



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»
109044, Россия, Воронцовский пер., 2, стр.1
Тел. (495) 912-10-78, 912-57-99, факс. 632-72-85
www.nts-ees.ru**

ОТЧЕТ

заседания секции «Гидроэлектростанции и гидротехнические сооружения» НП «НТС ЕЭС»

по теме:

- 1.«Особенности формирования напряженно-деформированного состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС»;**
- 2.«Оценка состояния арочно-гравитационной плотины СШГЭС за периоды строительства и нормальной эксплуатации».**

Москва, 2009 г.

<p>Утверждаю: Председатель НТС - Советник Председателя Правления ОАО "РусГидро", член-корр. РАН, профессор, д.т.н.</p>  <p>М.П. Федоров</p>	<p>Утверждаю: Председатель НП «НТС ЕЭС» член-корр. РАН, профессор, д.т.н.</p>  <p>А.Ф. Дьяков</p>
--	---

ПРОТОКОЛ

совместного заседания Бюро НТС ОАО «РусГидро» и секции «Гидроэлектростанции и гидротехнические сооружения» НП «НТС ЕЭС».

24 ноября 2009 г.

№ 2/ 2009

г. Москва

Присутствовали:

Члены Бюро НТС ОАО «РусГидро» и члены секции НП «НТС ЕЭС»:

Арцишевский Я.Л., Асарин А.Е., Безруких П.П., Беллендир Е.Н., Берлин В.В., Гладышева Т.Л., Деев А.П., Елистратов В.В., Жиркевич А.Н., Клименко А.В., Лапин Г.Г., Лашёнов С.Я., Марчук А.Н., Мгалобелов Ю.Б., Пигалёв А.С., Рассказов Л.Н., Савич А.И., Семёнов И.В., Страфиевский В.А., Хазиахметов Р.М., Шайтанов В.Я., Юркевич Б.Н.

Приглашенные:

Бронштейн В.И.

- заместитель директора филиала ОАО «Институт Гидропроект им. С.Я. Жука» - ЦСГНЭО;

Вульфович Н.А.
Газиев Э.Г.

- начальник отдела ОАО «Институт Ленгидропроект»;

Гордон Л. А.

- главный специалист филиала ОАО «Институт Гидропроект им. С.Я. Жука» - ЦСГНЭО;

Золотов Л.А.
Иванов С.А
Каганов Г.М.

- ведущий научный сотрудник ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»;

Киселёв Н.П.

- вице-президент Ассоциации «Гидропроект»;

Ведущий эксперт ОАО «РусГидро»;

- профессор Московского Государственного университета природообустройства;

- исполнительный директор ОАО «Институт Гидропроект им. С.Я. Жука»;

Клочков Р.В.	- начальник департамента ОАО «РусГидро»;
Матюшечкин С.Н.	- ведущий эксперт ОАО «РусГидро»;
Румянцев А.И.	- директор московского представительства ОАО «Институт Ленгидропроект»;
Соловьёв А.Н.	- заместитель генерального директора ОАО «Институт Ленгидропроект»;
Спускан А.В.	- эксперт ОАО «РусГидро»;
Соломатин О.Ю.	- главный эксперт ОАО «РусГидро»;
Степаненко Н.И.	- начальник службы мониторинга Саяно-Шушенской ГЭС;
Тетельмин В.В.	- профессор Московского Государственного открытого университета;
Храпков А.А.	- главный научный сотрудник ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»;
Невелева С.С.	Начальник департамента ОАО «РусГидро»

Секретарь Бюро НТС ОАО «РусГидро» Гущин М.Ю.

Секретарь секции «Гидроэлектростанции и гидротехнические сооружения» НП «НТС ЕЭС» Осипова Т.П.

Слушали:

1 Доклад начальника отдела расчётных обоснований сооружений ОАО «Ленгидропроект» Вульфович Н.А. «Особенности формирования НДС плотины Саяно-Шушенской ГЭС»

2 Содоклад руководителя лаборатории гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской ГЭС Степаненко Н.И. «Оценка состояния арочно-гравитационной плотины СШГЭС за периоды строительства и нормальной эксплуатации».

3 Экспертные заключения :

- ГИП ОАО «Институт Гидропроект им. С.Я. Жука» Пигалёв А.С.
- заместитель директора ЦСГНЭО В.И. Бронштейн.
- главный научный сотрудник ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» А.А. Храпков

4 Сообщение «О состоянии плотины Саяно-Шушенской ГЭС» профессор Московского Государственного открытого университета В. В. Тетельмин.

В своем докладе Вульфович Н.А. сообщил, что существующее напряжённо-деформированное состояние (далее НДС) плотины Саяно-Шушенской ГЭС складывалось под влиянием нескольких факторов и отражает принцип работы конструкции сооружения, принятый в проекте.

Из упомянутых факторов докладчик отметил влияние последствий нагружения плотины на разных стадиях её возведения, влияние результатов ремонтных работ по инъектированию трещин на напорной грани плотины на отметках 350,0 , 359,0 и зоны разуплотнения основания, а также влияние необратимых перемещений в сторону нижнего бьефа.

Существующая конструкция плотины была принята по результатам расчёта методом пробных нагрузок, выполненного в Ленгидропроекте в 1970 году и на основе исследований, выполненных во ВНИИГе на хрупкой модели и оптическим методом. Продемонстрированные в ходе доклада результаты расчёта показали, что при основном сочетании нагрузок максимальные сжимающие напряжения на низовой грани у подошвы составили 9,5 МПа, в береговых примыканиях - порядка 9,0 МПа, на верховых гранях верхних арок – порядка 6,0 МПа без учёта сезонных колебаний температуры. Принятая по результатам расчётов конструкция плотины, а также формы и очертания береговых врезок были утверждены решением НТС и Коллегии Минэнерго СССР в 1970 году и остались без изменения на стадии рабочих чертежей.

