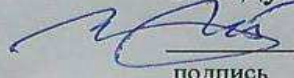


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО– ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И.Ю. Погоняйченко

подпись инициалы, фамилия

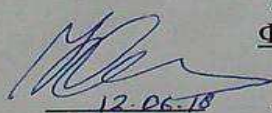
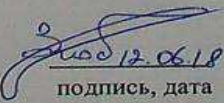
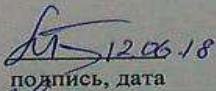
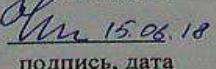
« 13 » июня 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Применение методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима
наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом
температурного состояния плотины

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Руководитель	 12.06.18 подпись, дата	<u>Ведущий инженер СМГТС Филиала ПАО «РусГидро» - Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С.Непорожнего», К.Т.Н.</u> должность, ученая степень	<u>Ю.Н. Александров</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 12.06.18 подпись, дата		<u>М.С. Злобин</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 12.06.18 подпись, дата	<u>Вед. н.с. А.О. «ВНИИГ им. Б.Е.Веденева, д.т.н.</u> должность, ученая степень	<u>Л.А.Гордон</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 15.06.18 подпись, дата		<u>А.А. Чебанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2018

АННОТАЦИЯ

к магистерской диссертации Злобина Матвея Сергеевича, студента 2 курса магистратуры Саяно-Шушенского филиала Сибирского федерального университета на тему «Применение методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины».

Объем диссертации составляет 63 страниц, содержит 7 иллюстраций и 19 таблиц.

Объектом исследования при написании работы послужила методика АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины.

Целью работы является анализ рассматриваемой методики АО «Ленгидропроект» и предложения по улучшению ее эффективности.

Актуальность темы исследования заключается в повышении эффективности контроля состояния монолитности тела плотины и как следствие повышении безопасной эксплуатации гидроэлектростанции.

Автором приведено детальное исследование применения методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины с целью повышения ее эффективности.

Ключевые слова: ГЭС, безопасность эксплуатации, контроль монолитности бетона, напорная грань.

АВТОРЕФЕРАТ

Работы по ликвидации повышенных фильтрационных расходов через бетон плотины СШГЭС, которые были проведены в период с 1991-1995 гг, оказали влияние на напряженно-деформированное состояние системы плотина-основание. В зоне работ произошло повышение углов наклона плотины на отметке 359 м и выше в направлении нижнего бьефа, а также в направлении верхнего бьефа на отметке 308 м. По показаниям продольных гидронивелиров, в процессе восстановительных ремонтов был замечен рост осадок на отметках 308-315 м и 344 м.

В настоящее время, с целью сохранности восстановленной зоны на отметках 344 – 359 м, АО «Ленгидропроект» и Саяно-Шушенская ГЭС проводит научно-исследовательскую работу, которая заключается в проведении оперативного контроля работы плотины СШГЭС в процессе наполнения водохранилища и его сработки на основе конечно-элементного анализа с учетом данных натурных наблюдений». Основной целью данной НИР является выработка рекомендаций по изменению режима наполнения водохранилища.

В диссертационной работе проведены исследования методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины. На основании анализа были выдвинуты предложения по улучшению эффективности рассматриваемой методики.

Целью работы является анализ рассматриваемой методики АО «Ленгидропроект» и предложения по улучшению ее эффективности.

Задачи решаемые в ходе выполнения работы:

- а) Изучение вопроса по восстановлению монолитности напорной грани СШГЭС;
- б) Описание методики АО «Ленгидропроект» для выработки рекомендаций максимального уровня наполнения водохранилища.
- в) Анализ рассматриваемой методики;

г) Предложения по повышению эффективности данной методики.

Объектом исследования при написании работы является восстановленная зона напорной грани СШГЭС между отметками 344-359 м.

Предметом исследования послужила методика АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины.

Методы исследования заключаются в сопоставлении предложенных рекомендаций АО «Ленгидропроект» по интенсивности наполнения водохранилища с показаниями КИА установленной в восстановленной зоне напорной грани. Показания КИА получены с информационно-диагностической системы СШГЭС - EDIP.

Научная новизна. В данной работе предложены меры по повышению эффективности методики направленной на сохранение монолитности напорной грани плотины и как следствие, ее безопасной эксплуатации.

Апробация результатов работы. Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были представлены на V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ XXI ВЕКЕ» (р.п. Черемушки, 2018 г).

Публикации. Основные положения и выводы изложены в публикации научных журналов и изданий, которые включены в перечень реализуемых научных изданий, определенных РИНЦ, ISBN.

Объем диссертации составляет 68 страниц, содержит 7 иллюстраций и 19 таблиц.

Основное содержание работы:

В магистерскую диссертацию входят: введение, 3 главы и заключение.

Во введении раскрывается актуальность исследования по выбранному направлению, указывается его значимость.

Первая глава посвящена проблемам с напорной гранью плотины СШГЭС, возникшие во время строительства и эксплуатации.

Вторая глава посвящена вопросам контроля работы плотины СШГЭС с учетом температурного фактора в процессе наполнения-сработки водохранилища.

В третьей главе проанализирована характеристика работы плотины в результате изменения УВБ и температурных условий в процессе наполнения-сработки водохранилища в 2016 г и выполнен анализ эффективности методики АО «Ленгидропроект» по контролю состояния плотины СШГЭС.

В заключении приведены основные выводы и предложения по улучшению рассматриваемой в данной работе методики контроля безопасной эксплуатации напорной грани СШГЭС.

ABSTRACT

The work to eliminate the increased filtration costs through the concrete of the SSHPP dam, which were carried out during the period from 1991-1995, influenced the stress-strain state of the dam-base system. In the work area there was an increase in the slope of the dam at a mark of 359 m and higher in the direction of the tailrace, and also in the direction of the upstream tail at a mark of 308 m. According to the indications of longitudinal hydrolevels, in the process of restoration repairs, precipitation was observed at 308-315 m and 344 m.

At present, with the purpose of preserving the restored zone at elevations of 344-359 m, Lengidroproekt and Sayano-Shushenskaya HPPs carry out research work, which is to conduct operational monitoring of the operation of the SSHHPP dam during the filling of the reservoir and its operation based on the course -element analysis taking into account the data of field observations ". The main purpose of this research is to develop recommendations for changing the regime of filling the reservoir.

In the dissertation work, the methodology of JSC "Lengidroproekt" was conducted to regulate the regime of filling the Sayano-Shushenskaya HPP reservoir,

taking into account the temperature state of the dam. Based on the analysis, suggestions were made to improve the effectiveness of the technique in question.

The purpose of the work is to analyze the methodology of JSC "Lengidroproekt" and proposals for improving its effectiveness.

The tasks to be accomplished in the course of the work:

- a) Study of the issue of restoring the solidity of the pressure face of SSHPP;
- b) Description of the methodology of JSC "Lengidroproekt" for the development of recommendations for the maximum level of filling the reservoir.
- c) Analysis of the technique in question;
- d) Proposals to improve the effectiveness of this methodology.

The object of the study when writing the work is the restored zone of the pressure face of SSHHPP between elevations of 344-359 m.

The subject of the study was the methodology of JSC "Lengidroproekt" for regulating the regime of filling the reservoir of the Sayano-Shushenskaya HPP, taking into account the temperature state of the dam.

The research methods consist in comparing the proposed recommendations of JSC "Lengidroproekt" on the intensity of filling the reservoir with the indications of the KIA installed in the restored zone of the pressure face. The readings of the KIA were obtained from the information-diagnostic system SSHGES - EDIP.

Scientific novelty. In this paper, measures are proposed to increase the effectiveness of the technique aimed at preserving the monolithic nature of the pressure face of the dam and, as a consequence, its safe operation.

Approbation of the results of work. The main results of the research, outlined in the thesis, were presented at the 5th All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Specialists, Graduate Students and Students "GIDROELECTROSTANTS XXI CENTURY" (Cheremushki Settlement, 2018). Publications. The main provisions and conclusions are set forth in the publication of scientific journals and publications that are included in the list of scientific publications being published, as defined by the RINC, ISBN.

The volume of the thesis is 68 pages, contains 7 illustrations and 19 tables.

The main content of the work:

The master's thesis includes: introduction, 3 chapters and conclusion.

The introduction reveals the relevance of research in the chosen direction, its significance is indicated.

The first chapter is devoted to problems with the pressure face of the SSHPP dam, which arose during construction and operation.

The second chapter is devoted to the issues of monitoring the operation of the SSHPP dam taking into account the temperature factor in the process of filling-in the reservoir.

In the third chapter, the characteristics of the dam operation as a result of changes in the UVB and temperature conditions during the filling-working of the reservoir in 2016 are analyzed and the effectiveness of the Lengidroproekt method for monitoring the state of the SSHPP dam is analyzed.

In conclusion, the main conclusions and proposals for improving the method of monitoring the safe operation of the pressure head of SSHPP are considered.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	2
Автореферат.....	3
Ведение.....	10
1 Состояние напорной грани плотины Саяно-Шушенской ГЭС, во время строительства и эксплуатации	14
1.1 Ремонтные работы в напорной грани плотины СШГЭС	16
1.2 Способы и целесообразность контроля за восстановленной зоной напорной грани, а также оценка ее состояния на отметках 344 – 359 м.....	20
1.3 Построение и оценка состояния температурного поля плотины СШГЭС для оперативного контроля	23
2 Контроль работы плотины СШГЭС с учетом температурного фактора в процессе наполнения-сработки водохранилища	27
2.1 Контроль состояния плотины СШГЭС в период наполнения водохранилища в 2015 г	31
2.2 Контроль состояния плотины СШГЭС в период сработки водохранилища в 2015 г	41
2.3 Общая оценка состояния сооружения в период регулирования водохранилища в 2015 году	44
3 Характеристика работы плотины в результате изменения УВБ и температурных условий в процессе наполнения и начального периода сработки водохранилища в 2016 г	46
3.1 Анализ эффективности методики АО «Ленгидропроект» по контролю состояния плотины СШГЭС на примере периода наполнения водохранилища в 2016 г	48
3.2 Обобщение исследований о безопасной эксплуатации напорной грани путем оперативного взаимодействия СМГТС Саяно-Шушенской ГЭС и АО «Ленгидропроект».....	55
Заключение	57

Список использованных источников	58
Приложения А-Г	60-63

ВВЕДЕНИЕ

Саяно-Шушенская гидроэлектростанция расположена в верхнем течении реки Енисей. Установленная мощность ГЭС составляет 6400 МВт. Среднегодовая выработка электроэнергии составляет 22,8 млрд.кВт·ч. Саяно-Шушенская ГЭС крупнейшая по установленной мощности электростанция России [1].

Климат района строительства СШГЭС резко континентальный. Максимальная температура воздуха в июле составляет +40 °С, минимальная температура в январе -44 °С, среднегодовая температура составляет +0,8 °С. Гидроэлектростанция располагается у выхода реки Енисей в Минусинскую котловину.

Учитывая масштабы сооружения, климатические условия в выбранном месте строительства, Саяно-Шушенская ГЭС является уникальным в своем роде сооружением.

Площадь водосбора бассейна реки равен 179900 км². Среднегодовой сток в створе ГЭС 46,7 км³.

Полная емкость и площадь водохранилища составляют 31,3 км³ и 624 км² соответственно.

Расчетный расход через сооружения СШГЭС при обеспеченности 0,01% составляет 13300 м³/с.

В состав основных сооружений Саяно-Шушенской ГЭС входит арочно-гравитационная плотина, высота и длина которой по гребню составляет 245 и 1066 м соответственно. Ширина плотины по основанию составляет 105,7 м, по гребню – 25 м.

В плане, в верхней 80-метровой части, плотина представляет собой круговую арку, имеющую по верховой грани радиус 600 м и центральный угол 102°. Нижняя часть представлена в виде трехцентровой арки. Центральная часть плотины образуются арками, с углом охвата 37°, аналогичными верхним.

Напорная грань в нижней части в пределах 50 м имеет плавную подрезку, которая у основания достигает 5 м. Низовая грань имеет переменный уклон, в верхней части уклон составляет 1:0,05, в средней и нижней 1:0,25 и 1:0,7 соответственно.

В водосбросной плотине устроено 11 водосбросных отверстий, водоприемники заглублены на 61 м относительно отметки НПУ.

По оси сооружений плотина разделена на секции, шириной 15.8 м, температурно-усадочными швами. Секции включают в себя 4 столба, длина которых в плане составляет 27 м. На расстоянии 10-18 м от напорной грани в теле плотины выполнен горизонтальный дренаж.

Общее количество бетона уложенного в плотину составляет 9075 тыс.м³.

Основание плотины сложено крепкими глубоко метаморфизованными кристаллическими сланцами протерозоя [1]. В основании плотины создана глубокая цементационная завеса до 100 м в русле реки, под верховой гранью плотины до 60 метров выполнена сопрягающая цементация, под низовым клином в русловой части плотины глубиной до 30 м и до 20 метров в береговых частях выполнена укрепительная цементация. В русле и берегах с наклоном в сторону нижнего бьефа выполнен однорядный дренаж с глубиной от 50 до 80 м.

СШГЭС построена в период 1972-1989 гг. Первый гидроагрегат был пущен в 1978 году на напоре 60 м. В 1990 г. напор достиг проектной величины при наполнении водохранилища до нормального подпорного уровня 540 м.

В процессе возведения сооружения и в период начальной эксплуатации было выявлено отклонение работы плотины от проектных расчетов.

В целях недопущения возникновения растягивающих напряжений в нижней части напорной грани были разработаны специальные конструктивные решения по снижению распространения зоны растяжения: армирование локальных зон, гидроизоляция верховой грани, устройство шпонок. Гидроизоляция была выполнена в небольшом объеме и в очень сжатые сроки (с 01.09 по 02.10.1975) до отметки 324 м на водосливной плотине перед

затоплением ее котлована. На стационарной плотине были выполнены только опытные работы по заклежке 5-ти трещин (из 10 обнаруженных), следовательно, реальная зона растяжения напорной грани не была защищена гидроизоляцией. В результате данные меры оказались неэффективными и еще в период строительства вызвали сомнения в правильности проектных предположений. Так, на контакте плотины с основанием со стороны верховой грани возникла зона разуплотнения скалы и образовалась трещина, глубина проникновения которой достигала 30 м. Кроме нарушения «сплошности» по контакту плотины с основанием на отметках 344 – 359 м (выше контакта плотины с основанием на 40 м) со стороны верховой грани образовались горизонтальные магистральные трещины глубиной до 20 м [2].

Работы по ликвидации повышенных фильтрационных расходов были начаты в 1991 г и продолжались по 1994 гг. При этом применялись не только цементные, но и цементно-бентонитовые, цементно-силикатные растворы, а также гидроизоляционный материал аквизол. Цементный раствор выносило большим потоком воды из инъецируемых зон, следовательно, было необходимо найти новые технологии по восстановлению напорной грани. В 1993 г. был заключен договор между ОАО «Саяно-Шушенская ГЭС» и французской фирмой «Солетанш» о возможности применения их технологий по снижению фильтрации воды через бетон плотины. Опытно-промышленные работы по восстановлению растянутой зоны бетона в секциях 23, 24 было начато в осенний период 1995 г. Работы по восстановлению напорной грани были завершены 12.11.1996 г, и в результате произошло почти полное подавление фильтрационных расходов воды (больше 98%).

