

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Саяно-Шушенский филиал
институт

Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и
электрических сетей
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ М. В. Кочетков
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПЛОТИНЫ
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ
БЕЗОПАСНОСТИ**

13.04.02. Электроэнергетика и электротехника
13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель	_____	<u>Директор СШФ СФУ, к.т.н.</u> должность, ученая степень	<u>Е.Ю. Затеева</u> инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.В. Козлова</u> инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>Инженер СМОиГТС Филиал ПАО «РусГидро»-«Зейская ГЭС»</u> должность	<u>А.А.Россихин</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2019

АННОТАЦИЯ

Гидротехнические сооружения представляют собой сложные инженерные конструкции, которые оказывают значительное влияние на формирование хозяйственного и культурного облика целых районов, преобразуют их природные условия. Напорные ГТС являются объектами повышенной опасности, аварии которых могут создать чрезвычайные ситуации, привести к значительным ущербам, а также к человеческим жертвам. Число и размеры гидротехнических сооружений растут, происходит развитие хозяйственного освоения районов, находящихся в зоне влияния крупных гидроузлов. Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что проблема обеспечения безопасности гидротехнических сооружений остается актуальной в России и в зарубежных странах. Чрезвычайную опасность представляют аварии и разрушения больших плотин и водохранилищ, так как с увеличением высоты плотин и объемов водохранилищ повышается степень риска, которому подвергаются население, хозяйственные и природные объекты в нижнем бьефе гидроузлов.

В данной работе предложено использовать метод декомпозиции объекта для контроля за состоянием ГТС. Разбиение на разные уровни иерархии позволит определять является выявленный дефект локальным и достаточно провести плановый ремонт или же он относится к более высоким уровням иерархии, что требует обследования всего сооружения. Далее построены прогнозные модели, по которым можно определять допустимые значения контролируемых параметров. На основе регрессионных данных также назначаются критерии безопасности ГТС. В результате выполненной структуризации объекта и построенных прогнозных моделей сделаны выводы о работе сооружения и даны рекомендации по улучшению контроля за измеряемыми параметрами.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, диагностика, мониторинг, критерии безопасности, прогнозные модели, декомпозиция.

АВТОРЕФЕРАТ

Тема магистерской диссертации: «Диагностика состояния плотины Зейской ГЭС. Разработка критериев безопасности».

Актуальность: гидротехнические сооружения имеют высокий уровень ответственности. Аварии на них могут сопровождаться большими ущербами экономического, социального и экологического характера. Очевидно, что вероятность аварий и разрушений плотин не может быть сведена к нулю. Поэтому при проектировании, строительстве и эксплуатации плотин задачей является сведение риска аварии к минимуму. Для этого нужно применять современные методы анализа поступающей информации о возможных причинах снижения уровня безопасности ГЭС.

Цель работы: провести диагностику состояния плотины Зейской ГЭС за выбранный интервал времени. Разработать критерии безопасности.

Основные задачи:

- рассмотреть случаи аварий и инцидентов на гидротехнических сооружениях, в том числе аналогах плотины Зейской ГЭС;
- изучить состав контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), установленной на гидроузле;
- выполнить структуризацию гидротехнического сооружения Зейской ГЭС;
- собрать материалы натурных наблюдений различных контролируемых параметров;
- построить регрессионные модели контролируемых параметров.

Объект исследования: Зейская гидроэлектростанция.

Структура и объем диссертации: работа состоит из введения, шести глав, заключения, приложений и списка использованных источников. Материал изложен на 59 страницах, содержит 26 рисунков и 2 таблицы (без учета приложений).

Содержание работы:

В первой главе рассмотрена актуальность диагностики состояния гидротехнических сооружений. Приведены примеры крупных аварий плотин.

Во второй главе рассмотрены основные сведения, касающиеся безопасности ГТС. Указан перечень задач направленных на обеспечение безопасности сооружения, а также приведены понятия текущих и капитальных ремонтов сооружения, критериев безопасности, аварии и инцидента ГТС.

В третьей главе представлена основная информация по гидроузлу Зейской ГЭС.

В четвертой главе рассмотрена контрольно-измерительная аппаратура, установленная на Зейской ГЭС, ее состав и количество. Дана информация о количественных и качественных критериях безопасности.

В пятой главе проведена декомпозиция исследуемого объекта. Каждому уровню иерархии присвоены контролируемые показатели. Проанализированы несколько показателей, относящихся к геодезическим, фильтрационным наблюдениям и наблюдениям по дистанционной КИА.

В шестой главе построены прогнозные математические модели для изучения процесса деформаций высоконапорной плотины Зейской ГЭС и ее скального основания с различными входными воздействиями

В седьмой главе рассмотрена возможность назначения критериев безопасности для диагностических показателей Зейской ГЭС, на основе построенных прогнозных моделей. Даны рекомендации по улучшению диагностики состояния плотины.

В заключении сформулированы основные результаты выполненной магистерской диссертации.

Дальнейшее развитие работы: Работа может послужить основой к применению предложенной структуризации объекта для диагностирования сооружения. И к дальнейшему созданию программного комплекса для автоматизации диагностики ГТС предложенным методом.

Практическое применение: результаты работы могут применяться для прогноза поведения тех или иных параметров, в зависимости от внешних воздействий и для назначения критериальных значений диагностических показателей.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Примеры аварий гидротехнических сооружений в мире	8
1.1 Крупнейшие аварии на ГТС.....	8
1.2 Примеры аварий на объектах-аналогах контрфорсной плотины Зейской ГЭС	9
2 Основные сведения об обеспечении безопасности на ГТС	11
2.1 Задачи, направленные на обеспечение безопасности гидротехнических сооружений	11
2.2 Ремонтные работы на ГТС	12
2.3 Критерии безопасности и эксплуатационные состояния гидротехнических сооружений	13
2.4 Авария и инцидент.....	15
3 Основные характеристики ГТС Зейской ГЭС.....	18
4 Контрольно-измерительная аппаратура	20
4.1 Общие сведения о контрольно-измерительной аппаратуре	20
4.2 Количественные диагностические показатели Зейской ГЭС.....	21
4.3 Качественные диагностические показатели состояния ГТС.....	23
4.4 Прочность и сейсмостойкость плотины	25
4.4 Контрольно-измерительная аппаратура на Зейской ГЭС.....	27
5 Декомпозиция системы ГТС	37
6 Построение регрессионных моделей	50
7 Разработка критериев безопасности.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	63
Приложение А Расположение КИА в секции 17 (водосливная часть).....	65
Приложение Б Таблицы диагностических показателей состояния ГТС и их критериальных значений.....	67
Приложение В Послойное сжатие основания	78
Приложение Г Измеритель горизонтальных смещений (ИГС).....	79
Приложение Д Наблюдения по прямым отвесам (ОП).....	80
Приложение Е Наблюдения по щелемерам (ЩНТУ).....	84
Приложение Ж Наблюдения по ДКИА.....	88

ВВЕДЕНИЕ

Гидротехнические сооружения представляют собой сложные инженерные конструкции. Число и размер гидротехнических сооружений постоянно растут, следовательно, своевременное выявление возможных отклонений от нормального состояния у гидротехнических сооружений приобретает особую актуальность, поскольку аварии связаны с крупными материальными потерями и гибелью людей, а крупнейшие из аварий могут носить характер национальных бедствий. Согласно данным Российского регистра гидротехнических сооружений (РРТС), всего в России более десяти тысяч зарегистрированных гидротехнических сооружений. Из них только 44% имеют нормальный уровень безопасности, остальные 56% соответствуют пониженному, неудовлетворительному или опасному уровню безопасности [4].

В работе рассматривается диагностика состояния плотины Зейской ГЭС. Для анализа состояния сооружения предлагается метод декомпозиции объекта. Метод предполагает разбиение объекта исследования на несколько иерархических уровней. При этом каждому уровню соответствуют свои показатели качества. Это позволит оценить, насколько опасен выявленный дефект. Обязательным условием диагностического контроля плотин является разработка прогнозных математических моделей в соответствии с принятой «методикой определения критериев безопасности гидротехнических сооружений» [5] и рекомендациями федерального закона. Модели позволяют анализировать степень влияния различных факторов на изменение контролируемых параметров и назначать критерии безопасности сооружений. В данной работе приведены примеры статистических прогнозных моделей. Они получены на основе данных многолетних наблюдений за уровнями воды в пьезометрах, раскрытием температурно-осадочных швов, наклонами секций вдоль потока.

1 Примеры аварий гидротехнических сооружений в мире

1.1 Крупнейшие аварии на ГТС

История гидротехники знает очень много примеров разрушения плотин. Крупнейшими авариями, которые повлекли за собой множество жизней, считаются прорывы плотин Сент-Френсис, Вайонт, Мальпасе и Баньцяо. Происходило это в разных странах и в разные годы. Причиной разрушения дамбы Сент-Френсис стало то, что она стояла на древнем неактивном разломе, который в 1928 году пришел в движение, вследствие этого в плотине появились трещины, которые привели ее к разрушению, погибло более 600 человек. В 1963 году произошел перелив воды через плотину Вайонт. Допустили это проектировщики, которые игнорировали геологическую нестабильность горы Ток, 1450 человек стали жертвами. В 1959 г. из-за сдвига скального опорного массива была разрушена арочная плотина Мальпасе, погибло 421 человек [2].

Конечно, сейчас гидротехническое строительство уже на другом уровне и безопасность сооружений обеспечивается намного лучше. Но все же аварии происходят и в наше время.

В 1994 году из-за сильных проливных дождей произошел прорыв плотины Тирлянского водохранилища, в результате затоплено четыре населенных пункта, погибло 29 человек и около 800 остались без крова. Разрушению были подвержены дамбы в Кемеровской области на реке Мрас-Су (2005 год), в Белогорском районе (Крым, 2006 год), в Венгрии в 2010 году произошла утечка 700 тыс. кубометров токсичных отходов. Так же в 2017 году произошла авария на самой высокой плотине США. Плотина Оровилл в Калифорнии имеет высоту 230 метров. Из-за сильных дождей началось разрушение сначала основного, а затем вспомогательного водосбросов, эвакуировано 188 тыс. человек. Это лишь малая часть аварий, которые случались с начала девяностых годов. От таких катастроф страдают сотни тысяч жителей, которые остаются без жилья, в некоторых случаях имеются жертвы, а материальный ущерб составляет сотни миллиардов рублей [4].

1.2 Примеры аварий на объектах-аналогах контрфорсной плотины Зейской ГЭС

Гидроузел Синьфынцзян (Китай). Контрфорсная плотина высотой 105,0 м. Гидроузел построен в районе, который до начала строительства классифицировался как малосейсмичная (шестибалльная) область. Но после начала наполнения водохранилища в 1959 г. начали регистрироваться землетрясения. Череда землетрясений продолжалась в течение следующих 6 лет при весьма высоком уровне сейсмической активности, так что к 1972 г. было отмечено более 250 тыс. толчков с магнитудой более 0,2. В целях повышения сейсмостойкости плотины было принято решение об усилении сооружения, которое заключалось в устройстве дополнительных перекрытий пролетов между контрфорсами, а также в бетонировании межконтрфорсных полостей до отметки НБ (примерно на четверть высоты плотины). 19 марта 1962 г., произошел главный толчок интенсивностью 8 баллов ($M = 6,1$). Землетрясение привело к образованию горизонтальных трещин протяженностью до 82,0 м, зафиксированных на верховой и низовой гранях плотины, и к локальным разрушениям в верхней части сооружения. Ремонтные работы и завершение второго этапа усиления плотины позволили вновь ввести ее в нормальную эксплуатацию. Случай возникновения землетрясений под влиянием крупных водохранилищ изучен китайскими сейсмологами и строителями.

Гидроузел Шах-Бану-Фарах (Иран). Контрфорсная плотина высотой 106,0 м. В июле 1990 г. произошло катастрофическое землетрясение интенсивностью 9 баллов ($M=7,6$). В результате землетрясения погибли 40 тыс. человек и более 100 тыс. построек были разрушены или сильно повреждены. Землетрясение вызвало образование горизонтальных трещин в верхней части контрфорсов, повреждения парапета на гребне и деформации в береговых примыканиях. В целях предотвращения катастрофы водохранилище было срочно сработано. Ремонтные мероприятия включали цементацию основания, нагнетание

резиноэпоксидных растворов в трещины, усиление подвергшихся трещинообразованию секций предварительно напряженными анкерами.

Гидроузел Ринкон дель Бонете (Уругвай). Контрфорсная плотина высотой 40,8 м. В апреле 1959 г. в течение четырех недель выпало 450 мм осадков, что дало объем паводка 17 км³ за 10 дней и создало приток воды в водохранилище 17 131 м³/с (что соответствует повторяемости 1 раз в 500 000 лет). Паводок вызвал подъем уровня водохранилища на 4,5 м выше форсированного, перелив через плотину, затопление здания ГЭС. При переливе через плотину базальты и песчаники основания плотины были размывы, однако разрушения плотины удалось избежать [3].

Согласно данным Российского регистра гидротехнических сооружений (РРГТС), всего в России более десяти тысяч зарегистрированных гидротехнических сооружений. Из них только 44% имеют нормальный уровень безопасности, остальные 56% соответствуют пониженному, неудовлетворительному или опасному уровню безопасности.

2 Основные сведения об обеспечении безопасности на ГТС

2.1 Задачи, направленные на обеспечение безопасности гидротехнических сооружений

Основной задачей эксплуатации ГТС является обеспечение их безопасности, работоспособного состояния путем соблюдения норм безопасности, требований охраны окружающей среды и создания условий для бесперебойной и экономичной работы основного технологического оборудования гидроэлектростанции.

К числу задач, решаемых в рамках системы управления безопасностью гидротехнических сооружений, следует отнести:

- проектирование и строительство гидротехнических сооружений при гарантированном обеспечении их качества по показателям прочности, устойчивости, эксплуатационной надежности и оснащенности техническими средствами контроля (мониторинга) их состояния на основе действующих норм, правил и стандартов;
- строгое соблюдение режимов и условий нормальной эксплуатации сооружений, регламентированных проектом, нормами и правилами, а также законодательными актами;
- проведение на гидротехнических сооружениях регулярных контрольных натурных наблюдений диагностических показателей;
- оценка технического состояния сооружений по каждому циклу наблюдений;
- комплексный анализ работы и технического состояния гидротехнических сооружений ГЭС по результатам годовых (многолетних) циклов наблюдений;
- выявление дефектов, повреждений, отказов и предаварийных ситуаций в работе сооружений;
- разработка и своевременная реализация технических решений по ремонтам и реконструкции гидротехнических сооружений для обеспечения их надежности [3].

2.2 Ремонтные работы на ГТС

Проведение ремонтных работ на ГТС должно осуществляться в соответствии с перспективными (многолетними), ежегодными и месячными планами работ.

Планы работ составляются на основании результатов:

- систематических осмотров ГТС, в том числе после прохождения паводков;
- внеочередных осмотров после стихийных бедствий или аварий (отказов);
- систематического контроля за состоянием сооружений, включающего в себя инструментальные натурные наблюдения, периодические и специальные обследования и испытания;
- предписаний органов государственного надзора.

Выполняемые ремонты делятся на текущие и капитальные.

К капитальным ремонтам относятся работы, в процессе которых производится восстановление (замена) конструкций или отдельных элементов гидротехнических сооружений, повреждения которых снижают надежность и безопасность их эксплуатации или ограничивают их эксплуатационные возможности.

Текущие ремонты ГТС предусматривают выполнение работ по предохранению конструктивных элементов ГТС от износа путем своевременного устранения повреждений.

Выполнению капитального ремонта ГТС должно предшествовать составление проекта ремонта, обосновывающего принятое решение, принятый способ организации ремонтных работ, намеченные сроки ремонта, затраты. Проекты капитальных ремонтов должны составляться независимо от способа ремонта. К составлению проекта капитального ремонта наиболее ответственных элементов ГТС (дренажных и водоупорных элементов; поверхностей, подверженных воздействию высокоскоростных потоков; гасителей энергии

потока в НБ и т.п.), а также работ по укреплению основания и береговых примыканий, должны привлекаться специализированные организации.

Приемку гидротехнических сооружений после капитального ремонта производит комиссия, назначенная в установленном порядке. Все работы, выполненные при капитальном ремонте гидротехнических сооружений, принимаются по акту.

2.3 Критерии безопасности и эксплуатационные состояния гидротехнических сооружений

Принципы безопасности и надежности соблюдаются на всех этапах производственного цикла ГЭС: при проектировании, строительстве и эксплуатации. На предприятии постоянно контролируются состояние ГТС. Для поддержания ГТС в исправном эксплуатационном состоянии производятся геодезические работы, физико-химический анализ воды, контроль фильтрации через сооружение и в обход плотины, проводятся визуальные и инструментальные наблюдения за состоянием зданий и сооружений [1]. Мониторинг состояния сооружений является необходимостью и неотъемлемой частью системы обеспечения безопасности. Каждый объект уникален и требует создания своей системы мониторинга, с учетом характеристик и сложности объекта, количества определяемых параметров и необходимой точности.

Системы наблюдений включают сеть контрольно-измерительной аппаратуры, правила диагностирования ГТС, компьютерное обеспечение оперативности контроля за состоянием ГТС. Сеть КИА ориентирована в основном на измерение диагностических показателей, для которых разрабатываются и уточняются критерии безопасности гидротехнического сооружения и которые призваны обеспечивать надежную оценку состояния ГТС. Анализ остальных контролируемых показателей производится при обнаружении отклонений от нормальной работы ГТС, зафиксированных при помощи диагностических показателей [1].

Критерии безопасности гидротехнических сооружений – это предельные значения количественных и качественных показателей состояния гидротехнического сооружения и условий его эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии гидротехнического сооружения и утвержденные в установленном порядке федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственный надзор за безопасностью гидротехнических сооружений [1].

K1 – первый (предупреждающий) уровень значений диагностических показателей, при достижении которого устойчивость, механическая и фильтрационная прочность ГТС и его основания, а также пропускная способность водосбросных и водопропускных сооружений еще соответствуют условиям нормальной эксплуатации.

В условиях нормальной эксплуатации выполняются все основные требования нормативных документов и правил технической эксплуатации в течение длительного времени, сопоставимого со сроком службы сооружения.

K2 – второй (предельный) уровень значений диагностических показателей, при превышении которых эксплуатация ГТС в проектных режимах недопустима без оперативного проведения мероприятий по восстановлению требуемого уровня безопасности и без специального разрешения органа надзора. При превышении K2 гидроагрегаты не останавливаются, водохранилище сбрасывают до УМО. Эксплуатация ведётся по предписаниям Ростехнадзора, в которых указаны мероприятия по нейтрализации развивающихся процессов повреждения ГТС и кратчайшие сроки их выполнения.

Проектные режимы определяют, прежде всего, сочетания (основное и особое) воздействий и нагрузок, предусмотренные проектом. При превышении измеренными значениями диагностических показателей состояния ГТС их критериальных значений K2 недопустима эксплуатация при любом из предусмотренных проектом сочетаний воздействий.

Величины K1 и K2 должны контролироваться согласно условиям эксплуатации ГТС и действующими нагрузками при этих условиях.

Для крупных ГТС, имеющих несколько сотен измерительных устройств и пунктов наблюдений, доля диагностических показателей составляет обычно не более 10–20% от общего числа контролируемых показателей. Диагностические показатели назначаются в наиболее ответственных зонах ГТС и их перечень может изменяться в процессе эксплуатации ГТС.

Существует три группы возможных состояний ГТС (эксплуатационные состояния):

- нормальное (работоспособное);
- потенциально опасное (частично работоспособное);
- предаварийное (неработоспособное).

Безопасность ГТС считается полностью обеспеченной, если эксплуатационное состояние ГТС оценивается как «нормальное».

Если наступило «потенциально опасное состояние», то проводится достоверность результатов измерений и вычислений, а также обоснованность принятого значения K1. При необходимости создается экспертная комиссия с привлечением проектной и научно-исследовательской организаций для уточнения оценки состояния ГТС и уровня его безопасности.

В случае наступления «предаварийного состояния» эксплуатирующая организация обязана известить об этом орган надзора и сразу приступить к проведению мероприятий по восстановлению требуемого уровня безопасности, иначе должны быть введены ограничения на режим эксплуатации ГТС.

2.4 Авария и инцидент

Если на сооружении произошла авария или инцидент, то назначается Комиссия по расследованию аварии.

Под аварией ГТС понимается ситуация, при которой нарушается устойчивость, механическая или фильтрационная прочность ГТС и его

основания, а также не обеспечивается пропускная способность водосбросных и водопропускных сооружений [5].

Инцидентом называется отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте или ГТС, отклонение от установленного режима технологического процесса [5].

Далее представлен состав Комиссии по расследованию аварии на примере ПАО «РусГидро». В состав Постоянно действующей комиссии (ПДК) по расследованию причин аварий и инцидентов ПАО «РусГидро» входят:

1. Председатель ПДКР – главный инженер ПАО «РусГидро»;
2. Заместитель председателя ПДКР – директор Департамента производственной безопасности и охраны труда;
3. Департамент эксплуатации;
4. Департамент производственной безопасности и охраны труда;
5. Департаменте по работе на оптовом рынке электроэнергии и мощности и анализа рынков.

Связующее звено между ПДКР ПАО «РусГидро» и ПДКР Филиала – директор Филиала.

В состав ПДК по расследованию причин аварий и инцидентов Филиала входят:

1. Главный инженер,
2. Служба охраны труда и производственного контроля (СОТиПК)
3. Технические руководители и специалисты подразделений Филиала
4. Ответственные за исправное состояние оборудования

Представителями от внешних организаций являются:

1. Ростехнадзор
2. Минэнерго России и его ситуационно аналитический центр (САЦ)
3. МЧС России
4. Росприроднадзор
5. Системный оператор ЕЭС и его САЦ

Авария на ГТС расследуется 30 календарных дней, продление срока возможно на 15 дней. Расследование ведёт комиссия Ростехнадзора.

Инциденты на ГТС расследуется 10 дней, с продлением на 10 дней. Расследование ведёт комиссия Общества или Филиала.

По результатам расследования комиссией оформляется акт о расследовании причин аварии или инцидента. Акт подписывается всеми членами комиссии. К акту о расследовании причин аварии прилагаются все материалы расследования, полученные в процессе работы комиссии. Хранится акт не менее 3 лет со дня утверждения комиссией [4].

3 Основные характеристики ГЭС Зейской ГЭС

В состав гидроузла входят бетонная плотина, стационарный узел и вспомогательные эксплуатационные сооружения (право- и левобережная подпорная и раздельная стенка). Класс капитальности основных сооружений – I, вспомогательных: подпорных стенок – III, раздельной стенки в пределах секций 1-10 – II, в пределах секций 11-15 – III.

В зависимости от эксплуатационных функций плотина делится на:

- глухую (правобережную и левобережную части) - секции 1а-9 и 28-43
- водосливную — секции 10-21
- стационарную – секции 22-27.

Секции 1а-4 и 39-43 выполнены массивными, остальные секции массивно-контрфорсные. Все секции построены на базе единого треугольного профиля с вершиной на уровне 321.0 м. Верховая грань имеет уклон 1:0.15, низовая – 1:0,8. С верховой стороны контрфорсы имеют массивные оголовки, с низовой стороны полости между контрфорсами перекрыты сборно-монолитными плитами, отрезанными от контрфорсов температурными швами.

Контрфорс разрезан вертикальными швами через 12,5 м, ширина швов – 1,5 м. Ширина типовой секции 15,0 м (7,0 м - контрфорс, 8,0 м – полость). Ширина секции стационарной части 24,0 м (два контрфорса по 5 м и полости между ними по 7 м). Примыкание стационарной части плотины с приплотинным зданием ГЭС выполнено температурно-осадочным швом [3].

На рисунке 1 представлена 3D модель гидроузла Зейской ГЭС:

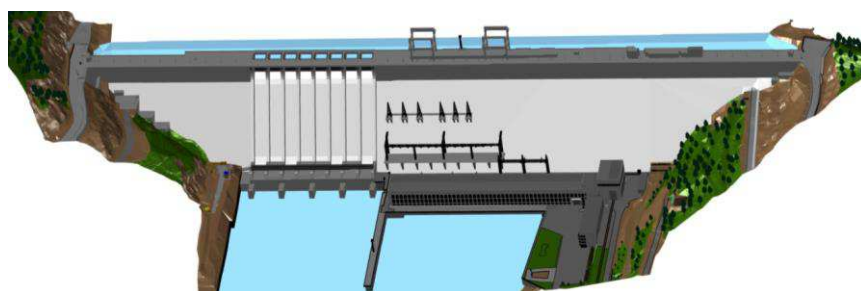


Рисунок 1 – 3D модель плотины гидроузла Зейской ГЭС

Основные параметры бетонной плотины:

- Класс капитальности — 1;
- Тип плотины — массивно-контрфорсная;
- Расчетный напор на плотину – 78,5 м
- Максимальная высота — 115 м;
- Длина по гребню — 714,2 м;
- Количество секций — 44 (1а - 43);
- Ширина по гребню — 18,6 – 29,46 м;
- Отметка гребня плотины 323,0 м;
- Отметка НПУ 315,0 м;
- Отметка УМО 299,0 м;
- Превышение гребня над НПУ — 8,0 м;
- Ширина по подошве макс. — 108,53 м.

4 Контрольно-измерительная аппаратура

4.1 Общие сведения о контрольно-измерительной аппаратуре

В целях изучения основных параметров работы, оценки состояния и эксплуатационной надежности на каждой эксплуатируемой бетонной плотине должны проводиться натурные наблюдения. Состав и объем наблюдений определяются указаниями проекта, нормативными документами в зависимости от класса сооружения, геолого-структурных особенностей основания, экологической ситуации и т.д [6].

Установленная на ГТС контрольно-измерительная аппаратура (КИА) измеряет текущие значения ряда показателей (перемещений, деформаций, напряжений, температур, расходов фильтрации, пьезометрических напоров и т.д.). По измеренным показателям вычисляются температуры и пьезометрические напоры, интенсивность изменения фильтрационных расходов, величина противодействия, напряжения и т.п [5]. Весь объем наблюдений за ГТС подразделяется на четыре направления: контрольные наблюдения за перемещениями; наблюдения за фильтрацией; наблюдения за напряженно-деформированным состоянием плотины; инженерно-сейсмометрический контроль [3]. Общее количество контролируемых параметров Зейской ГЭС равно 2201. Из них 237 штук относятся к диагностически ценным, включенным в Декларацию безопасности, что составляет почти 11% от общего числа контролируемых показателей. Для этих параметров разработаны критерии безопасности (K1 и K2) [3].

При определении эксплуатационного состояния ГТС контролируются количественные и качественные показатели состояния. Ниже указан перечень диагностических показателей, включенных в Декларацию безопасности Зейской ГЭС.

4.2 Количественные диагностические показатели Зейской ГЭС

К количественным диагностическим (измеряемым с помощью технических средств и вычисляемым на основе измерений) показателям Зейской ГЭС относятся:

- Диагностические показатели напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «бетонная плотина – основание»:

1. Горизонтальные (вдоль потока) перемещения (мм) контрольных точек секции №17 на отм. 278,00 и 320,00 м относительно отм. 232,00 м, вычисляемые по показаниям прямых отвесов;

2. Горизонтальные (вдоль потока) перемещения (мм) контрольных точек секций плотины: № 25 (на отм. 269,00 и 299,00 м) и №32 (на отм. 278,00 и 315,00 м) относительно якорей обратных отвесов, вычисляемые по показаниям прямых (ОП) и обратных (СГС) отвесов;

3. Перемещения (мм) соседних секций плотины друг относительно друга (на одной отметке), контролируемые по показаниям трехосных щелемеров с помощью интегральной характеристики $\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2}$, вычисляемой по показаниям щелемеров, расположенных в межсекционных швах плотины в галереях 4а и 8, а также в коридоре на отм. 315,25 м.

4. Перемещения (мм) соседних секций плотины друг относительно друга (на разных отметках), контролируемые по показаниям трехосных щелемеров с помощью комбинирования интегральных характеристик $\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2}$, вычисляемых по показаниям щелемеров, расположенных в одних и тех же межсекционных швах на различных отметках.

5. Изменение высотного положения контрольных геодезических знаков (марок), установленных на отдельной стенке в нижнем бьефе.

Диагностические показатели фильтрационного состояния основания и береговых примыканий, а также устойчивости плотины против сдвига:

1. Суммарные дренажные расходы в галерее плотины №2, измеряемые отдельно по секциям (10-15), (15-17), (20-25), (25-27) и (27-32) – показатели стабильности режима фильтрации и исправности дренажа;
2. Пьезометрические уровни в контактных пьезометрах в основании плотины - показатель, используемый для контроля устойчивости секций плотины против сдвига;
3. Пьезометрические уровни в глубинных пьезометрах в основании плотины - показатель, используемый для контроля целостности цементационной завесы;
4. Пьезометрические уровни в пьезометрах обходной фильтрации, назначенные по условию заглубления фильтрационного потока под дневную поверхность грунта.

Диагностические показатели состояния отдельной стенки в нижнем бьефе: приращение разности высотных отметок марок по разные стороны межсекционных швов отдельной стенки.

Обобщая перечисленные выше показатели, общее их количество 227. Из них:

1. 6 величин перемещений плотины Зейской ГЭС, измеряемых с помощью отвесов (контроль общих перемещений плотины);
2. 127 величин раскрытий межсекционных швов плотины Зейской ГЭС, измеряемых с помощью щелемеров (контроль монолитности плотины);
3. 5 величин суммарных фильтрационных расходов по различным участкам дренажной галереи плотины № 2 (контроль водонепроницаемости тела плотины, противофильтрационных свойств цементационной завесы и скального основания плотины);

4. 60 величин пьезометрического давления в основании плотины (контроль противofильтрационных свойств цементационной завесы и скального основания плотины);

5. 21 величина пьезометрического давления в берегах плотины (контроль противofильтрационных свойств цементационной завесы и берегов плотины в нижнем бьефе гидроузла);

6. 8 величин приращений разности высотных отметок марок по разные стороны секционных швов устоя [3].

4.3 Качественные диагностические показатели состояния ГТС

В состав качественных диагностических показателей входят:

1. Состояние русла в нижнем бьефе гидроузла. (Нормальное состояние: Деформации дна русла соответствуют проекту и модельным исследованиям).

2. Состояние береговых примыканий. (Нормальное состояние: Отсутствие появлений новых очагов фильтрации в ходе эксплуатации ГТС, а также новых наледей, образующиеся в зимнее время в новых местах выхода фильтрационных вод. Отсутствие просадок, оползневых явлений и размывов грунта в береговых примыканиях ГТС).

3. Состояние низовой грани в зоне береговых примыканий плотины. (Нормальное состояние: Отсутствие появлений новых выходов фильтрационных вод на низовую грань плотины).

4. Затворы, краны и прочее механическое оборудование водосбросной и станционной частей плотины, здания ГЭС. (Нормальное состояние: Работоспособное состояние и сохранность пазовых конструкций и уплотнений затворов, кранов и прочего механического оборудования. Протечки через уплотнения затворов не превышают нормативных значений).

5. Состояние бетонной поверхности водосливной грани плотины в период возможного использования водосброса для пропуска холостых сбросов. (Нормальное состояние: Отсутствие повреждений бетона, как материала (раковин, пустот, отслаивания и выкрашивания бетона, оголения арматуры), не допускающих эксплуатацию водосброса в проектном режиме пропуска расходов в соответствии с действующими правилами использования водных ресурсов Зейского водохранилища).

6. Состояние бетонных поверхностей дренажных галерей №№ 4а, 5а, 6а, 7а, 8, цементационной галереи в теле плотины, здания ГЭС. (Нормальное состояние: Раскрытие трещин, образовавшихся в строительный период, носит сезонный характер. Сезонный установившийся характер фильтрации со стороны верхнего бьефа. Отсутствие значительных протечек со стороны низовой грани).

7. Состояние железобетонных конструкций и металлоконструкций водопроводящего тракта станционной части плотины и здания ГЭС. (Нормальное состояние: Отсутствие повреждений в железобетонных конструкциях и металлоконструкциях водопроводящего тракта, нарушающих его проектную работу).

8. Работоспособность дренажных устройств плотины, здания ГЭС. (Нормальное состояние: Отсутствие засорения, зарастания, промерзания скважин дренажной системы).

9. Состояние открытой бетонной поверхности низовой грани плотины; разделительных стенок водосброса. (Нормальное состояние: Раскрытие трещин, образовавшихся в строительный период, носит сезонный характер и не препятствует проектной работе водосброса и бетонной плотины в целом. Появление новых дефектов, не препятствующих проектной работе водосброса и бетонной плотины в целом).

10. Состояние бетонных поверхностей отдельной стенки и правобережной опорной стенки. (Нормальное состояние: Отсутствие образования новых повреждений поверхности бетона: отслоений и выкрашиваний бетона с образованием значительных раковин, пустот, оголений арматуры и других повреждений, влияющих на устойчивость сопрягающих сооружений).

11. Состояние межсекционных швов отдельной стенки и правобережной опорной стенки. (Нормальное состояние: Отсутствие отслоений и выкрашиваний бетона в зоне межсекционных швов, свидетельствующих о взаимном смещении секций) [3].

4.4 Прочность и сейсмостойкость плотины

В рамках НИР «Расчет плотины на прочность и сейсмостойкость» проведена оценка прочности элементов плотины с учетом сейсмического воздействия, выполнена оценка резонансных явлений, проведен анализ температурного режима плотины.

По результатам расчетов сделаны следующие выводы:

- Прочность всех секций Зейской плотины обеспечена:

1. При основном сочетании нагрузок, с учетом ледовых воздействий;
2. При выполнении условия прочности на сжатие для всех расчетных сочетаний и нагрузок;

3. При выполнении критериев устойчивости всех расчетных сочетаний и нагрузок;

- Сейсмостойкость всех секций Зейской плотины обеспечена:

1. При расчете на заданное сейсмическое воздействие уровня ПЗ (8 баллов);
2. При расчете на воздействие уровня МРЗ (9 баллов);
3. При отсутствии растягивающих напряжений в области основания плотины и невозможности отрыва тела плотины от грунтового основания.

- Температурный режим плотины является стабильным и благоприятным, ввиду наличия в ее теле полостей с воздухом.

- Зейская бетонная контрфорсная плотина отвечает всем требованиям прочности и сейсмостойкости по действующим нормативным документам и является надежным высоконапорным сооружением.

При выполнении расчетов учитывались постоянные, временные и особые нагрузки:

Постоянные нагрузки:

- Собственный вес грунтов основания;
- Собственный вес наносов в верхнем бьефе в виде скопления топляков;
- Собственный вес здания ГЭС в нижнем бьефе.

Нагрузки от собственных весов материалов задавались в виде распределенных объемных сил.

Временные длительные нагрузки:

- Гидростатическое давление. Уровень воды принимался согласно техническому заданию: в верхнем бьефе - НПУ = 315,00 м/УМО = 299,00 м; в нижнем бьефе – УНБ = 220,50 м;

Особые нагрузки:

- Гидростатическое давление при ФПУ в верхнем бьефе и пропуске паводка обеспеченностью 0,01% в нижнем бьефе. Уровень воды принимался согласно техническому заданию: ФПУ = 322,10 м, УНБ = 229,00 м.

- Сейсмическое воздействие.

На основе результатов анализа состояния ГТС Зейской ГЭС по диагностическим показателям, результатов анализа характера изменения во времени всех контролируемых параметров ГТС Зейской ГЭС, результатов многофакторного обследования ГТС Зейской ГЭС, специализированных исследований и обследований ГТС за междекларационный период, а также с учетом результатов поверочных расчетов прочности и устойчивости плотины и устойчивости береговых откосов можно сделать вывод, что состояние, как

декларируемых, так и недеклаируемых ГТС Зейской ГЭС является работоспособным. Оно соответствует требованиям Федерального закона «О безопасности ГТС» [3].

Плотина Зейской ГЭС имеет массивно-контрфорсный тип. Давление воды со стороны верхнего бьефа передается массивным контрфорсам, которые передают нагрузку на основание плотины.

Для оценки работы контрфорсной плотины необходимо иметь следующую информацию:

- распределение температуры в контрфорсе вдоль и поперек потока;
- температурный режим в полостях;
- деформации (напряжения) в оголовке контрфорса по его оси и у межсекционных швов;
- деформации в теле контрфорса и у полостей;
- условия разгрузки фильтрационного потока в полости;
- состояние контактного шва под напорной гранью;
- состояние межстолбчатых швов;
- монолитность напорной грани;
- влияние сезонного раскрытия швов на напряженно-деформированное состояние (НДС) плотины;
- характер изменения фильтрационного давления в основании.

4.4 Контрольно-измерительная аппаратура на Зейской ГЭС

Размещение КИА на ГТС Зейского гидроузла основано на результатах расчетов напряженного, деформированного и температурного состояний плотины, с учетом технологии ее возведения и конструктивных особенностей. Устройства для наблюдений за параметрами фильтрационного режима в основании и теле сооружений располагаются по всему фронту сооружения.

Весь объем наблюдений за ГТС подразделяется на четыре направления: контрольные наблюдения за деформациями; наблюдения за фильтрацией;

наблюдения за напряженным состоянием плотины; инженерно-сейсмометрический контроль [7].

Наблюдения за общими деформациями плотины включают:

а) высотные наблюдения: определение осадок основания и тела плотины;

б) плановые наблюдения:

-определение смещений плотины вследствие горизонтальных деформаций основания от гидростатического давления;

-определение возможных смещений плотины по контактам «скала-бетон»;

-определение характера и величины горизонтальных деформаций относительно друг друга и определение раскрытия швов.

Данные наблюдения производятся с помощью геодезической и дистанционной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), установленной в плотине и ее основании [8].

В состав геодезической аппаратуры входят: прямые и обратные отвесы, поперечные гидронивелиры, трехосные настенные щелемеры, струнные створы высотные марки и т.п.

Прямой отвес - это струна, закрепленная на гребне плотины и проходящая в специальной закладной трубе. На конце струны подвешен груз, погруженный в бак с маслом. По всему пути прохождения струны, от гребня до отметки, близкой к основанию плотины, имеется несколько наблюдательных пунктов, где с помощью координатомера измеряется положение струны относительно закладной трубы, что позволяет судить о радиальных (по потоку) и тангенциальных (в берега) перемещениях плотины (рисунки 2,3).

Обратные отвесы – это несколько струн закреплённых якорями на разных глубинах в основании. Верхний конец струны оборудован поплавком. Обратные отвесы дают возможность определить горизонтальные смещения и наклоны плотины относительно якорей обратных отвесов по всей высоте секции.



Рисунок 2 – Закрепленный якорь прямого отвеса



Рисунок 3 – Струна прямого отвеса

Гидростатические нивелиры представляют собой горизонтальные трубы, наполненные жидкостью. По уровню жидкости относительно геодезической марки на стене галереи можно судить об осадках того или иного

участка плотины. Наиболее информативными являются гидронивелиры, расположенные на нижних отметках сооружения, близких к основанию.

Универсальные настенные трёхосные щелемеры устанавливаются в продольных галереях на межсекционных швах со стороны верхнего бьефа и контролируют перемещения соседних секций плотины друг относительно друга (контроль состояния межсекционных швов) [8].

В состав щелемерных наблюдений входит:

- Определение горизонтальных деформаций поперек шва – раскрытие и закрытие шва;
- Определение горизонтальных деформаций вдоль шва – сдвига секций относительно друг друга;
- Определение относительных вертикальных деформаций – превышение секций относительно друг друга.

На рисунке 4 представлен пример щелемера:



Рисунок 4 – Универсальный настенный трёхосный щелемер

С помощью **струнных створов** выполняют наблюдения за горизонтальными смещениями плотины. Наблюдения заключаются в определении смещений плановых знаков (закладных марок – фиксаторов),

заделанных по оси каждой секции относительно натянутой струны. Наблюдения за смещением марок проводятся с помощью оптического прибора «Смещениемера» (рисунок 5).



Рисунок 5 – Струнный створ

Наблюдения за осадками состоят в периодическом нивелировании боковых и поверхностных марок относительно опорной высотной сети. Всего в плотине насчитывается более четырехсот измерительных пунктов геодезической контрольно-измерительной аппаратуры [8]. На рисунке 6 изображена боковая марка (МБ):



Рисунок 6 – Марка боковая

Фильтрационная КИА позволяет судить о фильтрационном режиме в основании и примыканиях плотины, целостности цемзавесы и других противофильтрационных устройств. Фильтрационный режим в теле плотины контролируется также визуальными методами наблюдения [9].

Контроль ведется при помощи пьезометров и скважин глубокого дренажа (дренажной завесы) основания плотины, а также при помощи вертикального дренажа. Вода, фильтрующаяся через бетон напорной грани плотины, перехватывается по всей высоте плотины вертикальными дренами (по три дрены – скважины на каждый контрфорс) и отводится в дренажную галерею.

Пьезометрическая сеть

Противодавление в основании и примыканиях измеряется с помощью **пьезометров**, которые представляют собой скважины, пробуренные под разными углами в основании или примыкания. В нижней точке оборудован специальным водоприемник, соединённый водонепроницаемой трубой с оголовком. Наблюдения за пьезометрами ведутся путем измерения либо давления (напорные пьезометры), либо глубины расположения уровня подземных вод (безнапорные пьезометры). Обычно изнутри устанавливаются створами, что позволяет построить эпюру противодавления под этой секцией. Пьезометрическая сеть состоит из глубинных и контактных пьезометров.

Контактные пьезометры предназначены для наблюдений за противодавлением в зоне контактного шва под напорной гранью, оценки эффективности работы цементационной завесы и дренажной системы, а также для контроля фильтрационного давления по подошве плотины в трех контролируемых секциях (17, 25, 32). Водоприемники контактных пьезометров заглублены в скалу на 1,0–2,0 м [8].

Глубинные пьезометры, контролирующие распределение фильтрационных напоров в скальном массиве основания перед цементационной завесой, непосредственно за завесой и за дренажной завесой, располагаются в поперечных створах под контролируемыми секциями плотины. Максимальное

заглубление водоприемников глубинных пьезометров в скальное основание достигает 80,0 м [8].

Для оценки фильтрационного режима обходной фильтрации установлены пьезометры на открытой поверхности береговых склонов со стороны нижнего бьефа (пьезометры ОФ).

Важнейшим критерием соблюдения принятых в проекте параметров противодействия на подошву контрфорсов плотины является отсутствие избыточного (сверх уровня нижнего бьефа) напора в контактных пьезометрах по оси дренажной галереи и по всей площади контрфорсов ниже этой оси. Соблюдение этого положения подтверждает нормальное состояние противотрационной завесы и эффективную работу дренажа. Всего в основании плотины имеется 60 пьезометров – из них контактных 43, заглубленных – 17 [8].

Глубокий дренаж в основании плотины (дренажная завеса)

Устройства, позволяющие судить о фильтрационном режиме в основании, также является дренаж. Дренаж с одной стороны осуществляет разгрузку противодействия, поэтому необходимо следить за его состоянием, не допуская засорение дренажных скважин (чрезмерно низкие расходы в дренаже свидетельствуют о том, что он не выполняет своих функций и дренажную скважину необходимо чистить), с другой стороны резкое возрастание расходов в дренаже свидетельствует о неблагополучии цемзавесы и других неблагоприятных в процессах в основании.

Дренажная завеса, выполненная в продольном створе за цемзавесой, представлена рядом скважин 3 м в русловой части сооружения и веерами скважин – в береговых частях. Дренажные скважины в русловой части плотины пробурены под углом 15° (с падением в сторону НБ) в среднем до границы зоны разуплотнения скального основания плотины. Длина скважин, в т.ч. веерных скважин в глухих береговых частях, составляет от 30 м до 40 м. В целях повышения эффективности перехвата обходной фильтрации в правом берегу

пробурены дополнительные веера скважин длиной 60 м из галерей и полостей плотины. Общее число скважин составляет 161 [3]. Пьезометр и дренажные скважины представлены на рисунке 7:



Рисунок 7 – Пьезометр и дренажные скважины

Контроль **напряжённно-деформированного состояния** плотины ведется с помощью КИА и визуально. Инструментальный контроль ведется с помощью закладных датчиков различного функционального назначения (телеметрическая КИА). Контролируемыми секциями являются водосбросная секция 17, станционная с. 25, русловая глухая с. 32 [8].

На Зейской плотине установлены следующие типы датчиков:

- струнные термометры;
- тензометры;
- щелемеры;
- пьезодинамометры;
- арматурные динамометры;
- накладные тензометры.

Опрос телеметрической закладной КИА бетонной плотины производится с помощью автоматизированной системы опроса (АСО) СТРУНА. Инициализация опроса осуществляется оператором, полный цикл опроса занимает около часа. Результатом служат текстовые файлы данных, формируемые АСО СТРУНА. Для сбора данных наблюдений на Зейской ГЭС используется информационно-диагностическая система (ИДС) БИНГ-3.

Тензометры измеряют деформацию. Несколько специальным образом установленных (пространственноориентированных друг относительно друга) тензометров представляет собой одну измерительную точку - "розетку". По измеренным в этой точке деформациям можно высчитать нормальные, касательные и главные напряжения. Одиночные тензометры установлены на контакте скала-бетон, в контактных строительных швах, в швах-надрезах. Напряжения в бетоне плотины в значительной степени определяются воздействием на него температур наружной среды, поэтому в цикл наблюдений за напряжениями входят также наблюдения за закладными термометрами.

Телещелемеры размещены в межстолбчатых швах и горизонтальных строительных швах у поверхностей. Они устанавливаются по несколько штук друг за другом, чтобы можно было контролировать глубину раскрытия шва.

С целью прогнозирования прочности и долговечности плотины необходимо во время сбросов через плотину паводковых расходов проводить контроль за вибрацией водосливных секций плотины. Для измерения вибрации применяются низкочастотные вибродатчики с диапазоном измерения от 1-2 до 20-30 Гц.

В порядке контроля за состоянием и прочностью бетона надлежит проводить регулярные визуальные обследования бетона. Особого внимания требует бетон на напорной грани и на водосливной поверхности. В необходимых случаях выбуривается керн, который исследуется в лаборатории [10].

В таблицу 1 сведены виды и назначения КИА, о которой написано выше.

В Приложении А приведен пример расположения контрольно-измерительной аппаратуры в водосливной части плотины [8].

Таблица 1 – Виды контрольно-измерительной аппаратуры и их назначение

Наименование КИА	Назначение
Телеметрическая (дистанционная) КИА	
1 Телетензометр	Измерение деформаций бетона и скального основания
2 Телетермометр (струнный термометр)	Измерение температуры
3 Телещелемер	Измерение раскрытия межстолбчатых швов
4 Арматурный динамометр	Измерение напряжений в арматуре
5 Тензометр накладной	Измерение деформаций в металлоконструкциях напорных водоводов
6 Пьезодинамометры	Измерение давления воды на облицовку водовода и спиральной камеры
Геодезическая КИА	
7 Высотные марки (поверхностные, боковые)	Планово-высотные перемещения геодезических знаков; наклоны
8 Обратные отвесы (СГС), прямые отвесы (ОП)	Относительные горизонтальные смещения характерных точек плотины и скального основания
9 Гидронивелиры	Определение осадок плотины
10 Универсальные настенные трёхосные щелемеры	Перемещения соседних секций плотины друг относительно друга
11 Струнный створ	Абсолютные горизонтальные перемещения характерных точек плотины
Фильтрационная КИА	
12 Пьезометры	Определения противодействия фильтрационного потока
13 Дренаж	Измерения фильтрационных расходов

5 Декомпозиция системы ГТС

Бетонная плотина на первый взгляд представляется монолитным сооружением, которое трудно разделить на отдельно функционирующие элементы. Тем не менее, система ГТС состоит из элементов, различающихся, как функционально, так и конструктивно. Самые крупные функционально различные элементы ГТС: плотина, основание, примыкание. Эти элементы различаются также по способам контроля. Плотину можно разделить на русловую часть и части, контактирующие с примыканиями. Технология возведения бетонной плотины такова, что она возводится небольшими относительно размеров сооружения блоками. Таким образом, можно считать строительный блок минимальным монолитным элементом плотины. Строительный блок является самым нижним элементом в иерархии структурного разбиения сооружения.

На рисунке 8 изображена секция плотины. Межстолбчатые швы делят плотину на несколько столбов. Например, глухая секция №36 состоит из пяти столбов. Температурно-осадочные швы делят сооружение на секции.

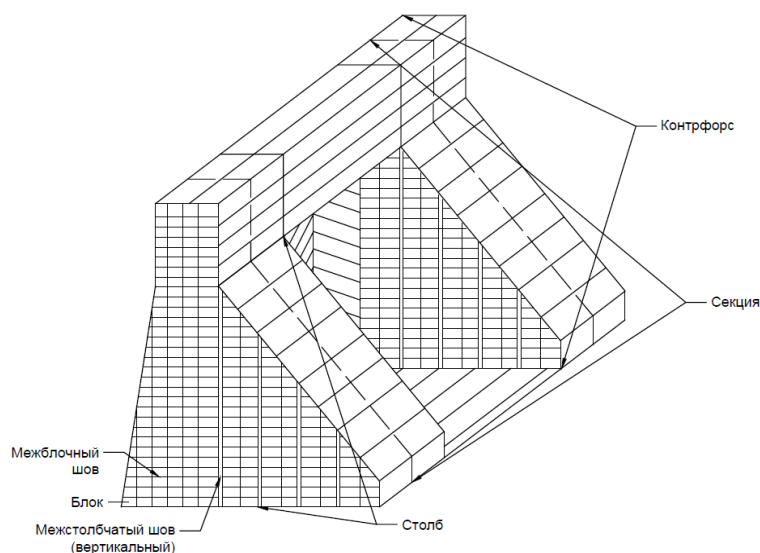


Рисунок 8 – Схематичное изображение глухой секции плотины.

Выделим более крупные элементы, из которых состоит сооружение. Если разделить плотину горизонтальными плоскостями в створах перехода

конструкции с одного столба на два, с двух столбов на три и так далее, то получается пять поясов (рисунок 9). Это еще один уровень структурного разбиения сооружения.

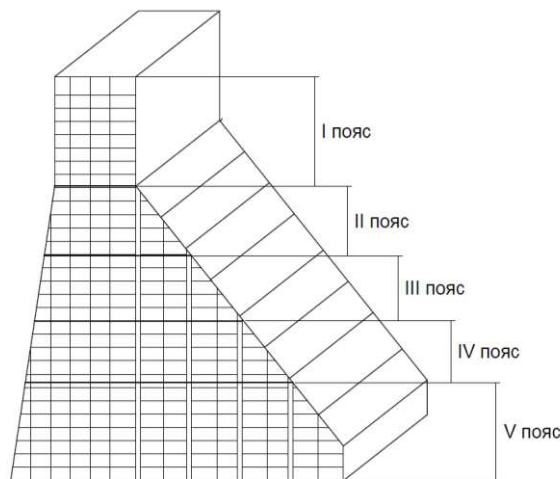


Рисунок 9 – Деление плотины на пояса

Можно получить еще один уровень разбиения, находящийся между нижним иерархическим уровнем – строительным блоком и более высоким уровнем – поясом. Для этого разделим плотину вертикальными створами на зоны, контактирующие с примыканиями и русловую часть, которая может быть разбита на несколько зон. Плотина Зейской ГЭС имеет три контрольных секции 17, 25 и 32, которые расположены в водосливной, станционной и глухой частях плотины соответственно. Разбиение на зоны вертикальными плоскостями выполнялось, учитывая этот факт. В результате получилось 19 зон (рисунок 10).

Глухая правобережная часть	Водосбросная часть			Станционная часть	Глухая левобережная часть	
	с. 17		с. 25		с. 32	43
16	17	18	19			I пояс
12	13	14	15			II пояс
8	9	10	11			III пояс
4	5	6	7			IV пояс
	1	2	3			V пояс

Рисунок 10 – Деление на зоны

Для проектирующихся плотин при решении задачи размещения КИА необходимо учитывать структурное описание данного сооружения. Так как установка КИА в каждом строительном блоке экономически нецелесообразна, минимальным контролируемым элементом плотины будет являться зона. В итоге декомпозиции системы ГТС было получено четыре уровня структурного описания объекта: 1) Блок; 2) Зона; 3) Пояс; 4) Функциональный блок: плотина, основание, примыкание. Каждому уровню иерархии и элементам уровня присваиваются контролируемые показатели (таблица 2).

Таблица 2 – Параметры для разных уровней структурного разбиения ГТС.

Уровень иерархии	Элементы уровня	Контролируемый показатель
Зона	Зоны основания (1,2,3)	<ul style="list-style-type: none"> – Осадка плотины и скального основания зоны – Послойное сжатие основания зоны – Горизонтальные смещения и наклоны в основании зоны – Раскрытие (закрытие), вертикальные перемещения по температурно-осадочным швам между секциями – Пьезометрические уровни в контактных пьезометрах в основании зоны – Фильтрационные расходы в основании зоны – Вынос твердого материала из дрен и источников; – Химический состав и температура воды; – Состояние бетонной поверхности зоны
Зона	Зоны примыканий (3,4,7,8,11,12,15,16,19)	<ul style="list-style-type: none"> – Горизонтальное смещение секций – Наклоны секций вдоль и поперек потока – Осадка плотины или изменение высотного положения измерительной точки в данной зоне – Деформации температурно-осадочных швов плотины – Горизонтальные смещения секции – Пьезометрические уровни в пьезометрах данной зоны – Деформации бетона, температура бетона – Раскрытие (закрытие), поворот, вертикальные перемещения по температурно-осадочным швам между секциями – Состояние низовой грани в зоне береговых примыканий плотины

Окончание таблицы 2

Уровень иерархии	Элементы уровня	Контролируемый показатель
Зона	5,6,9,10,13,14,17,18	<ul style="list-style-type: none"> – Осадка плотины или изменение высотного положения измерительной точки в данной зоне – Горизонтальные смещения секций и наклоны створа, принадлежащего зоне – Наклоны секций вдоль и поперек потока – Раскрытие (закрытие), поворот, вертикальные перемещения по температурно-осадочным швам между секциями – Фильтрационные расходы – Вынос твердого материала из дрен и источников
Зона	5,6,9,10,13,14,17,18	<ul style="list-style-type: none"> – Химический состав и температура воды – Состояние бетонной поверхности зоны
Пояс	II-IV пояса	<ul style="list-style-type: none"> – Количество дефектных зон – Плановые перемещения створа в данном поясе
Пояс	I пояс	<ul style="list-style-type: none"> – Количество дефектных зон – Плановые перемещения гребня
Пояс	V пояс	<ul style="list-style-type: none"> – Количество дефектных зон – Абсолютные горизонтальные перемещения характерных точек плотины (горизонтальное смещение секций)
Функциональный блок	Плотина, примыкание, основание	<ul style="list-style-type: none"> – Количество дефектных поясов – Состояние бетонных поверхностей водораздельной стенки и правобережных стенок – Состояние береговых примыканий – Состояние русла в нижнем бьефе гидроузла – Деформации основания, обделки штольни – Приток фильтрационных вод в дрены дренажной штольни – Возникновение открытых источников фильтрации в берегах – Измерение деформаций скалы

Для примера рассмотрим несколько контролируемых параметров, принадлежащих зонам, включающих опытные секции (рисунки 11-22, приложения В-Ж).

Послойное сжатие основания измеряется посредством куста глубинных реперов (КГР), расположенных в секциях 17, 25, 32. Куст состоит из четырех

реперов, заглубление якорей которых на 4,10,20 и 40 м ниже основания. Отметка первого репера в кусту принимается за ноль. Значения показаний остальных трех реперов определяется относительно первого (рисунки 11-17).

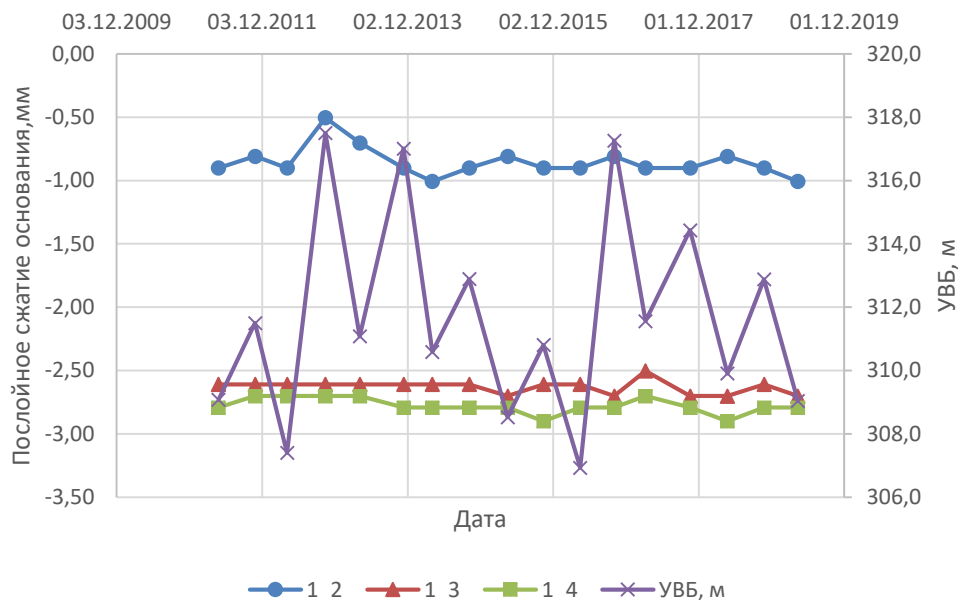


Рисунок 11 – Значения КГР, установленных в секции 17, отметка 232 м, зона 1

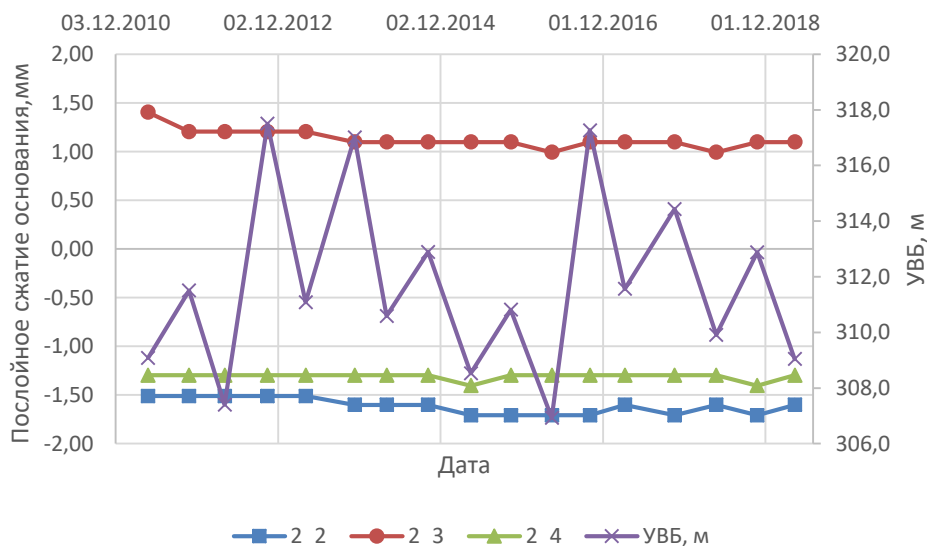


Рисунок 12 – Значения КГР, установленных в секции 25, отметка 232 м, зона 2

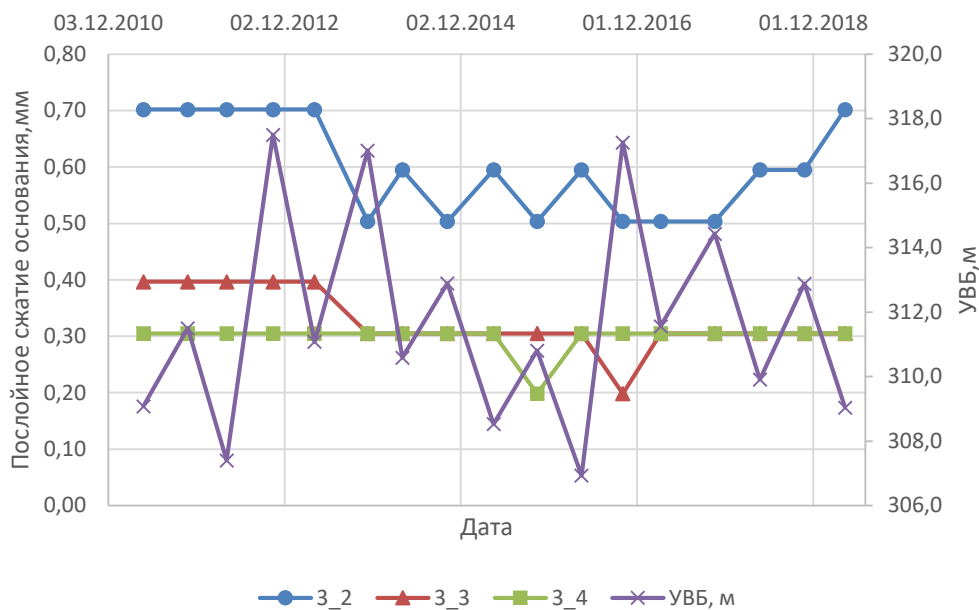


Рисунок 13 – Значения КГР, установленных в секции 32, отметка 232 м, зона 3

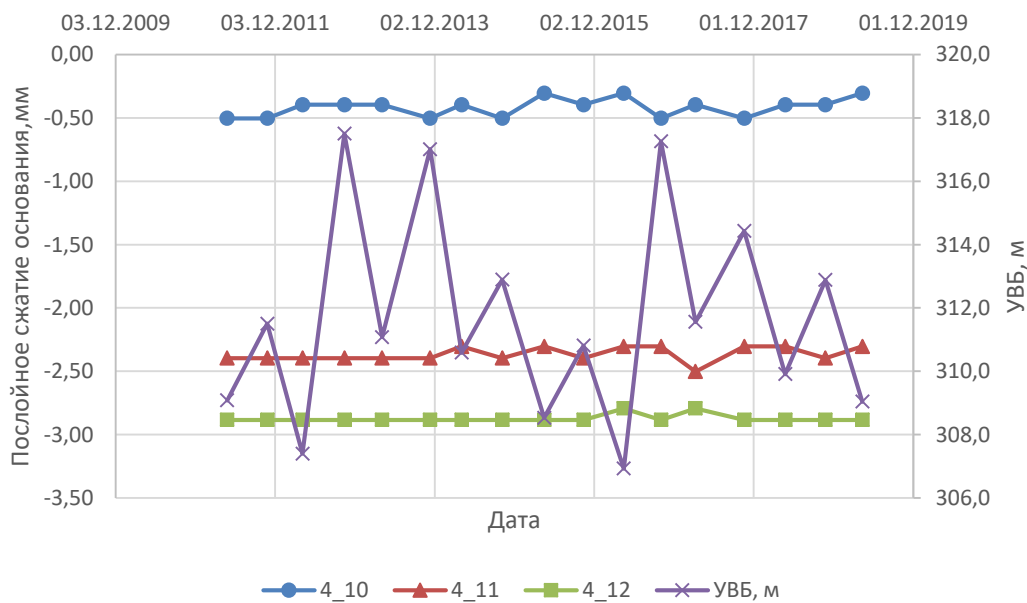


Рисунок 14 – Значения КГР, установленных в секции 32, отметка 232 м, зона 3

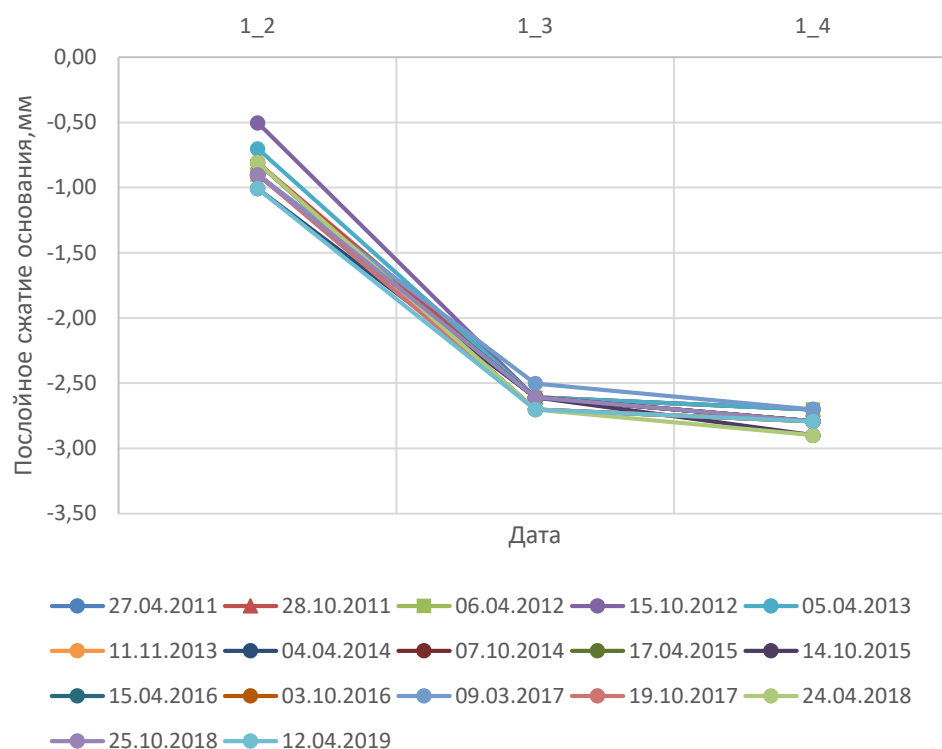


Рисунок 15 – Значения КГР, установленных в секции 17, отметка 232 м, зона 1

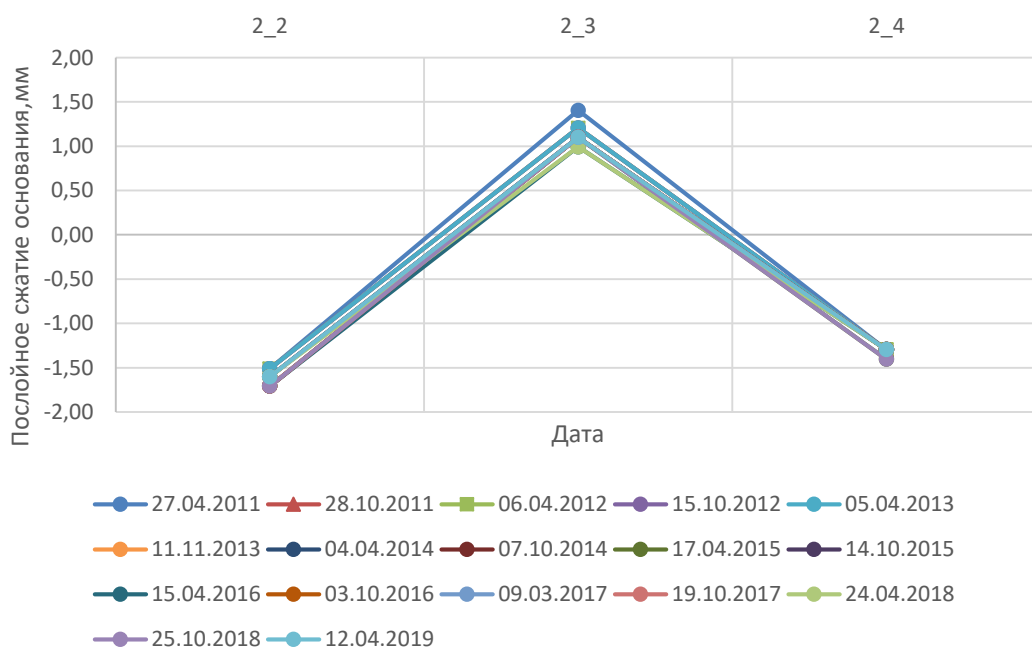


Рисунок 16 – Значения КГР, установленных в секции 25, отметка 232 м, зона 2

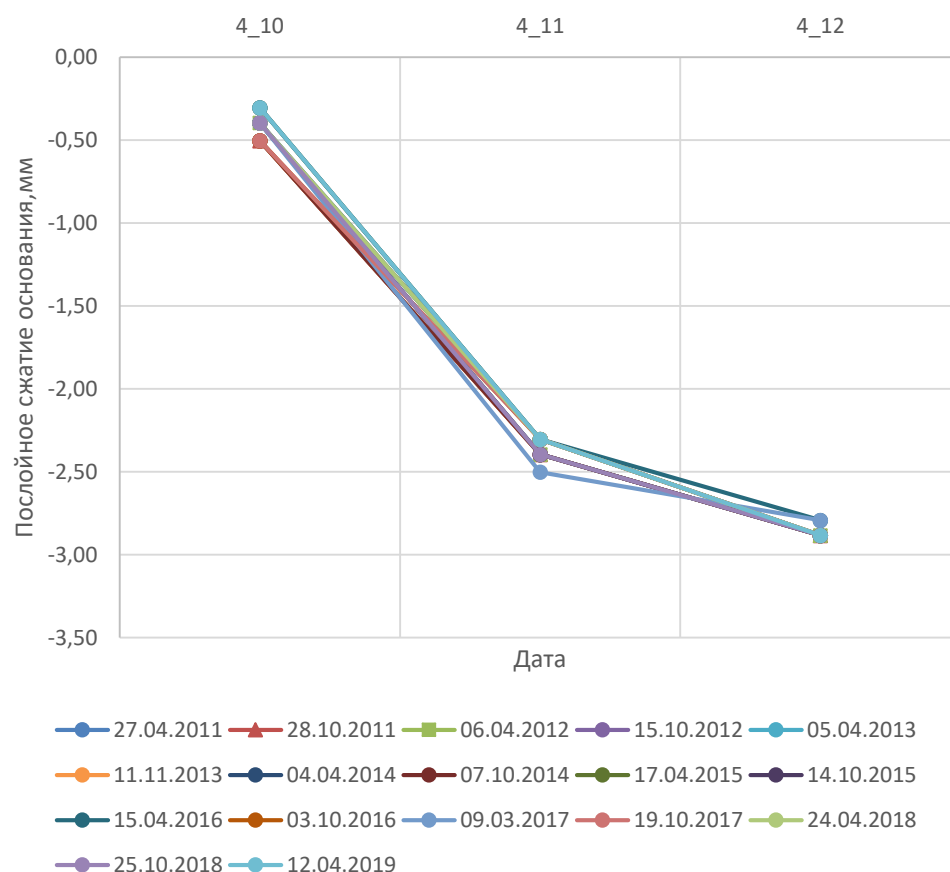


Рисунок 17 – Значения КГР, установленных в секции 32, отметка 232 м, зона 3

Из графиков видно, что осадка по КГР ведет себя стабильно. По рисунку 12 наблюдается явная зависимость от УВБ. При повышении УВБ происходит осадка по реперам 3_2 и 3_4, при уменьшении наоборот. В период с 2011 по 2019 года максимальная текущая осадка наблюдалась с апреля 2012 г. по октябрь 2012 г. и составила 0,4 мм (КГР – 1_2, секция 17). Максимальная суммарная осадка происходила с октября 2012 года по апрель 2014 года и составила -0,51 мм (КГР – 1_2, секция 17).

Горизонтальные смещения секций вдоль и поперек потока измеряются по прямым отвесам (ОП). Результаты натурных наблюдений приведены на рисунках 18, 19:

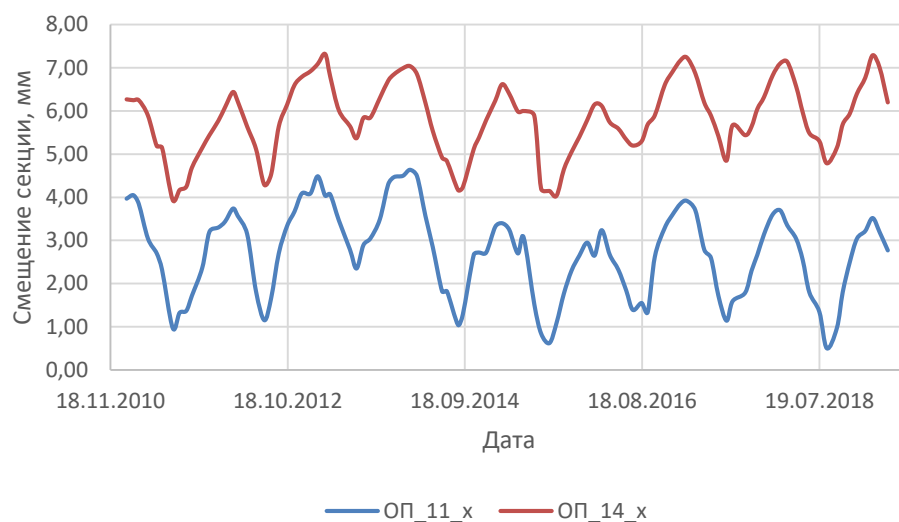


Рисунок 18 – Горизонтальные смещения секции 17 (ОП_11_x, зона 17) и 32 (ОП_14_x, зона 15) вдоль потока, отметка 277 м

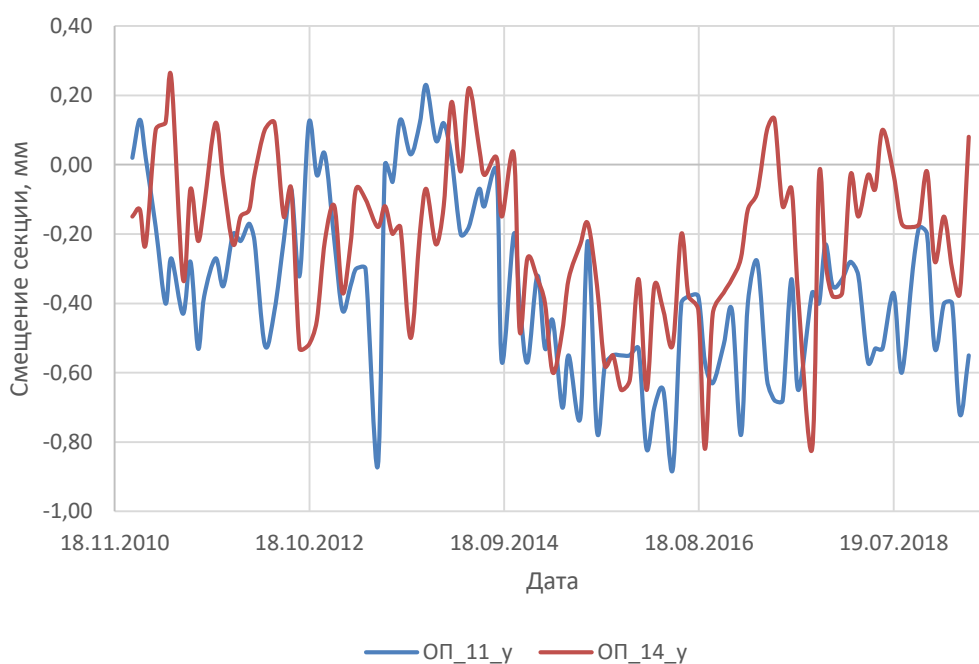


Рисунок 19 – Горизонтальные смещения секции 17 (ОП_11_x, зона 17) и 32 (ОП_14_x, зона 15) поперек потока, отметка 277 м

Кривые, характеризующие смещения секций, имеют определенную форму и изменяются циклически. Значения показаний не превышают критериальных.

Измерения по трехосным щелемерам между секциями 31 и 32 (рисунки 20-23):

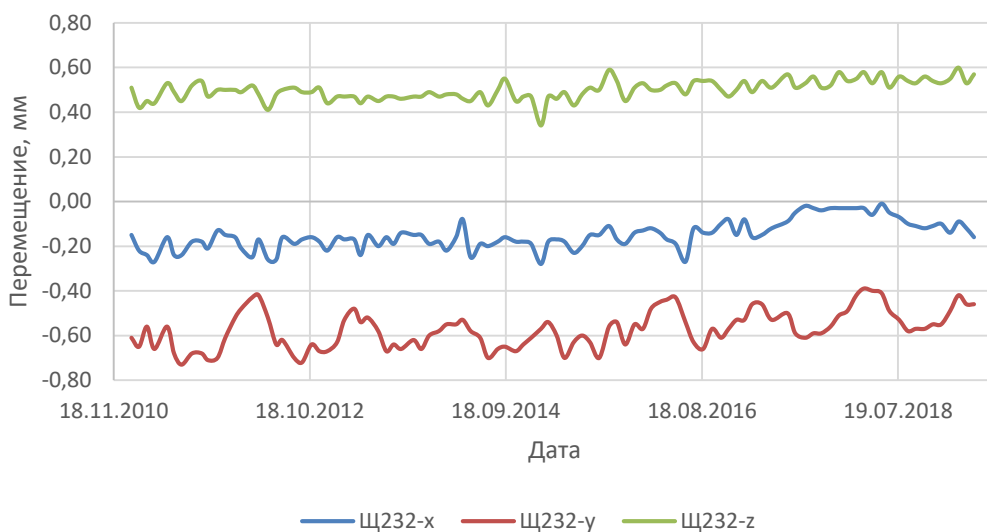


Рисунок 20 – Раскрытие (закрытие), вертикальные, горизонтальные перемещения по температурно-осадочным швам между секциями 31 и 32, отметка 232 (зона 3)

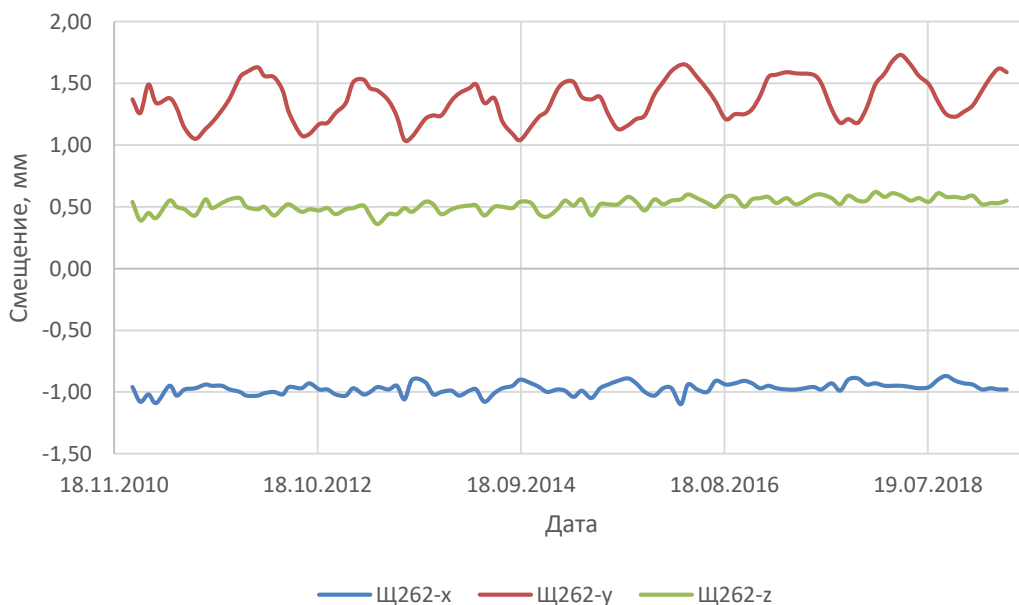


Рисунок 21 – Раскрытие (закрытие), вертикальные, горизонтальные перемещения по температурно-осадочным швам между секциями 31 и 32, отметка 262 (зона 11)

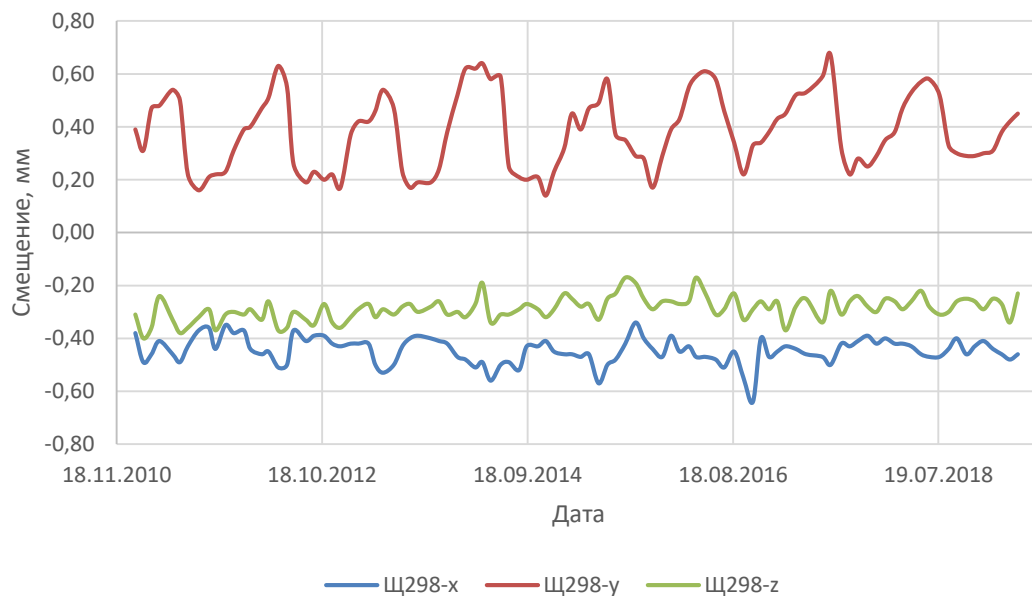


Рисунок 22 – Раскрытие (закрытие), вертикальные, горизонтальные перемещения по температурно-осадочным швам между секциями 31 и 32, отметка 298 (зона 19)

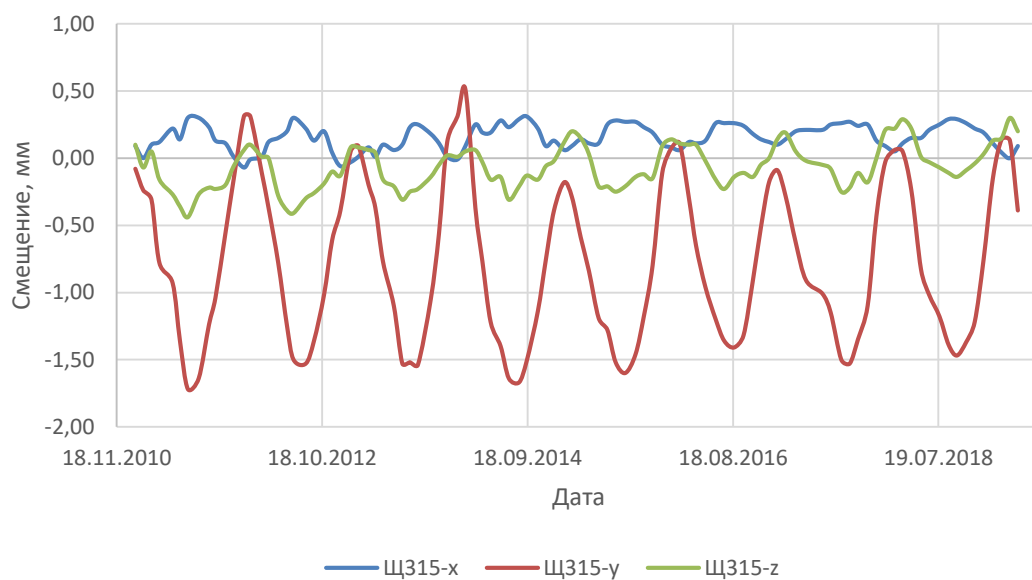


Рисунок 23 – Раскрытие (закрытие), вертикальные, горизонтальные перемещения по температурно-осадочным швам между секциями 31 и 32, отметка 315 (зона 19)

Наблюдения за деформациями швов омоноличивания в секции 32 с помощью дистанционных щелемеров имеют важное значение. Отсутствие раскрытий в этих швах свидетельствует о монолитности контрфорсов. Причиной раскрытия швов может быть переохлаждение бетона контрфорсов ниже температуры, при которой были омоноличены бетонные столбы в период строительства. Швы секции 32 омоноличивались при температурах от минус 2° до минус 10 °С. Учитывая, что внутри полостей плотины должна поддерживаться температура не ниже + 20 С, раскрытия швов быть не должно. По графикам видно, что монолитность контрфорсов сохраняется. Все значения из рассмотренного периода меньше К1.

На рисунке 24 показаны изменения значений напряжения в двух точках плотины (ТТ1035 – зона 7; ТТ1018 – зона 3), измеряемые с помощью закладных датчиков – телетензометров:

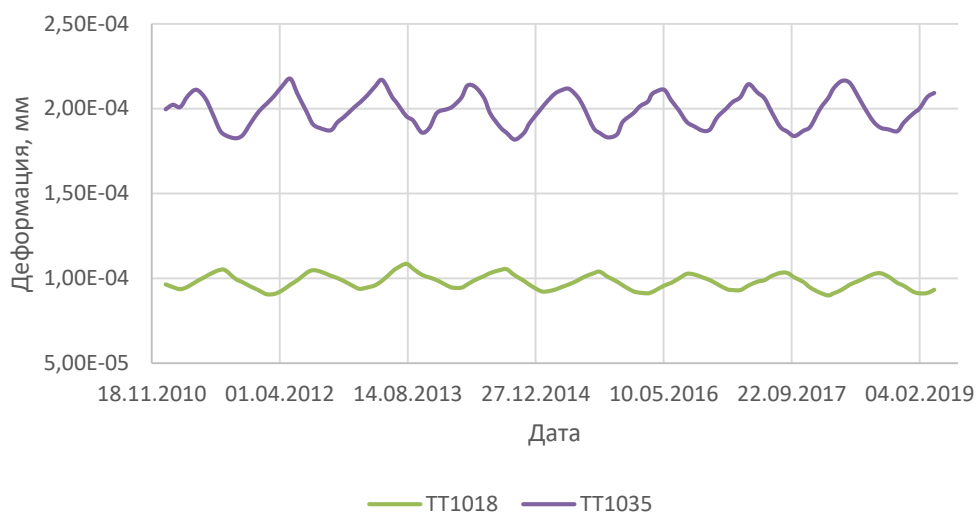


Рисунок 24 – Деформация, измеряемая по телетензометрам в секции 32., ТТ1017, ТТ1018, ТТ1035, ТТ1038, ТТ1048 – зона 3;

Изменения имеют сезонных характер. Судя по графику можно сказать, что изменение значений напряжения стабильны.

Сопоставляя данные натурных наблюдений с критериями безопасности ГТС Зейской ГЭС можно сказать о том, что диагностические показатели не превышают своих критериальных значений. Анализируя остальные контролируемые показатели, и основываясь на данных предшествующих наблюдений в те же сезоны года, видно, что никакого аномального поведения

сооружения нет. Следовательно, гидротехническое сооружение находится в работоспособном состоянии.

Если при анализе данных натуральных наблюдений дефект обнаружен на нижнем уровне иерархии, но это не ведет к изменению параметров вышележащего уровня, то дефект признается локальным. Рекомендуется провести плановые ремонты для устранения дефекта. Если выходят за разрешенные пределы параметры более высокого уровня, требуется корректировать режим наполнения водохранилища, проводить ремонтные работы и принимать решение относительно порядка эксплуатации данного ГТС, возможно корректировать значение НПУ. Если дефект развивается и продвигается на более высокие уровни иерархии, необходимо принимать решение о прекращении наполнения, либо сбросе водохранилища, обследовании всего сооружения и решать дальнейшую судьбу данного ГТС.

В качестве критериев, т.е. допустимых значений контрольных параметров могут быть использованы величины этих параметров, прогнозируемые при текущих воздействиях с использованием регрессионных моделей. Это один из широко применимых методов. В приложении В-Ж даны значения контролируемых показателей, представленных в таблице 2.

6 Построение регрессионных моделей

При обработке натуральных наблюдений применяется регрессионный анализ, на основании которого могут быть выявлены закономерности и взаимозависимости в реакции контролируемых параметров сооружения на внешние воздействия.

Статистическая прогнозная модель работы сооружения – это регрессионное уравнение, связывающее значения показателя состояния сооружения (например, перемещение, осадка, взаимное смещение секций по швам и т. д.) с характеристиками внешних воздействий. Такие зависимости отражают все наблюдавшиеся случаи эксплуатации и с высокой степенью достоверности позволяют прогнозировать поведение сооружения, то есть предсказывать, какие значения показателей его работы должны быть зафиксированы измерениями при данном сочетании внешних нагрузок и воздействий. Регрессионная модель строится на базе обработки данных натуральных измерений за предыдущий период и применяется при наличии временного ряда измерений в диапазоне воздействий, ранее испытанных сооружением.

Ниже построены прогнозные математические модели для изучения процесса деформаций высоконапорной плотины Зейской ГЭС и ее скального основания с различными входными воздействиями. В качестве независимых переменных использовались данные о температуре бетона плотины со стороны нижнего бьефа, измеряемой по закладным телетермометрам на отметках 251,5 и 302,5 метров, температурой воздуха и УВБ за период с 2014 по 2018 гг. Зависимыми переменными являются горизонтальные перемещения секции 32 на отметках 262 и 277 метров, раскрытие температурно-осадочного шва, секции 31/32 на отметке 298 метров, уровень воды в пьезометре П46 и послойное сжатие основания плотины, измеряемое в секции 25. Все расчеты проводились с помощью программного пакета Excel 2016.

- Щелемерные наблюдения. Зависимость раскрытия межсекционных

швов y_1 от уровня верхнего бьефа x_1 и температуры бетона x_2, x_3 в двух точках плотины (формула 1).

$$y_1 = 0.444 - 0.014 \cdot x_1 - 0.4 \cdot 10^{-3} \cdot x_1^2 + 1.7 \cdot 10^{-4} \cdot x_1^3 + 8.4 \cdot 10^{-6} \cdot x_1^4 - 0.013 \cdot x_2 - 0.004 \cdot x_2^2 + 0.8 \cdot 10^{-3} \cdot x_2^3 + 3.1 \cdot 10^{-5} \cdot x_2^4 + 0.013 \cdot x_3 + 0.86 \cdot x_2^2 - 5.4 \cdot 10^{-5} \cdot x_3^3 + 6.9 \cdot 10^{-7} \cdot x_3^4; \quad (1)$$

где y_1 - раскрытие межсекционных швов, мм;

x_1 - уровень верхнего бьефа, м;

x_2 - температура бетона на отметке 251,5 м;

x_3 - температура бетона на отметке 302,5 м.

Наглядно результат видно на рисунке 25:

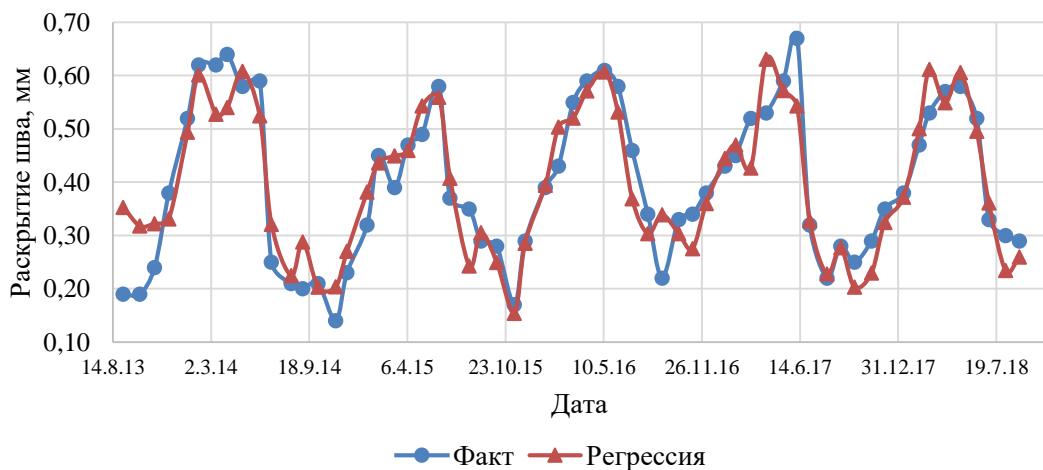


Рисунок 25 – Раскрытие температурно-осадочных швов, секция 31/32, отметка 298

Стандартная ошибка: $\sigma_1 = 0,067$; абсолютная ошибка, мм: $\Delta_{\min_1} = -0,163$, $\Delta_{\max_1} = 0,127$; объявленная погрешность: $\varepsilon_1 = 0,1$

Критерии для пригодности полученной модели:

1) $\sigma < 3\varepsilon$, $0,067 < 0,3$;

2) $|\Delta_{\min}| < 3\sigma$, $0,163 < 0,202$;

$$3) |\Delta_{\max}| < 3\sigma, 0,127 < 0,202.$$

Для найденной в примере регрессионной модели можно сделать вывод, что она пригодна.

- Наблюдения по прямому отвесу (ОП). Зависимость горизонтального смещения секции y_2 от уровня верхнего бьефа x_1 и температуры бетона x_2, x_3 в двух точках плотины (формула 2).

$$y_2 = 2.34 + 0.30 \cdot x_1 - 0.071 \cdot x_1^2 + 0.011 \cdot x_1^3 - 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot x_1^4 - 0.052 \cdot x_2 + 0.004 \cdot x_2^2 - 0.6 \cdot 10^{-3} \cdot x_2^3 + 0.2 \cdot 10^{-4} \cdot x_2^4 + 0.007 \cdot x_3 - 0.77 \cdot 10^{-3} \cdot x_3^2 + 0.13 \cdot 10^{-4} \cdot x_3^3 + 0 \cdot x_3^4 ; \quad (2)$$

где y_2 - горизонтального смещения секции.

Графический результат (рисунок 26):

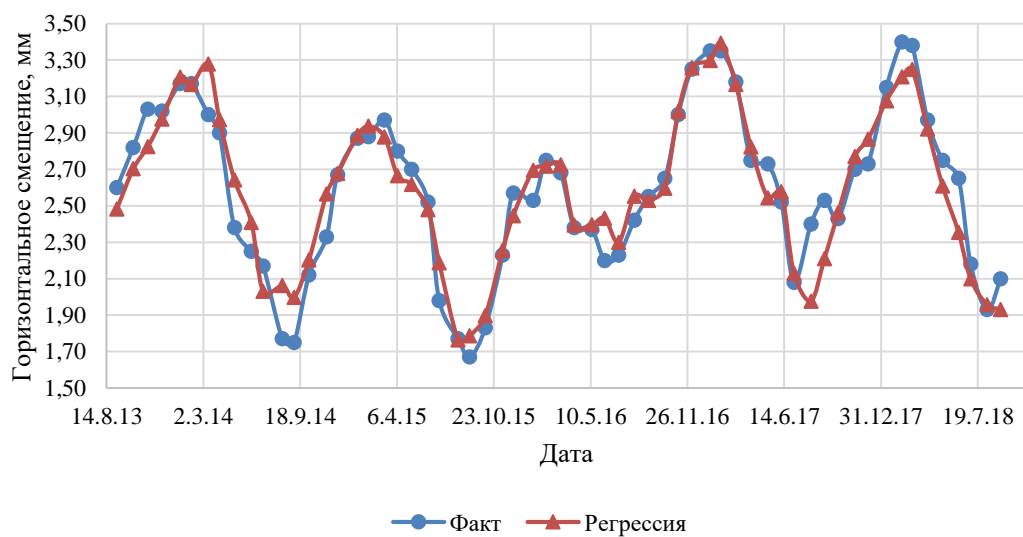


Рисунок 26 – Горизонтальное смещение секции 32, отметка 262 метра (ОП13)

Стандартная ошибка: $\sigma_2 = 0,16$; абсолютная ошибка, мм: $\Delta_{\min 2} = -0,292$, $\Delta_{\max 2} = 0,423$; объявленная погрешность: $\varepsilon_2 = 0,2$

Критерии для пригодности полученной модели:

- 1) $\sigma < 3\varepsilon, 0,16 < 0,73;$
- 2) $|\Delta_{\min}| < 3\sigma, 0,292 < 0,487;$
- 3) $|\Delta_{\max}| < 3\sigma, 0,423 < 0,487.$

Можно сделать вывод, что модель пригодна.

- Наблюдения по прямому отвесу (ОП). Зависимость горизонтального смещения секции y_3 от уровня верхнего бьефа x_1 и температуры бетона x_2, x_3 в двух точках плотины (формула 3).

$$y_3 = 1.604 + (0.22 \cdot x_1 - 0.022 \cdot x_1^2 + 0.0074 \cdot x_1^3 - 0.6 \cdot 10^{-3} \cdot x_1^4) + (-0.103 \cdot x_2 + 0.006 \cdot x_2^2 - 0.8 \cdot 10^{-3} \cdot x_2^3 + 2.5 \cdot 10^{-5} \cdot x_2^4) + (0.017 \cdot x_3 - 0.9 \cdot 10^{-3} \cdot x_3^2 - 10^{-5} \cdot x_3^3 + 2.4 \cdot 10^{-7} \cdot x_3^4); \quad (3)$$

где y_3 - горизонтальное смещение секции.

Графический результат (рисунок 27):

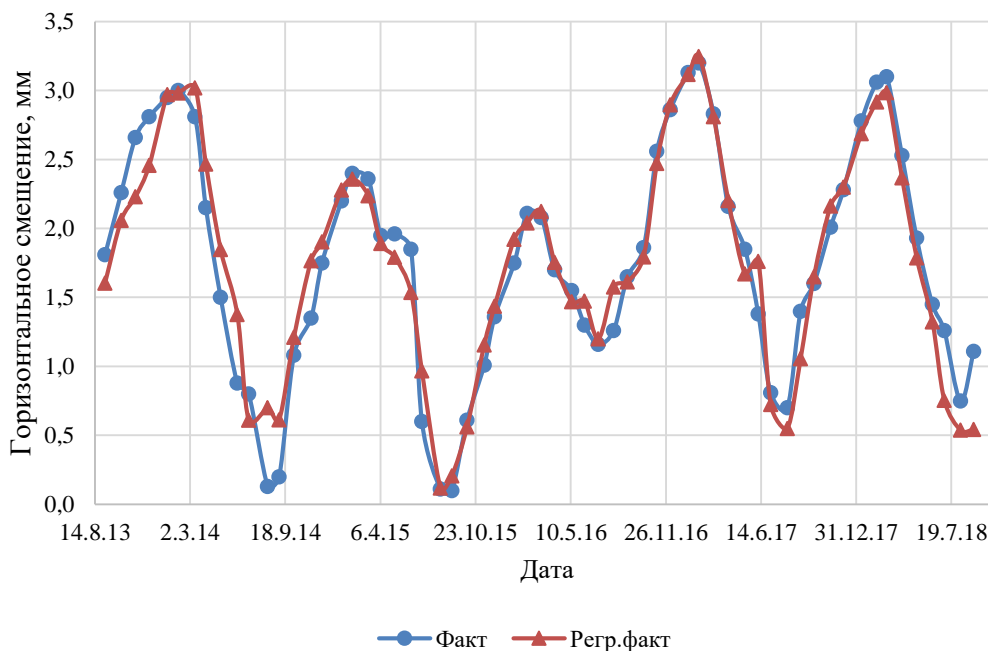


Рисунок 27 – Горизонтальное смещение секции 32, отметка 277 метра (ОП14)

Определим, пригодна ли полученная модель:

$$\sigma_3 = 0,26; \Delta_{\min 3} = -0,563, \Delta_{\max 3} = 0,568; \varepsilon_3 = 0,4$$

$$1) \sigma < 3\varepsilon, 0,26 < 1,2;$$

$$2) |\Delta_{\min}| < 3\sigma, 0,563 < 0,781;$$

$$3) |\Delta_{\max}| < 3\sigma, 0,568 < 0,781.$$

Данная модель также пригодна.

- Следующая модель прогнозирует изменения уровня воды y_4 в безнапорном контактном пьезометре. Входными воздействиями являются уровень верхнего бьефа x_1 и температура воздуха x_2 . Пьезометр расположен в наклонной галерее левого берега, секция 39 (формула 4).

$$y_4 = 37,141 - 1,788 \cdot x_1 - 0,191 \cdot x_1^2 + 0,058 \cdot x_1^3 - 0,004 \cdot x_1^4 + 0,133 \cdot x_2 + 0,006 \cdot x_2^2 - 4,4 \cdot 10^{-5} \cdot x_2^3 - 7,88 \cdot 10^{-6} \cdot x_2^4; \quad (4)$$

где y_4 – уровень воды в пьезометре.

Графический результат (рисунок 28):

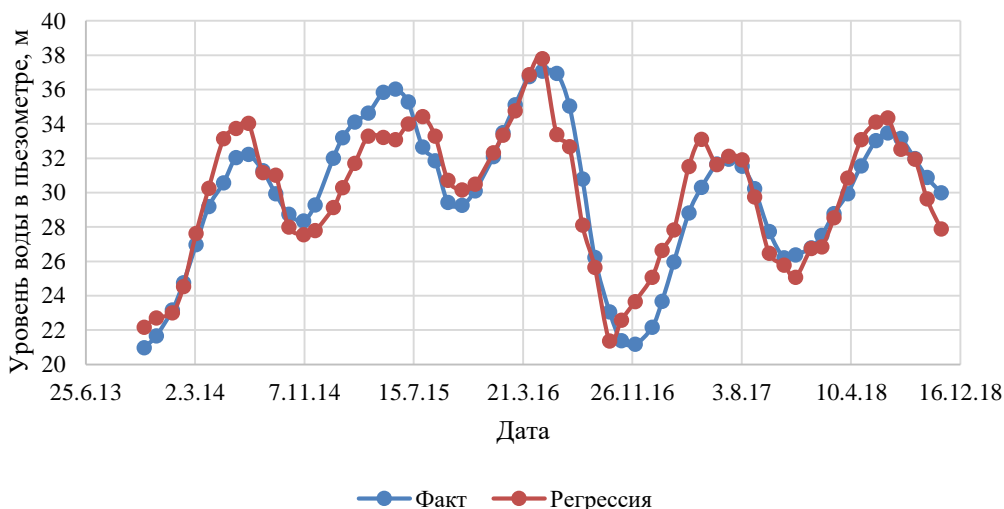


Рисунок 28 – Изменения уровня воды в безнапорном пьезометре секции

Определим, пригодна ли полученная модель:

$$\sigma_4 = 1,75; \Delta_{\min 4} = -2,95, \Delta_{\max 4} = 3,56; \varepsilon_4 = 2,6$$

$$1) \sigma < 3\varepsilon, 1,75 < 7,9;$$

$$2) |\Delta_{\min}| < 3\sigma, 2,95 < 5,26;$$

$$3) |\Delta_{\max}| < 3\sigma, 3,56 < 5,26.$$

Данная модель пригодна.

- Регрессионная модель, прогнозирующая изменения послойного сжатия основания y_5 . Внешние воздействия: уровень верхнего бьефа x_1 и температура воздуха x_2 . Для примера, выбран глубинный репер, расположенный на отметке 232 метра, в секции 25, якорь репера заглублен на 10 метров ниже основания плотины (формула 5).

$$y_5 = 0,652 - 0,094 \cdot x_1 + 0,032 \cdot x_1^2 - 0,005 \cdot x_1^3 + 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot x_1^4 + 0,002 \cdot x_2 + 0,0003 \cdot x_2^2 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot x_2^3 + 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot x_2^4; \quad (5)$$

где y_5 - изменение послойного сжатия основания,

x_2 – температура воздуха.