В соответствии с проектом возведение плотины должно было производиться полным сечением в три этапа при интенсивности работ около 3 млн. м. куб. бетона в год. При такой схеме возведения прогнозировалось возникновение растягивающих напряжений в бетоне верховой грани, но с глубиной распространения по подошве не более чем на 10 метров. В действительности же, при пуске первого гидроагрегата в 1978 году при УВБ 383,0 м., наполнение водохранилища до НПУ состоялось только в 1989 году, количество этапов возведения увеличилось до 9, в результате чего на всех этих этапах плотина работала штрабированным профилем, при котором бетонирование и нагружение вторых и четвёртых столбов отставало друг от друга. В результате, четвёртые столбы плотины были возведены и омоноличены только после заполнения водохранилища до отметки 450,0 метров, что привело к тому, что в дальнейшем, они могли воспринять только часть гидростатической нагрузки, определяемой разностью уровней 540 и 450 метров.

При такой схеме возведения перегруженным оказался первый столб, что привело к раскрытию контактного шва на ранних стадиях

нагружения плотины. Впоследствии, зона растягивающих напряжений распространилась и до зоны 350,0 – 359,0 метров, которая в свою очередь была ослаблена трещинами температурного происхождения, причиной которых явились недопустимо высокие темпы бетонирования первых столбов и принятые размеры блоков бетонирования.

Механизм трещинообразования в теле плотины на контакте с основанием был исследован в Ленгидропроекте в 1992-93 годах на математической модели, воспроизводящей реальные условия возведения и нагружения плотины. Далее докладчик продемонстрировал на представленных слайдах динамику раскрытия контактных и строительных швов, а также развитие растягивающих зон и растягивающих напряжений. По полученным расчётом, контактный шов начал раскрываться при УВБ 470 метров и отметке гребня 503,0 м. (июнь 1983 г.). При УВБ 526,0 м. зона растягивающих напряжений впервые достигла отметки 355,0 метров, что привело к началу раскрытия температурных трещин. При УВБ 540,0 метров раскрытие трещин в первом столбе составило 23 метра, а по контакту – 36 метров.

Докладчиком было отмечено, что наличие растягивающих напряжений не является критичным для арочной плотины, работающей по вторичной схеме, образованной после появления трещин и сохраняющей в этих условиях свою несущую способность. По результатам расчёта сжимающих напряжений (являющихся определяющими для арочной плотины), выполненного с учётом раскрытия трещин, были получены их максимальные значения меньше допустимого для бетона марки 300, равного 15 МПа.

С точки зрения обеспечения механической прочности плотины, при полученных значениях напряжений, имеющиеся магистральные трещины не создавали угрозы для безопасного существования плотины, но при УВБ, приближающейся к отметке 540,0 метров наличие данных трещин приводило к водопроявлению через тело плотины и фильтрации через основание в объёмах, вдвое превышающих проектные прогнозы, что в долгосрочной перспективе представляло угрозу эрозии бетона и фильтрационной прочности основания.

В 1986 году после всестороннего анализа причин непроектного поведения плотины была проведена инъекция эпоксидными смолами трещин первого столба в зоне отметок 350,0 – 359,0 метров, а в 1998 – 2003 годах по той же технологии были выполнены работы в зоне разуплотнения скального основания и верховой грани плотины. Работы в основном выполнялись при УВБ 540,0 метров, когда трещины в напорной грани (на отм. 350,0) имела максимальное раскрытие порядка 3 мм и в основании (по расчётом) – 22 мм.

После проведения инъекционных работ навсегда изменился характер работы плотины, при котором заполнитель трещин не позволяет плотине вернуться в прежнее положение при сработке водохранилища и при максимальной отметке сработки водохранилища 500,0 метров приводит к 5

образованию сжимающих напряжений в зоне трещин на напорной грани величиной порядка 3 МПа и на контакте с основанием до 10 МПа. С целью сохранения необходимого запаса по сжимающим напряжениям в зоне трещин и сохранения сплошности инъецирующего материала уровень НПУ был понижен с отметки 540,0 до 539,0.

Далее докладчик отметил, что анализ процесса накопления необратимых деформаций показал, что в течении первых пяти лет работы плотины полными циклами (1991 – 1995 г.) процесс носил затухающий характер, о чём позволяют судить представленные данные. За этот период необратимые перемещения гребня плотины по отношению к первоначальному циклу измерений составили 32 миллиметра. При отсутствии необходимости в проведении ремонтных работ можно было ожидать, что в течении двух-трёх лет плотина войдёт в период полной стабилизации. Однако, в результате проведения ремонтных работ, процесс стабилизации был прерван из-за изменения характера работы плотины и изменения её взаимодействия со вмещающим скальным массивом, а общая величина необратимых деформаций к концу 2003 года при сработке до 500 отметки составила 64 мм. По отношению к первоначальному циклу.

Исследования на математической модели, проведённые в Ленгидропроекте, позволили оценить адекватность измеренных в 2006-2008 годах показателей состояния плотины действующим на неё нагрузкам и воздействиям. Расчётный анализ гидростатической и температурной составляющих перемещений углов поворота показал, что изменения НДС сооружения в этот период в полной мере соответствует изменениям УВБ и отражает особенности температурных режимов тех лет, то есть необратимых составляющих в этот период практически не было выявлено.