Работы по восстановлению монолитности напорной грани плотины оказали влияние на напряженно-деформированное состояние системы плотина-основание. Важным представляется проведенный совместный анализ изменения показаний экстензометров, установленных в зоне нагнетания растворов, и деформометров, по которым контролировалась область бетонных массивов выше и ниже трещиноватой зоны в период ее инъецирования [1]. В

зоне работ произошло повышение углов наклона плотины на отметке 359 м и выше в направлении нижнего бьефа, а также в направлении верхнего бьефа на отметке 308 м.

По показаниям продольных гидронивелиров, в процессе восстановительных ремонтов был замечен рост осадок на отметках 308 – 315 м и 344 м.

В целях обеспечения сохранности восстановленной зоны на отметках 344 – 359 м, а также устранения возможности развития деструктивных процессов в плотине и основании, были введены ограничения по режиму наполнения водохранилища. Эти ограничения заключались были следующими: в мае-июне $УВБ \leq 355,0$ м; в июле $УВБ \leq 536,0$ м; в августе-сентябре $УВБ \leq 538,0$ м; в конце сентября-октябре $УВБ \leq 539$ м. Таким образом, отметки НПУ и ФПУ были снижены на 1 метр. Помимо этого было принято решение о предельно допустимых скоростях наполнения водохранилища: в диапазоне отметок 520,0 м – 530,0 м – до 1,5 м/с; в диапазоне отметок 530,0 м – не более 0,7 м/сут. Основным недостатком данных ограничений является то, что ограничения по скорости привязаны только к контрольным отметкам УВБ, а также не учитываются фактические сроки заполнения водохранилища до указанных отметок, зависящих от показателей приточности данного года и температурного состояния сооружения на рассматриваемый момент времени. В этой связи, необходимо вести постоянный строгий контроль состояния сооружения. На основании этого между АО «Ленгидропроект» и Саяно-Шушенской ГЭС был заключен договор о «Проведении оперативного контроля работы плотины СШГЭС в процессе наполнения водохранилища и его сработки на основе конечно-элементного анализа с учетом данных натурных наблюдений», целью которого является выработка рекомендаций по изменению режима наполнения водохранилища.

1 Состояние напорной грани плотины Саяно-Шушенской ГЭС, во время строительства и эксплуатации

Во время проектирования Саяно-Шушенской ГЭС допускалось возникновение растягивающих напряжений вблизи подошвы на напорной грани. Раскрытие по контакту прогнозировалось на ширину 11 м, в том случае, если плотина возводилась бы полным сечением с разбивкой на 3 этапа по высоте.

В процессе возведения плотины корректировались основные положения технического проекта, что было связано с созданием необходимых условий для временной работы агрегатов на промежуточных напорах [3].

Строительство СШГЭС было начато в 1963 г и официально завершено в 2000 г.

Строительство плотины по проекту предполагалось осуществить в 3 этапа, но фактически возведение условно разбито на 9.

Возведение плотины на протяжении нескольких лет осуществлялась с уменьшенной на 25% шириной плотины по контакту с основанием. На начальных этапах эксплуатации сооружения в проектном режиме, было установлено, что зона разуплотнения основания значительно превышает проектные границы. Данными натурных наблюдений было установлено, что эта зона при заполнении водохранилища до НПУ распространяется до середины второго столба плотины [3]. В связи с тем, что образовалась зона разуплотнения, часть цементационной завесы оказалась нарушена, что в последствии привело к значительному увеличению фильтрационных расходов. Общий фильтрационный расход по основанию при отметке нормального подпорного уровня на русловом участке плотины к 1996 г достиг 440 л/с (проектные расходы в этой зоне составляют около 160 л/с).

В проекте производства работ по ремонту цементационной завесы предусматривалось два этапа. На первом этапе при УМО по определенной схеме расположения скважин заполнились путем инъецирования промытые

трещины и пустоты в скальном основании и цементационной завесе [4]. На втором этапе инъецирование трещин проводилось при максимально раскрытых трещинах, когда уровень верхнего бьефа был близок к НПУ.

Влияние инъецирования на напряженно-деформированное состояние системы «плотина-основание» тщательно контролировалось по контрольно-измерительной аппаратуре [4].

В 1985 г была выявлена еще одна зона с повышенной фильтрацией, образование трещин в бетоне напорной грани плотины СШГЭС в окрестностях отметки 354 м, при достижении напора 80% от расчетного. Фильтрация воды в галерее на отметке 344 м значительно возросла.

В 1990 году при наполнении водохранилища до отметки нормального подпорного уровня в ходе визуальных осмотров шахт в бетоне напорной грани между отметками 344 м и 359 м были обнаружены выходы воды в виде «кинжальных» струй. При нормальном подпорном уровне в 1990 г фильтрационный расход в данной области достиг 300 л/с (фильтрационный расход через растянутую зону напорной грани между отметками 344 – 359 м к 1996 г возрос до 458 л/с). Вместе с этим были обнаружены трещины между отметками 376-380 м, где наблюдались «кинжальные» течи, сопровождающиеся ежегодным повышением фильтрационного расхода. Схема расположения трещин на напорной грани и в основании представлено на рисунке 1.

В годы начальной эксплуатации в результате математических расчетов того времени было выявлено, что для плотины СШГЭС раскрытие трещины в бетоне напорной грани между отметками 345-355 м и между отметками 376-380 м, а также раскрытие контакта «скала-бетон» должно было произойти. Было также выяснено, что в результате восприятия гидростатической нагрузки плотинной неполного (штрабленного) профиля, появились трещины при более низких уровнях верхнего бьефа, с большой глубиной распространения, в сравнении с расчетным случаем мгновенного нагружения плотины полного сечения.

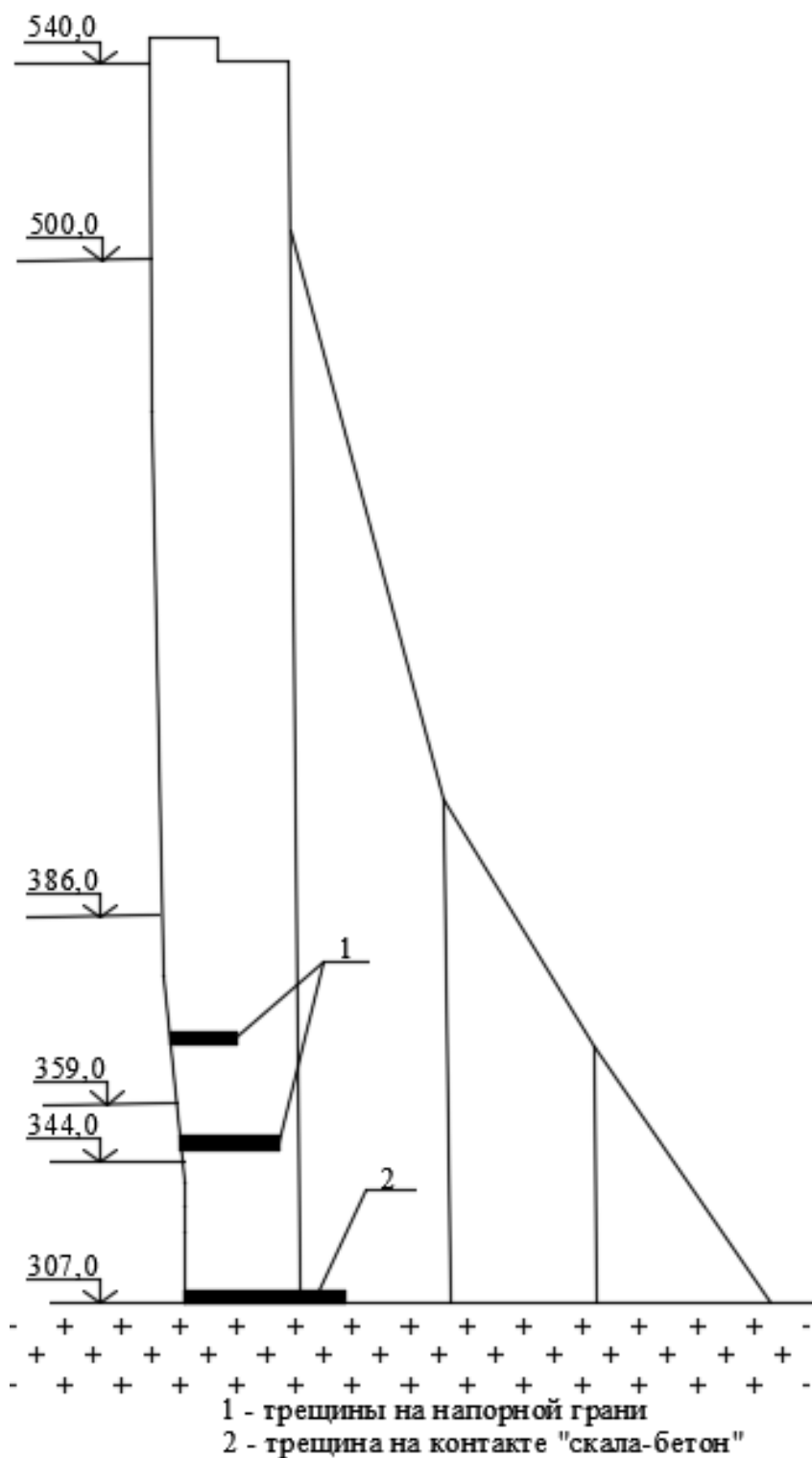


Рисунок 1 – Расположение трещин в основании и напорной грани (поперечный разрез по ключевой секции33)

1.1 Ремонтные работы в напорной грани плотины СШГЭС

Работы, связанные с подавлением фильтрационных расходов, были начаты в 1991 г с применением традиционных технологий цементации трещин в бетоне. Вместе с этим выполнялась цементация межсекционных швов, трещин через восходящие и нисходящие скважины. В процессе нагнетания цементных, цементно-бентонитовых и цементно-силикатные растворов, а также нетрадиционных в отечественной практике полиуретановых растворов, происходило быстрое сообщение сети трещин с горизонтальным дренажем и через него со смотровыми шахтами, в результате весь инъецируемый материал выносился потоком воды. Работы по восстановлению оказались малоэффективными, а увеличение расходов продолжало набирать темп.

В конце 1992 г. был разработан специальный проект подавления увеличивающейся фильтрации, включающий следующие работы:

- повторная цементация межсекционных швов I столба через закладную систему;
- устройство вертикального дренажа (5 скважин на секцию);
- инъекция первоначально цементным раствором, затем полимерами (аквизол) [1].

В марте 1993 г. было проведено гидроопробование карт межсекционных швов I столба между отметками 332-359 м и произведена цементация некоторых из них через цемсистемы швов обычным цементным раствором с водоцементным раствором с водоцементным соотношением 1:10. К 01.08.93 г с целью предотвращения выноса инъецируемого материала были забетонированы три смотровые шахты по швам 31-32, 32-33, 33-34 [2].

В результате бетонирования смотровых шахт и инъекций цементным раствором разуплотненной зоны в секциях 25, 26, 30, 31, 32, 39, 40, 44 удалось кратковременно снизить расходы воды с 380 до 280 л/с. Снижение фильтрационных расходов в этих секциях привело к повышению фильтрации во втором столбе ряда секций. Наибольшая фильтрация была сосредоточена в

секциях 27-31, и составила 54% от суммарного расхода между отметками 344-359 м. Максимальный расход в секции 30 составлял 90 л/с. Это говорит о том, что фильтрационные расходы не снизились, а перераспределились в другие локальные зоны.

Рост фильтрационных расходов не уменьшался, в соответствии с чем было принято решение о применении новых нетрадиционных технологий цементации трещин, для предотвращения распространения разрушения растянутой зоны. Так в 1993 г ОАО «Саяно-Шушенская ГЭС» и французская фирма «Солетанш» заключила договор о применении зарубежной технологии снижения фильтрационных расходов через бетон.

Осенью 1995 г при уровне верхнего бьефа близком к нормальному подпорному уровню, были выполнены пробные работы по ремонту растянутой зоны напорной грани секций 23 и 24 с применением эластичных полимерных материалов фирмы «Рофлекс» и «Родур», модуль деформаций которых составляет 50 и 3500-5000 МПа соответственно.

По результатам пробных работ было установлено, что материал «Родур» является более подходящим и обеспечивает более плотное заполнение трещин. Вместе с этим была подобрана наиболее подходящая величина давления нагнетания раствора в пространство трещин (25-40 МПа). В конечном итоге в секциях 23 и 24 удалось снизить фильтрацию на 100%. В этой связи было принято решение о применении данной технологии и данного материала для проведения работ между отметками 344 и 359 м по фронту протяженностью 300 м в секциях 19 и с 21 по 46 секцию.

Процесс восстановления водонепроницаемости напорной грани был разбит на три основных этапа. Первый этап, включал в себя бурение скважин и определение расположения трещин, и проходил в процессе наполнения водохранилища. Анализ расположения и количества трещин показал наличие до трех зон с трещинами в некоторых секциях, причем каждая зона имела группу более мелких трещин. Три зоны располагались в секциях 25, 33, 41. В

ряде случаев указанные зоны оказались довольно обширными: в секции 28 толщина зоны – 5,6 м, в секциях 34, 42 – 4,6 м, в секции 41 – 4,2 м и т.д. [1].

В результате первого этапа было выявлено, что необходимо провести инъецирование 40 трещиноватых зон, вместо 24, как предполагалось первоначально.

Второй этап работ по восстановлению включал в себя бурение скважин для нагнетания полимерного раствора. В каждой секции выполнялось бурение 20-28 скважин, бурение проводилось из смотровой галереи на отметке 359 м.

На заключительном третьем этапе, который можно разделить на две очереди, проводилось нагнетание раствора в скважины, инъецирование осуществлялось при полной гидростатической нагрузке на напорную грань плотины. Первоначально было заинъецировано 24 секции (1 очередь инъецирования), затем остаточные водопроявления в 10 секциях были подавлены повторным инъецированием (2 очередь) [1].

Инъецирование трещин выполнялось через две скважины четырьмя насосами, это увеличило скорость нагнетания в два раза.

Для контроля НДС системы плотина-основание после воздействия от давления при заполнении раствором трещин, а также контроля изменений в растянутой зоне бетона напорной грани, были выполнены специальные наблюдения.

Этот контроль включал в себя наблюдения за возможными вторичными проявлениями, связанными с превышением раскрытия трещин над величинами, которые были до инъекации; с раскрытием межстолбчатого шва I на отметке 344 м; с возможным развитием трещины во II столбе; с деформацией контактной зоны и осадками; поворотом массива I столба ниже зоны разуплотнения; с раскрытием заинъецированных трещин при инъекации смежных секций [5]. Был организован контроль за фильтрационными расходами в восстановленных секциях. Для измерения величины деформаций, на этапе буровых работ, были установлены экстензометры от двух до четырех штук на одну секцию. Схема

расположения контрольных приборов в зоне инъецирования секции 26 представлена на рисунке 2.

