

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР

Диссертационный совет Д 25.12.039

На правах рукописи
УДК 624.127:539.3

КОКУМБАЕВА КУЛУМКАН АСАНОВНА

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В
ВОДОХРАНИЛИЩЕ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ
СОСТОЯНИЕ СКЛОНОВ В СТВОРЕ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС**

**Специальность: 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение пород взрывом,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек - 2012

Работа выполнена в Жалал-Абадском государственном университете и
Институте геомеханики и освоения недр НАН КР

Научный руководитель: д.т.н., профессор, член-корр.НАН КР
Кожогулов Камчибек Чонмурунович

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор Баймахан Рысбек
Баймаханович
к.т.н. Таштаналиев Курама Бейшебаевич

Ведущая организация: Институт энергоресурсов и геоэкологии ЮО НАН КР

Защита состоится «27» апреля 2012 г. В 14⁰⁰ часов на заседании
диссертационного Совета Д. 25.12.039 в Институте геомеханики и освоения
недр НАН Кыргызской Республики, по адресу: 720035, г.Бишкек
ул. Медерова, 98.

Факс +996(312)54-11-17

E-mail: ifmgrp@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
геомеханики и освоения недр НАН Кыргызской Республики, г. Бишкек, ул.
Медерова, 98

Автореферат разослан « 15 » марта 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. физ.-мат. наук



С.Б. Омуралиев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Кыргызская Республика богата гидроэнергетическими ресурсами. При сравнительно небольшой территории она по гидроэнергетическим ресурсам занимает третье место среди стран СНГ, уступая лишь России и Республике Таджикистан.

При этом около половины территории Кыргызстана располагается на высоте более 3000 м над уровнем моря, и вся она расчленена многочисленными горными хребтами. Горные реки, расположенные в этих межгорных впадинах, обладают огромными энергетическими и водными ресурсами. В склонах с относительно прочными породами образуются зоны разгрузки и ослабления, мощность которых зависит от физико-механических свойств и трещиноватости слагающих пород, высоты и крутизны склонов. Горные склоны обычно бывают нарушены тектоническими трещинами от мелких (1-5см) до очень крупных (более 1-2м). В породном массиве склонов наблюдаются зоны нарушения, разуплотнения, которые оказывают существенное влияние на общее напряженное состояние склонов. Склоны имеют сложное строение и их устойчивость будет определяться устойчивостью отдельных элементов (блоков), разделенных различными тектоническими трещинами, при этом анализ напряженно-деформированного состояния склонов сводится к анализу распределения напряжений в отдельных элементах склонов.

Токтогульская ГЭС по своему назначению является уникальным комплексным ирригационно-энергетическим гидроузлом. Уровень воды в водохранилище Токтогульской ГЭС непостоянный и зависит от выработки электроэнергии и орошения плодородной Ферганской долины. Причем большинство гидротехнических сооружений Кыргызской Республики, в том числе и Токтогульская ГЭС, расположены в горных районах со сложной тектоникой, высокой сейсмичностью и нестационарностью уровня воды водохранилищ, что привело к возникновению ряда новых серьезных проблем, среди которых колебания уровня воды в водохранилище приведет к активизации наведенной сейсмичности и при резком уменьшении уровня воды в водохранилище, в склонах Токтогульской ГЭС наблюдаются техногенные землетрясения силой 3-4 баллов.

В связи с этим, вопросы оценки степени влияния колебания уровня воды в водохранилище на напряженное состояние склонов и отдельных их элементов приобретает особое значение и актуальность.

Связь темы диссертации с основными научно-исследовательскими работами. Диссертация выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ аспирантов и соискателей кафедры «Электроснабжение» Жалал-Абадского государственного университета.

Целью диссертации является: установление степени влияния колебания уровня воды в водохранилище на напряженно-деформированное состояние склонов.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Оценить основные факторы, влияющие на напряженно-деформированное состояние и смещение блоков склонов в створе Токтогульской ГЭС;

2. Обосновать геоструктурную модель скальных массивов склонов в створе Токтогульской ГЭС.

3. Разработать методику оценки напряженно-деформированного состояния горных склонов с учетом уровня воды в водохранилище.

4. Установить степень влияния давления воды заполненного водохранилища на напряженно-деформированное состояние скальных массивов склонов.

5. Установить оптимальный уровень воды в водохранилище, обеспечивающий устойчивое состояние массива склона.

Методы исследований. При решении вышеизложенных задач применялся комплекс методов исследований: ретроспективный анализ современного состояния проблемы; научное обобщение теоретического и практического опыта изучения напряженного состояния склонов; численное моделирование распределения напряжений в массиве пород склонов; анализ и научное обобщение результатов исследований.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. При снижении уровня воды в водохранилище в массиве склона прилегающего к водохранилищу возникают растягивающие напряжения. Зона растягивающих горизонтальных напряжений наблюдается в области выше уровня воды и в основании водохранилища.

2. Установленные закономерности распределения напряжений в массивах склонов однородного и неоднородного сложений с учетом давления воды в водохранилище при различных уровнях.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана и обоснована методика оценки напряженно-деформированного состояния горных склонов однородного и неоднородного сложений, учитывающая колебания уровня воды в водохранилище.

2. Выявлено, что в массиве склонах однородного и неоднородного сложений при наличии воды в водохранилище имеются области с сжимающими напряжениями, значения которых меняются в зависимости от уровня воды в водохранилище. В центральной части дна каньона на глубине, равной его ширине, горизонтальные растягивающие напряжения меняют свой знак (по сравнению с вариантом без учета воды) и уменьшаются в однородном склоне в 2,2-2,25 раза, а в неоднородном склоне в 6-7 раза.

3. Установлено, что увеличение воды в водохранилище в склонах однородного и неоднородного сложений приводит к разгрузке горизонтальных растягивающих напряжений, имеющих при отсутствии воды.

4. Установлено, что оптимальный уровень воды в водохранилище составляет 130 м, при котором наблюдается минимальное значение растягивающих горизонтальных напряжений. Ниже этого уровня наблюдается увеличение растягивающих напряжений и возникает необходимость проведения регулярных систематических инструментальных наблюдений с

помощью соответствующей контрольно-измерительной аппаратуры в трещинах и элементах склонов.

Достоверность научных положений и выводов диссертационной работы подтверждается применением современных численных методов, а также сравнением полученных результатов распределения напряжений в склонах с ранее проведенными расчетными и экспериментальными данными отечественных и зарубежных исследователей.

Личный вклад соискателя состоит:

- в анализе современных методов оценки напряженно-деформированного состояния высоких склонов однородного и неоднородного сложений;
- в разработке и обосновании методики оценки напряженно-деформированного состояния горных склонов с учетом давления воды и сезонных изменений уровня воды в водохранилище;
- в анализе геомеханического состояния и расчете методом конечных элементов распределения напряжений в массиве склонов и основании каньона, оценке напряженного состояния склонов и его изменений при колебании уровня воды в водохранилище;
- в установлении оптимального уровня воды в водохранилище, при котором наблюдаются минимальное значение растягивающих горизонтальных напряжений.

