доски опалубки. Выработку бетонируют через проемы, создаваемые сдвижкой одной или двух досок опалубки, обеспечивая при этом тщательную утрамбовку подаваемой за опалубку бетонной смеси.

По достижении бетоном проектной прочности кружала с опалубкой удаляют, концы проволочных скруток срезают, а поверхность переложенной обделки затирают цементным раствором. Одновременно через оставленные в бетоне трубки диаметром 40...50 мм нагнетают за обделку цементно-песчаный раствор состава 1:2 или 1:3, вводя в него при необходимости добавки, регулирующие срок схватывания раствора и увеличивающие его водонепроницаемые свойства. При сильно деформированных обделках перекладку тоннельных сводов осуществляют с применением отдельных секций инвентарных поддерживающих кружал длиной до 3 м, но не более одной трети длины кольца (рис. 67). Старую дефектную кладку свода разрабатывают отбойными молотками с передвижных подмостей, смонтированных на железнодорожной платформе, начиная с проходки штольни в замковой части свода. Штольню крепят неполными дверными окладами, опираемыми на несущие кружала передвижной или сборно-разборной металлической крепи.

После проходки штольни на всю длину приступают к одновременной разборке

кладки по обе стороны от оси тоннеля, с продвижением к пятам свода, обеспечивая выработку надежным пространственным креплением, способным воспринять горное давление. Затем устанавливают деревянные кружала, собираемые из трех досок, которые раскрепляют на смежные элементы металлической крепи, а затем опалубку из обрезных, тщательно пригнанных и остроганных досок. Бетонирование свода производят радиальными слоями толщиной 20...25 см, одновременно с обеих сторон и по всей длине перекладываемой части, с продвижением от пят свода к его замковой части. Замковую часть свода шириной 60...80 см отделяют радиально установленной опалубочной перемышкой, которую после затвердения уложенного бетона удаляют, а образовавшееся пространство с торцов заполняют более жесткой бетонной смесью наклонными слоями с тщательным требованием. По достижении бетоном проектной прочности через вставленные при бетонировании трубки нагнетают цементно-песчаный раствор для заполнения заобделочных пустот, после чего производят распалубку переложенного участка свода и передвигают крепь на другой участок.

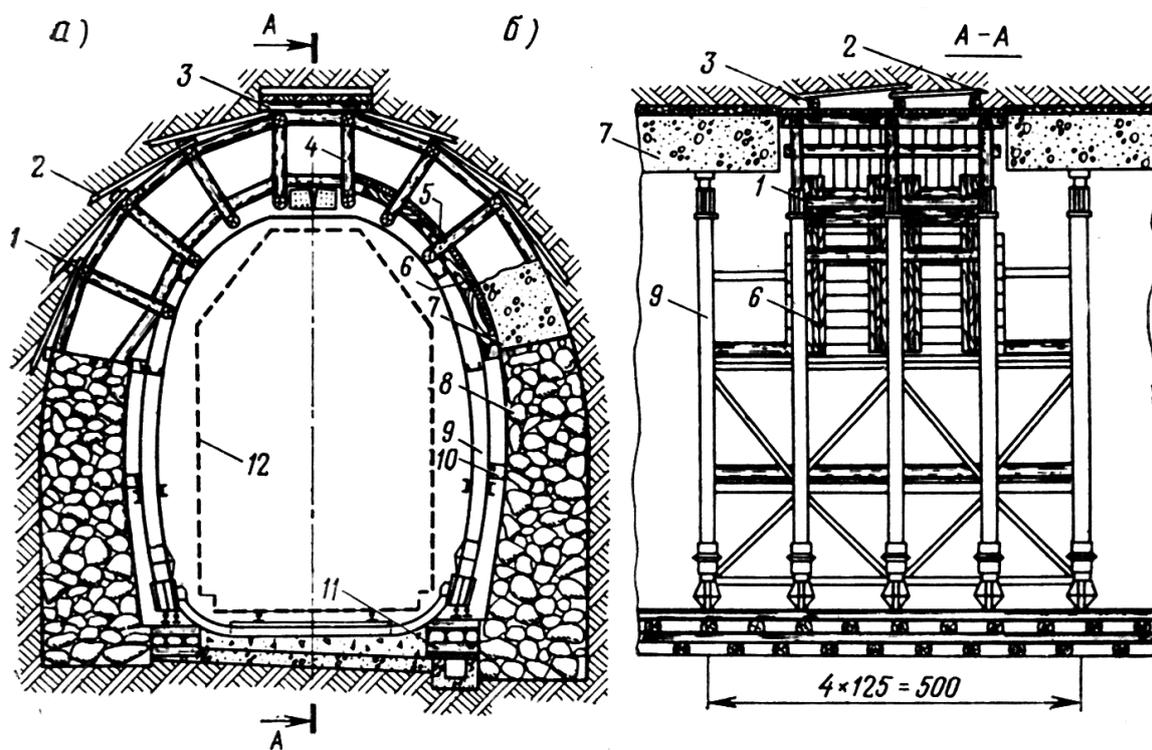


Рис. 67. Перекладка обделки свода тоннеля, расположенного в слабых породах:
a –разборка старой обделки; *б* – устройство новой обделки; 1 – межкружальные прогоны; 2 – забивная крепь; 3 – верхняя; 4 – штольня; 5 – опалубка; 6 – кружала из трех досок; 7 – вновь укладываемый бетон; 8 – старая каменная кладка;
 9 – поддерживающие кружала передвижной металлической крепи;
 10 – прокладки и клинья; 11 – подкружальные опоры; 12 – очертание габарита

1–Т

Выборочную перекладку дефектных стен тоннелей, проложенных в скальных грунтах, производят с помощью деревянных кружал (которые крепят к породе анкерами) и заводимой за них опалубки с временным подкреплением свода деревянными подкосами (рис. 68). При значительном протяжении перекладываемых стен, а также в случаях пролегания тоннелей в слабых породах перекладку выполняют

секциями длиной до 3 м, но не более одной трети длины кольца с применением поддерживающих металлических кружал. Кладку разрабатывают отбойными молотками с подмостей сверху вниз, подкрепляя породу временной деревянной крепью (рис. 69). Стены бетонируют снизу вверх слоями толщиной 20...25 см с уплотнением бетонной смеси вибраторами переносного типа, оставляя под пятой зазор высотой 50...60 см, которой после начала схватывания бетона забивают жесткой бетонной смесью. Разборка кладки на смежных участках стен допускается по достижении вновь уложенным бетоном

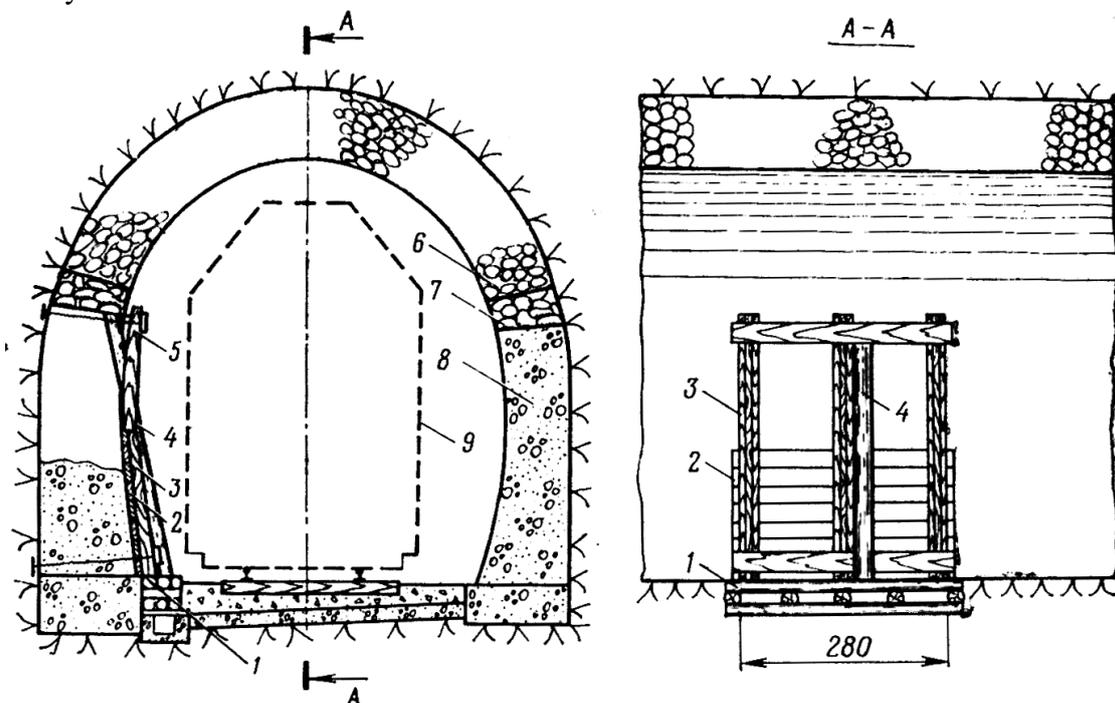


Рис. 68. Перекладка стен тоннеля, расположенного в скальных породах:
 1 – подкружальные опоры; 2 – опалубка; 3 – кружала; 4 – штребель; 5 – закладной анкер для удержания прислоненных кружал; 6 – старая обделка;
 7 – сохраняемый прокладной ряд; 8 – вновь уложенный бетон; 9 – очертание габарита
 1-Г

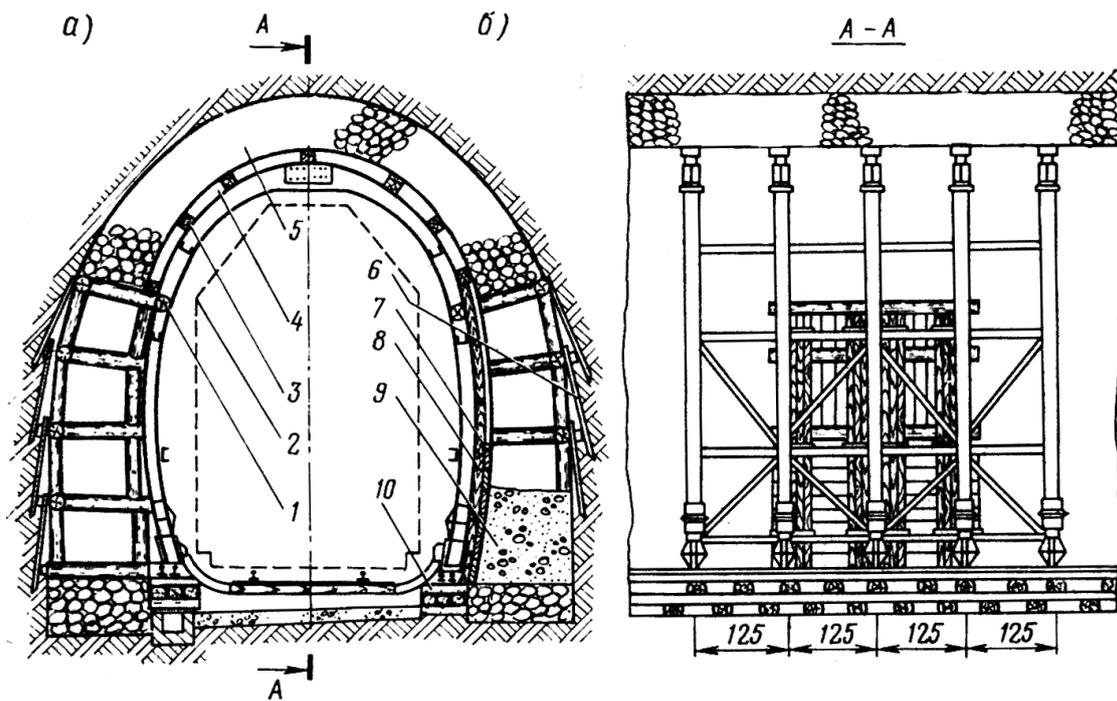


Рис. 69. Перекладка стен тоннеля, расположенного в слабых породах:
a – разборка старой кладки; *б* – устройство новой обделки; 1 – межкружальные прогоны; 2 – очертание габарита 1–Т; 3 – прокладки и клинья; 4 – поддерживающие кружала передвижной металлической крепи; 5 – старая обделка; 6 – забивная крепь; 7 – опалубка; 8 – кружала из трех досок; 9 – вновь укладываемый бетон; 10 – подкружальные опоры проектной прочности. Цементно-песчаный раствор нагнетают в заобделочное пространство перед распалубкой стен. Нагнетание выполняют через заложенные в бетоне трубки.

Перекладка деформированных стен тоннелей, каменная кладка которых находится в хорошем состоянии, может быть выполнена с использованием разобранного каменного материала после удаления с него остатков старого раствора. Такую перекладку выполняют в той же последовательности, что и при бетонном заполнении, но без установки опалубки. Дефектные фундаменты стен тоннеля заменяют участками длиной до 2 м из траншей, располагаемых в шахматном порядке. В слабых породах крепление траншеи выполняют по схеме, приведенной на рис. 70. Заменяемые фундаменты бетонируют по 10-сантиметровой щебеночной подготовке пластичным бетоном с установкой по обрезу фундамента щитовой опалубки, раскрепляемой в противоположную сторону траншеи.

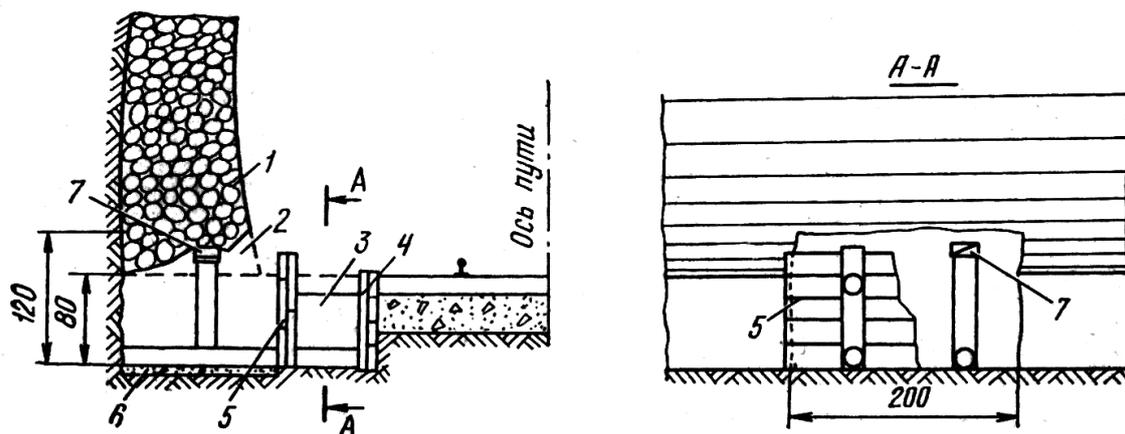
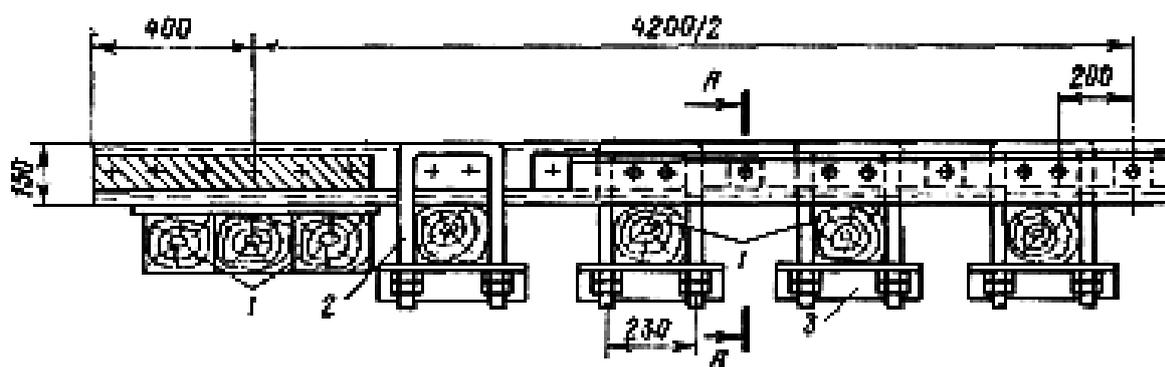


Рис. 70. Перекладка фундаментов стен: 1 – старая кладка; 2 – разборка старой кладки; 3 – траншея; 4 – расстрел; 5 – опалубка; 6 – щебеночная подготовка; 7 – клинья

Перекладка обратных сводов и лотков. Перекладку пришедших в негодность обратных сводов тоннелей выполняют под прикрытием разгрузочных инвентарных металлических пакетов с пониженной строительной высотой расчетным пролетом от 3,5 до 5,7 м (рис. 71). При отсутствии таких инвентарных пакетов могут быть применены подвесные рельсовые пакеты, изготовленные из 4-метровых отрезков старогонных рельсов. Максимальная длина такого рельсового пакета, собираемого из шести рельсов типа 1а под одну нитку пути, перекрывающего пролет до 3 м, составляет 3,6 м. Такой пакет обеспечивает пропуск локомотивов со скоростью до 15 км/ч. Устанавливают и снимают инвентарные металлические пакеты, масса которых с рельсами составляет около 5 т, в «окна» с помощью путеукладочного крана на железнодорожном ходу. В зависимости от длины имеющегося пакета перекладку обратных сводов выполняют секциями длиной не более 3 м.



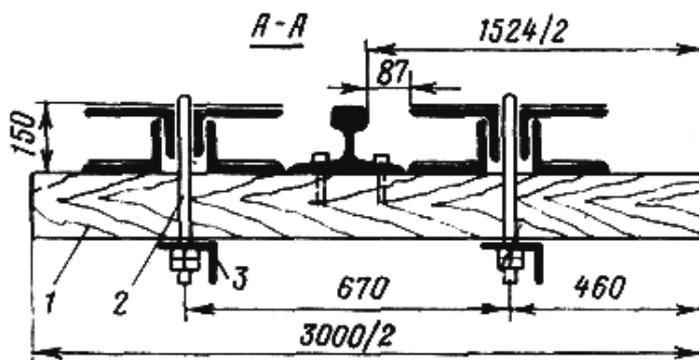


Рис. 71. Конструкция подвешеного инвентарного металлического пакета:
 1 – брусья;
 2 – подвеска;
 3 – уголок

Работы по перекладке обратных сводов выполняют в такой последовательности: после установки разгружающих пакетов вырезают и удаляют балласт, а затем с помощью отбойных молотков и металлических клиньев разбирают дефектный обратный свод на всю ширину тоннеля, закрепляя одновременно стены выработки дощатой затяжкой с расстрелами. При наличии в водоотводном лотке воды ее перепускают над выработкой по асбоцементной трубе диаметром 20...40 см или по временному деревянному лотку. После удаления разработанной кладки обратного свода (рис. 72,а) делают щебеночную подготовку толщиной не менее 10 см, устанавливают лекала и опалубку, затем приступают к бетонированию нового свода. В последнее время для перекладки обратных сводов применяют и сборный бетон, блоки которого массой от 600 до 1000 кг устанавливают на цементном растворе по щебеночной подготовке рельсоукладочным краном. Пяты обратных сводов замоноличивают жестким бетоном толщиной 10...20 см (рис. 72,б). Укладку путевого балласта и снятие разгрузочного пакета производят по достижении тощим бетоном подсводного заполнения 70%-ной проектной прочности. Одновременно с этим восстанавливают нарушенный перекладкой водоотводный лоток. Перекладку деформированных или ветхих водоотводных лотков в настоящее время выполняют, как правило, их заменой типовыми конструкциями сборных бетонных или железобетонных

