

УДК 528.2

А.П. Карпик

СГГА, Новосибирск

Н.И. Стефаненко

Филиал ОАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»,
Саяногорск

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АРОЧНО-ГРАВИТАЦИОННОЙ ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС ПОСЛЕ АВАРИИ 17 АВГУСТА 2009 ГОДА

A.P. Karpik

SSGA, Novosibirsk

N.I. Stefanenko

The branch of the public corporation “RusGidro” – P.S. Neporozhny “Sayano-Shushenskaya
Hydroelectric Power Station”, Sayanogorsk

ASSESSMENT OF THE STATE OF THE SAYANO-SHUSHENSKAYA HYDROELECTIC POWER STATION ARCH-GRAVITY DAM AFTER THE DISASTER OF AUGUST 17, 2009

Введение

Саяно-Шушенская арочно-гравитационная плотина возведена на многоводной реке Енисей и является одной из крупнейших в мире. Максимальная высота плотины достигает 242м, длина по гребню 1074м, ширина по гребню и основанию 25 и 106 м соответственно. Полная емкость водохранилища – 31,3км³, полезная - 15,3км³. Установленная мощность ГЭС при расчетном напоре 194 м составляет 6400 МВт. Максимальный сбросной расход воды через эксплуатационный водосброс и гидроагрегаты составляет 13300м³/с.

Саяно-Шушенская ГЭС возводилась в период с 1972 по 1989 годы. Несовершенство расчетных методов того времени и отличное от проектного возведение плотины привело в процессе наполнения водохранилища к перегрузке первых столбов и увеличению зоны растягивающих напряжений, что в свою очередь привело к образованию трещин в бетоне напорной грани и разуплотнению в основании. Фильтрационный расход к 1995 году составлял 549л/с в скальном основании плотины и 458л/с - через бетон. Проведенные ремонтные работы в период с 1996 по 2004 годы в бетоне напорной грани и основании позволили подавить интенсивную фильтрацию, дополнительно обжечь бетон нижней части плотины и в целом улучшить напряженно-деформированное состояние плотины. К моменту аварии состояния арочно-гравитационной плотины оценивалось как исправное (нормальный уровень безопасности).

Авария 17 августа 2009 года

17 августа 2009г. в 8 часов 13 минут 14 секунд местного времени произошел полный сброс нагрузки Саяно-Шушенской ГЭС с потерей собственных нужд.

В ходе аварии произошло полное разрушение строительных конструкций, относящихся к зданию ГЭС, типа МАРХИ на участке от ГА-2 до ГА-4. Полностью разрушена колонна подкрановой эстакады, расположенная напротив ГА2 с отметки 327 м по отметку 341 м.

На ГА-2, ГА-7 полностью обрушено монолитное перекрытие машинного зала на отметке 327 м с поддерживающими его колоннами. На ГА-9 монолитное перекрытие, не имея опоры на колонны на отметке 320 м, начало опускаться и получило деформации, несовместимые с дальнейшей эксплуатацией. На ГА-2, ГА-7, ГА-9 произошло полное разрушение кольцевой стены генератора. На других гидроагрегатах конструкции получили повреждения различной степени тяжести. Все несущие строительные конструкции машинного зала претерпели непроектное воздействие потоком воды

По визуальным наблюдениям наибольшие повреждения здания ГЭС отмечаются на отметках 327 и 320 м. На отметке 315 разрушения зафиксированы существенно меньше, на отм. 305 м. повреждений фундаментов и конструкций практически не зафиксировано.