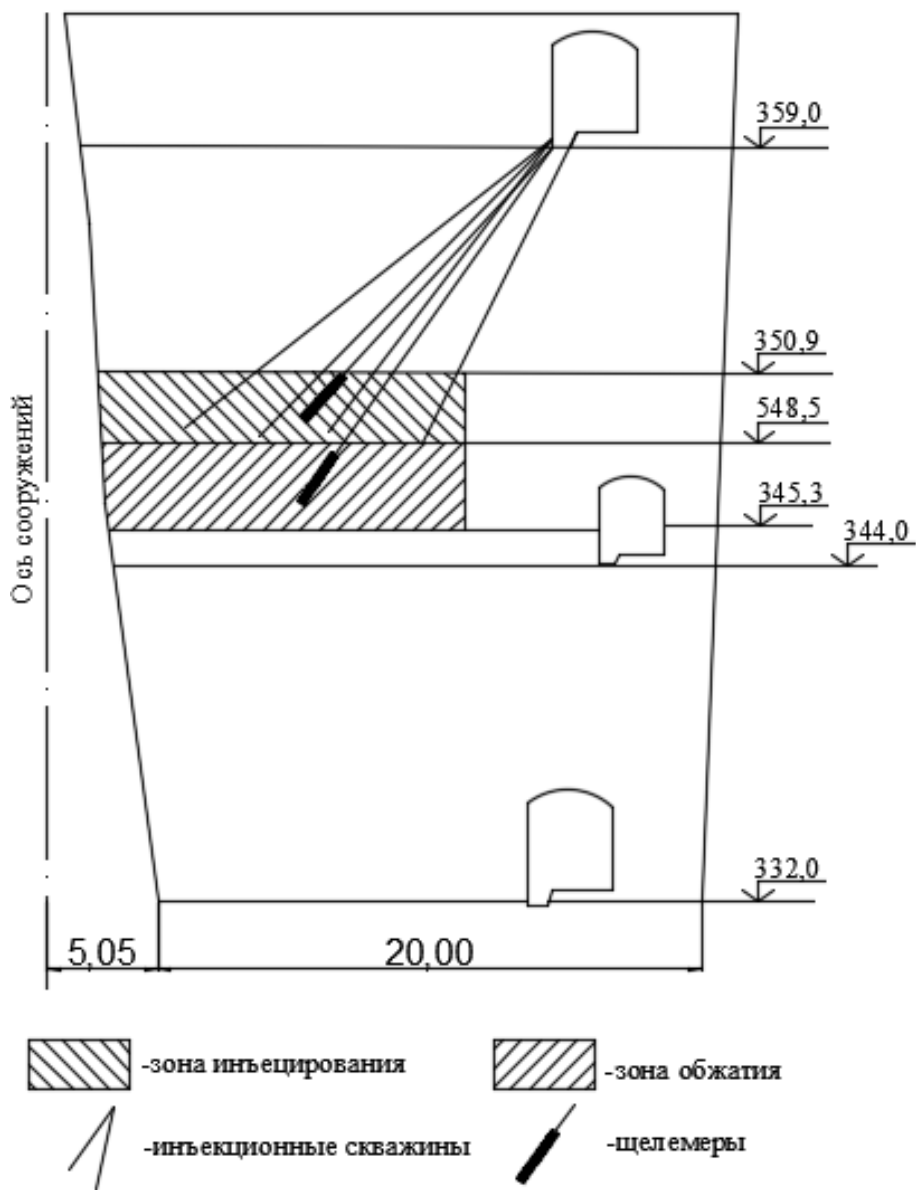


Рисунок 2 – Схема расположения контрольных приборов в зоне инъецирования секции 26

В результате выполненных работ 1 очереди фильтрационные расходы снизились на 92% (до 37 л/с). После выполнения второй очереди инъецирования трещин произошло снижение расходов еще на 7% (до 5 л/с).

Общее количество материала, использованного для инъецирования трещин напорной грани, составило 102,4 т.

1.2 Способы и целесообразность контроля за восстановленной зоной напорной грани, а также оценка ее состояния на отметках 344 – 359 м

Высокий уровень ответственности гидротехнических сооружений речных гидроузлов обуславливает необходимость обеспечения технической, экономической, экологической и социальной безопасности на всех стадиях их жизненного цикла, включая проектирование, строительство и эксплуатацию [6]. Арочно-гравитационная бетонная плотина СШГЭС среди других похожих гидротехнических сооружений занимает особое положение. В первую очередь это связано с ее уникальными соотношениям высоты, ширины створа, высоким уровнем напряжений в бетоне. Вместе с этим, Саяно-Шушенская ГЭС построена в суровых климатических условиях континентального климата, в связи с чем температурный фактор оказывает существенное влияние на работу плотины. Плотина указанного типа представляет собой пространственные статически неопределимые неразрезные конструкции, в которых при любом характере изменения температурного поля температурные напряжения оказывают влияние на общее напряженно-деформированное состояние сооружения (прежде всего в арочном направлении) [7].

Для безопасной эксплуатации плотины СШЭС, наряду с обширным комплексом различных мероприятий, необходим тщательный контроль за состоянием отремонтированной зоны на отметках 344-359 м в период наполнения и сработки водохранилища. В случае нарушения режима регулирования водохранилища в соответствии с температурой низовой грани, радиальных перемещений и углов поворота секций плотины неизбежно повторное раскрытие трещин напорной грани и увеличение фильтрационных расходов воды. Это связано с тем, что запаса сжатия в бетоне плотины при неблагоприятных температурных условиях может не хватить для обеспечения монолитности данной зоны.

Для предотвращения повторного раскрытия "залеченных" трещин в бетоне первого столба с 1997 г. ограничена нагрузка на плотину: нормальный

подпорный уровень (НПУ) плотины снижен на 1 метр по сравнению с проектным, с одновременными ограничениями по интенсивности наполнения водохранилища [8]. Введение ограничений режима наполнения водохранилища имеет цель не допустить высоких уровней верхнего бьефа при низких температурах бетона в летний период. Вместе с этим введены ограничения по продолжительности фиксирования отметок на одном уровне в минимальном и максимальном положении. На максимальном уровне этот временной интервал составляет 5-7 дней.

Впоследствии было установлено, что данные ограничения не могут гарантировать сохранность восстановленной зоны напорной грани при всех возможных вариантах сочетания гидростатической и температурной нагрузок. Необходимо соблюдать некое уравнивание между нагрузкой, возникающей в результате температурных воздействий на низовую грань и гидростатической нагрузкой во время наполнения и сработки водохранилища.

В процессе мониторинга состояния плотины СШГЭС используется информационно-диагностическая система (ИДС) «Edip», которая предназначена для обработки и отображения различных показателей о состоянии гидротехнического сооружения.

С применением экспертной системы «Edip» решаются задачи контроля и диагностики, выявление параметра, не укладывающегося в прогнозные интервалы, формирование признака дефектности параметра разной степени значимости, выдача предварительных сообщений [9]. Целью диагностики является определение степени серьезности отклонений в работе сооружения, разработка рекомендаций по устранению дефекта или коррекции режима работы гидроэлектростанции.

На основании договора о «Проведении оперативного контроля работы плотины СШГЭС в процессе наполнения водохранилища и его сработки на основе конечно-элементного анализа с учетом данных натурных наблюдений», заключенного между АО «Ленгидропроект» и Саяно-Шушенской ГЭС,

проводится НИР, целью которой является выработка рекомендаций по изменению режима наполнения водохранилища.

Научно-исследовательская работа, выполняемая АО «Ленгидропроект» проводится в несколько этапов:

1. Обработка показаний температурных датчиков для построения температурных полей плотины на контрольные даты.

2. Выполнение конечно-элементных расчетов по определению температурных и статических составляющих радиальных перемещений и углов наклона плотины на эти даты.

3. Оценка характера деформирования плотины в процессе наполнения водохранилища при изменении уровня воды и температурного состояния сооружения.

4. По результатам анализа диагностических показателей состояния сооружения (радиальных перемещений и углов поворота секций 18, 33 и 45) проверка выполнения условий, обеспечивающих сохранение целостности отремонтированных зон плотины и основания.

5. Выработка рекомендаций по изменению режима наполнения водохранилища.

Для установления характера деформирования в ходе нагружения плотины проводится сравнительная оценка реакции плотины СШЭС на изменение статических и температурных воздействий при наполнении водохранилища. Проводится анализ динамики необратимых изменений в состоянии плотины.

1.3 Построение и оценка состояния температурного поля плотины СШГЭС для оперативного контроля

Для арочно-гравитационной плотины Саяно-Шушенской ГЭС температурное воздействие окружающей среды (воздуха и воды) в эксплуатационный период является вторым по важности фактором после

гидростатического давления, оказывающим влияние на состояние сооружения [7].

Температурный фактор действует по-разному на сооружение в зависимости от времени года. В холодное время года низовая рана подвергается охлаждению и тело плотины реагирует на изменение температуры перемещением в сторону нижнего бьефа, вместе с тем гидростатическая нагрузка воздействует на сооружение аналогичным образом. В начале марта охлаждение низовой грани достигает максимальных значений и в силу того, что гидростатическая нагрузка снижается в результате сработки водохранилища, значительное охлаждение не приводит к ухудшению напряженного состояния низовой грани.

В теплое время года ситуация меняется и за счет нагрева напорной рани плотина начинает отклоняться в сторону верхнего бьефа, в противоположном направлении относительно гидростатической нагрузки, повышающейся в результате наполнения водохранилища.

Для проведения конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния необходимо построить температурное поле сооружения. Для решения данной задачи используются показания температурных датчиков плотины. В плотине их более 600, но для автоматизации процесса используется упорядоченное поле датчиков, расположенных на одинаковых отметках и высоте секций. Этим условиям удовлетворяют 126 датчиков, которые установлены в секциях 10, 18, 33, 45 и 55. Схема расположения температурных датчиков для секции 33 представлена на рисунке 3.

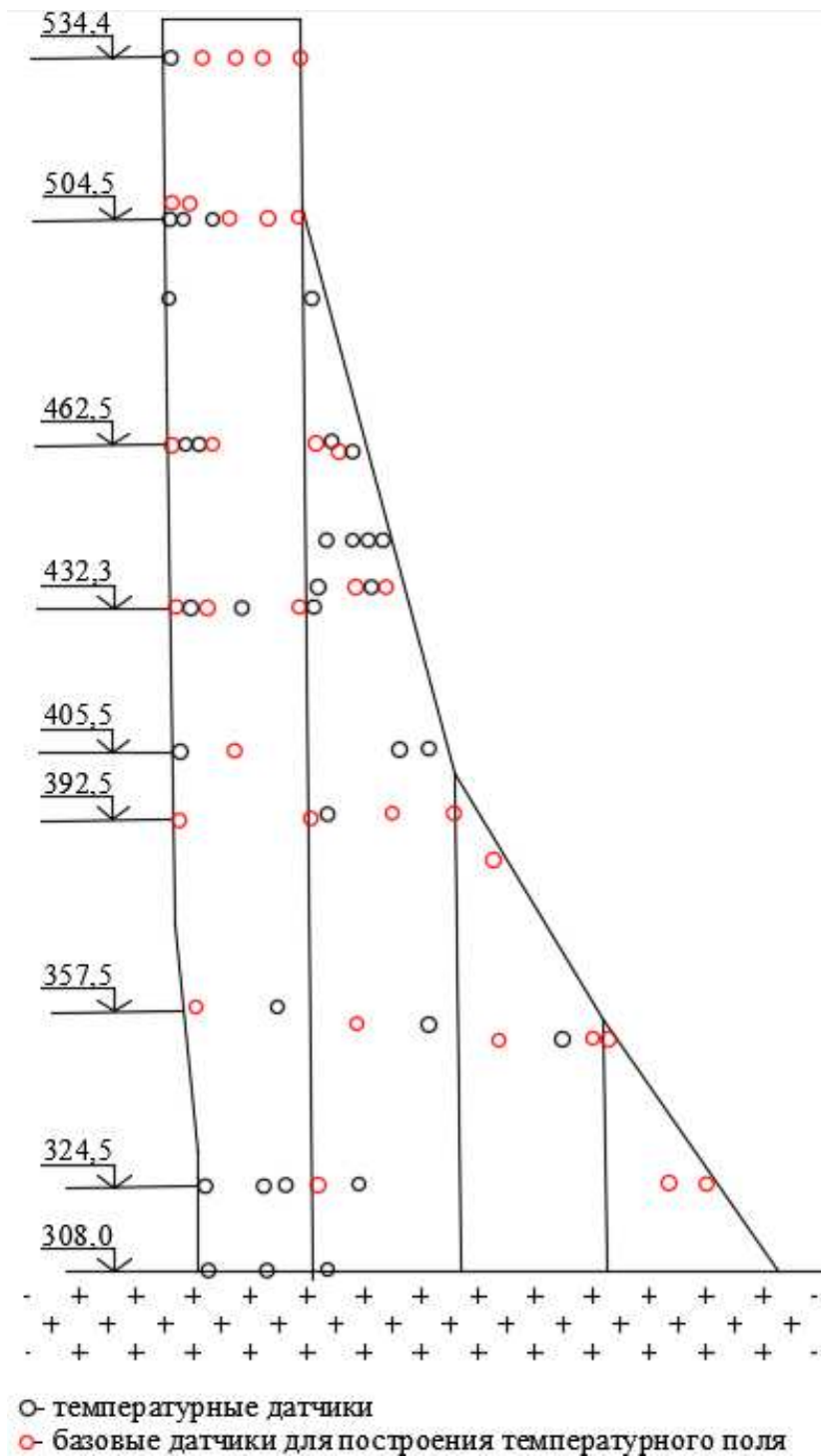


Рисунок 3 – Расположение термометров в секции 33

Для описания закона изменения температур по толщине плотины на фиксированных отметках базовых секций используются аппроксимирующие полиномы высоких порядков точности (соответствующих количеству используемых измерительных точек в горизонтальных сечениях плотины) [11].

Для задания температуры в точках плотины применяется линейная аппроксимация в арочном и консольном направлениях.

Вблизи основания плотины температура бетона со стороны верховой и низовой грани принимается равной температуре воды в нижнем и верхнем бьефе. В поперечном направлении использовалась линейная аппроксимация температуры.

На контакте скала-бетон в береговых примыканиях принимается линейный закон изменения средневзвешенных в годовом измерении значения температур по высоте плотины.

Для определения температурных составляющих радиальных перемещений и углов поворота сечений плотины на определенный интервал времени необходимо обработать данные замеров температуры различных точек плотины. Для автоматизации процесса построения температурного поля плотины пригодна только часть из 600 температурных датчиков, установленных в теле плотины.

Для полученных таким образом температурных полей определяются температурные составляющие радиальных перемещений для всех лет эксплуатации плотины, при проектных параметрах нагружения начиная с 1990 г. Затем, определив температурное состояние сооружения, дается прогноз по МУН (максимальному уровню наполнения) для следующего года и вырабатываются рекомендации по интенсивности наполнения водохранилища.

2 Контроль работы плотины СШГЭС с учетом температурного фактора в процессе наполнения-сработки водохранилища

Методика АО «Ленгидропроект», связанная с регулированием режима наполнения водохранилища СШГЭС с учетом температурного состояния плотины в целях сохранения отремонтированной зоны бетона верховой грани плотины, заключается в поддержании определенного баланса значений температурной и гидростатической составляющей радиальных перемещений плотины в период заполнения водохранилища (май-сентябрь) и в начальной стадии его сработки (вторая половина сентября-октябрь).