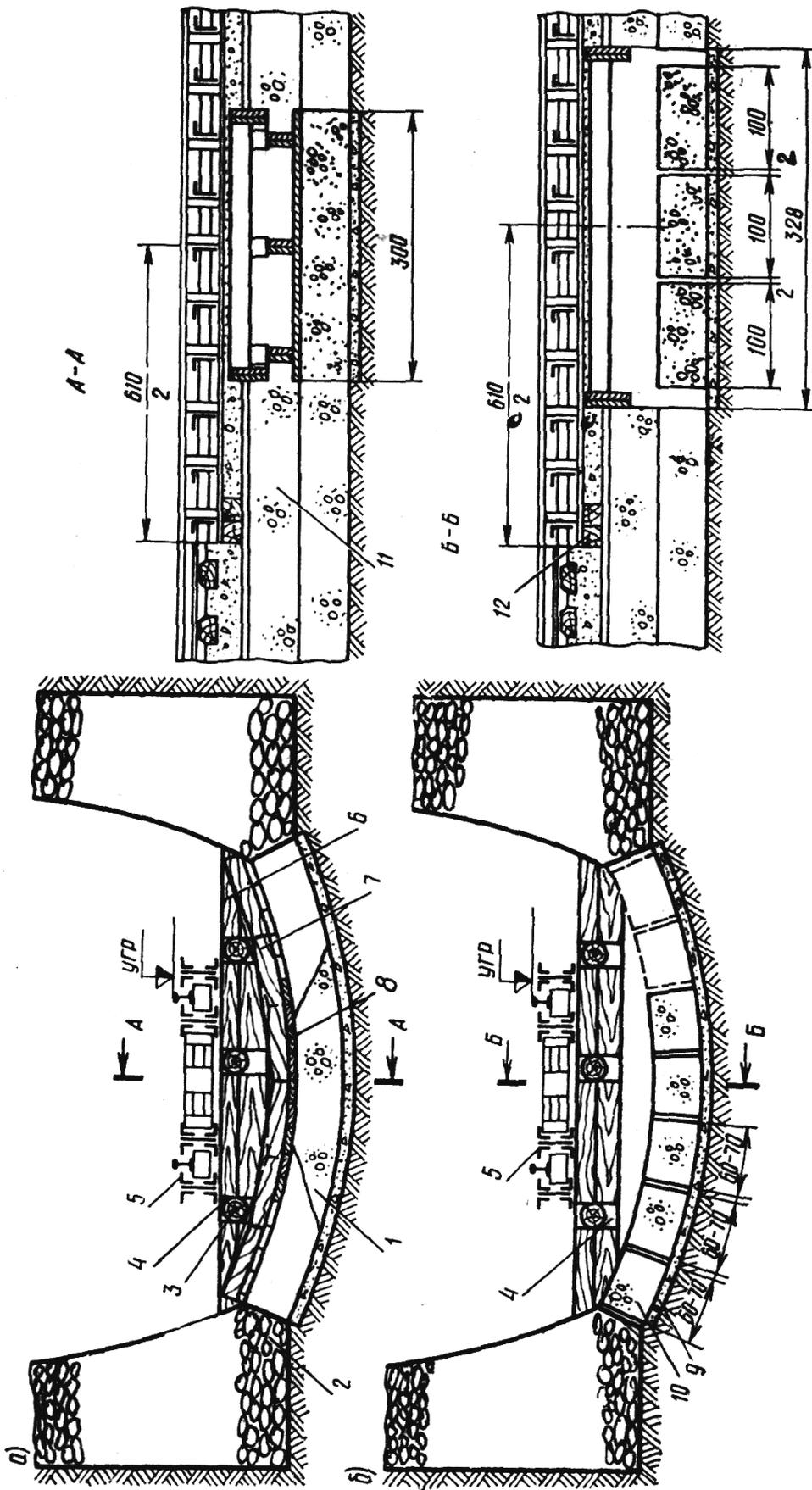


Рис. 72. Перекладка обратного свода: а – свод из монолитного бетона; б – свод из сборного бетона; 1 – вновь уложенный бетон; 2 – старая кладка; 3 – расстрелы; 4 – схватки из двух досок; 5 – подвесной пакет; 6 – боковая затяжка из досок; 7 – лекала из двух досок; 8 – опалубка; 9 – щебеночная подготовка; 10 – сборный бетон; 11 – тощий бетон заполнения; 12 – опорные брусья

лотков, размеры которых для обычных условий составляют для однопутных тоннелей 30х30 см, а для двухпутных – 50х50 см (рис. 73,а,б).

При значительном поступлении подземных вод сечение лотков определяют расчетом. Максимальная масса сборной конструкции водоотводного лотка не превышает 1 т, это дает возможность устанавливать их с помощью крана на дрезине. Блоки омоноличивают цементным раствором. Ширина швов между блочными конструкциями должна быть не более 1 см.

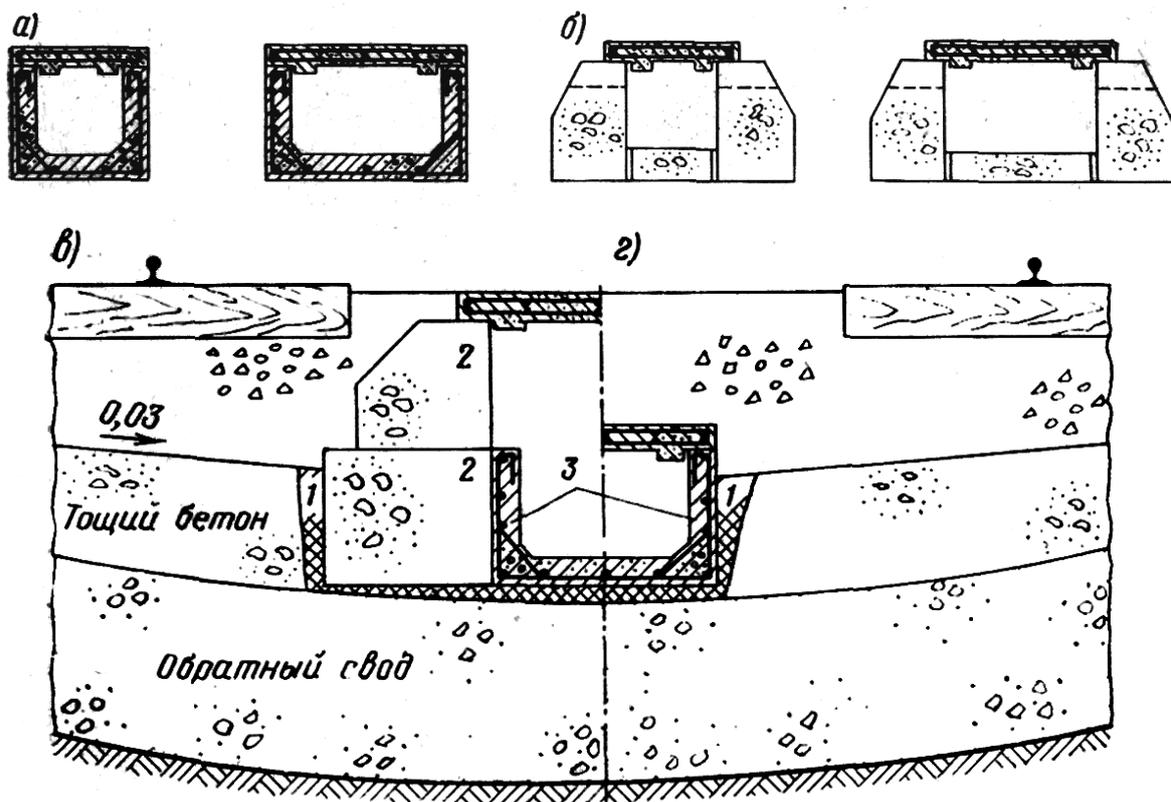


Рис. 73. Сборные лотки: а – железобетонные; б – бетонные; в – устройство лотка в тоннеле с обратным сводом, разрез по смотровому колодцу; г – то же, разрез по лотку; 1 – заделка блоков бетоном; 2 – блоки сборного бетона; 3 – железобетонный лоток

В тоннелях с обратными сводами или с путем, уложенным на жестком бетонном основании, лотки располагают в тощем бетоне заполнения надсводной части (рис. 73,в,г). Воду, стекающую по лотку, на время производства работ пропускают по временным деревянным лоткам или асбоцементным трубам достаточных сечений. При перекладке тоннельных водоотводных лотков перекалывают и имеющиеся смотровые колодцы также блоками из сборного бетона.

4. Реконструкция тоннелей

Усиление конструкций обделки. Вопрос об усилении или даже замене существующей обделки решают на основании обследований, анализа причин разрушений и сравнения вариантов реконструкции. Возрастающие нагрузки от горного давления, изменение их характера (односторонние, неравномерные, несимметричные и

т. п.), снижение несущей способности обделки могут привести к появлению недопустимых дефектов, деформаций и трещин в конструкции. Усиление несущей конструкции – обделки или всей системы «обделка–порода» – в основном выполняют путем тампонирувания пустот за обделкой, цементации самой обделки, торкретированием, устройством железобетонной рубашки – нанесением слоя набрызгбетона в сочетании с металлической сеткой, анкерами или арками. Тампонирувание пустот и прилегающих к ним трещин в породе является одним из весьма эффективных мероприятий по усилению. Усиление нагнетанием раствора за обделку дает особенно хорошие результаты в том случае, когда при строительстве тоннеля переборы закладывали бутовым камнем насухо. При этом раствор легко проникает в швы кладки, создавая дополнительную несущую конструкцию.

Для тампонирувания применяют цементные, цементно-песчаные и цементно-глинистые растворы с различными добавками, повышающими их водонепроницаемость, скорость схватывания и твердения, уменьшающими усадочные явления, увеличивающими радиус растекания и т. п. Работы по тампонируванию преследуют двойную цель: во-первых, усиление и повышение несущей способности обделки, и, во-вторых, осушение выработки. Нагнетание выполняют в «окна» или с поочередным закрытием одного пути. Для повышения прочности и водонепроницаемости обделки ее цементируют через пробуренные в шахматном порядке скважины диаметром 45...65 мм на глубину не более чем 2/3 толщины обделки. Состав и консистенцию нагнетаемого раствора выбирают в зависимости от состояния обделки, степени и характера ее повреждения и обводненности (табл. 4). Цементацию выполняют гидравлическими плунжерными насосами или растворонасосами С–251 производительностью 1 м³/ч с максимальным давлением 10 ат. Лучшие результаты дает применение иньекторов с обратной циркуляцией. Аэрированные растворы со вспенивающей добавкой не расслаиваются, проникают в мелкие трещины, и после твердения дают более однородный и прочный цементный камень.

Работы по цементации ведут в «окна», оборудование устанавливают на специальной платформе, подаваемой в тоннель мотовозом (рис. 74).

Раствор нагнетают в скважину при начальной консистенции в течение 15 мин. Если за это время давление не повышается, переходят к более густым растворам и нагнетают их до тех пор, пока давление не достигнет максимального, установленного в проекте. Под этим давлением скважину выдерживают в течение 10 мин, после чего растворонасос отключают, и раствор по обратной линии иньектора спускается в специальный бак. Через 28 суток проверяют качество выполненных работ путем нагнетания воды в контрольные скважины и испытания образцов на сжатие. Удельное водопоглощение под давлением 3 ат не должно превышать 0,01 л/мин, а прочность образцов обделки должна быть выше прочности образцов обделки до цементации для крупнопористой обделки на 85...100%, для среднепористой на 60...80% и для мелкопористой на 45...55%.

Таблица 4

Характеристики растворов для цементации обделок тоннелей

Показатели	Обделки		
	крупно-пористые	средне-пористые	мелко-пористые

Содержание добавок, %, в растворы для цементации обделок тоннелей:			
необводненных:			
бentonитовая глина	3	3	-
мылонафт	0,1	0,1	0,1
обводненных:			
хлористый кальций	2-3	20	-
алюминат натрия.....	3	3	2,0
глиноземистый цемент.....	-	-	-
бentonитовая глина	-	-	-
мылонафт	-	-	0,1
Диаметр растекания раствора, см, при его консистенции:			
начальной.....	24-25	36-37	42-48
конечной	18-20	22-24	24-26

Торкретирование внутренней поверхности обделки. Торкретирование поверхности применяют для ее защиты от выветривания и разъедающего действия дымовых газов, омоноличивания слабой кладки, а также усиления конструкции за счет увеличения ее сечения. Одновременно слой торкрета, наносимый на внутреннюю поверхность обделки, служит жесткой гидроизоляцией и в определенной степени повышает ее водонепроницаемость. Его можно применять лишь в тех случаях, когда после его укладки обделка не будет подвергаться дальнейшим деформациям, а уменьшение внутренних размеров тоннеля за счет толщины нанесенного слоя не приведет к нарушению габарита. Количество и толщину слоев, составы наносимых растворов, объем подаваемой к соплу установки воды и необходимость армирования определяют в проекте реконструкции в зависимости от конкретных условий и уточняют опытным путем. Растворы готовят на портландцементе класса В40 и выше или на расширяющихся (ВРЦ) и безусадочных (ВБЦ) цементах. Торкретировать можно также аэрированными цементно-песчаными растворами с введением в них, кроме вспенивающей добавки, 1...2% жидкого стекла для ускорения схватывания. Слои торкрета наносят цемент-пушкой с рабочим давлением до 3,5 атм.

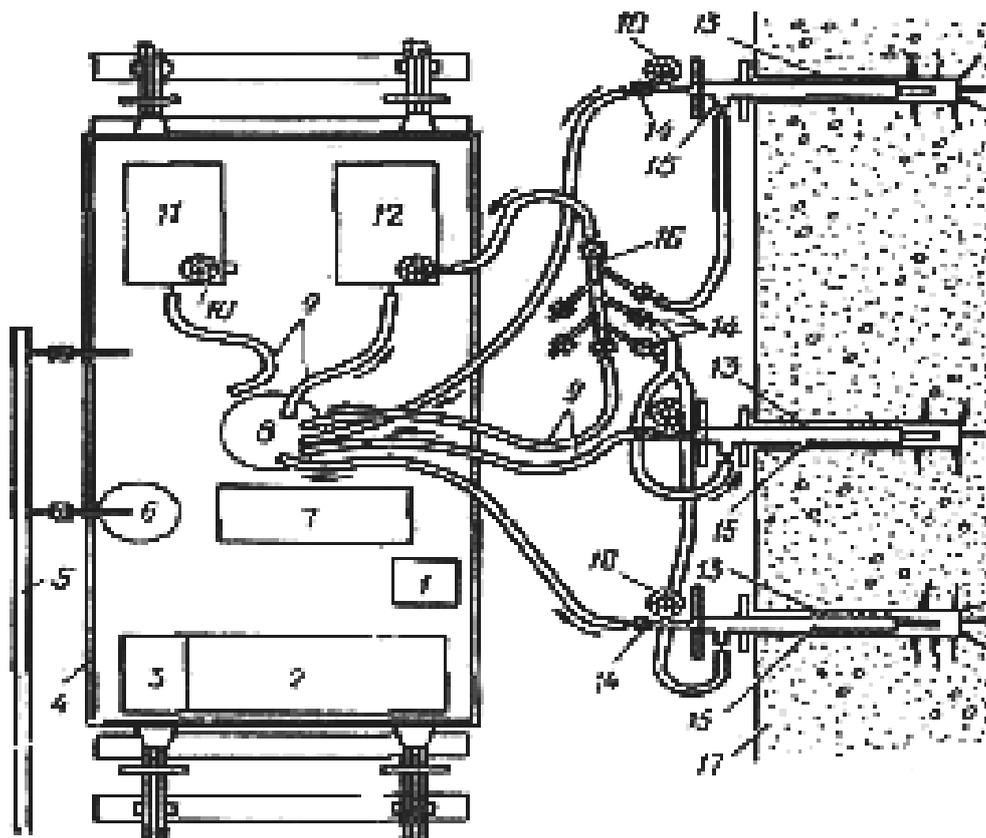


Рис. 74. Схема размещения оборудования на платформе для цементационных работ: 1 – весы; 2 – емкость для цемента; 3 – емкость для добавки; 4 – платформа; 5 – водопроводная линия; 6 – резервный бак для воды; 7 – растворомешалка; 8 – бак для раствора; 9 – шланги; 10 – манометры; 11 – резервный растворонасос; 12 – основной растворонасос; 13 – скважины; 14 – пробковые краны; 15 – иньекторы; 16 – распределительная гребенка; 17 – бетонная обделка

Железобетонная рубашка. Устройство железобетонной рубашки является весьма эффективным средством и широко используется для усиления по всему контуру обделки тоннелей. Железобетонную рубашку можно устраивать как при наличии достаточных запасов габарита, так и при отсутствии таких запасов. В первом случае перед устройством рубашки внутренняя поверхность обделки должна быть очищена от грязи, копоти, отслаивающихся частей кладки. На материале кладки для лучшего сцепления ее бетоном следует сделать насечки. Во втором случае обделку предварительно подкрепляют несущими кружалами, срубают слой кладки необходимой толщины и лишь, затем устраивают рубашку. С целью предохранения обделки от дальнейшего разрушения железобетонную рубашку (рис. 75) целесообразно устраивать в тоннелях или на отдельных его участках, где обделка имеет значительные дефекты – каверны, выщелачивание раствора, выветривание материала, сильную трещиноватость и т. д.

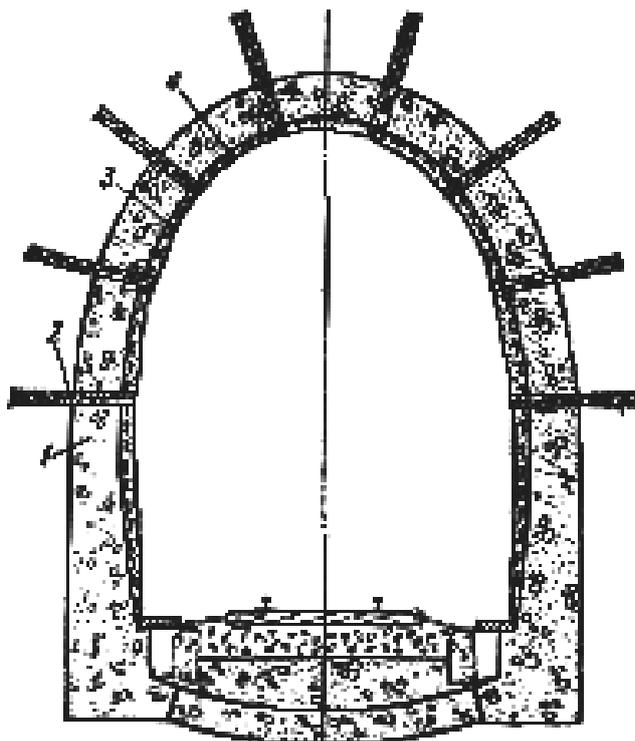


Рис. 75.
Усиление обделки железобетонной рубашкой: 1 – старая обделка; 2 – железобетонный анкер; 3 – металлическая сетка; 4 – набрызгбетон

Толщину рубашки назначают в зависимости от глубины разрушения кладки, имеющихся запасов габарита, с учетом условий удобства бетонирования, но при всех случаях она должна быть не тоньше 20 см. Арматуру вяжут либо на месте, либо заготавливают на стройплощадке в виде каркасов.

Для обеспечения надежной связи железобетонной рубашки с конструкцией арматуру крепят к обделке металлическими анкерами диаметром 16...24 мм, закрепляемыми в шахматном порядке с шагом около 1 м. Бетонируют рубашку, как правило, пневмобетоно-укладчиками с передвижных подмостей с использованием опалубки, установленной по кружальным аркам.

Помимо железобетонных рубашек с арматурой обычного типа, в качестве усиливающей конструкции можно применять рубашки, армированные жесткой арматурой, – металлическими кружалами из старых рельсов или проката. Такой способ целесообразен в условиях интенсивного движения поездов и особенно в аварийных случаях, когда обделку необходимо немедленно подкрепить. После установки металлических кружал их сваривают, как правило, между собой продольной арматурой в единый каркас и затем укладывают бетон. Опалубка в этом случае может быть прикреплена непосредственно к кружалам.

Набрызгбетон. Нанесение набрызгбетона на внутреннюю поверхность обделки за последнее время получает все большее распространение и является одним из наиболее прогрессивных, экономичных и эффективных способов усиления тоннельной конструкции. Набрызгбетон – высокопрочный, быстротвердеющий бетон, получаемый нанесением на укрепляемую поверхность посредством сжатого воздуха смеси цемента, песка, гравия или щебня и воды с добавкой ускорителей схватывания и твердения. Набрызгбетон укладывают способом безопалубочного бетонирования, при этом сухая цементнопесчано-гравийная смесь под давлением сжатого воздуха поступает по шлангу и непосредственно перед вылетом из сопла увлажняется. В результате непрерывного послойного трамбования и активизации цемента увеличивается плотность и сцепление набрызгбетона с поверхностью, возрастает его прочность и повышается водонепроницаемость.

При подборе состава набрызгбетона определяют соотношение составляющих сухой смеси, выбирают марку цемента и вид добавки–ускорителя, исходя из условий наибольшей прочности при наименьшем отскоке (табл. 5). В качестве вяжущего применяют цементы высоких марок 400...600 свежего помола, в качестве добавок для

ускорения схватывания в отечественной практике используют алюминат натрия, жидкое стекло, фтористый натрий и др. Подобранный состав набрызгбетона обычно уточняют на месте производства работ путем опытных нанесений. Выбирают состав, дающий необходимую прочность при наименьшем расходе цемента и минимальном отскоке (не более 15 %). Набрызгбетон наносят с помощью специальных машин, горизонтальными полосами шириной 50...60 см за один прием. Толщина слоя, наносимого за один прием, равна 5...7 см, причем суммарная толщина набрызгбетонного покрытия обычно не превышает 20 см.