Состояния плотины после аварии

На момент аварии УВБ Саяно-Шушенского водохранилища составлял 537.1 м. С 18 по 26 августа наблюдался небольшой рост уровня верхнего бьефа и как следствие увеличение наклонов плотины в нижний бьеф максимально до 1.5 мм. Перемещения гребня плотины в секции 33 на 26 августа 2009 года при УВБ равном 537.6 м составили 126.9 мм при максимально наблюдаемых в 2006 году 142 мм. Суммарный расход по основанию и берегам составил 81.8 л/сек. В отремонтированной зоне бетона между отметками 332-359 м фильтрационный расход, составил 3.3 л/сек. Измеренные показатели не превысили соответствующие значения для аналогичной отметки уровня верхнего бьефа предыдущих лет. Новых очагов фильтрации и роста расходов через напорный фронт плотины и основание после аварии не зафиксировано.

После откачки воды из здания ГЭС 27 августа были проведены замеры по трехосным щелемерам, расположенным на межблочных швах, между агрегатными блоками здания ГЭС на отметке 306м, и выполнен цикл наблюдений по продольному гидростатическому нивелиру.

По данным измерений трехосных щелемеров дополнительных раскрытий, выходящих за пределы сезонных изменений, фиксируемых на протяжении многих лет, не отмечено.

Характер эпюры и величины, полученные из измерений вертикальных перемещений марок продольного гидростатического нивелира идентичны

эпюрам, полученным ранее при аналогичном УВБ, что говорит об отсутствии деформаций фундаментов массивной части агрегатных блоков (рис. 1).

В после аварийном периоде, система «плотина-основание» Саяно-Шушенской ГЭС по-прежнему находится в нормальном эксплуатационном состоянии, ни один из критериальных показателей, установленных Декларацией безопасности, не приблизился к первому предупреждающему критерию. Изменения контролируемых показателей после аварии соответствуют изменению гидростатической нагрузки и температурным воздействиям на плотину.