Составляющие (гидростатическая, температурная) радиальных перемещений определяются расчетным путем на основе конечно-элементного анализа состояния сооружения, для чего требуется построение температурного поля плотины. Построение температурного поля плотины СШГЭС для оперативного контроля рассмотрено в пункте 1.1.1.

Диапазон пиковых значений температурной составляющей радиальных перемещений плотины может быть различной. В период после завершения ремонтных работ этот диапазон составляет 26,4-35,9 мм. Разность этих показателей, по степени влияния на НДС плотины, эквивалентна изменению напора на 2,5-3,0 м., следовательно, данный фактор должен учитываться при определении УМН водохранилища для последующего года.

Для учета температурного фактора в процессе выбора режима наполнения водохранилища принимаются квалификации температурного состояния плотины, которые представлены ниже.

Температурное состояние сооружения, квалифицирующееся как благоприятное (в температурном отношении) соответствует T_{max} («теплый» год); среднее T_{cp} («средний» год); неблагоприятное в температурном отношении T_{min} («холодный» год).

Определение температурного состояния сооружения производится по трем значениям температурной составляющей радиальных перемещений:

u_t^{min} – максимальное значение температурной составляющей радиальных перемещений в холодное время года (направление в сторону нижнего бьефа со знаком +); u_t^0 – значение температурной составляющей радиальных перемещений в начальный период сработки водохранилища; u_t^{max} – максимальное значение температурной составляющей радиальных перемещений в теплый период года (направление в сторону верхнего бьефа со знаком -).

В таблице 1 представлены значения температурных состояний сооружения для благоприятного, среднего и неблагоприятного температурного отношения.

Таблица 1 – Диапазон значений температурных составляющих ключевой секции плотины

Температурная характеристика года	Характерным значениям температурной составляющей радиальных перемещений		
	u_t^{min}	u_t^0	u_t^{max}
T_{min}	+15,0÷+19,0	>+7,0	-25,0÷-28,0
T_{cp}	+11,0÷+15,0	+1,5 ≤ u_t^0 ≤ +7,0	-29,0÷-33,0
T_{max}	+4,0÷+10,0	< +1,5	-34,0÷-36,0

Значение u_t^0 используется в качестве критериального значения для прогнозирования температурного состояния плотины в период наполнения водохранилища и выбора отметки уровня максимального наполнения.

Значения температурной составляющей радиальных перемещений в начальный период сработки водохранилища и максимальное значение температурной составляющей радиальных перемещений в теплый период года для периода 2006 -2015 гг представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика температурного состояния плотины в период 2006-2016 гг

Год	Температурная характеристика	u_t^0 , мм	u_t^{max} , мм
2006	Холодный	8,92	-26,15
2007	Теплый	0,44	-33,96
2008	Теплый	1,18	-34,86
2009	Средний	2,16	-31,5
2010	Холодный	9,63	-28,29
2011	Средний	3,10	-31,91
2012	Средний	4,10	-33,6
2013	Средний	2,66	-32,33
2014	Теплый	0,17	-34,63
2015	Теплый	0,96	-35,55
2016	Теплый	1,4	-34,80

По результатам таблицы 2 отклонения температурных составляющих перемещений от средних значений могут составлять до 5 мм (для «холодных» годов или 3,5 мм (для «теплых» годов). На практике это означает, что в случае неблагоприятных температурных условий в целях устранения угрозы нарушения целостности восстановленной зоны напорной грани необходимо снизить УМН до отметки 536,5 м, а в благоприятные (теплые) годы допускается увеличение УМН до отметки 539,0 м. Также можно сделать вывод, что 2007 и 2015 гг являются наиболее благоприятными с температурной точки зрения; 2013 г является средним по своим показателям; наиболее неблагоприятными в температурном отношении являются 2006 и 2010 гг.

В таблице 3 приведены предельные значения УВБ для промежуточных стадий наполнения-опорожнения водохранилища, полученные с использованием показаний прямого отвеса секции 33, и значений температурных составляющих радиальных перемещений.

Таблица 3 – Предельные значения УВБ в период наполнения-опорожнения водохранилища

Дата		Предельные УВБ с учетом НДС, м		
		При T_{\min} («холодный год»)	При T_{cp} («средний год»)	При T_{\max} («теплый год»)
Июнь	01.06	527.8	530.0	530.8
	10.06	529.5	531.4	532.1
	20.06	531.0	532.6	533.4
Июль	01.07	532.4	533.7	534.6
	10.07	533.8	534.8	535.7
	20.07	534.7	535.9	536.8
Август	01.08	535.4	536.8	537.7
	10.08	535.9	537.4	538.3
	20.08	536.2	537.8	538.7
Сентябрь	01.09	536.4	538.0	538.9
	05.09	536.5	538.0	539.0
	15.09	536.4	537.8	538.9
Октябрь	01.10	536.1	537.2	538.3
	10.10	536.1	536.7	537.8
	20.10	535.1	536.1	537.1
Ноябрь	01.11	534.5	535.5	536.4
	10.11	533.8	534.9	535.6
	20.11	532.9	534.1	534.7
	30.11	531.8	533.1	533.6
Декабрь	01.12	531,8	533,1	533,6

Ограничения отметок УМН, представленные в таблице 3, влияют на выбор диспетчерского графика, который должен соответствовать температурным условиям холодного, среднего или теплого года. Выбор диспетчерского графика должен быть осуществлен до наступления начала заполнения водохранилища. Для этого используются значения величины радиального перемещения гребня 33 секции плотины в начальный период сработки водохранилища. По данным значениям определяется температурное состояние плотины перед началом очередного цикла наполнения-опорожнения водохранилища. Радиальные перемещения гребня ключевой секции используются для сравнения с расчетными значениями температурных составляющих перемещений предыдущих лет.

Выбор диспетчерского графика осуществляется в соответствии от значения приращения радиального перемещения гребня секции 33 ($\Delta u_{\text{изм}}$) в соответствии с таблицей 3. $\Delta u_{\text{изм}}$ позволяет произвести оценку положения гребня плотины и рассчитывается по формуле:

$$\Delta u_{\text{изм}} = (u_{28}^{\text{изм}} - 65,14) - 1,9 \cdot (УВБ_{28} - 500,18 - 3,3), \quad (1.1)$$

где $\Delta u_{\text{изм}}$ – приращение радиального перемещения гребня секции 33 плотины, измеряемое по показаниям прямых отвесов на 28 апреля данного водохозяйственного года (начальный отсчет с 28 апреля 2009 при УВБ 500,18 м);

$u_{28}^{\text{изм}}$ – измеренное значение радиального перемещения гребня секции 33 на 28 апреля данного года (начальный отсчет с 4 мая 1998 г);

65,14 мм – измеренное значение радиального перемещения секции 33 на 28 апреля 2009 г. (начальный отсчет с 4 мая 1989 г);

$УВБ_{28}$ – уровень сработки водохранилища на 28 апреля данного года;

1,9 мм – расчетное значение перемещения гребня секции 33 при сработке-наполнении водохранилища на 1 м (в диапазоне отметок 500,0-505,00 м);

3,3 м – необратимая составляющая радиальных перемещений гребня ключевой секции.

2.1 Контроль состояния плотины СШГЭС в период наполнения водохранилища в 2015 г

Применение методики АО "Ленгидропроект" для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины будет продемонстрировано на примере анализа состояния сооружения на период с апреля 2015 г по ноябрь 2016 г.

Рассмотрим в начале период с апреля по май 2015 года, в момент завершающей стадии ветви сработки цикла 2014/2015 гг и начального этапа ветви наполнения водохранилища 2015 года.

В 2015 году после сработки водохранилища гребень ключевой секции плотины вернулся в положение, занимаемое в аналогичные периоды 2013-2014 гг.

Для оценки характера работы плотины роводится сравнительный анализ показателей состояния сооружения 2015 года и аналогичных показателей в 2013 и 2014 гг.

Рассмотрим данные натурных измерений, полученные в период с апреля по май 2015 г. Сравнение производится для 7-ми диагностических показателей. Это радиальные перемещения на отметках 542,0 м и 440,0 м для секции 33, секции 18, секции 45 и углы наклона поперечных гидронивелиров, расположенные в секции 33 на отметке 359,0 м (рисунок 4).

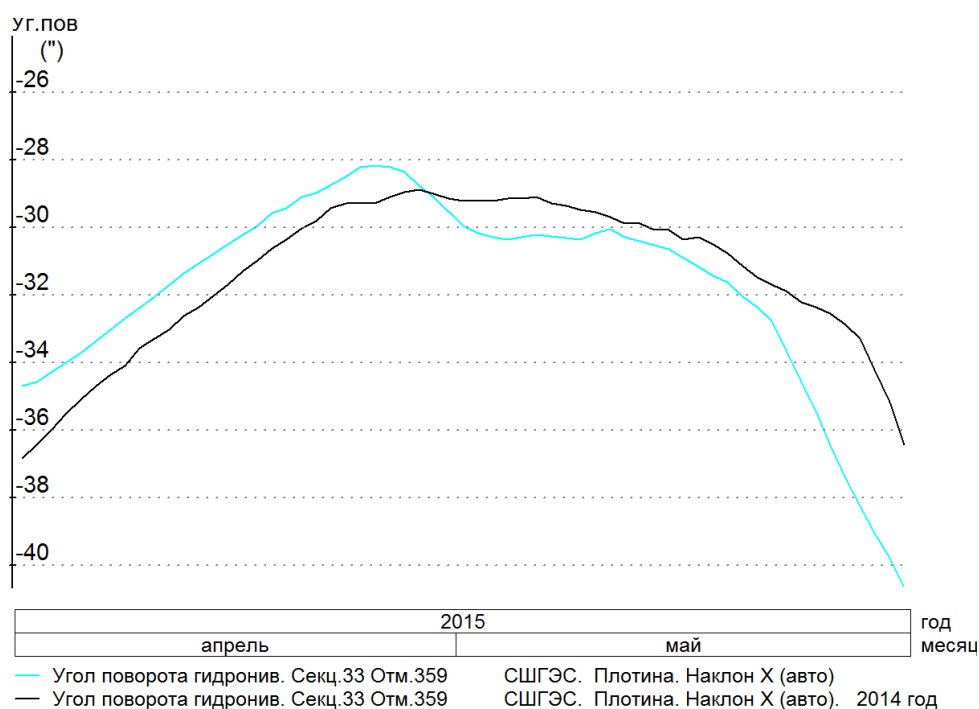


Рисунок 4 – Углы наклона поперечных гидронивелиров, расположенных в секции 33 на отметке 359,0 м, за апрель - май 2015 г и 2014 года прототипа

Рисунок 4 позволяет продемонстрировать схожий характер работы плотины в 2014 и 2015 гг, согласно показаниям гидронивелиров, расположенных в секции 33 на отметке 359,0 м. Показания углов наклона поперечных гидронивелиров в 2015 незначительно превышают аналогичные показания 2014 года до конца апреля, затем углы наклона в 2014 году начинают превышать показания наклонов гидронивелиров в 2015 году, но в целом прослеживается схожая работа плотины в рассматриваемый период.

Во всех перечисленных случаях, как при сравнении показателей 2015 и 2013 годов ($\Delta 1t$), так и показателей 2015 и 2014 годов ($\Delta 2t$), влияние различий гидростатического и температурного происхождения учитывается отдельно расчетным путем. Гидростатическая ($\Delta_{\text{гидр}}$) и температурная (Δ_t) составляющие приращений соответствующего показателя суммируются ($\Delta_{\text{расч}}$) и сравниваются с приращениями измеренных значений ($\Delta_{\text{изм}}$). В таблице приложения А представлено сравнение радиальных перемещений на отметке 542.0 м секции 33. В таблице приложения Б представлено сравнение углов поворота на отметке 359.0 м секции 33.

Проанализировав гидростатические и температурные приращения с приращениями измеренных значений можно сделать вывод, что изменения измеренных и расчетных значений диагностических показателей носят согласованный характер. Об этом свидетельствуют незначительные расхождения разностей измеренных значений радиальных перемещений ($\Delta^I_{\text{изм}}$) и разности расчетных значений радиальных перемещений ($\Delta^I_{\text{расч}}$).

Для примера рассмотрим 15 апреля 2015 года. Сумма гидростатической составляющей радиальных перемещений для 2015 и 2013 годов составляет $\Delta_{1\text{расч}} = 0,96 \text{ мм}$; сумма гидростатической составляющей радиальных перемещений для 2015 и 2014 годов составляет $\Delta_{2\text{расч}} = 3,97 \text{ мм}$. Разности измеренных значений радиальных перемещений 2015 года и 2013, 2014 годов составляют $\Delta_{1\text{изм}} = 0,55 \text{ мм}$ и $\Delta_{2\text{изм}} = 2,32 \text{ мм}$ соответственно. Расхождения измеренных и расчетных значений показателей незначительны и в среднем составляют 0,4 и 0,8 мм соответственно. Это свидетельствует о том, что реакция

сооружения адекватна внешним воздействиям. Следовательно, работа сооружения протекает в упругой стадии без признаков снижения конструкционного модуля из-за деструктивных процессов, действующих в теле плотины и основании.

Для оценки температурного состояния плотины используется график изменения температурных составляющих радиальных перемещений гребня секции 33 (рисунок 5), который в годовом измерении характеризуются тремя основными показателями: пиковыми значениями (разнонаправленного действия) в марте ($u_{t \min}$) и сентябре ($u_{t \max}$), а также значением на момент сработки водохранилища до $УВБ_{\min} - u_0^t$.

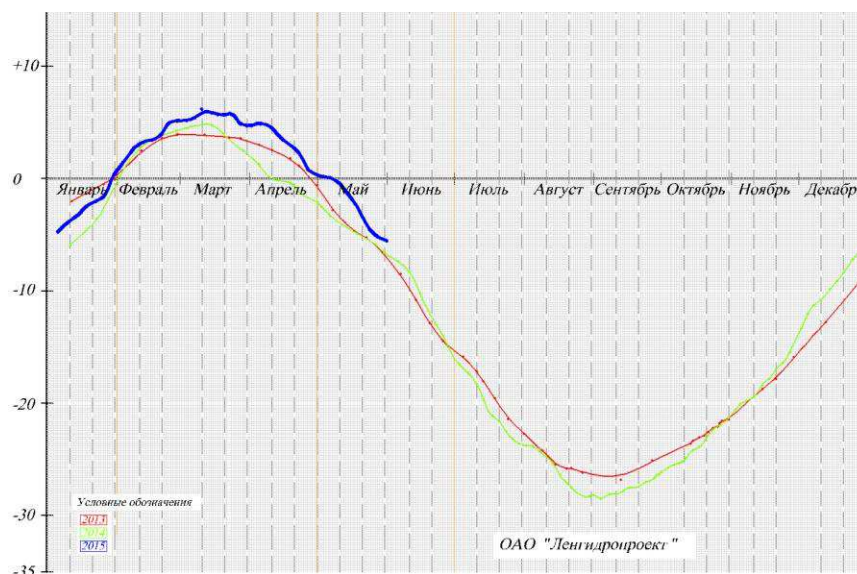


Рисунок 5 – Изменения приращений температурных составляющих радиальных перемещений гребня секции 33 в 2013, 2014 и 2015 гг

В 2015 году для секции 33 первые (в хронологической последовательности) показатели получили следующие значения:

- $u_{t \min} = +9,5\text{мм}$;
- $u_0^t = +0,6\text{мм}$.