В зависимости от характера и степени разрушения тоннельной обделки конструкции ее усиления с применением набрызгбетона может быть принята различной. Такими конструкциями могут служить сплошные набрызгбетонные покрытия в сочетании с анкерами. В обоих случаях покрытие может быть выполнено как по металлической сетке – армированный набрызгбетон (рис. 76), так и без нее.

При сочетании набрызгбетонного покрытия с анкерной крепью обделку предварительно заанкеривают штангами в породу. Для этой цели через обделку бурятся шпуров диаметром 36...42 мм на глубину до 3 м, в которые устанавливаются анкера. К этим анкерам подвешивают металлическую сетку, и наносят набрызгбетонное покрытие требуемой толщины. Таким образом, обеспечивается совместная работа всей системы «укрепленный анкерами породный свод – обделка – набрызгбетонное усиление, армированное металлической сеткой».

Таблица 5

Данные подбора состава сухой смеси для набрызгбетона

Показатели	Требуемый предел прочности набрызгбетона на сжатие, кгс/см ²		
	300	400	500
Расход цемента на 1 м ³ сухой смеси, кг	250	300	350
Относительное содержание крупного заполнителя в сухой смеси	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5
Отскок материала от вертикальной поверхности при нанесении на нее смеси, %.	10-12	12-14	16-20
Содержание цемента в 1 м ³ набрызг-бетона, кг	300-350	350-400	450-520

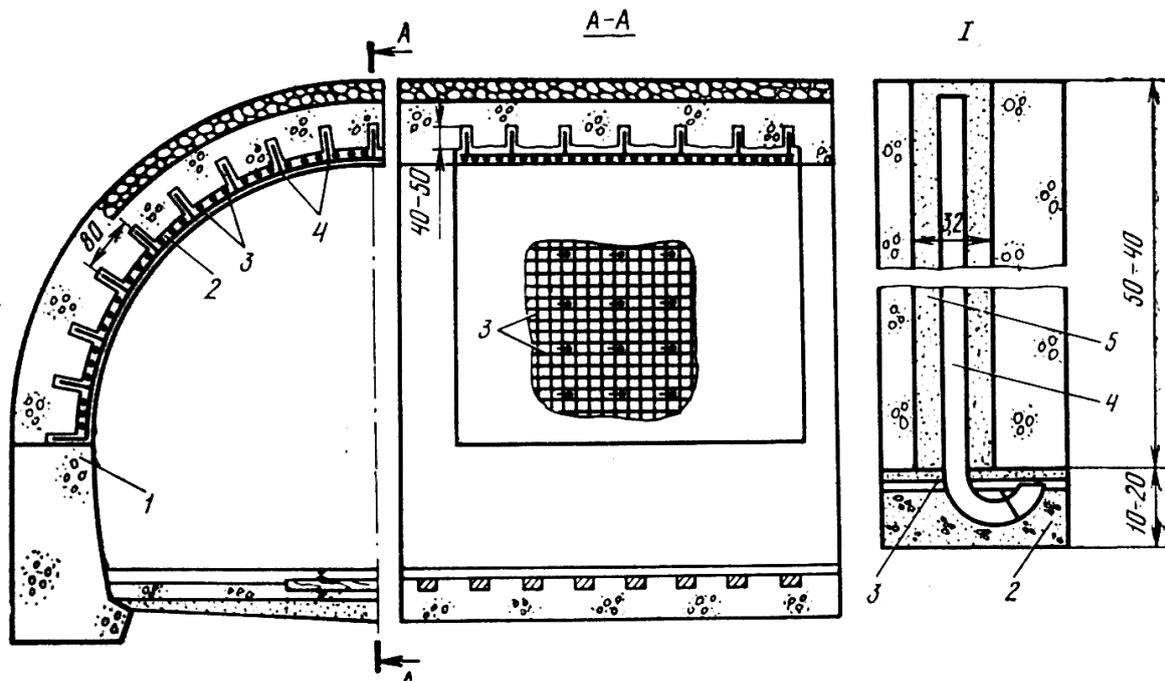


Рис. 76. Усиление обделки набрызгбетоном по металлической сетке: 1 – обделка тоннеля; 2 – набрызгбетон; 3 – металлическая сетка; 4 – анкеры; 5 – цементный раствор

Для применения анкеров в качестве элементов, входящих в постоянную несущую конструкцию тоннеля, необходимо обеспечить их долговечность. Наиболее надежными для этих целей являются железобетонные или металлические анкеры, закрепленные в скважинах смесью из синтетической смолы и песка, что обеспечивает их надежную защиту от коррозии (рис. 77).

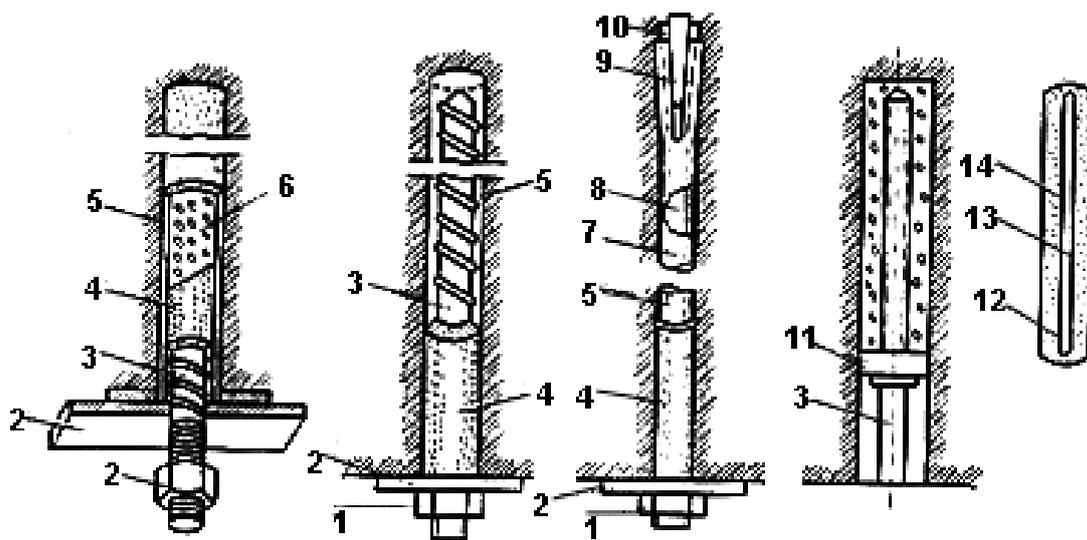


Рис. 77. Типы анкеров: а – железобетонный перфоанкер; б – железобетонный забивной; в – железобетонный трубчатый; г – металлический анкер, закрепленный искусственной смолой; д – стеклянная ампула со смолой для анкера типа «г»; 1 – гайка; 2 – опорная плитка; 3 – металлический стержень анкера; 4 – цементно-песчаный раствор; 5 – шпур; 6 – трубка с перфорацией;

- 7 – трубчатый анкер; 8 – полость трубы; 9 – «усы» анкера; 10 – клин;
11 – уплотнитель; 12 – корпус стеклянной ампулы;
13 – ампула с отвердителем; 14 – смола с песком

Набрызгбетонное покрытие может быть выполнено также и в сочетании с несущими металлическими кружальными арками. В этом случае, как и при устройстве железобетонной рубашки, они выполняют роль жесткой арматуры, и порядок их установки остается таким же. Разница заключается лишь в том, что вместо укладки монолитного бетона применяют безопалубочный метод бетонирования, т. е. набрызгбетон. Работы по усилению обделок с применением набрызгбетона обычно выполняют в «окна» продолжительностью не менее 4 ч с подмостей и с помощью специального оборудования, установленных на платформах, передвигаемых по тоннелю мотовозом.

Замена элементов обделки тоннеля. Необходимость в полной замене существующей обделки или отдельных ее элементов более мощной конструкцией возникает либо вследствие потери ею первоначальной несущей способности, либо в результате возрастания действующих на нее нагрузок. По сравнению с рекомендациями по усилению существующей конструкции этот способ реконструкции является более трудоемким и дорогостоящим. Его применение целесообразно лишь в тех случаях, когда материал старой обделки потерял в результате воздействия агрессивной среды свои первоначальные прочностные характеристики, или тогда, когда усиление не может быть практически осуществлено из-за крайне стесненных внутренних габаритов. В этом случае наряду с заменой существующей обделки более мощной устраняют также негабаритность тоннеля, т. е. увеличивают внутреннее очертание вновь возводимой обделки. Все работы, связанные с нарушением целостности обделки в эксплуатируемых тоннелях, выполняют с помощью несущих металлических кружал или специальной передвижной крепи. Тип кружал и расстояние между их осями выбирают в зависимости от инженерно-геологических условий расположения тоннелей и конкретных условий производства работ. При реконструкции однопутных тоннелей все работы, связанные с заменой существующей конструкции обделки более мощной, рассмотренные ниже в настоящем параграфе, ведут в «окна».

В двухпутных тоннелях работы можно выполнять без перерыва движения поездов с закрытием одного пути и сохранением однопутного движения. При замене верхнего свода, стен или полной замене обделки ось действующего пути целесообразно совмещать с осью двухпутного тоннеля. Тогда эксплуатируемую часть тоннеля ограждают от рабочей зоны объемлющими передвижными подмостями (рис. 78), с которых удобно вести все работы по разборке старой кладки, доработке профиля и возведению новой обделки. Работы по устройству или замене обратного свода выполняют, как правило, с попеременным закрытием одного пути. В этом случае действующий путь надежно ограждают, в рабочей зоне разбирают верхнее строение второго пути и осуществляют реконструкцию лотка до оси обделки. После восстановления пути на него переводят движение, и работы ведут на другом пути в том же порядке.

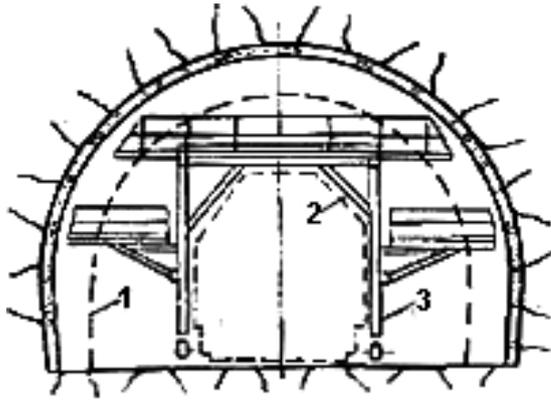


Рис. 78. Объемлющие передвижные подмости:
1 – контур реконструируемой обделки; 2 – льготный габарит;
3 – объемлющие подмости

Замена верхнего свода. В большинстве случаев возникает необходимость в замене верхнего свода обделки, так как именно он, являясь наиболее ответственной и напряженной частью конструкции, в большей степени подвержен вредному воздействию проходящих по тоннелю локомотивов, просачивающейся через обделку воды и т. п.

Работы по перекладке свода можно вести двумя способами. Первый способ – внутренний – предусматривает производство всех работ в «окна» изнутри тоннеля. Второй способ – наружный – позволяет осуществлять работы без перерыва движения поездов через специальную, расположенную за пределами обделки транспортную штольню или последовательно, начиная от портала. Как правило, в тех случаях, когда подлежащий реконструкции участок тоннеля расположен не у портала, а где-то в центре тоннеля, имеет небольшую протяженность и интенсивность движения поездов невелика, применяют внутренний способ реконструкции. При больших объемах работ в случае необходимости заменить свод на всем протяжении тоннеля (что бывает, кроме того, связано еще с ликвидацией негабаритности) реконструкцию обычно ведут наружным способом. При этом перекладку свода можно выполнять либо горным способом, либо с помощью специального полущитового механизированного комплекса. Замену существующего свода более мощным при внутреннем способе работ осуществляют аналогично тому, как это выполняют при перекладке верхнего свода в процессе капитального ремонта. Разница состоит в том, что усиление свода производят не только путем замены, например каменной кладки бетонной или за счет повышения самой марки бетона, но и за счет увеличения толщины свода. Поэтому одновременно с разборкой старого свода выполняют еще дополнительную доработку породы.

Замена или возведение стен. При замене существующих стен более мощными, так же как при переустройстве сводов, используют одиночные металлические кружала или передвижную металлическую крепь. Лишь при перекладке коротких участков дефектных стен обделки тоннелей, расположенных в скальных породах и при хорошем состоянии свода, работы можно выполнять без подкрепления обделки. В тоннелях, пройденных в соответствующих инженерно-геологических условиях, конструкция обделки могла быть выполнена в виде свода, опертого на породу (рис. 79). Если с течением времени порода в боках выработки выветрилась, то для обеспечения устойчивости свода под него необходимо подвести достаточно прочные стены. Толщину подводимых стен принимают в соответствии с толщиной свода в пятах. Как при замене существующих стен более мощными, так и в случае подводки под свод стен работы выполняют теми же приемами и в такой же последовательности, как при подводке стен под свод при способе опертого свода. Разборку обделки и разработку породы ведут участками, расположенными в шахматном порядке, а обнаженные пяты свода тщательно подкрепляют подкосами – штрелеями. Длина перекладываемого или

разрабатываемого участка обделки не должна превышать 3 м и быть не более одной трети длины.

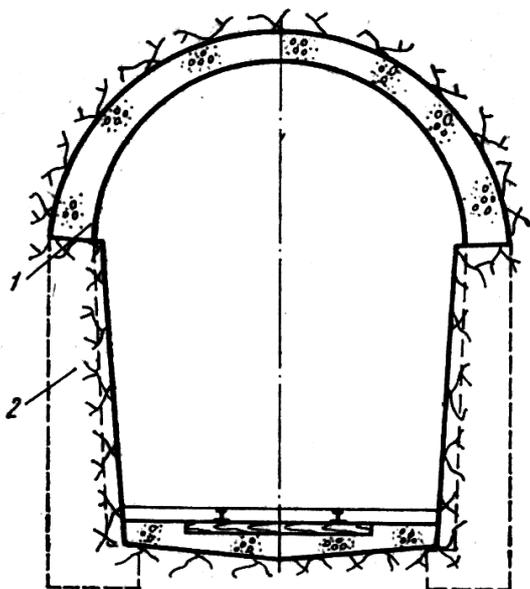


Рис. 79.
Конструкция обделки в виде свода, опертого на породу:
1 – свод, опертый на породу; 2 – подводимые стены

Устройство или замена обратного свода. В практике эксплуатации тоннелей часто приходится встречаться с дефектами обделки, связанными с отсутствием обратного свода или наличием обратного свода недостаточной мощности. При этом происходят деформация стен, их сближение, уменьшение внутреннего очертания обделки. В этом случае появляется необходимость в переустройстве обратных сводов. Если участок, на котором требуется усиление или возведение обратного свода, невелик, то эти работы могут быть выполнены аналогично тому, как это делается при перекладке обратных сводов в процессе их капитального ремонта, т. е. с помощью разгружающих пакетов. При необходимости переустройства обратного свода на всем протяжении тоннеля или по крайней мере на значительной его длине более целесообразно выполнять эту работу с помощью путеукладчика. В однопутных тоннелях работы ведут с максимальной механизацией в «окна» продолжительностью 5...6 ч. В этом случае обратный свод (рис. 80) состоит из трех сборных железобетонных блоков двух типоразмеров – типов I и II. Они имеют несимметричное очертание с расположением пят на разных уровнях, что дает возможность размещать водоотводный лоток сбоку.

Ширину блоков обычно принимают кратной длине рельсового звена и равной 1,25 м. Работы по сооружению обратных сводов выполняют в четыре стадии (рис. 81). На стадии 1 вместе со шпалами убирают путеукладочным краном рельсовое звено длиной 12,5 м, удаляют балласт на длине 7,4 м и на шпальных клетках, выложенных по концам котлована, устанавливают металлический пакет 1 той же длины (7,4 м) и рубки из рельсов длиной 5,1 м. Рубки и рельсы пакета соединяют накладками на болтах с рельсами соседних звеньев. На стадии 2 на длине 6,25 м для укладки пяти рядов блоков обратного свода под металлическим пакетом разрабатывают котлован или разбирают старый свод. Породу и элементы разобранного свода удаляют бадьей, подвешенной к путеукладчику, или транспортером на железнодорожную платформу. На стадии 3 ведут подготовку основания под обратный свод укладкой слоя щебня 2 толщиной 10 см. Затем устанавливают по два блока типа I и на них блоки типа II сразу на всю длину котлована. На заключительной стадии 4 заделывают сопряжения концов блоков обратного свода с фундаментами жестким бетоном, предварительно срубив его край для образования радиального шва. Швы между блоками заливают цементным

раствором, а верхнюю часть, кроме того, чеканят расширяющимся цементом.

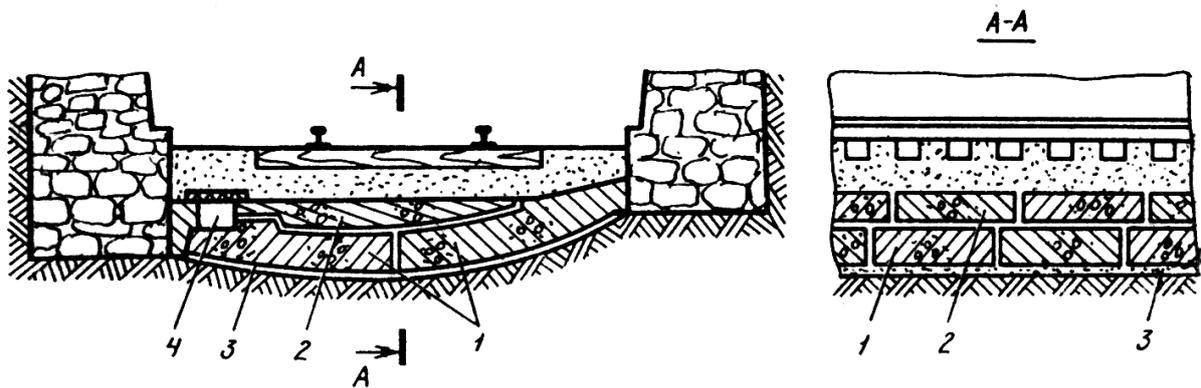


Рис. 80. Сборная обделка обратного свода: 1 – блоки типа I; 2 – блоки типа II; 3 – щебеночная подготовка; 4 – водоотводный лоток