В ходе мониторинга состояния плотины, осуществляемого в 2009 году, аналогичный анализ выполнялся для семи контрольных точек. Результаты сравнения измеренных и расчётных приращений горизонтальных перемещений показывают, что они достаточно тесно согласуются друг с другом, что, по словам докладчика, свидетельствует о работе плотины в штатном режиме и адекватном её реагировании на изменения уровня ВБ и температурного режима. При этом, показания предшествовавшие произошедшей аварии и показания последующего периода показывают, что каких-либо изменений в состоянии плотины авария не вызвала.

На основании изложенного, докладчик предложил считать состояние плотины **Саяно-Шушенской ГЭС** стабильным и не вызывающим опасений. Эксплуатацию сооружения следует продолжать в прежнем режиме, ограничивая уровень наполнения водохранилища отметкой 539,0 и ограничивая скорость наполнения при отметках УВБ выше 520,0 метров.

Во вступительном слове докладчик **Степаненко Н.И.** остановился на изменении проектных схем возведения и нагружения плотины в

строительный период. Далее он сообщил, что с момента пуска первого агрегата в 1978 году, службой эксплуатации было организовано наблюдение за состоянием плотины.

За период с 1978 по 2004 год был зафиксирован рост осадок, максимальная величина которых достигла 34 мм. в 30 секции по подошве сооружения.

В 1985 году был зафиксирован подъём по подошве плотины, который в 2002 году достиг максимальной величины в 7 мм. На сегодняшний день подъём по подошве плотины стабилизировался при максимальной величине осадки 27 мм.

В то же время, что и подъём по подошве сооружения стало наблюдаваться раскрытие контактного шва, первые признаки которого были зафиксированы в 1983 году, а в 1985 году раскрытие контактного шва наблюдалось уже под всей напорной гранью плотины с максимально зафиксированной величиной до 2,5 мм. В дальнейшем, по мере возведения сооружения и возрастанием отметок водохранилища глубина и величина раскрытия трещины увеличивались.

В этот же период наблюдался и рост радиальных перемещений, фиксируемых на разных отметках. Так, например, на отметке 310.0 зафиксирован рост перемещений на величину до 14 мм.

До 1982 года фильтрационные расходы в основании плотины фиксировались в размере около 50 литров в секунду. При дальнейшем нагружении происходил рост расходов до 300 литров в секунду в 1990 году.

Докладчик отметил, что с 1990 года и по настоящее время на отметке 311,0 (отметка расположения здания ГЭС) по данным обратных отвесов не наблюдается необратимых перемещений в данной зоне плотины, а все имеющиеся перемещения лежат в допустимых пределах. То есть за весь период нормальной эксплуатации, включая сегодняшний день, никаких необратимых составляющих в зоне расположения здания ГЭС не наблюдается.

Далее **докладчик остановился** на процессе возникновения двух зон трещин напорной грани и раскрытия трещины на контакте скала-бетон в зоне разуплотнения в основании плотины за счёт изменения проектных схем возведения и нагружения плотины в строительный период. Фильтрационные расходы к 1996 году – году начала ремонтных работ, достигали величин 457 литров в секунду по бетону и 490 литров в секунду по основанию, что в несколько раз превышало значения фильтрационных расходов, заложенных в проекте.

В 1996 году были выполнены ремонтные работы по напорной грани, в результате которых фильтрация была снижена до расходов, не превышающих 5л/с. Данные расходы остаются неизменными и по настоящее время.

Следующий этап ремонтных работ включал в себя инъекцию основания в зоне разуплотнения и продлился с 1998 года по 2003 год и были выполнены также успешно. Расходы в данной зоне уменьшились до 50 л/с.

Далее докладчиком было отмечено, что проведение ремонтных работ повлекло за собой рост необратимых перемещений плотины, которые были обусловлены тем, что в виду наличия в трещинах инъекционного материала, плотина не смогла занять своего первоначального положения, которое она занимала до начала производства ремонтных работ. Необратимые перемещения на гребне плотины (по ключевой секции) составили по оценкам докладчика на данный момент времени 59,3 мм.

Первый максимальный рост необратимых перемещений, по представленным материалам, приходился на 1990 год и был связан с проектным наполнением водохранилища. В последствии, перемещения имели затухающий характер и в 1995 году составили всего 1мм. В результате проведения ремонтных работ и в результате изменившихся условий работы плотины в 1996 году последовал скачкообразный рост необратимых перемещений, который составил 10,9 мм. В настоящее время службой контроля, начиная с 2006 года, необратимые перемещения гребня плотины не зафиксированы.

В конце своего доклада докладчик остановился на состоянии деформационного шва между плотиной и зданием ГЭС. Данный шов имеет проектную ширину 5см. С начала наблюдений и до 1995 года зафиксировано максимальное необратимое закрытие шва размером 3,6 мм. С 1995 года и по настоящее время необратимого закрытия деформационного шва не наблюдается.

В завершении доклада докладчиком было сделано сообщение, что по данным приборов КИА, установленных на нижних отметках здания ГЭС, состояние нижнего, массивного бетона агрегатных секций после произошедшей аварии находится в удовлетворительном состоянии.