Пиковые значения (разнонаправленного действия) в марте ($u_{t \min}$) и сентябре ($u_{t \max}$) для 2015 г секции 33 превышают соответствующие показатели 2013 года – среднего в температурном отношении, и близки к показателям 2014 года –

благоприятного в температурном отношении. Как показывает практика, тенденция развития температурных процессов в сооружении, которая отражается в первые месяцы года, сохраняется и в последующие месяцы, исключением могут служить зимние месяцы года, когда температура воздуха внезапно понижается до температур, несвойственных для рассматриваемого года. В этой связи можно сделать вывод, что 2015 год сохранит благоприятное в температурном отношении состояние сооружения в течении текущего периода наполнения водохранилища.

В 2013 году уровень верхнего бьефа составил 538,0 м при средних температурных показателях. В 2014 году расчетное допустимое значение предельного уровня верхнего бьефа составило 538,5 м, исходя из этого можно сделать вывод, что в 2015 году предельный уровень верхнего бьефа, при котором будет обеспечена безопасная эксплуатация сооружения может составить 538,5 м.

Рассмотрим период с 27 мая по 14 июня 2015 года. В температурном отношении состояние плотины оценивалось как благоприятное.

Величина температурной составляющей радиальных перемещений секций 33 для 2015 года в небольшой степени превышает значения 2013 и 2014 года (рисунок 6). На основании этого можно сделать вывод, что прогноз в отношении меры прогрева плотины был верным.

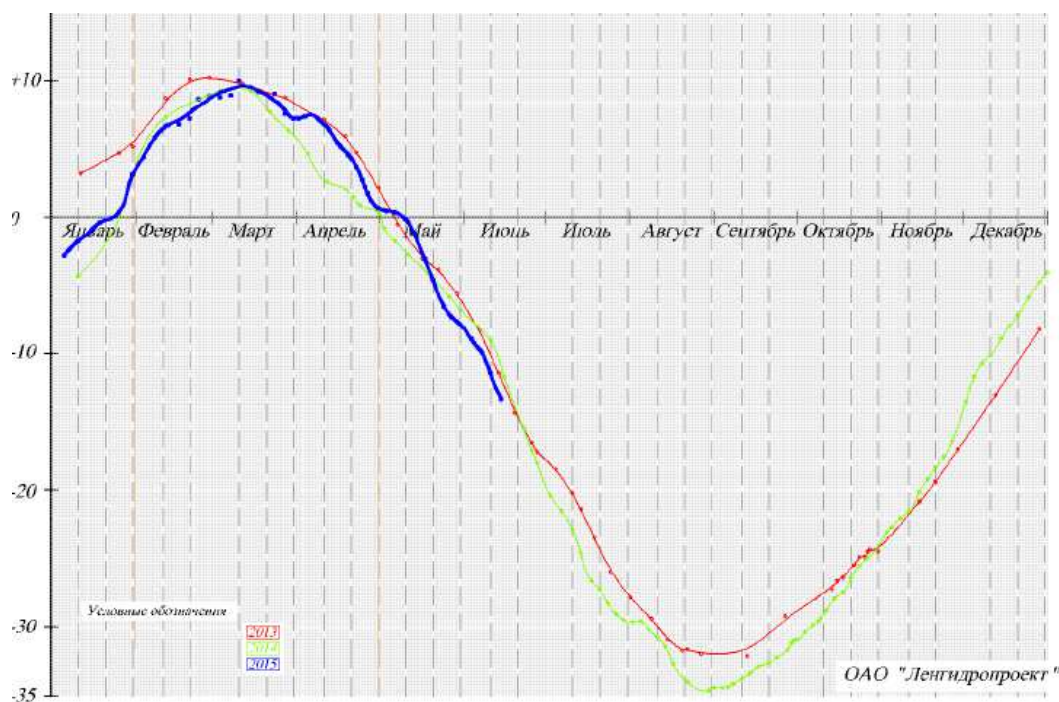


Рисунок 6 – Изменение температурных составляющих радиальных перемещений гребня секции 33 в 2013-2014 гг и в 2015 г

Сравнительный анализ приращений измеренных и расчетных значений радиальных перемещений и углов наклона в период с 13.05 по 14.06 для секции 33 на отметке 542,0 м представлен в таблице приложения Б.

Проанализировав значения приращений измеренных и расчетных значений радиальных перемещений и углов наклона существенных отклонений не выявлено. Так, например, для 13.05.18 разности измеренных значений радиальных перемещений 2015 года и 2013 составляет -11.54 ; разность расчетных значений радиальных перемещений 2015 года и 2013 составляет -11.76 . Таким образом разности измеренных и расчетных значений радиальных перемещений 2015 года и 2013 незначительно отклоняются друг от друга, следовательно, работа сооружения протекает в упругой стадии без признаков развития деструктивных процессов в теле плотины и основании.

В период с июня 2015 г по июль 2015 г состояние плотины характеризуется как стабильное, приращения гидростатической составляющей радиальных перемещений и углов поворота поперечных сечений сопоставимы с

величинами температурной составляющей этих показателей состояния сооружения. Показатели состояния плотины представлены в таблице 5

Таблица 5 – Показатели состояния плотины на 17-26 июля 2015 г

Показатели	Дата	Годы		
		2013	2014	2015
УВБ, м	12,07	532,96	531,31	529,32
	26,07	534,70	532,84	532,08
Радиальное перемещение гребня секции 33, мм	12,07	121,99	111,800	107,00
	26,07	121,18	112,40	106,38
Приращение гидростатической составляющей радиальных перемещений секции 33,мм	12,07	79,60	75,42	68,82
	26,07	83,92	78,03	75,67
Приращение температурной составляющей радиальных перемещений секции 33,мм	12,07	-20,99	-24,00	-24,38
	26,07	-26,51	-29,04	-29,61
Разность температурных составляющих радиальных перемещений гребня секции 18 и 45, мм	12,07	-2,83	-0,69	+3,23
	26,07	-2,38	-0,77	+3,58

Согласно таблице 5 приращение гидростатической и температурной составляющей радиальных перемещений секции 33 для 2015 года практически идентичны аналогичным показателям 2014 года и достаточно близки к показателям 2013 года.

В период с 26.07.2015 г по июль 05.08.2015 г было выявлено, что на конец рассматриваемого периода имеется запас в 3,5 м напора. Это связано с тем, что температурная составляющая радиальных перемещений гребня центральной секции к 5 августа достигла значения 32,06 мм, что на 3,27 мм больше чем в 2013 г (28.79 мм) и 2,26 мм больше чем в 2014 г (29,80 мм). При этом отметка уровня верхнего бьефа на 2,53 м меньше, чем в 2013 г. В результате лучшего прогрева в сравнении с 2013 г величина дополнительного напора могла составить 1 м.

К концу августа уровень верхнего бьефа достиг отметки 535,19 м, что на 2,6 м ниже предельно допустимого значения на 26.08.2015, следовательно, условие обеспечение целостности отремонтированных зон выполняется.

Наибольший разогрев плотины в 2015 пришелся на 06.09, при этом температурная составляющая радиальных перемещений гребня ключевой секции составила -35,55 мм. Максимум температурной составляющей радиальных перемещений 33 секции на 3,51 мм больше, чем в 2013 г, что позволяет увеличить напор на 1.05 м. После 06.09. 2015 г плотина вступила в стадию остывания, но радиальные перемещения и углы поворота продолжают свой рост. Это связано с тем, что подъем отметки уровня верхнего бьефа оказывает доминирующее значение, по сравнению с эффектом от остывания тела плотины. В таблице 6 представлены показатели перемещения гребня плотины с 06.06 по 13.09 2015 года.

Таблица 6 – Показатели перемещения гребня плотины с 06.09.2015 по 13.09.2015

Секция	$\Delta U_{гидр}, мм$	$\Delta U_t, мм$	$\Delta U_{расч}, мм$	$\Delta U_{изм}, мм$
18	1,78	0,41	2,19	2,32
33	2,17	0,90	3,07	3,93
45	1,78	0,80	2,58	2,62

На основании таблицы 6 можно сделать вывод, что плотина адекватно реагирует на изменение УВБ, несмотря на то, что значения измеренных приращений несколько превышают расчетные значения. Это явление связано с тем, что в расчете не учитываются раскрытие трещин и швов вне зон инъецирования при высоких уровнях верхнего бьефа.

На период с 13.09.2015 г по 27.09.2015 г было отмечено превышение измеренных величин радиальных перемещений над расчетными на отметках 542 м, 494 м и 440 м (таблица 7).

Таблица 7 – Показатели состояния плотины с 13.09.2015 по 27.09.2015

Секция	Показатель	Отметка, м	$\Delta U_{расч.},$ мм	$\Delta U_{изм.},$ мм
18	Радиальные перемещения	542	4,09	7,51
		494	2,17	4,67
		440	1,16	1,97
	Углы поворота	359	-1,28	-1,34
		344	-1,05	-2,00
		308	-0,78	-1,57
33	Радиальные перемещения	542	5,55	8,70
		494	3,01	4,99
		440	1,52	2,42
	Углы поворота	359	-1,69	-3,28
		344	-1,14	-2,60
		308	-1,06	-2,35
45	Радиальные перемещения	542	5,16	8,41
		494	2,29	4,76
		440	1,17	2,09
	Углы поворота	359	-1,17	-2,10
		344	-1,03	-1,88
		308	-0,49	-0,74

Превышения для отметки 542 м составляли от 3,15 мм до 3,42 мм; для отметки 494 м превышения составляли от 1,98 мм до 2,5 мм; для отметки 440 м превышения составляли от 0,81 мм до 0,92 мм.

Расчетные показания гидронивелиров оказались меньше измеренных. Для ключевой секции превышение составило в среднем 1,44 секунды.

На основании полученных превышений измеренных значений над расчетными можно сделать вывод, что имеет место возможный процесс раскрытия трещин и швов. В этой связи уровень верхнего бьефа не должен превышать уровень, достигнутый в 2013 г, т.е. рекомендации данные ранее сохраняют свою силу.

Анализ показателей, представленных в таблице 8 показал, что с 27 сентября влияние на изменение величины радиальных перемещений и углов поворота оказывал в большей степени температурный фактор. Это объясняется стабилизацией уровня верхнего бьефа.

Таблица 8 – Показатели состояния плотины с 06.09.2015 по 04.10.2015

Секция	Показатель	Период	Отм,	$\Delta U_{\text{гидр}}$, мм	ΔU_t , мм	$\Delta U_{\text{расч}}$, мм	$\Delta U_{\text{изм}}$, мм	$\Delta U_{\text{изм}}$, - $\Delta U_{\text{расч}}$, мм
33	Радиальные перемещения	06,09- 04,10	542	5,96	4,72	10,66	13,47	+2,81
		27,09- 04,10	542	0,40	1,65	2,05	0,84	-1,21
			494	0,29	0,88	1,17	0,49	-0,68
			440	0,17	0,30	0,47	0,27	-0,20

На рисунке 7 представлено изменение температурных составляющих радиальных перемещений гребня секции 33 для 2013-2015 гг. Рисунок 7 позволяет наглядно продемонстрировать превышение температурных составляющих радиальных перемещений ключевой секции относительно годов прототипов по температурным показателям (2013 г, 2014 г), но эти превышения незначительны и близки к рассматриваемым годам.

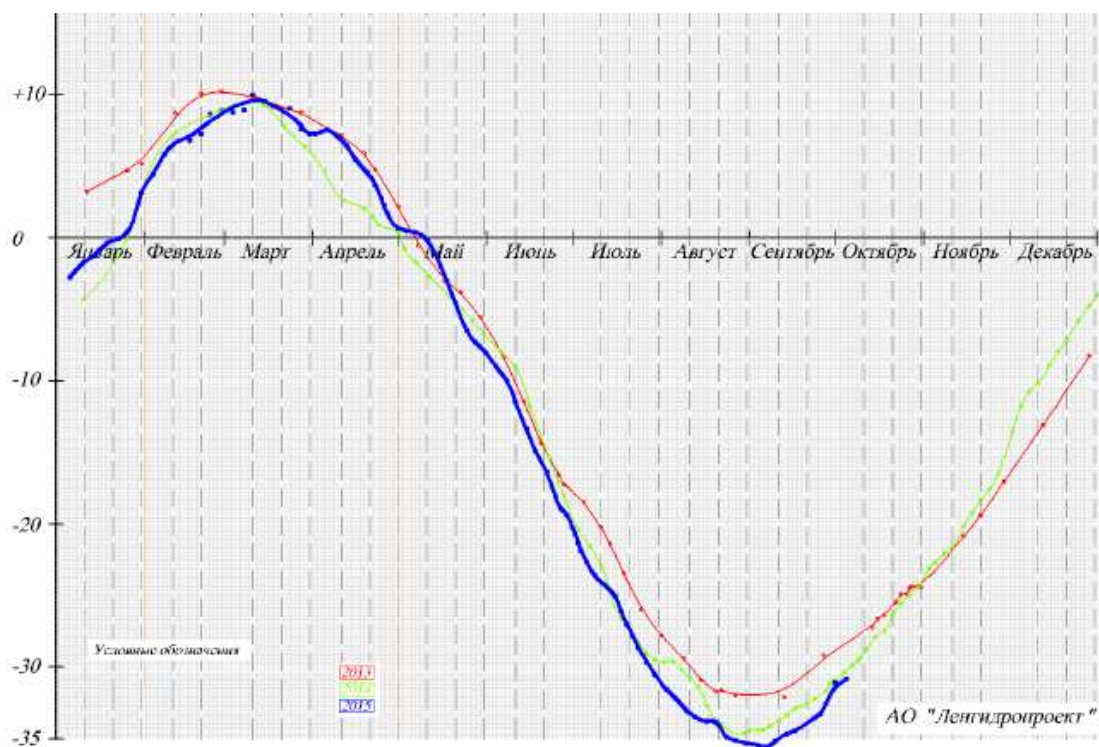


Рисунок 7 – Изменение приращений температурных составляющих радиальных перемещений гребня секции 33 в 2013-2014 гг и в 2015 г

В таблице приложения В представлено сравнение радиальных перемещений на отм. 440.0 м для секции 33. На основании данной таблицы можно сделать вывод, что по сравнению с 2013 г, с учетом разницы в УВБ и показателей температурного состояния плотины, температурных составляющих радиальных перемещений гребня секции 33 больше на 2.58 мм. Следовательно, на 04.10.2015 имеется запас 0,75 м. В связи с этим, необходимость начала холостых сбросов на данный момент отсутствует.

2.2 Контроль состояния плотины СШГЭС в период сработки водохранилища в 2015 г

УВБ достиг своего максимума 07.10.15, равного 537,43 м, после чего началась сработка водохранилища. отметка УВБ 537.26м на 11.10.15 практически сравнялась с УВБ на аналогичную дату в 2013 г. измеренные значения радиального перемещения гребня секции 33 составило 130.86 мм, что

на 4.18 мм меньше, чем в 2013 г. Это явление связано с более высоким уровнем прогрева плотины в 2015 г, следовательно, сработка водохранилища может проводиться медленнее чем в 2013 г.