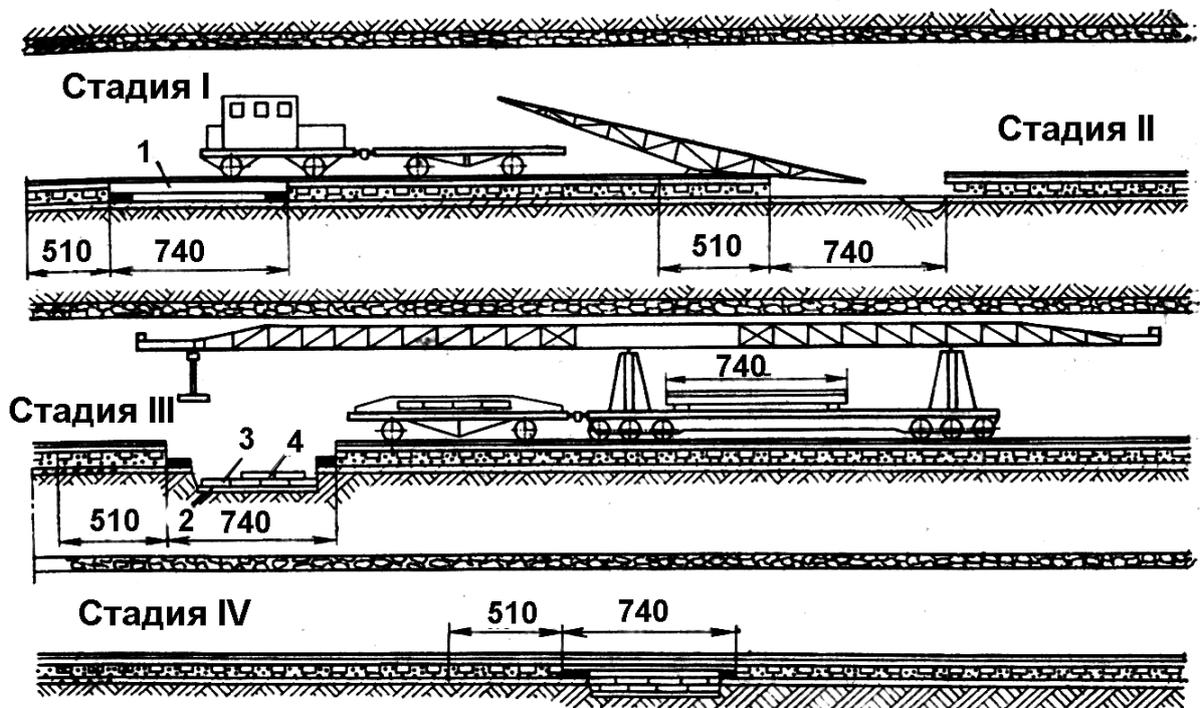


Рис. 81. Схема производства работ по переустройству обратного свода

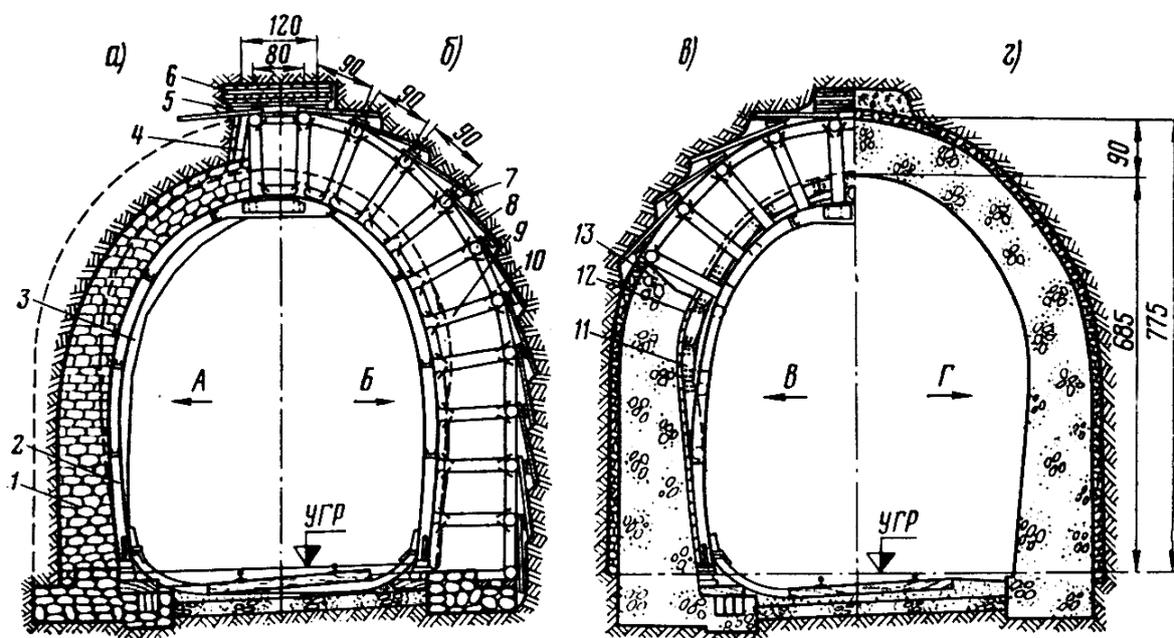
Устраивают водоотводный лоток, засыпают балласт и восстанавливают путь. При выполнении работ одновременно в четырех местах за шестичасовое «окно» этот способ дает возможность соорудить 2,5 м обратного свода.

Полная замена обделки более мощной конструкцией. Замена существующей обделки тоннеля более мощной в условиях движения поездов представляет наиболее сложную задачу реконструкции. Как и при переустройстве только свода, эта работа может быть выполнена либо наружным способом, либо внутренним.

Наружный способ, как правило, применяют в тех случаях когда переустройству подлежит обделка на всем протяжении тоннеля и реконструкция, кроме того, связана с ликвидацией существующей негабаритности. Внутренний способ применяют при

необходимости заменить обделку на участках небольшой длины, так как производство работ связано с получением достаточно продолжительных «окон», что на грузонапряженных линиях не всегда возможно. При внутреннем способе работы начинают с установки кружал. Если несущие металлические кружала выполнены по внутреннему очертанию новой обделки или если старая обделка имеет негабаритность, то до установки кружал в существующей обделке пробивают специальные борозды – штрабы. Перед пробивкой штраб старую обделку подкрепляют предохранительными кружалами, причем их устанавливают с таким расчетом, чтобы они располагались в промежутках между несущими. После установки несущих кружал убирают предохранительные, проходят надсводную штольню с разрезкой свода по замковой части и устанавливают унтерцужную систему с опиранием стоек на несущие кружала (рис. 82,а). После разборки старой кладки дорабатывают породу до полного профиля новой обделки и крепят выработку системой лонгарин и штендеров, опирая последние также на несущие кружала (рис. 82,б). Затем устанавливают кружала и опалубку, бетонируют обделку (рис. 82,е), а после выстойки бетона снимают несущие металлические кружала, деревянные кружала и опалубку (рис. 82,з). Работы ведут участками длиной по 2 м одновременно по обе стороны от оси пути.

Устранение негабаритности тоннелей. Боковую негабаритность величиной до 5 см устраняют за счет стески кладки стен. Уменьшение толщины обделки более чем на 5 см приводит к появлению в ней деформаций. Поэтому стесанную негабаритную часть кладки усиливают железобетонной рубашкой. Работы иногда выполняют круглый год, а для поддержания положительной температуры при бетонировании и вплоть до полной выстойки бетона применяют электропрогрев по всей ремонтируемой поверхности. Боковую негабаритность величиной 10 см и более устраняют путем перекладки стен. На электрифицируемых линиях большую сложность представляют работы по устранению боковой



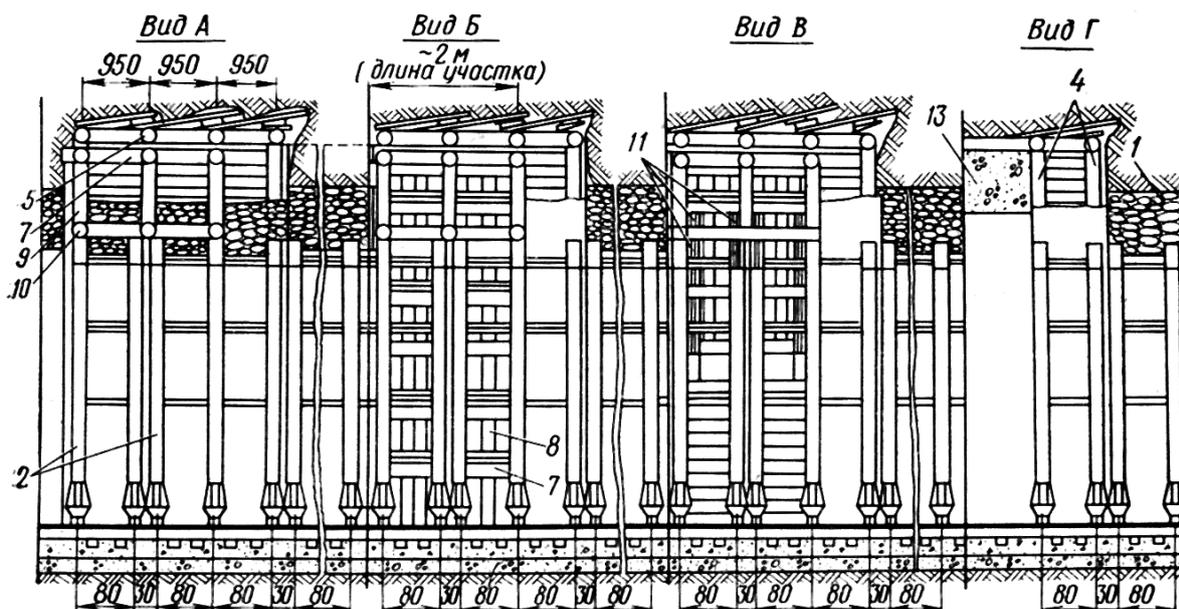


Рис. 82. Полная замена обделки более мощной конструкцией: *а* – установка предохранительных кружал, пробивка штраб в обделке, установка несущих кружал с подкреплением старой обделки и уборка предохранительных кружал; *б* – разборка старой кладки и доработка породы; *в* – установка кружал и опалубки, бетонирование новой обделки; *г* – снятие кружал и опалубки; 1 – старая обделка; 2 – несущие кружала; 3 – штраба для установки несущих кружал; 4 – стойки; 5 – верхняки; 6 – филаты; 7 – лонгарины; 8 – марчеваны; 9 – штендеры; 10 – рошпаны; 11 – кружала; 12 – опалубка; 13 – новая обделка

негабаритности двухпутных тоннелей, построенных по старому габариту с междупутьем 3,72 м (по новому габариту ширина междупутья должна составлять 4,10 м). Интересным и экономичным решением является способ одностороннего расширения тоннеля с помощью металлических передвижных каркасов без перерыва движения поездов по одному пути. Другой путь на все время производства работ закрывается. Монтаж каркасов перед началом перекладки обделки и демонтаж их после окончания работ производят в «окна», специально предусмотренные в графике движения поездов.

Каркас представляет собой пространственную конструкцию, состоящую из пятнадцати инвентарных металлических кружал двутаврового сечения, соединенных между собой горизонтальными и диагональными схватками. Расстояние между осями кружал выбирают в зависимости от инженерно-геологических условий. Работы ведут на нескольких участках по длине тоннеля, расстояние между ними принимают обычно равным около 50 м. Каркасы опираются на специальные опорные пути, состоящие из шпальных коротышей и трех соединенных между собой болтами рельсовых нитей, которые уложены вдоль стен тоннеля. Передвигают каркасы от одного участка работ к другому при помощи лебедок, установленных в камерах или внутри тоннеля. Перед установкой каркаса один из двух путей рихтуют на величину, обеспечивающую по другому пути минимально допустимый льготный габарит приближения строений. Собирают каркас у портала с помощью 15-тонного крана. Для обеспечения безопасности во время производства работ по перекладке негабаритной обделки каждый каркас обшивают защитной оболочкой из досок или металла, а в забое устраивают искусственную вентиляцию. После установки каркасов на место

приступают к разборке кладки.

От места врезки негабаритную кладку и породу разрабатывают до проектного профиля отбойными молотками в направлении от замка к обреза фундамента. Профиль новой выработки закрепляют марчеванами, филатами и рошпанами с опиранием их на металлические кружала через штендеры и лонгарины (рис. 83). Каменную кладку другой половины свода сохраняют, а при наличии в ней дефектов усиливают различными способами.

Длина участка одновременно разбираемой негабаритной кладки зависит от крепости окружающей породы, гидрогеологических условий и состояния старой кладки. После окончания разборки кладки и разработки породы до проектного профиля устанавливают опалубочные кружала, составленные из трех досок размером 5 x 20 см. Кружала изготовляют из отдельных сегментов длиной 200 см, скрепленных между собой гвоздями таким образом, чтобы стыки располагались в разбежку. Внешнее очертание кружал должно соответствовать внутреннему очертанию

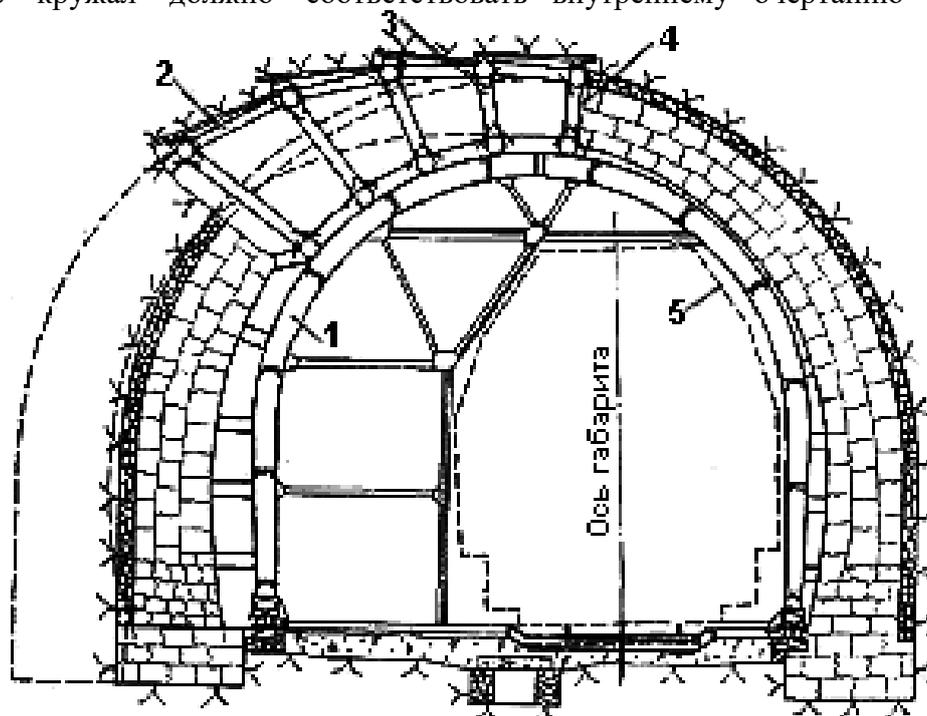


Рис. 83. Разборка негабаритной кладки и доборка профиля: 1 – металлические несущие кружала; 2 – рошпан; 3 – штендер; 4 – граница разборки негабаритной кладки; 5 – линия габарита приближения строений

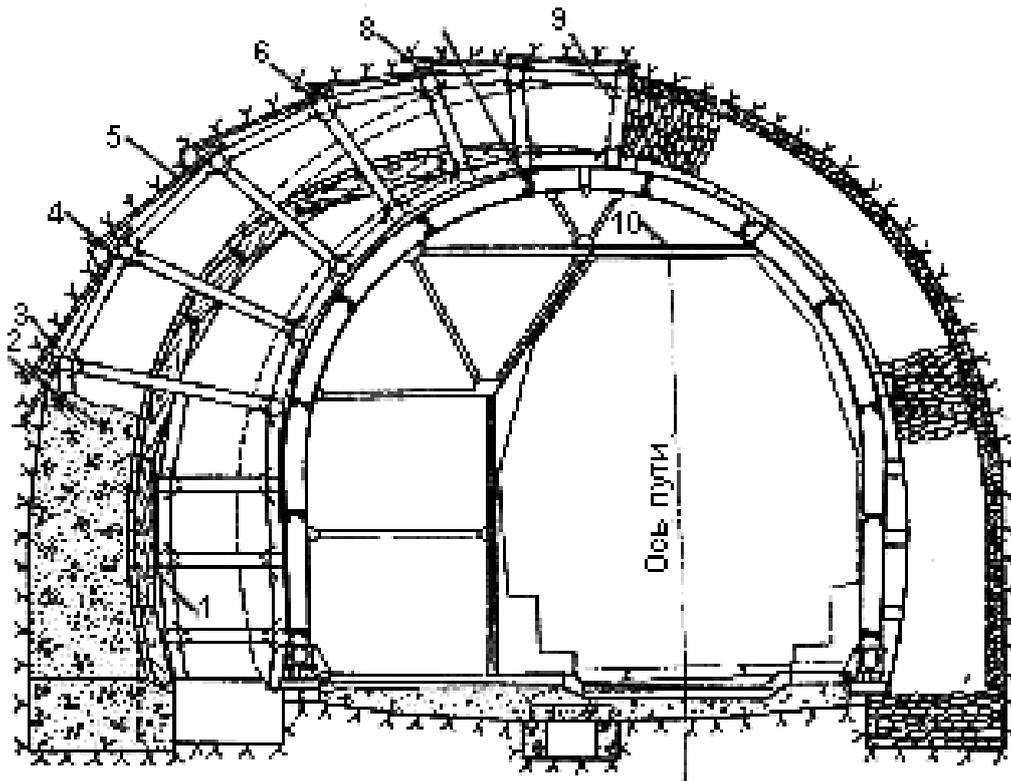


Рис. 84. Бетонирование новой обделки: 1 – деревянное опалубочное кружало; 2 – новая обделка из бетона; 3 – лонгарина; 4 – скоба; 5 – марчевана; 6 – филата; 7 – клинья; 8 – опалубка; 9 – штендер; 10 – защитная обшивка из досок и кровельного железа

проектируемой обделки. Опалубку по кружалам устанавливают по мере укладки бетона. После установки и инструментальной выверки опалубки приступают к укладке бетона, (марка бетона задается проектом), которую ведут снизу вверх при помощи пневмобетонукладчика. Укладываемый бетон уплотняют вибротрамбовками (рис. 84). Для лучшего сцепления нового бетона с оставляемой старой каменной кладкой необходимо тщательно очищать старую поверхность от копоти и пыли металлическими щетками и обильно смачивать его водой.

Чтобы ускорить выполнение работ, их ведут одновременно на нескольких участках через каждые 50 пог. м по длине тоннеля. Работы ведут в три смены, причем одна бригада занимается перекладкой, а другая – раскружаливанием, передвижкой и раскреплением каркасов. К раскружаливанию приступают только после того, как уложенный бетон достигает 75% отпускной прочности. Разбираемый камень и разрабатываемый скальный грунт опускают по желобам в бункеры, установленные под каркасами, оттуда они попадают на ленточные транспортеры, а затем на железнодорожную платформу. При помощи мотовоза камень и грунт отвозят в отвал.

Преимущества этого способа перед ранее применявшимися способами с отдельными кружалами следующие: во-первых, каркас из нескольких кружал дает возможность экономить время за счет перестановки не отдельных кружал, а целых секций; во-вторых, одностороннее расширение тоннеля снижает стоимость затрат; в-третьих, наличие обшивки по наружному контуру каркаса позволяет устроить в забое искусственную вентиляцию, улучшить условия труда и повысить его производительность. Этот способ имеет и недостатки: неоднородность материала в одном сечении и большая трудоемкость работ. Работы по устранению боковой негабаритности в двухпутных тоннелях с успехом выполняются с минимальной

доработкой породы, если в качестве новой конструкции применить обделку из железобетонных элементов или набрызгбетона по сетке в сочетании с анкерами или металлическими арками (рис. 85).

Устранение верхней негабаритности; опускание подошвы тоннеля. Понижение пути, как правило, требует подработки грунта в основании балластного слоя, что приводит к обнажению фундаментов тоннельной обделки, а при наличии обратных сводов требуется их полное переустройство. Эту работу можно выполнять при помощи подвесных рельсовых пакетов участками длиной 2 м в такой последовательности. В первое «окно» укладывают пакет на длине 12,5 м из шести рельсов типа Р43 под каждую рабочую нить; во второе «окно» убирают балласт; в третье и четвертое «окна» разбирают старый обратный свод или породу под новый; в пятое и шестое «окна» бетонируют новый обратный свод. В течение следующих пяти дней происходит твердение уложенного бетона и на 12-й день котлован засыпают щебнем. На 13-й день на соседнем 2-метровом участке укладывают шпалы, а на 14-й день начинают повторение цикла. Переустройство или подведение обратного свода на кольце длиной 6,0...6,4 м занимает немногим более месяца. В длинных тоннелях понижение пути занимало много времени даже при открытии нескольких участков, а бетонирование при большом притоке воды снижало качество кладки. При устранении верхней негабаритности за счет понижения пути можно устраивать обратный свод не только монолитной, но и сборной конструкции (рис. 86 и 87). В настоящее время применяют механизированный способ переустройства обратного свода в эксплуатируемых тоннелях. Работы выполняют в «окна» аналогично работам по устройству обратного свода. Устранить верхнюю негабаритность можно также за счет понижения уровня головки рельса без устройства обратного свода. В крепких скальных грунтах эта задача решается лишь незначительной доборкой профиля в основании балластного слоя, выравниванием его бетонной подготовкой и переустройством водоотводного лотка. Сборные железобетонные элементы лотка готовят на заводе, а монтажные работы выполняют при помощи путеукладочного крана.