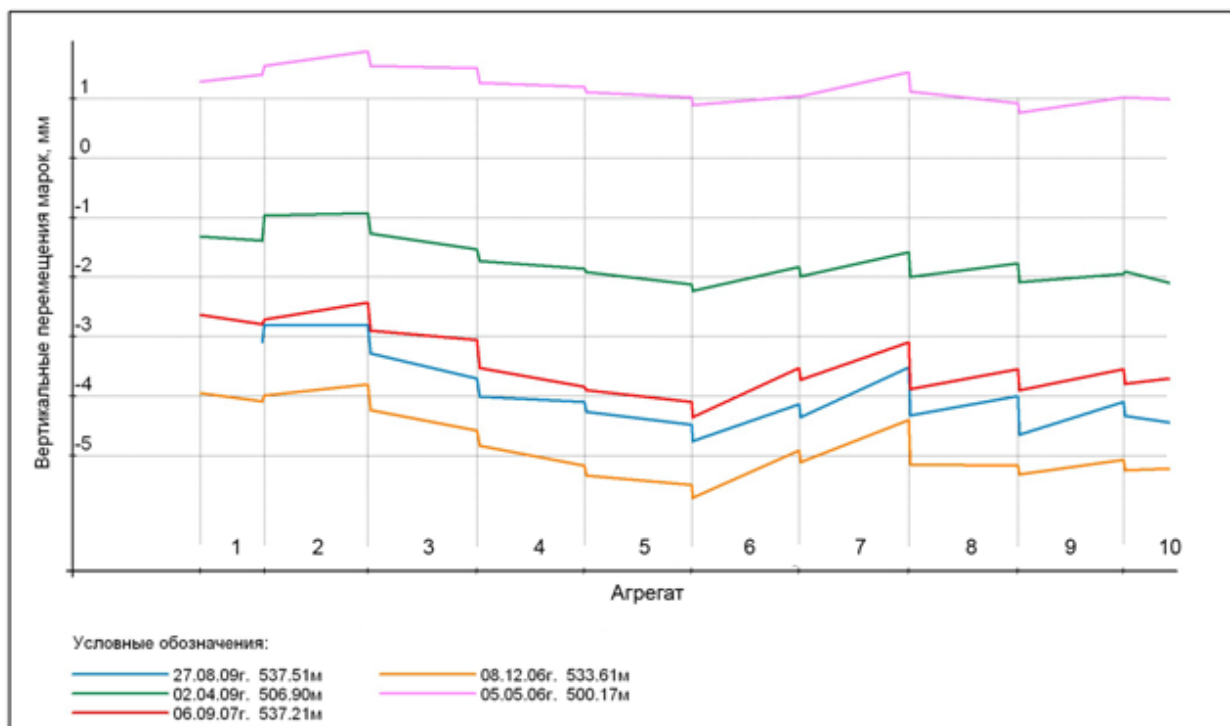


Рис. 1. Вертикальные перемещения фундаментов агрегатных блоков здания ГЭС на отметке 306 м по данным продольного гидростатического нивелира

К некоторым вопросам о возможных причинах аварии

В различных научно-технических журналах и средствах массовой информации высказываются версии возможных причин аварии произошедшей на Саяно-Шушенской ГЭС. Рассмотрим две из них, а именно:

1. О возможности передачи усилия от плотины на сооружения машинного зала [1];
2. О предельных вибрациях гидроагрегата №2 якобы фиксируемых перед аварией.

По первому вопросу. Саяно-Шушенская плотина имеет достаточно большие перемещения, максимальная величина которых фиксируется на гребне. За период с 1990 по 2009 годы необратимые перемещение секции 18 составили 45 мм, при максимально наблюдаемых 106.7 мм. Но следует отметить, что на отметке гребня плотина не передает нагрузку зданию ГЭС, а

может «толкать» только воздух. Плотина и здание ГЭС контактируют на двести с лишним метров ниже, через анкерные опоры турбинных водоводов, а на отметке 359 м необратимые смещения секции 18 составляют только 7 мм. Нельзя не учитывать, что гидроагрегаты № 9-10 расположены в секциях 32 и 34 соответственно, где наблюдаются максимальные смещения плотины в нижний бьеф в отличие от гидроагрегата №2. Поэтому вероятность передачи нагрузки от плотины на гидроагрегат №9,10 будет в два и более раза больше чем на гидроагрегат №2 из-за больших перемещений (рис. 2).

