

Е. К. СУРНИНА
И. Г. ОВЧИННИКОВ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ




«Инфра-Инженерия»

УДК 624.195(075)
ББК 39.112я73
С90

Р е ц е н з е н т ы :

заведующий кафедрой мостов и тоннелей Российского университета
транспорта (МИИТ) доктор технических наук, профессор *А. А. Пискунов*;

кафедра мостов и транспортных тоннелей Уральского государственного
университета путей сообщения

Сурнина, Е. К.

С90 Эксплуатация транспортных тоннелей : учебное пособие / Е. К. Сур-
нина, И. Г. Овчинников. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. –
160 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0427-3

Раскрыты основные вопросы эксплуатации транспортных тоннелей. Изложены
основные факторы, влияющие на безопасность эксплуатации подземных сооружений;
описаны цели, задачи и этапы обследования технического состояния объекта. Рас-
смотрены системы автоматизированного мониторинга, используемые при содержа-
нии тоннелей.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.00.00 «Техника и технологии строительства».

УДК 624.195(075)
ББК 39.112я73

ISBN 978-5-9729-0427-3

© Е. К. Сурнина, И. Г. Овчинников, 2020
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2020
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2020

Глава 1. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

1.1. Основные понятия

Транспортным тоннелем называют инженерное сооружение, возведенное в толще грунтового массива, связанное выходами с поверхностью и предназначенное для пропуска транспортных средств.

Транспортный тоннель является частью железнодорожной или автомобильной магистрали и, кроме основного сооружения, предназначенного для пропуска транспорта через препятствие, включает систему подземных и наземных объектов, которые обеспечивают его нормальное функционирование. Такой сложный комплекс сооружений, устройств и различного рода инженерных систем на участке транспортной магистрали называется *тоннельным пересечением*.

Тоннельное пересечение (ТП) как система представляет собой многоуровневую структуру, каждый элемент которой имеет описание характеристик, функций и связей.

Объекты тоннельного пересечения (строительные сооружения и инженерные системы) по функциональному назначению классифицируют следующим образом:

- *основные*: тоннель, порталы, путь и проезжая часть, сбойки, ниши, камеры, тротуары, служебные проходы;
- *обеспечивающие*: шахтные стволы, подходы, откосы, подпорные стенки, рампы, сервисные штольни;
- *инженерные системы*: водоотводные, дренажные, энергоснабжения, вентиляции, освещения, электрооборудования, автоматики, сигнализации, связи;
- *содействующие*:
 - сооружения, здания, которые могут оказывать влияние на тоннель;
 - сооружения и мероприятия по защите от опасных геологических процессов;
 - противопожарная защита;
 - охрана окружающей среды;
 - специальные и прочие объекты.

Тоннельное пересечение с протяженными железнодорожными тоннелями длиной более 3000 м и автодорожными тоннелями длиной более 1500 м, как правило, при современных требованиях безопасности проектируется в виде двух параллельных тоннелей, каждый из которых предназначен для движения

в одном направлении. На стадии проектирования для каждого объекта составляется прогноз на срок до 15 лет. И если прогноз показывает, что интенсивность движения превысит 10 000 автомобилей в сутки на полосу движения, то в тот момент, когда эта интенсивность будет превышена, должен функционировать тоннель с двумя стволами и односторонним движением по каждому стволу.

Тоннели длиной более 600 м должны иметь или дополнительные эвакуационные выходы (сбойки) (рис. 1.1) в рядом расположенные тоннели, или штольни, имеющие выходы на поверхность, или в другие безопасные зоны, отделенные от тоннеля противопожарными преградами. Если устраивают дополнительные (эвакуационные) выходы, то расстояние между ними не должно превышать 300 м. Кроме того, в средней части трассы устраивают пункты аварийной остановки, связанные с поверхностью вертикальными или наклонными ходами.