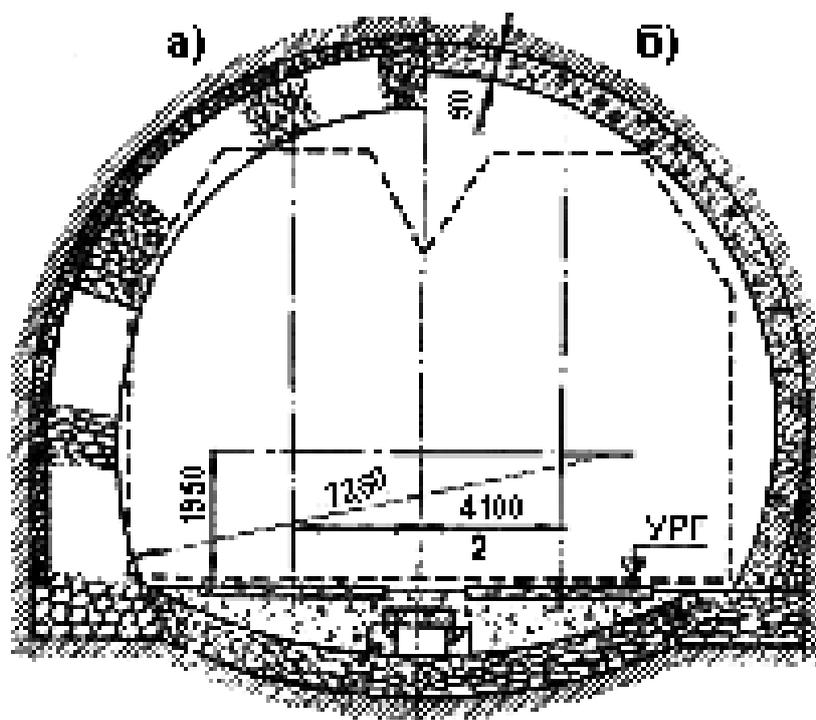


Рис. 85. Симметричное расширение двухпутного тоннеля: а – старая каменная кладка; б

– новая обделка из набрызгбетона

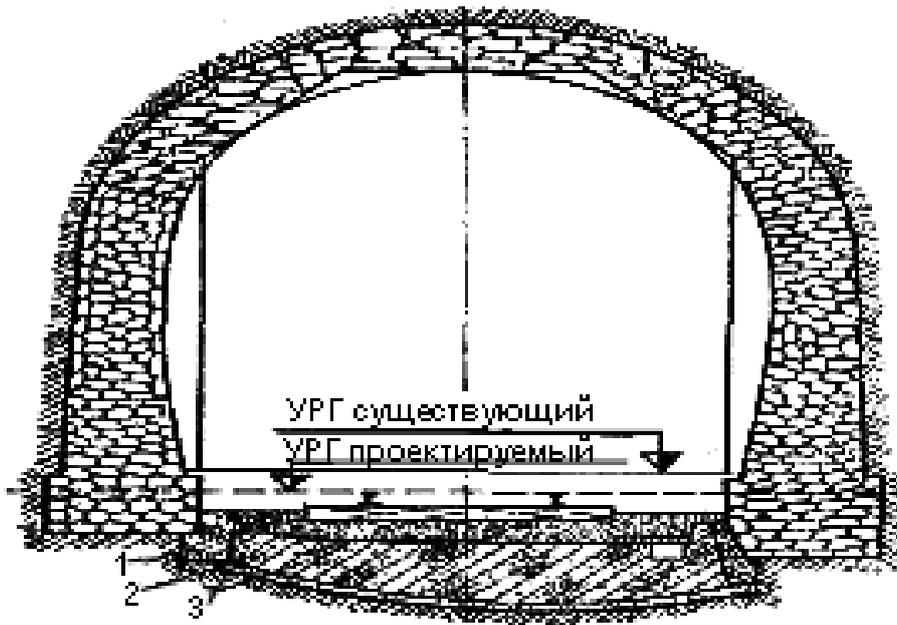


Рис. 86. Конструкция обратного свода при понижении пути: 1 – жесткий бетон;
2 – щебеночная подготовка, залитая песчано-цементным раствором;
3 – железобетонный блок обратного свода

Устранение верхней негабаритности за счет понижения уровня головки рельса в слабых грунтах можно произвести без усиления фундаментов, если применить жесткое основание пути вместо существующего упругого. Путь на жестком основании успешно эксплуатируют на метрополитене, такой путь имеется и в некоторых железнодорожных тоннелях. Работы выполняются при полном перерыве движения поездов на 2...3 месяца в такой последовательности: на 1й стадии вывозят из тоннеля весь старый балласт, разбирают водоотводный лоток, а воду перепускают по трубам; на 2-й стадии на обрезы фундаментов укладывают деревянные или металлические поперечины и на них подвешивают путь для перемещения строительных материалов; на 3-й стадии при помощи теодолита разбивают проектную ось пути, а на стены выносят проектную линию головок рельсов; на 4й стадии закрепляют рельсы в профиле и плане с помощью бетонных стоек и металлических винтовых распорок; на 5й стадии устанавливают и раскрепляют опалубку водоотводного лотка; на 6й стадии подвешивают шпалы к рельсам, а положение их в профиле выверяют с помощью нивелира; на 7й стадии укладывают бетон отдельными участками длиной 3...5 м и тщательно трамбуют его вибраторами. После затвердения бетона открывают движение поездов.

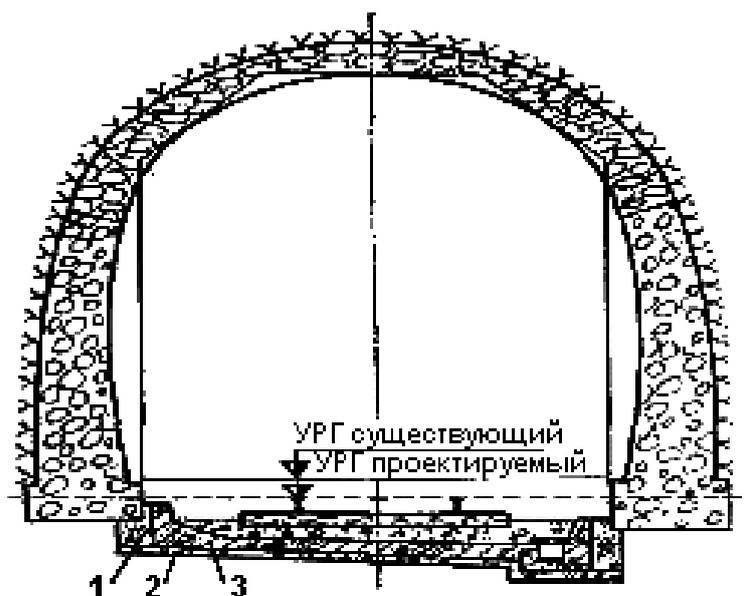


Рис. 87. Конструкции распорной плиты при понижении пути: 1 – жесткий бетон; 2 – щебеночная подготовка, залитая цементно-песчаным раствором; 3 – железобетонный блок распорной плиты длиной 1,25 м

Переустройство свода горным способом. Горный способ применяют преимущественно при устранении негабаритности в коротких туннелях и при расположении их на кривых малого радиуса. При этом работы выполняют внешним способом с предварительной проходкой транспортной штольни на время производства работ (если по условиям движения поездов невозможно предоставление «окон») или с оставлением штольни на все время эксплуатации.

Горнопроходческие работы выполняют следующим образом. Сначала подкрепляют негабаритную кладку изнутри туннеля металлическими кружалами, соединяют их между собой в продольном направлении, а зазор между наружной поверхностью кружал и кладкой заполняют досками, затем проходят штольню над обделкой свода туннеля с креплением ее полным дверным окладом (рис 88,а). В дальнейшем усиливают крепление штольни унтерцугом из продольных брусьев, стоек и распорок; его устанавливают в тех местах, в которых приступают к разработке калотты (рис. 88,б); длину калотты определяют в зависимости от крепости породы, окружающей свод туннеля. Перед завершением работы разбирают каменную (бетонную) кладку свода и устанавливают временное деревянное крепление на металлические кружала.

Разборку каменной кладки старого свода и разработку окружающей горной породы до очертания нового профиля выполняют при помощи отбойных молотков или в зависимости от состояния сохраняемой кладки и инженерно-геологических условий – взрывным способом. После разборки свода укладывают на металлические кружала деревянные продольные балки и через стойки передают на них нагрузку окружающей среды. Разработку калотты ведут симметрично в обе стороны от оси туннеля. Завершают работы установкой опалубочных кружал и бетонированием нового свода. В промежутки между металлическими кружалами укладывают деревянные опалубочные кружала, подкрепляют их штендерами, заводят за них опалубку и укладывают бетон ровными слоями одновременно с обеих сторон (рис. 89,в). По мере укладки бетон непрерывно уплотняют вибраторами. После достижения бетоном проектной прочности опалубку и деревянные кружала разбирают, а металлические кружала удаляют. Для

заполнения пустот между новой кладкой и горной породой, а также в каменную забутовку нагнетают цементный раствор.

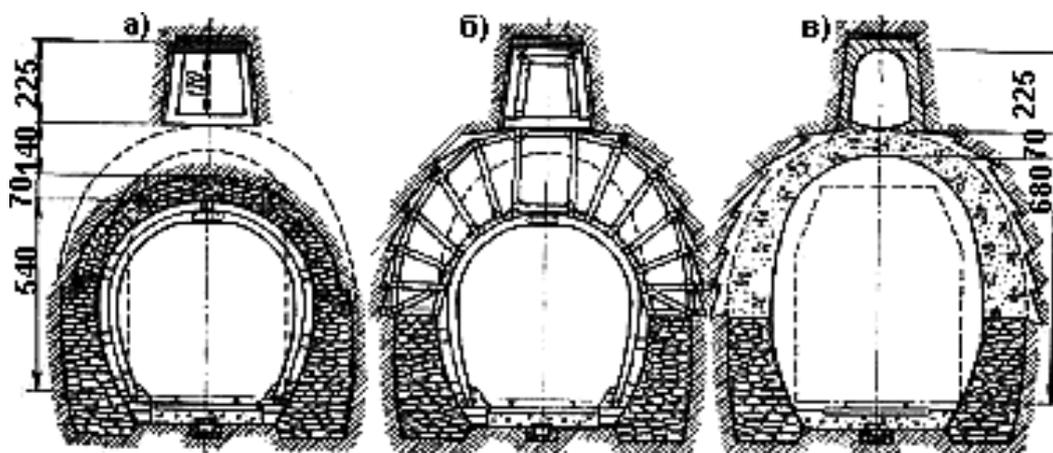


Рис. 88. Устранение верхней негабаритности

Переустройство свода с помощью полушита. Полушит Санк-Питергипротрансмоста, являющийся металлической крепью, под защитой которой выполняются строительные работы и движется поезд, состоит из ножа, опорного кольца и хвостовой части, имеет длину 4,2 м и массу около 25 т. В торцевой части опорного кольца размещены 14 гидравлических домкратов, связи и горизонтальные распорки, обеспечивающие прочность и жесткость всей конструкции. Подкосы расположены за пределами габарита подвижного состава. Для крепления кровли в слабых грунтах применяют специальные выдвижные металлические трубы, помещающиеся в опорном кольце со стороны забоя. Впереди полушита, под ним, а также позади него устанавливают передвижные кружальные секции, которые перемещаются по рельсам одновременно с передвижкой полушита. По наружной поверхности свода кружал укладывают металлические листы, предохраняющие действующий путь и проходящие поезда от случайного выпадения камней разбираемой кладки или горной породы. На кружальной секции под хвостовой оболочкой полушита монтируют приспособления для укладки тубингов, состоящие из направляющих дуг, двух гидравлических домкратов, двух лебедок. За хвостовой частью полушита устанавливают насос для нагнетания цементно-песчаного раствора за обделку.

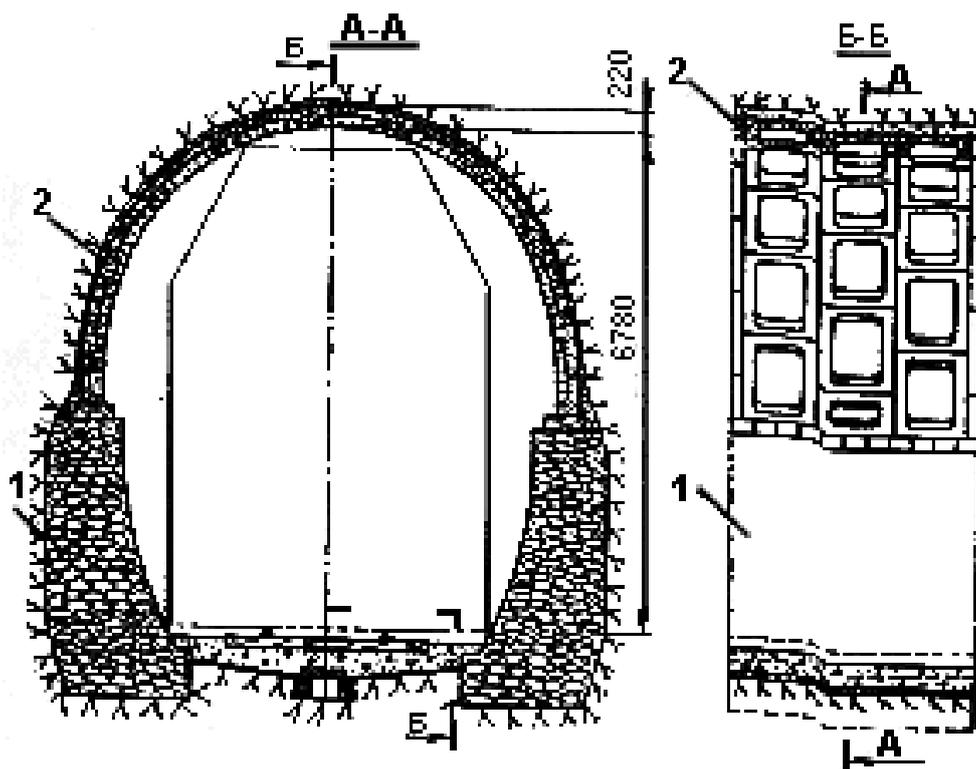


Рис. 89. Поперечный разрез обделки после реконструкции с помощью полушита: 1 – старая каменная кладка стен; 2 – новая кладка свода из тюбингов

Сборная обделка нового свода состоит из десяти железобетонных тюбингов шириной 100 см каждый (рис. 89). Тюбинги имеют ребристое сечение, толщина плиты равна 12 см, по радиальным и кольцевым швам тюбинги соединяются болтами, проходящими через специальные закладные части в их ребрах.

Работы по перекладке свода выполняют в такой последовательности. Сначала монтируют одну из секций катучих подмостей, под защитой, которой разбирают свод порталного кольца тоннеля и соседний участок кладки до уровня проектного положения опор тюбингового свода. Длину разбираемой части портала назначают такой, чтобы на сохраняемых стенах мог разместиться полушит из пяти-шести полуколец новой обделки. Полушит, монтируют в стороне от портала в зоне действия 50-тонного крана на железнодорожном ходу. Этим краном собранный полушит, устанавливают на стены портала, после чего краном монтируются первые пять-шесть полуколец обделки, и начинают проходку с помощью полушита (рис. 90). Портал тоннеля бетонируют в последнюю очередь. Вслед за катучей секцией по мере передвижки полушита монтируют технологические подмости и по ним укладывают узкоколейный путь, по которому вывозят разобранную кладку и породу, а также подвозят тюбинги к полушиту.

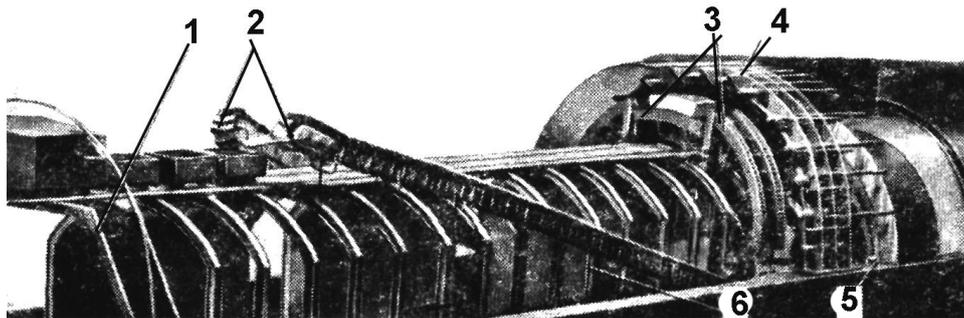


Рис. 90. Общий вид полуцитового комплекса: 1 – технологические подмости; 2 – ленточные транспортеры; 3 – тьюбингоукладчик с двумя направляющими дугами; 4 – полуцит; 5 – питатели транспортеров; 6 – катучие секции подмостей

Внутреннее очертание подмостей находится за пределами габарита подвижного состава. По наружной поверхности подмостей укладывают двойной деревянный настил с прослойкой из рубероида для предохранения рабочей зоны тоннеля, расположенной между внутренней поверхностью новой обделки свода и наружной поверхностью подмостей, от проникания паровозных и тепловозных газов. Для удаления попавших газов применяют нагнетательную вентиляцию. Разборку старой кладки свода и доборку профиля выполняют отбойными молотками или взрывным способом. Породу и разобранный кладку вывозят в вагонетках при помощи автокара за предел. Тьюбинги укладывают на складе в кассеты, грузят вагонетки и доставляют к полуциту. Затем двумя гидравлическими быстродействующими домкратами кассету с тьюбингом поднимают за пределы наружного очертания поверхности направляющих дуг и при помощи тросов от двух лебедок тьюбинг опускают на место. Этот технологический комплекс позволяет механизировать работы по уборке породы из пазух полуцита и вести их без перерыва движения поездов. Для механизированной уборки породы из забоя и погрузки ее в вагонетки с обеих сторон от катучих подмостей устанавливают пластинчатые транспортеры (рис. 91).

Отличительной особенностью пластинчатого транспортера являются удлиненные пластины особой конструкции, которые при перемещении породы под углом и на поворотах не смешаются одна относительно другой. Перемещение транспортера в двух плоскостях обеспечивается двухшарнирным соединением звеньев цепи, к которым прикреплены пластины. Транспортер длиной 25 м и массой 5 т, пластинами шириной 400 мм имеет производительность 40 т/ч; мощность его электродвигателя 1,7 кВт. Применение описанного технологического комплекса с механизированной уборкой породы с помощью пластинчатого транспортера обеспечивает проходку 3 пог. м тоннеля в сутки и не мешает движению поездов. Работы с помощью полуцита выполняют в три стадии: на первой стадии разбирают старую кладку и добирают профиль; на второй стадии передвигают полуцит и технологические кружальные секции; на третьей стадии укладывают тьюбинги.

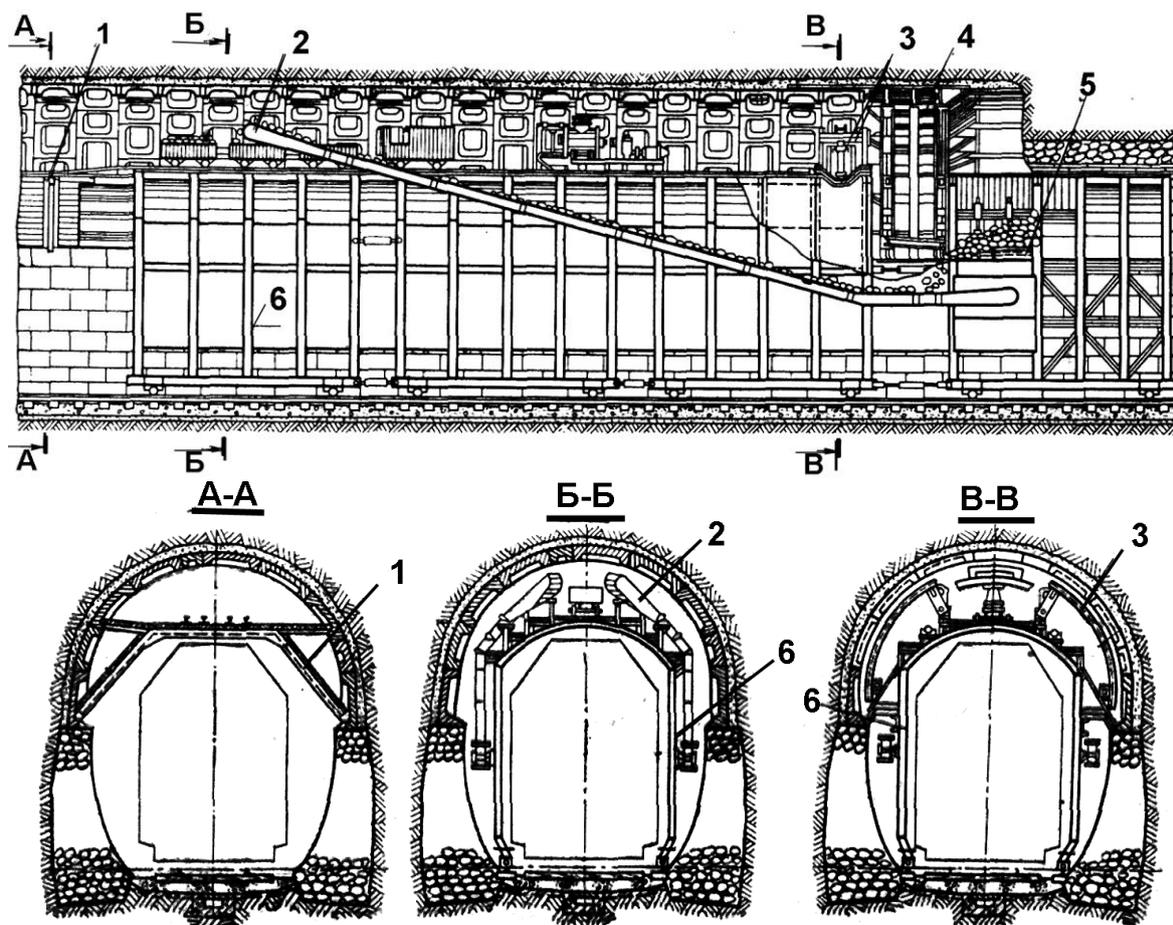


Рис. 91. Переустройство свода тоннеля с помощью полуцитового комплекса:
 1 – технологические подмости с узкоколейным рельсовым путем и вагонетками; 2 –
 изгибающиеся ленточные транспортеры; 3 – тьюбингоукладчик; 4 – полуцит; 5 –
 питатели транспортеров; 6 – катучие подмости

Объем работ на 1 пог. м реконструируемого свода тоннеля:

Разработка породы.....	6,4 м ³
Разборка старой кладки	7,6 м ³
Укладка тьюбингов.....	2,34 м ³
Чеканка швов.....	18 пог. м
Нагнетание цементного раствора.....	20 м ³

Преимуществами нового способа реконструкции свода являются сравнительно высокая производительность и возможность выполнения работ без перерыва движения поездов.