По итогам доклада докладчиком был сделан вывод, что по оценкам лаборатории система «плотина-основание» достаточно надёжна, все контролируемые параметры не превышают критериальных значений. Кроме того, были представлены следующие предложения по увеличению надёжности работы плотины:

1. Выполнить расчетные исследования с определением прочности, устойчивости системы плотина-основание-здание ГЭС и произвести расчеты.
2. На основании расчетов и данных натурных наблюдений определить оптимальный для СШГЭС НПУ и установить режимы наполнения - сработки водохранилища.
3. Оценить необходимое и достаточное количество диагностических показателей состояния сооружения и на основе проведенных расчетных

исследований, данных натурных наблюдений переработать критерии безопасности.

4. Разработать альтернативную методику определения напряжений в теле плотины.

Далее, на заседании были заслушаны три экспертных заключения по Отчёту лаборатории гидротехнических сооружений СИГЭС «О состоянии системы плотина – основание по наблюдениям, выполненным в 2008-2009 годах».

С первым экспертным заключением выступил ГИП ОАО «Институт Гидропроект им. С.Я. Жука» Пигалёв А.С.

В начале своего выступления эксперт отметил, что в число учитываемых нагрузок и воздействий не включена нагрузка от вибрации сооружений гидроузла, возникающая при гашении энергии в водобойном колодце. Кроме того, эксперт высказал предположение, что данная нагрузка может достаточно сильно влиять на показания струнных приборов, изменяя их в ту или иную стороны. По мнению эксперта этот недостаток должен быть учтён в последующих расчётах.

Далее эксперт сделал вывод, о том, что состояние системы «плотина-основание» за отчётный период (2008-2009г.) следует признать соответствующим нормальной эксплуатации, что подтверждается отсутствием необратимых смещений плотины в сторону нижнего бьефа и остаточных вертикальных перемещений, сомкнутостью межсекционных швов со стороны напорной грани при максимальной нагрузке и незначительным раскрытием трещин на низовой грани. Кроме того, максимальные сжимающие напряжения не превосходят 12МПа, фильтрационный расход через напорную грань составляет чуть больше 15 литров в секунду, что является хорошим показателем для бетонных плотин с напором 200 метров и с большой площадью напорной грани. Столь небольшой расход фильтрации, по мнению эксперта также подтверждает выводы о малом раскрытии горизонтальных трещин после проведения ремонтных работ. Экспертом также были отмечены хорошие условия фильтрации в основании сооружения, при которых до 80% напора гасится на цементационной завесе и после дренажной завесы на подошву сооружения действует порядка 5% напора.

Результаты рассмотрения состояния кернов, взятых из скважин, пробуренных в русловой части плотины на глубину до 30 м от подошвы плотины, свидетельствуют о плотном контакте «бетон-скала» и об отсутствии в этой зоне сквозных трещин, не заполненных продуктами инъекций.

Результаты изысканий и натурных наблюдений, изложенные в разделах 3.5 и 3.6 Отчёта, позволяют утверждать, что **верховые столбы плотины и их основание работают как единое целое**. Нет никаких данных для

появившихся в СМИ утверждений о том, что плотина надёжно опирается на основание только четвёртым столбом, наоборот, рассмотренные материалы говорят о сохранности контакта на всей площади подошвы за цементационной завесой.

Экспертом было обращено особое внимание на критерии диагностических показателей. По его мнению, критерии диагностических показателей для напоров в основании и напряжений в бетоне плотины совпадают с нормативами и не подлежат пересмотру. Величины расходов в основании и через напорную грань плотины, являющиеся критериями соответствующих диагностических показателей, по экспертной оценке, основанной на опыте эксплуатации других плотин, могут быть повышенены на 40-50%.

Критерии диагностических показателей, характеризующие перемещения отдельных точек в плотине, в настоящее время определены с помощью прогнозной статистической модели, построенной на использовании данных соответствующей контрольно-измерительной аппаратуры. Опыт использования на практике определённых таким способом критериев показывает, что в большинстве случаев они не позволяют получить достоверную оценку состояния сооружения, поскольку прямая связь этих критериев с напряжённо-деформированным состоянием системы «сооружение-основание» отсутствует.

Количественные критерии для перемещений отдельных точек плотины СШГЭС должны быть определены из расчётов напряжённо-деформированного состояния системы «плотина-основания» на пространственной модели, учитывающей все особенности геологического строения основания, последовательность возведения плотины, начиная с разработки котлована, и все режимы её работы в эксплуатации, включая перелив через плотину во время строительства, а также вибрацию основания при работе водосброса.

Существующие критерии безопасности перемещений должны быть отменены.

Касательно дальнейшего режима работы ГЭС в период ввода в действие вышедших ранее из строя агрегатов, экспертом были даны рекомендации, основывающиеся на расчётах, проведённых отделом водного хозяйства и охраны окружающей среды ОАО «Институт Гидропроект», из которых следует, что исходя из сегодняшнего состояния плотины, отметка НПУ должна быть не ниже отм. 536.0-534.0 м. (на 5 м ниже установленной в настоящее время). При этом:

-полезный объём водохранилища снизится на 19% и составит 11,9 км³;

-при имеющемся ограничении мощности СШГЭС в 4000 МВт средняя многолетняя выработка обеих ГЭС (с Майнской ГЭС) снизится на 1,1 ТВт.ч (4,6%) и составит 22,6 ТВт.ч;

-гарантированная среднезимняя (XI-IV) суммарная мощность 90% обеспеченности снизится на 230 МВт (11,6%) и составит 1760 МВт.

В конце своего выступления эксперт предложил считать состояние системы «плотина-основание» при уровне верхнего бьефа на отм. 536 м., соответствующим нормальной эксплуатации.

Со вторым экспертным заключением выступил заместитель директора ЦСГНО В.И. Бронштейн.

