

На правах рукописи



Тешаев Умарджон Риёзидинович

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ**
(на примере транспортных тоннелей «Истиклол» и «Шахристан»
Республики Таджикистан)

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск, 2019

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Вохмин Сергей Антонович

Официальные оппоненты: *Першин Владимир Викторович*
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ
ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф.
Горбачева», кафедра «Строительство
подземных сооружений и шахт», профессор.

Гонне Виталий Рейнгольдович,
кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ
ВО «Российский университет транспорта»,
кафедра «Мосты и тоннели», доцент

Ведущая организация: «Центр геодинамической безопасности ЗФ
ПАО «ГМК «Норильский никель»,
г. Норильск.

Защита диссертации состоится «8» ноября 2019 года в 16:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.23 ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», 95, ауд. 200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и на сайте университета:
www.sfu-kras.ru.

Автореферат разослан «___» сентября 2019 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бондина Светлана Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Тоннели и другие подземные сооружения являются неотъемлемой частью современной транспортной инфраструктуры. Для Республики Таджикистан (РТ) тоннели были и остаются важнейшей коммуникационной структурой региональной хозяйственной и общественной жизни. Около 60% территории республики занимают высокогорные пространства, лежащие выше 2700 м над уровнем моря. Специфические природно-климатические условия РТ, сложный, сильно расчлененный горный рельеф, высокая сейсмичность, суровый климат и т.д. затрудняют строительство и эксплуатацию транспортных тоннелей, железных дорог и других подземных сооружений. С течением времени при эксплуатации происходит нарушение работоспособности тоннелей. Характер и объёмы этих нарушений зависят как от чёткого выполнения технологии возведения постоянной крепи на стадии строительства тоннелей, так и от целого комплекса неблагоприятных факторов: горного давления, напорных агрессивных вод, значительного и резкого перепада температур, промерзания обделки и окружающих пород.

Значительный вклад в области теории и практики обеспечения безаварийной эксплуатации тоннелей в сложных горно-геологических и метеорологических условиях внесли: Булычев Н.С., Гарбер В.А., Горбушко Р.М., Дашко Р.Э., Злобин Г.А., Колесников А.В., Котюков П.В., Кудрявцев А.В., Кузьмин А.В., Левченко А.Н., Малеев Д.Ю., Никитин К.А., Пашкин Е.М., Поддубный В.В., Потапова О.А., Пьянкова А.Ю., Самылова Ю.А., Сорокина А.Т., Франкевич Г.С., Май Дык Минь, Нгуен Ван Хунг и другие.

Вместе с тем в ранее выполненных исследованиях недостаточно полно изучены вопросы, связанные с обеспечением безаварийной эксплуатации тоннелей, а также разработкой универсальной методики оценки и прогнозирования работоспособности горнотехнических сооружений.

При строительстве и эксплуатации большинства горных тоннелей в Средней Азии столкнулись с проблемами влияния эндогенно-экзогенных факторов на устойчивость обделки и конструкций, приводящих к негативным последствиям. Ряд землетрясений, произошедших в последние годы, а также суровые климатические условия в Республике Таджикистан повредили, а в отдельных местах разрушили транспортные тоннели.

Анализ повреждений конструкций тоннелей, вызванных различными факторами, оценка которых является важной задачей современной науки, так как позволяет критически подойти к проектированию подземных сооружений и разработке новых методов и способов их поддержания в безаварийном состоянии.

Таким образом, необходимость решения данных проблем, а также разработка методов оценки и защиты тоннелей, расположенных в сложных горно-геологических и климатических условиях, от различных негативных факторов, является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы – разработка технологии обустройства тоннелей, обеспечивающих безопасную эксплуатацию и увеличение сроков их безаварийной службы в условиях высокогорья.

Идея работы – повышение эффективности и безопасности эксплуатации транспортных тоннелей достигается посредством их обустройства водоотводными лотками, исключая образование и образование морозобойных трещин в обделке тоннелей в условиях высокогорья и сурового климата.

Основные задачи исследований:

- оценить практику решения проблем вредного влияния горно-геологических, технологических и климатических факторов при строительстве и эксплуатации тоннелей;
- провести натурные исследования и специальные мониторинговые наблюдения состояния тоннелей, выявить и систематизировать факторы, влияющие на работоспособность транспортных сооружений;
- выполнить анализ разрушений подземных сооружений, возникающих под воздействием различных горно-геологических, технологических и климатических факторов;
- выполнить математическое моделирование и разработать расчётные схемы утеплённых водоотводных лотков для решения проблемы обледенения тоннелей;
- разработать практические рекомендации по предотвращению лёдообразования в тоннелях, обеспечивающие безаварийную эксплуатацию подземных сооружений.

Методы исследований. При выполнении работы использовался комплексный метод исследований, включающий: анализ и обобщение сведений, содержащихся в литературных, фондовых и патентных источниках, посвящённых рассматриваемым вопросам; натурные наблюдения и эксперименты в тоннелях, статистическая и аналитическая обработка полученных результатов.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Техническое состояние транспортных тоннелей, расположенных в условиях высокогорья обусловлено горно-геологическими и климатическими условиями, предопределяющими раскрытие трещин в рабочих и деформационных швах при сейсмических явлениях и последующее обледенение поверхности тоннелей.

2. Для исключения образования в тоннелях наледей и морозобойных трещин в деформационных и рабочих швах обделки необходимо в их защитной зоне устраивать водоулавливающие и водоотводящие конструкции из теплоизолирующего материала, зависимость его максимальной толщины от ширины защитной зоны описывает уравнение логарифмической функции.

3. Конструкция теплоизолированных водоулавливающих и водоотводных лотков predetermined масштабом возможного обледенения и должна минимизировать затраты на защиту тоннелей в процессе их эксплуатации.

Научная новизна работы:

1. Систематизации горно-геологических, технологических и климатических факторов, влияющих на надёжность конструктивных элементов тоннелей, расположенных в условиях высокогорья;

2. Выявлении закономерностей возникновения и развития дефектов обделки во времени в тоннелях, расположенных в условиях высокогорья;

3. Получении аналитических зависимостей параметров, утеплённых водоулавливающих и водоотводных лотков на основе учёта коэффициента теплопроводности применяемого материала и температуры внутренней поверхности обделки тоннелей;

4. Разработке способов предотвращения образования морозобойных трещин и наледей в тоннелях на основе использования новых конструкций теплоизолированных водоулавливающих и водоотводных лотков (патенты РФ № 185730 от 17.12.2018г. и № 2687693 от 15.05.2019 г.).