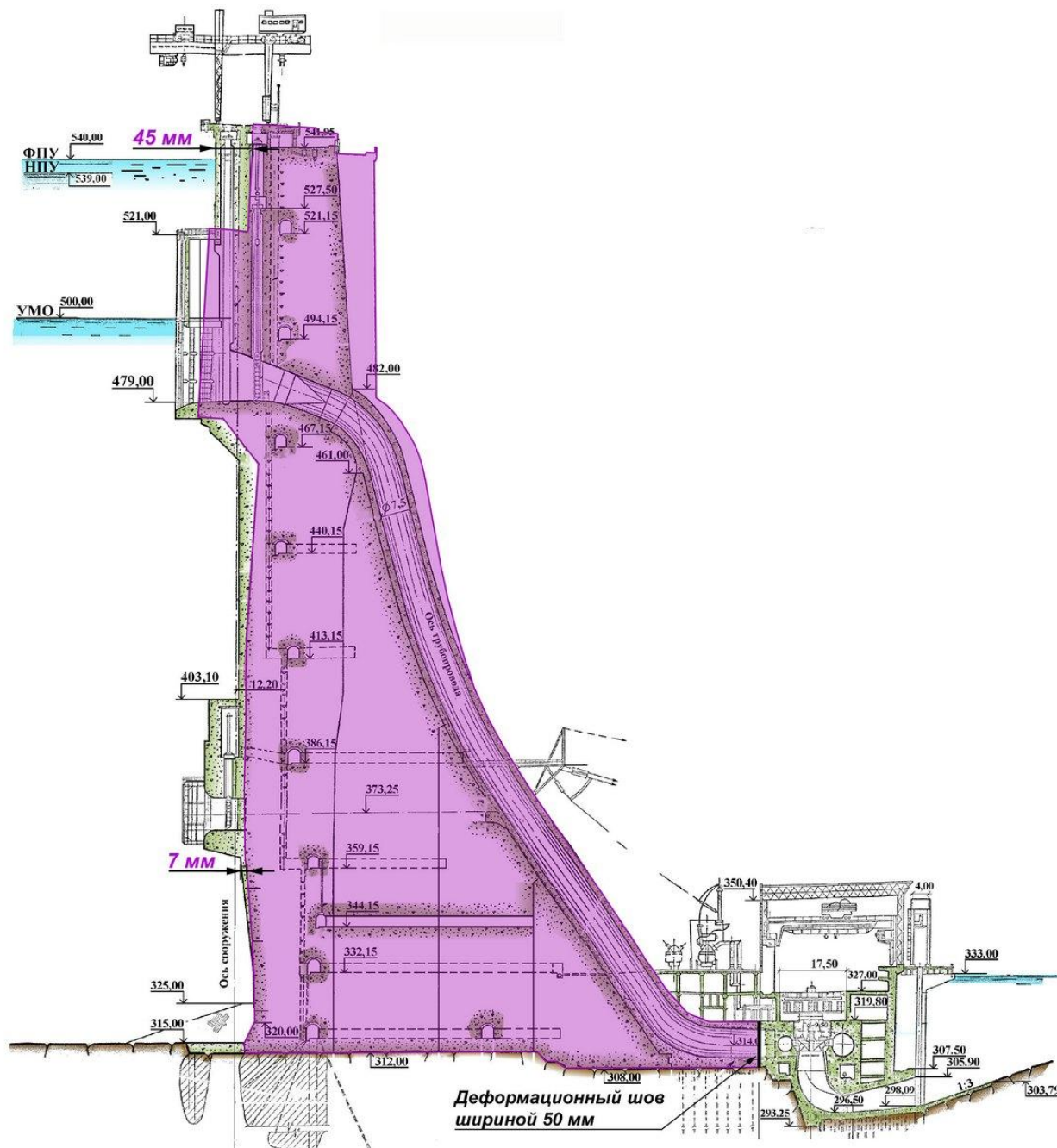


Рис. 2. Необратимые перемещения плотины в секции 18

Отмечается, что необратимые перемещения в основании плотины фиксировались с самого начала заполнения водохранилища и до 1990 года - года проектного наполнения до НПУ, равного 540 м (после ремонта бетона

напорной грани НПУ установили равным 539 м). В основании плотины секции 18, где расположен гидроагрегат №2, разрушение которого и привело к катастрофе 17августа, деформации на отметке 310 м. составляли около 12 мм, за период с 1982 по 1989 год. Но за период нормальной эксплуатации (с 1990 по 2010 года) необратимых деформаций основания на отметки 310 м., в зоне расположения фундаментов гидроагрегатов не зафиксировано (рис. 3.). Отсутствуют также и необратимые закрытия деформационного шва отделяющего плотину от здания ГЭС. Конструкция сопряжения анкерной опоры и агрегатного блока Саяно-Шушенской ГЭС предполагает достаточно большие взаимные смещения этих конструкций. Деформационный шов шириной 50мм и мягкая прокладка толщиной 50мм, отделяющая конический участок трубопровода длиной 11м, специально предусмотрены в проекте напорного тракта. Эти конструктивные решения позволяют избежать взаимодействия бетонных массивных конструкций (плотины и здания ГЭС) и передачу между ними неконтролируемой нагрузки. Конический участок металлической оболочки длиной 11 метров играет роль упруго-пластического элемента, компенсирующего взаимные продольные, поперечные и угловые перемещения бетонных блоков. По данным трехосных щелемеров, сезонный размах раскрытия шва составляет около 2.5 мм, необратимых закрытий шва за 15 лет наблюдений не установлено.