В начале своего выступления эксперт дал высокую оценку деятельности лаборатории ГТС СШГЭС, сославшись на высокое качество ведущихся на СШГЭС натурных наблюдений за плотиной и высоком профессионализме специалистов, выполняющих эти наблюдения. По мнению эксперта, система натурных наблюдений СШГЭС, охватывающая порядка 13 тысяч измерительных точек, в существенной мере автоматизирована и не имеет отечественных аналогов, а служба ее эксплуатации (ЛГТС) – бесспорно лучшая среди подобных коллективов в системе РусГидро.

Касательно самого отчёта, эксперт обратил внимание на его излишнюю перегруженность результатами измерений, а также сведениями, напрямую не относящимися к оценке состояния сооружения. По мнению эксперта, представляется целесообразным приводить в отчете данные наблюдений лишь по существенно важной для диагноза состояния плотины КИА, а остальной объем данных измерений и их обработки хранить в базе, извлекая эти данные лишь при необходимости углубленного изучения конкретных вопросов.

Далее в экспертном заключении было указано, что практически вся струнная КИА, установленная на плотине, работает более четверти века и давно выработала свой ресурс, составляющий не более 15-20 лет. Проблема достоверности показаний закладной КИА обойдена в представленном отчете молчанием. Диагностическое обследование примерно 50 % дистанционной КИА СШГЭС, выполненное специалистами СибНИИГ в 2004-2008 г.г., показало, что достоверные показания обеспечивают 94 % обследованных струнных преобразователей. Тем не менее, очевидно, что острота проблемы достоверности показаний струнной КИА будет возрастать с каждым годом, в связи с чем, необходимо разработать и реализовать в ближайшие годы программу по замене выбывающей КИА альтернативными методами контроля. При этом предварительно необходимо с пристрастием оценить эффективность использования установленной КИА и существенно сократить объем эксплуатируемых приборов, оставив в оперативном наблюдении лишь те из них, которые активно используются при диагностике состояния плотины.

Основным недостатком рецензируемого отчета, по мнению экспертизы, является то, что в нем практически отсутствует полноценная увязка результатов отдельных видов наблюдений между собою – т.н.

комплексный анализ, а заключение лишь повторяет основные выводы отдельных глав, представляющих различные виды наблюдений.

В продолжении доклада эксперт напомнил, что для плотины СШГЭС функцию комплексного анализа данных контроля за состоянием плотины в известной мере брала на себя экспертная комиссия РАО ЕЭС по надежности плотины, которая де facto прекратила свое существование в 2003 году. **По мнению эксперта, вопрос возобновления работы этой комиссии давно назрел и требует безотлагательного разрешения.**

Именно отсутствием полноценного комплексного анализа результатов контроля за состоянием плотины **докладчик объяснил** тот факт, что до сих пор не был поставлен, как первоочередной, вопрос о достаточности для безопасной эксплуатации плотины фактического уровня ее несущей способности.

По мнению эксперта, реальную опасность для плотины представляет отрыв сооружения от основания на значительной части их контакта. Выполненные в ЦСГНЭО расчеты свидетельствуют, что протяженность раскрытия контактного шва достигает при НПУ на русловом участке плотины 30-40 м и распространяется в береговых примыканиях сооружения до отметок 400-420 м. Выключение значительной части контактной поверхности из работы на сдвиг несомненно снижает уровень устойчивости плотины относительно проектного. К сожалению, натурные наблюдения, отмечая ряд негативных явлений в состоянии плотины (рост остаточных радиальных перемещений, суммарная величина которых на гребне плотины (59,3 мм) достигла 40 % от максимального прогиба плотины (141,5 мм) и которые, вопреки мнению о их затухании в последние 3 года*, продолжают расти при низких уровнях верхнего бьефа; перераспределение внутренних усилий с увеличением арочного эффекта и концентраций напряжений и т.д.), не уделяют должного внимания определению фактических параметров раскрытия контактной трещины и изучению динамики ее развития. **По мнению эксперта,** отмеченные выше негативные процессы в состоянии плотины являются следствием образования и, по-видимому, продолжающегося роста контактной трещины, ввиду чего **необходимо безотлагательно выполнить численные исследования фактического запаса несущей способности системы «плотина-основание».** Такие исследования позволят принять решение о необходимости снижения напора на плотину, основываясь не на эмоциях и субъективных мнениях, а на количественной оценке устойчивости сооружения.

С третьим экспертным заключением, выступил Главный научный сотрудник ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» А.А. Храпков

* Это мнение отражено в Акте преддекларационного обследования гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской ГЭС и Майнского гидроузла 15-19 сентября 2009 г.

В начале выступления эксперт согласился с выводами, прозвучавшими в докладе Н.И. Стефаненко и предшествовавших экспертных заключениях, а в своём письменном заключении сделал вывод, что уровень безопасности арочно-гравитационной плотины – нормальный, а ее состояние – работоспособное.

Далее эксперт высказался о неизбежности проведения ряда необходимых и важных расчётов по оценке прочности и устойчивости системы «основание-плотина» с учётом того, что плотина по факту работает по вторичной схеме. Такая ситуация предусмотрена действующим СНиПом на бетонные плотины, где также допускается раскрытие определённых трещин (для арочных плотин) и предполагается выполнение специальных швов-надрезов в определённых расчётом местах. По мнению эксперта, возникшие в плотине СШГЭС трещины в контактной зоне и на напорной грани являются ни чем иным, как попыткой самого сооружения сформировать упомянутые швы-надрезы в сложившихся условиях эксплуатации.

