

УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

**КОКУМБАЕВА К.А.,
УСЕНОВ К.Ж.,
АЛИБАЕВ А.П.,
ТАКЕЕВА А.**

В статье обоснованы геоструктурная и математическая модели по определению напряженно-деформированного состояния горных пород склонов в створе Токтогульской ГЭС. Рассмотрены закономерности распределения горизонтальных напряжений в зависимости от уровня воды в массиве пород склонов Токтогульской ГЭС. Установлен оптимальный уровень воды в водохранилище, при котором наблюдается минимальное значение растягивающих горизонтальных напряжений в массиве склона.

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.

В работах [1, 2, 3, 4, 5] отражены результаты исследований по изучению влияния воды в водохранилище на напряженно-деформированное состояние склонов в створе Токтогульской ГЭС. Однако вопрос совместного учета различного физико-механического свойства и блочности (трещины) массива пород в них не уделялось должного внимания.

Для разработки математической модели и оценки напряженного состояния склонов однородного и неоднородного сложений является геоструктурный разрез Токтогульской ГЭС, который является одним из элементов для моделирования напряженного состояния, как полуплоскость, имеющий два выступа. (составлен В.В.Каякиным) (рис.1).

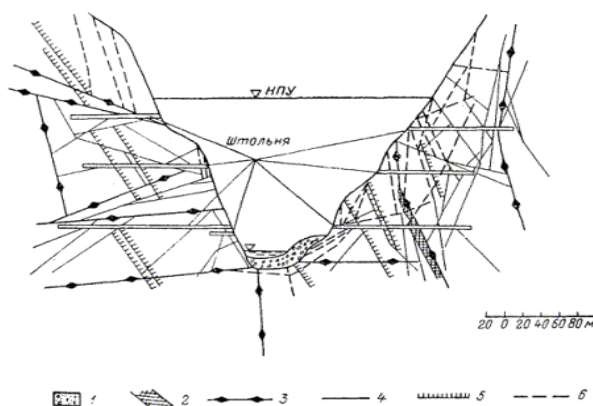


Рис.1. Геоструктурный разрез основания Токтогульской ГЭС (по В.В. Каякину и др. [38]): 1 - аллювий и делювий, 2 - пласт темных известняков с линзами и прослоями, 3 - тектонические трещины III порядка, 4 - тектонические трещины IV - VI порядков, 5 - трещины IV - VI порядков, развитые по напластованию, 6 - трещины бортового и донного отпоров.

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

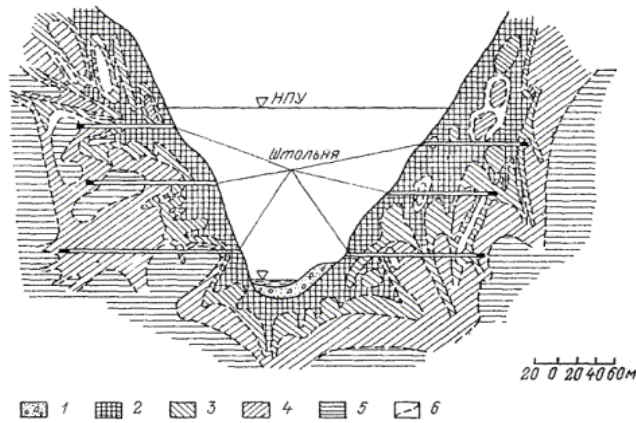


Рис.2. Сейсмогеологический разрез скального массива на участке плотины Токтогульской ГЭС [73]: 1 - аллювий и делювий; 2 - область значений $1,0 \text{ км/с} < v_s < 1,5 \text{ км/с}$, 3 - область значений $1,5 \text{ км/с} < v_s < 2,0 \text{ км/с}$, 4 - область значений $2,0 \text{ км/с} < v_s < 2,5 \text{ км/с}$, 5 - область значений $v_s > 2,5 \text{ км/с}$, 6 - изолинии скоростей поперечных сейсмических волн.

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

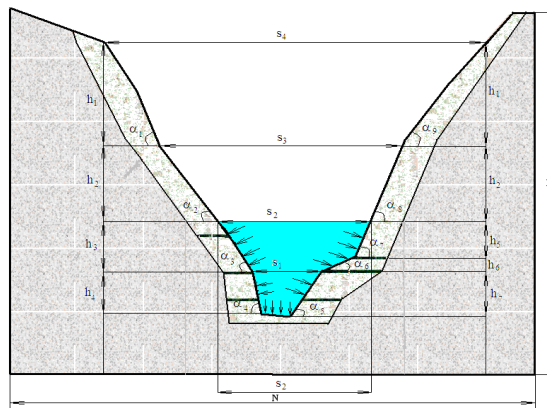


Рис.3. Геометрические параметры склонов неоднородного сложения

Створ гидроузла расположен в узком скалистом каньоне, глубина которого достигает 1500-1800 м. над уровнем моря, а в расчетной схеме глубина составляет 710м, ширина – 960 м. В поперечном сечении форма ущелья ассиметрична, левый борт крутой 70-80 град., а правый более пологий 60 град. Уровень воды h согласно напору составляет 170 м. Ширина дна долины на этом участке равна 40-50 м.