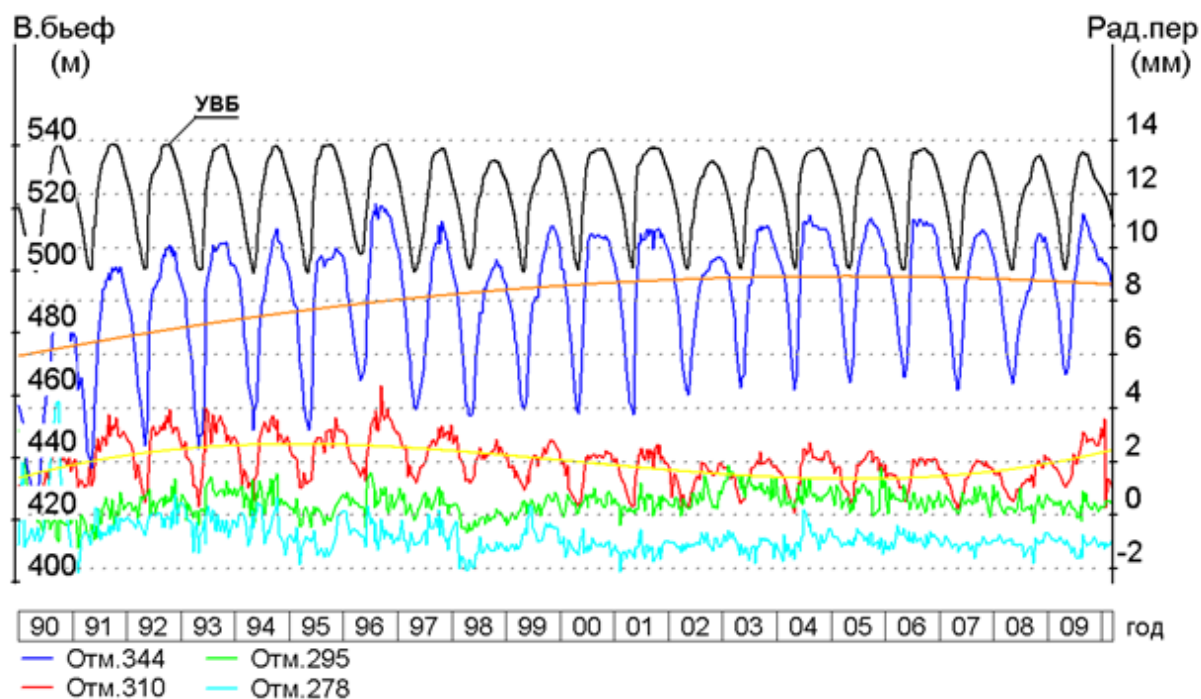


Рис. 3. Перемещения в основании секции 18 измеренные по обратным отвесам

Из вышеизложенного следует, что необратимые деформации плотины не могли явиться причиной аварии произошедшей на СШГЭС 17августа 2009года.

По второму вопросу. Вопросам оценки сейсмической обстановки в районе гидроузла на СШГЭС уделяется достаточно большое внимание. Для ведения непрерывного режима сейсмической обстановки в 1990 году введена в работу сейсмологическая станция п. «Черемушки», где по договору с СШГЭС Геофизическая служба СО РАН г. Новосибирска ведет непрерывный мониторинг сейсмической обстановки в районе гидроузла. На плотине функционирует автоматизированный сейсмометрический комплекс, который работает в ждущем режиме, но имеет «предзапись». Комплекс включается на регистрацию сейсмособытия после возникновения сигнала с определенными (запускающими) параметрами, но при этом происходит и запоминание показаний сейсмометров в течение предшествующих 20 секунд.

17 августа 2009 года автоматизированным сейсмокомплексом (данные были расшифрованы после аварии) было зарегистрировано динамическое воздействие на плотину, возникшее в результате аварии в здании ГЭС (рис. 4).