В результате проведения ремонтных работ и заделки трещин инъецирующими составами, была получена новая плотина, отличная от проектной, работающая по вторичной схеме и требующая новой серии расчётов. Далее эксперт обратил особое внимание, что уже упоминаемая зона потери связи между бетоном и основанием на подошве сооружения и в бортовых примыканиях (10-140 метров вверх от подошвы) была определена экспериментально, в связи с чем необходимо выполнить специальные исследования на контакте бетон-скала с целью определения неповреждённой зоны контакта при НПУ и ряде промежуточных отметок.

Далее в своём сообщении эксперт посчитал необходимым завершить начатую станцией и СибНИИГом работу, связанную с определением классов бетона по прочности на сжатие, назначив для зон плотины с различными марками уложенного в них бетона классы прочности де-факто, отвечающие сегодняшним физико-механическими характеристикам материала с последующим апробированием полученных критериальных значений К1 и К2 путем их сопоставления с результатами измерения арочных и консольных напряжений в имеющихся точках наблюдения.

При дальнейшем выступлении, эксперт поддержал предложения по возобновлению деятельности экспертной комиссии по СШГЭС под председательством С.Я. Лащенова, как самой действенной площадки по решению комплекса проблем, связанных с функционированием сооружений гидроузла.

В продолжении заседания с сообщением «О состоянии плотины Саяно-Шушенской ГЭС» выступил профессор Московского Государственного открытого университета В. В. Тетельмин.

Докладчик в частности сказал, что при рассмотрении такого сооружения, как плотина Саяно-Шушенской ГЭС необходимо рассматривать два класса процессов. Первый – это классические и уже рассмотренные на заседании процессы, а второй класс – это процессы, происходящие в следствии погружения земной коры в частью расплавленную мантию от действия веса воды, накопленной в водохранилище. Такое погружение по мнению автора продолжается уже десятки лет и в районе створа величина прогиба земной коры достигла порядка 30 сантиметров. Данные процессы, по своей природе, усиливают сейсмические процессы, о чём свидетельствуют ежегодно наблюдаемые в районе створа землетрясения, численностью от 39 до 107 и энергетического класса более 5.

Далее докладчик рассмотрел процессы, протекающие в основании плотины и сообщил, что каждое наполнение водохранилища порождает в массиве основания и берегов мощный не установившийся процесс фильтрации, который проникает и проявляет себя на глубине под плотиной около 1000 метров.

По мнению докладчика все процессы, проходящие на Саяно-Шушенской ГЭС носят нестандартный характер, в виду нестандартности самого сооружения и нестандартности силовых и температурных нагрузок, воспринимаемых им. Докладчик продемонстрировал графические траектории некоторых изменяемых параметров, образующих замкнутую петлю гистерезиса и призвал объяснить некоторые проходящие процессы, которые, по словам докладчика, пока не находят своего полного объяснения, и в частности процессы, проходящие в основании сооружения.

Далее докладчик остановился на существовании необратимых перемещений. По его мнению, это перемещения, которые фиксируются на отметке около 500.0 метров (уровень УМО) и которые носят, по определению автора, незатухающий характер с наблюдаемыми ежегодно приращениями приращений по всем отметкам. То есть, по мнению докладчика, плотина, получив полную гидростатическую нагрузку, смещается в сторону НБ и по мере сработки водохранилища не возвращается в исходное положение. Подобные процессы происходят из года в год и приводят к накоплению необратимых перемещений, которые, по мнению докладчика, в 2009 году на отметке 540.0 составили 64 миллиметра.

В дальнейшем, докладчик перечислил несколько, на его взгляд, необратимых, (безостановочных) факторов, влияющих на состояние плотины, а именно:

1. На всех отметках ниже УМО фиксируются необратимые радиальные перемещения. В 2009 году, по мнению докладчика, эти перемещения увеличились;

2. Происходят непрерывные и необратимые угловые перемещения горизонтальных сечений плотины. Так, в 2008 году, углы поворота секций 25

– 45 на отметке 308.0 при УВБ 500.0 превысили значения углов поворота 2007 года;

3. Наблюдаются необратимые деформации растяжения под первыми столбами. Деформации растяжения прослеживаются вплоть до 4 столба. Процесс разуплотнения подтверждается данными фильтрационных наблюдений;

4. Происходит непрекращающееся уплотнение под низовым клином плотины. Наибольшее приращение деформаций сжатия (секция 18) происходит опять же при УМО и накопление деформаций увеличивается. Необратимые смещения плотины свидетельствуют о том, что критерии безопасности определялись по предельному состоянию, когда в расчёт закладывался не предел текучести горной породы, а её предел прочности

5. Во всех контрольных секциях регистрируется рост сжимающих арочных напряжений (при УМО)

6. Продолжается незатухающее уплотнение береговых примыканий;

7. Измерение длины хорды арки чётко фиксирует происходящий во времени процесс сближения береговых массивов;

8. Непрерывно увеличивается процесс деформации напорной грани. Проведённые ремонтные работы позволили заполнить образовавшиеся ранее трещины и пустоты, но не устранили процесс образования трещин.

Все названные факторы, по мнению докладчика, свидетельствуют о безостановочном процессе накопления деформаций по всем направлениям, по всем отметкам как в основании, так и в берегах и в самой плотине.

Далее, докладчик сообщил, что происходят деформации сжатия и в турбинных водоводах, которые, по мнению автора, воспринимают существенную долю нагрузки на плотину и помогают плотине держать напор. Так, к 2006 году сжимающие продольные напряжения в металлической оболочке водоводов возросли до 58 МПа.