Применение механизации для уборки породы и камня из забоя на технологические подмости и откатка с помощью электрокара облегчают труд проходчиков. Металлическая передвижная крепь обеспечивает безопасность движения поездов и работы проходчиков.

Полное переустройство негабаритной обделки. Переустройство обделки однопутного тоннеля горным способом. Замену негабаритной обделки по всему контуру (верхний свод стены) выполняют наружным способом по такой же технологии, как и при устранении верхней негабаритности в пределах свода (рис. 92).

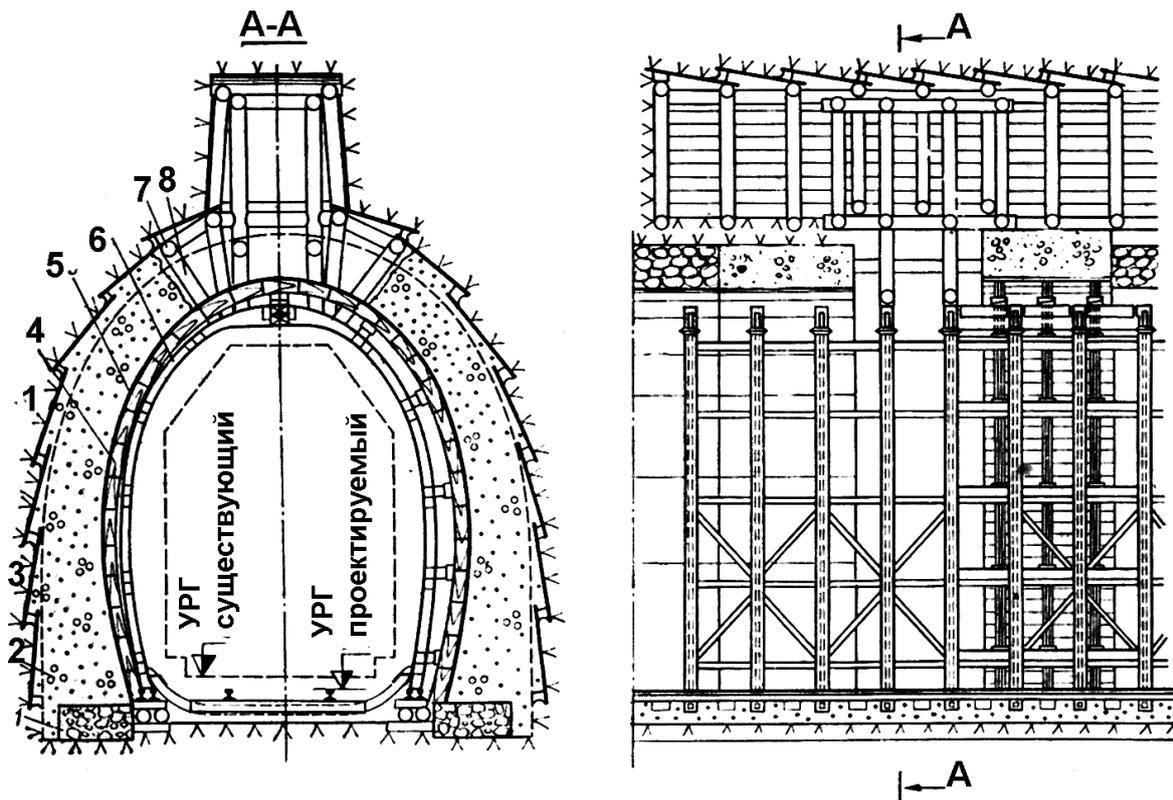


Рис. 92. Переустройство свода и стен тоннеля горным способом: 1 – старый фундамент; 2 – новая бетонная обделка; 3 – марчевана; 4 – лекало; 5 – опалубка; 6 – кружало; 7 – лонгарина; 8 – стойка

При больших объемах работ механизуют подачу бетона к месту укладки. Для этого бетонный завод строят около портала; вдоль выемки укладывают тупиковый путь, устраивают склады для хранения цемента, песка и щебня. Материалы подают в бункер по эстакаде. Бетон готовят в бетономешалке, а к месту укладки транспортируют по бетоноводу с помощью бетононасоса. Если расстояние подачи бетона от бетонного завода к месту укладки превышает 200 м, то устанавливают второй (промежуточный) бетононасос. Из бетоновода бетон поступает в распределитель, а затем по резиновому шлангу к металлическим хоботам, соединенным между собой петлями и крючьями. Бесперебойная работа бетононасоса обеспечивается установкой между бетономешалкой и бетононасосом промежуточного бункера. Промывка бетона занимает много времени, кроме того, после промывки остается большое количество цемента, песка, засоряющих балласт. Чтобы избежать этих недостатков укладывают два бетоновода: в первую смену по одному транспортируют бетон, а другой промывают, а во вторую смену меняют схему.

Переустройство обделки однопутного тоннеля с помощью эректора. Большие объемы работ по переустройству негабаритной обделки стен и свода выполняют круглый год независимо от температуры наружного воздуха при помощи эректора, смонтированного на четырехосной железнодорожной платформе (рис. 93). Этот способ применяют в том случае, когда необходимо заменить деформированную бетонную кладку более мощной обделкой, например, из чугунных тубингов или железобетонных блоков.

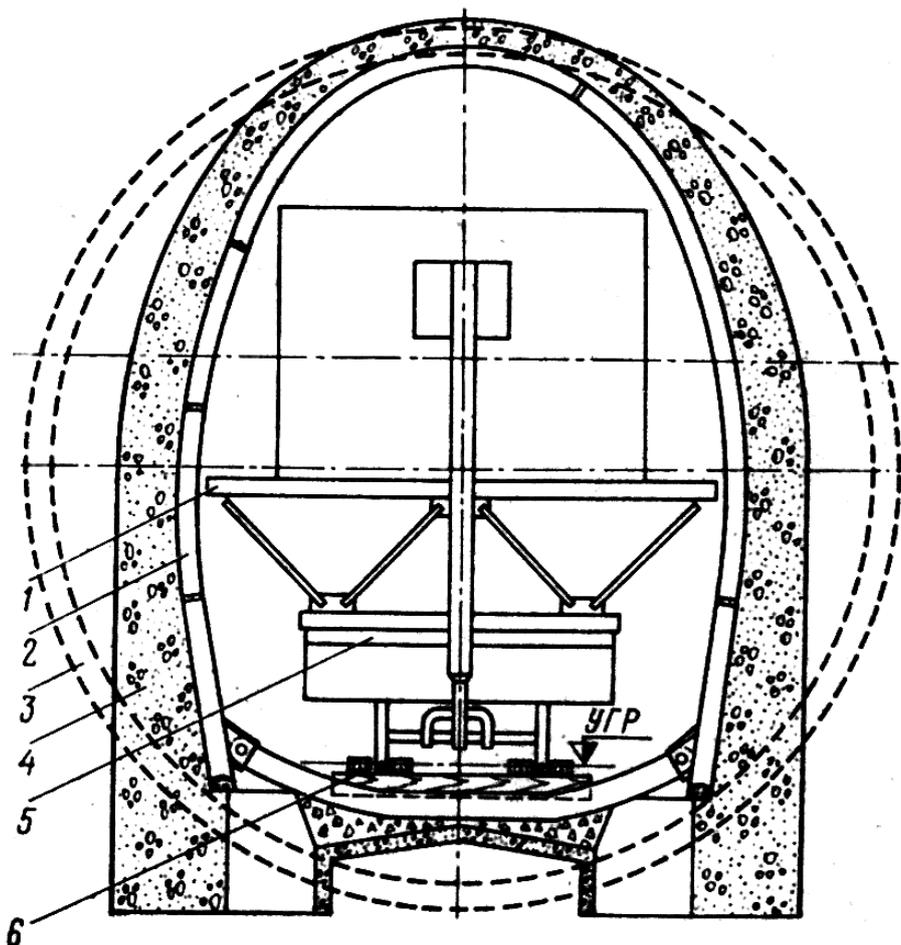


Рис. 93. Переустройство обделки с помощью эректора: 1 – эректор;
 2 – металлические кружала; 3 – новая обделка из тубингов (по проекту);
 4 – существующая негабаритная обделка из бетона; 5 – железнодорожная платформа; 6 – пакет из шести рельсов

Работы в тоннеле начинают с установки несущих металлических кружал и укладки подвешенного пакета из рельсов по всей длине переустраиваемого негабаритного участка. К месту работ прокладывают воздуховод от компрессорной, построенной близ портала тоннеля, на двух четырехосных железнодорожных платформах монтируют два тубингоукладчика; в вагоне оборудуют насосную станцию для нагнетания цементного раствора (в зимнее время воду и инертные подогревают); на переустраиваемом участке открывают три-четыре забоя и заранее убирают все провода электрического освещения, оповестительной и заградительной сигнализации в боковые водоотводные лотки, укладывая их в металлическую коробку из двух швеллеров с целью предохранения от возможных повреждений при выполнении буровзрывных работ.

Разборку негабаритной кладки и доборку профиля до проектных размеров проводят участками, а затем с помощью эректора монтируют из чугунных тубингов кольцо. Работы выполняют по циклограмме в такой последовательности: в первое «окно» демонтируют одно кружало, бурят шпур в пределах стен, взрывают кладку огневым способом, добирают породу до очертания новой обделки, грузят ее на платформу и вывозят из тоннеля; во второе «окно» выполняют такие же работы, но ниже уровня головки рельса; в третье «окно» укладывают тубинги на половине кольца ниже горизонтального диаметра; в четвертое и пятое «окна» разбирают кладку и

монтируют обделку выше горизонтального диаметра (рис. 94).

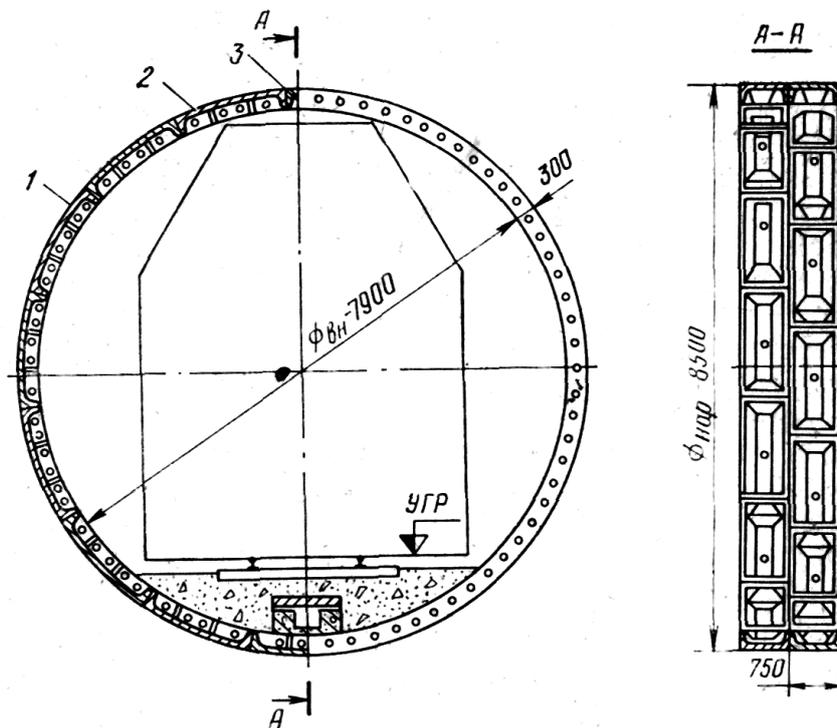


Рис. 94. Поперечный разрез новой обделки из чугунных тюбингов: 1 – тюбинг нормальный; 2 – тюбинг смежный; 3 – тюбинг замковый

Переустройство обделки двухпутного тоннеля. Двухпутные тоннели старой постройки не удовлетворяют действующему габариту С не только по высоте, но и по ширине, так как ширина междупутья в них равна 3772 мм вместо 4100 мм. Горный способ ликвидации боковой негабаритности в двухпутных тоннелях и верхней негабаритности в однопутных тоннелях сдерживает темпы производства работ вследствие большой трудоемкости и низкого уровня механизации процессов крепления, погрузки породы и возведения новой обделки.

Для полного переустройства негабаритных двухпутных тоннелей старой постройки в настоящее время Санк-Питергипротрансместом предложен проходческий комплекс, позволяющий механизировать трудоемкие процессы и производить строительные-монтажные работы круглый год независимо от температуры наружного воздуха. Предварительно до начала работ в тоннеле выполняют контрольную сборку новой блочной обделки на поверхности (рис. 95). Сущность нового способа состоит в том, что под защитой оболочки щита разбирают старую негабаритную кладку, разрабатывают породу до очертания поверхности нового профиля выработки и возводят новую обделку. Проходческий комплекс состоит из щита, оборудованного домкратами для передвижения, грузовой катучей секции № 1, катучей секции № 2 с рольгангами для укладки блоков свода обделки и тельферами для подъема и укладки стеновых блоков. Катучая секция № 3 имеет оборудование для выполнения вспомогательных работ (рис. 96). Разобранную кладку и разработанную породу грузят породопогрузочными машинами ПЛМ-5М на транспортер и в вагонетки. Откатку осуществляют электрокарами.

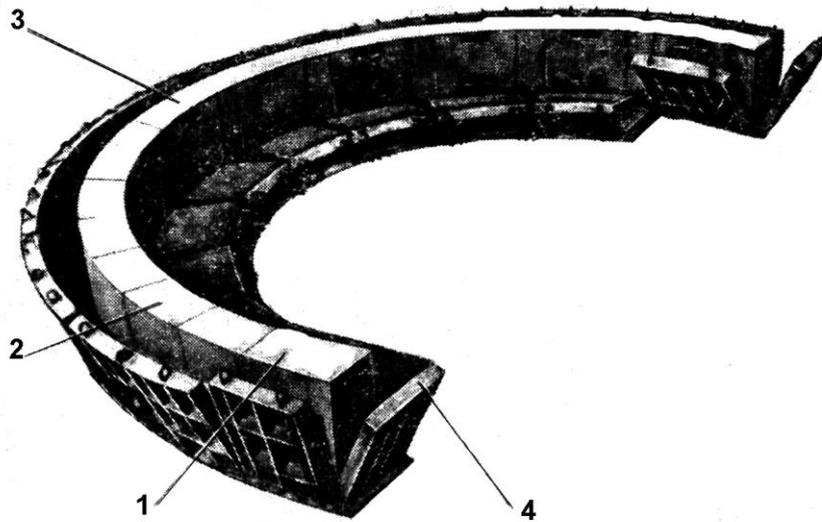


Рис. 95. Контрольная сборка блочной обделки для переустройства двухпутного тоннеля: 1 – блок фундамента; 2 – блок стены; 3 – блок свода; 4 – металлическая опалубка

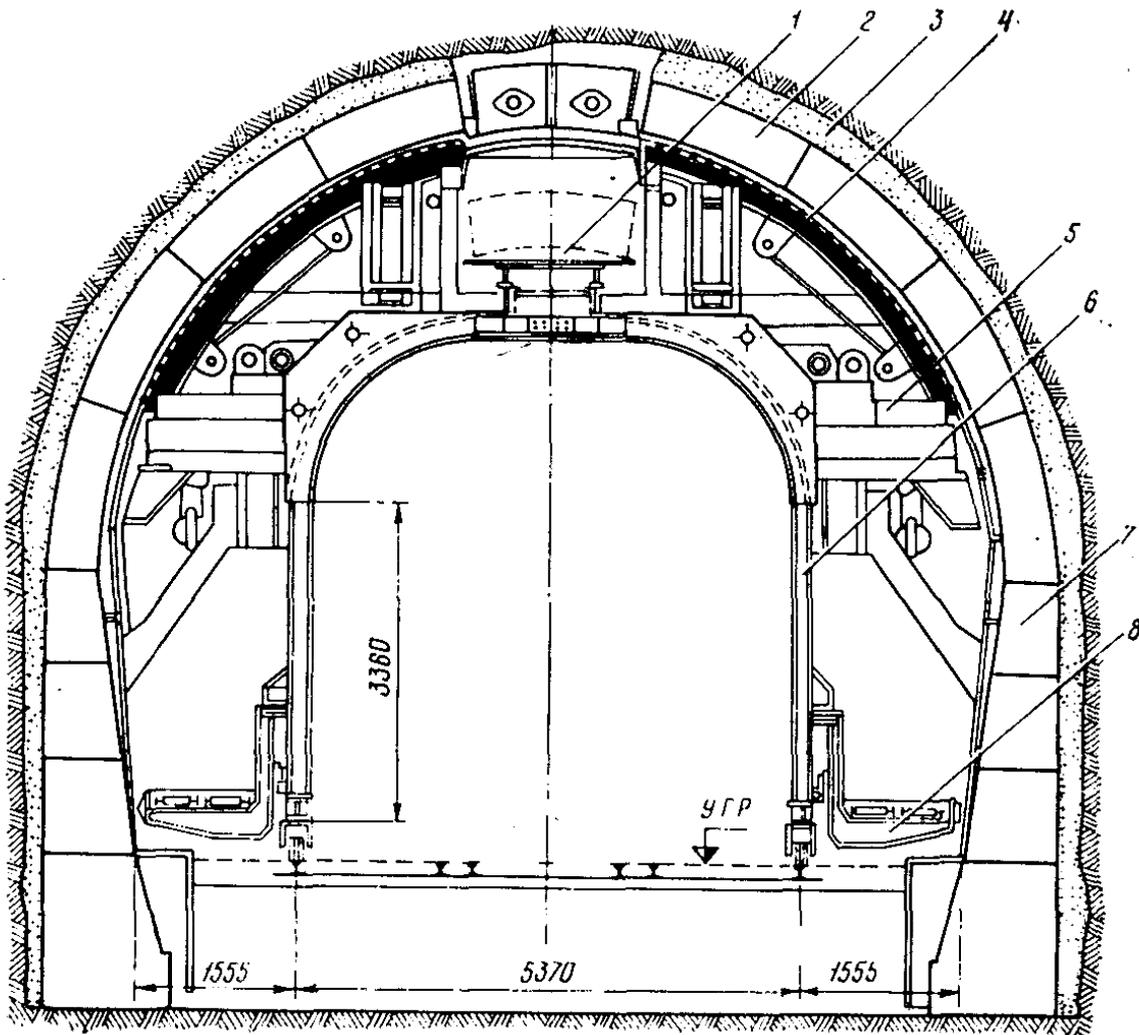


Рис. 96. Проходческий комплекс для возведения новой обделки двухпутного тоннеля: 1

– тележка для подъема блока свода на рольганг; 2 – блок свода;
 3 – цементно–песчаный раствор; 4 – рольганг; 5–механизм подъема стенового блока; 6
 – катушечные подмости; 7 – стеновой блок; 8 – площадка для перемещения стенового
 блока

После переустройства тоннеля механизированным щитовым комплексом обеспечивается пропуск по нему поездов на электрической тяге и перевозка грузов всех степеней негабаритности (рис. 97). Применение щитового комплекса позволяет обеспечить производство работ практически в любых геологических условиях, высокие темпы проходки (2 пог. м готового тоннеля в сутки), максимальную механизацию всех видов подземных работ с минимальным расходом крепежного леса. Механизированный комплекс позволяет достичь высокой производительности труда при минимальной потребности в рабочей силе и техническом персонале.