При наполнении водой водохранилище 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 . Направление давления воды при этом строго перпендикулярно к контуру склона в любой его точке и определяем по следующему выражению:

$$P + \rho gh, \text{ МПа [7] (1)}$$

где ρ - плотность воды, кг/м^3 , g – ускорения свободного падения, Н/кг , h - высота воды в водохранилище, м.

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.

На рис.4. представлено распределение горизонтальных напряжений без учета воды. Из рисунка видно, что значения растягивающих горизонтальных напряжений в зоне сохранных пород изменяются с 0,14МПа до 2,37МПа, а в зоне разгрузки изменяются с 0,14МПа до 1,26МПа.

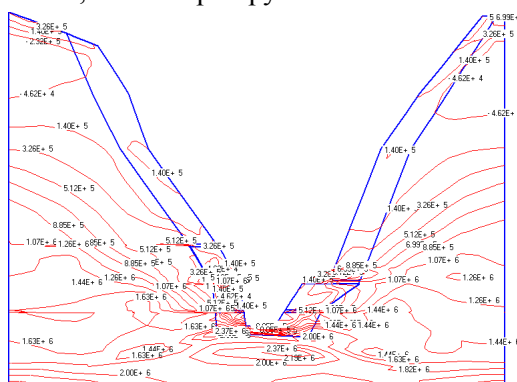


Рис.4. Распределение горизонтальных напряжений склонов неоднородного сложения без учета давления воды в водохранилище.

Отсюда видно что, разница между максимальным и минимальным значениями горизонтальных напряжений в зоне сохранных пород меньше, чем в зоне разгрузки. В зоне сохранных пород значение напряжений равно 1,26МПа, а в зоне разгрузки оно уменьшается до 0,69МПа. Наибольшая концентрация горизонтальных напряжений наблюдается в местах пересечения дна и бортов (правого и левого) склона. В левом борту в нижней части уступа происходит незначительная концентрация напряжений, величина которых меняются от 0,14МПа до 0,69МПа. Максимальное значение горизонтальных напряжений находится в области дна каньона на глубине 1S (где S-ширина дна каньона) от дна и составляет 2,37МПа.

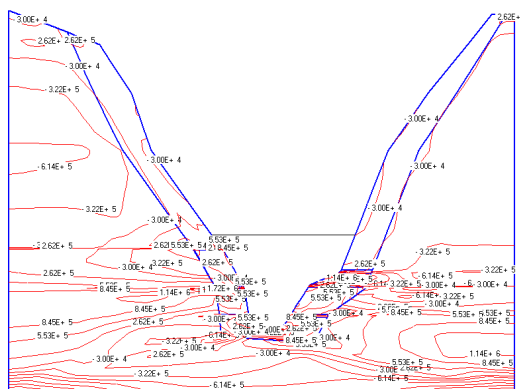


Рис.5. Распределения горизонтальных напряжений в склонах неоднородного сложения (при уровне воды -170м)

В левом и правом бортах (Рис.5.) на высоте (0,5-1,0)S от дна каньона возникают горизонтальные растягивающие напряжения, значения которых равны от 0,553МПа до 1,14МПа. В обоих бортах на уровне дна каньона значения растягивающих горизонтальных напряжений составляют от 0,279МПа до 1.01МПа. В области дна каньона, начиная с глубины, равной ширине дна каньона, горизонтальные напряжения становятся сжимающими. При этом значения сжимающих напряжений составляет – 0,322МПа.

По сравнению с вариантом без учета воды напряжения в центральной части дна, на глубине 1S от дна водохранилища горизонтальные напряжения уменьшаются в 6 раза.

При уровне воды 130м (рис.6.) в области дна каньона наблюдаются горизонтальные растягивающие напряжения, значения которых меняются от 0,0693МПа до 0,878МПа. Сравнение распределения растягивающих горизонтальных напряжений с другими вариантами показывает, что при рассматриваемом уровне воды наблюдаются наименьшие значения растягивающих напряжений, т.е. 0,0693МПа.

Такие же напряжения возникают и в верхней части обоих бортов.

Область сжимающих горизонтальных напряжений со значением 0,308МПа находится в глубине массива бортов, на расстоянии 1S (где S-ширина дна каньона) от дневной поверхности.