Практическая значимость полученных результатов:

1. Разработанная методика оценки напряженно-деформированного состояния горных склонов позволяет учесть давления воды и сезонные изменения уровня воды в водохранилище дает возможность получить своевременную и оперативную информацию о напряженном состоянии массива склонов;
2. Результаты исследований распределения напряжений методом конечных элементов могут быть использованы для оценки устойчивости массивов склонов водохранилища;
3. Основные научные результаты исследований были реализованы при осуществлении технического надзора за текущим состоянием гидротехнических сооружений и склонов Токтогульской ГЭС (Акт о реализации научных результатов от 06.02.2012 г.).

Апробация результатов диссертации: Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной конференции «Напряженное состояние породного массива и наведенная геодинамика недр» посвященной 75-летию академика НАН КР И.Т.Айтматова (г.Бишкек, ИФиМГП НАН КР, 14-15июня, 2006г.),и на Международной конференции «Проблемы геомеханики и освоения недр» посвященной 50-летию института геомеханики и освоения недр и 80-летию академика НАН КР И.Т.Айтматова (г.Бишкек, ИГОН НАН КР, 15-17 июня, 2011 г.). С 2007 по 2011 гг. результаты исследований докладывались на республиканской конференции

«Кыргызстандын экономикасын өнүктүрүүдө электроэнергетика жана жаратылыш ресурстарынын орду» (г.Жалал-Абад, 22-октябрь, 2010 г.) и на научно-практических конференциях Жалал-Абадского государственного университета, кафедры «Электроснабжение». В завершённом виде работа докладывалась на расширенном заседании кафедры «Источники энергии, энергетические системы и механика» Жалал-Абадского государственного университета и расширенном семинаре лаборатории «Прогнозирование природно-техногенных катастроф» Института геомеханики и освоения недр НАН КР.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Результаты исследований и положения, отражающие основное содержание диссертационной работы опубликованы в 10 печатных работах.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и выводов, изложенных на 135 страницах, содержит 45 рисунков, 11 таблиц, 113 наименований литературы.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.т.н., проф., чл.-корр. НАН КР К.Ч.Кожогулову за постановку задач, ценные советы и помощь при выполнении работы. Автор также признателен д.т.н. О.В.Никольской, д.т.н. С.Ф.Усманову, сотрудникам лаборатории «Прогнозирование природно-техногенных катастроф» ИГОН НАН КР, сотрудникам службы эксплуатации и натурных наблюдений Каскада Токтогульских ГЭС, а также сотрудникам кафедры «Электроснабжение» ЖАГУ за оказанное содействие и помощь.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели и задачи, приведены основные положения диссертационной работы.

В первой главе проведен обзор и анализ литературных источников по изучению тектонических особенностей породного массива склонов и влияния природных и техногенных факторов на напряженно-деформированное состояние склонов в створе Токтогульской ГЭС.

Большой вклад в изучение влияния природных и техногенных факторов на напряженное состояние горных склонов водохранилищ внесли ученые Г.С.Золотарев, В.Я.Степанов, В.В.Каякин, К.Ч.Кожогулов, Б.Ж.Жумабаев, О.В.Никольская, А.Л.Голдин, Э.В.Калинин, Б.Ц.Манжиков, Н.К.Карагулов, Р.Е.Гисс, Г.С.Исаева и другие.

Изменение напряженного состояния и смещения по трещинам неустойчивых скальных блоков склонов водохранилища Токтогульской ГЭС являются результатом влияния различных природных факторов и инженерной деятельности человека. Деформационные процессы в склонах и изменение их напряженного состояния под влиянием природных и техногенных факторов изложены в работах В.Я.Степанова и Р.Е.Гисса, ими также разработаны

основные закономерности деформаций склонов во времени и выделены типы деформаций и смещений.

В работах исследователей отражены результаты исследований по изучению влияния воды в водохранилище на напряженно-деформированное состояние склонов в створе Токтогульской ГЭС. Однако вопрос совместного воздействия физико-механических свойств пород, трещиноватости массива пород и колебания уровня воды до настоящего времени не получил должного развития.

В результате ранее проведенных исследований вышеназванными авторами выявлено, что массивы пород в склонах Токтогульского гидроузла, представленные мраморизированными известняками нижнекаменноугольного возраста, отличаются значительной неоднородностью физико-механических свойств. Достаточно отметить, что модуль деформации пород изменяется в очень широких пределах, что обусловлено наличием зоны разуплотнения пород по контуру каньона и вблизи тектонических трещин и разрывов.

Неоднородность, обусловленная тектоническими нарушениями, достаточно явно выражена в склонах на участке расположения гидроузлов Токтогульской ГЭС. Неоднородный склон характеризуется зоной разгрузки (в местах расположения трещин) и зоной сохранных пород.

Во второй главе обоснованы геоструктурная и математическая модели по определению напряженно-деформированного состояния горных пород склонов в створе Токтогульской ГЭС. Обоснованием для разработки математической модели и оценки напряженного состояния склонов однородного и неоднородного сложений является геоструктурный разрез Токтогульской ГЭС (составлен В.В.Каякиным) (рис.1).

Для определения зон интенсивной трещиноватости в склонах Токтогульской ГЭС на основе геоструктурной схемы, ВНИИГом им. Б.Е.Веденеева руководствуясь «Рекомендациями по методике составления геофизических моделей скальных массивов в основаниях бетонных плотин» построена сейсмогеологическая схема (рис.2).

На основе геоструктурного и сейсмологического разрезов составлена расчетная модель склонов однородного и неоднородного сложений Токтогульской ГЭС. Геометрические параметры моделируемых областей показаны на рис.3. и рис.4.

Для оценки напряженно-деформированного состояния и устойчивости гидротехнических сооружений (плотин, склонов и т.п.) в настоящее время все более широкое применение находят вычислительные комплексы. Подобные комплексы в основном базируются на численном моделировании напряженно-деформированного состояния горного массива. Для моделирования напряженного состояния породного массива склонов однородного и неоднородного сложений в створе Токтогульской ГЭС нами использовано

программное обеспечение STRESS. Моделирование выполняется методом конечных элементов.

Оценка напряженно-деформированного состояния массива пород склонов однородного и неоднородного сложений осуществлялась в следующей последовательности:

-напряженно-деформированное состояние склонов без учета давления воды в водохранилище; -напряженно-деформированное состояние склонов с учетом давления воды в водохранилище; -напряженно-деформированное состояние склонов с учетом изменения давления воды при различных уровнях водохранилища.

Таким образом, численное определение напряженно-деформированного состояния неоднородных массивов методом конечных элементов сводится к минимизации полной потенциальной энергии, x :

$$x = \frac{1}{2} \int_V e^T D e dV - \int_V e^T D e_0 dV + \int_V e^T \sigma_0 dV - \delta^T R + \int_V f^T p dV + \int_S f^T g dS \quad (1)$$

Искомая функция для каждого элемента записывается в виде

$$u = N U \quad (2)$$

Здесь U^e -узловые значения функции, соответствующие такому элементу, или некоторые характеризующие его параметры, N - матрица, определяемая зависимость функции формы от координат. Для минимизации функционала x по всем параметрам U полной области следует записать систему уравнений

$$\frac{\partial x}{\partial U} = \frac{\partial x}{\partial U_1}, \frac{\partial x}{\partial U_2}, \dots^T = 0 \quad (3)$$

В частном случае, когда x является квадратичным функционалом от U и ее производных, производную для элементов можно записать в виде

$$\frac{\partial x^e}{\partial U^e} = k^e U^e + \{F\}^e \quad (4)$$

Где k^e и U^e - постоянные матрицы. Теперь систему уравнений (3), минимизирующий функционал, можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial x}{\partial U} = k U + F \quad (5)$$

$$\text{где } k_{ij} = [k_{ij}]^e, \quad F_i = [F_i]^e$$

Система уравнений (5) решается наиболее эффективными методами итерации Гаусса-Зейделя.