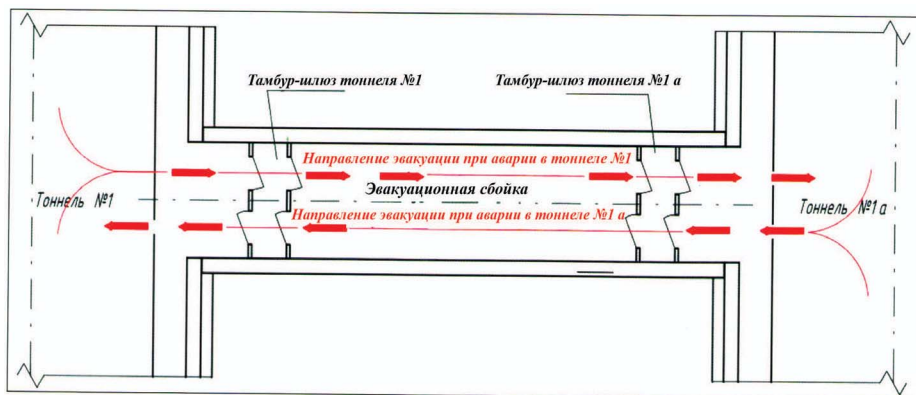


Рис. 1.1. Эвакуационная сбойка между тоннелями

При строительстве протяженных транспортных тоннелей часто между двумя параллельными тоннелями располагают сервисный тоннель меньшего диаметра. Назначение сервисного тоннеля:

- для обслуживания основного тоннеля при его эксплуатации;
- в качестве штольни безопасности (для эвакуации людей в случае пожара или другой чрезвычайной ситуации);
- для дренажных целей;
- для размещения коммуникаций систем жизнеобеспечения тоннеля.

Такое решение было реализовано, например, при строительстве больших тоннелей под природно-охраным комплексом «Серебряноборское лесничество», соединяющих центр Москвы с шоссе Москва – Рига (Балтия). Было построено три тоннеля: два транспортных диаметром (в свету) 12,35 м и тоннель обслуживания (сервисный) диаметром 6 м между транспортными тоннелями. Особенностью построенных тоннелей является то, что в них предусмотрено размещение двух систем городского транспорта – трехполосное одностороннее

движение автотранспорта в каждом направлении по верхнему ярусу и поездов метрополитена в нижнем ярусе. Это крупнейшее подземное транспортное сооружение в России и Европе – общая протяженность построенных тоннелей около 7,0 км. На рис. 1.2 представлено поперечное сечение Серебряноборских тоннелей, построенных щитовым способом.

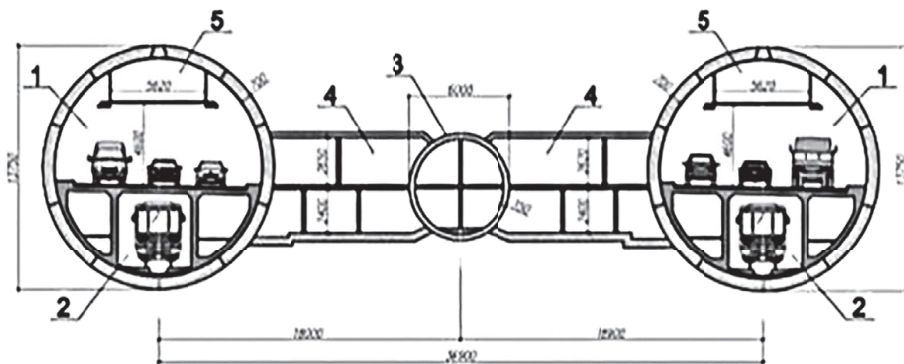


Рис. 1.2. Поперечное сечение Серебряноборских тоннелей:

- 1 – зона автотранспортного движения;
- 2 – зона движения поездов метрополитена;
- 3 – сервисный тоннель; 4 – поперечная сбойка;
- 5 – вентиляционный короб

Основным сооружением любого тоннельного пересечения является транспортный тоннель.

Эксплуатационная надежность транспортного тоннеля – это его способность выполнять на протяжении длительного времени (до 100–150 лет) заданные функции и сохранять при определенных условиях свои технические характеристики в установленных пределах. Транспортный тоннель, прежде всего, должен обеспечить безопасный и бесперебойный пропуск грузового и пассажирского транспорта с заданными параметрами подвижного состава или типами автомобилей и сохранить пропускную способность, установленную на участке тоннельного пересечения.