Практическая значимость работы

– разработан новый подход к оценке горно-геологических, технологических и климатических факторов, с последующим количественным учётом и прогнозированием их влияния на подземное сооружение и, вследствие этого, повышение качества принимаемых технических и технологических решений, как на стадии проектирования, так и непосредственно в период строительства и эксплуатации тоннелей в сложных условиях высокогорья;

– разработана методика расчёта параметров защитной зоны рабочих и деформационных швов, а также параметров, утеплённых водоулавливающих и водоотводных лотков;

– разработаны способы предотвращения образования морозобойных трещин и наледей в тоннелях на основе использования новых конструкций теплоизолированных водоулавливающих и водоотводных лотков (патенты РФ № 185730 от 17.12.2018г. № 2687693 от 15.05.2019 г.).

Реализация работы. Результаты исследования могут быть использованы:

– в практике научно-исследовательских и проектных институтов при проектировании строительства транспортных тоннелей, расположенных в условиях высокогорья;

– в практике контроля технического состояния тоннелей и принятия оперативных решений для предотвращения и ликвидации аварийных ситуаций.

– в качестве методического обеспечения при организации учебного процесса по подготовке горных инженеров специализации «Шахтное и подземное строительство».

Достоверность научных положений и рекомендаций подтверждена корректностью постановки задач исследований и представительным объёмом промышленных наблюдений и экспериментов.

В основу диссертации положены результаты, полученные в рамках полевых и научно-практических работ по изучению влияния различных

факторов на безопасность, бесперебойность и устойчивость транспортных тоннелей «Истиклол» и «Шахристан» при их эксплуатации.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на конференциях различного уровня, в том числе: IV Международная (X Всероссийская) конференция НАСКР-2018 «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»; Научные семинары по итогам НИР в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» г. Красноярск, 2015-2017 гг.; Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука» г. Красноярск, 2014-2018 гг.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; проведении натурных наблюдений и экспериментов; выполнении статистического анализа и прогнозировании влияния отрицательных факторов на работоспособность тоннелей; разработке методики расчёта параметров защитной зоны рабочих и деформационных швов от влияния отрицательных температур; разработке систем водоотведения в условиях отрицательных температур; формирования основных выводов и рекомендаций по обеспечению безаварийной эксплуатации тоннелей в условиях высокогорья.

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в 11 печатных работах, из них 1 - в изданиях международного статуса SCOPUS, 1 - в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России, 2 патента РФ на изобретение.

Объём и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 140 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков, 18 таблиц, 18 формул, список литературы из 103 наименований.

Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю профессору С.А. Вохмину, профессору Ю.П. Требушу, а также всем сотрудникам кафедры «Шахтное и подземное строительство» ФГАОУ ВО СФУ за советы и неоценимую помощь при выполнении работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и степень научной разработанности диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор существующих теоретических и практических данных работ по теме исследования. Определены задачи и методы исследования.

Исследование вопросов, связанных с обеспечением надежности водоотведения и предотвращения разрушительного воздействия отрицательных температур на обделку при сооружении транспортных тоннелей и их эксплуатации на трассе Душанбе-Чанак, в теоретическом плане основано на работах, посвященных разработке методик оценки эффективных

технологических решений, влияющих на устойчивость подземных горных выработок. Этот аспект методически целесообразно рассмотреть по факторам, влияющим на работоспособность тоннелей при их строительстве и эксплуатации, а в практическом плане – на анализе полученных данных о фактических разрушениях объекта исследования.

Выполненное таким образом обобщение теории и практики позволяет правильно и полно сформулировать задачи исследования.

В результате анализа ранее проведенных исследований по изучению инженерно-геологических, гидрогеологических, геотехнических проблем в области тоннелестроения систематизированы основные факторы, влияющие на эксплуатационные и статические условия работы тоннельной обделки (рисунок 1).



Рисунок 1 – Факторы, влияющие на эксплуатационные и статические условия работы тоннельной обделки

В результате воздействия приведенных факторов происходит деструкция вмещающих горных пород, разрушение крепи и внезапные обрушения подземных сооружений.

Основными задачами обеспечения длительной, безаварийной эксплуатации являются учёт этих факторов при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений, прогноз состояния обделки тоннелей, разработка рекомендаций по предупреждению техногенных аварий, предотвращение или снижение влияния вредных факторов влияющих на работоспособность транспортных тоннелей в условиях высокогорья. Это позволит сократить общий объём затрат на поддержание тоннелей в рабочем состоянии и обеспечит повышение эффективности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений.

Во второй главе исследованы существующие характеры разрушения в транспортных тоннелях «Шахристан» и «Истиклол» Республики Таджикистан. На основании практических данных проведен статистический анализ

аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации тоннелей при воздействии различных факторов.

По результатам проведенных исследований всех видов разрушений обделок тоннелей «Истиклол» и «Шахристан» в период 2014-2017 гг. был выявлены факторы, определяющие устойчивость обделки транспортных сооружений и соответствующие им виды её нарушений. Таким образом, при решении вопроса надежности капитальных горных выработок в условиях высокогорья необходимо установить зависимость устойчивости обделки от качества забутовки, морозостойкости бетона, типа и времени установки временного крепления, гидроизоляции, теплоизоляции дренажных систем и других факторов.

В процессе промышленных экспериментов проведены обследования и замеры дефектов с последующей систематизацией и установлением причин их образования (рис 2-5).



Рисунок 2 – Наледообразование и сосульки в середине тоннеля «Истиклол»



Рисунок 3 – Раковины в обделке тоннеля «Истиклол»



Рисунок 4- Последствие влияния инфильтрационных вод в тоннеле «Шахристан»

К основным типам нарушений относятся раковины, выбоины в крепи, волосяные и раскрытые трещины, холодные швы, инфильтрация воды, что приводит к выщелачиванию бетона на довольно обширных площадях поверхности крепи, образованию морозобойных трещин и наледей.

Замеры дефектов, в том числе количество холодных швов и мест инфильтрации воды, площадь наледей, морозобойные трещины, раковин, вывалов, трещин и зон выщелачивания бетона обделок производились автором в период 2014 - 2017 гг. Были также проанализированы и обработаны результаты съёмки разрушений тоннеля «Шахристан» от сейсмических воздействий 2015 г. Результаты обследований позволяют отстроить в масштабе развертки тоннелей с нанесением всех выявленных нарушений.

Наличие трещин, мокрых пятен и наледей на поверхности тоннеля ведет к образованию участков выщелачивания бетона обделки, раковин и вывалов. Опасность для устойчивости обделки представляют раскрывающиеся трещины, особенно в тех случаях, когда они сочетаются с мокрыми пятнами, зонами капеза и течей воды. Поступающая по трещинам и порам вода взаимодействует с цементом и разрушает его.