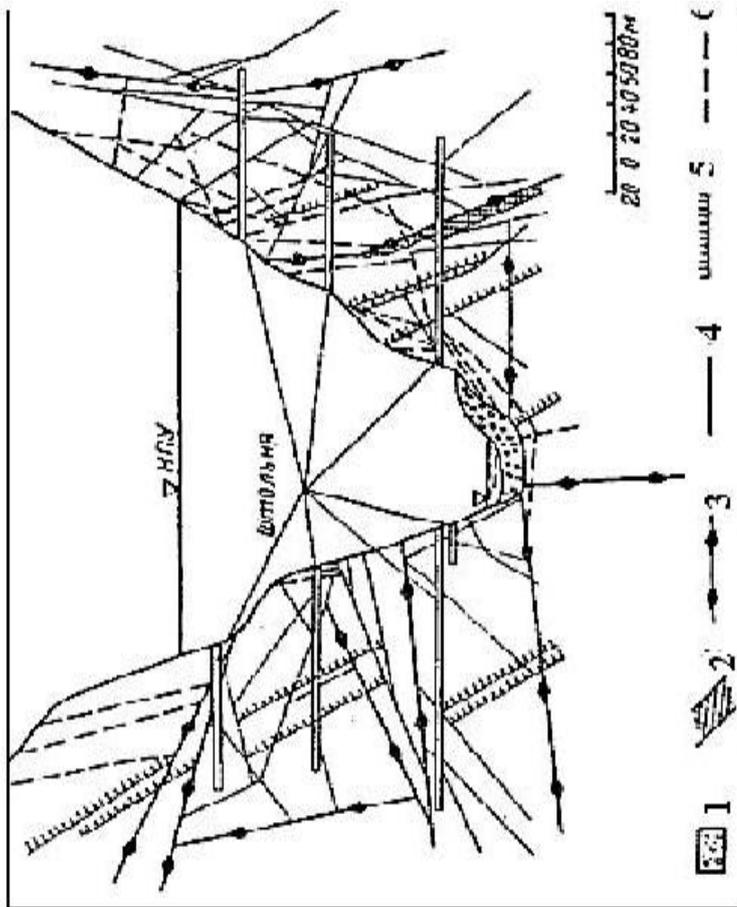


Рисунок 1. Геоструктурный разрез основания Токтогульской ГЭС (по В.В. Каякину и др.): 1 - аллювий и делювий; 2 - пласт темных известняков с линзами и прослоями; 3 - тектонические трещины III порядка; 4 - тектонические трещины IV - VI порядков; 5 - трещины IV - VI порядков, развитые по напластованию; 6 - трещины бортового и донного отпоров.

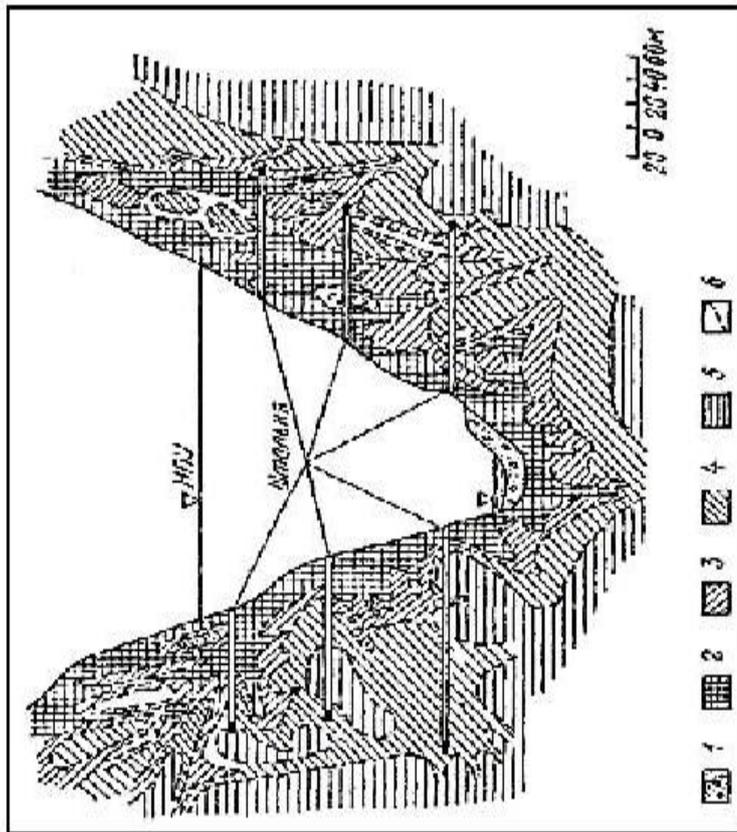


Рисунок 2. Сейсмогеологический разрез скального массива на участке плотины Токтогульской ГЭС: 1 - аллювий и делювий; 2 - область значений $1,0 \text{ км/с} < v_s < 1,5 \text{ км/с}$; 3 - область значений $1,5 \text{ км/с} < v_s < 2,0 \text{ км/с}$; 4 - область значений $2,0 \text{ км/с} < v_s < 2,5 \text{ км/с}$; 5 - область значений $v_s > 2,5 \text{ км/с}$; 6 - изолинии скоростей поперечных сейсмических волн.