По мнению автора, сжимающие нагрузки от непосредственно самих водоводов передаются и на спиральные камеры, где по некоторым данным, величины напряжений превзошли 48 МПа.

В конце выступления были зачитаны следующие выводы:

1. В течение всех последних лет, включая 2009 г., продолжаются необратимые линейные и угловые перемещения плотины на всех отметках, четко фиксируемые при минимальном уровне ВБ.

2. При действующих напорах плотина все меньше работает как гравитационная, и все больше работает как арочная, отчего происходит непрекращающийся рост арочных напряжений и перераспределение нагрузок, воспринимаемых основанием и берегами.

3. Перемещения плотины и увеличивающиеся деформации растяжения в основании первых столбов снижают эффективную площадь контакта плотины с основанием и устойчивость работы контакта на сдвиг.

4. Общие (необратимые и сезонные) перемещения плотины в сторону нижнего бьефа и усиливающаяся нагрузка на турбинные водоводы передаются на анкерные опоры и далее через металлические оболочки водоводов на спиральные камеры и турбинные блоки машинного зала.

5. Перемещения стационарной части плотины и жестко связанных с нею турбинных водоводов могут нарушать соосность шахт турбинных блоков и рабочих колес, провоцируя возникновение вибраций гидроагрегатов.

6. Инструментальные свидетельства силового воздействия плотины на сооружения машинного зала ГЭС достаточно убедительные, чтобы ими можно было пренебречь. Непрекращающиеся линейные и угловые перемещения плотины, рост арочных напряжений, деформации растяжения в основании первых столбов и напорной грани плотины, рост напряжений в турбинных водоводах и спиральных камерах гидроагрегатов требуют пересмотра критических значений диагностических показателей в сторону их ужесточения.

7. В сложившихся условиях и в соответствии с требованиями отраслевого нормативного документа РД-12-03-2006 (Ростехнадзор) плотина работает в состоянии пониженного уровня безопасности. Для обеспечения надежной работы гидроузла следует снизить гидростатическую нагрузку на плотину, а также пересмотреть и уточнить действующие критерии безопасности гидроэнергокомплекса в целом.

8. Для адекватного объяснения особенностей поведения плотины и во избежание неблагополучных ситуаций в будущем необходимо:

- учитывать воздействие веса водохранилища на прогибание земной коры с привлечением методов космической геодезии;

- учитывать силовое, физико-химическое и температурное воздействие фильтрационного потока в упругом режиме на массив основания и береговых примыканий;

- более полно учитывать реологические свойства горных пород основания и береговых примыканий. Регулярно исследовать геофизическими методами их состояние;

- использовать современные достижения механики хрупкого разрушения для расчета трещинообразования в бетоне напорной грани и в массиве береговых примыканий плотины;

- регулярно проверять пространственное положение осей агрегатов и турбинных блоков;

- учитывать совместную работу и взаимообусловленность перемещений плотины, основания, турбинных водоводов и сооружений машинного зала; плотина не является обособленным объектом – она часть единого комплекса (часть целого).

- внести изменения в пункты 4.4 и 4.5 Акта преддекларационного обследования ГТС от 25 сентября

С завершающим докладом выступил Главный научный сотрудник ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», председатель комиссии по преддекларационному обследованию ГТС Саяно-Шушенской ГЭС Храпков Анатолий Александрович.

В начале выступления докладчик ознакомил собравшихся с составом и работой преддекларационной комиссии, по итогам работы которой был сделан вывод: Гидротехнические сооружения Саяно-Шушенской ГЭС и Майнского гидроузла находятся в работоспособном состоянии. Ремонтные работы, выполненные в основании плотины и на её напорной грани, позволили повысить безопасность работы гидроэлектростанции.

Далее докладчик озвучил некоторые рекомендации по итогам работы комиссии:

- Приняв за основу представленный генеральным проектировщиком режим изменения УВБ, рекомендуется предоставить Филиалу ОАО «РусГидро» - «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожнега» возможность регулирования затворами эксплуатационного водосброса в зависимости от складывающейся гидрологической и метеорологической обстановки. При этом учесть крайнюю нежелательность маневрирования затворами в период с 01.12.2009 до 15.03.2010 года. Не допускать сбросных расходов в этот период выше 1200 м³/с. Обеспечить сработку водохранилища СШГЭС до отметки УМО 500 м к 01.05.2010 г.
- Выполнить необходимые конструкционные изменения во всех затворах эксплуатационного водосброса, чтобы дать возможность работать на половине первой ступени открытия всеми 11 секциями.
- Обеспечить в турбинных водоводах температуры не ниже +2°C.
- С учетом произошедшей аварии усовершенствовать существующую систему управления быстропадающими затворами для турбинных водоводов ГА-6, 5, 4.
- Ввести в эксплуатацию первую очередь берегового водосброса.

Далее состоялось обсуждение представленных докладов и экспертных заключений.

В обсуждении приняли участие: начальник отдела расчётных обоснований сооружений ОАО «Ленгидропроект» к.т.н. Вульфович Наум Аронович, профессор Московского института природообустройства, д.т.н. Каганов Г.М.; главный инженер Центра научного обоснования проектов (ЦСГНЭО) ОАО «Институт Гидропроект», д.т.н. Мгалобелов Ю.Б., советник Председателя Правления ОАО «РусГидро», к.т.н. Лашенов С.Я.; генеральный директор ОАО «ВНИИГ м. Веденеева», д.т.н. Беллендир Е.Н.; профессор МГСУ, д.т.н. Рассказов Л.Н.; глав. специалист филиала ОАО «Институт Гидропроект»- ЦСГНЭО, д.т.н. Газиев Э.Г.; научный сотрудник Института физики земли РАН, д.т.н. Марчук А.Н.; советник Председателя Правления ОАО «РусГидро» Лапин Г.Г., главный инженер ОАО «Институт Ленгидропроект», к.т.н. Юркевич Б.Н.;

Главной задачей научно-технического совета при рассмотрении напряженно-деформированного состояния плотины Саянской ГЭС было оценить ее работоспособность в настоящее время и определить наличие или отсутствие зависимости между аварией на здании ГЭС и состоянием плотины.