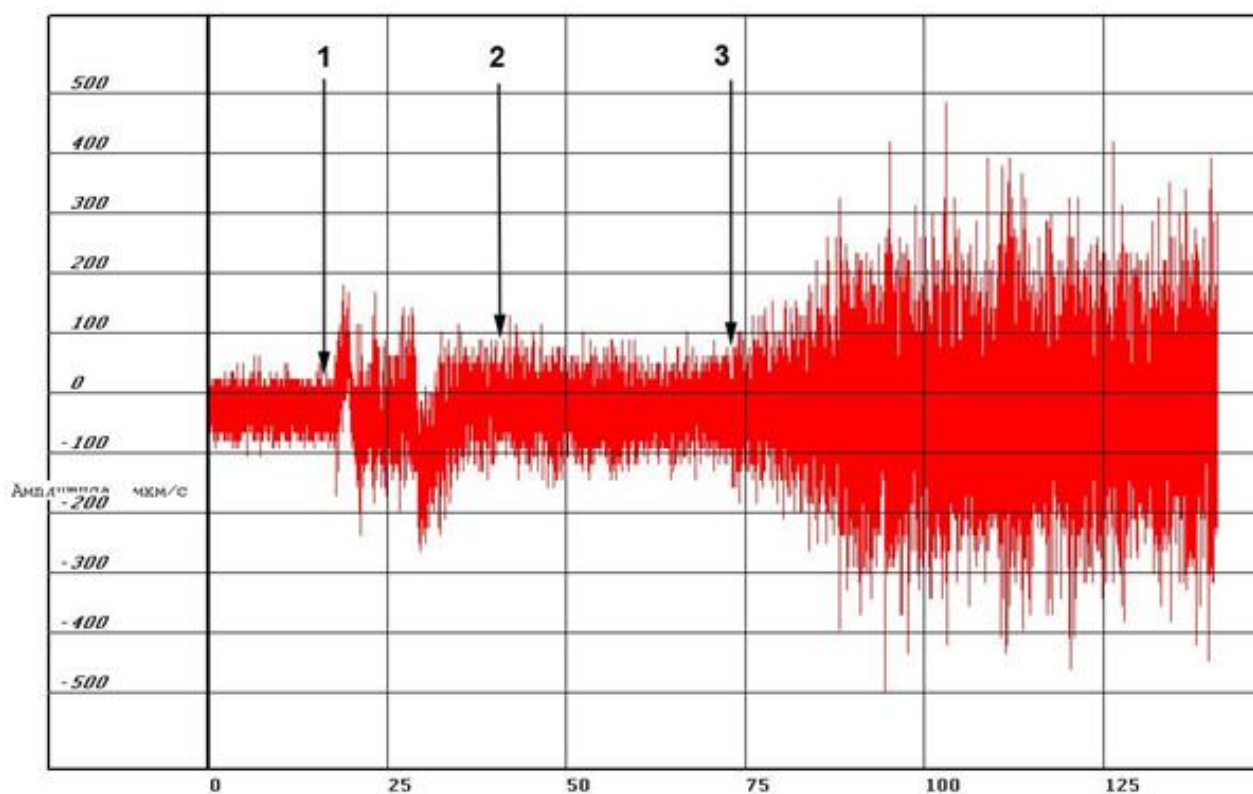


Рис. 4. Сейсмограмма динамического воздействия на Саяно-Шушенскую плотину (секция 33, отметка 344 м)

В момент аварии реакция плотины на выброс и удар ротора о конструкции машинного зала явилась запускающим импульсом для сейсмокомплекса, и в течение 17,7 секунд до возникновения динамического воздействия регистрировались фоновые колебания плотины от работающих в нормальном режиме гидроагрегатов.