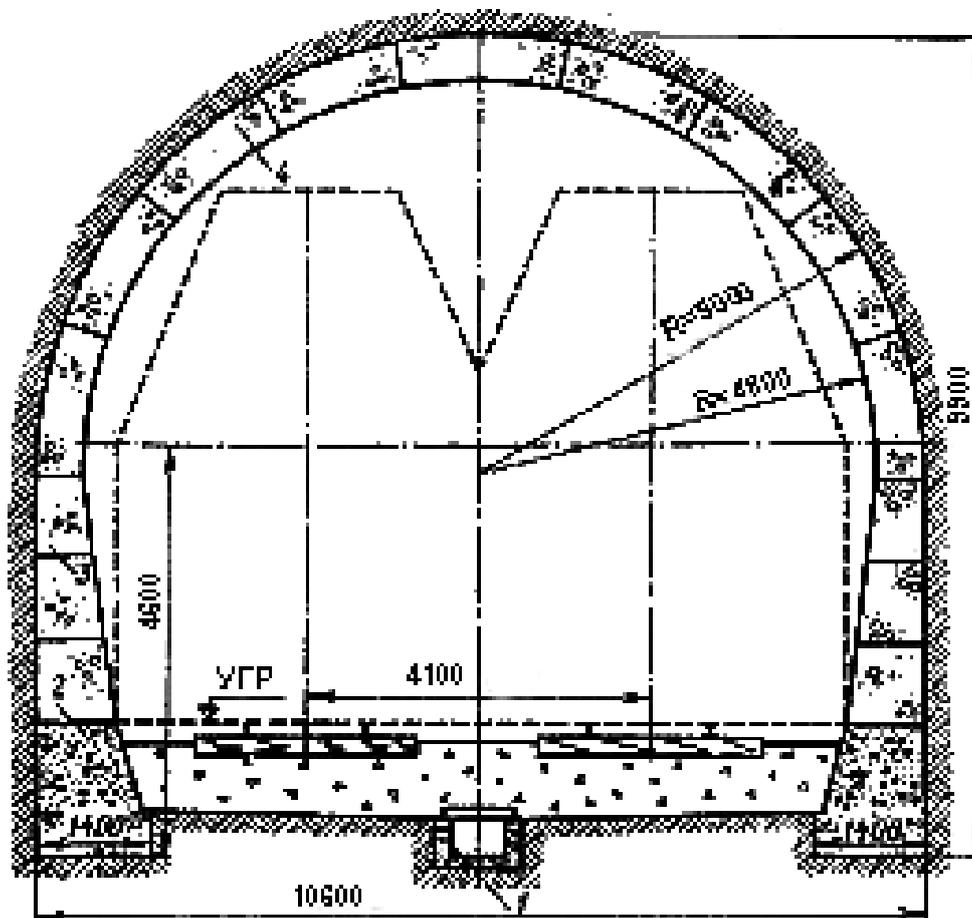


Рис. 97. Обделка двухпутного тоннеля после переустройства: 1 – водоотводный лоток; 2– блок фундамента; 3 – блок стены; 4 – блок свода

5. Реконструкция однопутных тоннелей под двухпутное движение

Выбор варианта строительства должен быть тщательно обоснован и его целесообразность технико-экономически доказана. Необходимо учитывать не только строительную стоимость сооружения и эксплуатационные расходы, но и стоимость

работ по реконструкции тоннельного сооружения при переводе линии на двухпутное движение. Поэтому решающим фактором при выборе варианта будет являться разница в сроках сдачи в эксплуатацию первого и второго путей. Существенное значение имеет и стоимость реконструкции тоннельного сооружения, которая во многом зависит от инженерно-геологических условий, возможности применения высокопроизводительных машин и механизмов при переустройстве тоннелей, интенсивности движения поездов и других факторов. Как по первому, так и по второму варианту построено немало тоннелей. В начале XX столетия на отечественных железнодорожных линиях сооружали, как правило, двухпутные тоннели, причем некоторые из них эксплуатировали в течение длительного времени как однопутные. За время эксплуатации требования к габаритам существенно изменились, и это повлекло за собой при переходе на двухпутное движение необходимость в их реконструкции с целью ликвидации негабаритности или сооружения параллельно действующему новому однопутного тоннеля. В последующие годы, как правило, строились однопутные тоннели, поэтому рано или поздно возникает вопрос об их переустройстве под двухпутное движение или строительстве вторых однопутных тоннелей.

При строительстве новых тоннелей объем горнопроходческих работ может оказаться несколько большим по сравнению с объемами работ по переустройству однопутного тоннеля под двухпутное движение, но, тем не менее, в настоящее время предпочтение чаще всего отдают первому варианту. Это объясняется тем, что при строительстве новых тоннелей всегда имеется возможность широко применять щитовую проходку, сборные железобетонные конструкции и комплексную механизацию работ, в то время как реконструкция ведется, как правило, без перерыва движения поездов, в крайне стесненных условиях, где современные методы строительства и механизации не всегда могут быть в должной мере использованы. Однако в некоторых случаях вариант переустройства однопутного тоннеля под двухпутное движение может оказаться предпочтительнее. Этот вариант следует принимать тогда, когда эксплуатируемый однопутный тоннель не отвечает требованиям современного габарита и необходима его реконструкция с целью ликвидации негабаритности. Тогда становится целесообразным реконструировать такой однопутный железнодорожный тоннель сразу под двухпутное движение. Переустройство однопутного тоннеля в двухпутный можно выполнять либо изнутри тоннеля с доработкой породы, разборкой всей или части старой обделки и возведением взамен нее новой, либо снаружи с разработкой породы по наружному контуру существующей выработки, возведением новой и последующей разборкой старой обделки. Выбор внутреннего или наружного способа переустройства зависит главным образом от продолжительности перерывов между поездами, инженерно-геологических условий, поперечного сечения существующей обделки, а также ее состояния и возможности частичного использования.

Переустройство тоннелей внутренним способом. Этот способ является весьма трудоемким и малопродуктивным, требует предоставления «окон» большой продолжительности. Но он обладает некоторыми преимуществами, благодаря чему находит иногда применение при переустройстве коротких тоннелей. Способ дает возможность при расширении профиля дорабатывать породу в минимально необходимом объеме. Кроме того, достоинством внутреннего способа является возможность частичного использования существующей обделки однопутного тоннеля, если она находится в удовлетворительном состоянии. При переустройстве тоннелей внутренним способом возможны два варианта производства работ. В первом варианте сечение тоннеля расширяют симметрично в обе стороны от его оси (рис. 98,а), разбирая полностью существующую обделку. Зато глубина доработки породы по ее периметру минимальна, что несколько упрощает крепление прорезей. Во втором варианте породу

дорабатывают лишь с одной стороны, это позволяет частично использовать существующую обделку путем ее сопряжения с новой в пределах между замком и четвертью свода (рис. 98,б).

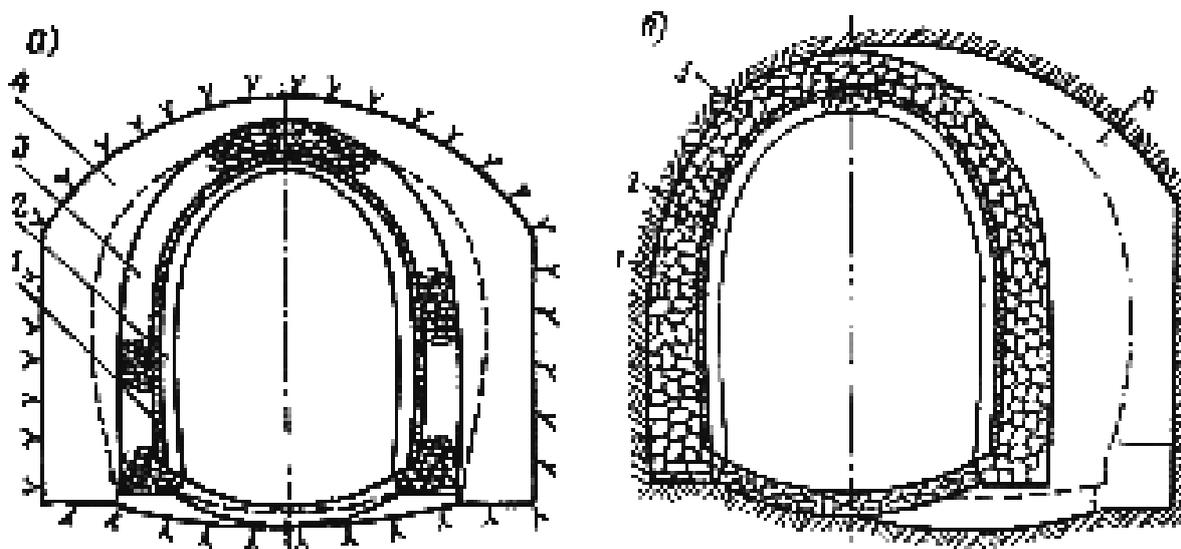


Рис. 98. Двустороннее (а) и одностороннее (б) расширение профиля однопутного тоннеля под двухпутное движение: 1 – опалубка; 2 – предохранительные кружала; 3 – старая обделка; 4 – новая обделка

Место сопряжения зависит от очертания существующего свода и проектируемой двухпутной обделки. В обоих вариантах разбираемую обделку предварительно закрепляют при помощи кружальных арок и лишь после этого приступают к разборке старой обделки, доработке породы и сооружению новой обделки. Все работы ведут отдельными участками аналогично работам по замене существующей конструкции обделки более мощной.

Переустройство тоннелей наружным способом. Этот способ дает возможность практически вести работы без перерыва движения поездов, что значительно упрощает, ускоряет и снижает их трудоемкость. Однако оно требует несколько большего объема доработки породы, чем внутренний способ, так как все работы ведутся в пространстве между наружными или внутренними контурами старой и новой выработок. При переустройстве тоннелей этим способом возможны два варианта ведения работ: с помощью щитового механизированного комплекса и горным способом. Безусловно, щитовой способ реконструкции обладает всеми преимуществами перед горным, однако вследствие сложности решения некоторых вопросов и, в частности, проходки кривых участков его широкое применение сдерживается. Все работы по переустройству однопутного тоннеля под двухпутное движение с помощью щитового комплекса можно выполнять аналогично тому, как их делали при ликвидации негабаритности двухпутных тоннелей. Конструкция самого щита, комплекса и обделки может оставаться практически без изменения, с той лишь разницей, что секции катучих подмостей должны быть выполнены с учетом внутреннего очертания существующей обделки однопутного тоннеля.

В горном способе переустройства профиль дорабатывают по наружному контуру существующей обделки, используя ее как опору для крепи, а в некоторых случаях и как кружала для новой двухпутной обделки. Все работы независимо от состояния существующей конструкции начинают с установки несущих кружал и

опалубки, которые снимают лишь после разборки старой обделки. В этом случае возможны также два варианта доработки профиля тоннеля: сверху вниз и снизу вверх, практически аналогичные применяемым при строительстве новых тоннелей способам полностью раскрытого профиля и опорного ядра.

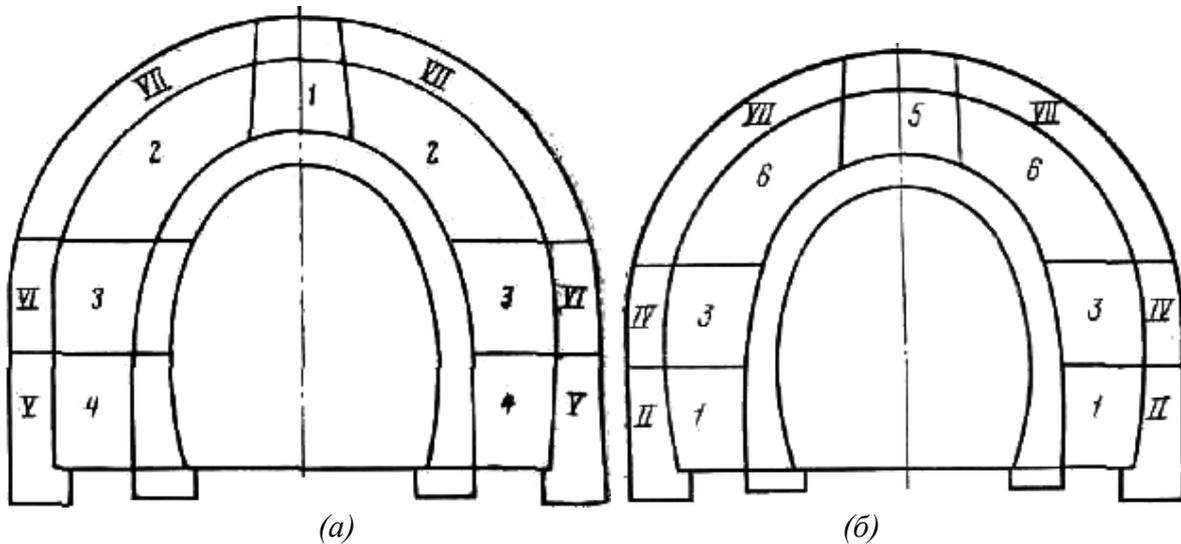


Рис. 99. Схема последовательности выполнения работ по доработке профиля однопутного тоннеля под двухпутное движение. (а) – сверху вниз: 1 – проходка верхней штольни; 2 – разработка калотты; 3, 4 – разработка боковых штолсс; 5, 6 – бетонирование стен; 7 – бетонирование свода; (б) – снизу вверх: 1 – проходка штолен первого яруса; 2 – бетонирование стен на участке штолен первого яруса; 3 – проходка штолен второго яруса; 4 – бетонирование стен на участке штолен второго яруса; 5 – проходка верхней штольни; 6 – разработка калотты; 7 – бетонирование свода

По первому варианту доработку профиля начинают с проходки верхней штольни и далее ведут симметрично в обе стороны от оси, постепенно опускаясь к фундаментам новой обделки (рис. 99,а). После полной доработки профиля возводят новую обделку двухпутного очертания, бетонируя ее снизу вверх. Второй вариант предусматривает первоначальную проходку боковых штолен первого и второго ярусов, бетонирование стен, а затем разработку калотты и сооружение свода (рис. 99,б). Этот вариант чаще применяют при переустройстве тоннелей, расположенных в слабых породах, так как он дает возможность сразу после бетонирования стен передать нагрузку на старую обделку.

6. Удлинение тоннеля

В результате недооценки ряда факторов, влияющих на устойчивость лобового откоса, а иногда и по соображениям прямой экономии при проектировании и строительстве, идут на укорочение тоннеля, отодвигая его портал в глубь массива, увеличивая при этом соответственно длину и глубину подходной выемки, а также высоту лобового откоса. В некоторых случаях это может вызвать во время эксплуатации сползание надпортальных откосов и повлечь за собой серьезные деформации или даже разрушения порталов, оголовков и припортальных участков тоннеля (рис. 100). Кроме того, сползание и обрушение с боковых и лобового откосов значительных объемов грунта представляет угрозу безопасности движения поездов.

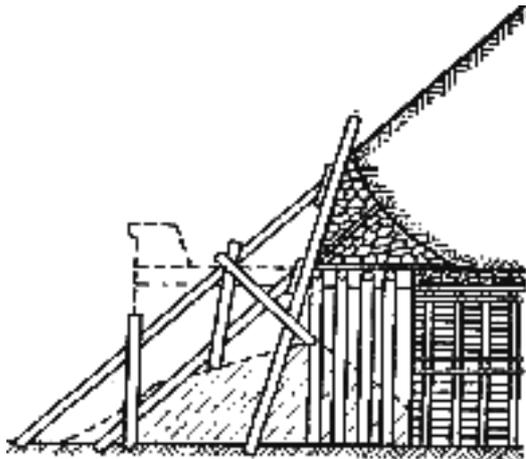


Рис. 100.
Обрушение надпортального откоса

Принимаемые меры по укреплению откосов и повышению их устойчивости при значительной глубине выемки не дают обычно желаемых результатов и в этом случае, как правило, радикальной единственной мерой, которая может обеспечить безопасность движения поездов, является удлинение тоннеля. Работы по удлинению тоннеля ведут открытым способом и начинают с разборки портала или оголовка. Затем в выемке сооружают обделку требуемой длины и возводят портал на новом месте. Завершают работы восстановлением лобового откоса и его уполаживанием, при этом в случае необходимости делают обратную засыпку выемки и обделки на удлиненном участке тоннеля. Значительно сложнее условия производства работ в тех случаях, когда необходимость в удлинении тоннеля вызвана постепенным сползанием или обрушением бокового откоса полувыемки. Особенно усложняются работы при необходимости сооружения обделки в выемке, откос которой был разработан заподлицо с внутренним очертанием стены обделки и портала (рис. 101). В таких случаях при удлинении тоннеля приходится добираться снизу откос полувыемки до профиля выработки тоннеля и возводить сначала стены, а затем уже всю обделку. При этом высота и профиль откоса, а также его геологическое строение и обводненность будут оказывать существенное влияние на условия производства работ.

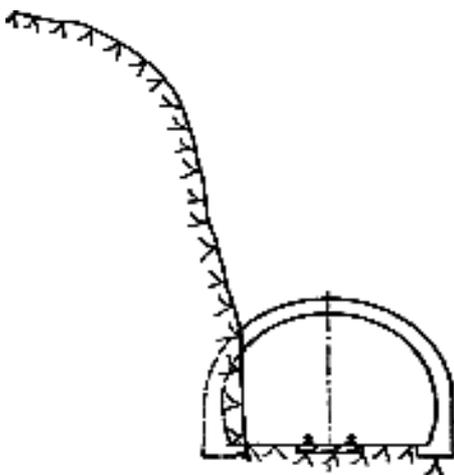


Рис. 101.
Сопряжение откоса полувыемки с обделкой тоннеля

Конструкция удлиняемой части сооружения может быть выполнена по тем же типам обделки, какие были применены ранее в тоннеле, или может быть осуществлена в виде галереи. Восстановление существующей обделки целесообразно в тех случаях, когда удлинение тоннеля производят в выемке. Если же удлиняемая часть тоннеля

расположена в полувыемке, то предпочтение следует отдать тоннельной галерее.

Наибольшее распространение получили галереи в виде железобетонной конструкции с плоским перекрытием (рис. 102). Стену галереи с нагорной стороны в неустойчивых породах выполняют глухой и массивной; в устойчивых скальных породах вместо сплошной стенки могут быть возведены отдельные опоры, поддерживающие продольную балку, на которую опирается перекрытие. С подгорной стороны, как правило, всегда сооружают отдельные опоры, просветы между которыми играют роль ниш, обеспечивают освещенность сооружения и способствуют его проветриванию. Перекрытие галереи делают с уклоном в подгорную сторону и по нему устраивают грунтовую подушку. Это смягчает удары и облегчает скатывание кусков породы, падающих с откоса полувыемки. Вопросу правильного выбора местоположения порталов, от которого зависит глубина пред порталной выемки и высота лобового откоса, следует уделять особое внимание.

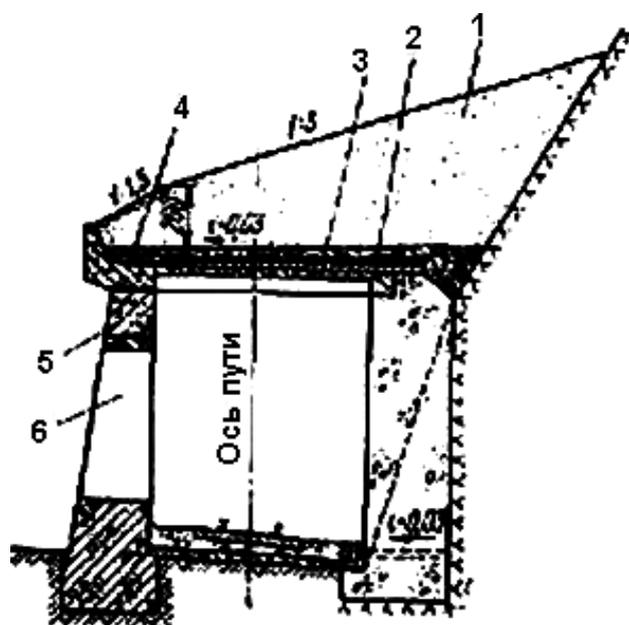


Рис. 102.
Конструкция железобетонной галереи:
1 – засыпка;
2 – гидроизоляция;
3 – бетон;
4 – мягкая глина;
5 – железобетонная перемычка; 6 – окна

Недооценка устойчивости откосов может привести к весьма серьезным последствиям, требующим принятия срочных мер, сводящим на нет всю экономию, которая была получена в результате постройки тоннеля меньшей длины. В практике тоннелестроения известен случай, когда один из двухпутных тоннелей из-за неустойчивости лобового и бокового откосов подвергался в период 1883–60 г. четыре раза удлинению. При этом его длина возросла с 64 до 275 м.

