

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии**

На правах рукописи

УДК 550.82:624.19.034.5 (282.255.123.11)



НУРАЛИЗОДА МУХЙИДДИН НУРАЛИ

**ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ТОННЕЛЯ
СТ-4 РОГУНСКОЙ ГЭС**

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности

2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство, архитектура
(2.1.8. Гидротехническое строительство)

Душанбе – 2026

Диссертация выполнена в лаборатории «Гидротехнические сооружения»
Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Сулаймонова Мутабар Абдулхаевна

**Официальные
оппоненты:** **Валиев Шариф Файзуллоевич** – доктор
геолого-минералогических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории оценки
сейсмического опасности ИГССС НАНТ

Бобохонов Фирдавс Шамсиддинович
кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры
строительство и архитектуры Дангаринского
государственного университета

Ведущая организация: **Институт энергетики Таджикистана**

Защита состоится 09 апреля 2026 года в 10-00 часов на заседании
диссертационного совета 6D.KOA-059 при Институте водных проблем,
гидроэнергетики и экологии национальной академии наук Таджикистана по адресу:
734025, г. Душанбе, ул. Бофанда, 5/2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных
проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук
Таджикистана и на сайте www.imoge.tj

Автореферат разослан « » 2026 года.

**Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук**



Паймурадов Ф.И.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время в Республике Таджикистан продолжается строительство одного из уникальных и основных проектов в области возведения гидротехнических сооружений, входящих в состав Рогунской ГЭС. Обеспечение электричеством населения осуществляется возведением гидроэлектростанций и является важным и основным направлением, способствующим экономическому и социальному развитию республики.

Для достижения этих целей в нашей стране возросли объёмы строительства гидротехнических сооружений, возводимых на реке Вахш и обладающими большой мощностью. В этом направлении возведение Рогунской ГЭС является не только важным, но и одним из основных и востребованных проектов в нашей республике.

Строительство гидротехнических сооружений Рогунской ГЭС являются основной и главной частью, которая способствует как экономическому, так и социальному развитию нашей республики.

В Таджикистане строительство гидроэлектростанций больших мощностей, а также создание крупнейших водохранилищ приводят к увеличению высоты плотины, размеров сечения и площади, величины напоров гидротехнических тоннелей и подземных водоводов, вследствие чего, происходит возрастание нагрузок, которые передаются на основание или стенки сооружения. В этом случае геологические условия играют большую роль, так как в большинстве случаев являются очень сложными и требуют проведения тщательных исследований, определения физических и механических свойств скальных горных пород и изучения поведения их под нагрузкой, причём с учетом одновременного воздействия вод. В таких случаях в горных условиях республики при строительстве гидротехнических сооружений часто требуется разработка инженерных мероприятий по укреплению и консолидации скальных горных пород вокруг выработки.

В связи с вышеизложенным реализация комплекса исследований с использованием современных методов, которые обладают совершенными технологиями геологического картирования тоннеля и моделирования с использованием компьютерных технологий, а также исследование горно-геологических условий гидротехнического тоннеля СТ-4В Рогунской ГЭС дает возможность выявить их влияние на напряженно-деформированное состояние исследуемого объекта возведения, что позволяет правильно выбрать трассу объекта строительства, место его расположения и способа возведения.

Актуальность диссертационной работы заключается в претворении полученных результатов работы исследований, проведенных современными методами и способами с использованием современных технологий по рекомендуемым классам крепи породы исследуемого гидротехнического тоннеля, использование методов моделирования компьютерными технологиями, достижения хороших результатов.

Степень изученности данной тематики. В процессе работы над концепцией завершения строительства Рогунской ГЭС были анализированы все доступные материалы изысканий предыдущих лет, хранящиеся в архивах ОАО «Институт Гидропроект», ОАО «Рогунская ГЭС», ЦСГНЭО. В 2009 году для получения дополнительной информации, по программам и рекомендациям, разработанных в Гидропроекте, были выполнены дополнительные исследования. Следует отметить, что исследованиям по возведению гидротехнических тоннелей в сложных горно геологических условиях посвящены труды Экклестона Д., Мехинрада А., Гешмепура А., Солеймани М., Аскари М., Регли М., Гадоева Олим., Кабилова Ш., Мухаммадризо Зангане, Холова Ф.А. и др.

Связь темы диссертационной работы с научными программами. Исследования, послужившие основой диссертационной работы, связаны с научной тематикой Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, в разработке которых соискатель принимал непосредственное участие: «Стратегия Республики Таджикистан в области науки и технологий на 2016-2020 годы» (раздел «Строительство и стройиндустрия»); Программного обеспечения, UNWEDGE ver. 3.0, разработанного компанией RocScience Co. (Торонто, Канада) и работающего по методу предельного равновесия; Программа для вычислений конечно-элементными методами RS2, ver. 9.0, разработанная RocScience Co.

Общая характеристика исследования

Детальные исследования для проектирования гидротехнического тоннеля СТ-4В, заключаются в проведении исследований инженерно-геологические факторов, влияющих на проходку в различных литологических условиях. Проведение анализов геотехнических данных, оценка геомеханических параметров, параметры прочности на сдвиг для несплошностей породы, выбор крепи породы с использованием эмпирических методов, проект крепи породы для потенциально неустойчивых клиньев, также крепи с использованием К-Э моделирования и рекомендации временной крепи строительного тоннеля СТ-4 на правом берегу Рогунской ГЭС. Результаты исследований параметров неповрежденной породы и основных несплошностей и оценки состояния горного массива дают возможность использовать системы инженерной классификации горного массива для определения основных систем временной крепи, которые будут использованы во время проходки гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС в различных горных породах. После этого представляются расчеты моделирования процесса земляных работ вместе с проектированием системы временной крепи с использованием численного моделирования, подходящего для ожидаемых механизмов разрушения, преобладающих во время производства земляных работ.

С целью выполнения численного анализа горные массивы вокруг гидротехнического тоннеля СТ-4 моделировались как упругопластический

материал, у которого в пластическом режиме прочностные параметры уменьшаются. Кроме того, в методе численного проектирования моделируются процессы выемки грунта и первичной породы, а также проверяются ожидаемые условия дополнительной крепи с целью достижения экономичных, безопасных и стабильных решений.

Целью диссертационной работы является - исследование влияния инженерно-геологических факторов (литологические разности, геомеханические и геотехнические параметры), на напряженно-деформированное состояние гидротехнического тоннеля СТ-4 и разработка рекомендаций по выбору класса крепи породы обеспечивающих устойчивость сооружения.

Задачи исследования:

1. Исследовать существующими теоретическими методами влияние инженерно-геологических условий на напряженно-деформированное состояние гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС.

2. Определить физико-механические свойства вмещающих горных пород, проектируемого гидротехнического тоннеля СТ-4.

3. Смоделировать напряженно-деформируемые процессы, протекающие в горных породах гидротехнического тоннеля при проходке и возведении временной крепи.

4. Определить и исследовать упругие и прочностные свойства пород в зоне разуплотнения, а также сохранных вмещающих горных пород проектируемого гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС и разработать рекомендации по выбору типов скальной крепи.

5. Разработать систему мониторинга, рассчитать количество наблюдательных створов и типов КИА гидротехнического тоннеля СТ-4.

Объектом диссертационных исследований является безнапорный гидротехнический тоннель СТ-4 Рогунской ГЭС.

Предметом исследования является: влияние инженерно-геологических условий на напряженно-деформированное состояние безнапорного гидротехнического тоннеля и проявление возможных деформации при воздействии сейсмических сил.

Гипотеза исследования заключается в том, что гравитационные, тектонические и сейсмические усилия в совокупности существенно изменяют, напряжённо-деформированное состояние крепи гидротехнического тоннеля СТ-4В Рогунской ГЭС, вызывая локальные концентрации напряжений и деформаций, что снижает её устойчивость и требует конструктивного усиления.

Исследования проводились в период с 2022 по 2026 годы на объекте Рогунской ГЭС, в частности на гидротехническом тоннеле СТ-4В с целью анализированные напряжённо-деформированного состояния крепи в условиях воздействия гравитационных, тектонических и сейсмических факторов.

Теоретической основой исследований является изучение инженерно-геологических условий Рогунской ГЭС с целью исследования их влияния на напряженно-деформированное состояние безнапорного гидротехнического тоннеля СТ-4.

Информационная база диссертации включает в себя технический отчет Рогунской ГЭС (1978), технический проект подземного комплекса Рогунской ГЭС (1980), технический проект НБО Рогунской ГЭС на реке Вахш (Ташкент, 1978), а также отчет о выполнении инженерно-геологических работ при строительстве объектов Рогунской ГЭС (2011) и требования к проектированию.

Научная новизна исследования состоит в:

- выявление геологических причин оказывающих воздействий на разрушение и устойчивость вмещающих массивов горных пород гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС; определение направления главного минимального и максимального напряжения на основе проведенных специальных исследований в больших подземных выработках;
- численное моделирование напряженно-деформированного состояния гидротехнического тоннеля и разработка рекомендаций по выбору класса крепи породы с использованием торкретбетона толщиной 10см;
- в разработке рекомендаций по выбору класса крепи породы, для различных литологических частей гидротехнического тоннеля СТ-4 с учетом фактической геометрии тоннеля и геологических условий;
- в разработке системы мониторинга, установлении количества наблюдательных створов, типов контрольно измерительных приборов и программы наблюдения гидротехнического тоннеля СТ-4.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Выявление инженерно-геологических факторов, влияющих на прочностные характеристики упругости и прочности вмещающих массивов горных пород гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС. Определение направления главного минимального и максимального напряжений на основе проведенных специальных исследований в крупных подземных выработках.
2. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния гидротехнического тоннеля СТ-4 и разработка рекомендации по выбору типа несущей конструкций с учётом сейсмоустойчивости сооружения.
3. Разработка рекомендаций по выбору типов скальной крепи, с учетом фактической геометрии тоннеля и их основных элементов.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в решении задач, связанных с инженерно-геологическим картированием тоннелей, расположенных вблизи исследуемого тоннеля СТ-4; выбором способа проведения цементационных работ; подбором модели для расчета крепи тоннеля; обоснования расчетной крепи тоннеля СТ-4; геотехнического мониторинга гидротехнического тоннеля СТ-4.

Практическая значимость работы заключается:

- в выборе конструкций тоннеля обеспечивающих защиту от разрушений при минимальных дополнительных затратах и времени на ремонт;

- в применении в учебном процессе в высших учебных заведениях и университетах, при чтении лекций и на практических занятиях, а также при проведении лабораторных и полевых работ для студентов по специальным курсам: «Шахтное и подземное строительство», «Основы горного дела», «Технология проведения буровзрывных способов», «Механика горных пород и горное давление», «Специальные способы строительства подземных сооружений», Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими для студентов по специальностям – «Шахтное и подземное строительство» и «Строительство и эксплуатация гидроэлектростанций» и другие.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждаются идентичностью результатов расчета моделирования по предлагаемой автором методике с результатами проведенных экспериментов и данными других исследователей, а также использованием натурных и теоретических исследований, современных методов физико механических параметров горных пород, использованием современного оборудования и приборов для испытания разработки безнапорного гидротехнического тоннеля Рогунской ГЭС.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует положений пунктов 3, 11 паспорту научной специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство, архитектура (2.1.8. Гидротехническое строительство)

3. Разработка новых направлений прогнозирования напряженно-деформированного состояния напорных и безнапорных гидротехнических сооружений; совершенствование методов определения различных видов нагрузок на сооружения речных гидроузлов, здания и машинные залы гидроэлектростанций; обоснование путей повышения надежности и долговечности конструкций водно-транспортных сооружений.

11. Эксплуатационная надежность гидротехнических сооружений, разработка новых критериев их безопасности, новые системы контроля и наблюдений за сооружениями, совершенствование методов технической диагностики и мониторинга водных систем и объектов.

Название темы диссертации соответствует паспорту специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрогеология, строительство, архитектура (2.1.8. Гидротехническое строительство).

Личный вклад автора. Автором сформулированы цель и задачи исследований, намечены пути их теоретического и экспериментального решения. Автором уточнены геомеханические параметры горных массивов

напряженно-деформированного состояния конструкций тоннеля с определением основных параметров проходки безнапорного гидротехнического тоннеля, а также получены и сформулированы основные выводы.

Апробация результатов. Основные положения работы и полученные результаты были доложены и обсуждены на: РНПК. «Развитие гидроэнергетики - развитие Таджикистана» Институт Энергетика Таджикистана (г. Бохтар, 2018 г); МНПК: «Архитектурное образование и архитектура Таджикистана» 60 лет развития и совершенствования. ТТУ (г. Душанбе, 2019 г); МНПК, «Естествознание, техника, технологии: современные парадигмы и практические разработки» г. Белгород, (Россия, 2019 г); МНПК, «Прикладные исследования и экспериментальные разработки в области естественных и технических наук» г. Белгород, (Россия, 2020 г); V Международная (XI Всероссийская конференция) Строительство и застройка: жизненный цикл - 2020, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», (Россия, 2020 г); МНПК на тему: «Куатбековские чтения-1: Уроки Независимости», посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан г. Чимкент (Казахстан, 2021 г); МНПК, «Водные ресурсы, инновация, ресурсо- и энергосбережения», 6-7 октября 2023 года, г. Душанбе, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана.

Публикации. Основные результаты исследований по теме диссертации изложены в 22 работах, в том числе 11 статьях из перечня ведущих рецензируемых научных журналов ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

По результатам исследований получен 1 малый патента Республики Таджикистан № TJ 1417 от 22 ноября 2022 года.

Изобретение относится к области подземного строительства, а именно к устройствам возведения подземных сооружений различного назначения, преимущественно к строительству водопропускных сооружений и подземных переходов.

Сооружение содержит фундамент, боковые стенки с установленными на них арками перекрытия и грунтовую засыпку, на которую уложена дорожная одежда. Боковые стенки с арками перекрытия выполнены сборными или монолитными в зависимости от степени косогорности. В сопряженных частях боковых стенок и арок вставлены прокладки из фторопласта. Для предотвращения сдвига при сейсмическом воздействии в фундаменте выполнен поперечный "зуб", упирающийся в грунт основания.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, списка литературы и заключения. Общий объём работы включает 137 страниц, 105 рисунков, 20 таблиц, приложения, список использованной литературы из 123 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Во введении изложены актуальность темы, цели и задач работы, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы, вопросы, личный вклад автора, достоверность результатов исследований и проведены данные об апробации работы, публикациях и о структуре и объёме диссертации.

Первая глава посвящена опыту строительства зарубежных и отечественных гидротехнических сооружений, а также обзору опыта развития гидроэнергетики мира, центрально азиатских республик и Российской Федерации.



Рисунок 1. Развитие гидроэнергетики в мире

Особенности строительства гидроэлектростанции заключается том, что эти виды гидроэлектростанций являются важными для транспортной системы страны. Также, производство электроэнергии на гидроэлектростанции является попутной, равно, как и производство электроэнергии на ТЭЦ.

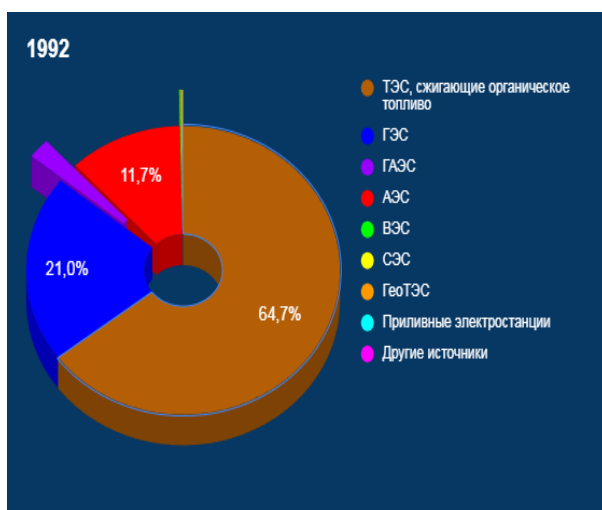


Рисунок 2. Структура установленной мощности электростанций по типам за 1992 год, млн. кВт (%)

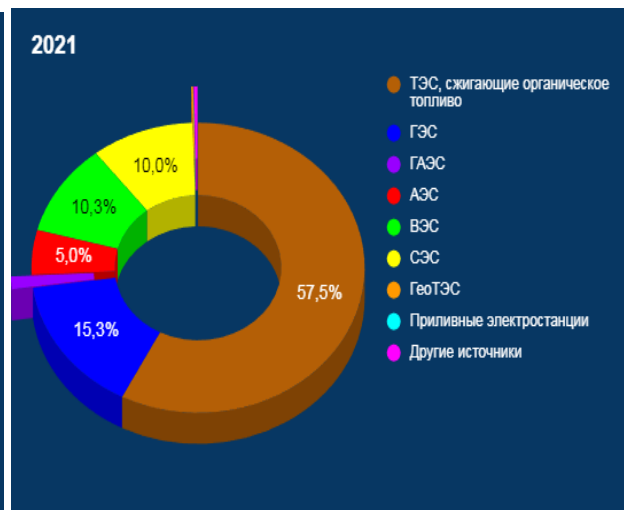


Рисунок 3. Структура установленной мощности электростанций по типам за 2021 год, млн. кВт (%)

В России гидроэнергетика является важнейшей частью электроэнергетики страны. В Российской Федерации общая мощность гидроэлектростанций превышает 52 ГВт, что составляет около 20% общей мощности всех электростанций страны. Из пяти самых мощных электростанций России всех типов - три ГЭС: Саяно-Шушенская высота плотины-242м (6,4 ГВт), Красноярская высота плотины -128м (6 ГВт) и Братская высота плотины -125м (4,5 ГВт).

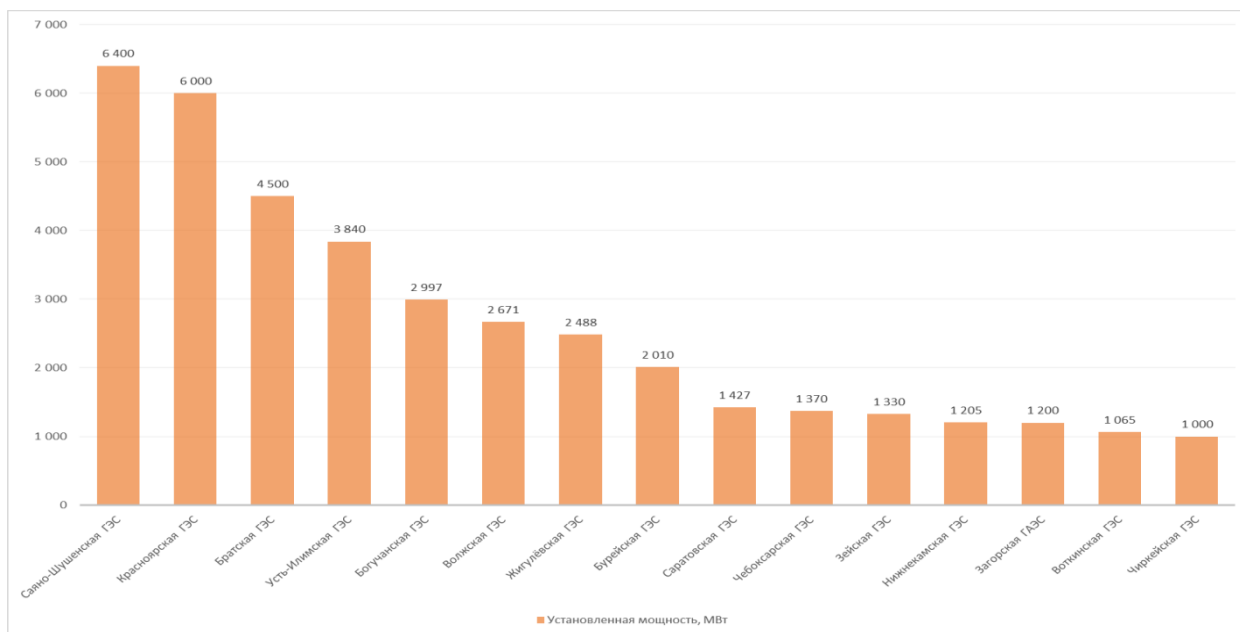


Рисунок 4. Крупнейшие ГЭС России

В мире по уровню развития гидроэнергетического потенциала с выработкой электроэнергии на гидроэлектростанции до 527 млрд. кВт-ч в год Республики Таджикистан занимает 8-е место. Следует отметить, что по

оценкам экспертов к 2030 году республике потребуется модернизации существующих мощностей гидроэлектростанции около 80% в стране.

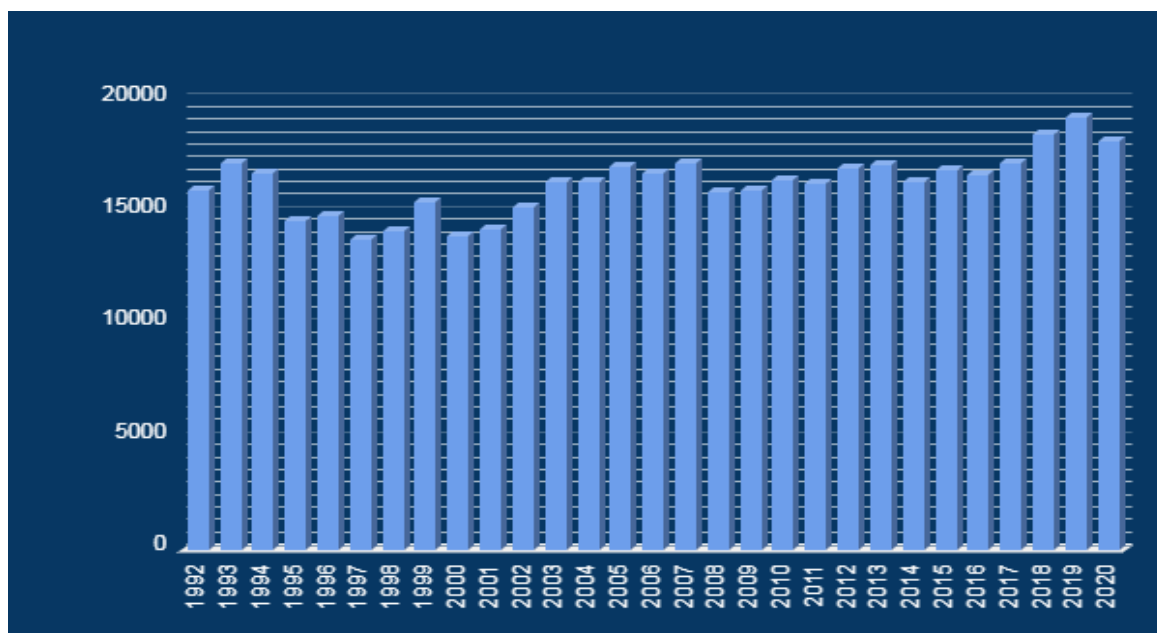


Рисунок 5. Производство электроэнергии на ГЭС, 1992-2020, млрд. кВт·ч

Глава 2. ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА И МЕСТА СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОЕКТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА

Во второй главе освещены вопросы инженерно-геологических условий гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС.

Безнапорные тоннели СТ-4 расположены за низовой камерой затворов, и начинаются на ПК. 13+81.65 м и заканчиваются на ПК 17+15.81 м. рисунки 6 и 7 показывают общий план и продольный профиль СТ-4. Некоторые типовые сечения данных тоннелей изображены на рисунках 8 и 9.

Были получены анализы по неразрушенной горной породе при разработке гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС. Следует отметить, что также были определены оценка состояния толщи горных пород с использованием самых современных методом системы классификации (Q2015). Также для выявления первичной крепи горных пород, которые требовались при разработке СТ-4 в различных литологических грунтах.

Кроме того, для оценки параметров породного массива использовалась откорректированная версия классификации по GSI, разработанная В Мариносом в 2010 с проверкой при помощи количественного метода (Хоек и др., 2013). Затем, путем применения аналитического метода (анализ клиньев) и математического метода (конечно-элементный анализ),

[illegible]

15.40m=16.47

5.60

1.90

6.00=5.85

1.50-2.77

15

7.50

15.70

7.50

35

МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СЕТКА
I NO.240mm, ШРГ 1000mm c/c
STEEL RING REINFORCEMENT
Ø1000mm c/c

НАБЕЛЫТ-БЕТОН, 50mm ТОЛЩИНА (f_c=25MPa)
SHOTCRETE, 50mm THICK (f_c=25MPa)

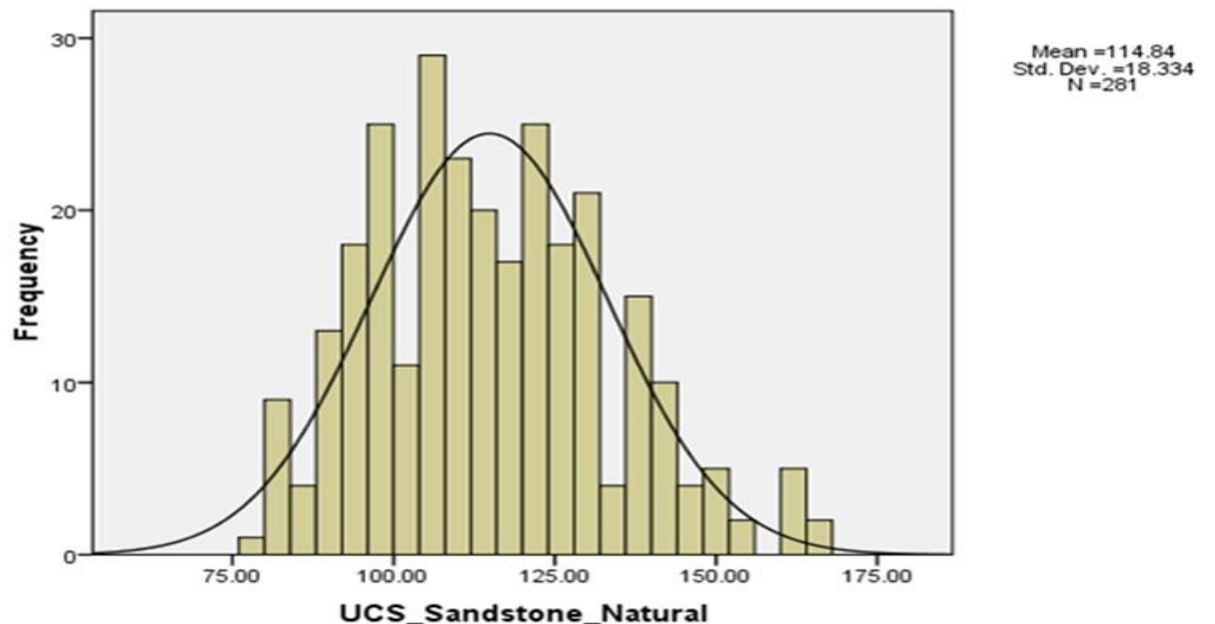
ЖЕЛАЗОБЕТОН, 300mm ТОЛЩИНА
PLAIN CONCRETE, 300mm THICK
C25/30 (COEF: W8-F100)

R=7.85
R=7.50
R=7.50

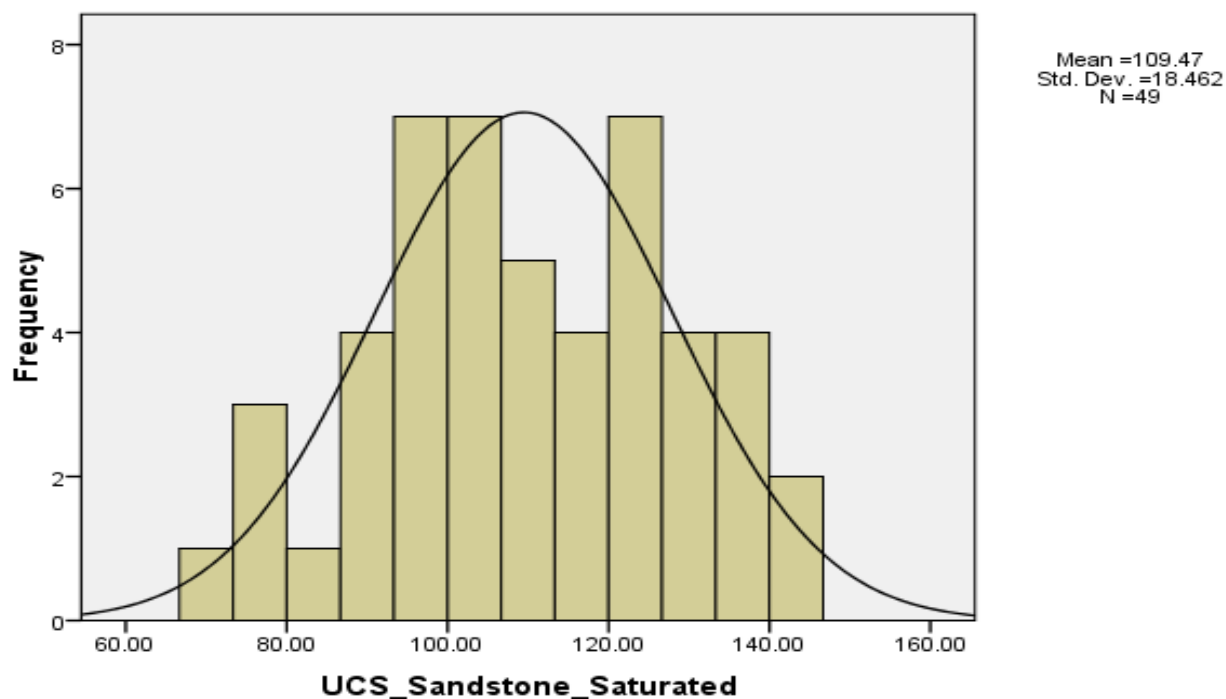
В данном разделе представлены результаты геотехнических исследований, включая изыскания ненарушенной породы и основных несплошностей, а также классификация горных массивов по методам Q и GSI. На основании результатов таких изысканий были оценены геомеханические параметры различных типов горных массивов с использованием конкретных значений GSI и критерия разрушения Hoek-Brown. Для получения более реалистичной оценки модуля деформации горных массивов были использованы две эмпирические формулы: одна из

них на основании значения GSI, как предложено Хоеком и др, а другая – на основании значения Q, как предложено Бартоном.