С течением времени скрытые дефекты к обделке под воздействием неблагоприятных факторов переходят в разряд явных, что ведет к возникновению аварийных ситуаций, требующих принятия безотлагательных действий по предотвращению разрушения обделки.

В третьей главе приведена усовершенствованная методика расчёта технического состояния транспортных тоннелей, позволяющей определить развития количество дефектов на основе практических данных, а также анализ ремонтно-восстановительных работ транспортного тоннеля «Истиклол». На основании проведенных статистических исследований предложена систематизация причин появления дефектов при воздействии различных факторов. Представлены результаты проведения сравнение фактический параметр дефектов транспортных тоннелей «Шахристан» и «Истиклол».

При проведении исследований была выполнена оценка технического состояния транспортных тоннелей «Истиклол» и «Шахристан», на протяжении более 5 км с подходами к тоннелям по 150 м.

Работы проводились по усовершенствованной методике оценки транспортно-эксплуатационного состояния горных автодорожных тоннельных переходов Федерального дорожного агентства (Росавтодора) Министерства транспорта Российской Федерации.

По результатам обследований, проведенных в 2014-2017 гг., в конструкциях и обустройствах тоннельных переходов обнаружены дефекты. Их идентификация проведена по классификации дефектов.

Динамика изменения объёма дефектов в тоннеле «Шахристан» приведена на рисунке 5.

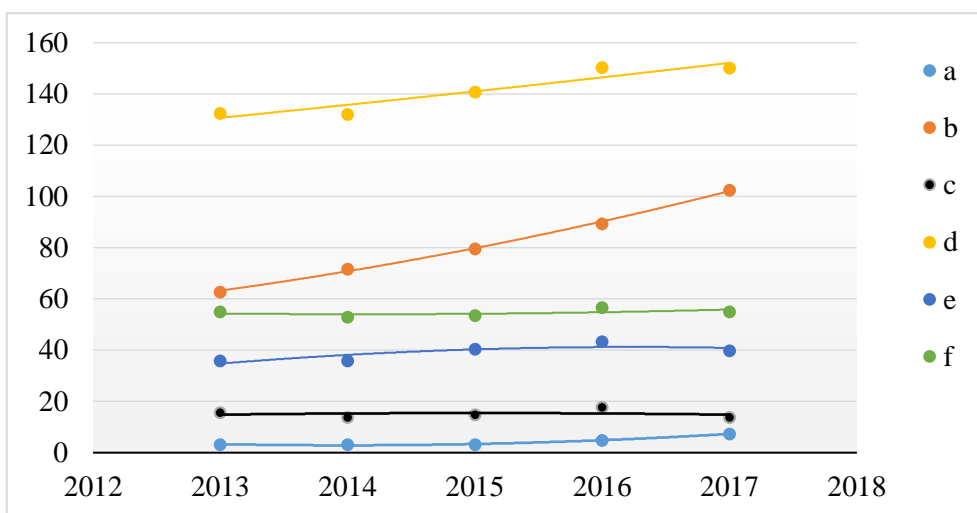


Рисунок 5 – Динамика изменения сумма объёма дефектов в отдельной части тоннеля «Шахристан» (a, b ... - категории критичности.)

По результатам анализа и идентификации дефектов определена абсолютная оценка технического состояния тоннельного перехода.

Абсолютная оценка $|TC|$ представляет собой сумму всех дефектов конструкций и обустройств тоннельного перехода с учетом их ранжирования по тяжести последствий, что характеризует состояние тоннельного сооружения в определенный момент его функционирования. В связи с этим рост количества дефектов за фиксированный период наблюдений указывает на развитие деструктивных процессов и ухудшение технического состояния, и наоборот, снижение абсолютной оценки характеризует улучшение технического состояния в сравнении с предыдущим периодом. Улучшение или ухудшение технического состояния может быть связано как с изменением внешних воздействий, так и в результате ремонтных мероприятий.

$$|TC| = k_a \sum A + k_b \sum B + k_c \sum C + k_d \sum D, \quad (1)$$

где $|TC|$ - абсолютная оценка технического состояния тоннельного перехода; k_a, k_b, k_c, k_d - коэффициенты ранжирования дефектов в соответствующих категориях критичности A, B, C и D.

Динамика изменения суммы объёма дефектов в отдельных частях тоннеля приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика изменения суммы объёма дефектов (тоннель Истиклол)

Наименование основных обследуемых участков тоннеля		Оценки технического состояния тоннеля «Истиклол»									
		2013		2014		2015		2016		2017	
		$\frac{SA}{SB}$	$\frac{SC}{SD}$	$\frac{SA}{SB}$	$\frac{SC}{SD}$	$\frac{SA}{SB}$	$\frac{SC}{SD}$	$\frac{SA}{SB}$	$\frac{SC}{SD}$	$\frac{SA}{SB}$	$\frac{SC}{SD}$
1	Порталы	—	$\frac{1,2}{2}$	—	$\frac{1,2}{2}$	—	$\frac{1,2}{2}$	—	$\frac{1,8}{3}$	—	$\frac{2,4}{5}$
2	Обделки тоннеля	$\frac{33}{33}$	$\frac{29,8}{29,8}$	$\frac{35}{35}$	$\frac{36,8}{36,8}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{42,7}{42,7}$	$\frac{40}{40}$	$\frac{49,5}{49,5}$	$\frac{45}{45}$	$\frac{57,55}{57,55}$
3	Внутритуннельные обустройства	$\frac{3}{3}$	$\frac{1}{11,7}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{1}{9,8}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{1}{10,8}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{1}{13,7}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{1}{10,75}$
4	Обводнение объектов тоннельного сооружения	$\frac{29,1}{29,1}$	$\frac{103,5}{103,5}$	$\frac{28}{28}$	$\frac{104,1}{104,1}$	$\frac{33,1}{33,1}$	$\frac{107,7}{107,7}$	$\frac{38,3}{38,3}$	$\frac{112,2}{112,2}$	$\frac{36,8}{36,8}$	$\frac{113,4}{113,4}$
5	Проезжая часть в тоннеле	$\frac{24,5}{24,5}$	$\frac{11,4}{11,4}$	$\frac{25,9}{25,9}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{28,4}{28,4}$	$\frac{12}{12}$	$\frac{30,8}{30,8}$	$\frac{12,6}{12,6}$	$\frac{32,1}{32,1}$	$\frac{7,7}{7,7}$

6	Прочие элементы	—	$\frac{44}{11}$	—	$\frac{42,9}{10}$	—	$\frac{43,6}{10}$	—	$\frac{47}{9,8}$	—	$\frac{44}{11}$
Абсолютная оценка технического состояния тоннельного перехода ТС		305,2		309,7		332,5		362,7		368,4	

График вероятности (рисунок 6) для событий (дефектов) различного типа, произошедших с 2013 г. по 2017 г. был построен и исследован с использованием программного обеспечения MINITAB 2017. Данные графики позволяют проанализировать вероятность обнаружения дефекта определенного значения и выполнить их ранжирование по частоте возникновения.