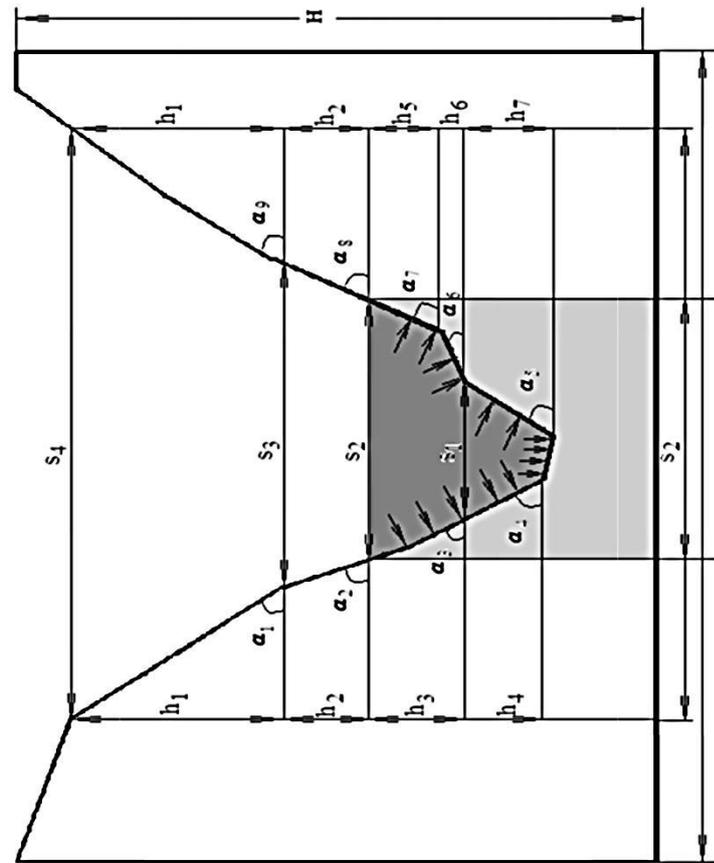


Рисунок 3. Геометрические параметры склонов
однородного сложения

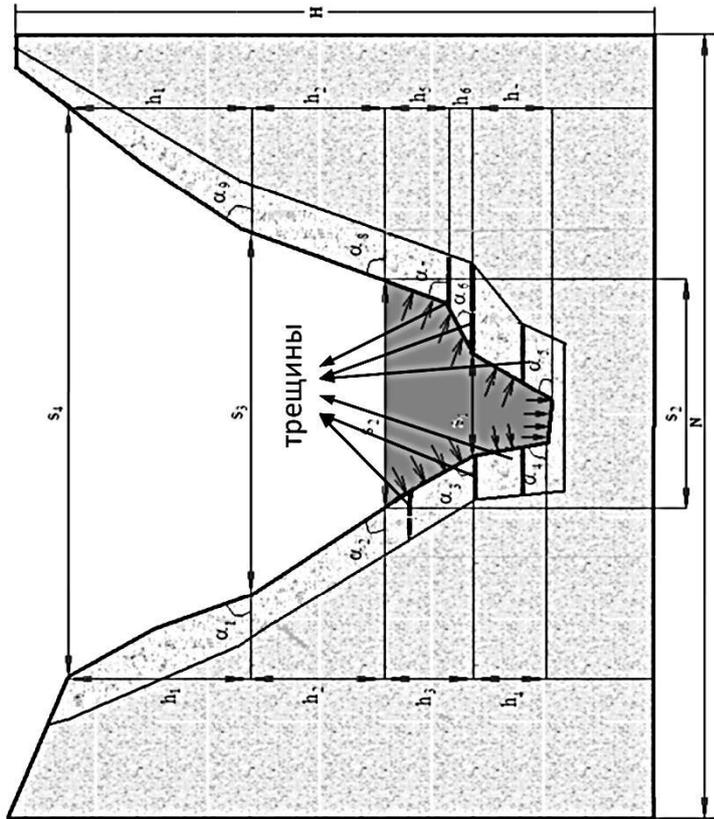


Рисунок 4. Геометрические параметры склонов
неоднородного сложения

В третьей главе приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния склонов однородного и неоднородного сложений в створе Токтогульской ГЭС при различных уровнях воды в водохранилище.

Реализация модели напряженно-деформированного состояния массива горных склонов при отсутствии и наличии воды в водохранилище проводилась методом конечных элементов.

На основании выполненных расчетов установлено, что в случае отсутствия воды в водохранилище по всему периметру рассматриваемого каньона горизонтальные напряжения являются растягивающими (обозначаются знаком (+)), а вертикальные по контуру склона растягивающие и при удалении вглубь массива - сжимающие (обозначаются знаком (-)). Концентрация растягивающих горизонтальных напряжений наблюдается под дном каньона до глубины, равной ширине дна. Здесь значение горизонтальных растягивающих напряжений составляет 2,09 МПа.

Наибольшие значения касательных напряжений наблюдаются в правом и левом бортах в непосредственной близости к дневной поверхности и под дном каньона. В центральной части дна каньона значения касательных напряжений минимальны и они уменьшаются до 0,006 МПа.

Для оценки напряженного состояния склонов однородного сложения с учетом давления воды в водохранилище рассмотрено распределение напряжений при наполненном водой водохранилище. В данном случае, на поверхности склона в любой точке P согласно закону Паскаля действует давление воды, величина которого зависит от высоты столба воды h . Участок, испытывающий давления воды находится внутри столба отрезка S (рис.3,4). Направление давления воды при этом строго перпендикулярно к контуру склона в любой его точке и определяем по следующему выражению:

$$P = \rho gh, \quad (6)$$

где, P - давление воды, МПа; ρ - плотность воды, кг/м³, g – ускорение свободного падения, Н/кг, h -высота воды в водохранилище, м.

На основании выполненных расчетов установлено, что вертикальные напряжения с глубиной в обоих бортах постепенно увеличиваются, наибольшие значения сжимающих вертикальных напряжений наблюдается в нижней части каньона в области его дна.

Наличие воды в данном случае являются благоприятным фактором, т.е. все напряжения являются сжимающими. По сравнению с вариантом без учета воды наблюдается концентрация напряжений в нижней части дна каньона. При этом во всех точках происходит увеличение значений вертикальных сжимающих напряжений в 1,2 - 1,3 раза.

По результатам анализа распределения горизонтальных напряжений установлено (рис.5), что наличие воды приводит к уменьшению их значений. Наибольшие значения горизонтальных напряжений наблюдаются в нижней части каньона. Здесь значения сжимающих горизонтальных напряжений

касательных напряжений. В данном случае наличие воды привело к снижению значений касательных напряжений по сравнению с вариантом без учета воды почти в 2 раза. Сравнение результатов расчетов напряженного состояния склонов с учетом давления воды и при отсутствии воды в водохранилище выявлено, что вертикальные сжимающие напряжения при заполнении водохранилища с удалением вглубь массива (от центральной части дна каньона вглубь массива по горизонтали) увеличиваются, а горизонтальные сжимающие – снижаются.

При снижении уровня воды до 150м горизонтальные напряжения являются сжимающими и на уровне воды их значения меняются от -0,172 МПа до -0,275 МПа. Такие же напряжения наблюдаются и в нижней части каньона в местах пересечения бортов и дна. В центральной части дна каньона на глубине 1S, горизонтальные напряжения по сравнению с вариантом без учета воды меняют знак и уменьшаются в 2.24 раза, и составляют 0,930МПа.

При снижении уровня воды до 130м значения горизонтальных сжимающих напряжений на уровне воды равны -0,247 МПа. Необходимо отметить, что в склонах расположена область сжимающих напряжений со значением -0,0530 МПа. В центральной части дна на глубине, равной ширине дна сжимающие напряжения составляет -0,926 МПа, по сравнению с вариантом без учета воды меняя знак, уменьшаются в 2.25 раза.

На основании анализа полученных результатов расчетов установлено, что как и в предыдущих случаях и в данном случае вертикальные сжимающие напряжения при заполнении водохранилища с удалением вглубь массива увеличиваются, а горизонтальные сжимающие напряжения постепенно снижаются (рис.6).