На рисунок 10 показаны гистограммы эквивалентных значений UCS для песчаников трех геологических формаций в естественном и насыщенном состоянии.



а)



в)

Рисунок 10. Гистограммы эквивалентных значений UCS песчаников в свитах K1ob2, K1kr и K1mg1 и кривая нормального распределения: а) песчаник в естественном состоянии, в) песчаник в водонасыщенном состоянии

Глава 3. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СТ-4 РОГУНСКОЙ ГЭС

Третья глава посвящена состоянию и геотехническому мониторингу гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС. Строительный тоннель СТ-4 по протяженности составляет 1760м. Отметка лотка на входном портале 1090,00м, на выходном портале около 1055,00м. Пропускная способность строительного тоннеля при максимальном напоре составляет 3500м³/сек. В напорной части сечение тоннеля круглое с диаметром 15,0м с длиной до участка разветвления тоннеля, также начинается с ПК12+37,30 на точке Т-20. Следует отметить, что безнапорная часть тоннеля из двух ветвей с подковообразным поперечным сечением, берет начало после камеры затворов и в дальнейшем, при поднятии уровня ВБ (верхнего бьефа) используется для подключения ТВВУ-1 (НЛО-1) через шахты, который обеспечивает на период постоянной эксплуатации Рогунского гидроузла.

Система мониторинга строительного тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС включает в себя 9 измерительных створов - участки с контрольно-измерительной аппаратурой (рисунки 11).

Створ КИА №1 (ПК 06+70.00); Створ КИА №2 (ПК 08+40.00); Створ КИА №3 (ПК 12+60.00); Створ КИА №4 (ПК 13+40.00); Створ КИА №5 (ПК 13+65.00); Створ КИА №6 (ПК 13+80.00); Створ КИА №7 (ПК 14+20.00); Створ КИА №8 (ПК 14+35.00); Створ КИА №9 (ПК 17+00.00).

Основной целью является подбор схемы размещения контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) для измерения гидравлических параметров вдоль строительного тоннеля СТ-4, определение типа и количества измерительных приборов, необходимых вдоль трассы водосброса СТ-4, и основных требований по каждому типу приборов.

Гидротехнический тоннель СТ-4 Рогунской ГЭС будет оснащен геотехническим КИА, приведенными ниже:

- 24 шт. DT4-XX-MP-XX – Многоточечный скважинный экстензометр;
- 40 шт. DT4-XX-PZ-XX – Пьезометры;
- 4 шт. DT4-XX-LS-XX – Водомерная рейка;
- 4 шт. DT4-XX-VC-XX – Видео-камера.

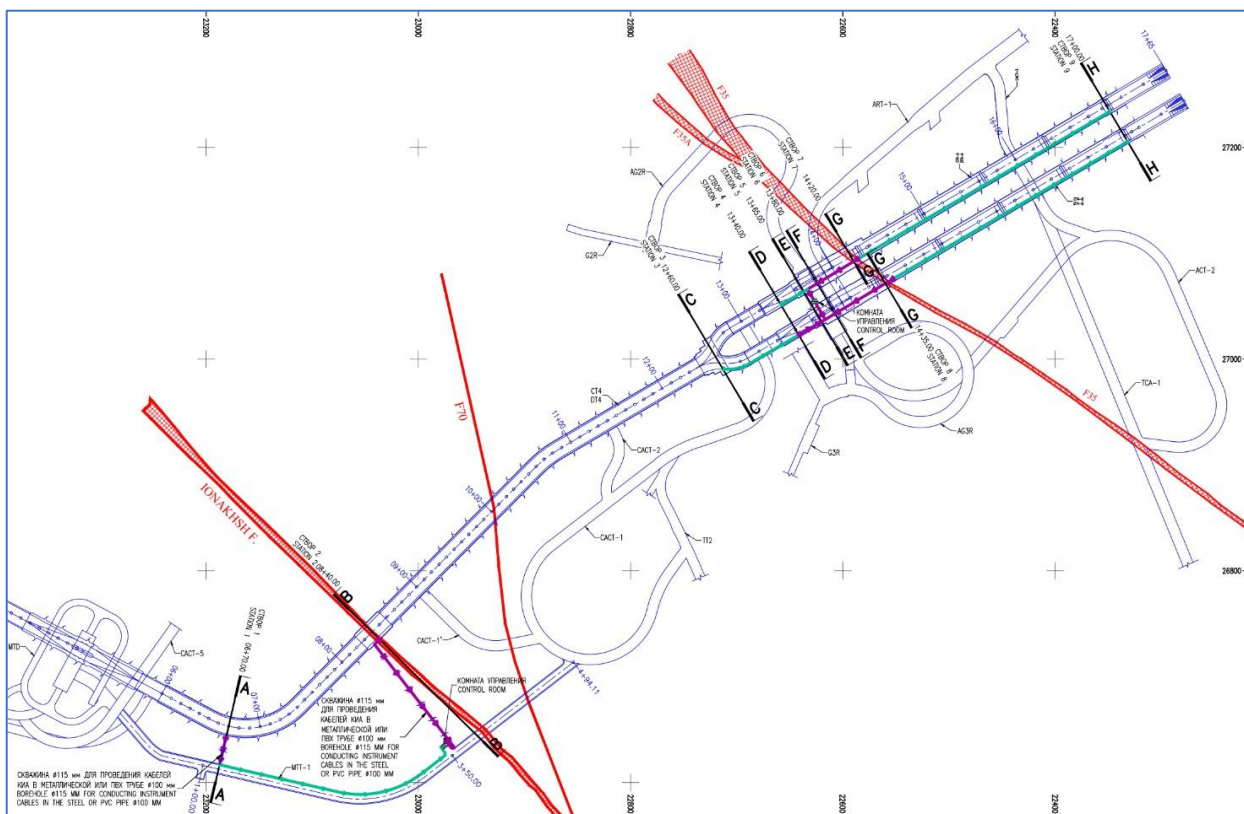


Рисунок 11. План строительного тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС

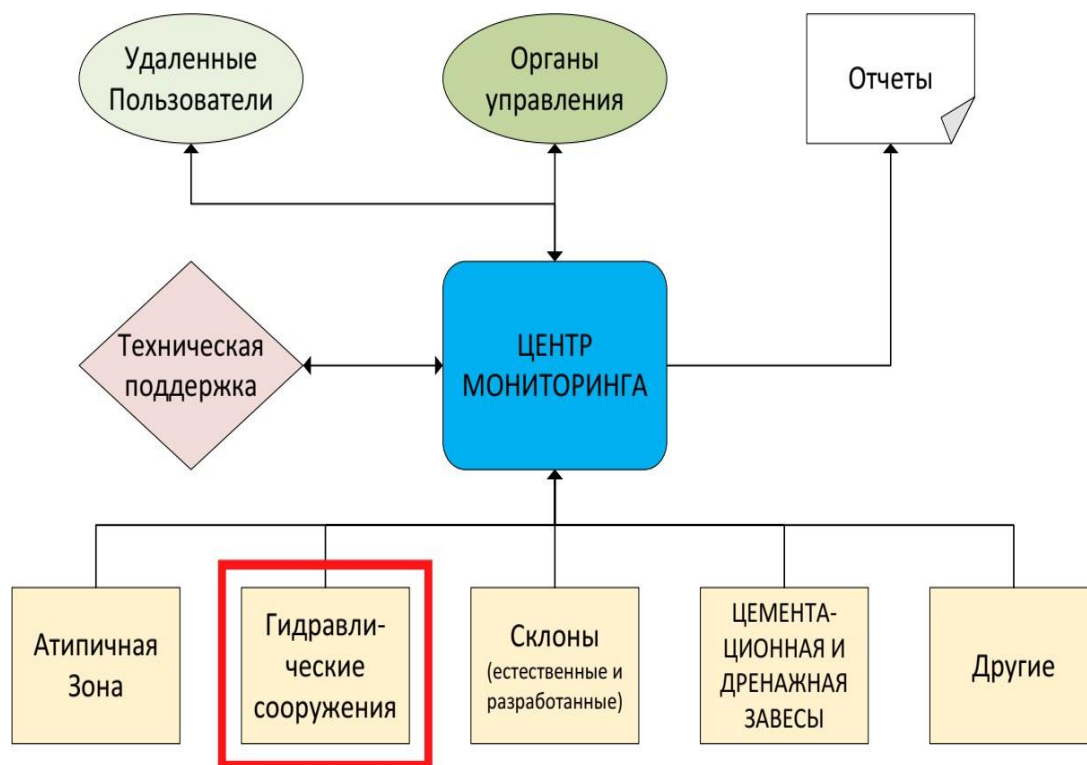
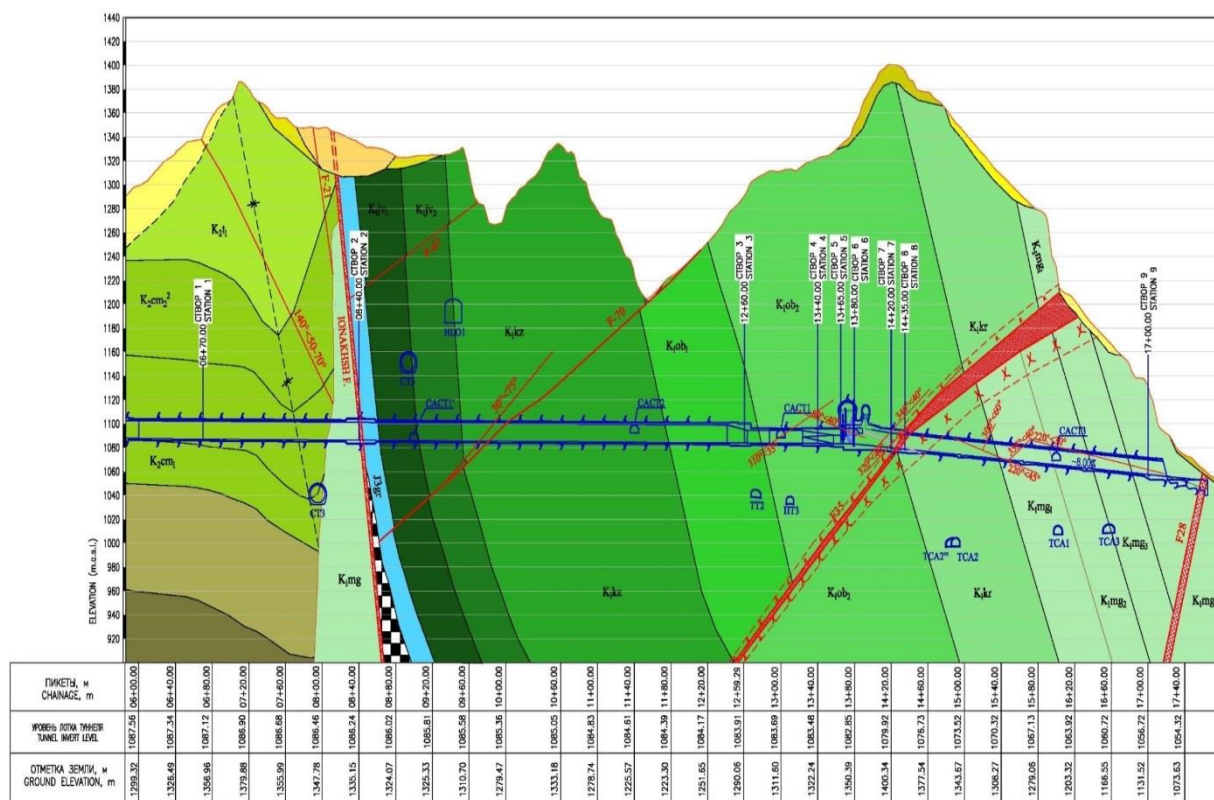
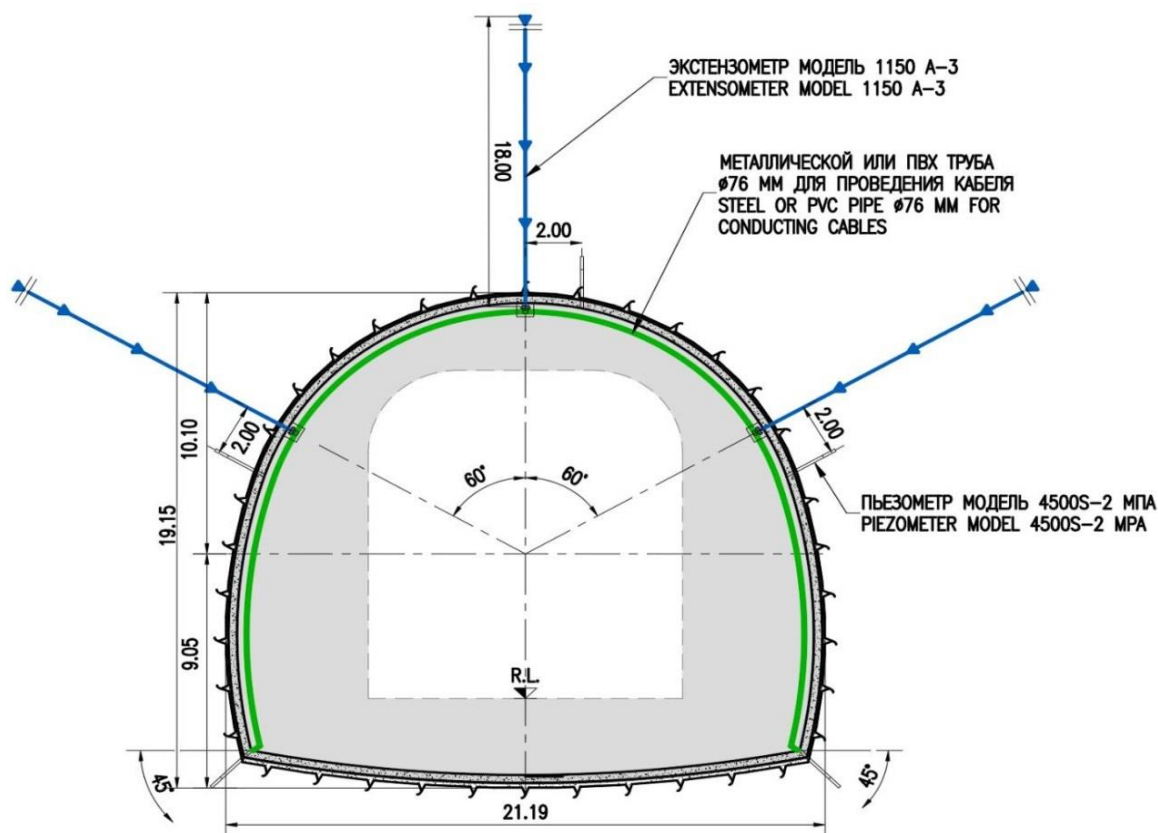


Рисунок 12. Архитектура системы мониторинга ЛОТ-3



Рисунки 14. Геологический продольный профиль СТ-4 между пикетами 06+00 м и 17+16 м с расположением 9 створов



Рисунки 15. Типовая схема размещения пьезометров и экстензометров с створах 7 и 8

Система мониторинга гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС включает в себя 9 измерительных створов - участки с контрольно-измерительной аппаратурой.

Принятая схема размещения КИА, и система мониторинга строительного тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС включает в себя 9 измерительных створов - участки с контрольно-измерительной аппаратурой. К основным геотехническим датчикам, предусмотренным для установки в СТ-4 между пикетами 06+00 м и 17+16 м, относятся вибрационные струнные (ВС) пьезометры и экстензометры.

Глава 4. РАСЧЕТ НДС СТ-4 МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ КОНСТРУКЦИИ КРЕПИ

Четвертая глава посвящена расчету с использованием конечно – элементного моделирования гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС.

В качестве последнего этапа проектирования крепи породы для безнапорных тоннелей СТ-4 (от пикета 13+82м до 17+16м тоннеля СТ4) было выполнено математическое моделирование данных тоннелей с исследованием напряжения породы после проходки СТ-4 и установки систем крепи породы. Для этого была использована программа для вычислений конечно-элементными методами RS2, вер. 9.0, разработанная RocScience Co. из Торонто, Канада.

Для подковообразного сечения безнапорных тоннелей СТ-4 на пк 15+50 м для СТ-4 в породном массиве класса I-а (сечение 1) была создана модель в месте, где планируется установить систему крепи породы типа D4-I, включающую торкрет-бетон толщиной 10 см с 1 слоем металлической сетки Ø6@150x150 мм, а также полностью цементируемые анкеры Ø32 мм, L=5.85 м @1.5x1.5 м. Размеры каждого безнапорного тоннеля в данной модели после проходки составляют 15,15 м в высоту и 15,20 м в ширину.

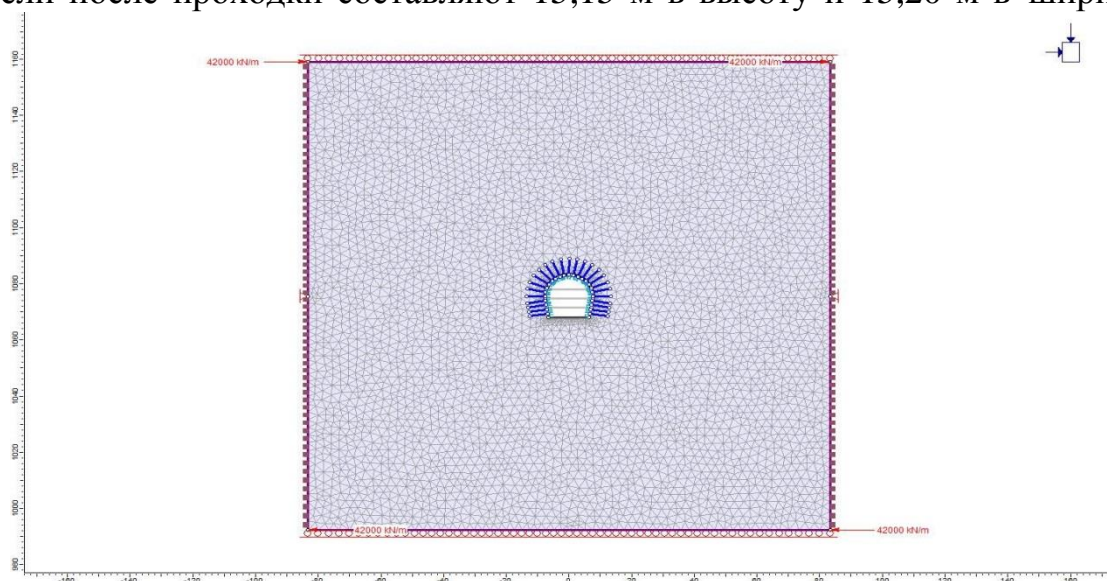


Рисунок 16. Общий вид К-Э модели безнапорных тоннелей СТ-4 в сечении 1

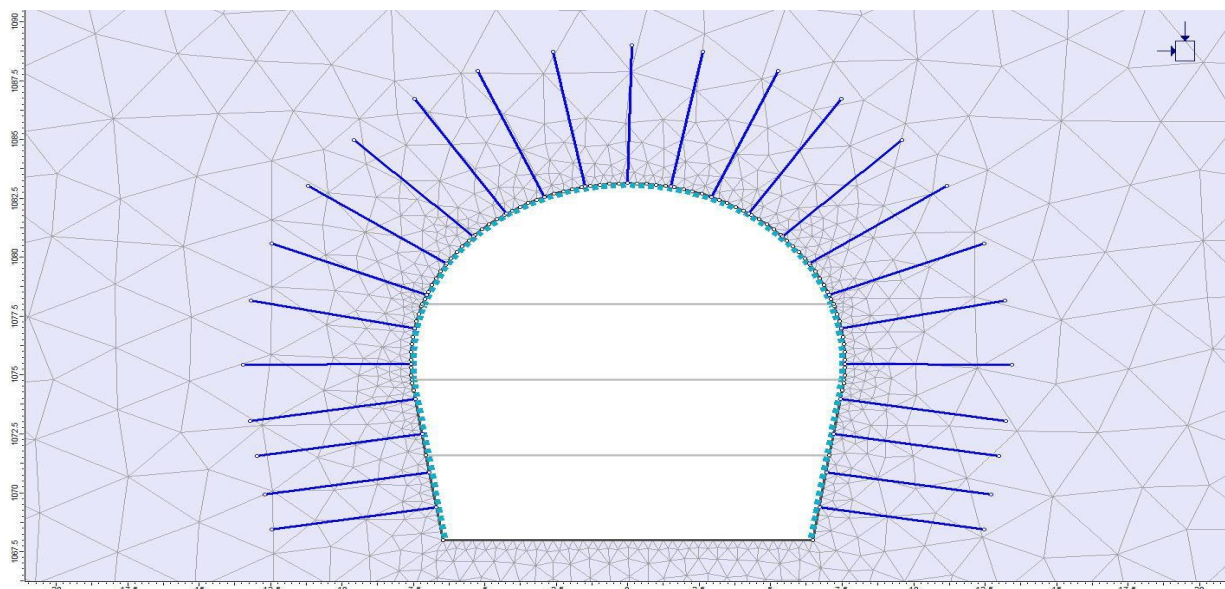


Рисунок 17. Укрупненный вид К-Э модели безнапорных тоннелей СТ-4 в сечении 1 - Этап 11

Для подковообразного сечения безнапорных тоннелей СТ-4 на ПК 15+20 м для СТ-4 в породном массиве класса III-а (сечение 2) была создана модель в месте, где планируется установить систему крепи породы типа D4-II включающую торкрет-бетон толщиной 5 см, неармированный бетон толщиной 30 см C25/30 и стальное ребро IPE240 мм @1.0 м. Размеры каждого безнапорного тоннеля в данной модели после проходки составляют 15.40 м в высоту и 15.70

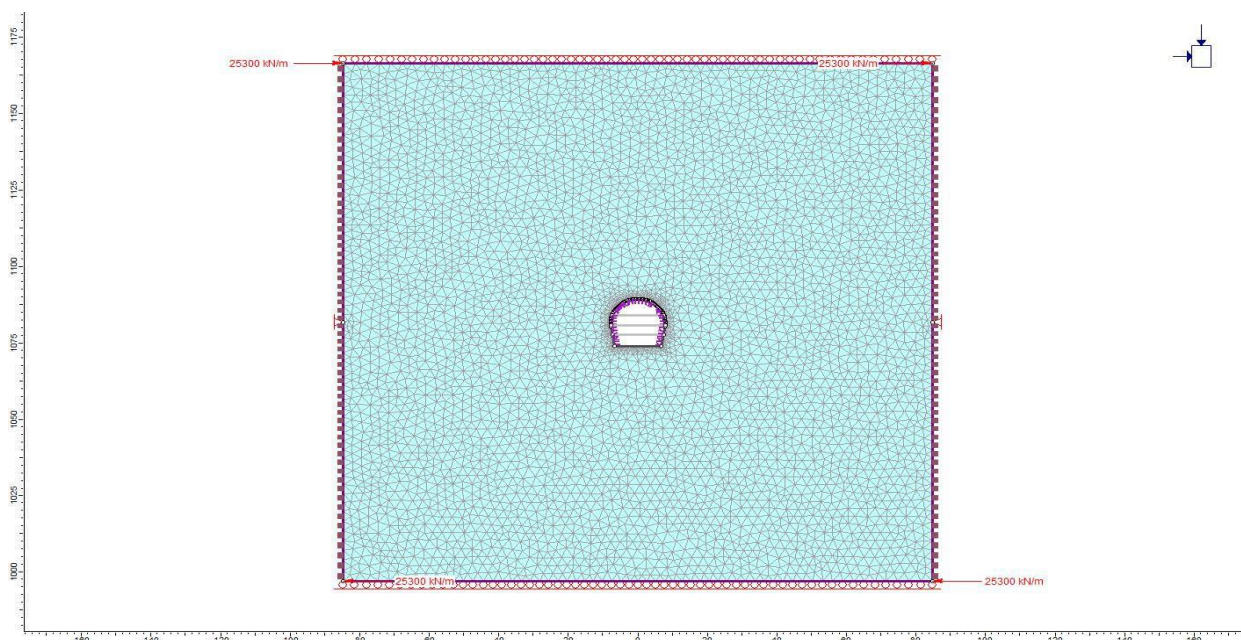


Рисунок 18. К-Э модели безнапорных тоннелей СТ-4 в сечении 2, класс породного массива III-а, тип крепи породы D4-II включая торкрет-бетон толщиной 5 см, 30 см толщиной неармированный бетон C25/30 и стальное ребро IPE240 мм @1.0 м - Этап 11

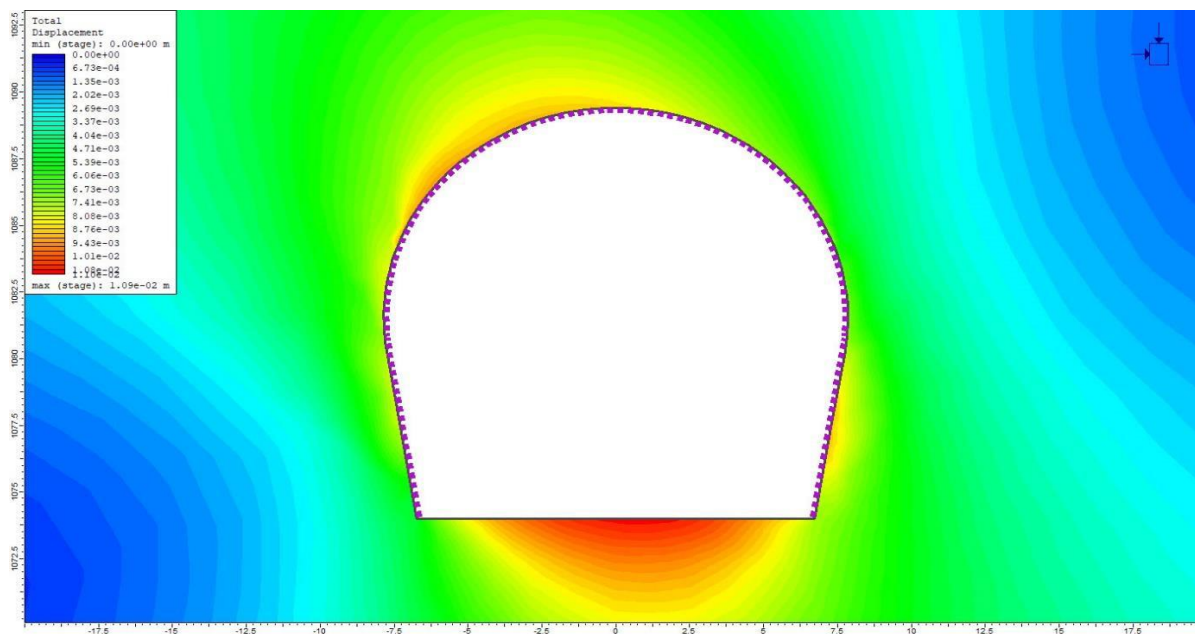


Рисунок 19. Общие смещения в породных массивах вокруг безнапорных тоннелей СТ-4 в сечении 2 - Этап 11

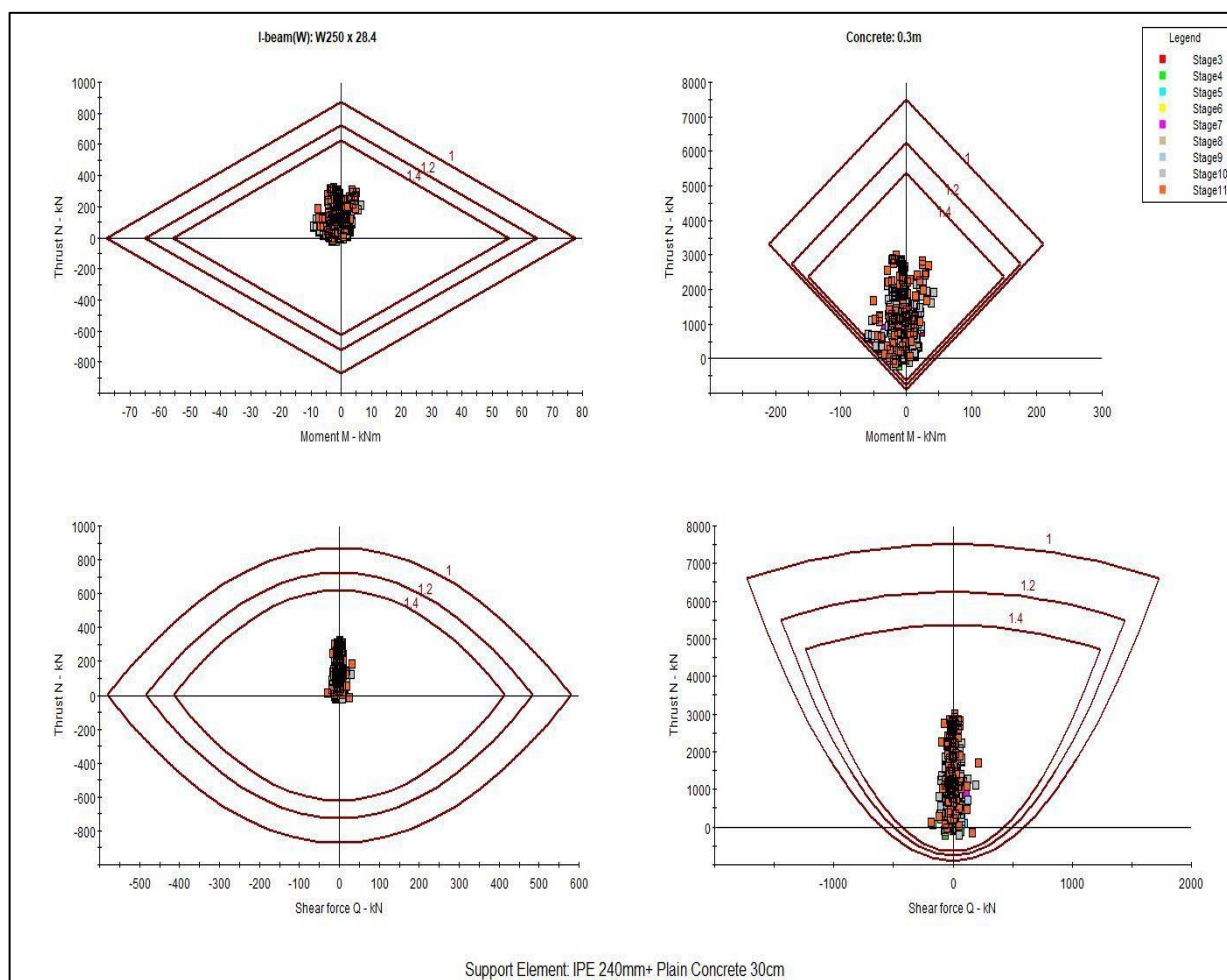


Рисунок 20. Несущая способность неармированного бетона и стального ребра в обделке в сечении 2 безнапорных тоннелей СТ-4

Анализ напряжения показал, что меры по временному укреплению породы, предусмотренные для данного сечения, будут сохранять свою функциональность на различных этапах ведения проходки. Необходимо отметить, что в связи с применением сейсмической нагрузки, равной землетрясению, которое может произойти во время проходки безнапорных тоннелей ($OBE = 0.27g$), достижение устойчивости этих тоннелей в данном сечении 2 является возможным и тоннель после приложения такой нагрузки останется в работоспособном состоянии.