7. Раскрытие тоннеля в выемку

Вопрос о раскрытии какого-либо участка или всего тоннеля в выемку может возникнуть в связи с необходимостью реконструкции тоннельного сооружения. Потребность в подобной реконструкции, как правило, связана с увеличением габарита, устранением дефектов, вызванных ветхостью и деформациями обделки, сильной обводненностью и обмерзаемостью сооружения, переходом от однопутного профиля к двухпутному, т. е. связана с такими причинами, ликвидация которых требует выполнения значительного объема работ, ведется на грузонапряженных участках без перерыва движения поездов, так как получение «окон» нужной продолжительности весьма затруднительно, а иногда практически невозможно. Таким образом, чем

сложнее и дороже работы по реконструкции тоннеля и чем интенсивнее движение поездов, тем целесообразнее становится вариант раскрытия его в выемку. Однако следует иметь в виду, что при раскрытии тоннеля в выемку теряется значительная часть площади надтоннельной поверхности, которая во многих случаях имеет большую ценность, а это может оказать существенное влияние на выбор варианта.

К преимуществам варианта раскрытия тоннеля в выемку следует отнести почти полную независимость производства работ от движения поездов; возможность создания большого фронта работ, а следовательно, сокращение сроков реконструкции; возможность применения высокопроизводительных машин и механизмов; выполнение работ без искусственной вентиляции и освещения в дневное время и, наконец, простота и большая безопасность работ, что дает возможность их выполнения менее квалифицированной рабочей силой. Недостатками открытых работ является их зависимость от времени года, климатических условий, а также трудности, связанные с отводом дождевых, талых и грунтовых вод из разрабатываемой выемки.

Превращение дефектного участка тоннеля в выемку полностью устраняет его недостатки. Однако во время эксплуатации такого раскрытого в выемку участка могут возникнуть новые сложности, часто неизбежные при большой глубине выемок. При выборе того или иного варианта необходимо тщательно проанализировать все стороны данного вопроса. В практике тоннелестроения известны случаи, когда начатую разработкой глубокую выемку из-за неустойчивости откосов не довели до конца и переходили к сооружению тоннеля, или такие случаи, когда глубокие выемки приходилось превращать в закрытое сооружение тоннельного типа. При установлении целесообразности превращения тоннеля в выемку необходимо учитывать высоту залегающего над тоннелем слоя пород и топографию прорезаемого массива, определяющие глубину будущей выемки; геологическое строение и гидрогеологические условия прорезаемого массива, определяющие профиль выемки и устойчивость ее откосов, способ и стоимость разработки пород; объем работ и возможные способы подземной реконструкции тоннельного сооружения.

Тоннель может быть раскрыт в выемку по всей его длине или на отдельных участках. Раскрытие всего дефектного тоннеля возможно лишь при его незначительной длине и неглубоком заложении. Поэтому более целесообразно раскрывать в выемку входные участки тоннеля, имеющие обычно над собой небольшую толщину пород. Однако следует иметь в виду, что в каждом конкретном случае необходимо установить ту предельную глубину заложения дефектного участка тоннеля, при которой его раскрытие в выемку становится предпочтительнее реконструкции закрытым способом. Для большинства случаев предельная глубина выемки 25...40 м. Выемка должна обеспечивать безопасность движения поездов – ее откосы не должны быть подвержены оползням и деформациям, а также не создавать угрозы возникновения обвалов. Особую опасность в этом отношении представляют собой выемки, расположенные на склоне горы. Подрезка склона выемкой значительно ослабляет устойчивость косогора с нагорной стороны и эксплуатация нагорного откоса может в этом случае создать много трудностей.

Атмосферные осадки, даже при наличии водоотводных канав интенсивно обводняют нагорный откос и тем самым уменьшают его устойчивость. При значительной крутизне склона горы нагорному откосу практически невозможно придать необходимый уклон из-за возникающих чрезмерно больших объемов земляных работ. Кроме того, условия залегания пластов, система трещин в породе и ее неоднородность также могут оказаться неблагоприятными факторами, которые в еще большей степени будут способствовать нарушению равновесия нагорного откоса.

Поэтому при изучении варианта раскрытия дефектного участка тоннеля в

выемку в ряде случаев решающим фактором будет не экономическая сторона вопроса, а данные, определяющие профиль будущей выемки и степень устойчивости ее откосов.

Значительное уменьшение объема выемки может быть достигнуто в случае использования боковых стен обделки в качестве подпорных (рис. 103). Разработку выемки начинают сверху ступенями высотой 5...6 м. При этом до начала работ или, во всяком случае, при наличии над тоннелем слоя грунта толщиной не менее 2...3 м обделка должна быть надежно подкреплена инвентарными металлическими кружалами, минимально стесняющими габарит. При разработке выемки буровзрывным способом последний слой породы толщиной 1...1,5 м разрабатывают отбойными молотками. Если основание выемки имеет большую ширину, чем тоннель, то ее боковые части разрабатывают за стенами обделки с прокладкой на время производства работ узкоколейных путей по обе стороны тоннеля. Разборку самой обделки ведут отдельными участками, начиная сверху и постепенно опускаясь симметрично в обе стороны.

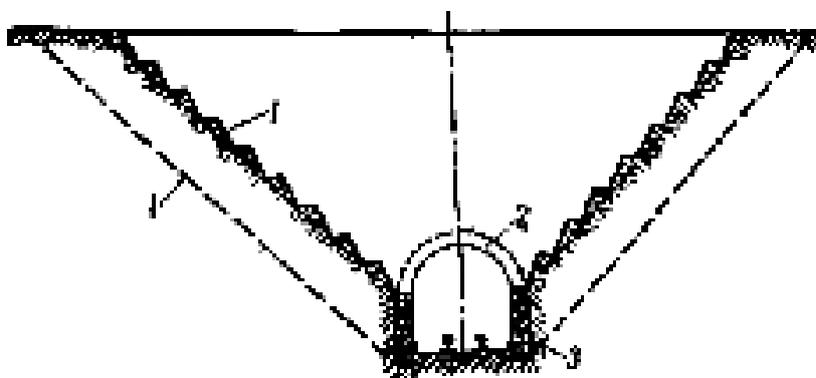


Рис. 103. Выемка, раскрываемая взамен дефектного участка тоннеля:
1 – откосы выемки;
2 – разбираемая обделка тоннеля;
3 – остающиеся стены обделки

В процессе разработки выемки особое внимание должно быть уделено правильному устройству водоотвода. Для уменьшения обводненности разрабатываемой выемки необходимо по мере возможности закрывать ливневым и талым водам доступ к откосам. Из каждой продольной проходки грунтовые, а также просочившиеся ливневые и талые воды следует отводить в подходную выемку и затем далее по имеющимся кюветам. Переборы и недоборы при разработке выемки ведут соответственно к необходимости уширения выемки поверху и уменьшению устойчивости откосов.

Литература

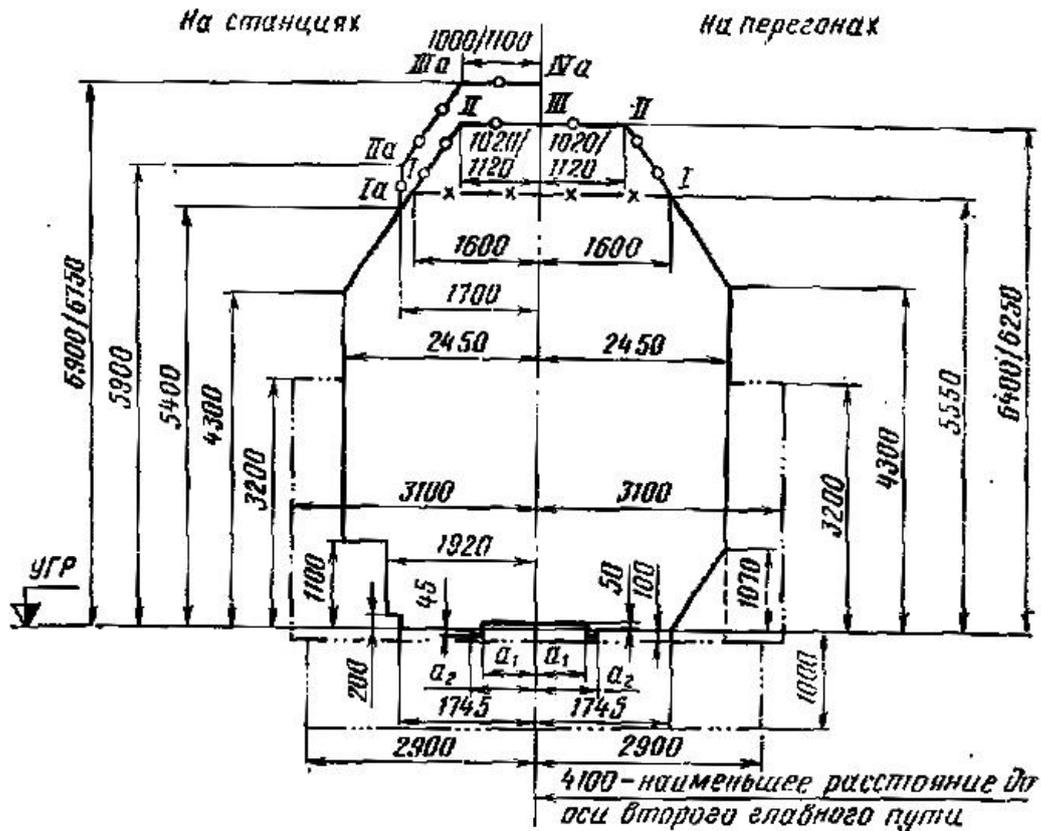
1. Осипов В. О., Козьмин Ю. Г., Анциперовский В. С., Кирста А. А. Содержание и реконструкция мостов. М., «Транспорт», 1986. – 327 с.
2. Обследование и испытание сооружений. Под ред. О. В. Лужина. – М.: Стройиздат, 1987. – 263 с.
3. Реконструкция зданий и сооружений. Под ред. А. Л. Шагина. М.: Высшая школа, 1991. – 362 с.
4. Ашрабов А.А. Реконструкции и восстановление искусственных сооружений на железнодорожном транспорте (конспект лекций). Ташкент. Таш ИИТ. 2006. – 206 с.
5. Шкинев А. Н. Аварии в строительстве. М., 1984. – 319 с.
6. Калинин А. А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений. АСВ. М. 2004, 160 с.
7. Мосты и тоннели на железных дорогах. Под ред. В. О. Осипова – М.: Транспорт, 1988. – 367 с.
8. Инструкция по обследованиям и испытаниям мостов и труб. ВСН 122–65.

М.: Оргтрансстрой, 1966. 36 с.

9. Бельский Н. Р., Лебедев А. Н. Усиление стальных конструкций. Киев, 1981.

10. Рекомендации по усилению железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий/Харьковский ПромстройНИИпроект. – Харьков, 1985.

11. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений / ЦНИИСК им. Кучеренко. М., 1984.



Габарит приближения строений С (ГОСТ 9238–73): —о—о— — линия приближения всех вновь строящихся сооружений и устройств, кроме расположенных на путях, электрификация которых исключается даже при электрификации данной линии; I–II–III — для перегонов, а также путей на станциях (в пределах искусственных сооружений), на которых не предусматривается столика подвижного состава; Ia–IIa–IIIa–IVa — для остальных путей станции; дробью указаны размеры: в числителе — для контактной подвески с несущим тросом; в знаменателе — для контактной подвески без несущего троса; —х—х— линия приближения сооружений и устройств на путях, электрификация которых исключена даже при электрификации данной линии; — · — — линия приближения зданий, сооружений и устройств (кроме мостов, тоннелей, галерей и платформ); — · · — — линия, выше которой на перегонах и в пределах полезной длины путей на станциях не должно подниматься ни одно устройство, кроме искусственных сооружений, настилов переездов, индукторов локомотивной сигнализации, а также стрелочных переводов и расположенных в их пределах устройств СЦБ; — · · · — — линия приближения фундаментов зданий, фундаментов опор, прокладки кабелей, трубопроводов и других, не относящихся к пути сооружения на перегонах и станциях, за исключением искусственных сооружений и устройств СЦБ в местах расположения сигнальных и трансляционных точек; — — — — для тоннелей и перил на мостах, эстакадах и других искусственных сооружениях; при колее 1520 мм — $a_1 = 670$ мм, $a_2 = 760$ мм; при колее 1524 мм — $a_1 = 672$ мм, $a_2 = 762$ мм

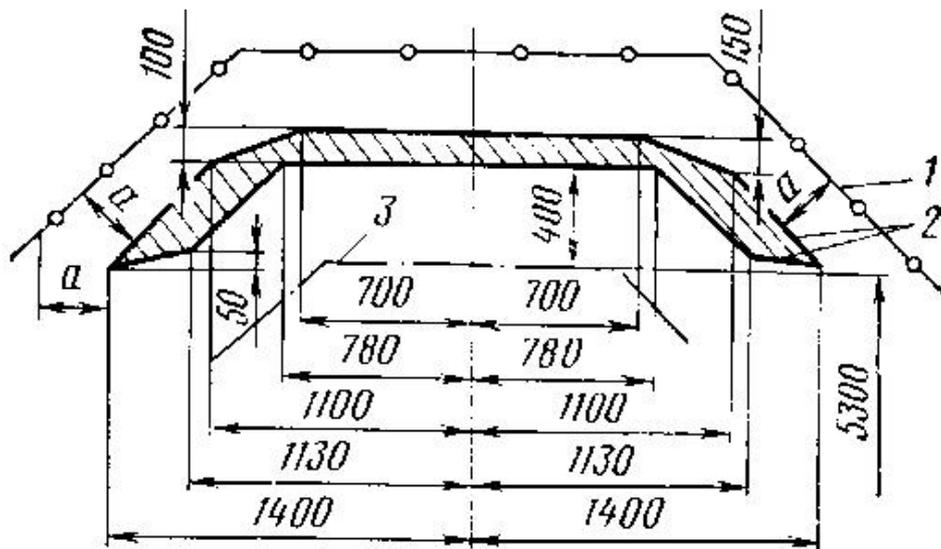
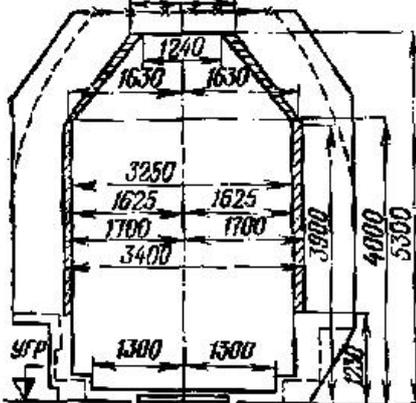


Схема зазоров для размещения контактного провода: 1 – линия габарита приближения строений; 2 – контур положения токоприемника при его смещениях; 3 – линия габарита подвижного состава; a – величина воздушного зазора между очертанием габарита приближения строений и крайним верхним положением токоприемника

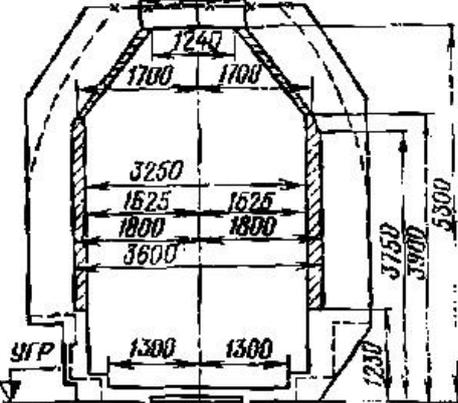
Приложение 3

Очертания негабаритности: a – нулевой степени; b – I степени; v – II степени; z – III степени; d – IV степени; e – очертание габарита погрузки; ———— – очертание габарита приближения строений 1–С; — – очертание габарита приближения строений С; штриховкой показан зазор между очертанием соответствующей степени негабаритности и очертанием габарита погрузки

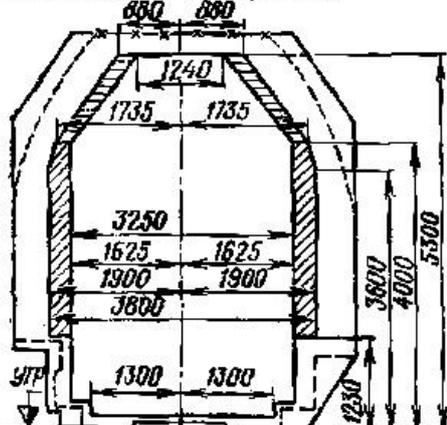
а) Габарит С
на станциях на перегонах
700 700



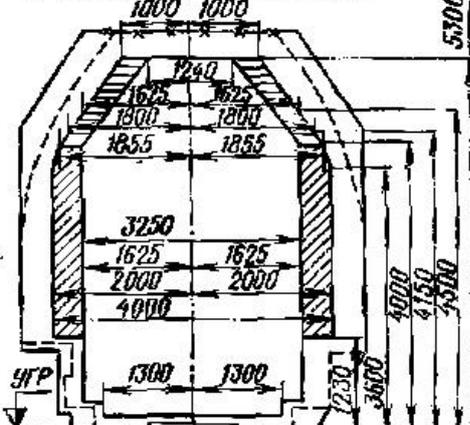
б) Габарит С
на станциях на перегонах
700 700



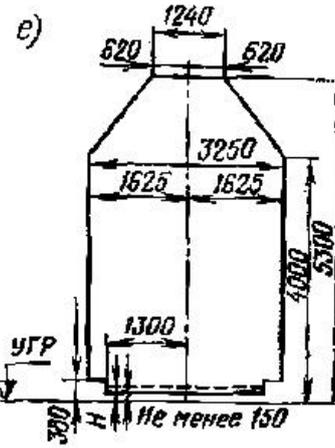
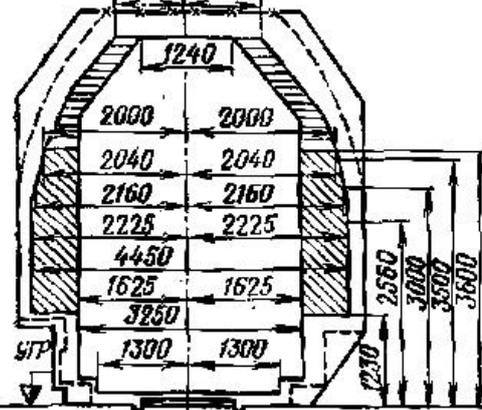
в) Габарит С
на станциях на перегонах
880 880



г) Габарит С
на станциях на перегонах
1000 1000



д) Габарит С
на станциях на перегонах
1000 1000



Содержание

Наименование разделов	Стр.
III. Диагностика элементов эксплуатируемых тоннелей	
1. Содержание и технический надзор за состоянием железнодорожных тоннелей	3
2. Техническая диагностика тоннельных сооружений и обустройств	12
IV. Ремонт, восстановление и реконструкция тоннелей	
1. Ремонт тоннельных сооружений и обустройств	31

2. Определение нагрузок на обделки тоннелей при их ремонте и реконструкции	39
3. Организация и производство ремонтных работ в эксплуатируемых тоннелях	46
4. Реконструкция тоннелей	54
5. Реконструкция однопутных тоннелей под двухпутное движение	82
6. Удлинение тоннеля	86
7. Раскрытие тоннеля в выемку	88
Литература	91
Приложение 1	92
Приложение 2	93
Приложение 3	94

АШРАБОВ А. А.,
доктор технических наук, профессор;
РАУПОВ Ч.С.,
кандидат технических наук, доцент

Редактор: **Т.И.Умурзакова**
Разрешено в печать _____ Объем печ. л. 5,60
Формат бумаги 60x84. Заказ №____ Тираж 10 экз.
Тиражировано в типографии ТашИИТа.
г. Ташкент, ул. Адылходжаева, 1.