В период с 11.10.2015 по 18.10.2015 сработка водохранилища осуществлялась практически аналогично графику 2013 года. При этом разница приращения температурной составляющей радиальных перемещений гребня плотины была незначительной и превышала значения 2013 года на 2,85 мм (таблица 9). На рассматриваемый период, сработка водохранилища протекает в более благоприятно для плотины чем в 2013 г, с точки зрения температурных условий.

Таблица 9 – Показатели состояния плотины на 11.10.2015 и 18.10.2015 г

Показатели	Дата	Годы		
		2013	2014	2015
УВБ, м	12,07	532,96	531,31	529,32
	26,07	534,70	532,84	532,08
Радиальное перемещение гребня секции 33, мм	12,07	121,99	111,800	107,00
	26,07	121,18	112,40	106,38
Приращение гидростатической составляющей радиальных перемещений секции 33,мм	12,07	79,60	75,42	68,82
	26,07	83,92	78,03	75,67
Приращение температурной составляющей радиальных перемещений секции 33,мм	12,07	-20,99	-24,00	-24,38
	26,07	-26,51	-29,04	-29,61
Разность температурных составляющих радиальных перемещений гребня секции 18 и 45, мм	12,07	-2,83	-0,69	+3,23
	26,07	-2,38	-0,77	+3,58

В период с конца октября по 18 ноября Сравнение данных натурных измерений 2015 года и 2013-2014 годов с расчетными значениями в целом не выявило признаков изменения характера работы сооружения в указанный период. Плотина адекватно реагировала на изменение уровня воды в

водохранилище. Отличительной чертой рассматриваемого периода (на 18.11.15 г) является тот факт, что впервые за весь текущий цикл наполнения-опорожнения водохранилища температурная составляющая перемещений (-18.68мм) оказалось ниже значений 2013 года (-19.89мм), который является средним годом в температурном отношении. Таким образом, на данный момент температурное состояние плотины имеет показатели ниже средних значений. По условию сохранения целостности отремонтированных зон напорной грани и основания под первым столбом, текущее значение УВБ на не должно превышать УВБ 534,3м. При этом на 18.11.15 г. УВБ составляет 534.03м. Но так как температурная составляющая радиальных перемещений оказалась на 18.11.15г на 1.20 мм меньше показателя 2013 года, что эквивалентно 0.4 м дополнительного напора, можно сделать вывод, что значение УВБ с учетом этого эквивалентного напора составляет 543,4 м, т.е. текущее значение УВБ превысило предельное значение на 0,37 м. В этой связи, для уравнивания гидростатической и температурной составляющих радиальных перемещений необходимо повысить интенсивность сработки водохранилища.

Конец 2015 года характеризовался резким охлаждением тела плотины, в следствии значительного понижения температуры воздуха, не характерных для данного периода года. График, представленный на рисунке 8, позволяет сделать вывод, что в результате преобладающего влияния температурного фактора наблюдался рост радиальных перемещений плотины. В дальнейшем ситуацию удалось стабилизировать за счет увеличения интенсивности сработки и повышения температуры воздуха. Это говорит об эффективности ограничений на отм. УВБ, установленных с учетом влияния температурного фактора.

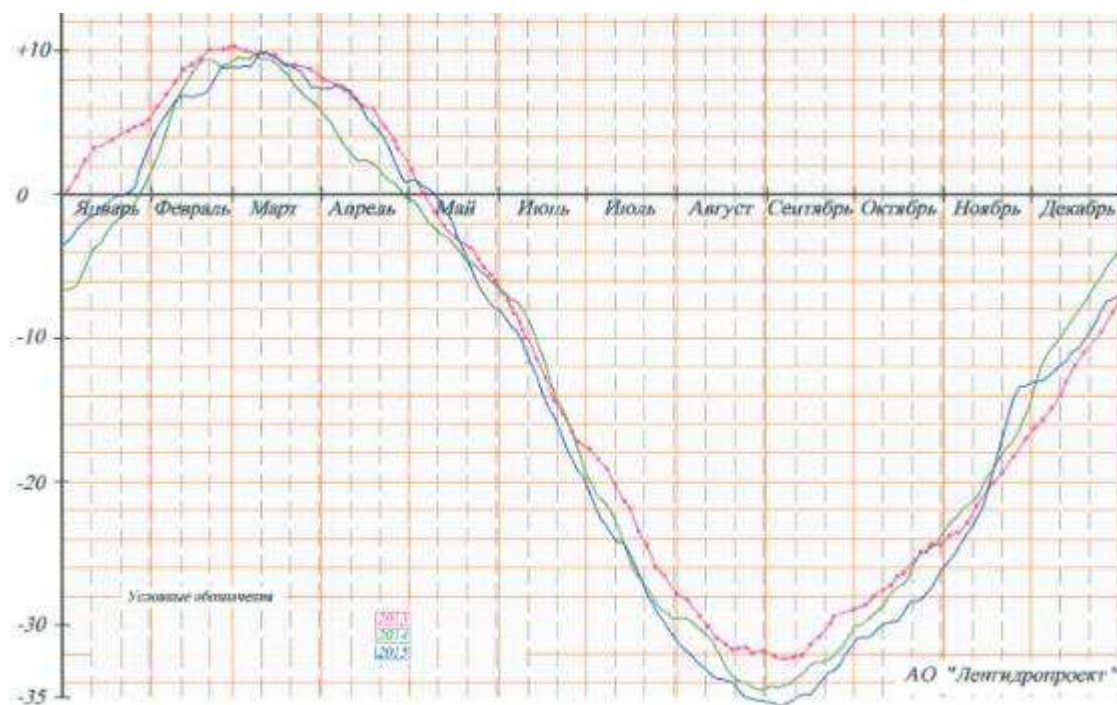


Рисунок 8 – Изменение приращений температурных составляющих радиальных перемещений гребня секции 33 в 2013- 2015 гг

2.3 Общая оценка состояния сооружения в период регулирования водохранилища в 2015 году

Температурное состояние плотины в 2015 году соответствовало «теплому» году. Из-за недостаточной приточности, максимальная отметка наполнения водохранилища в 2015 г была достигнута 03.10.2015, и составила 537,42 м, что меньше предельного уровня верхнего бьефа на эту дату

Реакция сооружения на изменения УВБ и температуры окружающей среды в 2015 г оценивалась по отношению к 2013 г и 2014 г. Результаты сравнения разностей измеренных и расчетных значений перемещений и углов поворота дают основания считать, что плотина в 2015 году адекватно реагировала на изменение УВБ и температурных условий в процессе наполнения водохранилища и его сработки. При этом, работа плотины на всех уровнях нагружения протекала в упругой стадии.

Подъем УВБ в 2015 г до отметок НПУ мог составлять 539,0 м, без угрозы для безопасности для сооружения в целом и нарушения целостности

отремонтированных зон плотины и основания. Но в следствии низкой приточности в 2015 г УМН составил 537,42 м.

На основании анализа работы плотины в 2015 г следует, что регулирование режима наполнения водохранилища и его сработки с учетом температурного фактора при выполнении условий неперевышения контрольных отметок промежуточных УВБ могут обеспечить работу плотины в стабилизированном состоянии и, тем самым исключить возобновление в ней деструктивных процессов.

3 Характеристика работы плотины в результате изменения УВБ и температурных условий в процессе наполнения и начального периода сработки водохранилища в 2016 г

Согласно отчета ОА «Ленгидропроект» 2016 год, с точки зрения температурного состояния плотины, классифицируется как T_{\max} . Этот вывод сделан на основании сравнения температурных показателей 2015 г, который классифицировался как T_{\max} . Так, на 11 июня 2015 года $u_t = -11.86$ мм, в 2016 году $u_t = -11.66$ мм реакция плотины на внешние воздействия была адекватна изменению гидростатического давления воды и температурным условиям. Характер работы плотины, по сравнению с 2015 годом, не изменился. Это свидетельствует об отсутствии необратимых изменений в статической работе сооружения при достигнутых показателях нагружения.

На 28.04.2016 г перемещение гребня центральной секции плотины, обусловленное влиянием температурного фактора, составило 1,4 мм, что соответствует показателям температурного состояния сооружения для T_{\max} с УВБ 539,0 м. Руководствуясь принципом последовательного увеличения гидростатической нагрузки на сооружение в поставарийный период его эксплуатации, АО «Ленгидропроект» рекомендовал повышение УВБ по сравнению с ранее достигнутым максимальным УВБ 538,0 м (в 2013 г) производить ступенями по 0,5 м. Следовательно при планировании графика наполнения водохранилища в 2016 году было рекомендовано придерживаться отметки 538,5 м. Отметка 538,5 м была достигнута 26.08.2016 г при благоприятном в температурном отношении состоянии сооружения.

Значения УВБ, за исключением периода с 21.08.2016-28.08.2016 гг, на всем протяжении 2016 года не превышало предельных значений. В период с 21.08.2016 по 26.08.2016, приращение температурной составляющей радиальных перемещений гребня 33 секции (u_t) уменьшилась с -33,27мм до -32,96мм. При этом уровень заполнения водохранилища достиг запланированной на этот год отметки 538,5м (на 26.08.2016г. отметка УВБ

составила 538,52м). В рамках оперативного взаимодействия со СМГТС Саяно-Шушенской ГЭС на основании полученных негативных оценок температурного состояния плотины было предложено увеличить объем холостых сбросов с целью снижения отметки водохранилища. Далее температурные показатели улучшились, что позволило вернуться к отметке 538.5 м.

В период с 18.09.2016 г по 26.09.2016 г разогрев тела плотины достиг своего максимума. 22 сентября температурная составляющая радиальных перемещений гребня достигла «-34,80» мм. Период 22.09 – 25.09 характеризуется температурными показателями, более благоприятными, чем показатели самого теплого года (2007) за аналогичный интервал времени (таблица 10). В этот же период времени начался процесс охлаждения тела плотины.

Таблица 10 – Температурные показатели состояния гребня 33 секции плотины

Дата	«Средний» год (2013)	«Теплый» год (2007)	Текущий год (2016)
18,09	-30,64	-35,17	-34,63
19,09	-30,44	-35,05	-34,59
20,09	-30,175	-34,94	-34,69
21,09	-29,91	-34,82	-34,78
22,09	-29,68	-34,71	-34,80
23,09	-29,45	-34,59	-34,79
24,09	-29,23	-34,47	-34,73
25,09	-29,01	-34,36	-34,54
26,09	-28,97	-34,24	-34,17

В течение интервала времени 09.10.2016 г по 17.10.2016 г температурные показатели уменьшались, вследствие похолоданий, от значений достаточно близких к «теплому» 2007 году, в начале до значений, более близких к «среднему» (2013) году в конце интервала (таблица 11).

Таблица 11 – Температурные показатели состояния гребня 33 секции плотины

Дата	«Средний» год (2013)	«Теплый» год (2007)	Текущий год (2016)
09,10	-27,53	-31,27	-29,84
10,10	-27,40	-31,08	-29,44
11,10	-27,27	-30,89	-29,21
12,10	-27,05	-30,71	-29,00
13,10	-26,83	-30,52	-28,77
14,10	-26,58	-30,33	-28,47
15,10	-26,33	-30,14	-28,20
16,10	-26,20	-29,96	-27,91
17,10	-26,06	-29,77	-27,44

Показатели прогрева плотины сравнивались с показателями «среднего» в температурном отношении 2013 г (27.10.2016 г). Далее интенсивность охлаждения плотины возрастала и температурные показатели сравнивались со значениями «холодного» 2006 г.

С точки зрения характера деформирования тела плотины, согласно отчета АО «Ленгидропроект», в результате разностей измеренных и расчетных значений перемещений и углов поворота, был сделан вывод, что реакция плотины в 2016 г на внешние воздействия была адекватна изменениям УВБ и температурных условий в процессе наполнения водохранилища и его сработки. Следовательно, работа плотины при всех уровнях нагружения протекала в упругой стадии и было обеспечено условие целостности отремонтированных зон плотины и основания.

3.1 Анализ эффективности методики АО «Ленгидропроект» по контролю состояния плотины СШГЭС на примере периода наполнения водохранилища в 2016 г

Оценка эффективности методики АО «Ленгидропроект» по контролю состояния плотины СШГЭС продемонстрирована на примере анализа состояния плотины в период наполнения водохранилища в 2016 году. Данный анализ выполнен путем сопоставления рекомендаций по регулированию режима наполнения представленных в отчетах о «Оперативном контроле состояния плотины СШГЭС с учетом данных натурных наблюдений в период наполнения водохранилища методом конечно-элементного анализа» с показаниями КИА установленной в различных секциях плотины на отметках 344-359 м, а также путем сравнения значений радиальных перемещения плотины для текущего года и года аналога в температурном отношении.

Перед началом наполнения водохранилища в 2016 г АО «Ленгидропроект» был сделан температурный прогноз, согласно которому состояние плотины с температурной точки зрения классифицировалось как благоприятное « T_{max} ». В соответствии с этим, было решено принять в качестве года-аналога в температурном отношении 2015 год.

Для оценки принятого решения рассмотрим раскрытие трещин в разуплотненной зоне на отметках 346-359 м для начального цикла наполнения 11.06.2015 и 11.06.2016 гг. Значения раскрытия трещин, полученные с ИДС EDIP, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Показания щелемеров секций 19, 33 и 45

Секция	Щелемер	Отметка	УВБ, м	
			520,56	518,53
			11,06,15	11,06,16
19	19ВК-1	350,9	0,78	0,79
33	33ВК-1	358,1	0,89	0,89

Продолжение таблицы 12

Секция	Щелемер	Отметка	УВБ, м	
			520,56	518,53
			11,06,15	11,06,16
45	45ВК-1	347	2,53	2,52

Расхождение значений раскрытия трещин в разуплотненной зоне незначительны и составляют 0,01 мм.

Рассмотрим некоторые значения ежедневных контрольных параметров плотины СШГЭС (таблица 13).

Таблица 13 – Контрольные параметры ГТС СШГЭС

Уровень верхнего бьефа, м	520.56	518.53
Дата	11.06.15	11.06.16
ПЛОТИНА		
Радиальное перемещение (мм)		
Секция 33 отметка 542 м (K1=144.0мм)	93.9	87.0
Температура бетона секц.33 (град)		
Отм. 504 м, 0.6 м от низ.границы	13.4	14.6

Расхождение значений радиальных перемещений ключевой секции на контрольные даты 2015 и 2016 годы отличаются незначительно и не превышают допустимых значений K1. Температура бетона низовой грани секции 33 практически идентична для текущего на тот момент 2016 года и рассматриваемого 2015 года – аналога в температурной отношении.

На основании показаний щелемеров представленных в таблице 12 и контрольных параметров плотины СШГЭС таблицы 13 можно сделать вывод, что решение о принятии 2015 года в качестве года-аналога с температурной точки зрения, до 11.06.2016 г являлось обоснованным и достоверным.