Данная модель была создана для D-образного сечения безнапорных тоннелей СТ-4 на ПК. 15+70 м для тоннеля СТ4-А и СТ4-В в породном массиве класса I-a (сечение 3), где планируется установка крепи породы D4-IV включая торкрет-бетон толщиной 10 см с 1 слоем металлической сварной сетки $\varnothing 6@150 \times 150$ мм и полностью цементируемые анкерные болты $\varnothing 32$ мм, $L=5.85$ м @ 1.5×1.5 м. Размеры каждого безнапорного тоннеля в данной модели после проходки составляют 16.20 м в высоту и 15.20 м в ширину.

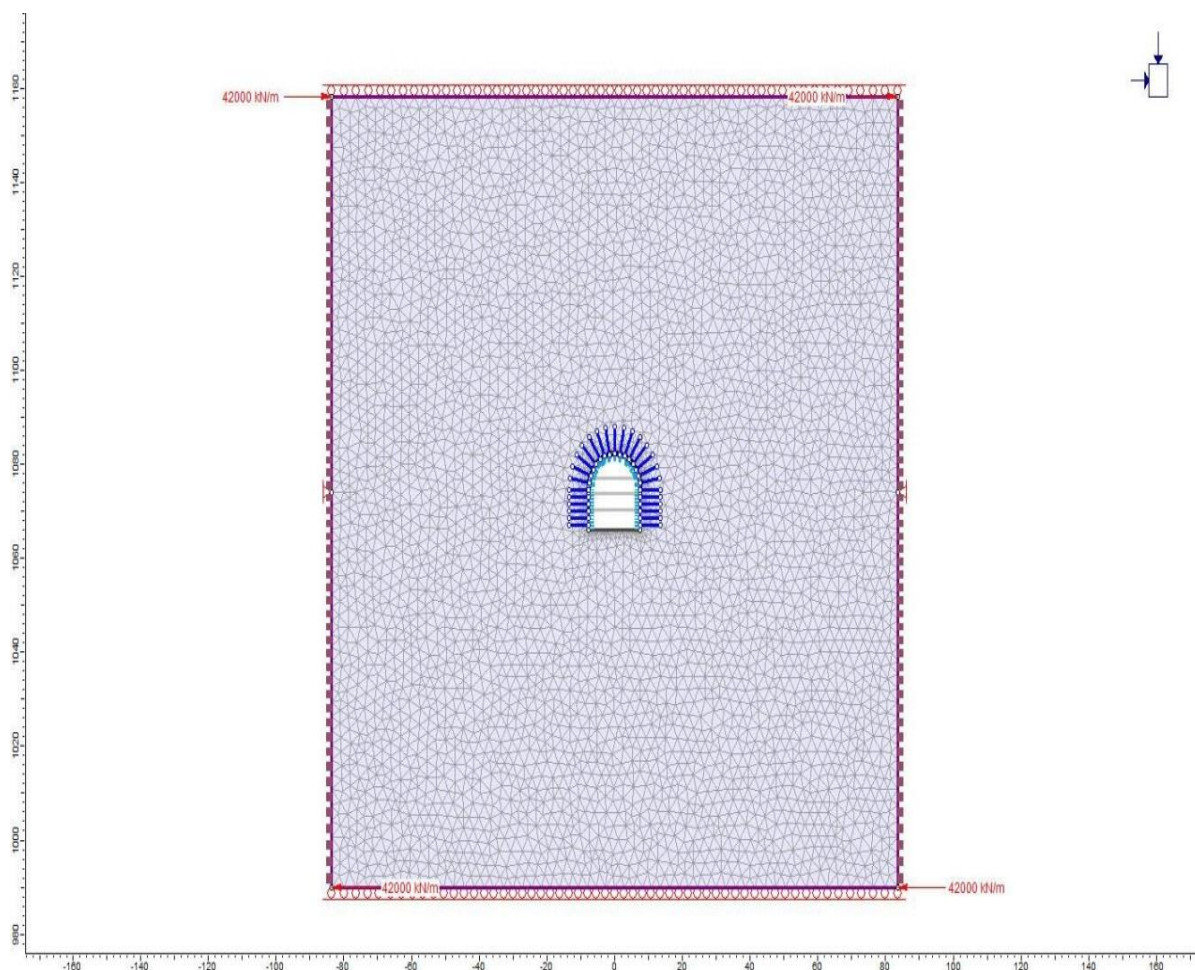


Рисунок 21. Общий вид К-Э модели безнапорных тоннелей СТ-4 в сечении 3, класс породного массива I-a, тип крепи породы D4-IV включая 10 см армированный торкрет-бетон с 1 слоем WWF $\varnothing 6@150 \times 150$ мм и полностью цементируемые анкерные болты $\varnothing 32$ мм, $L=5.85$ м @ 1.5×1.5 м - Этап 11.

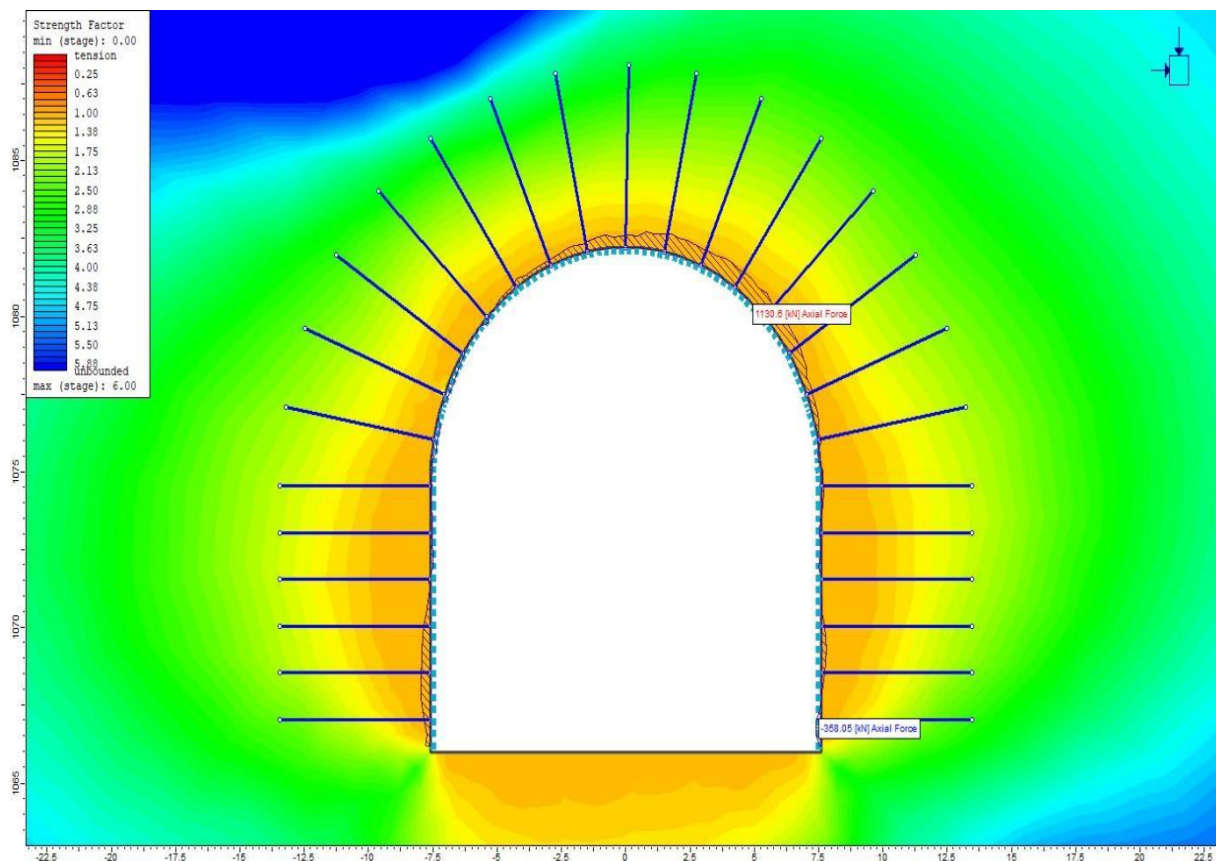


Рисунок 22. Коэффициенты прочности в породных массивах вокруг безнапорных тоннелей СТ-4 и осевые усилия в обделке в сечении 3 - Этап 11

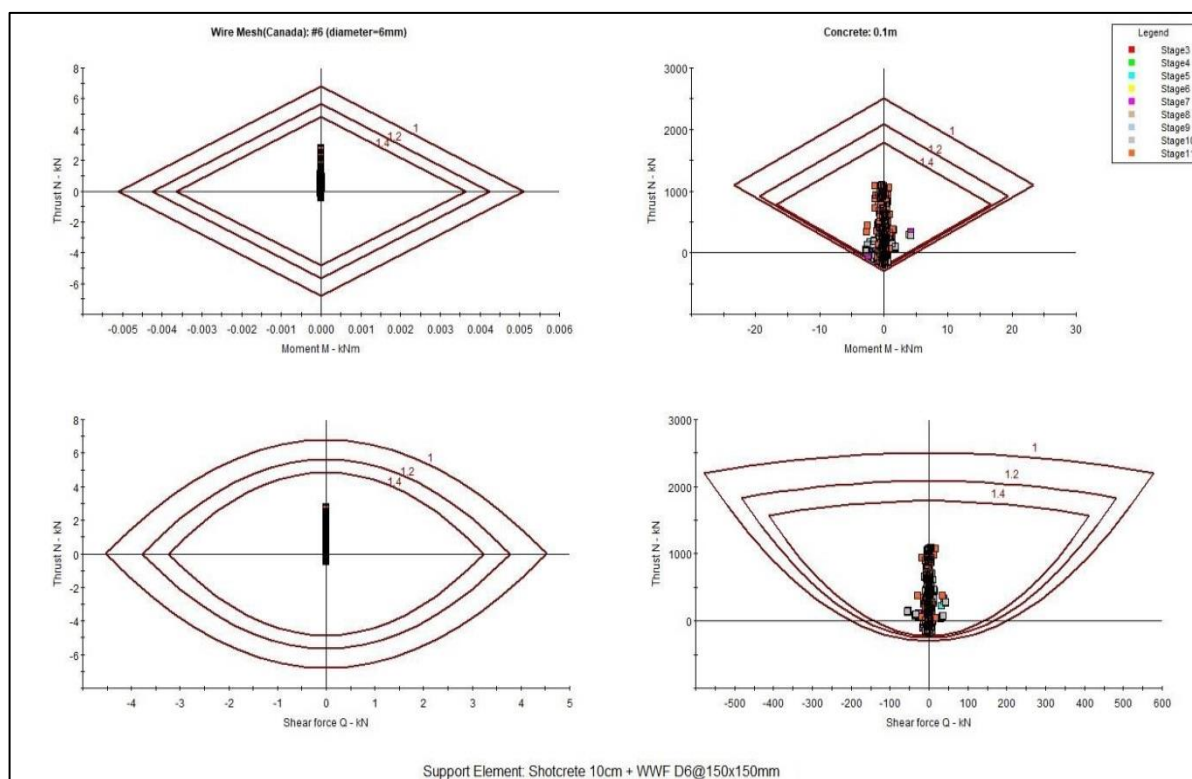


Рисунок 23. Несущая способность армированного торкрет - бетона в обделке в сечении 3 безнапорных тоннелей СТ-4

Данная модель была создана для подковообразного сечения безнапорных тоннелей СТ-4 на ПК. 14+30 м тоннелей СТ4-А и СТ4-В в породном массиве класса IV (**сечение 6**) где данные тоннели пересекают зону разлома 35 и планируется установка крепи породы типа XXV включая торкрет-бетон толщиной 5 см, марки бетон С25/30 без арматуры, толщина составляет 35см по стальное ребро имеется ребро IPE300 мм @1.0 м (в своде тоннеля, стены и лотковой части) и полностью цементируемые анкерные болты Ø40 мм, L= 7.80 м @1.5×1.0 м. Размеры каждого безнапорного тоннеля в данной модели после проходки составляют 19.20 м в высоту и 21.20 м в ширину.

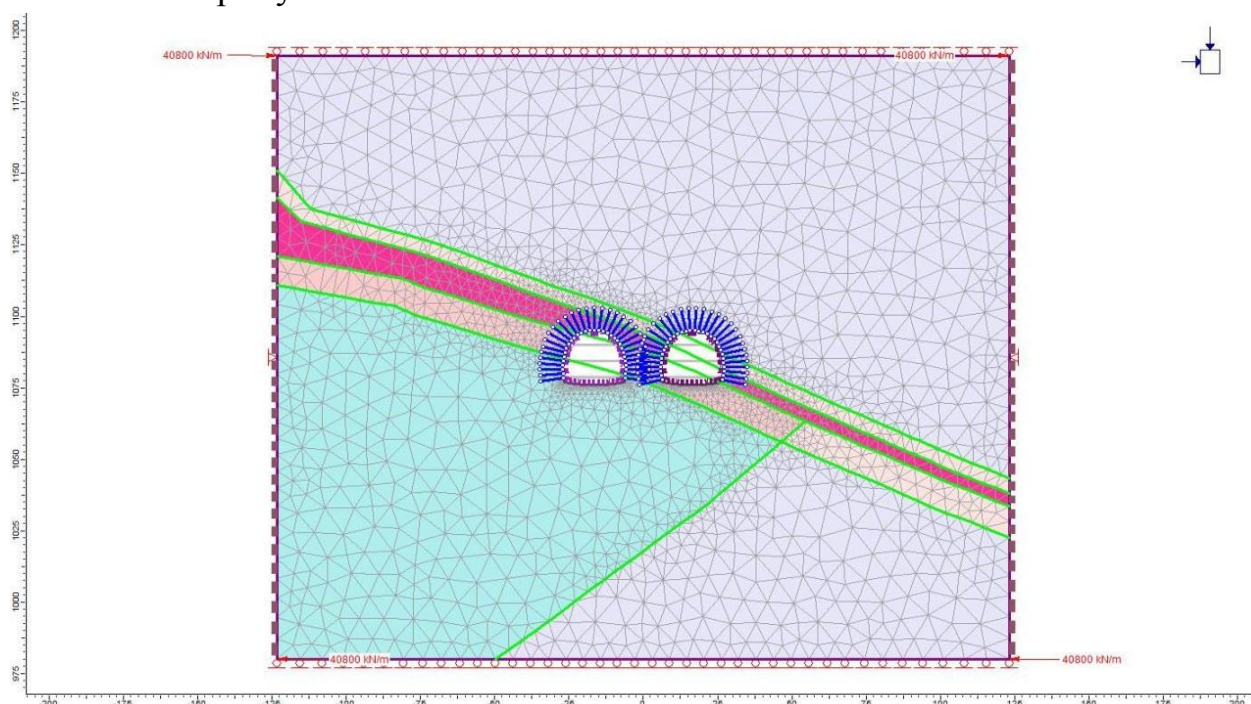


Рисунок 24. Общий вид К-Э модели безнапорных тоннелей СТ-4 в сечении 6

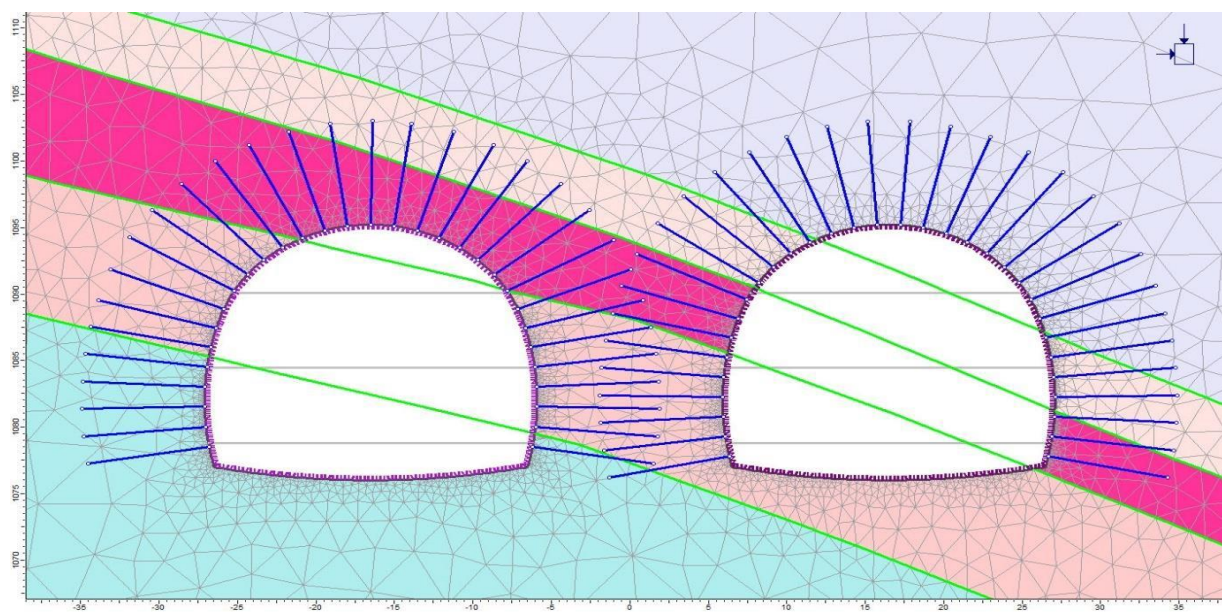


Рисунок 25. Укрупненный вид К-Э модели безнапорных тоннелей СТ-4 в сечении 6 - Этап 19

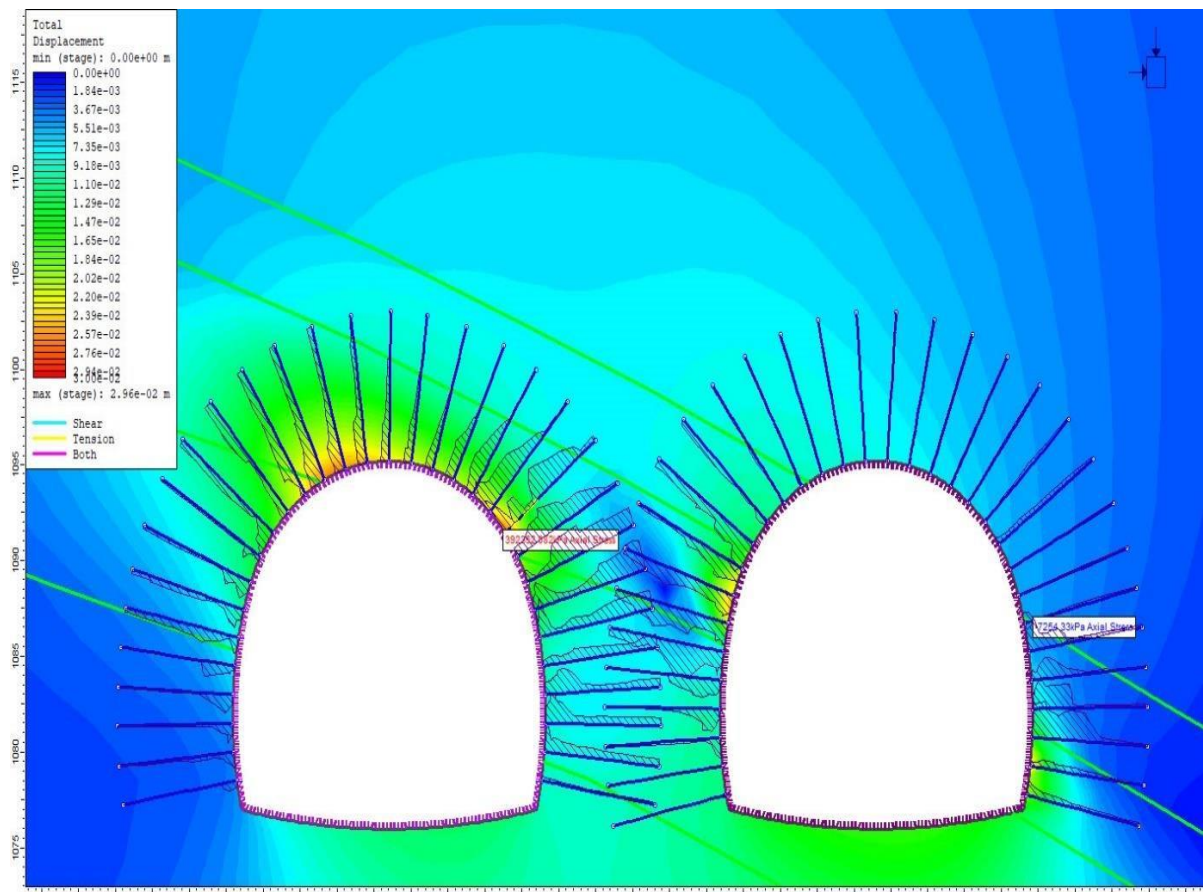


Рисунок 26. Общие смещения в породных массивах вокруг безнапорных тоннелей СТ-4 и осевое напряжение в анкерных болтах в сечении 6 - Этап 19

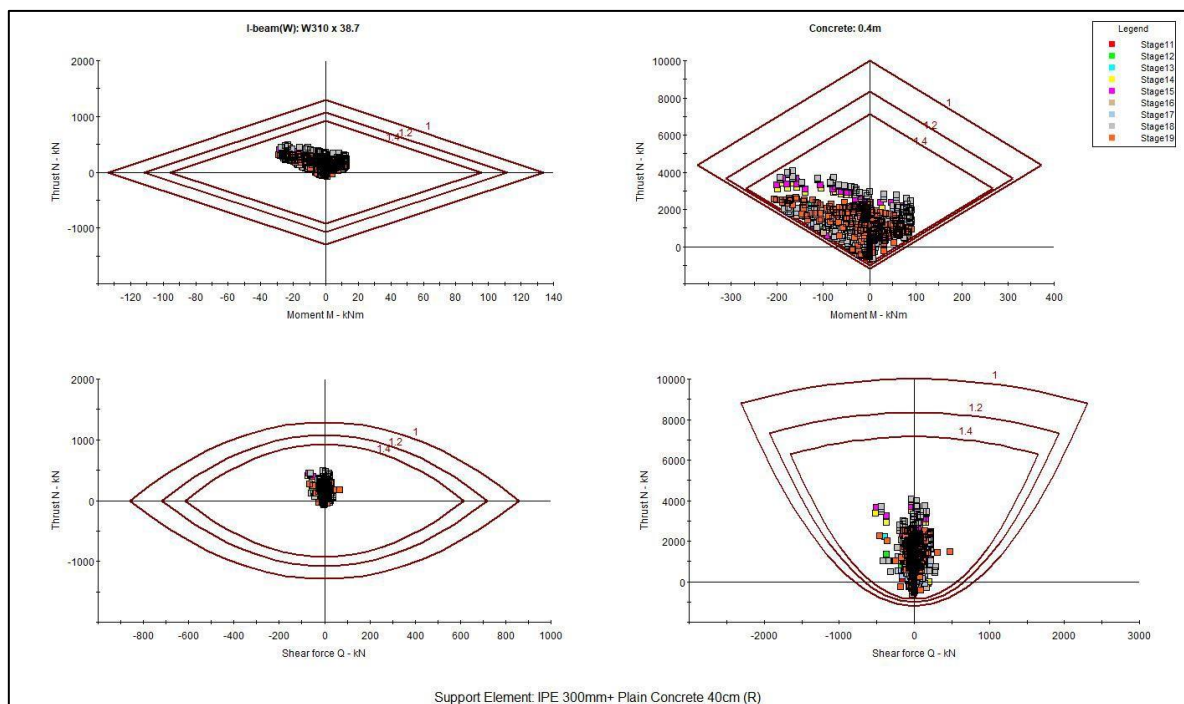


Рисунок 27. Несущая способность неармированного бетона и стального ребра в обделке в сечении 6 безнапорных тоннелей СТ4 – Правый тоннель

Анализы эмпирического, аналитического и математического методов проектирования, с использованием результатов программ Q2015, UnWedge и К-Э моделирование безнапорных тоннелей СТ-4, а также принимая в расчет форму и размер поперечных сечений, и толщину бетонной обделки в данной зоне, рекомендованы нижеследующие классы крепи породы (таблица 1).

Таблица 1. Рекомендуемые классы крепи породы в переходном участке после низовой камеры затворов СТ-4В и безнапорных тоннелей

№	Породный массив	Крепь породы типа	Пикетаж (м)	Значение Q и GSI	Торкрет - бетон	Полнота цемента	Неарм и р.	Стальное ребро
СТ4А								
1	K1kr & K1mg1 с главными трещинами	D4-I & D4-IV	14+88 - 15+07	0.61<Q<1.78 45<GSI<55	10 см толщиной -	Ø32мм, L = 5.85 m @ 1.5×1.5 m	-	-
2			15+38 - 15+89					
3			16+14 - 16+21					
4	K1mg1 с главными трещинами и K1kr, K1mg1, K1mg2 & K1mg3 с второстеп. разломами	D4-II, D4-V,& D4-VI& D4-VII	14+60 - 14+88	0.22<Q<1.00 40<GSI<55	5 см толщиной	-	30 см толщиной	IPE 240 мм, промежуток 1.00 м
5			15+07 - 15+38					
6			15+88 - 16+14					
7			16+21 - 17+16					
8	K1kr (Разрушенная зона разлома 35)	D4-IIIa	14+37 - 14+60	0.17<Q<0.44 35<GSI<40	5 см толщиной	-	40 см толщиной	IPE 300 мм, промежуток 1.00 m
9	K1ob2 с главными трещинами	XX, XXI, XXII & XXIII	13+82 - 14+03	0.28<Q<0.59 50<GSI<55	5 см толщиной	Ø40мм, L = 7.80 m @ 1.5×1.0 m (Стены)	35 см толщиной	IPE 300 мм, промежуток 1.00 m
10	K1ob2 & K1kr (разрушенная зона разлома 35)	XXIV & XXV	14+03 - 14+07	0.17<Q<0.44 35<GSI<40	5 см толщиной	Ø40мм, L = 7.80 m @ 1.5×1.0 m (Свод и стены)	35 см толщиной	IPE 300 мм, промежуток 1.00 m (Свод, стены и лотковая часть)
11			14+28 - 14+37					
12	Разлом 35	XXV	14+07 - 14+28	0.017<Q<0.028 25<GSI<30	5 см толщиной	Ø40мм, L = 7.80 m @ 1.5×1.0 m (Свод и стены)	35 см толщиной	IPE 300 мм, промежуток 1.00 m (Свод, стены и лотковая часть)

Следует отметить что, несмотря на то, что в отношении безнапорных тоннелей был выполнен анализ устойчивости клиньев, при выборе необходимых систем крепи в расчет были приняты более консервативные меры, предложенные по результатам К-Э анализа, выполненного с учетом Q2015 как показано таблице 4.12. Основной

причиной выбора стальных ребер и неармированного бетона является доступность данных материалов на объекте строящейся Рогунской ГЭС. При этом настоящая система RRS, предлагаемая в соответствии с Q2015 и включающая набрызгиваемый бетон, пока на данном проекте не использовалась.