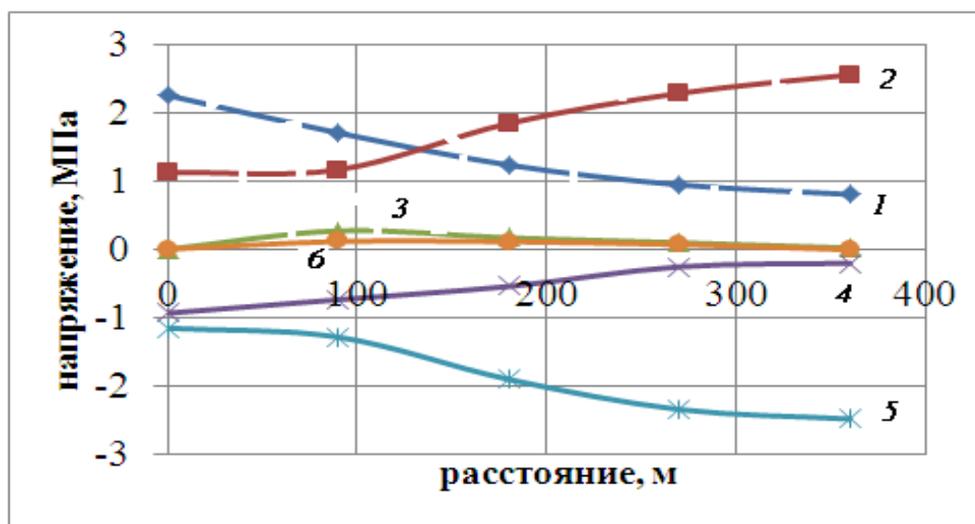


Рис.6. Зависимости изменения напряжений в однородном склоне на различном расстоянии от дна каньона; 1-горизонтальные, 2-вертикальные, 3-касательные напряжения без учета давления воды в водохранилище, 4-горизонтальные, 5-вертикальные, 6-касательные напряжения с учетом давления воды в водохранилище при уровне 130 м

Известно, что при уменьшении уровня воды в водохранилище, соответственно снижается и давление воды на склон. Дальнейшее снижение уровня до 110м, 85м, 50м и 10м показало, что характер распределения напряжений аналогичны распределению напряжений при максимальном уровне воды. Изменение напряженного состояния при этом носит лишь количественный характер.

Таким образом, изучение распределения напряжений при наличии воды показывает, что в массиве однородного склона во всех рассматриваемых случаях имеется область сжимающих горизонтальных напряжений, значения которых меняются в зависимости от уровня воды (рис.7). Область сжимающих напряжений при этом находится в массиве склона на высоте, равной 2-х кратной ширине дна каньона при удалении вглубь массива от дневной поверхности на расстояние, равное 2-х кратной ширине дна.

Установлено, что с увеличением уровня воды значения горизонтальных сжимающих напряжений увеличиваются и при уровне воды 150м наблюдаются максимальное их значение.



Рис.7.Зависимость изменения горизонтальных сжимающих напряжений в массиве однородного склона от уровня воды в водохранилище

Известно, что реальный массив не является сплошным и однородным телом. Практически всем естественным скальным массивам свойственно их неоднородность физико-механических свойств пород и трещиноватость. На смещение трещин в массивах влияют множество факторов, в частности, структура и текстура пород, элементы залегания и физико-механические свойства литолого-петрологических разновидностей пород, слагающих различные прослои.

Расчеты напряженного состояния неоднородных склонов каньона показывает, что при переходе из зоны сохранных пород, в зону разгрузки, наблюдается закономерное увеличение вертикальных напряжений в зонах сохранных пород и относительное падение их в зонах разгрузки. Здесь растягивающие вертикальные напряжения уменьшаются с 1,69 МПа до 0,342

МПа, т.е. уменьшаются в 4 раза. Концентрация вертикальных напряжений отмечена в основании каньона.

Анализ расчета напряженного состояния неоднородного склона без учета воды показывают (Рис.8), что значения растягивающих горизонтальных напряжений в зоне сохранных пород изменяются с 0,14 МПа до 2,37 МПа, а в зоне разгрузки изменяются с 0,14 МПа до 0,885 МПа. Отсюда видно что, разница между максимальным и минимальным значениями горизонтальных напряжений в зоне сохранных пород больше, чем в зоне разгрузки. Концентрация горизонтальных напряжений наблюдаются в местах пересечения дна и бортов склона. Максимальное значение горизонтальных напряжений находится в области дна каньона и составляет 2,37 МПа.

Максимальные значения касательных напряжений наблюдаются в левом и правом склонах, в зоне сохранных пород и составляют 1,09 МПа и 1,06 МПа. В левом склоне на уровне дна в глубине массива 1S (равной ширине дна) по горизонтали расположена область высоких напряжений, значения которых меняются от 1,06 МПа до 0,52 МПа. Аналогичная зона находится и в правом склоне на высоте 1S в удалении от борта на 4S. В этой зоне напряжение равно 1,09 МПа. На границе между зонами сохранных пород и разгрузки касательные напряжения меняются от 0,015 МПа до 0,52 МПа.

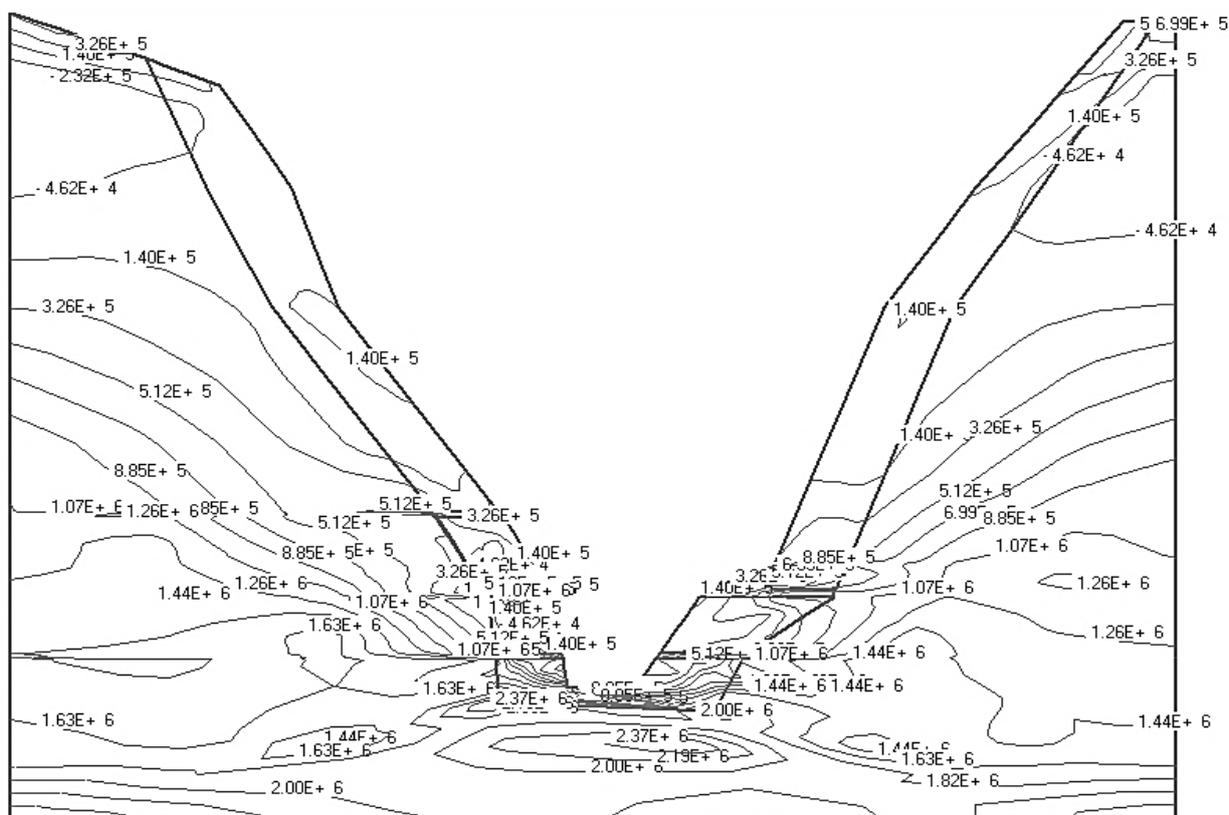


Рис.8. Распределение горизонтальных напряжений в склонах неоднородного сложения без учета давления воды в водохранилище