Надежность является комплексным свойством, которое включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость (в случае консервации тоннеля). Для обеспечения надежности транспортных тоннелей решается широкий круг вопросов в процессе проектирования, в период строительства и последующей эксплуатации объекта.

Основные понятия, определяющие степень надежности сооружения

Работоспособность (работоспособное состояние) – это состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность

выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической или проектной документации.

Неработоспособность – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической или проектной документации.

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

С терминами работоспособность и неработоспособность связаны следующие определения.

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Критический отказ – отказ системы или ее элемента, тяжесть которого в пределах данного анализа признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению вероятности данного отказа и/или возможного ущерба, связанного с его возникновением.

Связь дефекта с работоспособностью элемента. По отношению к пороговым значениям определяющих параметров ([ОП] – для наступления отказа и [ПС] – для наступления предельного состояния) дефекты различают по видам соответствующего им технического состояния (ТС) элемента:

- $ОП < [ОП]$ – *исправное техническое состояние*. Дефекты не отражаются на работоспособности элементов и устраняются путем проведения планово-предупредительного или текущего ремонта. Если ремонт проводится не вовремя, то снижаются показатели надежности и данный элемент может быть переведен в разряд неработоспособных элементов.
- $[ОП] \leq ОП \leq [ПС]$ – *неработоспособное (или ограниченно работоспособное) техническое состояние*. В зависимости от стадии роста, размеров дефекта или других признаков его вида, скорости развития, возможности внезапного разрушения конструкций, зоны влияния применяют различные ремонтные работы. При достижении предельного технического состояния, когда $ОП = [ПС]$, объект нуждается в капитальном ремонте или реконструкции.
- $ОП > [ПС]$ – *запредельное техническое состояние*, временно допустимое при значительном снижении работоспособности и повышенных требованиях к эксплуатации и содержанию объекта. При этом состоянии может быть ограничена скорость движения транспорта, введено реверсивное движение по тоннелю или другие организационно-технические мероприятия, обеспечивающие допустимый риск.

1.2. Факторы, влияющие на эксплуатационную надежность тоннелей

Независимо от назначения тоннелей и места их расположения они все являются потенциально опасными объектами. Они строятся и эксплуатируются в сложных условиях постоянно меняющихся во времени геомеханических и геодинамических процессов в горном массиве, обусловленных сначала (перед началом строительства) естественными (природными) причинами, а затем (во время строительства и эксплуатации) – природными и техногенными причинами совместно.

К постоянно действующим *естественным факторам* геомеханических и геодинамических процессов относятся, прежде всего, наличие разломов в земной коре и связанных с ними тектонически-напряженных зон, высокая сейсмичность региона, оползневые явления, гидростатика подземных вод, карстообразование и пр.

Техногенные факторы с течением времени могут видоизменяться: если на стадии строительства на геомеханические и геодинамические процессы наибольшее влияние оказывают горное давление и, соответственно, меняющееся напряженно-деформированное состояние горного массива, то со временем, после сооружения тоннеля и относительной стабилизации горного давления, основными становятся уже другие техногенные воздействия на горный массив и созданные в нем сооружения. Это, например, вибрационное сейсмическое воздействие на тоннель и горный массив проходящих поездов или автомашин, близкие техногенные взрывы на близлежащих карьерах или разрезах, гидродинамика и др.

Основные факторы, определяющие условия работы конструкций и устройств транспортного тоннеля и влияющие на его эксплуатационные качества, разделяют на четыре группы [31].

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

Природно-климатические условия (геологические, гидрогеологические и климатические условия, сейсмические воздействия) имеют первостепенное значение как на стадиях проектирования и строительства тоннеля, так и в процессе его эксплуатации.