В начале обсуждения выступивший начальник отдела расчётных обоснований сооружений ОАО «Ленгидропроект» *Вульфович Наум Аронович* поддержал идею о выполнении новых расчётов устойчивости береговых примыканий плотины с учётом новых возможностей и новых обстоятельств и не согласился с выводами *В.В. Тетельмина*.

При обсуждении выступавшие отмечали разные аспекты непроектного режима работы плотины, в том числе увеличение арочных напряжений, наличие необратимых перемещений, увеличение напряжений в турбинных водоводах и других конструктивных элементах плотины, вызывающие опасение за ее надежность.

А.Н. Марчук поддержал экспертное заключение *В.И. Бронштейна* в той части, что трещина на контакте с основанием не стабилизировалась и продолжает развиваться; отметил, что плотина находится в предельно-напряженном состоянии; предложил расширить береговые примыкания и забетонировать пазухи между анкерными опорами. При этом, он обратил внимание на то, что плотина до сих пор работала только при основном сочетании нагрузок и еще не испытывала действия нагрузок особого сочетания.

Э.Г. Газиев, член комиссии по преддекларационному обследованию ГТС Саяно-Шушенской ГЭС» сказал, что хотя в настоящее время плотина находится в работоспособном состоянии, тем не менее предостерег от перегрузки ее в период пропуска паводка.

Л.Н. Рассказов предложил исключить сброс воды через эксплуатационные водосбросы плотины.

Ю.Б. Мгалобелов отметил, что после ремонтных работ восстановлена сплошность бетона напорной грани, и в настоящий момент плотина

работоспособна, однако закачка жесткого раствора в трещины тела плотины может иметь в дальнейшем неизвестные последствия

Все выступавшие говорили о необходимости выполнить комплексные расчеты несущей способности плотины с учетом всех известных факторов и результатов инструментальных наблюдений и разработать новые критерии безопасности.

Б.Н. Беллендир, отметив, что плотина Саяно-Шушенской ГЭС хотя не уникальна, но индивидуальна и проблемы ее были известны и до аварии, поддержал предложение о проведении комплексных расчетных исследований прочности, устойчивости и надежности плотины и ее сопряжения с основанием..

В результате обсуждения профессор *В.В Тетельмин* согласился с тем, что в настоящее время плотина работоспособна. Однако нельзя ее перегружать, следует оптимизировать НПУ и определить новые критерии безопасности.

В результате обсуждения НТС принял Решение:

1. На основании представленных докладов и экспертных заключений признать, что после аварии 17 августа 2009 г. плотина Саяно-Шушенской ГЭС находится в работоспособном состоянии. Зарегистрированные напряжения и деформации находятся в допустимых пределах, определённых проектом. Показатели надёжности и безопасности гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской ГЭС соответствуют утверждённым критериям безопасности.
2. Учитывая большой общественный резонанс, вызванный аварией на СШ ГЭС, рекомендовать руководству ОАО «РусГидро» в рамках восстановления Саяно-Шушенской ГЭС в максимально короткие сроки обеспечить выполнение дополнительных работ по оценке прочности и устойчивости плотины, её основания и береговых примыканий, исходя из расчётных и натурных данных о состоянии контакта между бетоном плотины и скальным основанием.
3. Численные исследования с применением современных программ и программных средств на основе единых исходных данных с целью исключения ошибок и сопоставления результатов рекомендуется поручить четырём независимым организациям: филиалу ОАО «Институт Гидропроект» - «ЦСГНЭО», ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», Санкт-Петербургскому государственному политехническому университету и Московскому государственному строительному университету.
4. Для получения фактических данных по вмещающему массиву рекомендовать обеспечить выполнение силами специализированной организации работы по анализу данных натурных наблюдений и

обследованию скального основания и бортовых примыканий плотины комплексом геофизических и геомеханических методов.

5. Повторно рекомендовать руководству ОАО «РусГидро» воссоздать постоянно действующую экспертную комиссию по оценке состояния сооружений Саяно-Шушенской ГЭС аналогично действовавшей до 2003 года комиссии, созданной ОАО «РАО ЕЭС России».

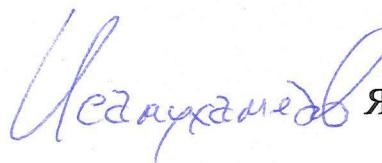
Ответственный секретарь Бюро НТС
ОАО «РусГидро»

 М.Ю. Гущин

Зам. председателя Научно –
технической коллегии НП «НТС
ЕЭС» д.т.н., профессор

 В.В. Молодюк

Ученый секретарь Научно –
технической коллегии НП «НТС
ЕЭС», к.т.н.

 Я.Ш. Исамухамедов

Председатель секции
«Гидроэлектростанции и
гидротехнические сооружения» НП
«НТС ЕЭС»

 С.Я. Лашёнов

Секретарь секции
«Гидроэлектростанции и
гидротехнические сооружения» НП
«НТС ЕЭС»

 Т.П. Осипова