Результаты распределения напряжений в склонах неоднородного сложения с учетом воды в водохранилище показывают, что при уровне воды 170м максимальное значение вертикальных сжимающих напряжений находится в центральной части дна на глубине, равной 2-х кратной ширине дна. На границах между зонами разгрузки и сохранных пород вертикальные напряжения меняются от -1,36 МПа до -2,44 МПа. Вертикальные напряжения со значениями -0,813 МПа отмечены на основании каньона и в области, где расположены трещины, в верхней части склона вдоль границы между зонами. В области дна каньона выявлена зона концентрации напряжений.

В верхней части склона по бортам каньона на границе между зонами разгрузки и сохранных пород склонов горизонтальные напряжения являются сжимающими, величина их составляют -0,03 МПа. Концентрация растягивающих горизонтальных напряжений наблюдаются на основании каньона и изменяются от 0,262 МПа до 0,845 МПа. При наполненном водой водохранилище горизонтальные напряжения под правым и левым бортами каньона величина сжимающих напряжений изменяется от -0,03МПа до -0,614МПа. Наличие воды приводит к изменению напряженного состояния массива. В левом и правом бортах на высоте (0,5-1,0)S от дна каньона возникают горизонтальные растягивающие напряжения, значения которых изменяются от 0,553МПа до 1,14МПа. В области дна каньона, начиная с глубины, равной ширине дна, горизонтальные напряжения становятся сжимающими. При этом значения сжимающих напряжений составляет -0,322 МПа. По сравнению с вариантом без учета воды, в центральной части дна на глубине, равной ширине дна каньона горизонтальные напряжения уменьшаются в 6 раз. На верхней части склонов наблюдаются зоны со сжимающими напряжениями. Значения сжимающих напряжений зависят от уровня воды в водохранилище.

Сравнение результатов исследований для однородного и неоднородного массивов пород показывает, что наличие воды в каньоне независимо от типа среды (однородная, неоднородная) приводит к изменению характера распределения горизонтальных напряжений. При создании водохранилища напряжения меняют свой знак и становятся сжимающими.

При наличии воды в водохранилище значения касательных напряжений по сравнению с вариантом без учета воды, по бортам снижаются в 1,3-1,4 раза, а под дном каньона увеличиваются в 1,7 раза.

При уровне воды 150 м в области дна каньона наблюдаются горизонтальные растягивающие напряжения, значения которых меняются от 0,920 МПа до 1,01 МПа. На уровне воды и выше горизонтальные растягивающие напряжения составляют 0,374 МПа. Такие же напряжения возникают и в верхней части обоих бортов. Область сжимающих горизонтальных напряжений со значением -0,173 МПа находится под дном каньона на расстоянии 1-1,5S (где S-ширина дна каньона) в зоне сохранных пород и по сравнению с вариантом без учета воды напряжения уменьшаются в 7 раз.

При уровне воды 130м в области дна каньона наблюдаются горизонтальные растягивающие напряжения, значения которых меняются от 0,0693 МПа до 0,878 МПа. На уровне воды и выше горизонтальные растягивающие напряжения составляют 0,0693 МПа. По сравнению с вариантом без учета воды в водохранилище горизонтальные сжимающие напряжения, под дном каньона уменьшаются в 6,5 раза.

Дальнейшее снижение уровня воды в водохранилище до 110м, 85м, 50м и 10м анализ расчетов показало, что характер распределения напряжений аналогичны распределению напряжений при уровне воды равной 150м . Изменение напряженного состояния при этом носит лишь количественный характер.

Результаты расчетов показывают, что при изменении уровня воды меняется и напряженное состояние массива склонов (рис.9). В правом склоне однородного сложения на уровне воды горизонтальные напряжения являются сжимающими, которые по мере увеличения уровня воды снижаются. В неоднородном склоне увеличения уровня воды приводит к постепенному снижению горизонтальных растягивающих напряжений.

Появление зоны с растягивающими напряжениями можно объяснить следующим образом. При наличии воды в водохранилище массив будет испытывать соответствующее объему воды давление, в то же время в самом массиве появляются противодействующие силы. При снижении уровня, давление воды, действующее на массив уменьшается, а противодействующие силы самого массива, остаются некоторое время практически постоянными, что и в свою очередь приводит к нарушению равновесия массивов пород склона и возникновению растягивающих горизонтальных напряжений.

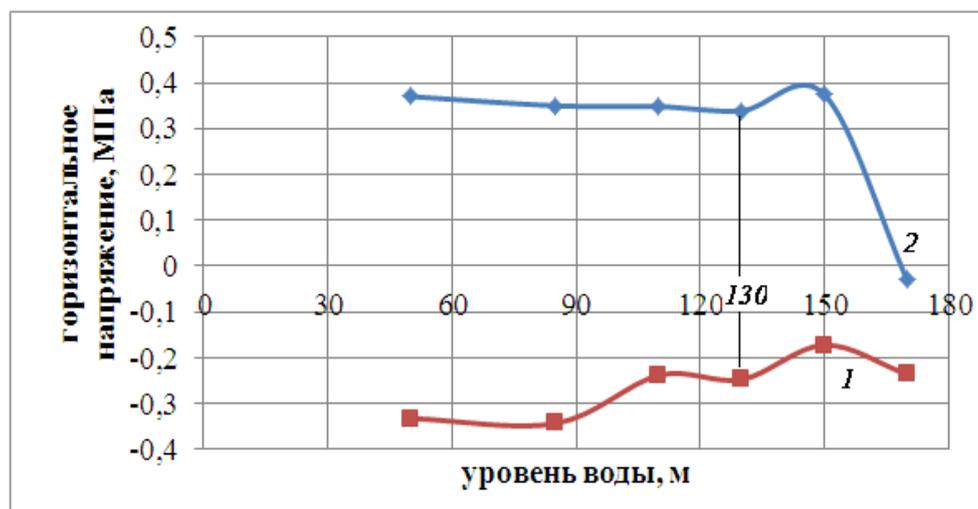


Рис.9. Зависимость изменения горизонтальных напряжений в массиве правого склона, расположенного на уровне воды от уровня воды в водохранилище: 1-однородный склон, 2- неоднородный склон

В левом склоне увеличение уровня воды при однородном сложении массива приводит к снижению горизонтальных сжимающих напряжений (рис.10). В неоднородном склоне горизонтальные растягивающие напряжения с увеличением уровня воды снижаются, и при уровне 130м наблюдается минимальное значение напряжений. Так как уровень воды в водохранилище равной 110м является критическим уровнем, с точки зрения выработки электроэнергии, поэтому уровень воды в водохранилище 130 м является оптимальным. Таким образом, установлено, для рассматриваемых условий наименьшие значения горизонтальных растягивающих напряжений наблюдается при уровне воды 130м.