Для сопоставления работы плотины в текущем 2016 году с выбранным 2015 годом аналогом по температурным показателем, сравним раскрытия трещин в разуплотненной зоне на отметках 346-359 м за весь период

наполнения водохранилища с 02 апреля по 26 августа. Значения раскрытий трещин в разуплотненной зоне на отметках 346-359 м для 2015 и 2016 года, рассмотренных выше дат, были получены с ИДС EDIP и представлены в таблицах 14-15.

Таблица 14 – Раскрытие трещин (мм) в разуплотненной зоне на отметках 346-359 м с 02.04.2016 г по 28.12.2016 г

Дата	УВБ, м	Секция 19	Секция 33	Секция 45
		Щелемер 19ВК-1	Щелемер 33ВК-3	Щелемер 45ВК-1
		Отметка, м	Отметка, м	Отметка, м
		350,9	352,6	347
2.04	506,14	0,72	0,06	2,52
27.04	500,37	0,69	0,05	2,51
4.05	500,60	0,69	0,05	2,51
30.05	506,72	0,73	0,06	2,52
9.06	516,69	0,77	0,06	2,53
30.06	530,73	0,87	0,06	2,53
7.07	532,03	0,88	0,06	2,54
26.07	535	0,93	0,07	2,54
17.08	537,81	0,99	0,07	2,55
26.08	538,52	1,0	0,07	2,55
14.09	538,11	1,15	0,08	2,56
13.10	537,09	1,16	0,08	2,56
17.11	533,07	1,13	0,09	2,56
28.12	527,95	1,07	0,08	2,55

Таблица 15 – Раскрытие трещин в разуплотненной зоне на отметках 346-359 м с 02.04.2015 г по 28.11.2015 г

Дата	УВБ, м	Секция 19	Секция 33	Секция 45
		Щелемер 19ВК-1	Щелемер 33ВК-3	Щелемер 45ВК-1
		Отметка, м	Отметка, м	Отметка, м
		350,9	352,6	347
2.04	505,32	0,76	0,06	2,52
27.04	501,19	0,71	0,05	2,51
4.05	503,30	0,71	0,05	2,5
30.05	506,72	0,71	0,05	2,51

Продолжение таблицы 15

Дата	УВБ,м	Секция 19	Секция 33	Секция 45
		Щелемер 19ВК-1	Щелемер 33ВК-3	Щелемер 45ВК-1
		Отметка, м	Отметка, м	Отметка, м
		350,9	352,6	347
9.06	519,60	0,78	0,06	2,53
30.06	528,16	1,0	0,08	2,55
7.07	529,17	1,02	0,07	2,55
26.07	532,08	1,07	0,08	2,55
17.08	534,51	1,14	0,08	2,56
26.08	535,19	1,17	0,08	2,56
14.09	536,38	1,05	0,07	2,55
13.10	537,03	1,11	0,08	2,56
17.11	534,15	1,12	0,08	2,56
28.12	528,71	1,06	0,08	2,55

Сравнив значения раскрытий (таблица 14-15), полученные с щелемеров установленных в секциях 19, 33, 45 на отметках 347-352,6 м можно сделать вывод, что расхождения значений, для каждого из рассмотренных датчиков составляют диапазон от 0,01 – 0,02 мм, за исключением 19ВК-1. Расхождение значений раскрытий с щелемера 19ВК-1, который установлен в 19 секции доходит до 0,17 мм, что значительно отличается от показаний щелемеров 33ВК-3 и 45ВК-1. Это явление связано либо с нарушением правильной работы датчика, либо с изменениями работы плотины в окрестностях отметок 346-359 м 19 секции, что требует повышенного контроля.

На основании анализа таблиц 14–15 можно сделать вывод, что предварительный прогноз и последующие рекомендации по регулированию водохранилища в 2016 г по 2015 году аналогу в температурном отношении были сделаны АО «Ленгидропроект» верно.

Выполним сопоставление контрольных параметров ГТС СШГЭС на период наполнения 2015 и 2016 гг. Контрольные параметры ГТС СШГЭС на рассмотренный период представлены в таблицах 16-18.

Таблица 16 – Контрольные параметры ГТС СШГЭС на период с 02.04.16 и 09.06.16 гг

Уровень верхнего бьефа, м	506,14	500,37	500,60	506,72	516,69
Дата	02,04,16	27,04,16	04,05,16	30,05,16	09,06,16
Радиальное перемещение (мм)					
Секция 33 отметка 542 м (K1=144,0мм)	83,7	68,2	67,9	69,7	83,9
Секция 33 отметка 440 м	47,2	40,1	40,1	43,0	51,5
Секция 33 отметка 344 м	13,4	11,5	11,6	12,4	14,5
Температура бетона секц,33 (град)					
Отм, 504 м, 0,6 м от низ,границ	1,1	5,8	5,5	11,3	13,4
Отм, 504 м, 1,25 м от низ,границ	-1,2	2,4	3,1	6,3	8,2

Таблица 17 – Контрольные параметры ГТС СШГЭС на период с 30.06.16 и 26.08.16 гг

Уровень верхнего бьефа, м	530,73	532,03	535,00	537,81	538,52
Дата	30,06,16	07,07,16	26,07,16	17,08,16	26,08,16
Радиальное перемещение (мм)					
Секция 33 отметка 542 м (K1=144,0мм)	111,5	112,9	116,1	125,2	128,7
Секция 33 отметка 440 м	66,1	67,3	69,7	72,8	74,1
Секция 33 отметка 344 м	18,4	18,9	19,9	20,4	20,8
Температура бетона секц,33 (град)					
Отм, 504 м, 0,6 м от низ,границ	16,2	17,5	18,9	15,8	14,5
Отм, 504 м, 1,25 м от низ,границ	11,4	12,2	14,0	13,8	13,2

Таблица 18 – Контрольные параметры ГТС СШГЭС на период с 02.04.15 и 26.08.15 гг

Уровень верхнего бьефа, м	505,32	501,19	503,30	513,88	519,60
Дата	02,04,15	27,04,15	04,05,15	30,05,15	09,06,15
Радиальное перемещение (мм)					
Секция 33 отметка 542 м (K1=144,0мм)	82,2	68,8	73,1	84,2	91,7
Секция 33 отметка 440 м	46,0	40,8	42,5	50,4	55,4
Секция 33 отметка 344 м	12,6	11,5	11,8	14,0	15,4
Температура бетона секц,33 (град)					
Отм, 504 м, 0,6 м от низ,границ	-0,7	7,5	5,4	10,7	12,9
Отм, 504 м, 1,25 м от низ,границ	-1,6	2,5	3,3	7,3	7,9

Таблица 19 – Контрольные параметры ГТС СШГЭС на период с 30.06.15 и 26.08.15 гг

Уровень верхнего бьефа, м	528,16	529,17	532,08	534,51	535,19
Дата	30,06,15	07,07,15	26,07,15	17,08,15	26,08,15
Радиальное перемещение (мм)					
Секция 33 отметка 542 м (K1=144,0мм)	104,2	105,0	106,4	113,3	114,0
Секция 33 отметка 440 м	62,9	63,6	65,3	67,9	68,2
Секция 33 отметка 344 м	17,7	17,9	18,6	19,2	19,3
Температура бетона секц,33 (град)					
Отм, 504 м, 0,6 м от низ,границ	16,8	17,5	19,8	16,7	16,7
Отм, 504 м, 1,25 м от низ,границ	11,6	12,8	14,4	14,6	14,6

Радиальные перемещения секции 33 для 2016 года, согласно представленных выше данных, не достигли предельных значений K1, но на 26 августа приблизились к ним. Запас радиального перемещения до предельного значения для данного года составил 15,3 мм, что в два раза меньше по сравнению с 2015 годом аналогом в температурном отношении (таблица 19), 2015 года запас радиального перемещения до предельного значения в период наполнения водохранилища составил 30 мм.

На период 21.08.2016-28.08.2016 гг уровень заполнения водохранилища, согласно отчету АО «Ленгидропроект» о состоянии плотины СШГЭС, достиг запланированной на этот год отметки 538,5 м. В период с 21.08.2016 по 26.08.2016 гг, приращение температурной составляющей радиальных перемещений гребня 33 секции уменьшилась с -33,27 мм до -32,96 мм. Расчет предельных значений УВБ показал, что текущие отметки УВБ в интервале дат 25÷27.08.2016 г. превысили предельные допустимые значения.

На основании значений радиальных перемещений ключевой секции и арочных напряжений низовой грани можно сделать вывод, что в период, когда уровень водохранилища приблизился к максимальному наполнению в 2016 г наблюдается снижение как радиальных перемещений, так и арочных напряжений, следовательно, уменьшался и риск достижения рассматриваемых показателей предельных значений K1.

В рамках оперативного взаимодействия со СМГТС Саяно-Шушенской ГЭС на основании полученных негативных оценок температурного состояния плотины было предложено увеличить объем холостых сбросов с целью снижения отметки водохранилища, в результате чего выбор отметки 538.5 м в качестве максимальной сохранил свою силу.

Стоит отметить, что снижение интенсивности наполнения водохранилища носит временный характер по снижению роста радиальных перемещений и не исключает угрозы нарушения монолитности залеченных трещин. Так к 30.05.2016 было отмечено повышение расхождений радиальных перемещений ключевой секции плотины по сравнению с 2015 г. После снижения интенсивности наполнения, радиальные перемещения снизились, но к моменту наполнения водохранилища до уровня максимального наполнения (538,52 м) расхождения данных значений, как было описано выше, стали вновь весьма значительны. На основании этого, в момент ощутимых расхождений значений радиальных перемещений 33 секции, во избежание угрозы нарушения целостности восстановленной зоны, следовало сменить «теплый» 2015 год-аналог в температурном отношении на другой, схожий по данным показателям год для регулирования наполнения водохранилища. АО «Ленгидропроект» выполнил данные меры, но это было осуществлено лишь к 09.10.2016 года, когда температурные показатели плотины уменьшались, вследствие похолоданий, до значений достаточно близких к «теплому» 2007 году.

3.2 Обобщение исследований о безопасной эксплуатации напорной грани путем оперативного взаимодействия СМГТС Саяно-Шушенской ГЭС и АО «Ленгидропроект»

В результате исследования методики АО «Ленгидропроект» по «Оперативному контролю работы плотины СШГЭС в процессе наполнения водохранилища и его сработки на основе конечно-элементного анализа с учетом данных натурных наблюдений» был сделан вывод, что данная методика

является эффективной и необходимой для обеспечения сохранности восстановленной зоны на отметках 344 – 359 м, а также устранения возможности развития деструктивных процессов в плотине и основании. Данное заключение было сделано на основе положительного воздействия своевременного снижения гидростатической нагрузки на состояние отремонтированных зон плотины, продемонстрированного на примере цикла наполнения водохранилища в 2016 году.

Методика АО «Ленгидропроект» подразумевает периодический (не реже 1 раза в неделю) анализ состояния сооружения. В определенные периоды года, температура наружного воздуха может интенсивно измениться, в результате чего может возникнуть угроза целостности восстановленной зоны напорной грани. В этой связи рекомендуется в определенные периоды года, когда стремительное изменение температуры наружного воздуха может оказать негативное воздействие на безопасную эксплуатацию сооружения, необходимо более часто (ежедневно) проводить анализ сооружения, чтобы своевременно принять рассмотренные выше меры и не создать угрозу целостности напорной грани. Вместе с этим, необходимо проводить не только анализ гидростатической и температурной составляющей радиальных перемещений плотины, но и показаний КИА установленной непосредственно в восстановленной зоне, а также в зоне, подвергнутой обжатию, в результате работ по восстановлению монолитности напорной грани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования была изучена методика АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины. Вместе с этим проведен анализ эффективности и необходимости применения данной методики. Также была выявлена значимость оперативного взаимодействия АО «Ленгидропроект» и СМГТС Саяно-Шушенской ГЭС и внесены предложения по повышению эффективности рассмотренной выше методики.

Регулирование режима наполнения-сработки водохранилища СШГЭС в рамках взаимодействия СМГТС СШГЭС и АО «Ленгидропроект» носит важный характер. Это связано с сохранностью восстановленной зоны на отметках 344 – 359 м, устранение возможности развития деструктивных процессов в плотине и основании, а также, как следствие, безопасной эксплуатацией СШГЭС в целом.

Анализ эффективности рассматриваемой методики показал, что регулирование уровня наполнения водохранилища по данной методике оказывает положительное воздействие, от своевременного снижения гидростатической нагрузки, на состояние отремонтированных зон плотины.

В целях повышения эффективности методики предлагается проводить анализ сооружения более часто, не раз в неделю, а ежедневно, т.к. в определенные периоды года, стремительное изменение температуры наружного воздуха может оказать негативное воздействие на безопасную эксплуатацию сооружения, что может произойти в результате несвоевременного принятия мер по снижению интенсивности наполнения водохранилища. Помимо учащения диагностики анализа параметров рассматриваемых данной методикой, предлагается контролировать параметры показаний КИА установленной в зоне, а также непосредственной близости к «залеченным» трещинам напорной грани, в целях своевременного учета температурного фактора при выборе режима наполнения водохранилища.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Википедия — свободная энциклопедия [Электронный ресурс] : Саяно-Шушенская ГЭС. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. Брызгалов В.И. Из опыта создания и освоения Красноярской и Саяно-Шушенской гидроэлектростанций. Красноярск: Сиб. изд. дом «Суриков». 1999.
3. Н.А. Вульфович, Л.А. Гордон, Н.И. Стефаненко. Арочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС. Оценка технического состояния по данным натурных наблюдений. – СПб.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Венедеева», 2012.
4. Брызгалов В.И., Вульфович Н.А., Ефименко А.И. Состояние основания плотины Саяно-Шушенской ГЭС в зоне разуплотнения под первыми столбами // Гидротехническое строительство. 1997. № 8. С.15-21.
5. Журнал жизнь [Электронный ресурс] : Саяно-Шушенская ГЭС. История строительства. Часть 1. – Режим доступа: <https://gelio.livejournal.com/60140.htm>, 2010.
6. Саяно-Шушенская ГЭС [Электронный ресурс]: «РусГидро». – Режим доступа: <http://www.sshges.rushydro.ru/hpp/sshges/>.
7. Брызгалов, В.И. Гидроэлектростанции: учеб. пособие / В.И. Брызгалов, Л.А. Гордон - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. 541 с.
8. Брызгалов В.И., Епифанов А.П. и др. Опыт инъецирования фильтрующих трещин в напорной грани плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1998. №2. С.2-8.
9. Саяно-Шушенский гидроэнергетический комплекс на р. Енисей [Электронный ресурс]: «РусГидро». – Режим доступа: <http://www.lhp.rushydro.ru/company/objectsmap/5561.html>.
10. Дикинов М.М. Научное обоснование критериев безопасности, используемых в составе систем мониторинга гидротехнических объектов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07. – Москва, 2012. – 26 с.