Было определено среднее и стандартное отклонение. По величине значения (p), можно провести оценку распределение вероятности появления того или иного события. Анализ проводили с 95% доверительным интервалом.

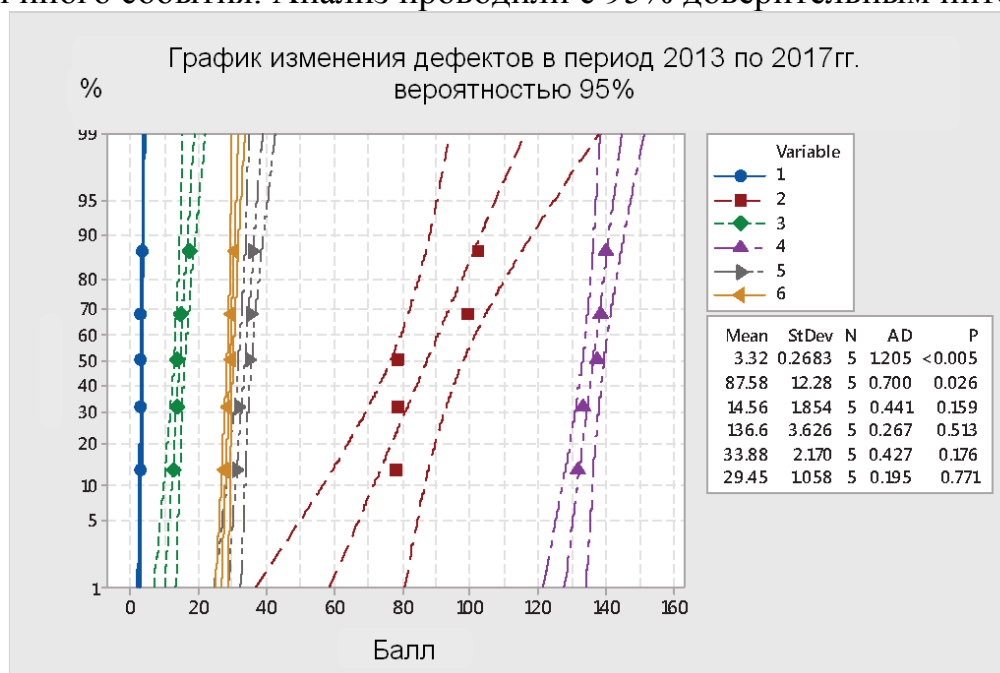


Рисунок 6 – График вероятности для событий (дефектов) различного типа (т. Истиклол):
1 – порталы, 2- обделка тоннеля, 3- внутритуннельные обустройства, 4- обводнение объектов тоннельного сооружения, 5- проезжая часть в тоннеле, 6-прочие элементы

Из рисунка 6 видно, что только среди зарегистрированных дефектов типа 1 и типа 2, значение p по тесту Андерсона-Дарлинга ниже 0,05. Это означает, что среднее значение, полученное для данных дефектов, не является истинным средним значением и не может использоваться для определения вероятности появления дефектов 1-го и 2-го типов.

В то же время другие дефекты (типов 3 - 6), имеют значение p больше 0,05, и вероятность их появления достигает 95%. Следовательно, средние значения, полученные для дефектов (3-6 тип), являются истинным и могут быть использованы для определения вероятности их появления.

Исходя из этого, вначале подлежат ликвидации дефекты 6-го типа, так как они имеют самое высокое значение p среди всех прочих типов дефектов и имеют наивысшую вероятность появления этого конкретного события. В

последнюю очередь ремонтные работы будут выполняться на дефектах 2-го, а затем 1-го типа, так как они имеют наименьшее значение p .

Оценка технического состояния (ТС) за рассматриваемый период приведена на рисунке 7. Приведенная динамика показывает, что происходит ухудшение технического состояния тоннельного перехода за счёт увеличения количества дефектов категории В и D.

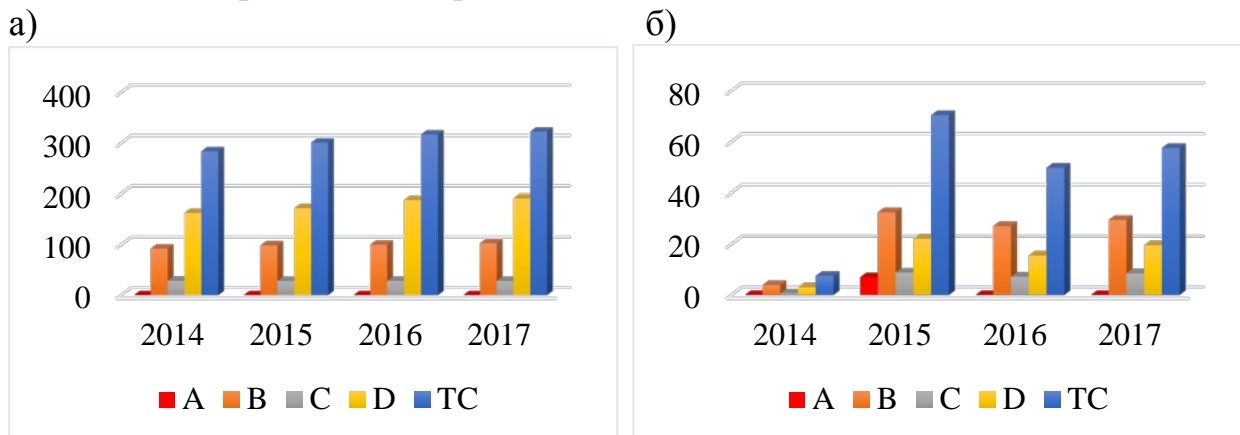


Рисунок 7 – Оценка технического состояния транспортных тоннелей по категории критичности «Истиклол» а) и «Шахристан» б): А- высокий риск, В-значительный риск, С- существенный риск, D-несущественный риск, ТС- техническое состояние

Далее рассчитана динамика изменения объёма дефектов (ТС) транспортного тоннеля «Истиклол» и «Шахристан» за 2013-2017 гг. базисным способом.

Темп роста, рассчитанный базисным способом показывает, что рост изменения объём дефектов (ТС) тоннеля был максимальным в 2017 г. и составил 117,29 %, а в 2014 г. был минимальным и составил 101,47 % по сравнению с 2013 г. Из расчётов видно, что наиболее не благоприятные изменения объёмов дефектов (ТС) тоннеля «Истиклол» были в 2016 г. по сравнению с 2013-2015 гг.