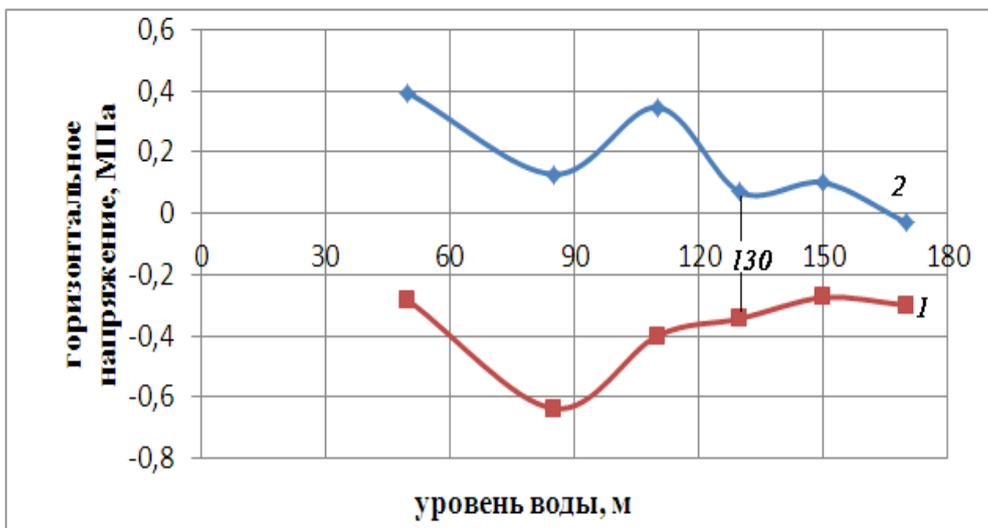


Рис.10. Зависимость изменения горизонтальных напряжений в массиве пород левого склона, расположенного на уровне воды, от уровня воды в водохранилище: 1-однородный склон, 2-неоднородный склон

На основании обобщения и анализа результатов по влиянию колебаний уровня воды в водохранилище на напряженное состояние склонов в створе Токтогульской ГЭС установлено, что оптимальным уровнем воды является 130м.

ВЫВОДЫ

В диссертационной работе дано решение актуальной задачи, заключающейся в установлении степени влияния колебания уровня воды в водохранилище на напряженно-деформированное состояние склонов в створе Токтогульской ГЭС.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Разработана методика оценки напряженного состояния породного массива склонов однородного и неоднородного сложений с учетом изменения уровня воды в водохранилище .

2. Установлено, что колебание уровня воды в водохранилище является одним из основных факторов, оказывающих влияние на равновесие массивов пород склона. Выявлено, что при снижении уровня воды в водохранилище в массивах склона прилегающего к водохранилищу возникают растягивающие напряжения. Зона растягивающих горизонтальных напряжений наблюдается в области выше уровня воды и в основании водохранилища.

3. Выявлено, что в массивах однородного и неоднородного склона при наличии воды в водохранилище имеются области со сжимающими горизонтальными напряжениями, значения которых меняются в зависимости от уровня воды. В центральной части дна каньона на глубине, равной его ширине, горизонтальные сжимающие напряжения по сравнению с вариантом без учета воды меняют свой знак и уменьшаются в однородном склоне в 2,2-2,25 раза, а в неоднородном склоне в 6-7 раза.

4. Установлено, что при увеличении уровня воды в водохранилище в склонах неоднородного сложения касательные напряжения в бортах уменьшаются от 1,35 до 1,48 раза, а под дном наоборот, увеличиваются до 1,7раза.

5. Установлено, что оптимальным уровнем воды в водохранилище является уровень воды равный 130м, при котором наблюдается минимальное значение растягивающих горизонтальных напряжений .

6. Основные научные результаты исследований были реализованы при осуществлении технического надзора за текущим состоянием гидротехнических сооружений и склонов Токтогульской ГЭС (Акт внедрения научных результатов от 06.02.2012 г.)

ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Кокумбаева К.А. Анализ напряженно-деформированного состояния массива горных пород склонов при строительстве гидротехнических сооружений [Текст]/ К.А.Кокумбаева, К.Ж.Усенов//Напряженное состояние породного массива и наведенная геодинамика недр/ Сб.научн.тр. междунар. конф.– Бишкек, ИФиМГП, 2006. –С.186–190.
2. Кокумбаева К.А. Оценка устойчивости горных пород склонов при строительстве гидротехнических сооружений [Текст]/ К.А.Кокумбаева, К.Ж.Усенов // Вестник Жалал-Абадского государственного университета, №2. - Жалал-Абад, 2007. -С.175-182.
3. Кокумбаева К.А. Влияние колебания уровня воды в водохранилище на смещение потенциально неустойчивых блоков склона в створе Токтогульской ГЭС [Текст]/ К.А.Кокумбаева, О.В.Никольская// Наука и новые технологии, №9. -Бишкек, 2009, - С.3-8.
4. Кокумбаева К.А. О воздействии вибраций гидроагрегатов на деформации склонов [Текст]/ К.А.Кокумбаева//Вестник Жалал-Абадского государственного университета, №1. - Жалал-Абад, 2009, -С.196-198.
5. Кокумбаева К.А. Влияние колебания уровня воды в водохранилище на смещение по трещинам в створе Токтогульской ГЭС [Текст]/ К.А.Кокумбаева, А.П.Алибаев//Вестник (специальный выпуск) Жалал-Абадского государственного университета, №1-2.- Жалал-Абад, 2010, -С.90-95.
6. Кокумбаева К.А. Влияние природных и техногенных факторов на напряженно-деформированное состояние склонов в створе Токтогульской ГЭС [Текст]/ К.А.Кокумбаева// Современные проблемы механики сплошных сред, №12.- Бишкек, 2010.–С.180-193.
7. Кокумбаева К.А. Установление влияния колебания уровня воды в водохранилище на смещение неустойчивых блоков [Текст]/ К.А.Кокумбаева// Современные проблемы механики сплошных сред, №8. – Бишкек, 2009,–С.200-207.
8. Кокумбаева К.А. Исследование напряженно-деформированного состояния правого склона в створе Токтогульской ГЭС [Текст]/ К.А.Кокумбаева //«Ізденіс»-«Поиск», №3. -Алматы, 2011, -С.161-176.
9. Кокумбаева, К.А. Напряженно-деформированное состояние склонов в створе Токтогульской ГЭС [Текст]/ К.Ч.Кожоголов, К.А.Кокумбаева// Современные проблемы механики сплошных сред, №13. - Бишкек: 2011, , –С.391-398.
10. Кокумбаева К.А. Оценка напряженно-деформированного состояния склонов неоднородного сложения с учетом изменения давления воды в водохранилище [Текст] / К.Ч.Кожоголов, К.А.Кокумбаева// Современные проблемы механики сплошных сред, №15. - Бишкек, 2012, –С.29-37.