11. Вульфович Н.А., Потехин Л. П. Влияние температурного состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС на режимы наполнения водохранилища // Гидротехническое строительство, 2016, №9, С. 7-16.
12. Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений / Собрание законодательства Российской Федерации. 1997.
13. Епифанов, А. П. Из опыта организации безопасной эксплуатации Саяно-Шушенской арочно-гравитационной плотины / А. П. Епифанов, Н. И. Стефаненко // Гидротехническое строительство. - 2008. - N 11. - С. 5-10.
14. Серия информационных отчетов «О состоянии плотины СШГЭС по данным натурных наблюдений и результатам расчетов» / АО «Ленгидропроект». 2015-2016

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Радиальные перемещения ключевой секции

Таблица А.1 – Сравнение радиальных перемещений на отметке 542,0 м секции 33

Дата	U _{изм} , мм			УВБ , м			U _t , мм			Δ _{гидр} , мм		Δ _t , мм		Δ ¹ _{изм}	Δ ² _{изм}
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	Δ ¹ _{гидр}	Δ ² _{гидр}	Δ ¹ _t	Δ ² _t	Δ ¹ _{расч}	Δ ² _{расч}
04,04	81,76	78,75	81,32	504,65	504,87	504,82	7,75	4,63	7,47	0,33	-0,10	-0,28	2,84	<u>0,44</u> 0,05	<u>2,57</u> 2,74
12,04	75,31	73,84	76,36	501,68	502,61	502,85	6,85	2,52	6,42	2,18	0,45	-0,43	3,90	<u>1,05</u> 1,75	<u>2,52</u> 4,35
15,04	74,06	72,29	74,61	501,16	501,74	502,16	6,39	2,30	5,49	1,86	0,78	-0,90	3,19	<u>0,55</u> 0,96	<u>2,32</u> 3,97
19,04	71,79	69,92	72,13	500,19	500,64	501,31	5,63	1,87	4,60	2,05	1,23	-1,03	2,73	<u>0,34</u> 1,02	<u>2,21</u> 3,96
22,04	70,92	67,72	70,38	500,03	500,11	500,83	4,74	1,20	3,71	1,46	1,32	-1,03	2,51	<u>-0,54</u> 0,43	<u>2,66</u> 3,83
30,04	70,77	67,35	71,30	501,77	500,21	502,41	2,16	0,37	0,69	1,19	3,76	-1,47	0,32	<u>0,53</u> -0,28	<u>3,95</u> 4,08
06,05	77,06	65,73	72,91	506,32	500,89	503,27	-0,15	-1,70	0,42	-6,01	4,43	0,57	2,12	<u>-4,15</u> -5,44	<u>7,18</u> 6,55
10,05	79,88	66,61	71,03	508,69	501,50	503,44	-1,35	-2,53	-0,09	-10,57	3,61	1,26	2,44	<u>-8,85</u> -9,31	<u>4,52</u> 6,05
17,05	86,79	67,47	70,36	512,10	502,73	505,24	-3,12	-3,90	-3,02	-14,43	4,88	0,10	0,88	<u>-16,43</u> -14,33	<u>2,89</u> 5,76
27,05	91,24	71,21	79,63	515,16	505,75	511,82	-5,09	-6,02	-7,20	-7,63	-	-2,11	-1,18	<u>-11,61</u> -9,74	<u>8,42</u> 11,62

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Углы поворота ключевой секции

Таблица Б.1 – Секция 33. Сравнение углов поворота на отметке 359,0 м

Дата	Ф _{изм} , сек			УВБ, м			φ _t , сек			Ф _{гидр} , сек		φ _t , сек		$\frac{\Phi_{1\text{ изм}}}{\Phi_{1\text{ расч}}}$	$\frac{\Phi_{2\text{ изм}}}{\Phi_{2\text{ расч}}}$
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	Δ ¹ _{гидр}	Δ ² _{гидр}	Δ ¹ _t	Δ ² _t		
08,04	32,25	32,58	32,78	503,11	503,74	503,80	-1,89	-1,26	-1,18	0,83	0,10	0,71	0,08	$\frac{0,53}{1,54}$	$\frac{0,20}{0,18}$
10,04	31,43	31,83	32,20	502,33	503,17	503,29	-1,87	-1,19	-1,16	1,15	0,15	0,71	0,03	$\frac{0,77}{1,86}$	$\frac{0,37}{0,18}$
20,04	29,11	28,68	29,29	500,10	500,47	501,14	-1,50	-1,08	-0,84	1,22	0,78	0,66	0,24	$\frac{0,18}{1,88}$	$\frac{0,61}{1,02}$
29,04	29,00	27,82	29,10	501,25	500,15	502,0	-0,30	-0,56	-0,46	0,88	2,18	-0,16	0,10	$\frac{0,10}{0,72}$	$\frac{1,28}{2,28}$
20,05	40,93	29,81	34,45	512,88	503,56	506,52	-0,57	-0,05	0,68	-8,13	3,61	1,25	0,73	$\frac{-6,48}{-6,88}$	$\frac{4,64}{4,34}$

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Радиальные перемещения ключевой секции на отметке 542,0 м

Таблица В.1 – Секция 33. Сравнение радиальных перемещений на отметке 542,0 м

Дата	U _{изм} , мм			УВБ, м			U _т , мм			Δ _{гидр} , мм		Δ _т , мм		$\frac{\Delta^1_{изм}}{\Delta^1_{расч}}$	$\frac{\Delta^2_{изм}}{\Delta^2_{расч}}$
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	Δ _{гидр} ¹	Δ _{гидр} ²	Δ _т ¹	Δ _т ²	$\frac{\Delta^1_{расч}}{\Delta^1_{расч}}$	$\frac{\Delta^2_{расч}}{\Delta^2_{расч}}$
13,05	82,59	67,61	71,05	510,12	501,93	503,85	-2,17	-3,12	-1,11	-12,82	3,68	1,06	2,01	$\frac{-11,54}{-11,76}$	$\frac{3,44}{5,69}$
17,05	86,79	67,47	70,36	512,10	502,73	505,24	-3,12	-3,90	-3,02	-14,43	4,88	0,10	0,88	$\frac{-16,43}{-14,33}$	$\frac{2,89}{5,76}$
27,05	91,24	71,21	79,63	515,16	505,75	511,82	-5,09	-6,02	-7,20	-7,63	-12,80	-2,11	-1,18	$\frac{-11,61}{-9,74}$	$\frac{8,42}{11,62}$
31,05	92,19	76,75	85,62	516,32	509,35	514,55	-6,28	-6,95	-8,04	-4,17	11,57	-1,76	-1,09	$\frac{-6,57}{-5,93}$	$\frac{8,87}{10,48}$
03,06	92,58	83,60	87,11	517,14	513,09	515,98	-7,29	-7,56	-8,95	-2,79	6,70	-1,66	-1,39	$\frac{-5,47}{-4,45}$	$\frac{3,51}{5,31}$
07,06	94,47	89,01	90,31	518,33	515,09	518,33	-8,75	-8,41	-9,97	0	5,73	-1,22	-1,56	$\frac{-4,16}{-1,22}$	$\frac{1,30}{4,17}$
10,06	95,50	89,80	92,71	519,99	517,33	520,10	-10,09	-9,06	-11,47	0,28	6,88	-1,48	-2,41	$\frac{-2,79}{-1,20}$	$\frac{2,91}{4,47}$
14,06	100,34	92,35	93,70	522,50	519,78	521,77	-11,93	-11,21	-13,33	-1,93	5,19	-1,40	-2,12	$\frac{-6,64}{-3,33}$	$\frac{1,35}{3,07}$

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Радиальные перемещения ключевой секции на отметке 440,0 м

Таблица Г.1 – Секция 33. Сравнение радиальных перемещений на отметке 440.0 м

Дата	U _{изм} , мм			УВБ, м			U _т , мм			Δ _{гидр} , мм		Δ _т , мм		$\frac{\Delta_{изм}^1}{\Delta_{расч}^1}$	$\frac{\Delta_{изм}^2}{\Delta_{расч}^2}$
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	Δ _{гидр} ¹	Δ _{гидр} ²	Δ _т ¹	Δ _т ²		
6,09	72,67	68,48	69,19	537,51	534,14	535,62	-6,79	-7,51	-7,87	-2,73	2,11	-1,08	-0,36	$\frac{-3,48}{-3,81}$	$\frac{0,71}{1,75}$
9,09	73,06	68,03	70,06	537,63	534,19	535,92	-6,85	-7,55	-7,97	-2,47	2,47	-1,12	-0,42	$\frac{-3,00}{-3,59}$	$\frac{2,03}{2,05}$
13,09	73,76	68,50	70,31	537,84	534,28	536,28	-6,90	-7,54	-7,97	-2,26	2,86	-1,07	-0,43	$\frac{-3,45}{-3,33}$	$\frac{1,81}{2,43}$
16,09	74,05	68,46	71,06	537,95	534,27	536,54	-6,87	-7,57	-8,06	-2,05	3,25	-1,19	-0,49	$\frac{-2,99}{-3,24}$	$\frac{2,60}{2,76}$
20,09	74,49	68,07	71,98	537,96	534,32	536,85	-6,84	-7,51	-8,03	-1,61	3,63	-1,19	-0,52	$\frac{-2,51}{-2,80}$	$\frac{3,91}{3,11}$
23,09	74,72	68,13	71,88	538,00	534,22	537,04	-6,82	-7,53	-7,98	-1,40	4,04	-1,16	-0,45	$\frac{-2,84}{-2,56}$	$\frac{3,75}{3,59}$
27,09	74,45	68,13	72,73	537,92	534,13	537,30	-6,80	-7,48	-7,92	-0,90	4,55	-1,12	-0,44	$\frac{-1,72}{-2,03}$	$\frac{4,60}{4,10}$
30,09	74,41	68,20	73,30	537,87	534,09	537,40	-6,76	-7,50	-7,61	-0,68	4,75	-0,85	-0,11	$\frac{-1,11}{-1,53}$	$\frac{5,10}{4,64}$

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО– ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

ОТЗЫВ

научного руководителя Александрова Юрия Николаевича, к.т.н., ведущего
инженера СМГТС Филиала ПАО «РусГидро» - Саяно-Шушенская ГЭС
имени П.С. Непорожного»

(Ф.И.О. уч.степень, должность, место работы)

Применение методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима
наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом
температурного состояния плотины

о магистерской диссертации магистранта

Злобина Матвея Сергеевича

(Ф.И.О)

Магистерская диссертация Злобина Матвея Сергеевича выполнена в полном объеме в соответствии с положением Сибирского федерального университета о магистерской диссертации. Диссертация изложена на 70 страницах, пояснительная записка изложена четко и последовательно. Каждая глава представляет собой самостоятельную, достаточную по объему и логически завершенную часть магистерской диссертации. Тема диссертации является актуальной, так как связана с оптимизацией режимов работы водохранилища, целью которой является обеспечение сохранности тех зон плотины Саяно-Шушенской ГЭС, где в 1996 г. были проведены ремонтные работы по ликвидации повышенной фильтрации через бетон. Оптимизация в данном случае достигается путем учета влияния температурного фактора на напряженно-деформированное состояние плотины и гармонизации гидростатической нагрузки на плотину и температурного воздействия на нее.

Практическая значимость научной работы заключается в конкретных рекомендациях по улучшению практики применения оперативного контроля в соответствии с рассматриваемой в диссертации методикой АО «Ленгидропроект» по обеспечению сохранности напорной грани плотины.

В работе был выполнен анализ методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской

ГЭС, предложены рекомендации по улучшению организации оперативного контроля.

К недостаткам диссертации следует отнести то, что при наличии очень большого объема данных натурных наблюдений на ГЭС рассмотрению была подвергнута малая часть их.

За время учебы в магистратуре Злобиным М.С. было опубликовано три научных статьи, одна из которых соответствует теме работы.

Диссертация выполнена студентом самостоятельно. Все сделанные дипломным руководителем замечания учтены, и своевременно внесены необходимые исправления.

Магистерская диссертация на тему «Применение методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины» заслуживает оценки «хорошо», а Злобину М.С. может быть присвоена научная степень «магистр».

Дата 30.05.2018 г.



(подпись)

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО– ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И.Ю.Погоняйченко

подпись инициалы, фамилия

« 12 » июня 2018г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Студенту Злобину Матвею Сергеевичу.

Группа ГЭ16-01М. Направление (специальность) 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника.

Тема выпускной квалификационной работы «Применение методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины».

Утверждена приказом по университету № 32/18 от 06 Марта 2018

Руководитель ВКР Ю.Н. Александров, ведущий инженер СМГТС, к.т.н.,
Филиал ПАО «РусГидро» - Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С.
Непорожнего.

Исходные данные для ВКР непредусмотрены.

Перечень разделов ВКР: 1. Проблемы с напорной гранью плотины СШГЭС, возникшие во время строительства и эксплуатации; 2. Контроль работы плотины СШГЭС с учетом температурного фактора в процессе наполнения-сработки водохранилища; 3. Характеристика работы плотины в результате изменения УВБ и температурных условий в процессе наполнения-сработки водохранилища в 2016 г.

Перечень графического материала отсутствует.

Руководитель ВКР



подпись, дата

Ю.Н. Александров

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению



подпись, дата

М.С. Злобин

инициалы, фамилия

« 16 » сентября 2016 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО– ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Применение методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима
наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом
температурного состояния плотины

магистранта

Злобина Матвея Сергеевича

(Ф.И.О)

Рецензент д.т.н. Гордон Л.А.,

Вед.н.с, АО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева

(Ф.И.О, уч.степень, должность, место работы)

В магистерской диссертации Злобин М.С. исследует методику АО «Ленгидропроект» для регулирования режима наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом температурного состояния плотины, выявляет ее недостатки и преимущества.

Автором изучена и проанализирована методика Ленгидропроекта по сохранению монолитности напорной грани плотины Саяно-Шушенской ГЭС на отметках 344-359м при сезонном изменении уровня верхнего бьефа. В диссертации выполнено сопоставление рекомендаций по выбору максимального уровня наполнения водохранилища, обеспечивающего монолитность напорной грани, с параметрами показаний контрольно-измерительной аппаратуры, установленной в непосредственной близости к «залеченным» трещинам напорной грани.

Магистерская работа Злобина М.С. интересна, технически грамотна, изложение диссертации последовательное и исчерпывающее.

В качестве недостатка можно отнести отсутствие более глубокого анализа сравнения показаний КИА в зоне восстановления монолитности напорной грани, в целях выявления эффективности рассматриваемой методики.

В целом магистерскую диссертацию можно оценить на «отлично», а ее автор достоин звания «магистр».

Дата 01.06.2018 г.

Исходя из
личную подпись Л.А. Гордон
подтверждаю: Начальник
дела управления персоналом



Л.А. Гордон
(подпись)


Е.Ю. Вишневская

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И.Ю. Погоняиченко

подпись инициалы, фамилия

« 13 » сентября 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Применение методики АО «Ленгидропроект» для регулирования режима
наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС с учетом
температурного состояния плотины

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Ведущий инженер СМТС
Филиала ПАО «РусГидро» -
Саяно-Шушенская ГЭС
имени П.С. Вепროва

И.Т.В.

должность, ученая степень

Ю.Н. Александров

инициалы, фамилия

М.С. Злобин

инициалы, фамилия

Вед. н.с. АО «ВНИИ им.
Б.Е. Вешурского» д.т.н.

должность, ученая степень

Л.А. Гордон

инициалы, фамилия


А.А. Чебанова

инициалы, фамилия

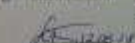
Руководитель


12.08.18
подпись, дата

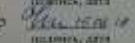
Выпускник


12.08.18
подпись, дата

Рецензент


12.08.18
подпись, дата

Нормоконтролер


12.08.18
подпись, дата