Динамика изменения технического состояния тоннеля «Истиклол» и «Шахристан» представлена в виде линейной диаграммы (рисунок 8).

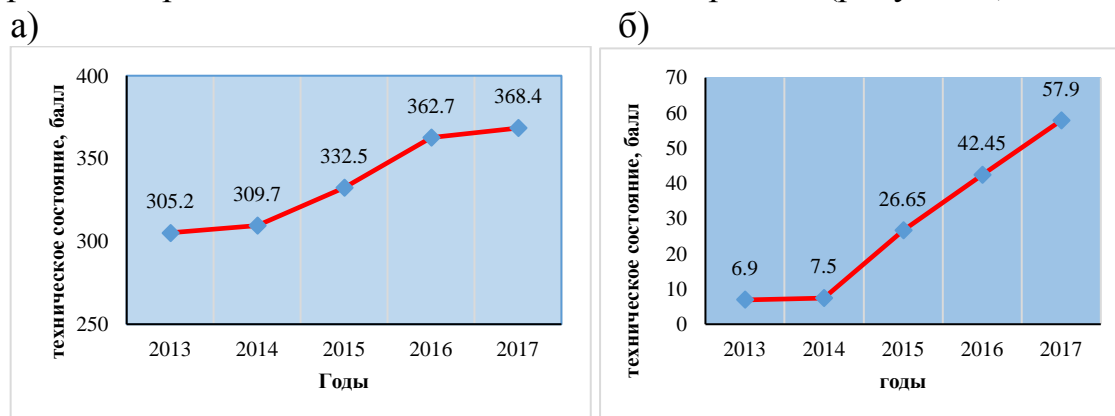


Рисунок 8 – Динамика технического состояния тоннеля «Истиклол» и «Шахристан» за 2013-2017 гг.

Расчёт прогноза путем выравнивания (сглаживания) динамического ряда также применяется при наличии устойчивой тенденции роста или снижения показателей динамического ряда. При этом тенденция развития прогнозируемого явления приблизительно описывается графиком полиномиального математического уравнения:

$$y = 0,7x^2 - 2803,1x + 3E+06, \quad (2)$$

Используя данное выражение рассчитан прогноз динамики изменения объёмов дефектов для тоннеля «Истиклол» и «Шахристан» (рисунок 9,10).



Рисунок 9 – Прогноз динамики изменения объём дефектов (ТС) тоннеля «Истиклол» на 2018-2021 гг.

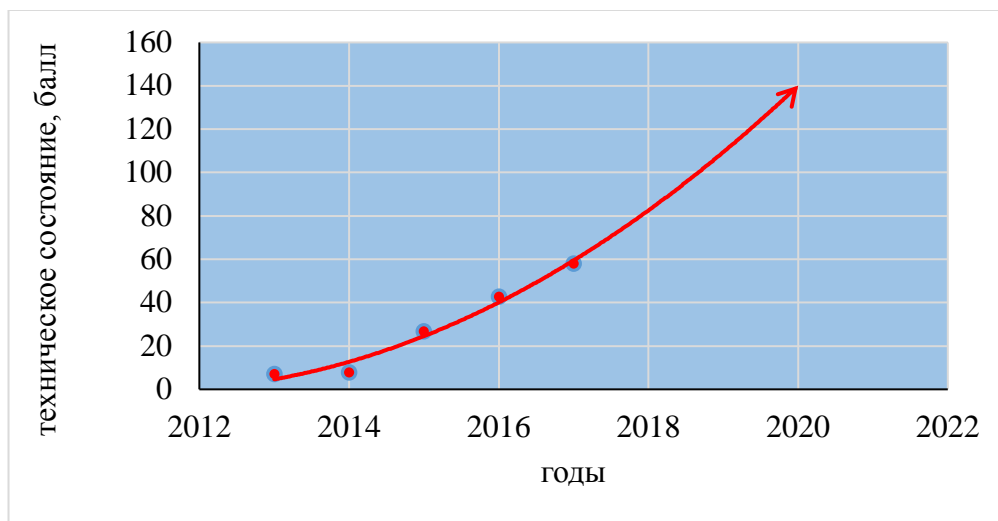


Рисунок 10 – Прогноз динамики изменения объём дефектов (ТС) тоннеля «Шахристан» на 2018-2021 гг.

Выполненный комплексный анализ оценки технического состояния транспортных тоннелей «Истиклол» и «Шахристан» в период с 2013 г. по 2017 г. позволил установить, что состояние тоннелей ухудшается с каждым годом и требуется проведение ремонтно-восстановительных работ.

В четвёртой главе приведена разработанная методика расчёта параметров защитной зоны деформационных и рабочих швов обделки

тоннелей, а также параметров устройства теплоизолированного водоотводного лотка (желоб).

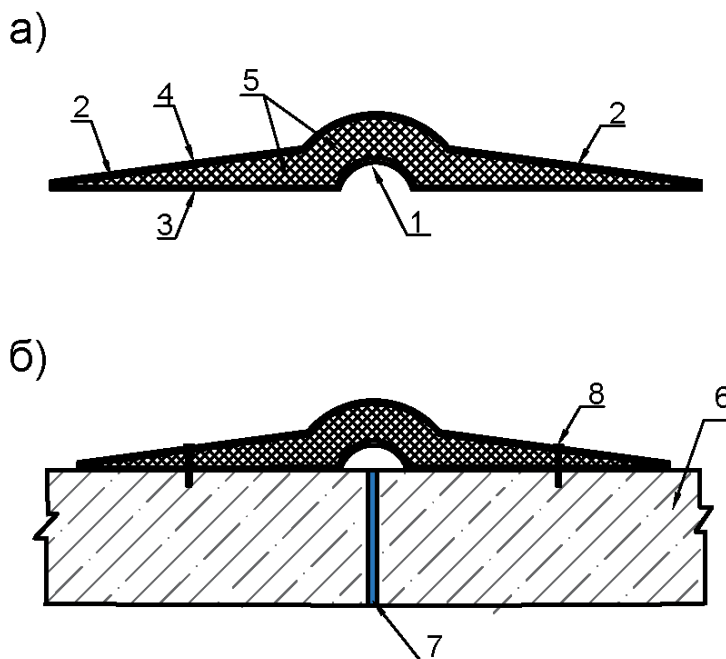
Учитывая специфические климатические условия, опасность сейсмических воздействий, а также сложность рельефа разработана новые конструкции водоотводных лотков и получена два патента. Эти лотки комбинированный вариантов конструкции водосборной системы обладают рядом преимуществ по сравнению с существующими системами водосборных устройств, обеспечивающих перехват инфильтрационных вод из деформационных швов тоннелей.

Первое. Теплоизолированный водоотводный лоток, выполненный в виде заключенного между гидроизоляционными пластинами блока с водоотводным руслом и бортиками (ширина плечи защитной зоны), отличающийся от ранее применяемых тем, что между гидроизоляционными пластинами размещен теплоизоляционный материал (рисунок 11).

Использование предлагаемого устройства позволяет снизить трудоемкость его установки и обслуживания за счёт упрощения конструкции.

Размещение между гидроизоляционными пластинами теплоизоляционного материала позволяет обеспечить в пространстве русла желоба температуру, исключающую замерзание воды. Тем самым отпадает необходимость в наличии нагревательных элементов, что упрощает конструкцию устройства и снижает трудоемкость его обслуживания.

Расчёт по предлагаемым формулам толщины теплоизоляционного материала по руслу и бортикам, а также ширины бортиков, позволяет определить толщину теплоизоляционного материала и размеры устройства, исключающие замерзание воды в пространстве русла лотка. При этом учитываются температура внешней среды, температура поступающей воды, свойства теплоизоляционного материала и материала, на котором размещается устройство.



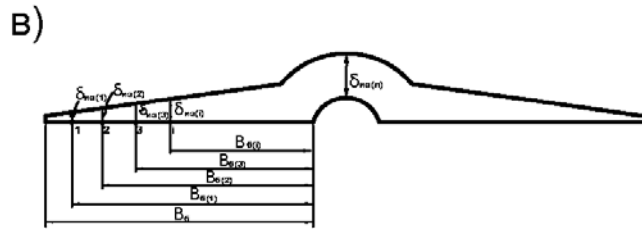


Рисунок 11 – Водосборный утеплённый желоб: а – общая конструкция; б - установка на поверхности; в - расчётная схема. 1 - водоотводное русло; 2 – бортики; 3 и 4 - внутренняя и внешняя гидроизоляционные пластины из листового железа; 5 - теплоизоляционный материал (пенополистерол); 6 – поверхность обделки; 7- деформационный шов; 8 – крепёжные дюбели

Размещение между гидроизоляционными пластинами теплоизоляционного материала позволяет обеспечить в пространстве русла желоба температуру, исключающую замерзание воды. Тем самым отпадает необходимость в нагревательных элементах.

Расчёт по предлагаемым формулам толщины теплоизоляционного материала по руслу и бортикам, а также ширины бортиков, позволяет определить толщину теплоизоляционного материала и размеры устройства, исключающие замерзание воды в пространстве русла лотка. При этом учитывается температура внешней среды, температура поступающей воды, свойства теплоизоляционного материала и материала, на котором размещается устройство.

Монтаж водосборного утеплённого лотка осуществляется из отдельных готовых блоков, размещая их на стенке тоннеля вдоль деформационного шва, через который просачивается вода. Ширина русла лотка должна быть не менее ширины деформационного шва.

Длину отдельного блока водоотводного лотка принимают экспериментально, исходя из удобства изготовления, транспортирования и установки блоков.

Закрепление блока на стенке тоннеля ведётся с использованием пластиковых дюбелей, которые также будут препятствовать воздействию холода на материал стены тоннеля через крепежные элементы.

На сводчатой кровле тоннеля используют водоотводные лотки конфигурации, обеспечивающей плотное прилегание лотка к поверхности стены тоннеля по своду.

Контроль использования устройства сводится к визуальному наблюдению за целостностью внешней гидроизоляционной пластины лотка.

При соответствии объёма русла желоба и объёма поступающей воды обеспечивается размещение и свободное протекание воды по руслу.

Использование предлагаемой конструкции водоотводного лотка позволяет снизить трудоёмкость его монтажа и обслуживания за счёт упрощения конструкции.

Определение параметров теплоизоляции лотка и защитной зоны деформационного шва тоннелей от промерзания рассмотрено для условия

эксплуатации транспортного тоннеля «Истиклол» в холодный период рассмотрены и достигнуты следующие результаты (рисунок 12,13).

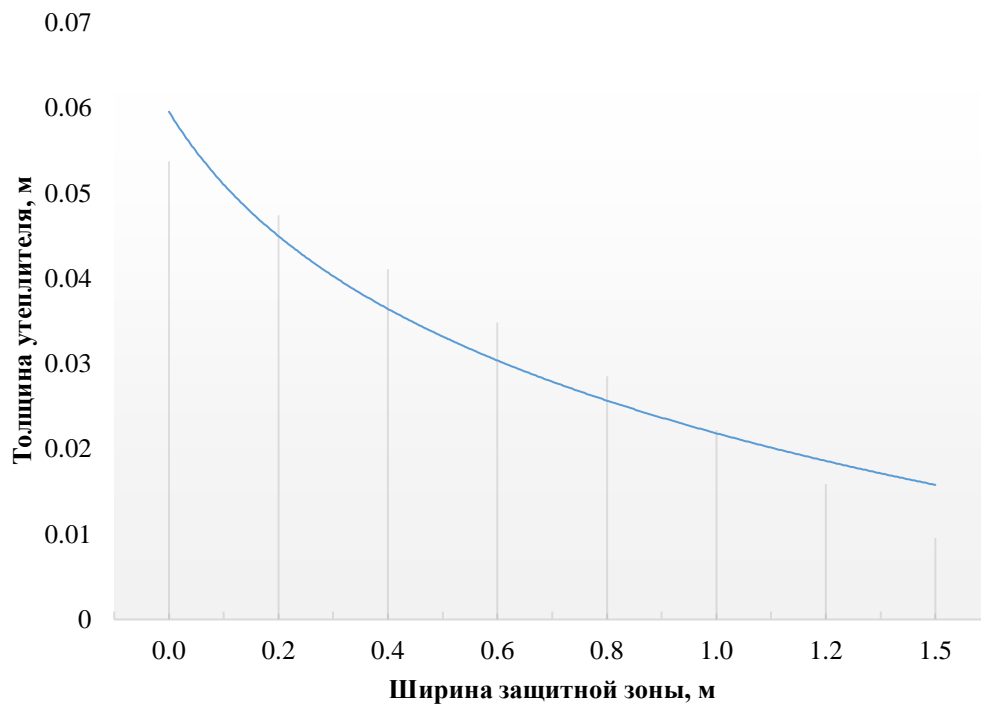


Рисунок 12 – Зависимости ширины защитной зоны от толщины утеплителя

Из графика видно, что толщина утеплителя прямо пропорциональна ширине защитной зоны шва в условиях тоннеля «Истиклол» и описывается зависимостью:

$$\delta_{из} = -0,021\ln(x) + 0,059 \quad (3)$$

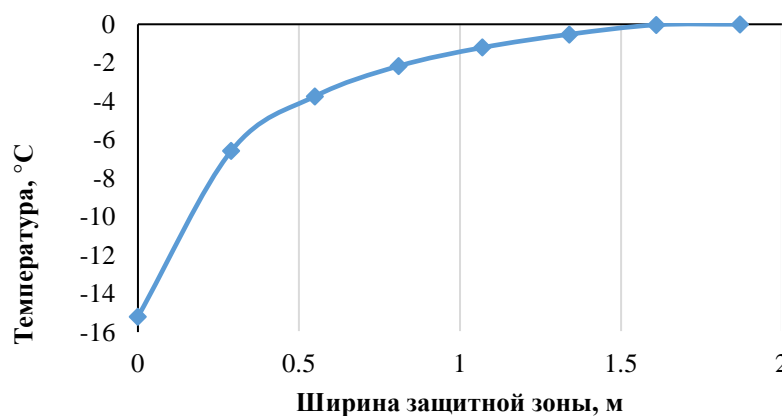


Рисунок 13 – Зависимость температуры внутренней поверхности железобетонной обделки тоннелей от ширины защитной зоны

Данный график показывает, что с ростом ширины защитной зоны температура поверхности железобетонной обделки тоннелей повышается. Эта зависимость определяется по формуле:

$$y = -6,98x^2 + 19,86x - 13,61 \quad (4)$$

Второй. Учитывая специфические климатические условия было разработана новая конструкция водоотводного лотка, снабженного электрическим нагревательным кабелем и оснащенного корытообразным теплоотражающим элементом.

Этот комбинированный вариант конструкции водосборной системы обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими системами водосборных устройств, обеспечивающих перехват инфильтрационных вод из деформационных швов тоннелей.

Водоотводной лоток выполнен в виде заключенного между гидроизоляционными пластинами блока с водоотводным руслом и бортиками и снабженного электрическим нагревательным кабелем, кроме того лоток дополнительно оснащен корытообразным теплоотражающим элементом, выполненным в виде желоба с сечением параболы и закрепленным внутри лотка по его оси и по всей его длине, а нагревательный кабель расположен по центру на расстоянии половины высоты желоба.

Оснащение лотка корытообразным теплоотражающим элементом, выполненным в виде желоба с сечением параболы, обеспечивает концентрацией теплового луча от нагревательного кабеля по ширине поступающего в лоток потока воды.

Нагревательный кабель, расположенный по центру на расстоянии половины высоты желоба способствует свободного сбора тепловых лучей противоположного сечения кабеля от деформационного шва направляющую в сторону протока воды (рисунок 14). На рисунке 15 приведена схема работы устройства отражателя тепла.

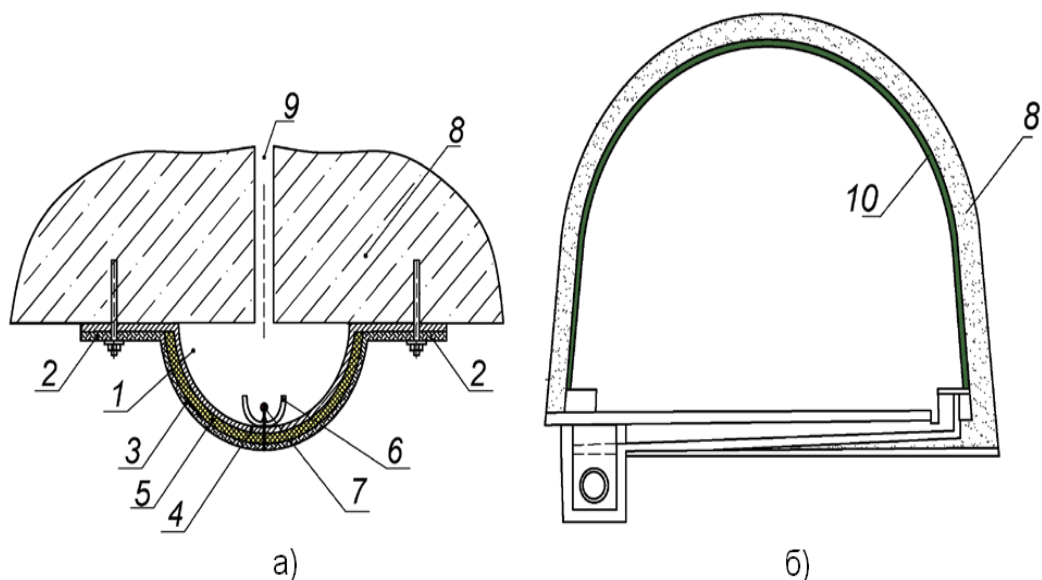


Рисунок 14 – Водоотводной лоток с электронагревателем, а) – вид устройства водоотводного лотка с тепло отражателем в разрезе, б) – положение устройства на стенке тоннеля. 1 - водоотводное русло; 2 – бортики; 3 – внутренняя и 4 - внешняя гидроизоляционные пластины; 5 - теплоизоляционный материал; 6 -отражающий элемент; 7 - нагревательный кабель; 8 – стенка (обделка) тоннеля; 9 - деформационный шов; 10 - блок лотка.

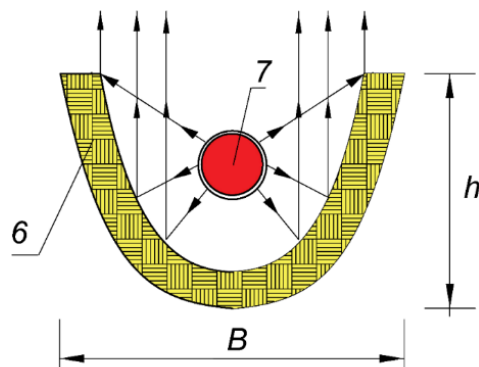


Рисунок 15 – Схема работы устройства отражателя тепла

Ширина теплоотражателя должна быть не менее или равна ширине деформационного шва. Теплоотражатель и нагревательный кабель укладывают прямо в центр обогреваемого участка шва по всей длине лотка.

Длину отдельного блока водоотводного лотка принимают экспериментально, исходя из удобства изготовления, транспортирования и установки блоков. На сводчатой кровле тоннеля используют водоотводные лотки конфигурации, обеспечивающей плотное прилегание лотка к поверхности стены тоннеля по своду.

Контроль использования устройства сводится к визуальному наблюдению за целостностью теплоотражателя и нагревательного кабеля лотка.

Использование предлагаемого устройства позволяет обеспечить повышение эффективности работы лотка за счёт концентрации теплового луча от нагревательного кабеля по всей ширине поступающего в лоток потока воды.

В пятой главе приведена экономическая эффективность при использовании предлагаемой методики водоотведения на примере транспортного тоннеля «Истиклол».

При расчёте экономической эффективности предлагаемой системы водоотведения по предотвращению наледи-образования путем теплоизоляции защитных зон и лотков транспортного тоннеля в условиях высокогорья определена и сравнивается стоимость работ по уборке льда и применение лотка на примере транспортного тоннеля «Истиклол».

Технико-экономическое сравнение существующего положения в действующем тоннеле «Истиклол» и применения предлагаемой конструкции водоотводного лотка показало, что происходит уменьшения затрат по содержанию в 278,0 тыс. руб. (39,21 тыс. сомони) на 1,0 км тоннеля.

Из всего вышеизложенного следует, что использование утеплённых лотков для водоотведения при строительстве и эксплуатации тоннелей, расположенных в условиях высокогорья, позволит снизить затраты на их содержание, а также повысить безопасность и работоспособность подземных транспортных сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся самостоятельной законченной квалификационной работой, дано решение актуальной научно-технической задачи обоснования параметров геотехнологии строительства капитальных горных выработок в суровых климатических условиях высокогорья, имеющих важное значение при эксплуатации транспортных тоннелей Республики Таджикистан.

Основные выводы, научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Обоснованы отличительные признаки и выполнена систематизация горно-геологических, технологических и климатических факторов, влияющих на работоспособность тоннелей, расположенных в условиях высокогорья.

2. Разработке новый подход к оценке горно-геологических, технологических и климатических факторов, с последующим количественным учётом и прогнозированием их влияния на подземное сооружение и, вследствие этого, повышение качества принимаемых технических и технологических решений, как на стадии проектирования, так и непосредственно при строительстве и эксплуатации тоннелей в сложных условиях высокогорья.

3. Проведенными опытно-промышленными исследованиями выявлены причины возникновения и развития дефектов обделки во времени в тоннелях, расположенных в сложных условиях высокогорья.

4. Путём математического моделирования получены аналитические зависимости параметров, утеплённых водоулавливающих и водоотводных лотков, основанные на учёте коэффициента теплопроводности применяемого материала и температуры внутренней поверхности обделки тоннелей;

5. Разработаны способы предотвращения образования морозобойных трещин и наледей в тоннелях на основе использования новых конструкций теплоизолированных водоулавливающих и водоотводных лотков (патент РФ № 185730 от 20.04.2018 г. «Водоотводный лоток» и патента Р№ 2687693 Ф от 15.05.2019 г. «Водоотводный лоток транспортных тоннелей»).

6. Обоснованность и достоверность научных положений подтверждается представленным объёмом исследований, выполненных на основе научным трудам и результатам инженерных изысканий, проведенных в районе исследования, а также подтверждённой принятой методологической базой, основанной на фундаментальных и достоверно изученных положениях. В основу диссертации положены результаты, полученные в рамках полевых и научно-практических о влиянии факторов на безопасность, бесперебойность и устойчивость транспортных тоннелей «Истиклол» и «Шахристан» при эксплуатации.

7. Результаты выполненных исследований могут быть использованы в практике научно-исследовательских и проектных организаций при выборе и обосновании технологических схем строительства тоннелей, контроля их технического состояния и принятия оперативных решений для предотвращения и ликвидации аварийных ситуаций, а также в качестве методического

обеспечения при организации учебного процесса по подготовке горных инженеров специализации «Шахтное и подземное строительство».

8. Ожидаемый расчётный экономический эффект от внедрения результатов исследований на транспортном тоннеле «Истиклол» для периода эксплуатации в условиях отрицательных температур высокогорья оценивается в 278,0 тыс. руб. (39,21 тыс. сомони) на 1,0 км тоннеля.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, SCOPUS, и приравненные к ним публикации:

1. **Тешаев, У.Р.** Анализ динамики роста давления при замерзании забутовочных горных пород транспортных тоннелей. У.Р. Тешаев, С.А. Вохмин, Н.М. Хасанов *IV Международной (x всероссийской) конференции НАСКР-2018 «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»*. 1992

2. **Тешаев, У.Р.** Сейсмостойкость конструкций водопропускных сооружений и подземных переходов. Н.М. Хасанов, А.Х. Абдужабаров, У.Р. Тешаев. Вестник гражданских инженеров, 205-209. Санкт-Петербург 2017

3. **Teshaev, U.R.** Assessment of defects in mountain roadway tunnel due to various natural and operational factors – Istiqlol (Republic of Tajikistan). Umardzhon R. Teshaev, Sai Krishna Padamata, Sergey A. Vokhmin, Yuri P. Trebush, Nurali M. Khasanov. National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences Volume 5, Number 431 (2018)

4. **Тешаев, У.Р.** Процессы и параметры сдвижения горных пород и земной поверхности. Тешаев У.Р. Хасанов Н.М. Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив-2016», Сибирский федеральный университет, Красноярск, 2016 г.

5. **Тешаев, У.Р.** Факторы, влияющие на устойчивость обделки тоннелей. Тешаев У.Р. Вохмин С.А. Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив-2016», Сибирский федеральный университет, Красноярск, 2016 г.

6. **Тешаев, У.Р.** Сейсмические воздействия на подземных сооружений в горных районах Республике Таджикистан. Тешаев У.Р. Вохмин С.А. Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив-2016», Сибирский федеральный университет, Красноярск, 2016 г.

7. **Тешаев, У.Р.** Проектирование и строительство гидротехнических тоннелей и подземных машинных залов ГЭС. Тешаев У.Р. Хасанов Н.М. Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив-2016», Сибирский федеральный университет, Красноярск, 2016 г.

8. **Тешаев, У.Р.** Методы предварительного укрепления горных пород в зонах тектонических нарушений. Тешаев У.Р. Хасанов Н.М. Международной

конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный-2016», Сибирский федеральный университет, Красноярск, 2016 г

9. **Тешаев У.Р.** Динамика роста давления при замерзании забутовочных горных пород. Вохмин С.А. Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный-2018», Сибирский федеральный университет, Красноярск, 2018г.

10. Пат. № 185730 Российская Федерация, МПК E21F 16/02, Водоотводный лоток/ Тешаев У.Р.; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет». - № п/п 2018114855, заявл. 20.04.2018; опубл. 17.12.2018.

11. Пат. № 2687693 Российская Федерация, МПК E21F 16/02, Водоотводный лоток транспортных тоннелей/ Вохмин С.А., Тешаев У.Р.; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет». - № п/п 2018125410, заявл. 10.07.2018; опубл. 15.05.2019.