Последующие показания сейсмометра можно интерпретировать следующим образом:

- В течение последующих 32,5 секунд зарегистрированы затухающие низкочастотные колебания с периодом около 4,5 секунд и максимальной амплитудой 125 мкм, которые явились следствием выброса и падения ротора гидроагрегата №2;

- Далее в течение 74 секунд происходили полихромные колебания с периодом от 0,05 до 0,18 секунд с максимальной амплитудой до 120 мкм;

- Вызванные разрушительным воздействием на конструкции здания ГЭС потока воды из рабочей камеры ГА-2;

- С этого момента и до конца записи зарегистрированы нарастающие по амплитуде колебания с периодом от 0,07 до 0,15 секунд и максимальной амплитудой до 450 мкм, вызванные воздействием ГА-7 и ГА-9, вращающихся в угонном режиме.

Опыт эксплуатации сейсмокомплекса показал возможность регистрации сейсмометрическими датчиками, установленными в теле плотины, ее реакции (в диапазоне колебаний от 0.5 до 20 Гц) на различные режимы работы гидроагрегатов: при их запуске, останове и переходе из зоны в зону. В связи с этим можно констатировать, что 17-го августа в течение 17.7 секунд, предшествующих аварии, сейсмокомплексом, были зафиксированы только фоновые колебания плотины от работающих в нормальном режиме гидроагрегатов.

Авария возникла в результате срыва крышки турбинного блока из-за разрушения крепления шпилек произошел вертикальный выброс турбины гидроагрегата № 2 с находящимся на ее валу ротором генератора, разрушение здания ГЭС и его затопление. Все 9 турбин были остановлены (ГА-6 находился в нерабочем состоянии из-за ремонта), и весь расход реки Енисей пошел через водосбросную плотину.

На IV Всероссийском совещании гидроэнергетиков, которое проходило в Москве 25-27 февраля, Главный инженер ОАО «Ленгидропроект» Борис Николаевич Юркевич на заключительном пленарном заседании сказал: «Особенность этой аварии, которая очень сильно психологически довлела над всеми нами, в том, что она произошла в штатных условиях. Она произошла, когда все работало исправно, выполнялись регламенты по ремонту, выполнялись требования по эксплуатации. Никто ничего не нарушил, станция полностью соответствовала всем нормам и требованиям, эксплуатационный персонал выполнял все предписанные регламенты. И, тем не менее, это произошло.

Это дало нам повод говорить о том, что авария носила системный характер. Системный в том плане, что это нарушение взаимодействия с основными частями некоего единого целого, под которым подразумевается вся наша отрасль, гидроэнергетика. Речь идет о том, что в нашей отрасли разрушились взаимосвязи, которые были, если не оптимальными, но в предыдущие годы, лет 30 назад, они существовали. Разрушились взаимосвязи, будем говорить, продуктивные, положительные взаимосвязи

между службами эксплуатации, проектировщиками, научными организациями, службами, которые контролируют финансовые потоки. Это все в целом мы называем разбалансированием системы. Это и привело к тому, что произошло. Если говорить о технических причинах, об этих шпильках, то та система не должна была допустить того, чтобы на шпильке висели 75 жизней и разрушение целой станции».

Полностью присоединяюсь к тому, что было сказано на совещании Б.Н. Юркевичем по поводу причин аварии. Считаем, что именно таким образом и надо расценивать данную аварию и задача которая должна ставиться перед эксплуатационным персоналом, проектными организациями состоит в том, чтобы полностью реконструировать всю систему (в сфере НТД, проектирования, мониторинга и оценки состояния и т.д.) а не ограничиться только тем, чтобы ликвидировать возможность повторения конкретно данной аварии на сооружениях.

Выводы:

1. Анализ результатов натурных наблюдений показывает, что деформации плотины не могли явиться причиной аварии;
2. До возникновения динамического воздействия в течение 17,7 секунд с начала записи имели место только фоновые колебания плотины от работающих в нормальном режиме гидроагрегатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тетельмин В.В. Анализ необратимых процессов в створе плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство, 2010. № 2.

© А.П. Картик, Н.И. Стефаненко, 2010