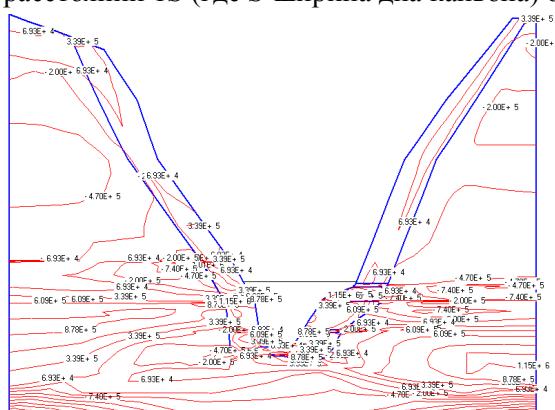


Рис.6. Распределение горизонтальных напряжений в массиве склонах неоднородного сложения при уровне воды 130м.

С точки зрения нарушения устойчивости массива, наибольшую опасность представляют растягивающие горизонтальные напряжения.

В области дна каньона значения горизонтальных сжимающих напряжений составляют – 0,308МПа. При уровне воды в водохранилище равной 130м, горизонтальные сжимающие напряжения на дне каньона по сравнению с вариантом без учета воды в водохранилище уменьшаются в 6,5 раза.

Результаты расчетов показывают, что при изменении уровня воды меняется и напряженное состояние массива склонов (рис.7.). 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 воды в водохранилище, 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.

В левом склоне увеличение уровня воды при однородном сложении массива приводит к снижению горизонтальных сжимающих напряжений (рис.8.). В неоднородном склоне

горизонтальные растягивающие напряжения с увеличением уровня воды снижаются, и при уровне 130 м наблюдается минимальное значение напряжений.

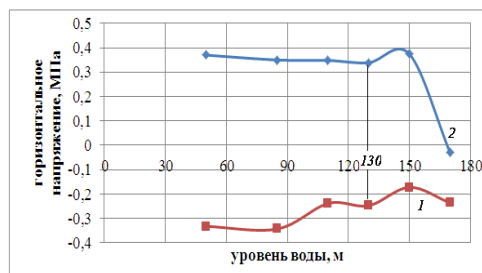


Рис. 7. Зависимость изменения горизонтальных напряжений в массиве правого склона, расположенного на уровне воды от уровня воды в водохранилище: 1-однородный склон, 2-неоднородный склон

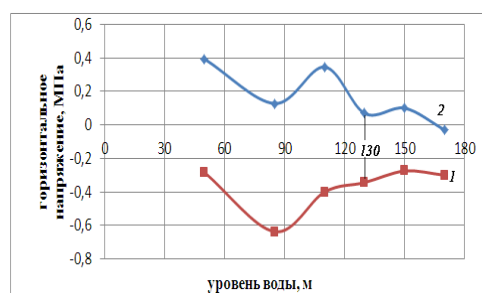


Рис. 8. Зависимость изменения горизонтальных напряжений в массиве пород левого склона, расположенного на уровне воды, от уровня воды в водохранилище: 1-однородный склон, 2-неоднородный склон

Так как уровень воды в водохранилище равной 110 м является критическим уровнем, с точки зрения выработки электроэнергии, поэтому уровень воды в водохранилище 130 м является оптимальным.

Таким образом, установлено, уровень воды в водохранилище является фактором, оказывающим влияние на равновесие массивов пород склона. Наличие воды в водохранилище в склонах однородного и неоднородного сложений приводит к разгрузке горизонтальных сжимающих напряжений, они меняют свой знак и уменьшаются 6-7 раза.

Оптимальным уровнем воды установлен уровень, равный 130 м, при котором наблюдается минимальное значение растягивающих горизонтальных напряжений на уровне воды и максимальное значение сжимающих горизонтальных напряжений.

Использованная литература:

1. Степанов. В. Я. Механика горных склонов Бишкек. Илим, 1992. - 192 с.
2. Гисс. Р.Е. Исследование основных закономерностей деформаций скальных склонов и совершенствование методики их изучения (в условиях района строительства Токтогульской ГЭС) - Фрунзе: 1975.- 40 с.
3. Жумабаев.Б. Исследование напряженного состояния оснований и бортов горных склонов методами теории упругости. Аналитические методы и вычислительная техника в механике горных пород /– Новосибирск, 1975. – 171 с.
4. Жумабаев. Б. Об изменении естественного напряженного состояния массивов в основании каньонов при действии гидростатической нагрузки. Научно-технический прогресс в дорожном строительстве / – Фрунзе: Илим, 1988. – 190 с.
5. Токтогульская ГЭС на р. Нарын. Технический проект основных сооружений. Т.1. Природные условия, инженерно-геологическое обоснование. Ташкент. САО Гидропроект, 1969. - 301 с.