1. Геологические условия определяют выбор типа конструкции и метода производства работ, глубину заложения тоннеля, положение трассы в плане и профиле. Правильная оценка геологических условий заложения тоннеля влияет не только на сроки окончания строительства и стоимость сооружения, но и условия его эксплуатации. Однако именно материалы инженерно-геологических изысканий имеют в большинстве случаев недостаточную степень надежности, и это негативно сказывается в процессе дальнейшей эксплуатации тоннеля.

Важнейшей инженерно-геологической характеристикой участка тоннельного пересечения является его *тектоническое строение* (структура земной коры). Оно определяет степень трещиноватости и обводненности грунтового

массива, характер и величину начального поля напряжений, а в процессе эксплуатации тоннеля – характер силового взаимодействия, количественные показатели напряженно-деформированного состояния системы «обделка – грунтовый массив». Тектоническое строение позволяет составлять прогнозы возможных дефектов в обделке и водопритоков в тоннель.

Большие осложнения в период эксплуатации доставляют зоны тектонических разломов и размывы. Воздействие таких нарушений иногда сказывается лишь через довольно продолжительное время после завершения строительства и проявляется в виде значительных деформаций обделок с возникновением продольных и поперечных трещин.

Тектонические движения земной коры происходят и в настоящее время. Скорости современных вертикальных тектонических движений, выявленных на локальных участках в зонах активных разломов, могут достигать 40 мм/год и приводить к ощутимым деформациям подземных выработок [24]. Это также должно учитываться при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей.

При строительстве и эксплуатации тоннелей необходимо учитывать *экзогенные геологические процессы*:

- *склоновые процессы*:
 - *о п о л з н и* – медленные перемещения вниз по склонам различных по объему масс грунтов под действием силы тяжести (происходят по наклонной поверхности водопора, по поверхности напластования на подмываемых или подрезанных склонах);
 - *о б в а л ы* – быстрые перемещения различных по объему грунтов на крутых склонах;
 - *о с ы п и , к а м н е п а д ы* (рис. 1.3) – перемещение по склонам продуктов выветривания горных пород (наблюдаются в горных областях на крутых склонах);
 - *с е л и* – быстрые перемещения грязекаменных потоков по руслам рек, обладающие большой разрушительной силой (развиты в горных областях);
- *карстово-суффозионные явления* возникают в результате выщелачивания растворимых в воде горных пород. В закарстованных породах можно наблюдать оседание кровли, внезапное разрушение обделки тоннеля. Особенно опасны карстовые пустоты, заполненные водой и образующие карстовые озера, из которых может произойти внезапный прорыв воды в тоннель. В связи с этим особое внимание уделяется тоннелям, расположенным в легко поддающихся выщелачиванию породах: гипсах, ангидритах, известковых и доломитовых породах;
- *просадки грунта* – оседания грунта, которые вызываются разными причинами: суффозией, карстовыми процессами, замачиванием массовых грунтов и т.д.;
- *землетрясения нетектонические* образуются при обрушении значительных по объему горных пород, обусловленном экзогенными процессами.

Они могут вызывать сотрясения интенсивностью до 6–7 баллов на небольшой площади.

- *криогенные процессы – термокаст.* Это процессы оттаивания вечномерзлых пород в результате оттаивания льда, заполняющего трещины. В результате этого породы теряют несущую способность и становятся склонны к обрушению.



Рис. 1.3. Камнепад закрыл вход в тоннель

В районах с суровым климатом и вечномерзлыми грунтами причинами снижения эксплуатационных качеств тоннеля являются:

- развитие морозного пучения глинистых грунтов на порталных участках;
- увеличение горного давления на обделку эксплуатируемого тоннеля при оттаивании вечномерзлых грунтов;
- оттаивание и прорыв подземных вод в тоннель в случае серьезных повреждений обделки.

При анализе причин снижения показателей технического состояния тоннеля необходимо помнить, что с течением времени могут изменяться как физико-механические характеристики грунтов, окружающих тоннельную обделку, так и условия статической работы обделки. Известны случаи, когда в процессе эксплуатации тоннеля грунтовый массив подвергался сдвигам или просадкам, вызывая деформации обделок и даже их разрушение. Некоторые разновидности известняков и полевошпатных пород, выветриваясь, могут быстро разрушаться. При этом происходит увеличение в объеме данных пород и влияние их на обделку тоннеля, которое также может привести к ее разрушению.