Кроме того, при проходке безнапорных тоннелей СТ-4 отвечающие необходимым требованиям классы крепей будет определять инженер-геотехник на объекте, с учетом фактически наблюдаемых условий грунта. Иными словами, по результатам наблюдений и фактического геотехнического состояния породных массивов, вмещающих СТ4-БНТ, а также их поведения, отмечаемых во время различных этапов проходки и стабилизации грунта, будет осуществляться любая необходимая адаптация классов крепи. Если потребуются, на этапе проходки будет выполнен дальнейший анализ с целью проверки классов крепи с тем, чтобы убедиться, что выбранная система крепи для каждой части тоннеля является достаточной, особенно это касается локаций, где состояние грунта или поведение породного массива будет отличаться от ожидавшихся. Необходимо отметить, что максимальное расстояние между законченной крепью породы и лицевой гранью тоннеля.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Результаты наблюдений и фактического геотехнического состояния породных массивов, вмещающих СТ-4, а также их поведения, отмечаемых во время различных этапов проходки и стабилизации грунта, осуществляется с учётом инженерно-геологических факторов, влияющих на упругопрочностные характеристики вмещающих массивы горных пород. Если потребуются, на этапе проходки, будет выполнен дальнейший анализ с целью проверки классов крепи с тем, чтобы убедиться, что выбранная система крепи для каждой части тоннеля является достаточной, особенно это касается локаций, где состояние грунта или поведение породного массива будет отличаться от ожидавшихся [1-А, 4-А, 8-А].

2. По результатам численного моделирования напряженно-деформированного состояния безнапорного гидротехнического тоннеля и разработке рекомендации по выбору типа несущей конструкций с учётом сейсмоустойчивости сооружения, установлено, что максимальное расстояние между законченной крепью породы и лицевой гранью тоннеля должно составлять 2-3 м для $Q_{min} > 0.6$, и менее 1.5 м для $Q_{min} < 0.6$ [2-А, 3-А, 4-А, 6-А, 8-А].

3. Анализы стабильности гидротехнического тоннеля СТ-4 при проектировании в скальной крепи были проведены 3-мя способами: с применением эмпирического, аналитического и математического методов проектирования [2-А, 3-А, 4-А, 6-А, 8-А, 17-А, 19-А].

4. Разработаны рекомендации по выбору классов крепи породы, для различных литологических частей гидротехнического тоннеля СТ-4 по

инженерно-геологических условий на основании результатов моделирования [9-А, 13-А, 15-А, 20-А, 22-А].

5. Принятая схема размещения КИА и система мониторинга строительного тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС включает в себя 9 измерительных створов - участки с контрольно-измерительной аппаратурой. К основным геотехническим датчикам, предусмотренным для установки в СТ-4 между пикетами 06+00 м и 17+16 м, относятся вибрационные струнные (ВС) пьезометры и экстензометры [1-А, 2-А, 3-А, 4-А].

6. Получены результаты геотехнического мониторинга контрольно-измерительной аппаратурой (КИА) строительного тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС [1-А, 2-А, 3-А, 4-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

1. Рекомендованы классы крепи породы с учетом эмпирического, аналитического и математического методов проектирования, т.е. с использованием анализов Q2015, UnWedge и К-Э моделирование безнапорных тоннелей СТ-4, а также принимая в расчет форму и размер поперечных сечений, и толщину бетонной обделки в данной зоне.

2. Анализ устойчивости клиньев, при выборе необходимых систем крепи указывает на то, что в расчете были приняты более консервативные меры, предложенные по результатам К-Э анализа, выполненного с учетом Q2015 как показано в таблице 4.1. Основной причиной выбора стальных ребер и неармированного бетона является доступность данных материалов на объекте строящейся Рогунской ГЭС и знакомство с ними местных подрядчиков. При этом настоящая система RRS, предлагаемая в соответствии с Q2015 и включающая набрызгиваемый бетон, пока в данном проекте не использовалась..

3. Представлены результаты геотехнических исследований, включая изыскания ненарушенной породы и основных несплошностей, а также классификация горных массивов по методам Q и GSI. На основании результатов таких изысканий были оценены геомеханические параметры различных типов горных массивов с использованием конкретных значений GSI и критерия разрушения Hoek-Brown.

4. На основании нового австрийского метода проходки тоннелей (NATM) установлено, что постоянное наблюдение и мониторинг являются неотъемлемыми частями процесса подземной проходки.

Литература

1. Earth At night. Averaged over 2021. Night lights in Google Maps. The Earth Observation Group

2. World Energy Perspective Cost of Energy Technologies (англ.). ISBN 978 0 94612 130 4 11. WORLD ENERGY COUNCIL, Bloomberg (2013). Дата обращения: 29 июля 2015. Архивировано из оригинала 1 мая 2015 года.

3. World Energy Perspective (англ.). Мировой энергетический совет (2013). Дата обращения: 20 октября 2019. Архивировано 20 октября 2019 года.

4. IEA. Tajikistan Energy Sector Review 2022. Available at: <https://www.iea.org/reports/tajikistan-2022>

5. NGI Handbook, 2015, "Using the Q-System, Rock Mass Classification and Support Design", pp. 32-35. // Руководство Норвежского горного института, 2015, «Использование системы Q, классификация горных массивов и проект крепи», стр. 32-35.
6. Marinos V., 2010, "New Proposed GSI Classification Charts for Weak or Complex Rock Masses", Bulletin of the Geological Society of Greece Vol. 43. // Новые предложенные диаграммы классификации GSI для слабых или сложных горных массивов, Бюллетень геологического общества Греции, том 43.
7. Hoek E., Carter, T.G., Diederichs, M.S., 2013, "Quantification of the Geological Strength Index Chart".//Хок Э, Картер Т.Г., Дидерихс М.С., 2013, «Количественное представление диаграммы индекса геологической прочности».
8. Hoek E. et al., 2002, "Hoek-Brown Failure Criterion - 2002 Edition".// Критерий разрушения Хок-Браун – издание 2002 года.
9. Hoek E., 2007 Edition, "Practical Rock Engineering", [http://www.rockscience.com /hoek /corner/Practical Rock Engineering.pdf](http://www.rockscience.com/hoek/corner/Practical%20Rock%20Engineering.pdf). // Хок Э, изд. 2007 г. «Практическое руководство по горному делу».
10. Barton N., 2002, "Some new Q-value correlations do assist in site characterization and tunnel design", Int. Jour. Roc. Mech & Min. Sci., 39, pp. 185-216. // Бартон Н., 2002, «Некоторые новые корреляции значения Q с целью поддержки при описании характеристик площадок и проектировании туннелей», Межд. журнал механики грунтов и горного дела, 39, стр. 185-216.
11. Ходжикентская ГЭС. АО «Гидропроект». Дата обращения: 2 февраля 2022. Архивировано 25 сентября 2021 года.

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан

- [1-А]. **Хасанов М.Н.** Применение КИА для измерений гидравлических параметров в тоннеле СТ-4 Рогунской ГЭС / Н.М. Хасанов, М.Х. Саидов, М.Н. Хасанов // Кишоварз. ДАТ. Теоретический и научно-практический журнал №1.-С.115-121
- [2-А]. **Хасанов М.Н.** Выбор конструктивной обделки и цементационные работы строительного тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС / М.Х.Саидов, М.А.Сулаймонова, М.Н.Хасанов // Политехнический Вестник №1. ТТУ, 2024. -С.200-208.
- [3-А]. **Хасанов М.Н.** Выбор крепи участка разветвления строительного тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС / М.А. Сулаймонова, М.Н. Хасанов, А.М. Алимардонов, С.А.Саидов // Политехнический Вестник №1. ТТУ, 2024.-С.212-220.
- [4-А]. **Хасанов М.Н.** Расположение геотехнических контрольно-измерительных приборов и системы мониторинга в СТ-4 Рогунской ГЭС /Н.М. Хасанов, Д.К. Давронов, М.Н. Хасанов // ТНУ, Серия геологических и технических наук 2024. №1. –С.75-83
- [5-А]. **Хасанов М.Н.** Таҳқиқоти конструкцияҳои обгузаронанда бурришаш мудаввар аз таъсири қувваҳои зилзилавӣ /М.Х.Саидов, М.С.Ситамов, М.Н.Хасанов // ТНУ, Серия геологических и технических наук 2024. №1. –С.104-114
- [6-А]. **Хасанов М.Н.** Геотехнической мониторинг контрольной измерительной аппаратурой для СТ-4 Рогунской ГЭС /Н.М. Хасанов, М.Х. Саидов, М.Н. Хасанов // Политехнический Вестник №4. ТТУ, 2023. -С.120-128
- [7-А]. **Хасанов М.Н.** Зависимость минимальной глубины заложения напорных необлицованных тоннелей /М.Н. Хасанов, М.Х. Саидов //ТНУ- Душанбе: ТНУ, Серия геологических и технических наук 2023. №3. –С 28-33

[8-А]. Хасанов М.Н. Укрепительная цементация оснований плотин в гидротехнических сооружениях/А.Дж. Ятимов, Н.М. Хасанов, Ф.А. Холов, М.Н. Хасанов // Политехнический Вестник №1, ТТУ, 2023. -С.176-183

[9-А]. Хасанов М.Н. Анализ результатов исследований напряжений проявляющихся вокруг подземных выработок /А.Дж. Ятимов, Н.М. Хасанов, Ф.А. Холов, М.Н. Хасанов //ТНУ- Душанбе: ТНУ, Серия геологических и технических наук 2023. №1. -С.151-158

[10-А]. Хасанов М.Н. Результаты натурных измерений статических анализов и их оценки при проходке гидротехнических сооружений /Н.М. Хасанов, Ф.А. Холов, А.М. Алимардонов, М.Н. Хасанов // Политехнический Вестник №4, ТТУ, 2022. -С.112-120.

[11-А]. M.N. Hasanov. Peculiarities of swelling eocene clays as the base of structures / M.M. Zakirov, I.A. Agzamova, M.N. Hasanov //Tashkent state technical university named after islam kartimov. Tashkent 2021. №1(07). С.161-168

Статьи в материалах конференции:

[12-А]. Ҳасанов М.Н. Зилзилатобовариҳои конструксиҳои обгузарон Ҳангоми таъсири зарбавии воситаҳои нақлиёт /М.А. Сулаймонова, М.Н. Ҳасанов, М.М. Зувайдов //МНПК, «Водные ресурсы, инновация, ресурсо- и энергосбережения», 6-7 октября 2023 года, г.Душанбе, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана. С.282-289

[13-А]. Хасанов М.Н. Инженерно - геологические условия и их влияние на напряженно-деформированное состояние подходного САС-5 Рогунской ГЭС /Ф.А. Холов, М.Н. Хасанов //МНПК, «Водные ресурсы, инновация, ресурсо- и энергосбережения», 6-7 октября 2023 года, г.Душанбе, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана. С.257-265

[14-А]. Хасанов М.Н. Влияние подземных вод на возникновения аварийных ситуаций в транспортных тоннелях /М.Н. Хасанов, М.А. Сулаймонова //Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии устодон, донишҷӯён, магистрантҳо ва аспирантону унвонҷӯён таҳти унвони «Дурнамои тараққиёти истеҳсоли масолеҳои сохтмонӣ дар ҷумҳурии тоҷикистон », 31-уми март соли 2023, ДТТ. Душанбе. -С.252-257

[15-А]. Хасанов М.Н. Воздействие наземного транспорта на тоннели мелкого заложения /Н.М. Хасанов, М.Н. Хасанов //МНПК на тему: «Куатбековские чтения-1: Уроки Независимости», посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан 23 апрель 2021 г. С.343-348

[16-А]. Хасанов М.Н. Строительство гидротехнических тоннелей Сангтудинской ГЭС-1/Н.М. Хасанов, М.Н. Хасанов //МНПК, «Прикладные исследования и экспериментальные разработки в области естественных и технических наук» г. Белгород, 28 октября, Россия. 2020. -С.59-66.

[17-А]. Хасанов М.Н. Зависимость сейсмостойкости водопропускных сооружений от ударных нагрузок транспортных средств/Н.М. Хасанов, М.Н. Хасанов //МНПК, «Прикладные исследования и экспериментальные разработки в области естественных и технических наук» г. Белгород, 28 октября, Россия. 2020. -С.53-59

[18-А]. Хасанов М.Н. Влияние сейсмических воздействий взрывов на устойчивость гидротехнических сооружений /Н.М. Хасанов, М.Н. Хасанов// V Международная (XI Всероссийская конференция) Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. 25-26 ноября. ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова». -С.230-237

[19-А]. Хасанов М.Н. Улучшение оснований плотин ГЭС с помощью цементации /Н.М. Хасанов, А.Дж. Ятимов, М.Н. Хасанов // МНПК, г. Белгород, Россия. 30 октября 2019. -С.95-98

[20-А]. Хасанов М.Н. Натурные наблюдения за осадками грунта плотины в период строительства / Ё.Х. Ядгаров, М.Н. Хасанов // РНПК. ТТУ. факультет. «Строительство и архитектуры». 2019. –С. 206-213.

[21-А]. Хасанов М.Н. Теоретические и экспериментальные исследования сейсмостойкости подземных пешеходных переходов/Н.М. Хасанов, И. Носиров, М.Н. Хасанов //МНПК, «Естествознание, техника, технологии: современные парадигмы и практические разработки» г. Белгород, 30 октября, Россия. 2019 г. С.91-94.

[22-А]. Хасанов М.Н. Применение цементации для улучшения оснований плотин ГЭС /А.Дж. Ятимов, М.Н. Хасанов // РНПК. ТТУ. Факультет. «Строительство и архитектуры». 2019. – С. 223-228.

Патент:

[23-А]. Хасанов М.Н. Конструкция водопропускного сооружения[Текст]:Патент №ТJ1417 Республики Таджикистан: опубл.2508.2023г.

Учебное пособие:

[24-А]. Хасанов М.Н. Асосҳои кӯҳкорӣ [Матн]:китоби дарсӣ /Н.М.Хасанов, А.М.Алимардонов, Б.У.Боев, М.Н.Хасанов.- Душанбе: бо қарори мушовараи Вазорати маориф ва илми ҚТ №18/5 аз 29 декабри соли 2023 тасдиқ шудааст.-219 с.

[25-А]. Хасанов М.Н. Геологияи муҳандисӣ [Матн]: дастури таълимӣ / А.М.Алимардонов, М.Н.Хасанов.- Душанбе: дар Шӯрои методии ДТТ протоколи №2 аз 05 январи 2022с. тасдиқ шудааст.-75 с.

[26-А].Хасанов М.Н. Сохтмони иншоотҳои зеризаминӣ дар шароити мураккаби кӯҳӣ-геологӣ [Матн]: дастури таълимӣ / Н.М.Хасанов, А.О.Якубов, М.Н.Хасанов. дар Шӯрои методии ДТТ протоколи №3 аз 02 апрели 2020с. тасдиқ шудааст.-220 с.

**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ
ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН**

**ИНСТИТУТИ МАСЪАЛАҲОИ ОБ,
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ВА ЭКОЛОГИЯ**

Бо ҳуқуқи дастнавис

УДК 627.842.7:551.432 + 624.042.7 (282.255.123.11)



НУРАЛИЗОДА МУҲЙИДДИН НУРАЛӢ

**ТАЪСИРИ ОМИЛҲОИ ГЕОЛОГӢ - МУҲАНДИСӢ БА ҲОЛАТИ
ШИДДАТНОКӢ- ШАКЛДИГАРКУНИИ НАҚБИ ГИДРОТЕХНИКӢ
НС-4 НБО-и РОҒУН**

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмӣ
номзади илмҳои техника аз рӯи ихтисоси

2.1. Геология, геодезия, гидрология, сохтмон, меъморӣ
(2.1.8. Сохтмони гидротехникӣ)

Душанбе 2026

Рисола дар озмоишгоҳи «Иншооти гидротехникӣ»-и Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ: номзади илмҳои техникӣ, дотсент
Сулаймонова Мутабар Абдулхаевна

Муқарризони расмӣ: **Валиев Шариф Файзуллоевич** - доктори илмҳои геология-минералогӣ, профессор, сардори илмии лабораторияи баҳодиҳии хатари сейсмикии ИГС ба 3 Т ва С АМИТ

Бобохонов Фирдавс Шамсиддинович,
номзади илмҳои техникӣ, и.в. дотсенти кафедраи сохтмон ва меъморӣ-и Донишқадаи давлатии Данғара

Муассисаи пешбар: Донишқадаи энергетикии Тоҷикистон

Ҳимояи рисолаи номзадӣ санаи 09 апрели соли 2026 соати 10-00 дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6D.KOA-059 Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон дар суроғайи 734025, ш.Душанбе, кӯч. Бофанда, 5/2 баргузор мегардад.

Бо рисола дар китобхонаи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ва дар сомонаи www.imoje.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «_____» _____ соли 2026 тавзеъ шудааст.

Котиби илмӣ
Шурои диссертатсионии
6D.KOA-059



Шаймурадов Ф.И.

МУҚАДИМА

Мухимияти мавзуи диссертасия. Имрӯз дар Ҷумҳурии Тоҷикистон идомадиҳандаи сохтмон яке аз лоиҳаи асоси ва беҳамто дар соҳаи иншоотҳои гидротехникии НБО-и Роғун мебошад. Таъминоти аҳолии ҷумҳурӣ бо қувваи барқ муҳим будани сохтани зерисгоҳи барқии оби ва самти асоси, мусоидат кардан ба иқтисодиёт ва пешрафти иҷтимоӣ дар ҷумҳурӣ.

Барои ноил шудан ба ин мақсадҳо дар мамлакат ҳаҷми сохтмони иншооти гидротехникии дар дарёи Вахш сохташуда, ки дорой иқтисодии зиёд мебошанд, афзуд. Дар ин самт бунёди НБО- Роғун на танҳо як соҳаи муҳим, балки яке аз лоиҳаҳои асосӣ ва серталаб дар ҷумҳурӣ мебошад.

Сохтмони иншоотҳои гидротехникии НБО-Роғун қисми асосӣ ва муҳим буда ба рушди иқтисодӣ ва иҷтимоии ҷумҳурӣ мусоидат мекунад.

Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон сохтмони зерисгоҳи барқии оби тавоноияш калон ва сохтани обанбори калонтарин дар шароити ҷумҳурӣ боиси баланд шудани баландии дарғот, андозаҳои буриш ва фишори бузурги нақбҳои гидротехникӣ ва обгузаронҳои зеризаминӣ, дар натиҷаи зиёдшавӣ борҳое, ки ба таҳкурсии ё деворҳои иншоот дода мешавад. Дар ин самт шароитҳои геологие, ки дар аксар мавридҳо хеле мураккаб буда, таҳқиқоти дурӯст муайян кардани хосиятҳои физикию механикии ҷинсҳои кӯҳии саҳра ва омехтани рафтори онҳоро дар зери бори бо ба назар гирифтани таъсири об талаб мекунад, нақши калонро мебозад. Ҳангоми дар шароити қуҳсор сохтани иншоотҳои гидротехникӣ аксар вақт тадбирҳои муҳандисиро оид ба мустаҳкам намудан ва устувории атрофи ҷинсҳои кӯҳии саҳраро кор карда баромадан лозим мебошад.

Бо дарназардошти қайдҳои боло амалисозии комплекси таҳқиқотҳо бо истифодабарии усулҳои муосири амсиласозии технологияҳои компютери, ки харитасозии геологии технологияи такмилёфтаи нақбро дорост, инчунин таҳқиқи шароитҳои қуҳ-геологии сохтмони нақби гидротехникии НС-4 НБО-и Роғун имконият медиҳад, таъсири онҳоро ба ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии объекти сохташаванда омӯхта шавад ва имконияти интиҳоби масири объекти сохташаванда, мақоми ҷойгиршавии он ва усули сохтмони он ба даст оварда шавад. Аҳамияти проблемаи актуалии баррасишаванда ҳамин аст.

Мубрамии кори диссертатсионӣ аз татбиқи натиҷаҳои таҳқиқоти бо методҳо ва усулҳои муосир гузаронидашуда бо истифода аз технологияҳои муосир оид синфҳои тавсияшудаи рӯйпушкунӣ дар минтақаи гузариш нақби гидротехникии таҳқиқшаванда, истифодаи

усулҳои моделсозии технологияҳои компютерӣ, ба даст овардани натиҷаҳои хуб иборат аст.

Дарачаи омӯзиши мавзӯи таҳқиқот. Дар раванди кор аз болои концепсияи сохтмони НБО-и Роғун тамоми сарчашмаҳои мавҷудбудаи кушод таҳлил карда шуданд, ки дар бойгонии ОАО “Институти Гидропроект”, ОАО “НБО-и Роғун”, ТССГЭО маҳвӯз буданд. Дар соли 2009 барои дастрас намудани иттилооти иловагӣ аз рӯи барномаҳо ва тавсияҳои дар Гидропроект коркардшуда, таҳқиқотҳои иловагӣ гузаронида шуданд. Қайд бояд намуд, ки ба масъалаи сохтмони нақбҳои гидротехникӣ дар шароитҳои мурракаби куҳӣ-геологӣ олимони зерин саҳм гузоштаанд; Экклестона Д., Мехинрада А., Гешмепура А., Солеймани М., Аскарӣ М., Регли М., Гадоев Олим., Кабилов Ш., Мухаммадризо Зангане, Холов Ф.А. ва дигарҳо.

Алоқамандии мавзӯи кори диссертатсионӣ бо барномаҳои илмӣ. Асоси таҳқиқоти кори диссертатсионӣ алоқамандӣ дорад бо самтҳои илмӣ Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон марбут аст; «Стратегияи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаи илм ва технология барои солҳои 2016-2022»; (фасли Сохтмон ва индустрияи сохтмонӣ); Таъминсозии барномавӣ, UNWEDGE ver. 3.0, аз тарафи ширкати RocScience Co. (Торонто, Канада) коркардшуда, ки бо усули мувозинатии ҳудудӣ кор мекунад; Барнома барои ҳисобкунии усули элементҳои охири RS2, вер. 9.0, аз тарафи ширкати RocScience Co пешниҳод шудааст.

Тавсифи умумии кор

Таҳқиқотҳои ботафсил барои лоиҳакашии нақби гидротехникии НС-4 дар гузаронидани таҳқиқотҳои таъсири омилҳои муҳандисӣ-геологӣ ҳангоми корҳои нақбкани дар шароитҳои гуногуни литологӣ. Гузаронидани таҳлили бузургҳои геотехникӣ, баҳодиҳии нишондиҳандаҳои геомеханикӣ, бузургҳои мустаҳкамӣ ба лағжиш барои чинсҳои номустаҳкам, интиҳоби устуворкунӣ чинсҳои куҳӣ бо истифода аз усулҳои эмпирикӣ, лоиҳаи басти чинси куҳӣ барои фонаҳои ноустувор, инчунин бастан бо истифодабарии амсиласозии К-Э ва тавсияҳои муваққатӣ маҳкамкунии нақби сохтмони НС-4 дар соҳили рости НБО-и Роғун. Натиҷаҳои таҳқиқотҳои нишондиҳандаҳои чинсҳои вайроннашуда имконият фароҳам меоранд, ки системаи касбии муҳандисии массиви чинсиро барои муайянкунии системаи маҳкамкунӣ муваққатӣ истифода барем. Ин натиҷаҳо барои гузаронидани корҳои чоҳкании нақби гидротехникии НС-4 НБО-и Роғун барои чинсҳои гуногун истифода бурда мешавад. Баъди ин ҳисоби амсиласозии раванди корҳои коркарди замин дар ҳамчоягӣ бо лоиҳакашии системаҳои маҳкамкунӣ муваққатӣ бо истифодаи амсиласозии рақамӣ, интизории механизми вайроншавӣ, ки ҳангоми корҳои заминкани ба вучуд меоянд.

Бо мақсади иҷроиши таҳлили рақамии массиви чинси куҳӣ дар атрофи нақби гидротехникии НС-4 ҳамчун материали устувори пластикӣ

амсиласозӣ гузаронида шуд, ки дар речаи пластикӣ нишондихандаҳои мустаҳкамӣ кам мешаванд. Инчунин дар усули лоиҳаи амсиласозии рақамӣ равандҳои кандани хок ва чинси аввала, ҳамчунин шароити интизори маҳкамкунии иловагӣ бо мақсади бадастоварии ҳалли масъалаҳои иқтисодӣ, беҳатарӣ ва устуворӣ санҷида шуд.

Мақсади кори диссертатсионӣ мебошад – таҳқиқи таъсири омилҳои геологӣ -муҳандисӣ (фарқиятҳои литологӣ, нишондихандаҳои геомеханикӣ ва геотехникӣ), ба ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии нақби гидротехникии НС-4 ва коркарди тавсияҳо синфи мустаҳкамкунӣ оид ба интихоби синфи мустаҳкамии чинсҳо, ки устувории иншоотро таъмин мекунад.

Барои ноил шудани мақсади гузошташуда бояд масъалаҳои зерин ҳаллу ҷавоб карда шаванд;

1. Бо усулҳои назариявии мавҷудбуда, таҳқиқи таъсири шароитҳои муҳандисӣ-геологӣ ба ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии нақби гидротехникии НС-4 НБО-и Роғун.

2. Муайянкунии хосиятҳои физикӣ-механикии чинсҳои кӯҳии якҷошудаи лоиҳакунии нақби гидротехникии НС-4.

3. Амсиласозии равандҳои шиддатнокӣ-шаклдигаркунӣ чинсҳои кӯҳии нақби гидротехникӣ ҳангоми коркарди гузаргоҳ ва созмони бастаи муваққатӣ.

4. Муайянкунӣ ва таҳқиқи хосиятҳои ҷандирӣ ва мустаҳкамии чинсҳо дар минтақаи камфишурдашуда, инчунин чинсҳои кӯҳии ҳамҷояшуда дар лоиҳакунии нақби гидротехникии НС-4 НБО-и Роғун ва таҳияи тавсияҳо барои интихоби намуди мустаҳкамкунӣ сангин.

5. Ташкили системаи мониторинг, ҳисобкунии миқдори нишондодҳои назоратӣ ва намудҳои асбобҳои назоратӣ-ченкунӣ (АНЧ) нақби гидротехникии НС-4.

Объекти таҳқиқоти диссертатсионӣ нақби бетамбагии гидротехникии НС-4 НБО-и Роғун мебошад.

Мавзӯи таҳқиқоти таъсири шароитҳои геологӣ – муҳандисӣ ба ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии нақби гидротехникии бетамбагӣ ва пешгирии пайдошавии имконпазири деформатсияҳо ҳангоми таъсири қувваҳои зилзилавӣ маҳсуб меёбад.

Фарзияи таҳқиқотӣ ин аст, ки қувваҳои ҷозибавӣ, тектоникӣ ва сейсмикӣ дар якҷоягӣ ҳолати шиддатнокӣ - шаклдигаркунии маҳкамкунӣ нақби гидротехникии НС-4В – и НБО-и Роғунро ба таври назаррас тағйир медиҳад ва боиси концентратсияи маҳаллӣ шиддат ва шаклдигаркуни мешавад, ки устувории онро коҳиш медиҳад ва тақвияти конструктивиро талаб мекунад.

Таҳқиқот гузаронида шуд дар давраи аз соли 2022 то 2026 дар объекти иншооти НБО-и Роғун, махсус дар нақби гидротехникии НС-4В бо мақсади таҳлили ҳолати шиддатнокӣ – шаклдигаркунии маҳкамкунӣ ва шароити таъсири омилҳои ҷозибавӣ, тектоникӣ ва сейсмикӣ.

Асоси назариявии таҳқиқот омӯзиши шароитҳои НБО-и Роғун бо мақсади таҳқиқи таъсири онҳо ба ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии нақби гидротехникии бетамбагии НС-4 ба ҳисоб меравад.