25.00.20-«Геомеханика, тектерди жардыруу менен талкалоо, рудник аэрогазодинамикасы жана тоо-кен жылуулук физикасы» адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын алуу үчүн “Суу сактагычтагы суунун денгээлинин өзгөрүшүнүн Токтогул СЭСнин беткейлеринин чыңалыш - деформациялык абалына тийгизген таасирин баалоо” темасындагы Көкүмбаева Күлүмкан Асановнанын диссертациясынын

КОРУТУНДУСУ

Негизги сөздөр: чыңалуу абалы, суу сактагыч, суунун денгээли, беткейлер, жаракалар.

Изилдөөнүн объектиси: Токтогул СЭСнин бир тектүү жана көп тектүү беткейлери жана алардын чыңалыш-деформациялык абалы.

Изилдөөнүн максаты: суу сактагычтагы суунун денгээлинин өзгөрүшүнүн Токтогул СЭСнин беткейлеринин чыңалыш - деформациялык абалына тийгизген таасирин баалоо.

Изилдөөнүн методдору: көйгөйдүн заманбап абалын ретроспективдүү анализдөө; беткейлердин чыңалыш абалын аныктоодо теориялык жана практикалык изилдөөлөрдү илимий корутундулоо; беткейлердеги тоо тектердин жыйынындагы чыңалуунун таркалышын сандык моделдөө; изилдөөнүн жыйынтыктарын илимий корутундулоо жана анализдөө.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жанылыгы: бир жана көп тектүү беткейлердин чыңалыш-деформациялык абалын аныктоодо суу сактагычтагы суунун денгээлинин өзгөрүшүн камтыган методика негизделген жана иштелип чыккан; суу сактагычтын болушу бир жана көп тектүү беткейлерде кысуучу чыңалуунун аймактарынын пайда болушуна алып келет жана маанисинин өзгөрүшү суу сактагычтагы суунун денгээлинен көз карандылыгы белгиленген; суу сактагыч суу жок кездеги бир жана көп тектүү беткейлердеги горизонталдык созулуш чыңалуулардын азайышына алып келээри аныкталган; минималдык горизонталдык созулуш чыңалуу байкалган суу сактагычтагы суунун денгээли болуп 130м аныкталган.

Пайдалануу денгээли: изилдөөнүн негизги илимий жыйынтыктарын Токтогул СЭСнин гидротехникалык курулуштарынын жана беткейлеринин утурумдук абалын байкоодо пайдаланылган.

Колдонуу областы: Окшош шарттагы гидротехникалык курулуштарды долборлоодо, курууда бир жан көп тектүү беткейлердин чыңалыш-деформациялык абалын аныктоодо суу сактагычтагы суунун басымынын өзгөрүшүн камтыган, иштелип чыккан методиканы колдонсо болот.

РЕЗЮМЕ

диссертации Кокумбаевой Кулумкан Асановны на тему «Оценка влияния колебания уровня воды в водохранилище на напряженно-деформированное состояние склонов в створе Токтогульской ГЭС» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20. –«Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Ключевые слова: напряженное состояние, водохранилище, уровень воды, склоны, смещения, трещины.

Объект исследования. Склоны однородного и неоднородного сложения в створе Токтогульской ГЭС и их напряженно-деформированное состояние.

Целью исследования. Установление степени влияния колебания уровня воды в водохранилище на напряженно-деформированное состояние склонов.

Методы исследования. Ретроспективный анализ современного состояния проблемы; научное обобщение теоретического и практического опыта изучения напряженного состояния склонов; численное моделирование распределения напряжений в массиве пород склонов; анализ и научное обобщение результатов исследований.

Полученные результаты и их новизна. Разработана и обоснована методика оценки напряженно-деформированного состояния горных склонов однородного и неоднородного сложений, учитывающая колебания уровня воды в водохранилище; выявлено, что в массиве склонах однородного и неоднородного сложений при наличии воды в водохранилище имеются области с сжимающими напряжениями, значения которых меняются в зависимости от уровня воды в водохранилище; установлено, что увеличение воды в водохранилище в склонах однородного и неоднородного сложений приводит к разгрузке горизонтальных растягивающих напряжений, имеющих при отсутствии воды; установлено, что оптимальный уровень воды в водохранилище составляет 130 м, при котором наблюдается минимальное значение растягивающих горизонтальных напряжений.

Степень использования. Основные научные результаты исследований были реализованы при осуществлении технического надзора за текущим состоянием гидротехнических сооружений и склонов Токтогульской ГЭС.

Область применения. Разработанную методику по оценке напряженно-деформированного состояния склонов однородного и неоднородного сложения с учетом изменения давления воды в водохранилище можно применять при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений в аналогических условиях.

RESUME

Dissertation for a degree of candidate's degree of technical sciences on the specialty 25.00.20.- "Geomechanics, the destruction of rocks by explosion, mine aerogas dynamics and mountain thermal physics" of Kokumbaeva Kulumkan Asanovna on the theme "Assessment of influence of the water level in the water-storage basin at the mode of deformation of slopes in the site of Toktogul hydroelectric power station".

Keywords: state of stress, water-storage basin, water level, slopes, displacement, cracks.

Object of research. Slopes of homogeneous and inhomogeneous composition in a site of Toktogul hydroelectric power station and it's the mode of deformation.

Research objective. The assignment of the influence degree of fluctuation of water level in a water-storage basin on the mode of deformation.

Research methods. The retrospective analysis of modern condition of problem; scientific generalization of theoretical and practical studying experience of stress condition of slopes; numerical modeling of distribution of stress in rock massif of slopes; the analysis and scientific generalization of research results .

Received results and its novelty. The technique of assessment of the mode of deformation of hillsides of the homogeneous and inhomogeneous composition, considering water level fluctuations in a water-storage basin is developed and proved; it is revealed that in a file slopes of homogeneous and inhomogeneous compositions if there is water in a water-storage basin there are areas with the compressing pressure which values change depending on a water level in a water-storage basin; it is established that the water increase in a water-storage basin in slopes of homogeneous and inhomogeneous compositions leads to unloading of the horizontal stretching stress which are available in the lack of water; it is established that the water optimum level in a water-storage basin is 130 m at which the minimum value of stretching horizontal stress is observed.

Degree of use. The main scientific research results have been implemented at fulfillment of technical supervision of a current condition of hydraulic structure and slopes of Toktogul hydroelectric power station.

Field of application. The developed technique according to the mode of deformation of slopes of homogeneous and inhomogeneous composition with regard for change of

water pressure in a water-storage basin can be applied at designing and construction of hydraulic structures in analogical conditions.

КОКУМБАЕВА КУЛУМКАН АСАНОВНА

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В
ВОДОХРАНИЛИЩЕ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ
СОСТОЯНИЕ СКЛОНОВ В СТВОРЕ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС**

Подписано к печати 14.03.2012 г.
Формат 60 x 84 1/16. объем 1,5 уч.-изд.л.
Печать офсетная. Бумага офсетная.
Тираж 150 экз. Заказ № 488

720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б

Кыргызский государственный университет
строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова