

УДК 624.127:539.3

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СКЛОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИТОКА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

Кокумбаева К.А

Жалал-Абадский государственный университет им.Б.Осмонова

Изменение выработки электроэнергии на Токтогульской ГЭС в отдельные годы при неизменности технических условий функционирования их оборудования и стабильности экономической ситуации в значительной степени зависит от притока воды к створу. Одной из основных причин наблюдаемых изменений свойств и состояния массивов пород склонов являются фильтрационные силы, возникающие при смене гидрологических и гидрогеологических условий, которые зависят от уровня воды в водохранилище. Определено влияния изменения уровня воды в водохранилище на напряженно-деформированное состояние склонов в Токтогульской ГЭС.

Ключевые слова: маловодье, приток воды, напряженное состояние, распределение горизонтальных напряжений, водохранилище, уровень воды, склоны, смещения, трещины.

БЕТКЕЙЛЕРДИН ЧЫҢАЛЫШ-ДЕФОРМАЦИЯЛЫК АБАЛЫНЫН ӨЗГӨРҮШҮ ТОКТОГУЛ ГЭСИНИН СУУ САКТАГЫЧЫНА АГЫП КИРГЕН СУУЛАРДЫН КӨЛӨМҮНӨН КӨЗКАРАНДЫ

Кокумбаева К.А.

Б.Осмонов атындагы Жалал-Абад мамлекеттик университети

Токтогул ГЭСинде электр энергияны өндүрүү, белгилүү жылдарда электр кубаттуулугунун жана жабдууларынын иштешинин техникалык шарттарынын өзгөрүлбөгөндүгүн жана экономикалык кырдаалдын туруктуулугун эске алуу менен, көпчүлүк учурда суу сактагычка агып киргенсуулардын көлөмүнөн көз каранды. Беткейлердин массивдеринин касиеттеринде жана абалында байкалган өзгөрүүлөрдүн негизги себептеринин бири суу сактагычтагы суунун деңгээлине байланыштуу болгон гидрологиялык жана гидрогеологиялык шарттар өзгөргөндө пайда болгон чыпкалоочу күчтөр болуп саналат. Суу сактагычтагы суунун

деңгээлинин өзгөрүшүнүн Токтогул ГЭСиндеги беткейлердин чыңалыш-деформациялык абалы аныкталды.

Баштапкы сөздөр:суунун тартыштыгы,кирген суулар, чыңалыш абалы, горизонталдуу чыңалуунун таралышы, суу сактагыч, суунун деңгээли, беткейлер, жылышуу, жаркалар.

CHANGES IN THE STRESS-STRAIN STATE OF SLOPES DEPENDING ON THE CHANGE IN WATER INFLOW INTO THE RESERVOIR OF THE TOKTOGUL HPP

Kokumbaeva K.A.
Jalal-Abad State University

Changes in electricity generation at the Toktogul HPP in certain years, given the unchanged technical conditions for the operation of their equipment and the stability of the economic situation, largely depends on the flow of water to the section. One of the main reasons for the observed changes in the properties and state of rock massifs on slopes are filtration forces that arise when hydrological and hydrogeological conditions change, which depend on the water level in the reservoir. The influence of changes in the water level in the reservoir on the stress-strain state of the slopes in the Toktogul HPP has been determined.

Keywords: lowwater, , inflow of water, a state of stress, distribution of horizontal stresses, a water basin, a water level, slopes, displacement, cracks.

Кыргызстан - богата гидроресурсами. По территории страны протекает более 25 тысяч ручьев и рек. Длина 73 рек составляет более 50 километров, остальные чуть короче, при этом даже ручьи достигают 10-километровой длины.

Сток всех рек страны является основным ресурсом гидроэнергетики, который составляет 48,6 миллиарда кубических метров в год. Этот объем равен 25 озерам Сон-Куль или объему воды в 19 миллионах олимпийских бассейнов. В среднем из всех рек страны вытекает 1 530 кубических метров воды в секунду.

Нарын — главный водный источник страны, в него втекает несколько рек: Кокомерен, Чычкан, Узун-Ахмат, Таркент и другие. У реки Нарын наблюдаются трехлетний, семилетний, одиннадцатилетний и тридцатитрехлетний циклы притока воды.

Режим работы Токтогульского водохранилища регулируется в соответствии с этими циклами. Конечно, спуск воды имеет суточное, недельное, месячное и сезонное регулирование в зависимости от потребностей страны. Но это регулирование стоков происходит в соответствии с многолетним режимом регулирования, который составляет

9-10 лет. В этом году намечается маловодье в Токтогульском водохранилище.

Теперь по графикам [1] можно пояснить цикличность маловодья.

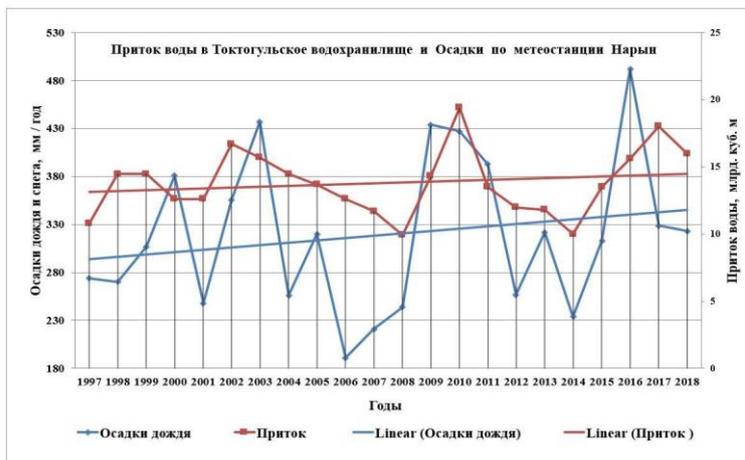


Рис.1. Приток воды в Токтогульском водохранилище и осадки метеостанции Нарын.

Как видно из графика, есть определенная цикличность в выпадении осадков. Повышенный уровень осадков наблюдался в 2000-м, 2003 годах и так далее с примерной периодичностью 3 года. В соответствии с показателями выпадения осадков меняются и данные о притоке воды в водохранилище. Один из самых низких показателей притока воды был в 2008 году. Тот кризис был связан с критически малым уровнем осадков в предыдущие два года — 2006-м и 2007-м. Приблизительно такую же картину кризиса по притоку воды в водохранилище мы наблюдали в 1997-м и 2014 годах.

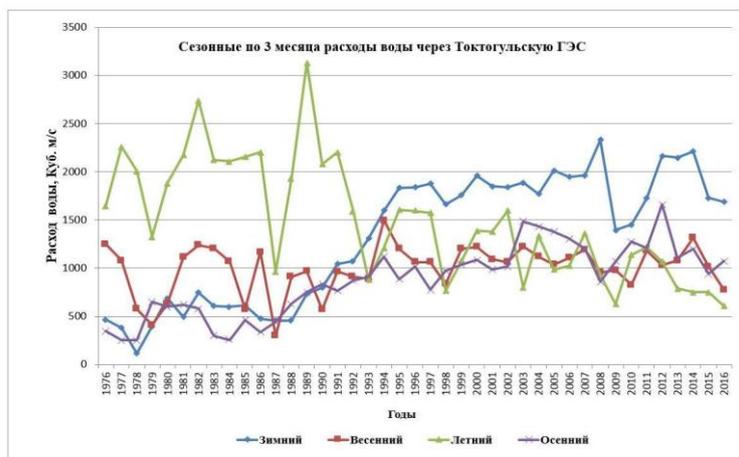


Рис.2. Сезонные по 3 месяца расходы воды через Токтогульскую ГЭС.

Из графика четко видна картина изменений расхода воды за 40 лет в зависимости от времени года. Самый высокий уровень расхода воды был в летний сезон 1990 года, когда показатели превысили отметку 3 000

кубометров в секунду. А в зимний период 1978 года мы видим самое минимальное потребление воды.