Навгониҳои илмӣ таҳқиқот аз инҳо иборатанд:

- муайян намудани сабабҳои геологие, ки ба вайроншавӣ ва устуворкунӣ чинсҳои кӯҳии нақби гидротехникии НС-4-и НБО-и Роғун таъсир мерасонад. Муайян намудани самти фишори асосии минималӣ ва максималӣ дар асоси таҳқиқоти махсусе, ки дар коркардҳои калони буруши кӯндалангии зеризаминӣ гузаронида мешавад;

- амсиласозии рақамии ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии нақби гидротехникӣ ва таҳияи тавсияҳо барои интиҳоби синфҳои мустаҳкамӣ чисҳо бо истифодаи ғафсии 10 см торкретбетон;

- дар таҳияи тавсияҳо оид ба интиҳоби синфи мустаҳкамӣ чинсҳо барои қисмҳои гуногуни литологӣ нақби гидротехникии НС-4 бо дар назардошти геометрии амалии нақб ва шароитҳои геологӣ;

- ташкили системаи мониторинг, муайянкунии миқдори нишонҳои назоратӣ, намудҳои асбобҳои ченкунӣ ва барномаи муоинаи нақби гидротехникии НС-4.

Нуқтаҳои асосии ба ҳимоя пешниҳодшавандаи диссертатсия:

1. Ошкоркунии омилҳои геологӣ - муҳандисӣ таъсиркунандаи ба тавсифҳои мустаҳкамӣ чандирӣ ва мустаҳкамӣ массиви якҷояи чинсҳои кӯҳии нақби гидротехникии НС-4 НБО-и Роғун. Муайянкунии самти асосии минималӣ ва максималии шиддатнокӣ ба асоси гузаронидани таҳқиқотҳои махсус дар қорҳои зеризаминии калон.

2. Амсиласозии рақамии ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии нақби гидротехникии НС-4 НБО-и Роғун ва коркарди тавсияҳо барои интиҳоби намуди конструксияи борбардор бо дарназардошти зилзилатобоварии иншоот.

3. Коркарди тавсияҳо барои интиҳоби намуди маҳкамкунӣ сангин бо дарназардошти геометрии амалии нақб ва элементҳои асосии он.

Аҳамияти назариявии қори диссертатсия ба ҳалли масъалаҳои вобаста харитасозии геологӣ - муҳандисӣ нақбҳое, ки дар наздикии нақби НС-4 ҷойгир шудаанд; интиҳоби усули гузаронидани қорҳои бетонӣ; интиҳоби амсила барои ҳисоби бастаи нақб; асосноккунии ҳисоби маҳкамкунӣ нақби НС-4; мониторинги геотехникии нақби гидротехникии НС-4 аз инҳо иборат мебошад.

Аҳамияти амалии қор аз инҳо иборат аст:

- интиҳоби конструксияи ҳимоякунандаи нақб аз вайроншавӣ баъди заминчунбӣ ва имконияти муҳофизати онҳо ҳангоми истифодабарӣ бо харҷи минималӣ ва вақт барои таъмир;

- истифодабарӣ дар раванди таълим дар муассисаҳои таҳсилоти олӣ ва донишгоҳҳо ҳангоми хондани маърузаҳо ва бурдани қорҳои амалӣ,

инчунин хангоми гузаронидани корҳои озмоишӣ ва саҳроӣ барои донишҷӯён аз фанҳои, "Соҳтмони зеризаминӣ ва шахтаҳо", "Асосҳои корҳои кӯҳӣ", "Технологияи усулҳои таркишибурӣ", "Механикаи ҷинсҳои кӯҳӣ ва фишори кӯҳӣ", "Усулҳои махсуси соҳтмони иншоотҳои зеризаминӣ" дар ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ барои донишҷӯёни ихтисосҳои «Соҳтмони зеризаминӣ ва шахтаҳо» ва «Соҳтмон ва истифодабарии неруғохҳои обию барқӣ» ва ғайраҳо.

Дарачаи эътимоднокии саҳеҳии натиҷаҳои кори диссертатсионӣ усули ҳисобкунии амсиласозии аз тарафи муаллиф пешниҳоднамуда бо натиҷаҳои таҷрибаҳои гузаронидашуда ва маълумотҳои олимони дигар, инчунин таҳқиқотҳои табиӣ ва назариявӣ, усулҳои муосири параметрҳои физикӣ-механикии ҷинсҳои кӯҳӣ, истифодаи таҷҳизотҳо ва асбобҳои муосир барои озмоиши коркарди нақби гидротехникӣ бетамбагии НБО-и Роғун тасдиқи худро ёфтаанд.

Мутобиқатӣ ба шиносномаи ихтисос. Диссертатсия ба бандҳои 3,11 низомнома ва шиносномаи ихтисоси илмӣ 2.1. Геология, геодезия, гидрология, соҳтмон, меъморӣ (2.1.8. Соҳтмони гидротехникӣ) мутобиқат мекунад.

3. Ташкилӣ самтҳои нави ояндабинии ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии иншооти гидротехникии тамбагӣ ва бетанбагӣ; тақмили усулҳои муайянкунии намудҳои гуногуни қувваҳо ба иншоот, гидрогиреҳи обӣ, бино ва биноӣ мошинҳои НБО-и барқӣ; асосноккунии роҳҳои эътимоднокӣ ва мустаҳкамӣ конструксияи иншооти обӣ-нақлиётӣ;

11. Эътимоднокии истифодабарӣ иншооти гидротехникӣ, ташкили критерияҳои нави беҳатарӣ, системаҳои нави назоратӣ ва мушоҳидавӣ аз болои иншоотҳо, тақмили усулҳои диагностикаи техникӣ ва мониторинги системаи обӣ ва объектҳо.

Номгӯи мавзӯи диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси 2.1. Геология, геодезия, гидрология, соҳтмон, меъморӣ (2.1.8. Соҳтмони гидротехникӣ) мувофиқат мекунад.

Саҳми шахсии муаллиф. Муаллиф мақсад ва масъалаҳои таҳқиқотиро аниқ ифода намуд, роҳҳои ҳалли назариявӣ ва таҷрибавӣ онҳоро муқаррар кард. Муаллиф нишондодҳои геометрии ҳолати шиддатнок-шаклдигаркунии массиви кӯҳӣ ва конструксияи нақбро аниқ намуд, нишондиҳандаҳои асосии гузаргоҳи бетамбагии нақби гидротехникиро муайян намуд, инчунин ҳулосаҳои асосиро баровард.

Тасдиқи натиҷаҳои диссертатсия. Нуқтаҳои асосии кор ва натиҷаҳои ба даст овардашуда дар маводи конференсияҳои зерин баррасӣ гардиданд: КҶИА. «Развитие гидроэнергетики - развитие Таджикистана» Института энергетикӣ Тоҷикистон (с 2018, н. Кушонӣ); КБИА: «Архитектурное образование и архитектура Таджикистана» 60 солагии рушд ва тақмил. ДТТ ба номи ак.М.С.Осимӣ

(ш. Душанбе, 2019 с); КБИА, «Естествознание, техника, технологии: современные парадигмы и практические разработки» ш. Белгород, (Россия, 2019 с); КБИА, «Прикладные исследования и экспериментальные разработки в области естественных и технических наук» ш. Белгород, (Россия, 2020с); V Байналмиллалӣ (XI Конференсияи умумироссиягӣ) Сохтмон ва хонасозӣ: сикли ҳаёти - 2020, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», (Россия, 2020 с); МНПК дар мавзӯи : «Қуатбековские чтения-1: Уроки Независимости», бахшида ба 30 солагии мустақилияти Ҷумҳурии Қазокистон; ш. Чимкент (Казахстан, 2021 с); МНПК, «Водные ресурсы, инновация, ресурсо- и энергосбережения», 6-7 октябри соли 2023 г, ш. Душанбе, Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика и экологияи АМИ Тоҷикистон.

Интишорот.

Натиҷаҳои асоси таҳқиқот аз рӯи мавзӯи диссертатсия дар 22 қор, аз ҷумла 11 мақола дар маҷаллаҳои пешрави тақризшавандаи феҳристи тавсиянамудаи ҚОА - и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷоп шудааст.

Аз рӯи натиҷаҳои таҳқиқот 1 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳти рақами № ТҶ 1417 аз 22 ноябри соли 2022 гирифта шудааст.

Ихтироот ба соҳаи сохтмони зеризаминӣ таалуқ дошта, ба бунёди иншооти зеризаминии таъиноташ гуногун пешбини гардида, асосан сохтмони иншооти обгузар ва гузаргоҳҳои зеризаминро беҳтар менамояд.

Иншоот дорои таҳкурсии, деворҳои канорӣ бо арқҳои пӯшонидашуда ва хокҳои рехта шуда иборат буда, дар он масолеҳҳои сохтмони роҳи гузошта шудааст. Деворҳои канорӣ бо арқҳои пӯшонидашудаи васлӣ ё яклухт вобаста ба дараҷаи кӯҳсор бунёд гардидаанд. Дар қисмҳои пайваستшудаи деворҳои канорӣ ва арқҳо ҷузъҳои фторопласт гузошта шудаанд. Барои пешгирии ҳаракат ҳангоми таъсири сейсмикӣ дар таҳкурсии дандони уфуқӣ сохта шудааст, ки ба хоки асос таъя мекунад.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, чор боб, феҳристи адабиёт ва хулосаҳо иборат аст. Ҳаҷми умумии қор 137 саҳифа, 105 расм, 20 ҷадвал, замимаҳо, феҳристи адабиёти истифодашуда бо 123 номгӯйро дар бар мегирад.

МАЗМУНИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар муқаддима муҳимияти мавзӯи таҳқиқот, мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот асоснок карда шудаанд, навгонҳои илмӣ, назариявӣ аҳамияти амалӣ ва муҳтавои асосии қори диссертатсионӣ ифода ёфтаанд, амалишавии натиҷаҳои таҳқиқот нишон дода шуданд. Саҳми шахсии муаллиф инъикос ёфтанд, саҳеҳии натиҷаҳои таҳқиқот асоснок карда оиди сохтор ва ҳаҷми диссертатсия, интишорот, апробатсияи қор маълумот пешниҳод шуданд.

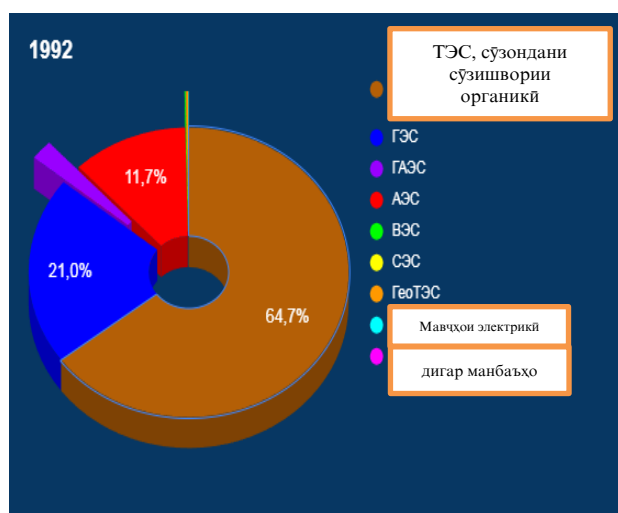
Боби1. ТАҶРИБАИ СОХТМОНИ ИНШООТҲОИ ГИДРОТЕХНИКӢ ХОРИҶӢ ВА ВАТАНӢ

Боби якум ба таҷрибаи сохтмони иншоотҳои гидротехникии хориҷӣ ва ватанӣ, инчунин аз назаргузарони таҷрибаи тараққиёти гидроэнергетикаи ҷаҳон, рҷумҳуриҳои Осиёи Миёна ва Федератсияи Руссия бахшида шудааст.

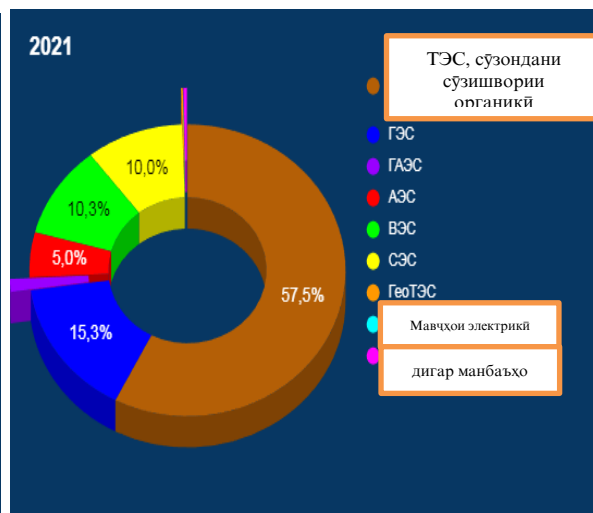
Беназирии НБО дар он дида мешавад, ки вай зерсистемаи системаи нақлиёти давлат ба шумор меравад. Ба ин хотир, истехсоли барқ дар НБО ҳамгирои истехсоли барқ ба воситаи марказҳои гармидиҳӣ мебошад.



Расми 1. Тараққиёти гидроэнергетика дар ҷаҳон

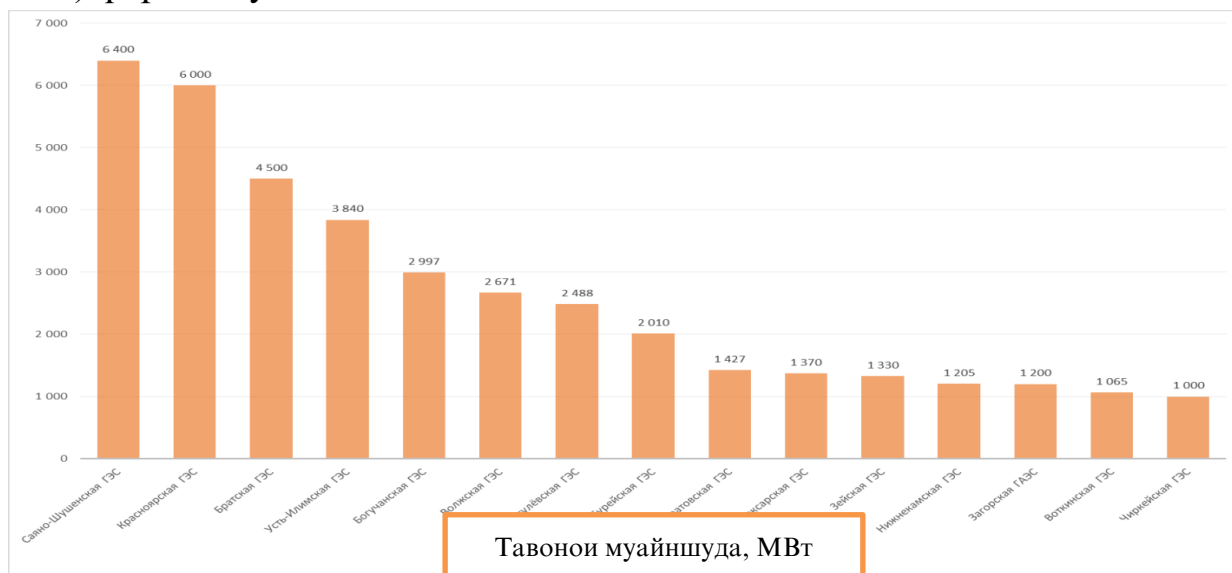


Расми 2. Сохтори тавони гузаштани зеригохҳои барқӣ бо намудҳои барои соли 1992, миллион кВт (%)



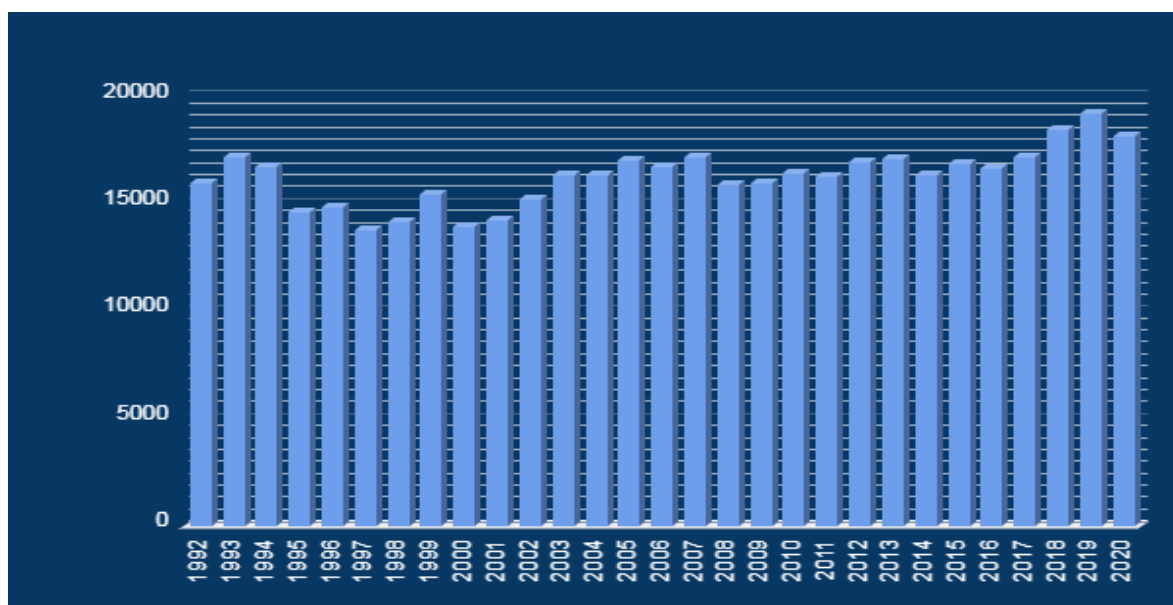
Расми 3. Сохтори тавони гузаштани зеригохҳои барқӣ бо намудҳои барои соли 2021, миллион кВт (%)

Энергетикаи обӣ қисми асосии истеҳсоли барқи Федератсияи Руссия ба шумор меравад. Тавоноии умумии НБО-и Федератсияи Руссия аз 52 ГВт боло аст, ки қариб 20 %- и тавоноии умумиро ташкил мекунад. Аз панҷ калонтарин НБО-и Руссия ҳамаи намудаш – се НБО; Саяно-Шушен бо баландии дарғоти 242 м (6,4 ГВт), НБО-и Красноярск бо баландии дарғоти 128 м (6 ГВт), ва шаҳри Братск бо баландии дарғоти 125 м (4,5 ГВт) фарқ мекунад.



Расми 4. Калонтарин НБО Федератсияи Русия

Ҷумҳурии Тоҷикистон дар ҷаҳон аз рӯи захираи энергетикаи обӣ бо иқтидори истеҳсоли барқ то 527 млрд кВт-с дар як сол дар ҷойи 8 мавқеъ дорад. Қобили зикр аст, ки ба гуфтаи коршиносон, барои нигоҳ доштани иқтидори мавҷудаи нерӯгоҳҳои барқи обӣ дар Тоҷикистон то соли 2030 таҷдиди ҳудуди 80 дарсади иқтидорҳои кишвар зарур аст.



Расми 5. Истеҳсоли нерӯи барқ дар нерӯгоҳҳои барқи обӣ, солҳои 1992-2020, миллиард кВт/соат

Боби 2. ОМУЗИШИ ШАРОИТҲОИ ГЕОЛОГИИ МИНТАҚА ВА ҶОИИ СОХТМОНИ ОБЪЕКТИ ЛОИХАШАВАНДА

Дар боби 2 масъалаҳои шароити геологӣ- муҳандисӣ нақби гидротехникии НС-4 НБО – и Роғун шарҳ дода шудааст.

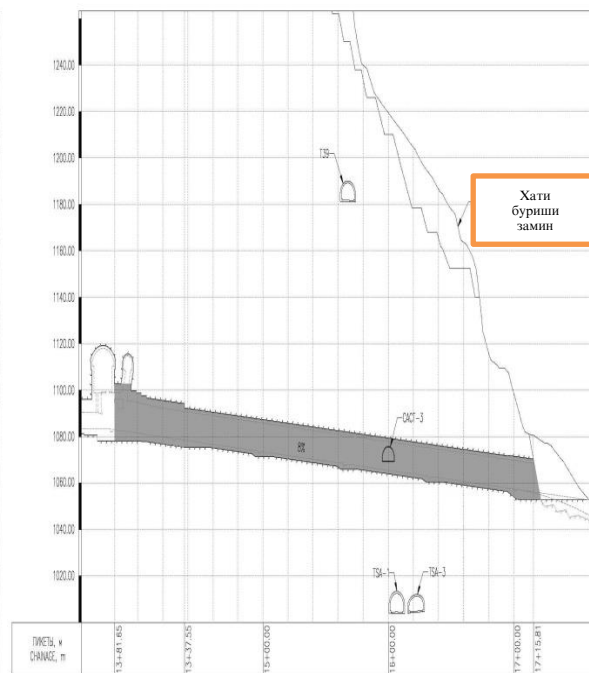
Нақбҳои бетамбагии НС- 4 камераҳои дарвозаҳои поёни ҷойгир шудаанд ва аз ПК. 13+81,65 м оғоз шуда, дар ПК 17+15.81 м ба итмом мерасад. Расмҳои 6 ва 7 нақшаи умумӣ ва профили тирии НС 4 –ро нишон медиҳанд. Як қатор буришҳои намунавии нақбҳо дар расмҳои 8 ва 9 оварда шудаанд.

Таҳлилҳои ба даст омада барои ҷинсҳои кӯҳӣ ва ҳолати баҳодихии ҷинсҳои массиви хокро мо бо истифода аз усули муосири системаи таснифот (Q_{2015}) барои ошкоркунии системаи аввалаи хоки литологӣ амалӣ намудем.

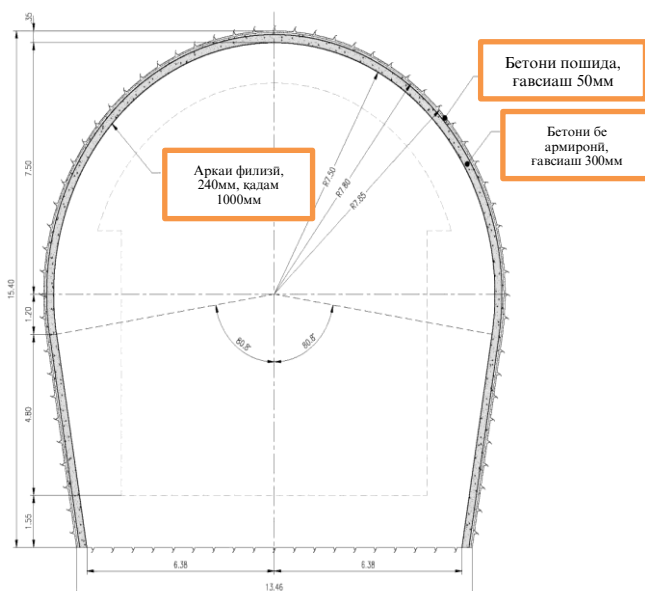
Инчунин, барои баҳодихии нишондодҳои массиви махсус тафсири ҷобачо кардашудаи коррелятсияшудаи таснифоти GSI, ки аз тарафи В. Мариносов дар соли 2010 пешниҳод шуда буд, бо дарназардошти санҷиши усули миқдорӣ (Хоек ва дигаро, 2013) истифода шуд. Баъд бо истифода аз усули аналитикӣ (таҳлили фонагӣ) ва усули математикӣ таҳлили элементҳои ниҳой, барои системаи устуворкунии аввалаи ҷинсҳо ба воситаи усули таҷрибавӣ санҷида шуд ва барои дар қутбаҳои гуногуни НС-4 қарор қабул карда шуд.



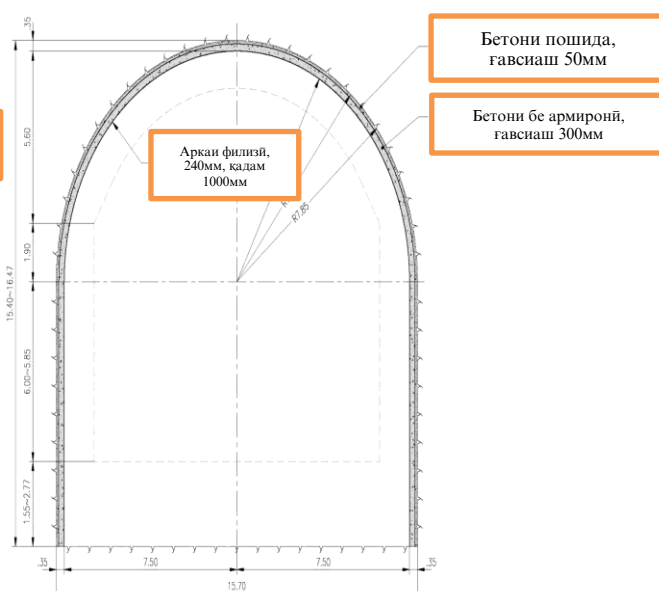
Расми 6. Намуд ва нақшаи нақби бетамбагии НС-4



Расми 7. Буриши тулонӣ қад-қадӣ нақби бетамбагии НС-4



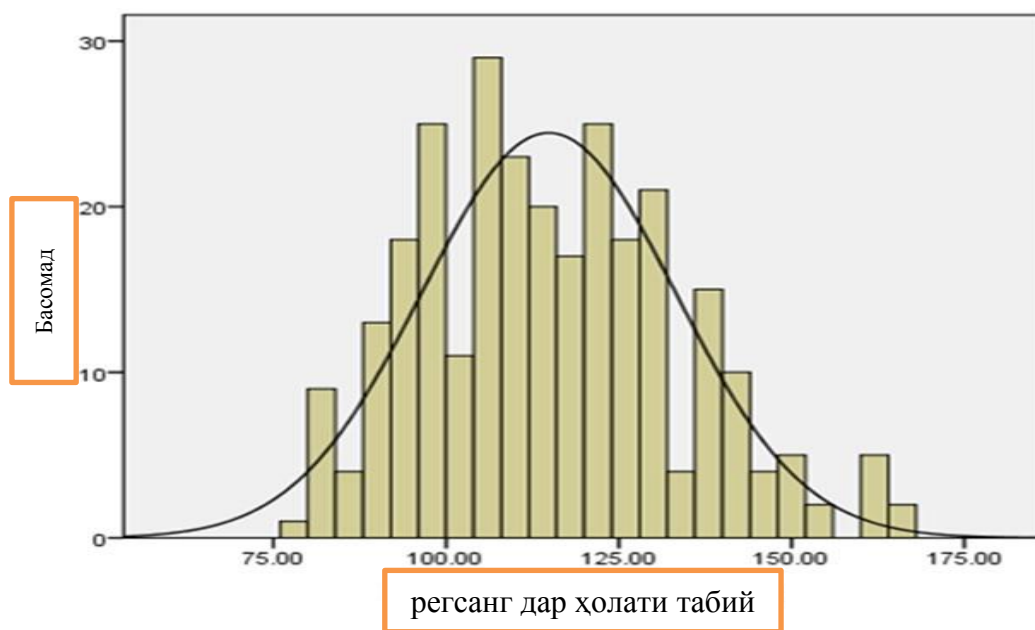
Расми 8. Буриши наълшакли нақби бетамбагии НС-4



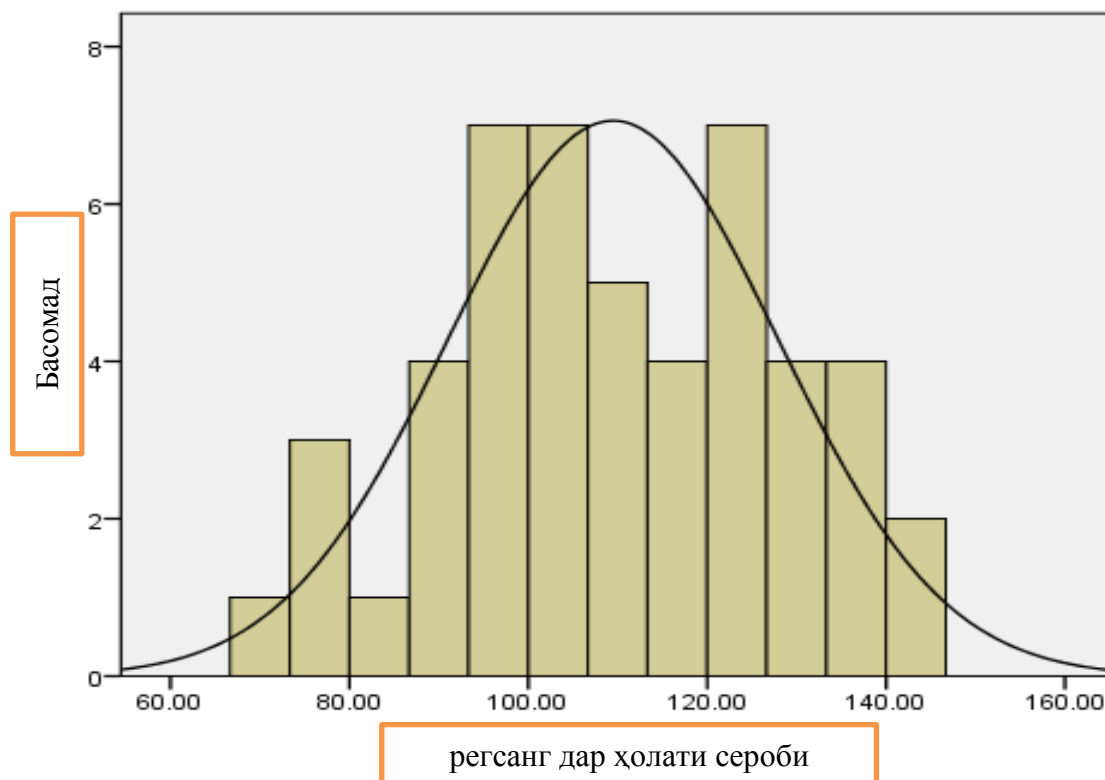
Расми 9. Нақби бетамбагии НС-4, D-шакл, ки чойгиршавии азраторҳо истифода мешаванд

Дар ин қисмати боб натиҷаҳои таҳқиқотҳои геотехникӣ, бо дарназардошти ҳамроҳкунии чинҳои вайроннашуда ва платформаҳои асосӣ, инчунин таснифоти массиви куҳӣ бо усули Q и GSI пешниҳод шуд. Дар асоси натиҷаҳои чунин ҷустуҷӯҳо нишондиҳандаҳои геомеханикии намудҳои гуногуни массиви чинҳо бо истифода аз қимати амалии GSI ва критерияи Ноёк-Браун баҳогузорӣ шуданд. Барои ба дастоварии баҳои реалӣ модули деформатсияи массиви чини куҳӣ ду формулаи эмпирикӣ истифода шуд; яке аз онҳо дар асоси қиматҳои GSI, ки тавре Ноёк пешниҳод намудааст ва дигараш – дар асоси қимати Q, ки Бартон пешниҳод намудааст.

Дар расми 10 гистограммаи қиматҳои эквивалентии UCS барои се форматсияи геологӣ массиви қумӣ дар ҳолати табиӣ ва пуркардашуда нишон дода шудааст.



а)

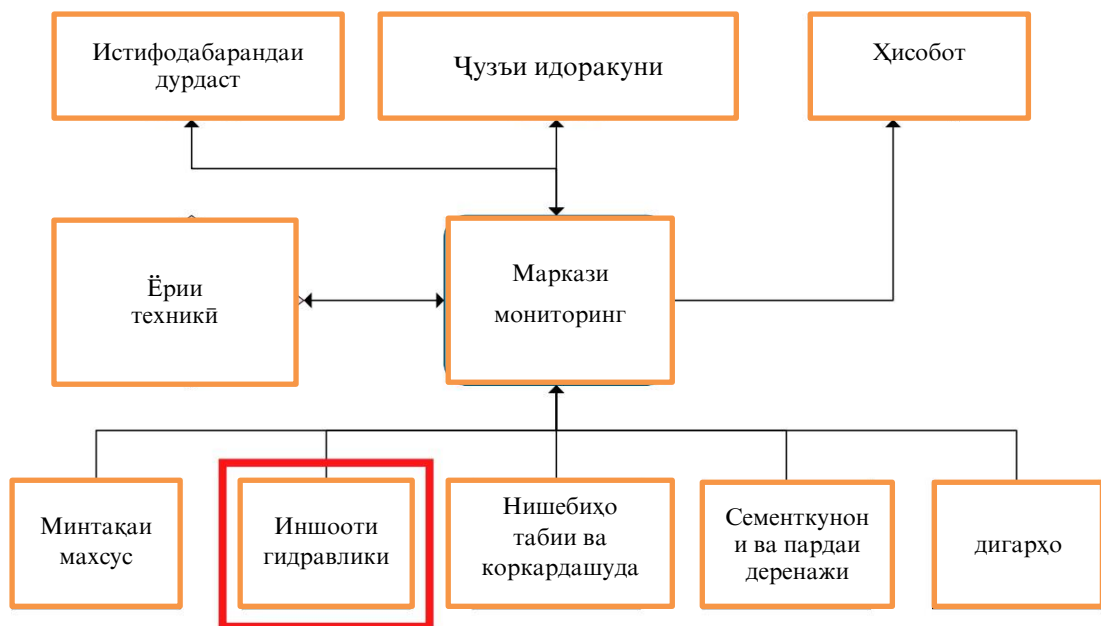


в)

Расми 10. Гистограммаҳои арзишҳои эквивалентии регсангҳои UCS дар формасияҳои K1ob2, K1kr ва K1mg1 ва қачи тақсимои муқаррарӣ: а) регсанг дар ҳолати табиӣ, в) регсанг дар ҳолати сероби

Боби 3. ҲОЛАТИ ШИДДАТНОКӢ-ШАКЛДИГАРКУНӢ ВА МОНИТОРИНГИ ГЕОТЕХНИКИИ СТ-4 НБО –и РОҒУН

Боби сеюм ба ҳолат ва мониторинги нақби гидротехникии НС-4 НБО – и Роғун бахшида шудааст. Нақби сохтмони НС -4 бо дарозии 1760 м тӯл мекашад. Нишонаи нова ба маҳори даромад 1090,00 м, дар майдони баромад тахминан 1055,00м аст. Қобилияти гузарониши нақби сохтмонӣ ҳангоми тамбаи максималӣ 3500м³/сон мебошад. Дар буриши даврагии қурби 15,0м бо дарозии то қитъаи ҷудошавии нақб, аз қисмати тамбаи нақб ПК12+37,30 оғоз шуда, дар нуқтаи Т – 20 анҷом меёбад. Қайд бояд намуд, ки қисми бетамбагии нақб аз ду шохаи буриши наълмонанд иборат аст, баъди камераи дарвоза оғоз шуда, ҳангоми баландшавӣ ба нуқтаи беефи боло (ББ) барои ба кордарории ТВВУ-1 (НЛО-1) ба воситаи ҷоҳ дар давраи истифодаи доимии гидрогиреҳи Роғун истифода мешавад.



Расми 12. Системаи мониторингии меъмории ЛОТ-3

Мувофики кайди техникий таҷхизоти геотехники ва назорат дар НС-4 - P3-ROG-B-IN-DT4-00-DT-MN-0001-A0, КИА ва характеристикаҳои онҳо чунинанд:

DT4-XX-MP-XX – Экстенсометри бисёрнуқтаи чоҳ
Шумораи нуқтаҳои ченкунӣ 4 (4м + 8м + 15м + 30м) ё
4 (3м + 6м + 9м + 18м)

Диапазони андозагирӣ 100мм, 150мм ё 200мм.

DT4-XX-PZ-XX – Пьезометр

Диапазони андозагирӣ 0-2 МПа

DT4-XX-LS-XX – ченаки об

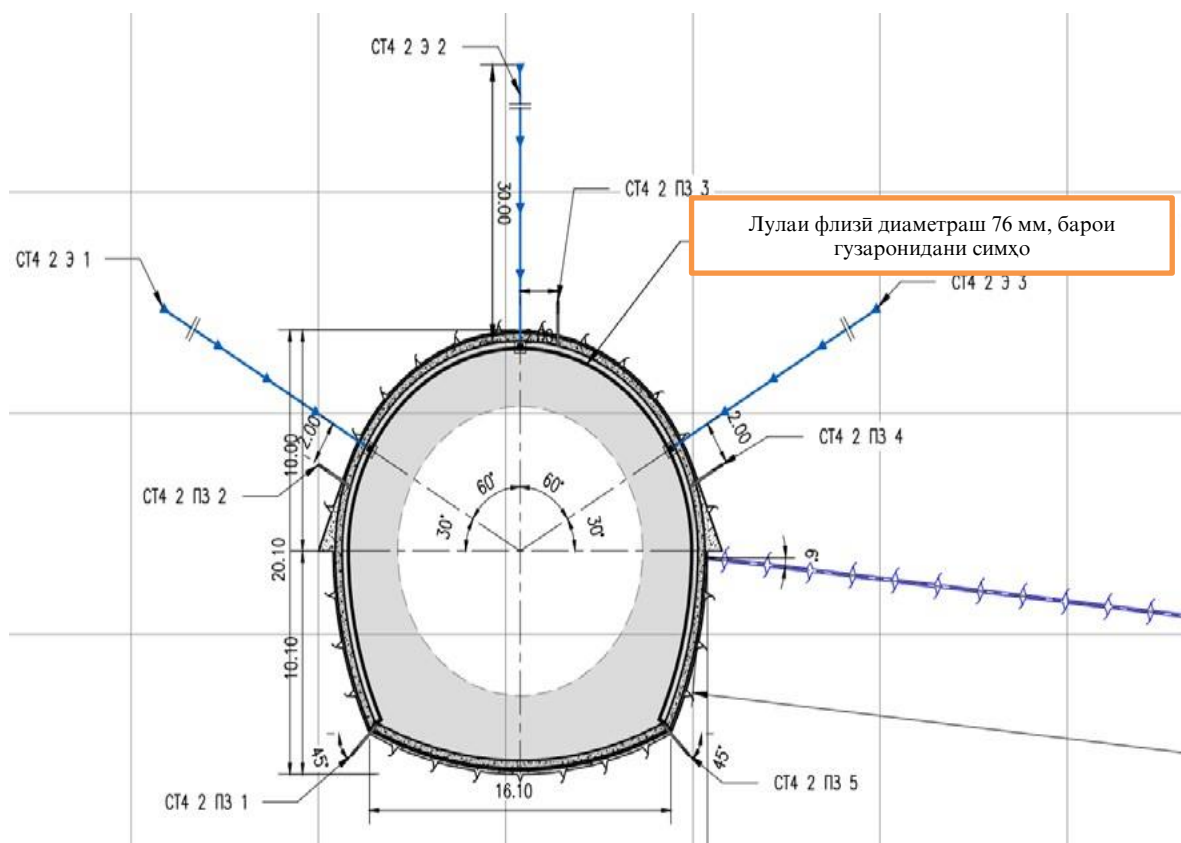
Диапазони ченкунӣ 0-12 метр аст

Иҷозат 5 см (0,05 м)

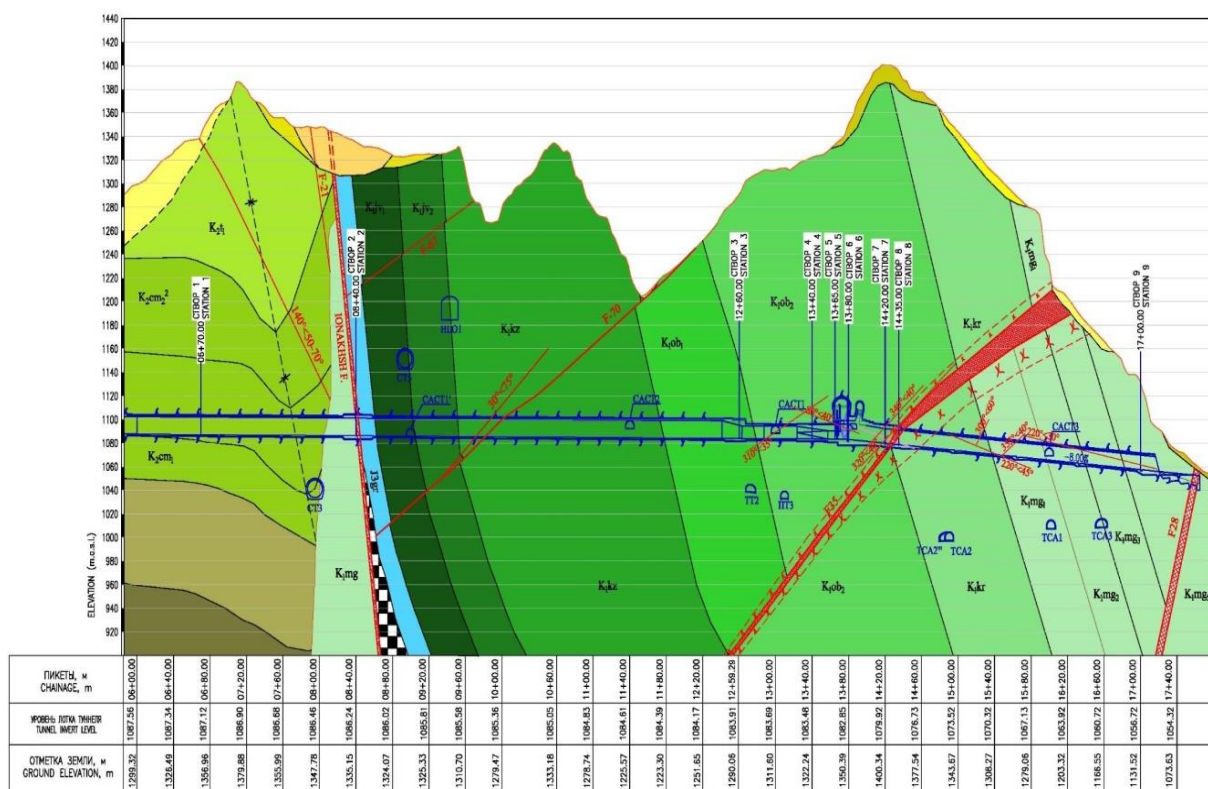
DT4-XX-VC-XX – Камераи видео

Иҷозат 4 МП

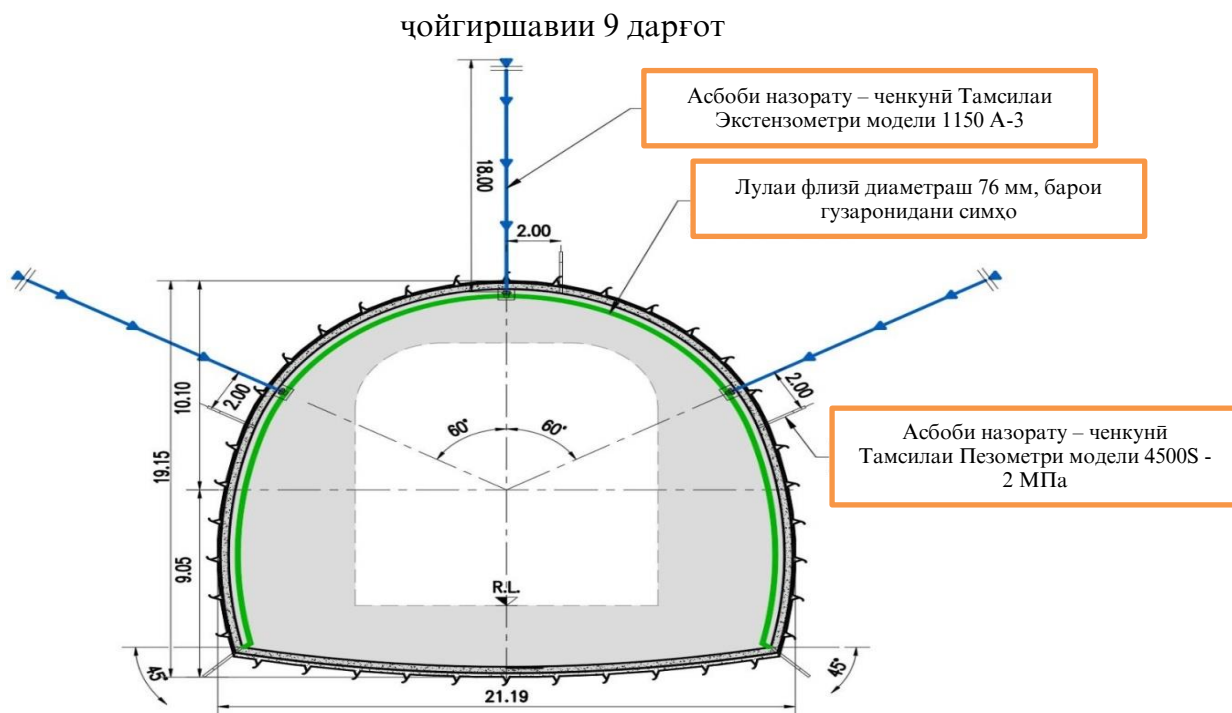
Мақсади асосӣ интиҳоби нақшаи ҷойгиркунии дастгоҳӣ назорату ченкунӣ (ДНЧ) барои чен кардани параметрҳои гидравликии қад-қади нақби сохтмони НС-4, муайян кардани намуд ва миқдори асбобҳои ченкунӣ дар қад-қади роҳи обпартои НС-4 ва талаботи асосӣ барои ҳар як намуди дастгоҳ. Инчунин таҳлили муфассали гидравликии АНЧ, ки бояд дар конструкцияи бетонӣ (рупушкунӣ) сохта шавад ва метавонад ба лоиҳа ва сохтмони ин иншоот таъсири калон расонад. Асбобҳои асосии ченкунии гидравликӣ, ки мавриди баррасӣ қарор доранд: датчикҳои сарфа ва фишор.



Расми 13. Экстенсометрҳои чоҳҳои бисёрнуқта дар хати асбобҳои назоратӣ-ченкунӣ (АНЧ), №2



Расми 14. Буриши тулии геологӣ НС-4 дар байни пикетҳои 06+00 м ва 17+16 м бо



Расми 15. Нақшаи намунавии ҷойгиркунии пезометрҳо ва экстенсометрҳо бо дарғот 7 ва 8

Системаи назорати нақби гидротехникии НС-4-и НБО-и Роғун дорои 9 дарғоти ченкунӣ - китъаҳои бо асбобҳои назорату- ченкуниро дарбар мегирад.

Нақшаи қабулшудаи ҷойгиркунии ДНЧ ва системаи мониторингӣ нақби сохтмонӣ НС-4-и НБО-и Роғун дорои 9 китъаи ченкунӣ - дарғот бо таҷҳизоти назорату ченкуниро дарбар мегирад. Ба датчикҳои асосии геотехникӣ, ки барои насб дар НС-4 дар байни пикетҳои 06+00 м ва 17+16 м пешбинӣ шудаанд, торҳои ларзиши пьезометрҳо ва экстенсометрҳои (VS) мебошанд.

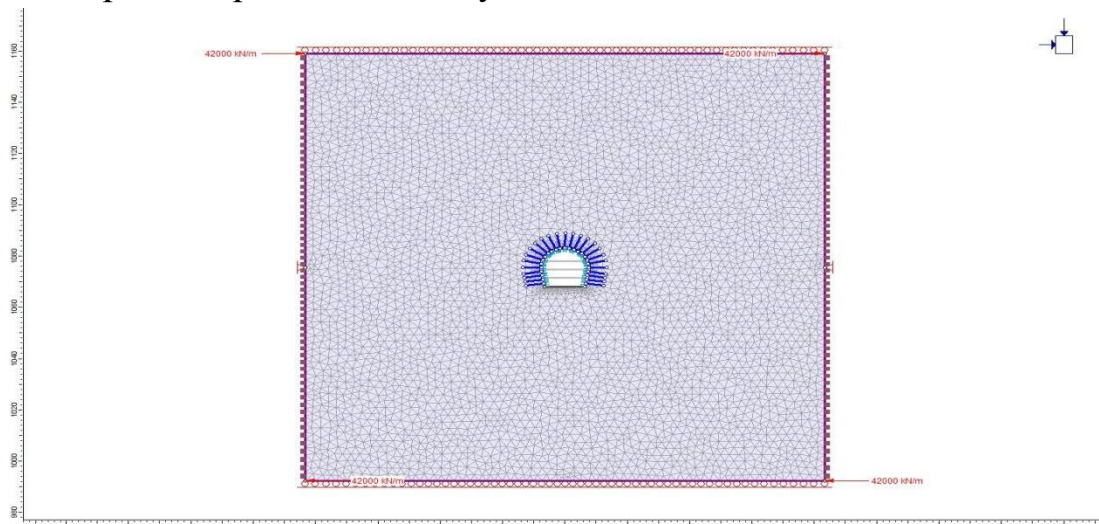
Боби 4. ҲИСОБИ НДС СТ – 4 БО УСУЛИ ЭЛЕМЕНТҲОИ НИҲОЙ ВА ТАВСИЯҲО БАРОИ ИНТИХОБИ КОНСТРУКСИЯИ БАСТА

Боби чорум ба ҳисобкунӣ бо истифода аз усули амсиласозии элементҳои ниҳой нақби гидротехникии НС-4 НОБ –и Роғун бахшида шудааст.

Ба сифати зинаи охири лоиҳаашии устуворкунии чинсҳо барои нақби бетамбагии НС -4 (аз пикети 13+82 м то 17+16м нақби НС -4) амсиласозии математикӣ қиматҳои нақб бо таҳқиқи шиддати чинси куҳӣ баъди коркарди нақби НС -4 баъди ҷойгиркунии системаи бастаи чинс иҷро карда шуд. Барои ин барномаи барои ҳисоби усули элементҳои ниҳой RS2, вер. 9.0 аз тарафи RocScience Co. аз Торонто, Канада пешниҳодшуда, истифода бурда шуд.

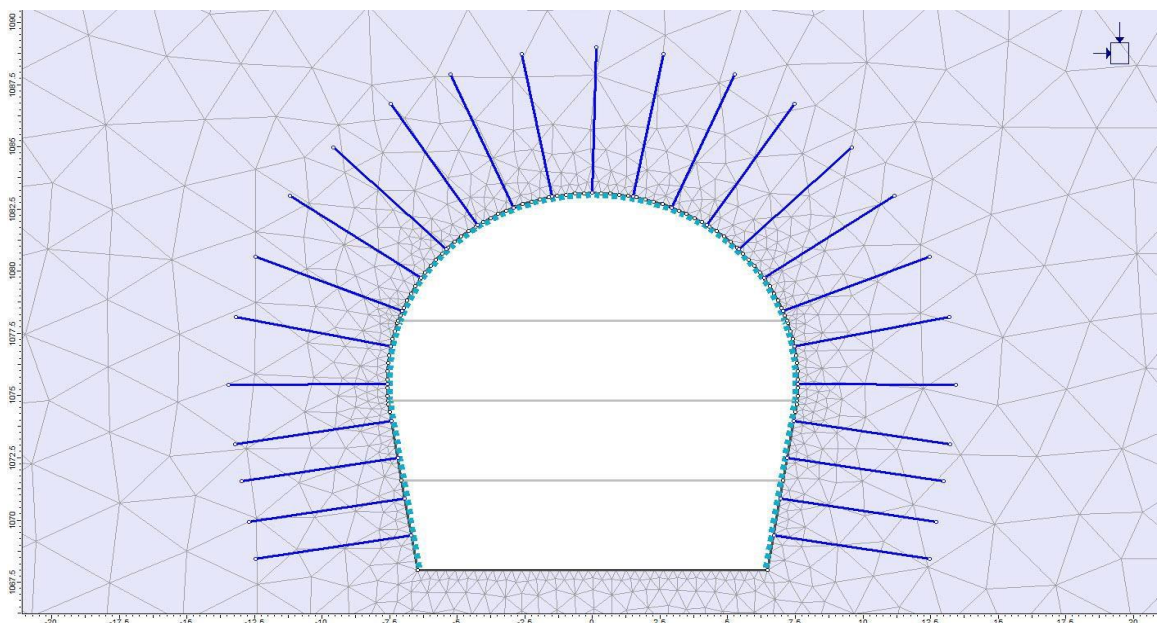
Барои қисмати наълшакли нақбҳои бетамбагии НС-4 дар пикети 15+50 м барои НС-4 дар массиви чинсҳо синфи Ia (буриши 1) амсилаи сохта шудааст, ки дар он ҷо насб кардани системаи мустаҳкамкунии санг

ба нақша гирифта шудааст дар намуди D4-I, аз ҷумла торкрет-бетони ғафсии 10 см бо 1 қабати торҳои металии $\varnothing 6@150 \times 150$ мм, инчунин лангарҳои пурра сементшаванда $\varnothing 32$ мм $L=5.85$ м $@1.5 \times 1.5$ м. Андозаи ҳар як нақби бетамбагии дар ин амсила баъди коркард 15,15 м баландӣ ва 15,20 м бари нақбро ташкил мекунад.

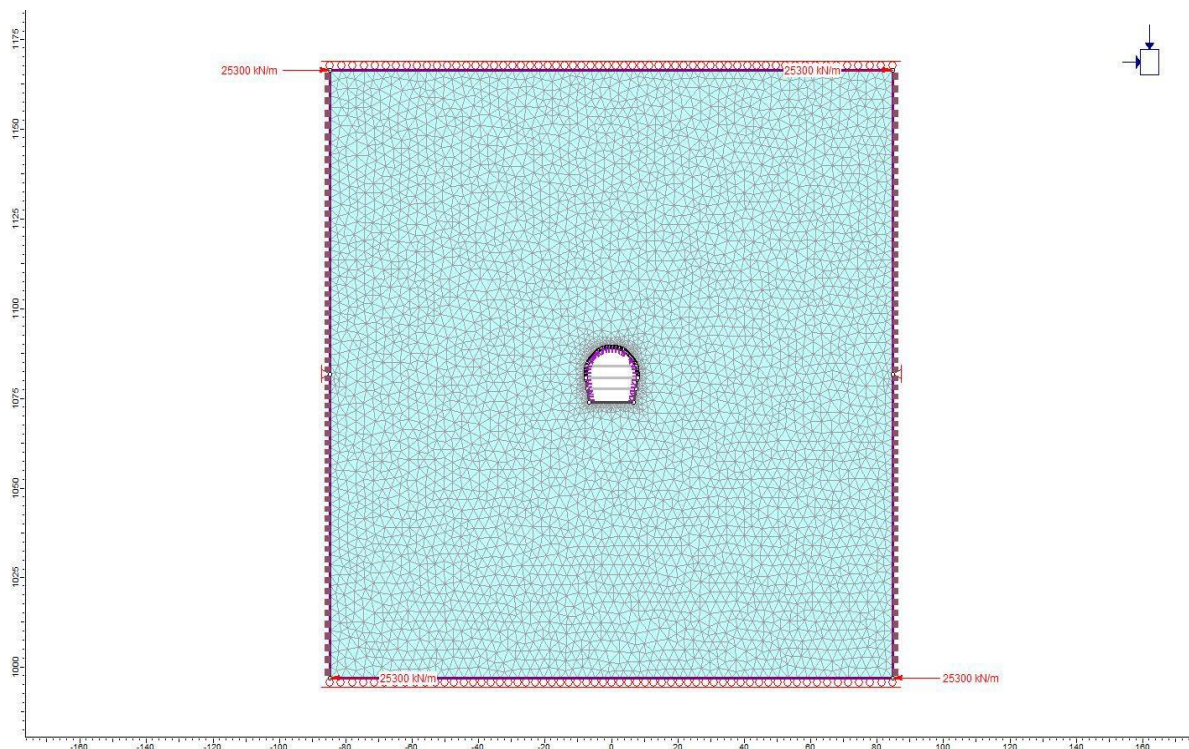


Расми 16. Шакли умум амсиласозии К-Э бетамбагии нақби НС-4 дар буриши 1

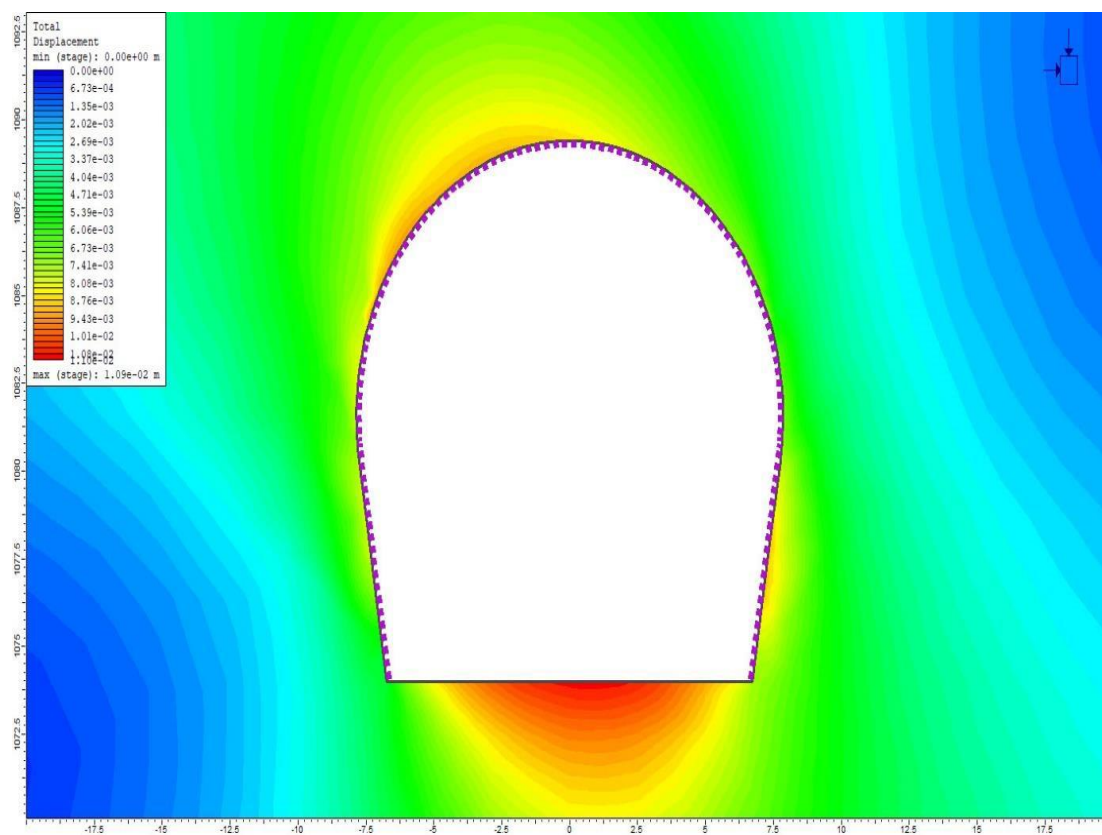
Барои буриши наълшакли нақбҳои бетамбагии НС-4 дар ПК 15+20 м барои НС-4 дар массиви чинсҳо синфи III-а (буриши 2) амсилаи сохта шудааст, ки дар он ҷо насб кардани системаи мустаҳкамкунии чинсҳо ба нақша гирифта шудааст дар шакли D4-II, аз ҷумла торкретбетон ғафсиаш 5 см, бетони мустаҳкамнашудаи ғафсӣ 30 см C25/30 ва қабурғаи пӯлоди IPE240 мм $@1,0$ м. Андозаи ҳар як нақби бетамбаги дар ин амсила баъди коркард кандан 15,40 метр ва 15,70 метр баландиро ташкил мекунад.



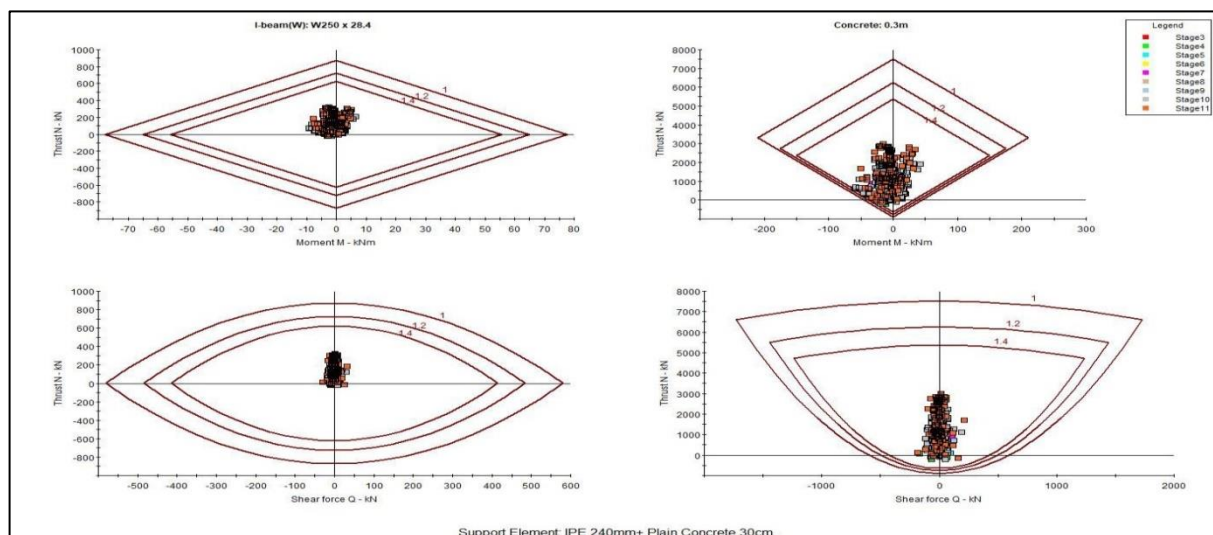
Расми 17. Шакли васъшудаи амсиласозии К-Э бетамбагии нақби НС-4 дар буриши 1 –Марҳилаи II



Расми 18. К-Э амсилаи нақби бетамбагии НС-4 дар буриши 2, синфи массив чинсҳо III-а, намуди мустаҳкамкунӣ чинсҳо дар D4-II, аз ҷумла торкретбетон ғавсии 5см, ғавсии бетони мустаҳкамнашуда 30см C25/30 ва қабурғаи пӯлоди IPE240 мм @1.0 м –Марҳилаи II



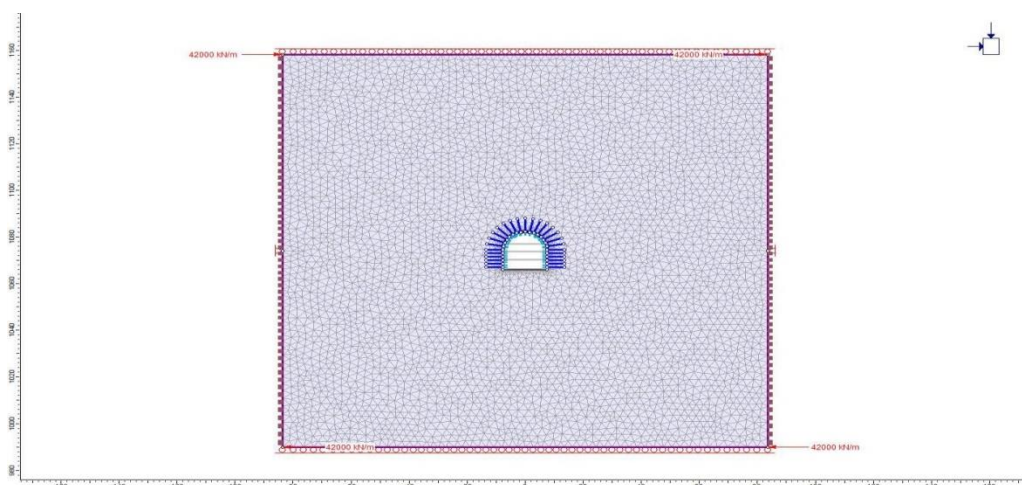
Расми 19. Ҷойивазкунии умумӣ дар массиви чинсҳо дар атрофи нақбҳои бетамбагии НС-4 дар буриши 2 - Марҳилаи II



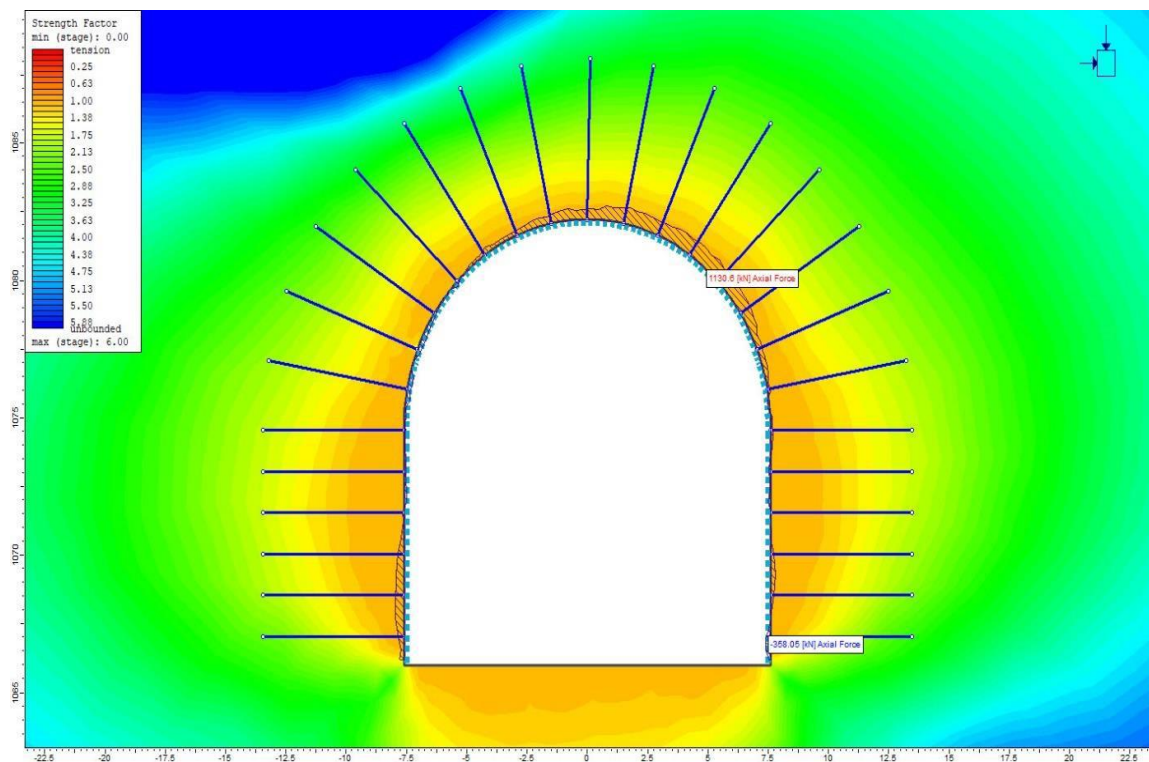
Расми 20. Иқтидори борбардории бетони бе арматур ва қабурғаи пӯлодӣ дар руйпуши буриши 2 нақби бетамбагии НС-4

Таҳлили шиддатҳо нишон дод, ки чорабиниҳо барои устуворкунии чинсҳо барои ин буриш функционалии худро дар зинаҳои гуногун барои бурдани корҳои чоҳкани нигоҳ медоранд. Қайд бояд намуд, ки бо дарназардошти истифодаи қувваи зилзилавӣ баробари зминчунбӣ хангоми гузаронидани корҳои чоҳкани дар нақбҳои бетамбагӣ ($OBE = 0.27g$), имконияти ҳосил намудани устуворӣ дар буриши 2 ҳаст ва нақб баъди гузоштани чунин қувваҳо дар ҳолати коршоямӣ меистад.

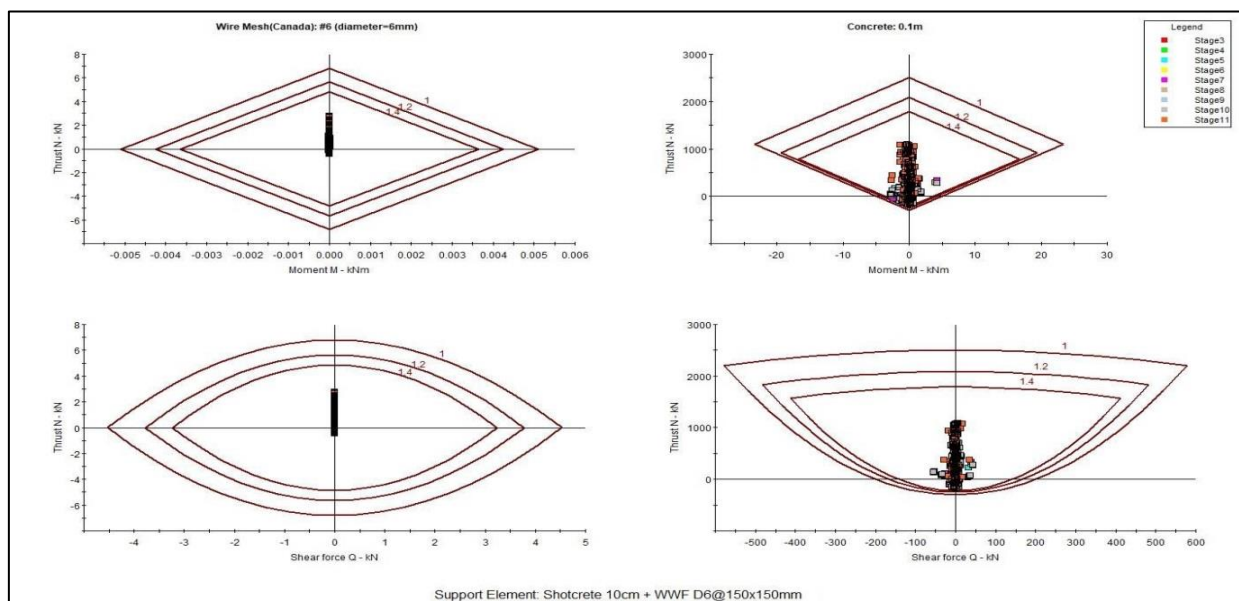
Ин амсила барои буриши D-шакл нақби бетамбагии НС-4 дар ПК. 15+70 м барои нақбҳои НС- 4-А ва СТ4-В дар массиви табиӣ синфи 1-а (буриши 3), ки гузоштани устуворкунии чинси D4-IV бо дарназардошти торкретбетон бо ғафсии 10 см бо як қабат симтурӣ металии кафшершудаи $\varnothing 6 @ 150 \times 150$ мм пешбинӣ шудааст ва пурра бо мурватҳои $\varnothing 32$ мм, $L=5.85$ м $@ 1.5 \times 1.5$ м семент карда мешавад. Андозаҳои ҳар як нақби бетамбагӣ дар ин амсила баъди гузориш баландии 16.20 ва 15.20 ташкил медиҳад.



Расми 21. Намуди умумии К-Э амсила нақбҳои бетамбагии НС-4 дар буриши 3, синфи массиви чинсҳо I-а, намуди мустаҳкамкунии чинсҳо D4-IV, аз ҷумла 10 см торкрет-бетони армиронишуда бо 1 қабати WWF $\varnothing 6 @ 150 \times 150$ мм ва мурбатҳои лангарии пуррасементшавандаи $\varnothing 32$ мм, $L=5.85$ м $@ 1.5 \times 1.5$ м - Марҳилаи II.



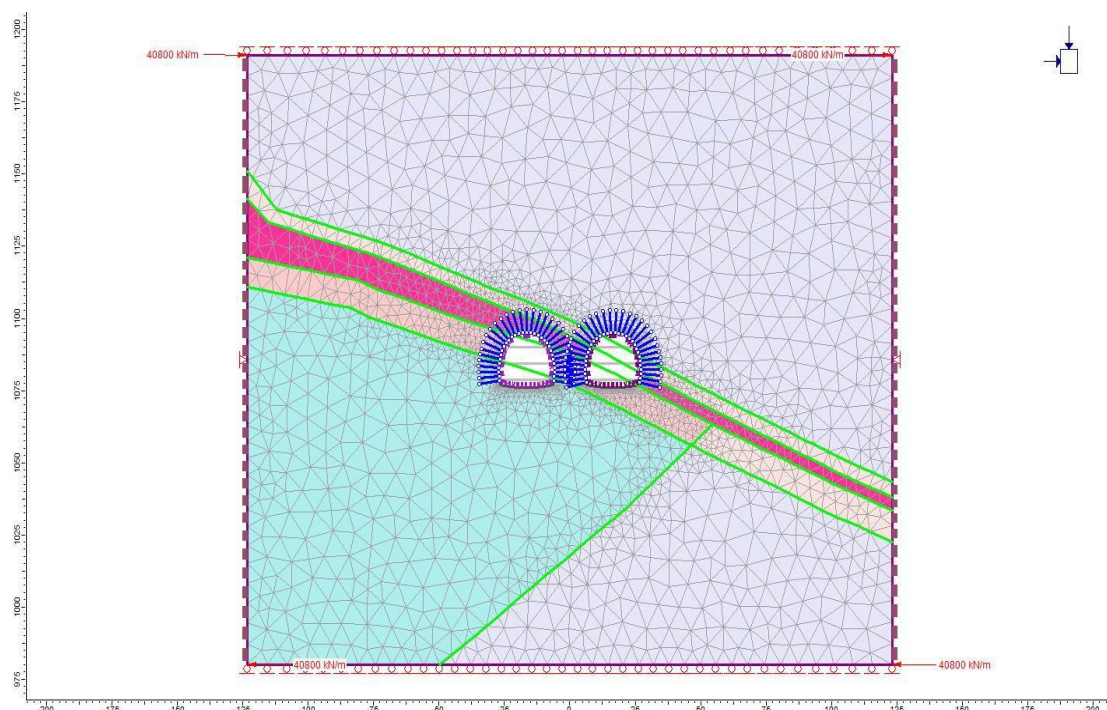
Расми 22. Зариби мустаҳкамӣ дар массиви чинсҳо дар атрофи нақбҳои бетамбагии НС-4 ва қувваҳои меҳварӣ рӯйпушкунӣ дар буриши 3 -Марҳилаи II.



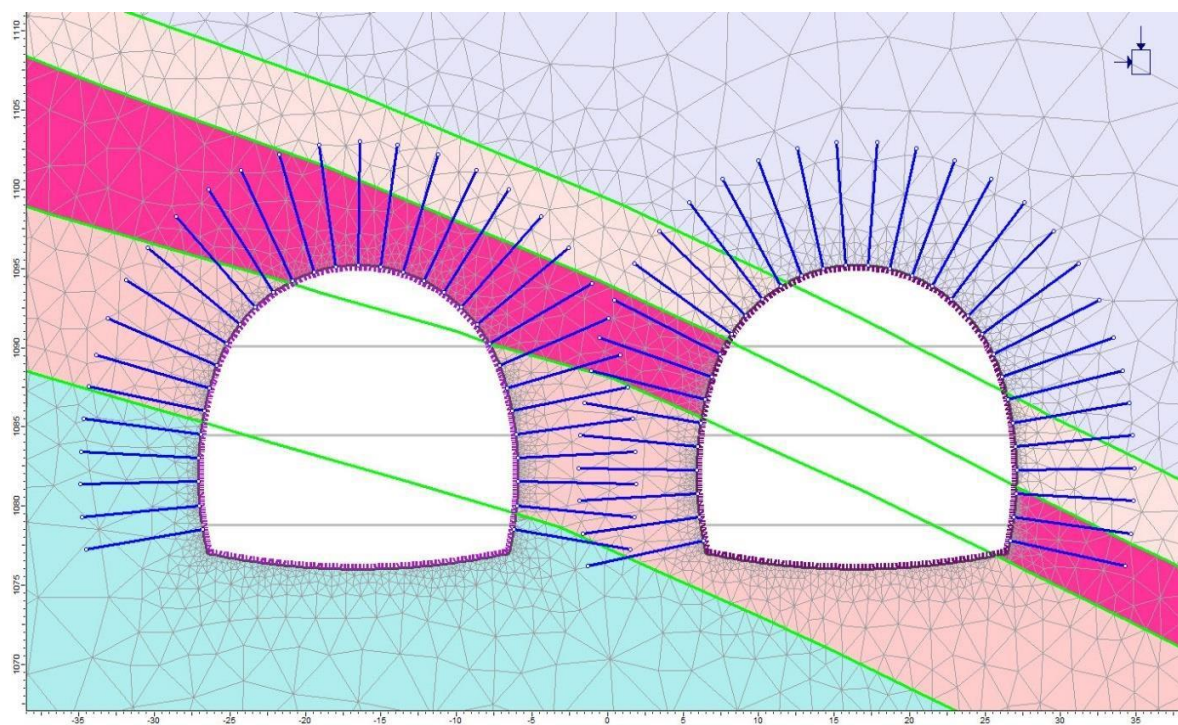
Расми 23. Иқтисори мустаҳкамӣ бетони торкретии армиронишуда дар буриши 3 нақби бетамбагии НС-4

Ин амсила барои қисмати наълшакли нақбҳои бетамбагии НС-4 сохта шудааст дар ПК14+30 м нақбҳои НС4-А ва НС4-В дар массиви чинсҳо синфи IV (буриши 6), ки дар он ин нақбҳо аз минтақаи шикасти 35 мегузаранд ва насб кардани бастан чинсҳо намуди XXV, аз ҷумла бетони торкретии 5 см ғафсӣ, бетони бетаъсир С25/30 ғафсӣ 35 см ва қабурғаи пӯлодӣ IPE300 мм @1,0 м (дар равоқи нақб, деворҳои канорӣ

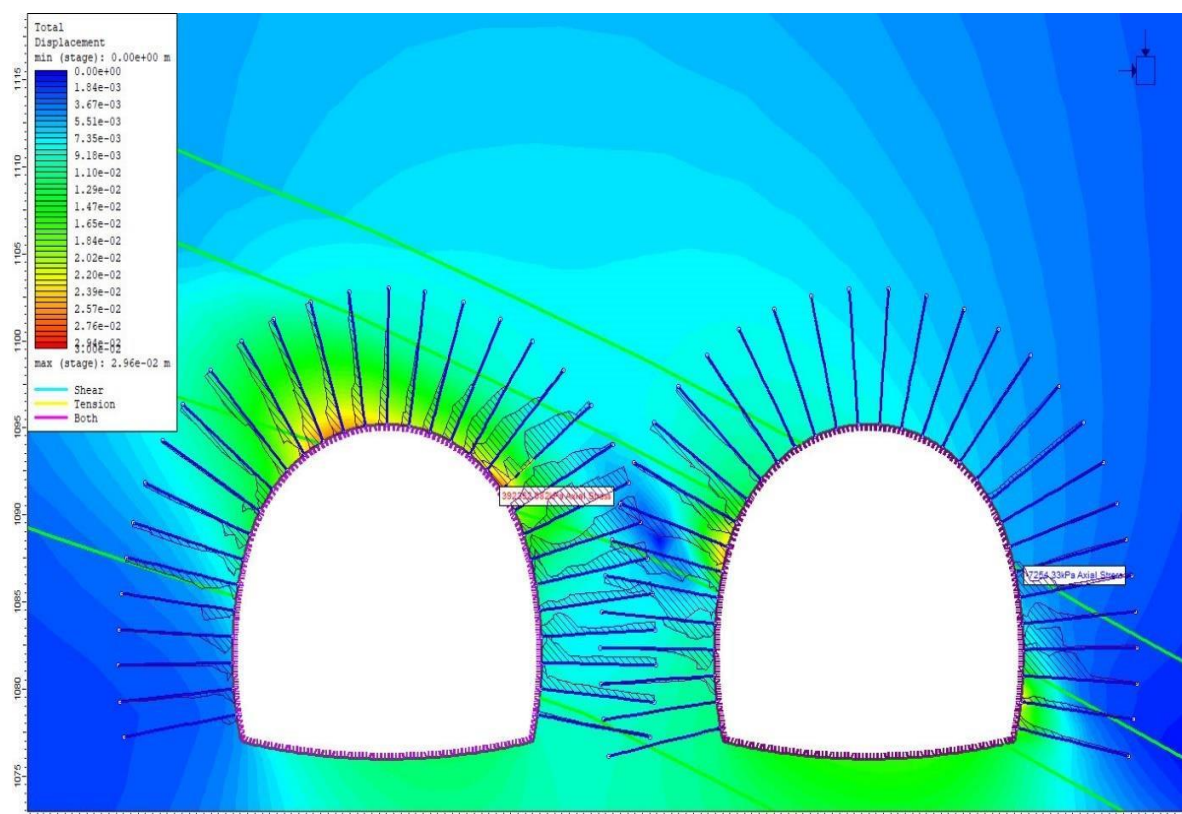
ва қисми чўйбор) ва мурбатҳои лангари сементшаванда Ø40 мм, L= 7,80 м @1,5×1,0 м. Андозаи ҳар як нақби бетамбағи дар ин амсила баъди коркард болори 19,20 метр ва паҳнои 21,20 метр ташкил медиҳад.



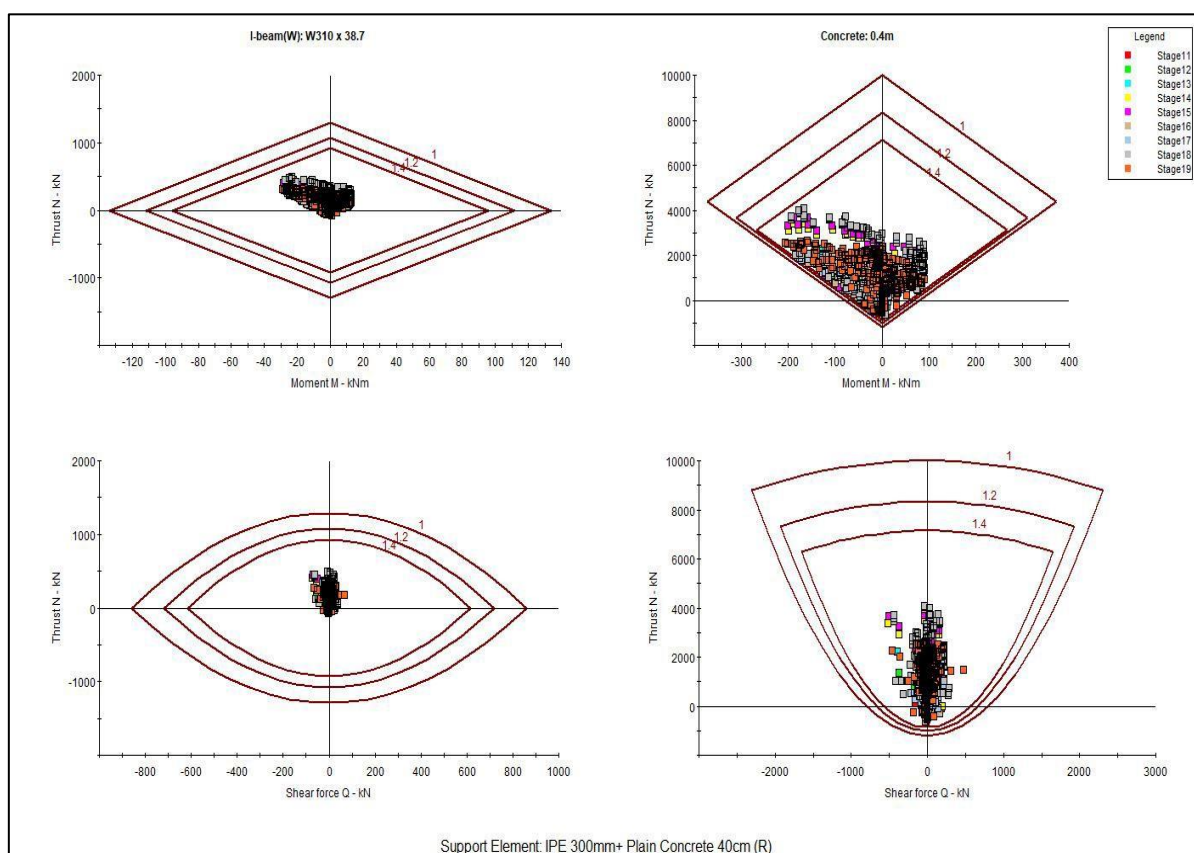
Расми 24. Шакли умум амсиласозии К-Э бетамбағии нақби НС-4 дар буриши 6



Расми 25. Шакли васъшудаи амсиласозии К-Э нақби бетамбағии НС-4 дар буриши 6
–Марҳилаи 19



Расми 26. Ҷойивазкунии умумӣ дар массиви чинсҳо дар атрофи нақбҳои бетамбагии НС-4 ва фишори меҳварӣ дар мурбатҳои лангар дар буриши 6 - Марҳилаи 19



Расми 27. Иқтидори борбардории бетони армиронишуда ва қабурғаи пӯлодӣ рӯйпушкунӣ дар буриши 6 нақби бетамбагии НС-4 – нақби рост

Бо назардошти мустаҳкамкунӣ чинсҳо, ки дар асоси натиҷаҳои усулҳои тарҳрезии эмпирӣ, аналитикӣ ва математикӣ пешниҳод шудаанд, яъне. бо истифода аз таҳлилҳои Q₂₀₁₅, UnWedge ва К-Э, амсиласозии нақбҳои бетамбагии НС-4, инчунин бо дар назардошти ҳисоби шакл ва андозаи буришҳои арзи ғафсии қабати бетонӣ дар ин минтақа, синфҳои рӯйпушкунӣ тавсия дода мешаванд.

Бояд қайд намуд, ки беназардошти он нисбати нақбҳои бетамбагӣ санҷиши мустаҳками фонаҳо, бо интиҳоби лозимаи сохтори васлнамой ҳисобҳо тариқи чораҳои консервативӣ, ки бо пешниҳоди натиҷаҳои К-Э санҷиш, тарзи ба ҳисобгири Q₂₀₁₅ вобаста ба нишондоди ҷадвал гузаронида мешавад. Камбудии асосии интиҳоби қабурғаҳои пулодин ва бетонҳои бетаквият ин дастрасии масоҳҳои сохтмони дар абъекти сохташавандаи НБО Роғун мебошад. Ҳамзамон системаи воқеии RRS мувофиқа ба пешниҳоди Q₂₀₁₅ ва дар якҷоягии омехтаи бетони пошшаванда дар ин лоиҳа истифодабари нашудааст.

Ҳангоми гузариш аз нақби бетамбагии НС-4, ки ҷавобгуи талаботҳои лозимаи синфҳои маҳкамкунӣ ҳамзамон муайянкунандаи геотехникӣ - муҳандисиро дар объекти сохтмонӣ бо назардошти назорати воқеии шароити ҳокҳо гузаронида шудааст. Бо ибораи дигар натиҷаҳои мушоҳидаҳо ва ҳолати воқеии геотехникӣ масиви чинсҳо, ҷойдоштанӣ НС4-БНТ, инчунин рафтори қайдгардида дар вақти зинаҳои гуногуни гузариш ва муҳофизати ҳокҳо ҳама гуна мутобиксозии зарурии синфҳои мустаҳкамкунӣ анҷом дода мешавад. Агар лозим бошад дар марҳилаи гузариш таҳлили минбаъда барои санҷиши синфҳои маҳкамкунӣ гузаронида мешавад, то бовари ҳосил шавад, ки системаи интиҳобшудаи маҳкамкунӣ барои ҳар як қисми нақб кофӣ мебошад, хусусан дар ҷойҳое, ки ҳолати ҳокҳо ва рафтори массивӣ чинсҳо аз он чизе, ки интизор мерафт, фарқ мекунад. Бояд қайд намуд, ки масофаи миёнаи байни васлнамойи чинсҳо ва рӯи пеши нақб пурра анҷом дода шудааст.

Чадвали 1. Синфҳои тавсияшудаи рӯйпушкунӣ дар минтақаи гузариш пас аз камераи поёнии дарвозаҳои НС-4 ва нақбҳои бетамбағӣ

№	Массиви кӯҳӣ	Наму-ди устуворкунии чинсҳо и кӯҳӣ	Пикетҳо (м)	Маъноии Q и GSI	Торкрет - бетон	Лангар пуррасементи шаванда	Бетони бе армату ракуно ни	Канорӣ пӯлодӣ
СТ4А								
1	K1kr & K1mg1 с тарқишҳои асосӣ	D4-I & D4-IV	14+88 - 15+07	0.61<Q<1.78 45<GSI<55	10 см ғавсӣ	Ø32мм, L = 5.85 m @ 1.5×1.5 m	-	-
2			15+38 - 15+89					
3			16+14 - 16+21					
4	K1mg1 с тарқишҳои асосӣ ва K1kr, K1mg1, K1mg2 & K1mg3 бо тарқишҳои дуюм	D4-II, D4-V, & D4-VI & D4-VII	14+60 - 14+88	0.22<Q<1.00 40<GSI<55	5 см ғавсӣ	-	30 см ғавсӣ	IPE 240 мм, фосила 1.00 м
5			15+07 - 15+38					
6			15+88 - 16+14					
7			16+21 - 17+16					
8	K1kr (Вайроншуда и минтақаи шикастаи 35)	D4-IIIa	14+37 - 14+60	0.17<Q<0.44 35<GSI<40	5 см ғавсӣ	-	40 см ғавсӣ	IPE 300 мм, фосила 1.00 м
9	K1ob2 с тарқишҳои асосӣ	XX, XXI, XXII & XXIII	13+82 - 14+03	0.28<Q<0.59 50<GSI<55	5 см ғавсӣ	Ø40мм, L = 7.80 m @ 1.5×1.0 m (деворҳо)	35 см ғавсӣ	IPE 300 мм, фосила 1.00 м
10	K1ob2 & K1kr (Вайроншуда и минтақаи шикаста 35)	XXIV & XXV	14+03 - 14+07	0.17<Q<0.44 35<GSI<40	5 см ғавсӣ	Ø40мм, L = 7.80 m @ 1.5×1.0 m (болои нақб ва деворҳо и канорӣ))	35 см ғавсӣ	IPE 300 мм, фосила 1.00 m (болои нақб ва деворҳои канорӣ)
11			14+28 - 14+37					
12	Минтақи шикаста 35	XXV	14+07 - 14+28	0.017<Q<0.028 25<GSI<30	5 см ғавсӣ	Ø40мм, L = 7.80 m @ 1.5×1.0 m (болои нақб ва деворҳо и канорӣ)	35 см ғавсӣ	IPE 300 мм, фосила 1.00 m (болои нақб ва деворҳои канорӣ)

ХУЛОСА

Натиҷаҳои асосии илмӣ диссертатсия

1. Натиҷаҳои мушоидаҳо ва ҳолати вақеи ҷинси геотехникии бузург дар НС-4, инчунин рафтори он ҳангоми корҳои нақбкани ва мувозинатии хокҳо дар зинаҳои гуногун бо дарназардошти омилҳои геологӣ – муҳандисӣ, ки ба тавсифи мустаҳкамӣ устувории ҷинсҳои куҳӣ таъсир мерасонад. Агар дар зинаи нақбкани лозим доништа шавад, таҳлили минбаъда бо мақсади санҷиши синфи тиргакҳо (крепи) гузаронида мешавад, ба хотири он ки системаи интиҳобшудаи тиргакҳо (крепи) барои ҳар як қисми нақб мустаҳкам аст, хусусан ин ба мавқеи ҷойгиршавӣ дахл дорад, ки ҳолати хок ё рафтори бузургии табиӣ аз рафтори хокҳои дарназардошташуда метавонад фарқ намояд [1-М, 4-М, 8-М].

2. Аз рӯи натиҷаҳои амсиласозии рақамӣ ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунӣ нақби бетамбагии гидротехникӣ ва коркарди тавсияҳо оиди интиҳоби намуди конструксияи борбардор бо дарназардошти зилзилатобоварии иншоот муқаррар карда шуд, ки масофаи максималии байни ҷинси тиргак (крепи) ва тегаи рӯи нақб бояд 2-3 м барои $Q_{min} > 0.6$, ва 1,5 м барои $Q_{min} < 0.6$ таъкил намояд [2-М, 3-М, 4-М, 6-М, 8-М].

3. Таҳлили устувории нақби гидротехникии НС-4 ҳангоми лоиҳакашӣ дар тиргакҳои сангин бо се усул гузаронида шуда аст; 1 бо истифодаи усулҳои эмперикӣ, аналитикӣ ва математикӣ [2-М, 3-М, 4-М, 6-М, 8-М, 17-М, 19-М].

4. Коркарди тавсияҳо оиди интиҳоби синфҳои тиргакӣ (крепи) барои қисмҳои гуногуни литологӣ нақби гидротехникии НС-4 аз рӯи шартҳои муҳандисӣ – геологӣ дар асоси натиҷаҳои амсиласозӣ [9-М, 13-М, 15-М, 20-М, 22-М].

5. Нақшаи ҷойгиршавии КИА қабул карда шуд ва системаи мониторинги сохтмони нақби НС-4 НБО-и Роғун ба худ 9 ҷойи банди ченкунӣ – қитъаҳо бо асбобҳои назоратӣ-ченкуниродар бар мегирад. Ба хабардиҳаҳои асосии геотехникӣ, ки барои гузоштан дар НС-4 байни пикетҳои 06+00 м ва 17+16 м пешбини шудааст, пезметрҳо ва экстензометрҳои тордори ларзишхуранда дохил мешаванд [1-М, 2-М, 3-М, 4-М].

6. Натиҷаҳои мониторинги геотехникии асбобҳои назоратӣ-ченкунӣ (КИА) нақби сохтмони НС-4 НОБ-и Роғун ба даст оварда шуд [1-М, 2-М, 3-М, 4-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо:

1. Синфҳои ҷинсҳои тиргакӣ бо дарназардошти усулҳои лоиҳакашии эмперикӣ, аналитикӣ ва математикӣ пешниҳод карда шуд, яъне бо истифодаи таҳлилҳои Q_{2015} , UnWedge ва К-Э амсиласозии нақбҳои бетамбагии НС-4, инчунин ҳисоби шакл ва андозаҳои буриши кундалангӣ, ғафсии қабати бетон дар минтақаи додашуда ба назар гирифта шуд.

2. Таҳлили устувории фонаҳо ҳангоми интиҳоби системаи лозимаи тиргакҳо аз он шаҳодат медиҳад, ки ҳангоми ҳисобкунӣ нисбатан чораҳои консервативӣ қабул карда шудааст, бо дарназардошти натиҷаҳои таҳлили

К-Э ва Q_{2015} тавре, ки дар чадвали 4.1. нишон дода шудааст. Сабаби асосии интихоби кабурғаи пулодӣ ва бетони беқабатдор дастрас будани масолеҳҳо дар иншооти сохта шудаистодаи НОБ-и Роғун шиносои бо пудрадчиёни маҳали мебошад. Дар баробари ин системаи ҳозираи RRS пешниҳод гардида дар мувоффиқатии бо Q_{2015} ва бетони пошнахуранда дар лоиҳаи мазкур истифода нашудаанд.

3. Натиҷаҳои таҳқиқотҳои геотехникӣ аз он ҷумла ҷустуҷӯи ҷинсҳои вайроннашуда ва яклухтнабудаи асосӣ, инчунин таснифоти бузурги ҷуҳӣ бо усулҳои пешниҳод шудаанд. Дар асоси натиҷаҳои ҷунин ҷустуҷӯӣҳо параметрҳои геомеханикӣ намудҳои гуногуни бузургиҳои ҷуҳӣ бо истифодаи амиқӣ GSI ва омилҳои вайроншавии Hoek-Brown баҳогузори карда шудааст.

4. Дар асоси усули нави австриягии кандани нақбҳо (NATM) муайян гардид, ки назорати доимӣ ва мониторинги як қисми ҷудонашавандаи раванди кандани зеризаминӣ мебошад.

Литература

1. Earth At night. Averaged over 2021. Night lights in Google Maps. The Earth Observation Group

2. World Energy Perspective Cost of Energy Technologies (англ.). ISBN 978 0 94612 130 4 11. WORLD ENERGY COUNCIL, Bloomberg (2013). Дата обращения: 29 июля 2015. Архивировано из оригинала 1 мая 2015 года.

3. World Energy Perspective (англ.). Мировой энергетический совет (2013). Дата обращения: 20 октября 2019. Архивировано 20 октября 2019 года.

4. IEA. Tajikistan Energy Sector Review 2022. Available at: <https://www.iea.org/reports/tajikistan-2022>

5. NGI Handbook, 2015, "Using the Q-System, Rock Mass Classification and Support Design", pp. 32-35. // Руководство Норвежского горного института, 2015, «Использование системы Q, классификация горных массивов и проект крепи», стр. 32-35.

6. Marinos V., 2010, "New Proposed GSI Classification Charts for Weak or Complex Rock Masses", Bulletin of the Geological Society of Greece Vol. 43. // Новые предложенные диаграммы классификации GSI для слабых или сложных горных массивов, Бюллетень геологического общества Греции, том 43.

7. Hoek E., Carter, T.G., Diederichs, M.S., 2013, "Quantification of the Geological Strength Index Chart".//Хоек Э, Картер Т.Г., Дидерихс М.С., 2013, «Количественное представление диаграммы индекса геологической прочности».

8. Hoek E. et al., 2002, "Hoek-Brown Failure Criterion - 2002 Edition".// Критерий разрушения Хоек-Браун – издание 2002 года.

9. Hoek E., 2007 Edition, "Practical Rock Engineering", [http://www.rocscience.com / hoek /corner/Practical Rock Engineering.pdf](http://www.rocscience.com/hoek/corner/Practical%20Rock%20Engineering.pdf). // Хоек Э, изд. 2007 г. «Практическое руководство по горному делу».

10. Barton N., 2002, "Some new Q-value correlations do assist in site characterization and tunnel design", Int. Jour. Roc. МeПк & Min. Sci., 39, pp. 185-216. // Бартон Н., 2002, «Некоторые новые корреляции значения Q с целью поддержки при описании характеристик площадок и проектировании туннелей», Межд.журнал механики грунтов и горного дела, 39, стр. 185-216.

11. Ходжикентская ГЭС. АО «Гидропроект». Дата обращения: 2 февраля 2022. Архивировано 25 сентября 2021 года.

РУЙХАТИ КОРҲОИ НАШРШУДА ДАР МАВЗУИ РИСОЛА
Мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмие, ки аз ҷониби КОА-и назди Президенти
Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия шудаанд:

[1-А]. Хасанов М.Н. Применение КИА для измерений гидравлических параметров в тоннеле СТ-4 Рогунской ГЭС / Н.М. Хасанов, М.Х. Саидов, М.Н. Хасанов // Кишоварз. ДАТ. Теоретический и научно-практический журнал №1.-С.115-121

[2-А]. Хасанов М.Н. Выбор конструктивной обделки и цементационные работы строительного тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС / М.Х.Саидов, М.А.Сулаймонова, М.Н.Хасанов // Политехнический Вестник №1. ТТУ, 2024. -С.200-208.

[3-А]. Хасанов М.Н. Выбор крепи участка разветвления строительного тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС / М.А. Сулаймонова, М.Н. Хасанов, А.М. Алимардонов, С.А.Саидов // Политехнический Вестник №1. ТТУ, 2024.-С.212-220.

[4-А]. Хасанов М.Н. Расположение геотехнических контрольно-измерительных приборов и системы мониторинга в СТ-4 Рогунской ГЭС /Н.М. Хасанов, Д.К. Давронов, М.Н. Хасанов // ТНУ, Серия геологических и технических наук 2024. №1. –С.75-83

[5-А]. Хасанов М.Н. Таҳқиқоти конструксияҳои обгузаронанда бурришаш мудаввар аз таъсири қувваҳои зилзилавӣ /М.Х.Саидов, М.С.Ситамов, М.Н.Хасанов //ТНУ, Серия геологических и технических наук 2024. №1. –С.104-114

[6-А]. Хасанов М.Н. Геотехнической мониторинг контрольной измерительной аппаратурой для СТ-4 Рогунской ГЭС /Н.М. Хасанов, М.Х. Саидов, М.Н. Хасанов // Политехнический Вестник №4. ТТУ, 2023. -С.120-128

[7-А]. Хасанов М.Н. Зависимость минимальной глубины заложения напорных необлицованных тоннелей /М.Н. Хасанов, М.Х. Саидов //ТНУ-Душанбе: ТНУ, Серия геологических и технических наук 2023. №3. –С 28-33

[8-А]. Хасанов М.Н. Укрепительная цементация оснований плотин в гидротехнических сооружениях/А.Дж. Ятимов, Н.М. Хасанов, Ф.А. Холов, М.Н. Хасанов // Политехнический Вестник №1, ТТУ, 2023. -С.176-183

[9-А]. Хасанов М.Н. Анализ результатов исследований напряжений проявляющихся вокруг подземных выработок /А.Дж. Ятимов, Н.М. Хасанов,

Ф.А. Холов, М.Н. Хасанов //ТНУ- Душанбе: ТНУ, Серия геологических и технических наук 2023. №1. –С.151-158

[10-А]. **Хасанов М.Н.** Результаты натурных измерений статических анализов и их оценки при проходке гидротехнических сооружений /Н.М. Хасанов, Ф.А. Холов, А.М. Алимардонов, М.Н. Хасанов // Политехнический Вестник №4, ТТУ, 2022. -С.112-120.

[11-А]. **M.N. Hasanov.** Peculiarities of swelling eocene clays as the base of structures / M.M. Zakirov, I.A. Agzamova, M.N. Hasanov //Tashkent state technical university named after islam kartimov. Tashent 2021. №1(07). -С.161-168

Мақолаҳо дар дигар нашриёт:

[12-А]. **Ҳасанов М.Н.** Зилзилатобоварии констрuksияҳои обгузарон хангоми таъсири зарбавии воситаҳои нақлиёт /М.А. Сулаймонова, М.Н. Ҳасанов, М.М. Зувайдов //МНПК, «Водные ресурсы, инновация, ресурсо- и энергосбережения», 6-7 октября 2023 года, г.Душанбе, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана. С.282-289

[13-А]. **Хасанов М.Н.** Инженерно - геологические условия и их влияние на напряженно-деформированное состояние подходного САСТ-5 Рогунской ГЭС /Ф.А. Холов, М.Н. Хасанов //МНПК, «Водные ресурсы, инновация, ресурсо- и энергосбережения», 6-7 октября 2023 года, г.Душанбе, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана. С.257-265

[14-А]. **Хасанов М.Н.** Влияние подземных вод на возникновения аварийных ситуаций в транспортных тоннелях /М.Н. Хасанов, М.А. Сулаймонова //Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии устодон, донишҷӯён, магистрантҳо ва аспирантону унвонҷӯён таҳти унвони «Дурнамои тараққиёти истеҳсоли масолеҳҳои сохтмонӣ дар ҷумҳурии тоҷикистон », 31-уми март соли 2023, ДТТ. Душанбе. –С.252-257

[15-А]. **Хасанов М.Н.** Воздействие наземного транспорта на тоннели мелкого заложения /Н.М. Хасанов, М.Н. Хасанов //МНПК на тему: «Куатбековские чтения-1: Уроки Независимости», посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан 23 апрель 2021 г. С.343-348

[16-А]. **Хасанов М.Н.** Строительство гидротехнических тоннелей Сангтудинской ГЭС-1/Н.М. Хасанов, М.Н. Хасанов //МНПК, «Прикладные исследования и экспериментальные разработки в области естественных и технических наук» г. Белгород, 28 октября, Россия. 2020. -С.59-66.

[17-А]. **Хасанов М.Н.** Зависимость сейсмостойкости водопропускных сооружений от ударных нагрузок транспортных средств/Н.М. Хасанов, М.Н. Хасанов //МНПК, «Прикладные исследования и экспериментальные разработки в области естественных и технических наук» г. Белгород, 28 октября, Россия. 2020. -С.53-59

[18-А]. **Хасанов М.Н.** Влияние сейсмических воздействий взрывов на устойчивость гидротехнических сооружений /Н.М. Хасанов, М.Н. Хасанов//

V Международная (XI Всероссийская конференция) Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. 25-26 ноября. ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова». -С.230-237

[19-А]. Хасанов М.Н. Улучшение оснований плотин ГЭС с помощью цементации /Н.М. Хасанов, А.Дж. Ятимов, М.Н. Хасанов // МНПК, г. Белгород, Россия. 30 октября 2019. -С.95-98

[20-А]. Хасанов М.Н. Натурные наблюдения за осадками грунта плотины в период строительства / Ё.Х. Ядгаров, М.Н. Хасанов // РНПК. ТТУ. факультет. «Строительство и архитектуры». 2019. –С. 206-213.

[21-А]. Хасанов М.Н. Теоретические и экспериментальные исследования сейсмостойкости подземных пешеходных переходов/Н.М. Хасанов, И. Носиров, М.Н. Хасанов //МНПК, «Естествознание, техника, технологии: современные парадигмы и практические разработки» г. Белгород, 30 октября, Россия. 2019 г. С.91-94.

[22-А]. Хасанов М.Н. Применение цементации для улучшения оснований плотин ГЭС /А.Дж. Ятимов, М.Н. Хасанов // РНПК. ТТУ. Факультет. «Строительство и архитектуры». 2019. – С. 223-228.

Патент:

[23-А]. Хасанов М.Н. Конструкция водопропускного сооружения[Текст]:Патент №ТJ1417 Республики Таджикистан: опубл.2508.2023г.

Дастурҳои таълимӣ:

[24-А]. Хасанов М.Н. Асосҳои кӯҳкорӣ [Матн]: китоби дарсӣ /Н.М.Хасанов, А.М.Алимардонов, Б.У.Боев, М.Н.Хасанов.- Душанбе: бо қарори мушовараи Вазорати маориф ва илми ҶТ №18/5 аз 29 декабри соли 2023 тасдиқ шудааст.-219 с.

[25-А]. Хасанов М.Н. Геологияи муҳандисӣ [Матн]: дастури таълимӣ / А.М.Алимардонов, М.Н.Хасанов.- Душанбе: дар Шӯрои методии ДТТ протоколи №2 аз 05 январи 2022с. тасдиқ шудааст.-75 с.

[26-А].Хасанов М.Н. Сохтмони иншоотҳои зеризаминӣ дар шароити мураккаби кӯҳӣ-геологӣ [Матн]: дастури таълимӣ / Н.М.Хасанов, А.О.Якубов, М.Н.Хасанов. дар Шӯрои методии ДТТ протоколи №3 аз 02 апрели 2020с. тасдиқ шудааст.-220 с.

ШАРҲИ МУХТАСАР

автореферати диссертатсияи Нурализода Мухйиддин Нуралӣ дар мавзуи «Таъсири муҳандисии геологӣ ба ҳолати шиддатнокӣ- шаклдигаркунии нақби гидротехникӣ НС-4 НБО-и Роғун», барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 2.1. Геология, геодезия, гидрология, сохтмон, меъморӣ (2.1.8. Сохтмони гидротехникӣ).

Калидвожаҳо: деформатсия, боришот, геология, ҳолати шиддатнокӣ-деформатсионӣ, массиви чинсҳои кӯҳӣ, тектоника, ҳамгаштҳо, васлкунандаҳо, нақби гидротехникӣ.

Объекти таҳқиқоти диссертатсионӣ нақби бетамбагии гидротехникии НС-4 НБО-и Роғун мебошад.

Мақсади кори диссертатсионӣ – таҳқиқи таъсири омилҳои муҳандисӣ-геологӣ (фарқиятҳои литологӣ, нишондиҳандаҳои геомеханикӣ ва геотехникӣ), ба ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии нақби гидротехникии НС-4 ва коркарди тавсияҳо барои интиҳоби конструкияҳои басти иншооти устувор.

Навгониҳои илмӣ таҳқиқот аз инҳо иборатанд:

- муайян намудани сабабҳои геологие, ки ба вайроншавӣ ва устуворкунӣ чинсҳои кӯҳӣ нақби гидротехникии НС-4-и НБО-и Роғун таъсир мерасонад. Муайян намудани самти фишори асосии минималӣ ва максималӣ дар асоси таҳқиқоти махсусе, ки дар коркардҳои калони буруши кӯндалангии зеризаминӣ гузаронида мешавад;

- амсиласозии рақамии ҳолати шиддатнокӣ-шаклдигаркунии нақби гидротехникӣ ва тартибдиҳии тавсияҳо барои интиҳоби конструкияи асосӣ бо истифодаи мурватҳои анкерӣ ва армирони торкретбетон бо ғафсии 10 см;

- тартибдиҳии тавсияҳо барои интиҳоби намуди бастаи сангӣ бо элементҳои асосии он, барои қисмҳои гуногуни НС-4 бо дарназардошти геометрии амалии нақб ва шароитҳои геологӣ;

- ташкили системаи мониторинг, муайянкунии миқдори нишонҳои назоратӣ, намудҳои асбобҳои ченкунӣ ва барномаи муоинаи нақби гидротехникии СТ-4.

Аҳамияти назариявии кори диссертатсия ба ҳалли масъалаҳои вобаста харитасозии муҳандисӣ-геологии нақбҳое, ки дар наздикии нақби НС-4 ҷойгир шудаанд; интиҳоби усули гузаронидани корҳои бетонӣ; интиҳоби амсила барои ҳисоби бастаи нақб; асосноккунии ҳисоби бастаи нақби НС-4; мониторинги геотехникии нақби гидротехникии нақби НС-4.

Аҳамияти амалии таҳқиқот аз инҳо иборат аст:

- интиҳоби конструкияи ҳимоякунандаи нақб аз вайроншавӣ баъди заминчунбӣ ва имконияти муҳофизати онҳо ҳангоми истифодабарӣ бо харҷи минималӣ ва вақт барои таъмир;

- истифодабарӣ дар раванди таълим дар муассисаҳои таҳсилоти олӣ ва донишгоҳҳо ҳангоми хондани маърузаҳо ва бурдани корҳои амалӣ, инчунин ҳангоми гузаронидани корҳои озмоишӣ ва саҳроӣ барои донишҷӯён аз фанҳои, “Сохтмони зеризаминӣ ва шахтаҳо”, “Асосҳои корҳои кӯҳӣ”, “Технологияи усулҳои таркишибурӣ”, “Механикаи чинсҳои кӯҳӣ ва фишори кӯҳӣ”, “Усулҳои махсуси сохтмони иншоотҳои зеризаминӣ” дар ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ барои донишҷӯёни ихтисосҳои «Сохтмони зеризаминӣ ва шахтаҳо» ва «Сохтмон ва истифодабарии неругоҳҳои обию барқӣ» ва ғайраҳо.

АННОТАЦИЯ

на автореферат диссертации Нурализода Мухйиддин Нурали на тему: **«Влияние инженерно-геологических факторов на напряженно-деформированное состояние гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство, архитектура (2.1.8. Гидротехническое строительство).

Ключевые слова: деформация, осадки, геология, напряженно-деформированное состояние, массив горных пород, тектоника, выемки, крепи, гидротехнический тоннель

Объектом диссертационного исследования является гидротехнический тоннель СТ-4 Рогунской ГЭС

Целью диссертационной работы является - исследование влияния инженерно-геологических факторов (литологические разности, геомеханические и геотехнические параметры), на напряженно-деформированное состояние гидротехнического тоннеля СТ-4 и разработка рекомендаций по выбору конструкций крепи обеспечивающих устойчивость сооружения.

Научная новизна исследования:

- выявление геологических причин оказывающих воздействий на разрушение и устойчивость вмещающих массивов горных пород гидротехнического тоннеля СТ-4 Рогунской ГЭС. Определение направления главного минимального и максимального напряжения на основе проведенных специальных исследований в больших подземных выработках;

- численное моделирование напряженно-деформированного состояния гидротехнического тоннеля и разработка рекомендаций по выбору класса крепи породы с использованием торкретбетоном толщиной 10см;

- в разработке рекомендаций по выбору класса крепи породы, для различных литологических частей гидротехнического тоннеля СТ-4 с учетом фактической геометрии тоннеля и геологических условий;

- в разработке системы мониторинга, установлении количества наблюдательных створов, типов контрольно измерительных приборы и программу наблюдения гидротехнического тоннеля СТ-4.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в решении задач, связанных с инженерно-геологическим картированием тоннелей, расположенных вблизи исследуемого тоннеля СТ-4; выбором способа проведения цементационных работ; подбором модели для расчета крепи тоннеля; обоснования расчетной крепи тоннеля СТ-4; геотехнического мониторинга гидротехнического тоннеля СТ-4.

Практическая значимость работы заключается:

- в выборе конструкций тоннеля обеспечивающих защиту от разрушений при минимальных дополнительных затратах и времени на ремонт;

- в применении в учебном процессе в высших учебных заведениях и университетах, при чтении лекций и на практических занятиях, а также при проведении лабораторных и полевых работ для студентов по специальным курсам: «Шахтное и подземное строительство», «Основы горного дела», «Технология проведения буровзрывных способов», «Механика горных пород и горное давление», «Специальные способы строительства подземных сооружений», Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими для студентов по специальностями – «Шахтное и подземное строительство» и «Строительство и эксплуатация гидроэлектростанций» и другие.

ANNOTATION

on the abstract of the dissertation of Nuralizoda Mukhiddin Nurali on the theme: **“Influence of engineering-geological factors on the stress-strain state of the hydro-technical tunnel ST-4 of Rogun HPP”**, submitted for the degree of Candidate of Technical Sciences on the specialty 2.1. Geology, geodesy, hydrology, construction, architecture (2.1.8. Hydraulic engineering).

Key words: deformation, settlement, geology, stress-strain state, rock mass, tectonics, excavations, supports, hydro-technical tunnels

The object of the thesis research is the hydro-technical tunnel ST-4 of the Rogun HPP.

The purpose of the thesis work is to study the influence of engineering-geological factors (lithological differences, geomechanical and geotechnical parameters) on the stress-strain state of the hydro-technical tunnel ST-4 and the development of recommendations for the selection of fastening structures ensuring the stability of the structure.

Scientific novelty of the study:

- Identification of the geological causes of influences on the destruction and stability of the host rock massifs of the hydro-technical tunnel ST-4 of the Rogun HPP. Determination of the direction of the main minimum and maximum stress on the basis of special studies in large underground excavations;

- numerical modeling of the stress-strain state of the hydraulic tunnel and development of recommendations on the selection of the bearing structure using anchor bolts reinforcing shotcrete 10cm thick;

- in the development of recommendations on the selection of rock support types, including their basic elements, for different parts of the ST-4 tunnel, taking into account the actual tunnel geometry and geological conditions;

- development of the monitoring system, establishment of the number of observation stations, types of control and measuring devices and observation program for the ST-4 hydro-technical tunnel.

Theoretical significance of the dissertation work consists in solving problems related to engineering-geological mapping of tunnels located near the investigated tunnel ST-4; selection of the method of grouting works; selection of the model for calculating the tunnel support; justification of the calculated support of the tunnel ST-4; geotechnical monitoring of the hydro-technical tunnel ST-4.

Practical significance of the work is:

- in the choice of tunnel structures providing against earthquake damage and the possibility of their further protection of operation with minimal additional costs and time for repair;

- application in the educational process in higher educational institutions and universities, in lectures and practical classes, as well as in laboratory and field work for students in special courses: “Mine and underground construction”, ‘Fundamentals of mining’, ‘Technology of drilling and blasting methods’, ‘Rock mechanics and rock pressure’, ‘Special methods of construction of underground structures’, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi for students on specialties - ‘Mine and underground construction’ and ‘Construction and operation of hydroelectric power plants’ and others.

Подписано к печати _____._____.2026 г.
Формат 60x80/16. Гарнитураи Times Nev Roman
Бумага офсетная. Тираж 100 экз.
Отпечатано в типографии ТТУ имени академика М.С.Осими
г.Душанбе, 734042, проспект академиков Раджабовых, 10а

Ба чоп _____._____. 2026 с. иҷозат дода шуд.
Андозаи 60x84/16. Гарнитураи Times Nev Roman
Қоғази офсетӣ. Теъдоди нашр 100 нусха
Нашриёти ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ
ш. Душанбе, 734032, хиёбони академик Раҷабовҳо, 10а