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

Для прогнозирования обводненности тоннеля необходимо знать источники питания водоносных горизонтов, пути поступления воды в тоннель, возможное изменение гидрогеологических условий под влиянием построенного подземного объекта.

Обводненность массива на трассе тоннеля зависит от следующих факторов [24]:

- *климатических условий района строительства*: среднегодового количества атмосферных осадков, характера их выпадения (ливневые дожди, морось, интенсивное или медленное снеготаяние), испаряемости;
- *гидрографии района*: наличия и расположения рек, ручьев, озер, водохранилищ, заболоченности территории. Тоннели, расположенные на отметках выше местного базиса эрозии, обычно хорошо дренированы существующей гидрографической сетью, вследствие чего слабо обводнены. Тоннели, находящиеся на отметках ниже местного базиса эрозии и особенно относящиеся к зоне влияния поверхностных водоемов, обводнены значительно больше, чем первые;
- *рельефа местности*: при сильно расчлененном рельефе основная масса атмосферных осадков идет на поверхностный сток и лишь незначительная – на их инфильтрацию. Глубокие эрозионные врезы уменьшают площадь водосбора водоносных горизонтов и ухудшают условия их питания;
- *геологического строения*: соотношения водопроницаемых и водонепроницаемых слоев определяет количество водоносных горизонтов, их размеров, условий питания, наличия или отсутствия гидравлической связи;
- *тектоники района*: наличия или отсутствия региональных или локальных зон тектонических разломов, степени и характера трещиноватости скальных пород;
- *степени и характера выветренности или закарстованности пород* по простиранию и глубине относительно проектируемого тоннеля.

Подземные воды, как правило, понижают прочность и устойчивость грунтов. Например, мергели, глины и пески в присутствии воды теряют прочность. Большинство повреждений, появляющихся в тоннеле в процессе эксплуатации, является результатом взаимодействия воды с подземным сооружением и окружающим ее грунтовым массивом. В результате этого взаимодействия можно наблюдать выщелачивание и вымывание грунтов и цементного камня из бетона отделки, коррозию бетона и арматуры, разжижение балласта, разрушение гидроизоляции и др.

Сильное воздействие подземных вод на бетонные конструкции подземного объекта можно наблюдать при отсутствии наружной гидроизоляции отделки. Большое влияние на состояние тоннельной отделки оказывают рельеф и состояние надтоннельной поверхности, свойства и литологический состав грунтов.

Обводненность тоннелей мелкого заложения зависит от количества атмосферных осадков и талых вод, наличия над тоннелем водоемов, рек и ручьев.

3. Климатические условия связаны с повышенными трудностями содержания тоннелей в районах сурового климата. Если в тоннеле отсутствует защита конструкций и обустройства от неблагоприятных воздействий отрицательных температур, то подземные воды:

- проникают в сооружение через обделку;
- зимой намерзают на сводах, стенах и пути; образуют наледи, угрожающие безопасности движения поездов и подвергающие опасности обслуживающий персонал.

Попеременное замораживание и размораживание воды в материале обделки ведет к ее интенсивному разрушению.

4. Сейсмические воздействия относятся к особым нагрузкам на тоннельные конструкции. Их следует учитывать при проектировании, строительстве и текущем содержании тоннелей, эксплуатируемых в сейсмических районах. Характер и интенсивность влияния землетрясения на разных участках тоннеля нередко существенно различаются и зависят как от геологического строения массива, так и от конструктивных особенностей сооружения (рис. 1.4–1.5).



**Рис. 1.4. Разрушение тоннеля
после землетрясения**



**Рис. 1.5. Обвал тоннеля
после землетрясения**

Основные закономерности появления деформаций тоннелей при землетрясениях:

1. Наибольшие остаточные деформации тоннельных обделок наблюдают на участках тоннелей, расположенных вдоль горных склонов, в местах смены литологического состава грунтов, при изменении глубины заложения тоннелей вследствие резкой смены рельефа.
2. Степень устойчивости тоннельных обделок при прочих равных условиях пропорциональна крепости грунтов.
3. Обделки тоннелей на участках мелкого заложения повреждаются сильнее по сравнению с участками, расположенными на большей глубине.
4. Порталы большинства тоннелей при сильных землетрясениях разрушаются практически полностью, так как на этих участках во время

землетрясения происходит инерционное воздействие масс грунта, теряющих устойчивость при колебаниях массива.

5. Если тоннель пересекают тектонические трещины (рис. 1.6), то возможно смещение участков обделки на расстояние до нескольких десятков сантиметров от первоначальной оси тоннеля в поперечном к оси трассы направлении.



Рис. 1.6. Продольные (а) и поперечные (б) трещины в обделке, возникшие в результате воздействия землетрясения

Большое влияние на подземные сооружения при землетрясениях оказывают грунтовые условия. Наибольшие разрушения наблюдаются в рыхлых неуплотненных грунтах, а также в местах контакта слоев с резко отличными физико-механическими свойствами. В сейсмически активных районах не рекомендуется устраивать тоннельные обделки из монолитного бетона незамкнутого очертания, так как они в большей степени подвержены воздействию сейсмических сил, особенно если имеют разуплотнения и пустоты в заобделочном пространстве. Сборные обделки разрушаются, если не имеют связей растяжения и сейсмических швов.

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 существенное значение для условий эксплуатации тоннелей.

Например, 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. В двухпутных железнодорожных тоннелях размеры поперечного сечения больше, чем в однопутных, поэтому концентрация вредных газов в них меньше. Однако в однопутных тоннелях в большей степени сказывается поршневой эффект проходящих поездов.

В тоннелях, расположенных на кривой, условия проветривания хуже, чем в тоннелях, расположенных на прямой. Чем меньше радиус кривой, тем труднее организовать проветривание тоннеля.

Производственные дефекты являются следствием низкого качества строительных работ при сооружении объекта и снижают эксплуатационную надежность действующих тоннелей. К ним относятся:

- отклонения от проектного контура выработки;
- снижение класса бетона;
- наличие пустот за обделкой;
- аварийные вывалы при проходке и т.д.

Качество строительных работ при сооружении тоннелей оценивают в зависимости от степени соответствия совокупности параметров сооружения или его элементов, полученных во время строительства, требованиям, которые установлены в проекте, в строительных нормах и правилах, стандартах, технических регламентах и других нормативных документах.

При строительстве тоннеля практически всегда возникают случайные отступления от проекта. Некоторые из них улучшают, а другие ухудшают условия эксплуатации тоннеля. Так, например, обделка, толщина которой превосходит проектные размеры за счет укладки бетона в переборы, или укладка в конструкцию бетона более высокого класса могут 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, возникновению местных перенапряжений и появлению трещин.

Наличие пустот за обделкой зависит не только от геологических факторов (карстовые образования, растворимые грунты и др.), но и от качества нагнетания цементно-песчаного раствора за обделку. Сколы и интенсивное трещинообразование в бетонной обделке появляются, как правило, в тех местах, где находятся пустоты за ее наружной поверхностью.

При нарушении технологического регламента при возведении обделки тоннеля из монолитного бетона возникают «холодные швы», которые становятся одним из основных путей проникновения воды через обделку при отсутствии наружной гидроизоляции. Поэтому в случаях технологических перерывов в бетонировании необходимо обеспечивать хорошую герметизацию швов с применением «шпонок» или уплотняющих мастик, которые набухают в присутствии воды.

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

Скорость деградационных процессов зависит от:

- интенсивности движения поездов;
- обводненности конструкций;

- высокой влажности тоннельной атмосферы;
- плохого проветривания;
- несвоевременного устранения дефектов;
- проведения осушительных мероприятий;
- плохого технического обслуживания обустройств.

В свою очередь, повышенная интенсивность движения в тоннелях затрудняет текущее содержание тоннелей и не позволяет своевременно проводить ремонтные работы, которые выполняются в «окна» (перерывы в графике движения поездов). А несвоевременное выполнение ремонтных работ негативно влияет на уровень технического состояния тоннельного пересечения.

1.3. Дефекты тоннельного сооружения

1.3.1. Определение и классификация дефектов

Технический уровень тоннельного пересечения снижается в процессе эксплуатации вследствие образования различного рода дефектов. В процессе содержания тоннелей важно не только своевременно обнаружить все дефекты, но и проанализировать происхождение и степень опасности каждого дефекта для дальнейшей эксплуатации тоннельного сооружения, оценить тяжесть последствий их развития. По результатам анализа производят оценку технического состояния тоннеля в данный момент времени и выбирают, если это необходимо, виды ремонтных мероприятий.

Недооценка последствий воздействия негативных факторов на тоннельные конструкции ограничивает работоспособность сооружения, увеличивает вероятность принятия ошибочных технических решений, приводящих к авариям, включая человеческие жертвы.

Дефект – каждое отдельное несоответствие конструкции (элемента) установленным требованиям.

Вид дефекта – совокупность признаков, характеризующих физическую природу и причины образования дефекта и процесс его развития. В описаниях дефектов отражается природа, процесс и стадии развития дефекта с их качественными и количественными характеристиками. О виде дефекта судят также по виду вызываемого им отказа: внезапный или постепенный; явный или скрытый; зависимый или независимый; одиночный или повторяющийся; ресурсный или нересурсный; неустраняемый или устранимый

Классификация дефектов

1. В зависимости от причины возникновения дефекты разделяют на:

а) *конструктивные*, связанные с несовершенством или нарушением установленных правил и норм проектирования, расчетов и конструирования.

Примеры конструктивных дефектов, снижающих технический уровень тоннельного перехода:

- негабаритность, отсутствие раструбных участков на входах в тоннель; уменьшенные толщины обделки и защитного слоя бетона; от-

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Глава 1. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	4
1.1. Основные понятия	4
1.2. Факторы, влияющие на эксплуатационную надежность тоннелей	8
1.3. Дефекты тоннельного сооружения	15
Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ ПО СОДЕРЖАНИЮ ТОННЕЛЕЙ	32
2.1. Система организации содержания тоннелей	32
2.2. Техническая и отчетная документация на эксплуатируемый тоннель	37
2.3. Планирование и контроль качества работ по содержанию тоннелей.....	39
Глава 3. СОСТАВ РАБОТ ПО СОДЕРЖАНИЮ ТОННЕЛЕЙ	42
3.1. Общие положения	42
3.2. Содержание строительных конструкций тоннеля.....	44
3.3. Техническое обслуживание инженерно-технических систем	70
Глава 4. ОБСЛЕДОВАНИЕ ТОННЕЛЕЙ	89
4.1. Основные положения	89
4.2. Предварительное (визуальное) обследование	91
4.3. Детальное (инструментальное) обследование	94
4.4. Поверочные расчеты конструкций тоннелей и расчеты по результатам обследования.....	104
4.5. Оформление результатов обследования.....	106
Глава 5. ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТОННЕЛЬНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ	108
5.1. Общие положения	108
5.2. Транспортно-эксплуатационное состояние тоннельного пересечения	108
5.3. Виды и классификация отказов.....	112

5.4. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния тоннельного пересечения	114
--	-----

Глава 6. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНОГО ТОННЕЛЯ ПРИ ЕГО СОДЕРЖАНИИ..... 117

6.1. Система автоматизированного мониторинга тоннеля для контроля условий обеспечения проектных решений	117
6.2. Автоматизированная система управления технологическими процессами	130
6.3. Автоматизированные системы управления комплексной системой безопасности	133

Глава 7. БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЕЙ 137

7.1. Основные понятия и положения	137
7.2. Аварийные ситуации и анализ риска.....	140
7.3. Организация безопасной эксплуатации тоннеля в чрезвычайных ситуациях.....	145

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 148

ПРИЛОЖЕНИЯ..... 150