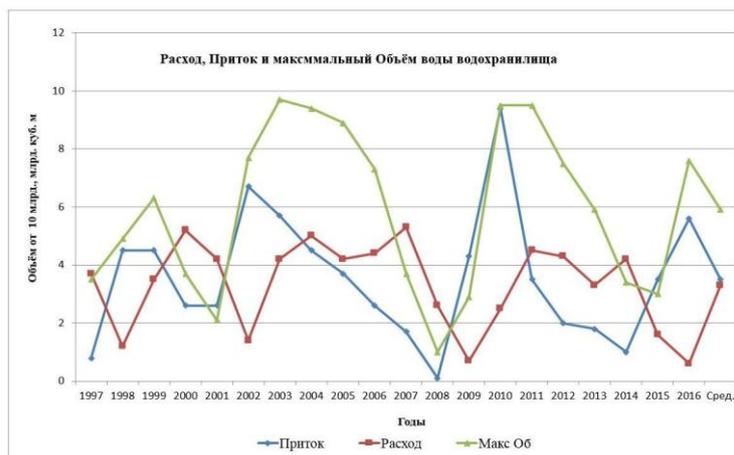


Рис.3.Расход, приток и максимальный объем воды водохранилища.

На графике можно увидеть зависимость объема водохранилища и расхода воды от уровня притока за последние 19 лет. Максимальный объем мы наблюдали в 2003-м и 2010-2011 годах, а самые низкие уровни воды — в 2001, 2008 и 2015 годах. Здесь отчетливо прослеживается семилетний цикл маловодья на Токтогульской ГЭС.

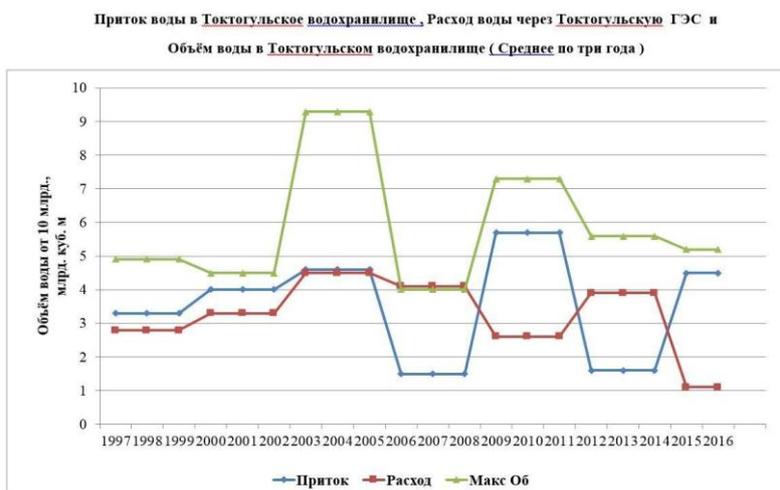


Рис.4.Приток воды в Токтогульском водохранилище, расход воды через Токтогульскую ГЭС и максимальный объем воды в Токтогульском водохранилище(среднее по три года)

За последние 10 лет средний расход воды в стране составил 12,3 миллиарда кубометров, а приток — 12,5 миллиарда. В 2008 году был минимальный приток воды, а в 2016-м и 2017-м — максимальный. Тогда уровень потребления отставал от уровня притока на 2-3 года. Отсюда можно сделать вывод, что максимальные осадки наблюдались в 2016-м. Это стало следствием высокого уровня притока в 2017 году, а 2018-й —

год спада показателей. То есть далее в соответствии с этими данными прогнозируется период маловодья. При нынешнем маловодье около 400 кубометров воды в секунду из этой реки вытекает в Узбекистан, что свидетельствует о расходе из-за необходимости вырабатывать электричество для нужд жителей страны.

В советское время существовало единое энергетическое кольцо, которое связывало энергосистемы стран СССР и позволяло всесторонне использовать энергетические мощности. С 1975-го по 1993 год в Средней Азии около 85 процентов электроэнергии вырабатывалось на ТЭС. А кыргызстанские и таджикостанские ГЭС тогда использовались лишь для поддержания стабильности энергосистемы во время пикового потребления.

До 1995 года в холодный период при выработке электроэнергии для страны использовали только 3 миллиарда кубометров, а вот после 1995-го уже 8 миллиардов кубометров. При этом в год выпускалось иногда до 14 миллиардов кубических метров воды. Тогда средний годовой объем выпуска воды из Токтогульского водохранилища составлял 10,7 миллиарда кубометров, 7,7 из которых в вегетационный период для нужд ирригации использовали узбекистанцы и казахстанцы.

На 5 июля уровень воды в Токтогулке составлял 15 миллиардов 464 миллиона кубометров. Но она имеет максимальный объем 19,5 миллиарда кубических метров. Минимальный допустимый объем воды в водохранилище, так называемый "мертвый" уровень — 5,5 миллиарда кубометров, а напор при этом -110 м [2]. Если уровень воды будет ниже "мертвого", то работа ГЭС станет невозможной.

При полном объеме воды для того, чтобы на Нижне-Нарынском каскаде ГЭС выработать условно 1 киловатт-час, должен вытекать 1 кубометр воды в секунду. Если же уровень воды понижается до минимального значения, то для выработки одного киловатта потребуется расходовать уже в 2 раза больше воды. Поэтому, чтобы избежать критической ситуации, следует сохранять уровень воды в норме. А для этого нужно заключить договор с Узбекистаном об экспорте электроэнергии, но с неким плавающим графиком в зависимости от уровня воды в Токтогулке. То есть не выдавать постоянно, условно, 500 тысяч киловатт, а менять эту цифру, чтобы не потерять уровень воды.

В Токтогульском водохранилище средний приток воды составляет 12,5–14 миллиардов кубометров в год, но есть вероятность, что в период маловодья он снизится до 9-10 миллиардов. Это может привести к существенному уменьшению выработки электричества и повлечь веерные отключения. К сожалению, приток воды зависит не от человека, а исключительно от природных условий. Расчетный напор Токтогульской ГЭС составляет 144 метров, а высота плотины — 215 метров. Изучению влияния водохранилища на напряженное состояние и устойчивости склонов в створах плотины Токтогульской ГЭС посвящены работы

отечественных и зарубежных ученых [2,3,4,5]. В их работах установлено, что влияние уровня воды в водохранилище на напряженно-деформированное состояние склонов зависит от соотношения глубины долины и водохранилища. В случае, когда глубина долины в 6 раз превышает глубину водохранилища, влияние водохранилища на распределение и величины напряжений невелико, так как напряжения, обусловленные собственным весом пород немного больше дополнительных напряжений, возникающих под действием воды в водохранилище [3]. По прогнозам сотрудников Токтогульской ГЭС, в этом году минимальный уровень воды будет не ниже 130 м. По итогам экспериментального исследования [6], установлено, что минимальным оптимальным уровнем воды является уровень воды, равный 130м, при котором наблюдается минимальное значение растягивающих горизонтальных напряжений на уровне воды и максимальное значение сжимающих горизонтальных напряжений. Ниже приведем этот расчет.

При уровне воды 130м (рис.5.) 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.

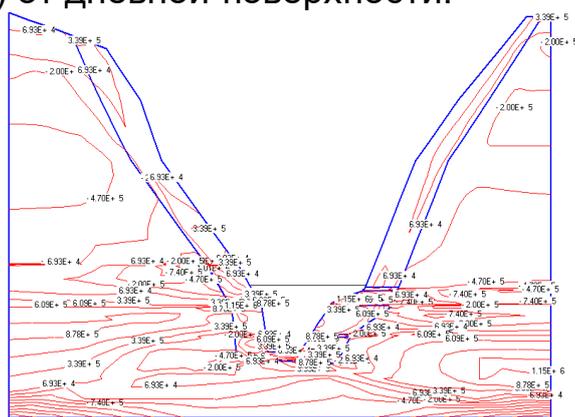


Рис.5. Распределение горизонтальных напряжений в массиве склонах неоднородного сложения при уровне воды 130м.

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.6.). 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.

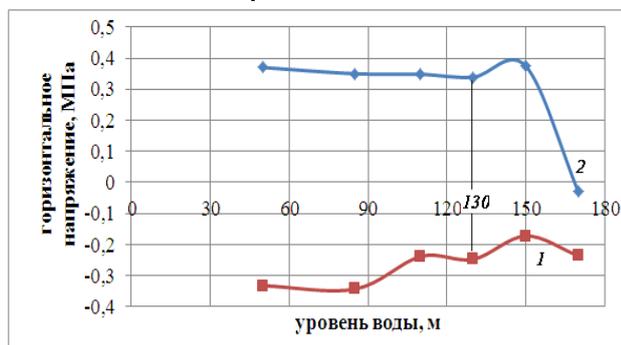


Рис. 6. Зависимость изменения горизонтальных напряжений в массиве правого склона, расположенного на уровне воды от уровня воды в водохранилище: 1-однородный склон, 2- неоднородный склон.

В левом склоне увеличение уровня воды при однородном сложении массива приводит к снижению горизонтальных сжимающих напряжений (рис.7.). В неоднородном склоне горизонтальные растягивающие напряжения с увеличением уровня воды снижаются, и при уровне 130м наблюдается минимальное значение напряжений.

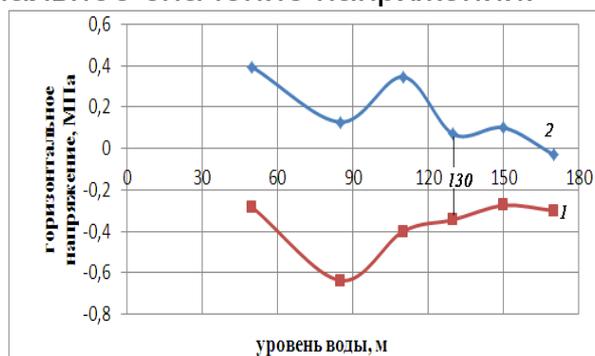


Рис. 7. Зависимость изменения горизонтальных напряжений в массиве пород левого склона, расположенного на уровне воды, от

уровня воды в водохранилище: 1-однородный склон, 2-неоднородный склон.

Так как уровень воды в водохранилище равной 110м является критическим уровнем, с точки зрения выработки электроэнергии, поэтому уровень воды в водохранилище 130м является минимальным 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 минимальным уровнем воды установлен уровень, равный 130м, при котором наблюдается минимальное значение растягивающих горизонтальных напряжений на уровне воды и максимальное значение сжимающих горизонтальных напряжений.

Максимальный объем, мы наблюдали в 2003-м и 2010-2011-2017 годах, а самые низкие уровни воды — в 2001, 2008, 2015 и 2021 годах. Здесь отчетливо прослеживается шестилетний и семилетний цикл маловодья на Токтогульской ГЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липкин В.И., Мавлянбеков Ш.У., Приток воды в Токтогульское водохранилище и расход воды через Токтогульскую ГЭС. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана №4, стр.264-268. –Бишкек: 2019.
2. Кокумбаева К.А, Никольская О.В., Влияние колебания уровня воды в водохранилище на смещение потенциально неустойчивых блоков склона в створе Токтогульской ГЭС. Журнал «Наука и новые технологии» №9, стр.3-7. Бишкек: 2009.
3. Степанов В.Я., Механика горных склонов. Бишкек. Илим, 1992.192 с.
4. Манжиков Б.Ц., Момукеев С.О., Вероятностная оценка устойчивости горных склонов на участке Токтогульской ГЭС. Журнал «Гидротехническое строительство» №9, стр. 29-33 Москва: 2013.
5. Напряженно-деформированное состояние склонов в створе Токтогульской ГЭС. Кожоголов К.Ч., Кокумбаева К.А., Современные проблемы механики сплошных сред, №13 - Бишкек: 2011г., –С.391-398.
6. Кокумбаева К.А., Кожоголов К.Ч., Установление оптимального уровня воды в водохранилище Токтогульской ГЭС. Журнал «Известия КГТУ им. И.Раззакова №28, стр. 169-175. Бишкек: 2013.