Графический результат (рисунок 29):

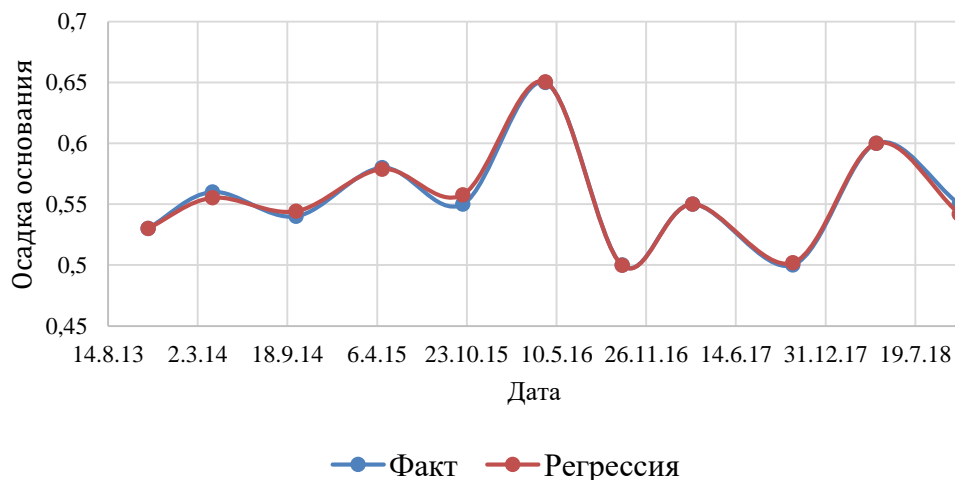


Рисунок 29 – Изменение отметок глубинного репера

Определим, пригодна ли полученная модель:

$$\sigma_5 = 0,009; \Delta_{\min 5} = -0,008, \Delta_{\max 5} = 0,008; \varepsilon_5 = 0,014$$

$$1) \sigma < 3\varepsilon, 0,009 < 0,04;$$

$$2) |\Delta_{\min}| < 3\sigma, 0,008 < 0,028;$$

$$3) |\Delta_{\max}| < 3\sigma, 0,008 < 0,028.$$

Видно, что эта модель также довольно четко описывает зависимость изменения отметки репера от температуры воздуха и уровня верхнего бьефа.

На рассмотренные параметры оказывают влияния УВБ, температура наружного воздуха и температура бетона. Показатели поддаются прогнозу с достаточно высокой точностью. За рассмотренный период никаких резких, выходящих за пределы прогнозной модели, значений не обнаружено.

Выбрав наибольший УВБ и наименьшую температуру бетона для наблюдений по щелемерам и прямому отвесу, а для уровня в пьезометре и репера – наименьшую температуру воздуха – были найдены значения параметров, при таком сочетании внешних воздействий.

Максимальная отметка: 317,2 метра.

Щелемер:

- Минимальная температура бетона: -3,4 0С;
- Значение раскрытия межсекционного шва: 1 мм;

Прямой отвес

- Минимальная температура бетона: -3,4 0С;
- Значение горизонтального смещения: 4,2 мм;

Пьезометр

- Минимальная температура воздуха: -28,0 0С;
- Уровень в пьезометре = 267,6 м (13,6 м от верха оголовка пьезометра);

Глубинный репер

- Минимальная температура воздуха: -12,5 0С;
- Изменение положения репера = 0,6 мм;

Состав наблюдений за ГТС Зейской ГЭС позволяет иметь достаточную информацию о состоянии сооружений. Оснащенность ГТС контрольно-измерительной аппаратурой достаточна для контроля безопасного состояния гидротехнических сооружений Зейского гидроузла. Но, в связи с длительным периодом ее эксплуатации, требуется дооснащение и автоматизация.

7 Разработка критериев безопасности

В настоящее время нет принятых методик оценки состояния гидротехнических сооружений по показаниям контрольно-измерительной аппаратуры, если не установлена корреляционная связь с другими измеряемыми характеристиками или нет тенденции изменения показаний во времени.

В соответствии с требованиями Федерального закона № 117-ФЗ от 21.07.1997 г. «О безопасности гидротехнических сооружений» [1] разработка критериев безопасности ГТС является обязательной для гидротехнических сооружений на стадии проектирования, строительства и эксплуатации. Нормативным документом, определяющим в настоящее время правила разработки критериев безопасности для гидроэнергетических сооружений, является «Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений» РД 153-34.2-21.342-00 [2]. В соответствии с этим документом контролируемый показатель, выбранный в качестве диагностического, должен поддаваться прогнозу с помощью детерминистических или статистических прогнозных моделей и быть достаточно «чутким» к изменению внешних воздействий на сооружение (например, если контролируемый показатель «не реагирует» на изменение УВБ и температуры окружающей среды, то «вряд ли он пригоден в качестве диагностического»).

На стадии проектирования состав и критериальные значения диагностических показателей К1 и К2 определяются на основе анализа результатов расчетов и экспериментальных исследований фильтрационного, гидравлического и температурного режимов, напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости ГТС на основное и особое сочетание нагрузок, а также на основе анализа прочностных, деформационных и фильтрационных характеристик материала. Эти критериальные значения уточняются и дополняются в период эксплуатации. Корректировка и дополнение критериальных значений К1 (а в случае необходимости и К2) диагностических показателей выполняется с использованием:

- результатов прогноза, выполненного на основании статистических моделей, сформированных по данным натуральных наблюдений,
- поверочных расчетов по "откалиброванным" на основе натуральных наблюдений детерминистическим математическим моделям, применительно к уточненным расчетным схемам ГТС, уточненным расчетным значениям параметров свойств материалов и пород оснований, а также параметров основного и особого сочетаний нагрузок.

Если вновь полученный результат измерения выходит за границы доверительного интервала это свидетельствует о том, что этот результат не принадлежит к числу данных, описываемых статистической моделью. При уверенности в отсутствии грубой ошибки измерения это является признаком изменения характера процесса, контролируемого данным показателем, что требует принятия мер по выявлению возможных причин этого изменения. Таким образом, прогнозная модель используется в качестве инструмента анализа аномального поведения сооружений (оперативного выявления начала деструктивных процессов и проявлений скрытых дефектов) на самых ранних стадиях их развития.

При оценке состояния ГТС (даже если имеется ряд натуральных данных наблюдений на протяжении длительного периода эксплуатации) не всегда удается выбрать контролируемые показатели из числа измеряемых, исходя из этого условия.

Так, например, проводилась оценка значений уровней воды в 12 исправных пьезометрах, установленных на грунтовой плотине Кумской ГЭС (каскад Нивских ГЭС), за период с 1964 до 2011 г. Корреляционной связи между уровнем воды в приборе и верхнем или нижнем бьефе водохранилища ни для одного пьезометра выявить не удалось. По пьезометрам, установленным на грунтовой плотине Троицкой ГРЭС (Челябинская область) за период 1983–2010 гг. из 16 исправных пьезометров только 3 показывали значения, «реагирующие» на изменение уровня воды в верхнем бьефе, в остальных случаях зависимости ни с

одной из измеряемых параллельно характеристик не наблюдалось. Аналогичная ситуация наблюдалась с оценкой показаний по щелемерам.

Прогноз изменения осадок в период эксплуатации на любой момент времени рекомендуется выполнять по прогнозным моделям, основанным на данных натурных наблюдений. Однако в практике эксплуатации ГТС отмечается, что в некоторых случаях, даже при длительных наблюдениях за осадками, невозможно построить прогнозную регрессионную модель, так как процесс не имеет четко выраженной тенденции. Пример такого случая — осадка водосброса гидроузла на р. Съежа (Калининская АЭС). Таких примеров можно привести множество. В случаях, когда для наблюдаемых по КИА характеристик не выявлено корреляционных связей с уровнем воды в верхнем и нижнем бьефах, температурой воздуха, а также тенденции изменения величины исследуемой характеристики во времени, предполагается, что распределение данной характеристики носит случайный характер, следовательно, в этом случае применим подход, основанный на использовании методов теории вероятности к оценке величины наблюдаемой характеристики. В этом случае при наличии данных наблюдений достаточной продолжительности и однородности ряда наблюдаемого параметра, определение характеристик расчетной вероятности можно осуществить путем применения функций распределения ежегодных вероятностей превышения — кривых обеспеченностей.

При построении регрессионных моделей на примере нескольких параметров Зейской ГЭС, вышеизложенной проблемы не обнаружилось, поэтому вариант построения кривых обеспеченностей не рассматривался. Следовательно, при назначении критериальных значений диагностических параметров использование прогнозных моделей возможно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе рассмотрены вопросы, связанные с диагностикой состояния гидротехнических сооружений.

На примере бетонной плотины Зейской ГЭС рассмотрены основные способы контроля за состоянием ГТС и предложены методы, улучшающие оценку поведения сооружения на основании результатов натуральных наблюдений.

Основные результаты диссертационной работы состоят в следующем:

- Рассмотрена КИА, используемая для мониторинга состояния плотины Зейской ГЭС. Изучены контролируемые и диагностические параметры (количественные и качественные).

- Проведена декомпозиция объекта исследования на несколько иерархических уровней и выбор показателей качества для каждого уровня. Собранные и проанализированные данные натуральных наблюдений плотины Зейской ГЭС свидетельствуют о ее надежной работе на этапе длительной эксплуатации. Разработанная методика обработки данных натуральных наблюдений позволит лучше оценивать состояние сооружения. Определяя к какому уровню иерархии объекта относится параметр, выходящий за пределы прогнозной модели, можно оценить степень опасности выявленного дефекта.

- Построены различные варианты прогнозных математических моделей для изучения перемещений высоконапорной плотины Зейской ГЭС с различными входными воздействиями. Регрессионные модели позволяют отслеживать основные закономерности развития процесса деформации плотины, а также с высокой степенью достоверности прогнозировать поведение сооружения. В качестве перспективы разработанная методика построения прогнозных математических моделей может быть рекомендована к использованию при изучении деформаций плотины.

- Даны рекомендации по контролю и диагностики ГТС, направленные на повышение надежности ГТС, эффективности мониторинга и на увеличение их срока эксплуатации.

Результаты выполненных исследований существенно упрощают оценку технического состояния ГТС и делают ее более объективной, а также уменьшают вероятность аварий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Закон РФ «О безопасности гидротехнических сооружений». № 117–ФЗ. Принят Государственной думой 21.07.1997 г. (ред. от 03.07.2016) [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15265/, свободный.
2. Ляпичев Ю.П. Гидрологическая и техническая безопасность сооружений: Учеб.пособие. – М.: РУДН, 2008. – 222 с.
3. Декларация безопасности ГТС, регистрационный № 14-14(04)0031-00-ГЭС, утвержденная Ростехнадзором 20.02.2014 г. Срок действия до 20.02.2018 г.
4. Аварии на гидротехнических сооружениях [Электронный ресурс]// «cawater-info» -Портал знаний. – Режим доступа свободный: <http://www.cawater-info.net/>,.-Загл. с экрана.
5. ГОСТ Р 22.1.11 – 2002. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования. — Введ. 2003-07-01.— М.: Изд-во стандартов, 2002.— 27 с.
6. СТО 17330282.27.140.004 – 2008. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования. — Введ. 2008-04-15.— М.: Изд-во стандартов, 2008.— 17 с.
7. СТО 70238424.27.140.025-2009 Гидроэлектростанции. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений. Метрологическое обеспечение и оценка технического состояния и работоспособности. Нормы и требования. — Введ. 2009-12-31.— М.: Изд-во стандартов, 2009.— 20 с.
8. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений [Текст] : РД 153-34.2-21.342-00. – М., 2001. – 22 с.
9. Ладенко С.Ю. Применение вероятностных характеристик для назначения критериев безопасности гидротехнических сооружений// Вестник

государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2013. № 1. С. 21-28.

10. Дасаева З.З. Панкова Т.А. Оценка изменения состояния гидротехнических сооружений// Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. Материалы VII очной Международной научно-практической конференции. Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И.Вавилова. 2018. С. 99-101.

11. Волков В.И., Снежко В.Л. Статистические методы определения показателей надежности сооружений низконапорных гидроузлов// Природообустройство. 2017. № 5. С. 20-26.

12. Глазов А.И. Колесников Ю.М., Применение прогнозных статистических моделей для оценки эксплуатационного состояния судоходных гидротехнических сооружений// Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9. № 4. С. 72.

13. Рекомендации по анализу данных и проведению натурных наблюдений за осадками и горизонтальными смещениями бетонных плотин [Текст] // Изв. Всерос. научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева, 2001. – 12 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Расположение КИА в секции 17 (водосливная часть)

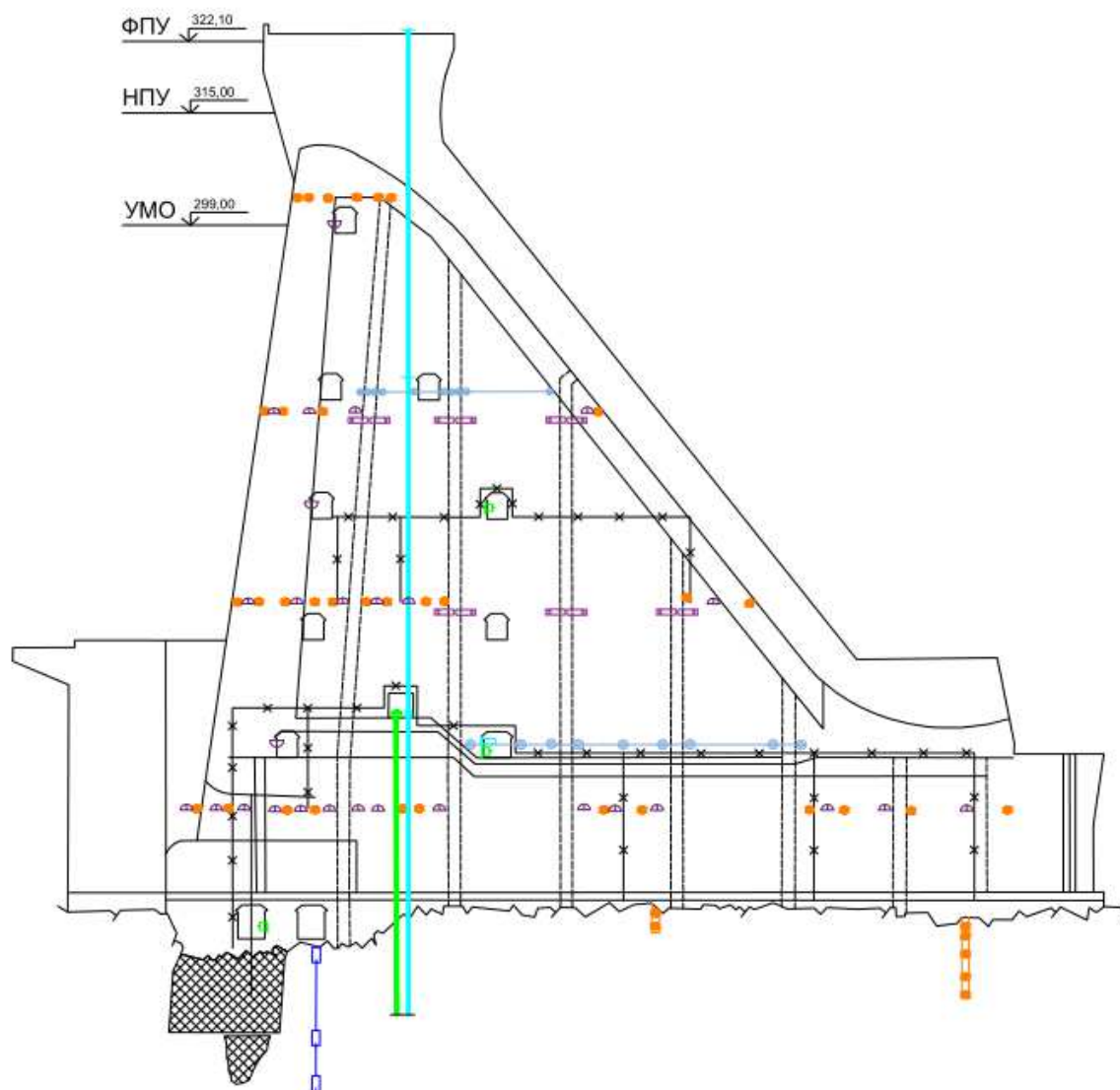


Рисунок А.1 – Расположение КИА в секции 17 (водосливная часть)

Окончание приложения А



Рисунок А.2 – Условные обозначения ,КИА

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблицы диагностических показателей состояния ГТС и их критериальных значений

Таблица Б.1 – Качественные диагностические показатели состояния ГТС Зейской ГЭС и их критерии безопасности

Объект контроля. Наименование ГТС, элемент ГТС	Описание диагностического показателя. Условия нормальной эксплуатации	Критерии безопасности		Текущее эксплуатационное состояние
		K1	K2	
Русло в нижнем бьефе гидроузла	Состояние русла в нижнем бьефе гидроузла. (Нормальное состояние: Деформации дна русла соответствуют проекту и модельным исследованиям)	Расположение формирующейся ямы гашения энергии потока не соответствует безопасному расположению, полученному по результатам модельных исследований (т.е. яма находится на опасном приближении к сооружению)	Не назначается	Нормальное состояние
Береговые примыкания плотины	Состояние береговых примыканий. (Нормальное состояние: Отсутствие появлений новых очагов фильтрации в ходе эксплуатации ГТС, а также новых наледей, образующиеся в зимнее время в новых местах выхода фильтрационных вод. Отсутствие просадок, оползневых явлений и размывов грунта в береговых примыканиях ГТС.)	Появление новых очагов фильтрации в ходе эксплуатации ГТС. Наледи, образующиеся в зимнее время в местах выхода фильтрационных вод комплексного генезиса, зафиксированные до 2013 года, увеличиваются (по визуальной оценке), приобретая вид натечного льда. Образуются новые наледы. Увеличение просадок, оползневых явлений и размывов грунта в береговых примыканиях ГТС, не нарушающих их проектную статическую работу.	Значительное увеличение обводненных участков откосов. Увеличение просадок, оползневых явлений и размывов грунта в береговых примыканиях ГТС, нарушающих их проектную статическую работу.	Нормальное состояние

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

Объект контроля. Наименование ГТС, элемент ГТС	Описание диагностического показателя. Условия нормальной эксплуатации	Критерии безопасности		Текущее эксплуатационное состояние
		К1	К2	
Бетонная плотина. Низовая грань в зоне береговых примыканий.	Состояние низовой грани в зоне береговых примыканий плотины. (Нормальное состояние: Отсутствие появлений новых выходов фильтрационных вод на низовую грань плотины)	Появление новых выходов фильтрационных вод на низовую грань плотины в зоне береговых примыканий плотины	Значительное увеличение обводненных участков низовой грани в зоне береговых примыканий плотины	Нормальное состояние
-Эксплуатационный водоброс. - Здание ГЭС. Затворы, краны, механическое оборудование.	Затворы, краны и прочее механическое оборудование водобросной и станционной частей плотины, здания ГЭС. (Нормальное состояние: Работоспособное состояние и сохранность затворов, а также их пазовых конструкций и уплотнений, кранов и прочего механического оборудования. Протечки через уплотнения затворов не превышают нормативных значений)	Повреждения уплотнений затворов. Ненормативные протечки при посадке затворов на порог. Деформации элементов металлоконструкций. Отсутствие антикоррозийного покрытия элементов металлоконструкций. Существенный коррозионный износ элементов конструкций. Деформации и другие повреждения опорно- ходовых частей и рабочих путей кранов	Отказ затворов, кранов и прочего механического оборудования	Нормальное состояние

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

Объект контроля. Наименование ГТС, элемент ГТС	Описание диагностического показателя. Условия нормальной эксплуатации	Критерии безопасности		Текущее эксплуатационное состояние
		K1	K2	
<p>Бетонная плотина.</p> <p>Водосливная грань плотины в период возможного использования водосброса для пропуска холостых сбросов.</p>	<p>Состояние бетонной поверхности водосливной грани плотины в период возможного использования водосброса для пропуска холостых сбросов.</p> <p>Нормальное состояние: Отсутствие повреждений бетона, как материала (раковин, пустот, отслаивания и выкрашивания бетона, оголения арматуры), не допускающих эксплуатацию водосброса в проектном режиме пропуска расходов в соответствии с действующими правилами использования водных ресурсов Зейского водохранилища</p>	<p>Образование трещин, не нарушающих статическую работу сооружения.</p> <p>Появление повреждений бетона, как материала (раковин, пустот, отслаивания и выкрашивания бетона, оголения арматуры), затрудняющих эксплуатацию водосброса в проектном режиме, но не приводящих к опасному превышению НПУ водохранилища.</p>	<p>Образование трещин и дефектов, нарушающих статическую работу сооружения, затрудняющих эксплуатацию водосброса в проектном режиме, и способных привести к опасному превышению НПУ водохранилища.</p>	<p>Нормальное состояние</p>
<p>- Бетонная плотина.</p> <p>Дренажные галереи №№ 4а, 5а, 6а, 7а, 8, цементационной галереи в теле плотины.</p>	<p>Состояние бетонных поверхностей дренажных галерей №№ 4а, 5а, 6а, 7а, 8, цементационной галереи в теле плотины.</p> <p>Нормальное состояние: Раскрытие трещин, образовавшихся в строительный период, носит сезонный характер. Сезонный установившийся характер фильтрации со стороны верхнего бьефа. Отсутствие значительных протечек со стороны низовой грани</p>	<p>Развитие трещин, образовавшихся в строительный период; нарушение сезонного характера раскрытия трещин строительного периода; образование новых трещин, не нарушающих статическую работу сооружения.</p> <p>Увеличение расходов через швы со стороны верхнего бьефа. Значительные протечки со стороны низовой грани плотины, носящие сезонный характер</p>	<p>Образование трещин, нарушающих статическую работу сооружения.</p> <p>Нарушение сезонного характера и значительный рост расходов через швы со стороны верхнего бьефа и низовой грани</p>	<p>Нормальное состояние</p>

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

Объект контроля. Наименование ГТС, элемент ГТС	Описание диагностического показателя. Условия нормальной эксплуатации	Критерии безопасности		Текущее эксплуатационное состояние
		К1	К2	
Водопроводящий тракт станционной части плотины и здания ГЭС	Состояние железобетонных конструкций и металлоконструкций водопроводящего тракта станционной части плотины и здания ГЭС. Нормальное состояние: Отсутствие повреждений в железобетонных конструкциях и металлоконструкциях водопроводящего тракта, нарушающих его проектную работу.	Появление повреждений в железобетонных конструкциях и металлоконструкциях водопроводящего тракта, нарушающих его работу, но позволяющих продолжать нормальную эксплуатацию ГТС и оборудования.	Появление повреждений в железобетонных конструкциях и металлоконструкциях водопроводящего тракта, нарушающих его работу и не позволяющих продолжать нормальную эксплуатацию ГТС и оборудования.	Нормальное состояние
- Бетонная плотина. - Здание ГЭС. Дренажные устройства.	Работоспособность дренажных устройств плотины, здания ГЭС. Нормальное состояние: Отсутствие засорения, зарастания, промерзания скважин дренажной системы	Локальное засорение, зарастание, промерзание скважин дренажной системы	Прогрессирующее засорение, зарастание, промерзание, приводящее к выходу из строя дренажных скважин, препятствующее нормальной работе дренажной системы	Нормальное состояние

Объект контроля. Наименование ГТС, элемент ГТС	Описание диагностического показателя. Условия нормальной эксплуатации	Критерии безопасности		Текущее эксплуатационное состояние
		K1	K2	
<p>Бетонная плотина.</p> <p>Низовая грань плотины.</p> <p>Разделительные стенки водосброса.</p>	<p>Состояние открытой бетонной поверхности низовой грани плотины; разделительных стенок водосброса.</p> <p>Нормальное состояние: Раскрытие трещин, образовавшихся в строительный период, носит сезонный характер и не препятствует проектной работе водосброса и бетонной плотины в целом. Появление новых дефектов, не препятствующих проектной работе водосброса и бетонной плотины в целом.</p>	<p>Раскрытие трещин и появление новых дефектов, препятствующих проектной работе водосброса и бетонной плотины в целом, но не нарушающих проектную статическую работу сооружения.</p>	<p>Раскрытие трещин и появление новых дефектов, нарушающих проектную статическую работу сооружения</p>	<p>Нормальное состояние</p>

Продолжение приложения Б

Окончание таблицы Б.1

Объект контроля. Наименование ГТС, элемент ГТС	Описание диагностического показателя. Условия нормальной эксплуатации	Критерии безопасности		Текущее эксплуатационное состояние
		K1	K2	
<p>Раздельная и правобережная подпорная стенки в нижнем бьефе</p>	<p>Состояние бетонных поверхностей раздельной стенки и правобережной подпорной стенки.</p> <p>Нормальное состояние: Отсутствие образования новых повреждений поверхности бетона: отслоений и выкрашиваний бетона с образованием значительных раковин, пустот, оголений арматуры и других повреждений, влияющих на устойчивость сопрягающих сооружений</p>	<p>Образование новых повреждений поверхности бетона: отслоений и выкрашиваний бетона с образованием значительных раковин, пустот, оголений арматуры и других повреждений, влияющих на устойчивость сопрягающих сооружений</p>	<p>Не назначается</p>	<p>Нормальное состояние</p>

Объект контроля. Наименование ГТС, элемент ГТС	Описание диагностического показателя. Условия нормальной эксплуатации	Критерии безопасности		Текущее эксплуатационное состояние
		K1	K2	
Раздельная и правобережная подпорная стенки в нижнем бьефе	Состояние межсекционных швов раздельной стенки и правобережной подпорной стенки. Нормальное состояние: Отсутствие отслоений и выкрашиваний бетона в зоне межсекционных швов, свидетельствующих о взаимном смещении секций	Появление отслоений и выкрашиваний бетона в зоне межсекционных швов, свидетельствующих о взаимном смещении секций	Не назначается	Нормальное состояние

Продолжение приложения Б

Таблица Б.2 – Критериальные значения горизонтальных перемещений точек плотины Зейской ГЭС

№ секции, тип и № прибора	Отметка точки наблюдения, м	Контролируемый диагностический показатель	Критериальные значения		Фактическое/ (макс.) значение
			К1, мм	К2, мм	
Секция 17, отвес прямой ОП 11	278	X278_17, Перемещение по оси X относительно отм. 232 м (ОП 11), мм	12,00	15,00	4,70 / 21.01.2010
Секция 17, отвес прямой ОП 12	320	X320_17, Перемещение по оси X относительно отм. 232 м (ОП 12), мм	26,00	40,00	12,23 / 17.02.2010
Секция 25, отвесы обратные СГС_8, СГС_6	269	X269_25, Перемещение по оси X относительно якоря обратного отвеса (СГС 8–СГС 6), мм	27,00	34,00	19,62 / 12.12.2012
Секция 25, отвес обратный СГС_8	299	X299_25, Перемещение по оси X относительно якоря обратного отвеса (СГС_8), мм	34,00	44,00	23,38 / 19.01.2010
Секция 32, отвесы прямой ОП_14 и обратный СГС_9	278	X278_32, Перемещение по оси X относительно якоря обратного отвеса (СГС 9 + ОП 14), мм	15,00	19,00	11,93 / 15.03.2007
Секция 32, отвесы прямой ОП_16 и обратный СГС_9	315	X315_32, Перемещение по оси X относительно якоря обратного отвеса (СГС 9 + ОП 16), мм	30,00	40,00	19,74 / 15.03.2007
Примечание. Ось X направлена по потоку. Правило знаков горизонтальных перемещений следующее: для X плюс – смещение в нижний бьеф, минус – смещение в верхний бьеф					

Таблица Б.3 – Критериальные значения диагностических показателей состояния плотины Зейской ГЭС по показаниям щелемеров

Межсек- ционный шов	Группа №1. Щелемеры в галерее 4а	Группа №2. Щелемеры в галерее 8	Группа №3. Щелемеры в коридоре на отм. 315,25	Группа №4. Комбинированные показания щелемеров
м/1			Щ315_1	
2/3			Щ315_2	
3/4		Щ298_1	Щ315_3	(Щ298_1+Щ315_3)/2
4/5		Щ298_2	Щ315_4	(Щ298_2+Щ315_4)/2
5/6		Щ298_3	Щ315_5	(Щ298_3+Щ315_5)/2
6/7		Щ298_4	Щ315_6	(Щ298_4+Щ315_6)/2
7/8		Щ298_5	Щ315_7	(Щ298_5+Щ315_7)/2
8/9		Щ298_6	Щ315_8	(Щ298_6+Щ315_8)/2
9/10	Щ232_1	Щ298_7	Щ315_9	(Щ232_1+Щ298_7+Щ315_9)/3
10/11	Щ232_2	Щ298_8	Щ315_10	(Щ232_2+Щ298_8+Щ315_10)/3
11/12	Щ232_3	Щ298_9	Щ315_11	(Щ232_3+Щ298_9+Щ315_11)/3
12/13	Щ232_4	Щ298_10		(Щ232_4+Щ298_10)/2
13/14	Щ232_5	Щ298_11		(Щ232_5+Щ298_11)/2
14/15	Щ232_6	Щ298_12		(Щ232_6+Щ298_12)/2

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.3

Межсекционный шов	Группа №1. Щелемеры в галерее 4а	Группа №2. Щелемеры в галерее 8	Группа №3. Щелемеры в коридоре на отм. 315,25	Группа №4. Комбинированные показания щелемеров
15/16	Щ232_7	Щ298_13		(Щ232_7+Щ298_13)/2
16/17	Щ232_8	Щ298_14		(Щ232_8+Щ298_14)/2
17/18	Щ232_9	Щ298_15		(Щ232_9+Щ298_15)/2
18/19	Щ232_10	Щ298_16		(Щ232_10+Щ298_16)/2
19/20	Щ232_12	Щ298_17		(Щ232_12+Щ298_17)/2
20/21	Щ232_14	Щ298_18		(Щ232_14+Щ298_18)/2
21/22	Щ232_16		Щ315_12	(Щ232_16+Щ315_12)/2
22/23	Щ232_18	Щ298_19	Щ315_13	(Щ232_18+Щ298_19+Щ315_13)/3
23/24	Щ232_20	Щ298_20	Щ315_14	(Щ232_20+Щ298_20+Щ315_14)/3
24/25	Щ232_21	Щ298_21	Щ315_15	(Щ232_21+Щ298_21+Щ315_15)/3
25/26	Щ232_22	Щ298_22	Щ315_16	(Щ232_22+Щ298_22+Щ315_16)/3
26/27	Щ232_24	Щ298_23	Щ315_17	(Щ232_24+Щ298_23+Щ315_17)/3
27/28	Щ232_25	Щ298_24	Щ315_18	(Щ232_25+Щ298_24+Щ315_18)/3
28/29	Щ232_26	Щ298_25	Щ315_19	(Щ232_26+Щ298_25+Щ315_19)/3
29/30	Щ232_27	Щ298_26	Щ315_20	(Щ232_27+Щ298_26+Щ315_20)/3
30/31	Щ232_28	Щ298_27	Щ315_21	(Щ232_28+Щ298_27+Щ315_21)/3
31/32	Щ232_29	Щ298_28	Щ315_22	(Щ232_29+Щ298_28+Щ315_22)/3
32/33		Щ298_29	Щ315_23	(Щ298_29+Щ315_23)/2
33/34		Щ298_30	Щ315_24	(Щ298_30+Щ315_24)/2
34/35		Щ298_31	Щ315_25	(Щ298_31+Щ315_25)/2
35/36		Щ298_32	Щ315_26	(Щ298_32+Щ315_26)/2
36/37		Щ298_33	Щ315_27	(Щ298_33+Щ315_27)/2
37/38		Щ298_34	Щ315_28	(Щ298_34+Щ315_28)/2
38/39		Щ298_35	Щ315_29	(Щ298_35+Щ315_29)/2
39/40			Щ315_30	
40/41			Щ315_31	
41/42			Щ315_32	
42/43			Щ315_33	
К1, мм	2,1	3,9	6,1	3,4
К2, мм	10	10	10	10

Таблица Б.4 –Критериальные значения дренажных расходов в основании плотины

Элемент ГТС	Контролируемый диагностический показатель	Критериальные значения	
		К1,	К2
1Галерея 2, Секции 10–15	V1_33, Суммарный расход дренажа, л/с	20	Не назначается
2Галерея 2, Секции 15–17	V34_43, Суммарный расход дренажа, л/с		
3Галерея 2, Секции 20–25	V62_99, Суммарный расход дренажа, л/с		
4Галерея 2, Секции 25–27	V100_113, Суммарный расход дренажа, л/с		
5Галерея 2, Секции 27–32	V114_140, Суммарный расход дренажа, л/с		

Продолжение приложения Б

Таблица Б.5 – Критериальные значения пьезометрических уровней в контактных и глубинных пьезометрах в основании плотины Зейской ГЭС

Тип плотины	Часть плотины	№ секции	№ пьезометра	Тип пьезометра	Критериальные значения		Максимальное наблюдаемое значение
					К1	К2	
Гравитационная	Правобережная	c2	П65_c2	безнап.	306,0	307,0	304,3
		c3	П64_c3	безнап.	302,0	303,0	295,8
			П63_c3	безнап.	296,0	297,0	283,6
		c4	П62_c4	безнап.	280,0	281,0	275,7
		c5	П58_c5	безнап.	270,0	271,0	265,9
			П59_c5	напорн.**	315,0	316,0	312,9
			П60_c5	безнап.	270,0	271,0	254,4
			П61_c5	безнап.	270,0	271,0	265,9
		c6	П57_c6	безнап.	260,0	261,0	255,9
c7	П56_c7	безнап.	249,0	250,0	246,3		
c8	П55_c8	безнап.	249,0	250,0	244,2		
c9	П54_c9	безнап.	242,0	244,0	226,4		
Массивно-контрфорсная	Водобросная	c10	П01_c10	безнап.*	228,0	235,0	210,2
			П02_c10	безнап.*	228,0	235,0	210,4
		c11	П03_c11	безнап.	228,0	235,0	210,3
		c12	П04_c12	безнап.	228,0	235,0	210,3
		c13	П05_c13	безнап.	228,0	235,0	210,0
		c14	П06_c14	безнап.	228,0	235,0	210,3
		c15	П07_c15	безнап.	228,0	235,0	210,0
		c16	П08_c16	безнап.	228,0	235,0	210,0
		c17	П09_c17	напорн.**	274,0	282,0	212,0
	П10_c17		безнап.*	228,0	235,0	210,0	
	П11_c17		напорн.*	228,0	235,0	222,3	
	П12_c17		безнап.	228,0	235,0	217,8	
	c18	П13_c18	безнап.	228,0	235,0	210,5	
	c19	П14_c19	безнап.	228,0	235,0	210,5	
	c20	П17_c20	безнап.	228,0	235,0	210,4	
	Стационарная	c22	П19_c22	безнап.	228,0	235,0	213,6
		c23	П20_c23	безнап.	228,0	235,0	213,7
		c24	П21_c24	безнап.	228,0	235,0	213,7
c25		П22_c25	напорн.**	274,0	282,0	225,4	
		П23_c25	напорн.*	228,0	235,0	225,2	
		П24_c25	безнап.*	228,0	235,0	214,0	
		П25_c25	безнап.	228,0	235,0	213,8	
c26		П26_c26	безнап.	228,0	235,0	213,9	
c27	П27_c27	безнап.	228,0	235,0	213,9		

Продолжение приложения Б
Окончание таблицы Б.5

Тип плотины	Часть плотины	№ секции	№ пьезометра	Тип пьезометра	Критериальные значения		Максимальное наблюденное значение
					К1	К2	
Массивно-контрфорсная	Левобережная	с28	П29_с28	безнап.	228,0	235,0	213,8
		с29	П30_с29	безнап.	228,0	235,0	214,4
		с30	П31_с30	безнап.	228,0	235,0	216,1
		с31	П32_с31	безнап.	228,0	235,0	218,6
		с32	П33_с32	напорн. **	305,0	311,0	232,9
			П34_с32	напорн. *	228,0	235,0	225,9
			П35_с32	безнап.	228,0	235,0	219,9
			П36_с32	безнап.	228,0	235,0	219,9
		с33	П37_с32	безнап.	228,0	235,0	223,4
			П39_с33	безнап.	228,0	235,0	220,6
		с34	П40_с34	безнап.	235,0	239,0	229,1
			П41_с34	безнап.	241,0	242,0	234,5
		с35	П42_с35	безнап.	252,0	253,0	250,3
		с37	П43_с37	безнап.	264,0	265,0	258,0
			П44_с37	безнап.	264,0	265,0	232,6
			П45_с37	безнап.	264,0	265,0	261,1
		Гравитационная	с39	П46_с39	безнап.	285,0	286,0
П47_с39	безнап.			285,0	286,0	280,7	
П48_с39	безнап.			290,0	291,0	267,4	
П49_с39	безнап.			285,0	286,0	281,2	
с40	П50_с40		безнап.	293,0	294,0	285,2	
с41	П51_с41		безнап.	307,0	310,0	302,4	
с42	П52_с42		напорно-безнап.	319,0	320,0	302,2	
	П53_с42	напорно-безнап.	319,0	320,0	316,5		

Таблица Б.6 – Критериальные значения пьезометрических уровней в пьезометрах обходной фильтрации в береговых примыканиях плотины Зейской ГЭС (по условию заглубления фильтрационного потока под дневную поверхность грунта)

Объект контроля	№ пьезометра	Тип пьезометра	Критериальные значения (по условию заглубления фильтрационного потока), м				Максимальное наблюденное значение
			К1_ зима	К1_ лето	К2_ зима	К2_ лето	
Правый берег	П1_ОФ	безнап.	321,0	322,5	322,5	323,0	320,1
	П2_ОФ	безнап.	321,0	322,5	322,5	323,0	317,8
	П3_ОФ	безнап.	295,0	295,0	296,0	296,0	294,0
	П4_ОФ	безнап.	244,0	244,0	245,0	245,0	243,1
	П5_ОФ	безнап.	243,0	243,0	244,0	244,0	242,0
	П6_ОФ	безнап.	321,5	323,0	323,0	323,5	292,2
	П7_ОФ	безнап.	296,0	296,0	297,0	297,0	295,1

Продолжение приложения Б
Окончание таблицы Б.6

Объект контроля	№ пьезометра	Тип пьезометра	Критериальные значения (по условию заглубления фильтрационного потока), м				Максимальное наблюденное значение
			К1_ зима	К1_ лето	К2_ зима	К2_ лето	
Левый берег	П10_ОФ	безнап.	323,0	323,0	324,0	324,0	321,4
	П11_ОФ	безнап.	292,0	293,5	293,2	293,7	291,0
	П12_ОФ	безнап.	229,0	229,0	235,0	235,0	226,5
	П13_ОФ	безнап.	229,0	229,0	235,0	235,0	227,1
	П14_ОФ	безнап.	236,5	238,0	238,0	238,5	224,2
	П15_ОФ	безнап.	320,5	322,0	322,0	322,5	319,5
	П17_ОФ	безнап.	230,0	230,0	235,0	235,0	226,9
	П18_ОФ	безнап.	230,0	230,0	235,0	235,0	224,5
	П19_ОФ	безнап.	237,0	238,5	238,5	239,0	225,4
	П20_ОФ	безнап.	316,5	318,0	318,0	318,5	287,9
	П21_ОФ	безнап.	288,5	290,0	290,0	290,5	243,5
	П22_ОФ	безнап.	230,0	230,0	235,0	235,0	226,9
	П23_ОФ	безнап.	230,0	230,0	235,0	235,0	227,5
	П24_ОФ	безнап.	235,5	237,0	237,0	237,5	224,6

Таблица Б.7 – Критериальные значения показателей состояния раздельной стенки в нижнем бьефе

Приращение разности высотных отметок марок по разные стороны межсекционных швов раздельной стенки	Ед. измер.	Максимальное наблюденное значение	К1	К2
Марки 3 и 4	мм	0,2	7	20
Марки 5 и 6		0,3		
Марки 7 и 8		0,2		
Марки 9 и 10		0,2		
Марки 11 и 12		0,2		
Марки 13 и 14		0,3		
Марки 15 и 16		0,3		
Марки 17 и 18		0,5		

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Послойное сжатие основания

Таблица В.1 – Изменения отметок глубинных реперов, измеряемые на отметке 232

Дата	Секция 17 (Зона 1)			Секция 25 (Зона 2)			Секция 32 (Зона 3)								
	1_2	1_3	1_4	2_2	2_3	2_4	3_2	3_3	3_4	4_10	4_11	4_12	5_6	5_7	5_8
27.04.2011	-0,90	-2,61	-2,79	-1,51	1,40	-1,30	0,70	0,40	0,31	-0,50	-2,40	-2,88	-3,31	2,50	-1,91
28.10.2011	-0,81	-2,61	-2,70	-1,51	1,21	-1,30	0,70	0,40	0,31	-0,50	-2,40	-2,88	-3,20	2,70	-1,91
06.04.2012	-0,90	-2,61	-2,70	-1,51	1,21	-1,30	0,70	0,40	0,31	-0,40	-2,40	-2,88	-3,42	2,59	-1,80
15.10.2012	-0,50	-2,61	-2,70	-1,51	1,21	-1,30	0,70	0,40	0,31	-0,40	-2,40	-2,88	-3,42	2,59	-1,80
05.04.2013	-0,70	-2,61	-2,70	-1,51	1,21	-1,30	0,70	0,40	0,31	-0,40	-2,40	-2,88	-3,42	2,59	-1,91
11.11.2013	-0,90	-2,61	-2,79	-1,60	1,10	-1,30	0,50	0,31	0,31	-0,50	-2,40	-2,88	-3,42	2,50	-2,00
04.04.2014	-1,01	-2,61	-2,79	-1,60	1,10	-1,30	0,60	0,31	0,31	-0,40	-2,30	-2,88	-3,42	2,40	-2,00
07.10.2014	-0,90	-2,61	-2,79	-1,60	1,10	-1,30	0,50	0,31	0,31	-0,50	-2,40	-2,88	-3,31	2,59	-1,91
17.04.2015	-0,81	-2,70	-2,79	-1,71	1,10	-1,40	0,60	0,31	0,31	-0,31	-2,30	-2,88	-3,42	2,40	-2,00
14.10.2015	-0,90	-2,61	-2,90	-1,71	1,10	-1,30	0,50	0,31	0,20	-0,40	-2,40	-2,88	-3,31	2,59	-2,00
15.04.2016	-0,90	-2,61	-2,79	-1,71	0,99	-1,30	0,60	0,31	0,31	-0,31	-2,30	-2,79	-3,42	2,40	-2,11
03.10.2016	-0,81	-2,70	-2,79	-1,71	1,10	-1,30	0,50	0,20	0,31	-0,50	-2,30	-2,88	-3,42	2,40	-1,91
09.03.2017	-0,90	-2,50	-2,70	-1,60	1,10	-1,30	0,50	0,31	0,31	-0,40	-2,50	-2,79	-3,51	2,40	-1,80
19.10.2017	-0,90	-2,70	-2,79	-1,71	1,10	-1,30	0,50	0,31	0,31	-0,50	-2,30	-2,88	-3,20	2,50	-2,00
24.04.2018	-0,81	-2,70	-2,90	-1,60	0,99	-1,30	0,60	0,31	0,31	-0,40	-2,30	-2,88	-3,42	2,40	-2,00
25.10.2018	-0,90	-2,61	-2,79	-1,71	1,10	-1,40	0,60	0,31	0,31	-0,40	-2,40	-2,88	-3,31	2,50	-2,00
12.04.2019	-1,01	-2,70	-2,79	-1,60	1,10	-1,30	0,70	0,31	0,31	-0,31	-2,30	-2,88	-3,42	2,29	-2,00

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Измеритель горизонтальных смещений (ИГС)

Таблица Г.1 – Измеритель горизонтальных смещений (Зона 1,2,3)

Дата	ИГС_17	ИГС_25-1	ИГС_32
17.01.2011	-1,76	-2,29	-1,88
12.04.2011	-1,63	-2,09	-1,60
19.07.2011	-1,49	-1,20	-1,10
21.10.2011	-1,66	-1,59	-1,40
16.01.2012	-1,83	-1,99	-1,40
04.04.2012	-1,58	-1,92	-1,36
11.07.2012	-1,60	-1,59	-1,21
15.10.2012	-1,76	-2,05	-1,69
18.01.2013	-1,86	-2,55	-1,58
01.04.2013	-1,73	-2,54	-1,40
11.07.2013	-1,72	-2,41	-1,34
14.08.2013	-1,91	-2,50	-1,40
18.10.2013	-1,84	-2,47	-1,68
31.01.2014	-2,00	-2,55	-1,41
03.04.2014	-1,56	-2,57	-1,43
11.07.2014	-1,96	-1,84	-1,45
21.10.2014	-1,46	-1,74	-1,20
15.01.2015	-1,87	-2,15	-1,38
10.04.2015	-1,78	-2,06	-1,55
17.07.2015	-1,93	-1,60	-1,48
15.10.2015	-1,48	-1,85	-1,44
15.01.2016	-1,85	-2,33	-1,43
20.04.2016	-1,52	-1,97	-1,37
15.07.2016	-1,80	-2,25	-1,30
04.10.2016	-1,83	-2,49	-1,60
19.01.2017	-1,54	-2,25	-1,58
21.04.2017	-1,36	-1,75	-1,35
20.07.2017	-1,79	-1,79	-1,58
05.10.2017	-1,64	-1,59	-1,78
12.01.2018	-2,04	-1,64	-1,26
26.04.2018	-2,06	-2,33	-1,44
06.07.2018	-1,87	-1,99	-1,36
23.10.2018	-1,44	-1,79	-1,59
30.01.2019	-1,77	-1,65	-1,26
09.04.2019	-1,61	-2,52	-1,28

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Наблюдения по прямым отвесам (ОП)

Таблица Д.1 – Горизонтальные смещения секций вдоль и поперек потока, измеряемые по прямым отвесам

Дата	С17, отм.277м (з13)		С17, отм.323м (з17)		С32, отм.262м (з9)		С32, отм.277м (з15)		С32, отм.298м (з19)		С32, отм.315м (з19)	
	ОП_11_x	ОП_11_y	ОП_12_x	ОП_12_y	ОП_13_x	ОП_13_y	ОП_14_x	ОП_14_y	ОП_15_x	ОП_15_y	ОП_16_x	ОП_16_y
16.01.2013	4,09	-0,22	12,00	0,25	3,39	0,74	6,92	-0,12	10,60	-0,83	14,21	-2,07
14.02.2013	4,49	-0,42	11,88	-0,18	3,44	0,51	7,09	-0,37	10,69	-1,01	14,36	-2,32
15.03.2013	4,04	-0,35	10,60	-0,40	3,43	0,73	7,32	-0,23	10,45	-0,86	14,24	-1,99
04.04.2013	4,07	-0,30	8,63	-0,73	3,28	0,76	6,80	-0,07	9,84	-0,51	12,87	-1,72
08.05.2013	3,47	-0,30	3,83	-1,10	2,91	0,58	6,02	-0,10	8,40	-0,65	9,41	-2,07
21.06.2013	2,79	-0,87	-0,52	-0,88	2,79	0,58	5,65	-0,18	7,05	-0,51	7,31	-1,97
17.07.2013	2,35	0,00	-2,47	-0,50	2,56	0,68	5,37	-0,12	6,55	-0,33	6,49	-2,01
13.08.2013	2,89	-0,05	1,66	0,03	2,84	0,76	5,84	-0,20	7,79	-0,90	8,87	-2,17
10.09.2013	3,05	0,13	2,70	0,37	2,86	0,76	5,85	-0,18	7,50	-0,60	8,31	-2,21
17.10.2013	3,49	0,03	6,40	0,00	3,08	0,74	6,30	-0,50	9,22	-0,96	11,46	-2,56
19.11.2013	4,30	0,12	9,00	0,32	3,29	0,74	6,70	-0,20	9,77	-0,51	12,32	-2,06
12.12.2013	4,47	0,23	10,41	-0,03	3,28	1,23	6,85	-0,07	9,75	-0,35	12,66	-1,66
16.01.2014	4,50	0,07	11,65	-0,03	3,43	1,08	6,99	-0,23	10,00	-0,51	13,27	-1,86
13.02.2014	4,64	0,12	11,73	-0,35	3,43	1,11	7,04	-0,12	10,27	-0,48	13,76	-1,56
13.03.2014	4,49	0,02	9,60	-0,97	3,26	1,11	6,85	0,18	10,22	-0,21	13,12	-1,44
15.04.2014	3,57	-0,20	4,95	-1,03	3,16	0,83	6,19	-0,02	8,39	-0,31	9,59	-1,59
14.05.2014	2,85	-0,18	0,93	-0,55	2,64	1,23	5,54	0,22	7,04	0,12	7,56	-1,24
20.06.2014	1,82	-0,07	-2,85	-0,48	2,51	1,09	4,92	0,05	5,64	0,12	5,21	-1,46
09.07.2014	1,82	-0,12	-3,14	-0,17	2,43	1,13	4,84	-0,03	5,62	-0,26	5,54	-1,97
22.08.2014	1,04	-0,02	-5,70	0,03	2,03	1,14	4,17	0,02	4,45	-0,31	3,84	-2,02
10.09.2014	1,29	-0,57	-5,04	-0,25	2,01	0,56	4,24	-0,15	4,57	-0,35	4,01	-2,22
23.10.2014	2,67	-0,20	3,06	0,02	2,38	1,01	5,12	0,03	6,89	-0,25	8,14	-2,16

Продолжение приложения Д
Продолжение таблицы Д.1

Дата	С17, отм.277м (з13)		С17, отм.323м (з17)		С32, отм.262м (з9)		С32, отм.277м (з15)		С32, отм.298м (з19)		С32, отм.315м (з19)	
	ОП_11_x	ОП_11_y	ОП_12_x	ОП_12_y	ОП_13_x	ОП_13_y	ОП_14_x	ОП_14_y	ОП_15_x	ОП_15_y	ОП_16_x	ОП_16_y
13.11.2014	2,72	-0,40	4,71	0,15	2,59	0,91	5,39	-0,48	7,69	-0,18	9,06	-1,47
11.12.2014	2,72	-0,57	6,50	-0,38	2,93	0,91	5,79	-0,27	8,07	-0,13	9,92	-1,42
16.01.2015	3,32	-0,32	7,46	-0,35	3,13	0,76	6,24	-0,33	9,07	-0,18	11,47	-1,46
12.02.2015	3,40	-0,53	8,00	-0,45	3,14	0,99	6,62	-0,40	10,14	-0,10	12,72	-1,37
12.03.2015	3,25	-0,45	6,88	-0,68	3,23	0,56	6,40	-0,60	9,64	-0,25	11,94	-1,54
15.04.2015	2,70	-0,70	4,73	-1,20	3,06	0,43	5,99	-0,48	8,52	-0,21	10,29	-1,22
08.05.2015	3,07	-0,55	3,85	-1,07	2,96	1,09	6,00	-0,33	8,42	0,00	9,59	-1,26
19.06.2015	1,52	-0,73	-2,65	-1,00	2,78	1,03	5,89	-0,23	6,15	0,20	5,77	-1,42
16.07.2015	0,84	-0,22	-5,64	-0,15	2,01	0,99	4,20	-0,17	4,99	-0,21	3,91	-1,61
18.08.2015	0,62	-0,77	-5,72	-0,28	2,03	0,78	4,15	-0,35	4,62	-0,15	3,84	-1,76
15.09.2015	1,09	-0,58	-3,80	-0,70	1,93	0,41	4,04	-0,58	5,00	-0,30	4,71	-1,94
14.10.2015	1,77	-0,55	0,60	-0,47	2,09	0,48	4,65	-0,55	6,29	-0,28	6,82	-1,91
13.11.2015	2,30	-0,55	3,71	-0,45	2,49	0,31	5,05	-0,65	7,10	-0,23	8,27	-1,76
14.12.2015	2,65	-0,55	5,90	-0,18	2,83	0,41	5,40	-0,62	7,70	-0,18	9,54	-1,64
14.01.2016	2,95	-0,53	7,01	-0,53	2,79	0,99	5,79	-0,33	8,30	-0,20	10,56	-1,87
12.02.2016	2,65	-0,82	7,96	-0,83	3,01	0,58	6,15	-0,65	9,02	-0,46	12,04	-1,81
11.03.2016	3,24	-0,70	6,96	-1,05	2,94	0,91	6,12	-0,35	8,94	0,02	11,51	-1,27
12.04.2016	2,67	-0,65	3,95	-1,02	2,64	0,73	5,74	-0,42	8,22	-0,16	9,76	-1,24
16.05.2016	2,32	-0,88	1,40	-1,05	2,63	0,88	5,59	-0,52	7,59	0,35	8,27	-0,97
16.06.2016	1,84	-0,40	-1,20	-0,48	2,46	1,13	5,34	-0,20	7,02	0,32	6,77	-1,09
12.07.2016	1,39	-0,38	-2,45	-0,07	2,49	0,69	5,20	-0,38	6,92	0,04	6,62	-1,47
16.08.2016	1,55	-0,38	-1,29	0,05	2,68	1,36	5,30	-0,42	7,64	-0,20	7,86	-2,06
09.09.2016	1,34	-0,57	0,75	-0,45	2,81	0,26	5,69	-0,82	8,09	-0,51	9,12	-2,12
07.10.2016	2,62	-0,63	3,51	-0,10	2,91	0,41	5,90	-0,43	9,09	-0,35	10,47	-1,91
15.11.2016	3,29	-0,52	8,31	-0,10	3,26	0,73	6,60	-0,37	10,12	-0,13	12,46	-1,42

Продолжение приложения Д
Продолжение таблицы Д.1

Дата	С17, отм.277м (з13)		С17, отм.323м (з17)		С32, отм.262м (з9)		С32, отм.277м (з15)		С32, отм.298м (з19)		С32, отм.315м (з19)	
	ОП_11_x	ОП_11_y	ОП_12_x	ОП_12_y	ОП_13_x	ОП_13_y	ОП_14_x	ОП_14_y	ОП_15_x	ОП_15_y	ОП_16_x	ОП_16_y
15.12.2016	3,59	-0,42	10,01	-0,22	3,51	0,74	6,90	-0,33	10,50	0,02	13,41	-1,39
16.01.2017	3,85	-0,78	10,70	-0,32	3,61	1,03	7,17	-0,27	11,02	-0,08	14,22	-1,09
10.02.2017	3,92	-0,40	10,41	-0,55	3,61	1,01	7,24	-0,13	11,09	-0,15	14,42	-1,16
16.03.2017	3,70	-0,28	8,28	-1,05	3,44	0,91	6,87	-0,08	10,57	-0,18	13,16	-1,12
20.04.2017	2,79	-0,62	4,31	-1,28	3,01	1,11	6,20	0,10	9,10	0,42	10,26	-0,89
17.05.2017	2,59	-0,68	2,10	-1,35	2,99	1,04	5,89	0,13	8,32	0,57	8,77	-0,69
15.06.2017	1,72	-0,68	-1,94	-0,77	2,78	0,93	5,42	-0,12	7,12	0,29	6,71	-1,02
17.07.2017	1,14	-0,33	-4,40	-0,38	2,34	1,38	4,85	-0,07	6,05	0,15	5,27	-1,27
10.08.2017	1,59	-0,65	-2,29	-0,72	3,04	0,81	5,67	-0,38	7,95	-0,40	8,29	-1,52
29.09.2017	1,79	-0,37	0,48	-0,33	2,79	0,31	5,44	-0,82	7,54	-0,23	8,09	-2,01
24.10.2017	2,30	-0,40	4,01	0,17	2,69	0,93	5,64	-0,03	8,54	0,05	9,79	-1,29
16.11.2017	2,67	-0,23	6,00	0,17	2,96	0,84	6,05	-0,28	8,99	0,04	10,59	-1,17
12.12.2017	3,14	-0,35	8,28	-0,07	2,99	0,81	6,32	-0,38	9,54	-0,45	12,06	-1,16
15.01.2018	3,60	-0,33	9,48	0,17	3,41	0,69	6,82	-0,37	10,59	-0,01	13,31	-1,19
14.02.2018	3,70	-0,28	10,20	-0,37	3,66	0,74	7,10	-0,03	11,34	0,10	14,64	-1,21
14.03.2018	3,35	-0,32	9,00	-0,57	3,64	0,88	7,14	-0,15	11,64	-0,11	13,97	-1,29
18.04.2018	3,04	-0,57	4,25	-1,13	3,23	0,94	6,57	-0,03	9,52	0,30	10,79	-0,87
14.05.2018	2,55	-0,53	0,46	-0,73	3,01	0,98	5,97	-0,07	8,29	0,50	8,17	-0,74
09.06.2018	1,80	-0,53	-1,52	-0,72	2,91	0,78	5,49	0,10	7,30	0,39	6,99	-0,77
19.07.2018	1,34	-0,37	-2,65	-0,67	2,44	0,73	5,30	-0,03	6,54	0,32	6,37	-1,29
17.08.2018	0,50	-0,60	-5,12	-0,77	2,19	0,94	4,79	-0,17	5,74	0,04	5,92	-1,54
26.09.2018	0,97	-0,30	-0,92	-0,55	2,51	0,98	5,15	-0,18	7,12	0,02	7,69	-1,49
19.10.2018	1,80	-0,18	1,73	-0,17	2,58	1,03	5,69	-0,17	8,20	0,04	9,07	-1,52
16.11.2018	2,50	-0,20	4,98	0,33	2,74	0,88	5,94	-0,02	8,79	0,00	10,47	-1,21
14.12.2018	3,04	-0,53	7,61	0,07	3,09	0,93	6,40	-0,28	9,42	-0,10	11,76	-1,39

Окончание приложения Д
Окончание таблицы Д.1

Дата	С17, отм.277м (з13)		С17, отм.323м (з17)		С32, отм.262м (з9)		С32, отм.277м (з15)		С32, отм.298м (з19)		С32, отм.315м (з19)	
	ОП_11_x	ОП_11_y	ОП_12_x	ОП_12_y	ОП_13_x	ОП_13_y	ОП_14_x	ОП_14_y	ОП_15_x	ОП_15_y	ОП_16_x	ОП_16_y
16.01.2018	3,22	-0,40	8,86	-0,12	3,23	0,98	6,77	-0,15	10,50	0,00	12,97	-1,52
14.02.2019	3,52	-0,40	8,76	-0,18	3,46	0,91	7,29	-0,30	10,77	0,07	13,47	-1,22
14.03.2019	3,19	-0,72	7,31	-0,53	3,53	0,63	7,00	-0,37	10,52	-0,18	12,57	-1,22
15.04.2019	2,77	-0,55	4,35	-0,77	2,96	1,08	6,20	0,08	9,35	0,15	10,47	-1,14
15.05.2019	2,34	-0,45	1,66	-1,32	2,69	1,09	6,05	-0,02	8,49	0,24	8,62	-0,94

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
Наблюдения по щелемерам (ЩНТУ)

Таблица Е.1 – Раскрытие (закрытие), поворот, вертикальные перемещения по температурно-осадочным швам между секциями, измеряемые щелемерам

Дата	с.31/32, отм.232			с.31/32, отм.262			с.31/32, отм.298			с.31/32, отм.315		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
23.01.2013	-0,16	-0,63	0,47	-1,03	1,34	0,48	-0,42	0,37	-0,32	-0,03	0,05	0,08
18.02.2013	-0,17	-0,53	0,47	-0,97	1,51	0,49	-0,42	0,42	-0,29	0,01	0,09	0,08
25.03.2013	-0,17	-0,48	0,47	-1,02	1,53	0,51	-0,42	0,42	-0,27	0,08	-0,20	0,06
17.04.2013	-0,24	-0,54	0,44	-1,00	1,46	0,43	-0,50	0,46	-0,32	0,01	-0,37	0,04
13.05.2013	-0,15	-0,52	0,47	-0,96	1,44	0,36	-0,53	0,54	-0,29	0,10	-0,77	-0,16
19.06.2013	-0,20	-0,58	0,45	-0,98	1,36	0,44	-0,50	0,47	-0,31	0,06	-1,10	-0,21
18.07.2013	-0,16	-0,67	0,47	-0,95	1,23	0,44	-0,43	0,23	-0,28	0,10	-1,53	-0,31
13.08.2013	-0,19	-0,64	0,47	-1,06	1,04	0,49	-0,40	0,17	-0,27	0,23	-1,52	-0,25
09.09.2013	-0,14	-0,66	0,46	-0,90	1,07	0,46	-0,39	0,19	-0,30	0,25	-1,54	-0,23
23.10.2013	-0,15	-0,62	0,47	-0,92	1,21	0,54	-0,40	0,19	-0,28	0,18	-1,05	-0,14
20.11.2013	-0,15	-0,66	0,47	-1,02	1,24	0,52	-0,41	0,24	-0,26	0,11	-0,56	-0,05
18.12.2013	-0,19	-0,60	0,49	-1,00	1,24	0,44	-0,42	0,38	-0,31	0,01	0,12	0,02
22.01.2014	-0,18	-0,58	0,47	-0,99	1,36	0,48	-0,47	0,52	-0,30	-0,01	0,31	0,01
18.02.2014	-0,22	-0,55	0,48	-1,03	1,42	0,50	-0,48	0,62	-0,32	0,09	0,51	0,05
24.03.2014	-0,16	-0,55	0,48	-0,99	1,46	0,51	-0,51	0,62	-0,27	0,25	-0,37	0,06
17.04.2014	-0,08	-0,53	0,46	-0,98	1,49	0,51	-0,49	0,64	-0,19	0,19	-0,77	-0,03
15.05.2014	-0,25	-0,58	0,45	-1,08	1,34	0,43	-0,56	0,58	-0,34	0,19	-1,22	-0,16
18.06.2014	-0,19	-0,61	0,49	-1,01	1,38	0,50	-0,50	0,59	-0,31	0,28	-1,40	-0,14
16.07.2014	-0,20	-0,70	0,43	-0,97	1,19	0,50	-0,49	0,25	-0,31	0,23	-1,64	-0,31
20.08.2014	-0,18	-0,66	0,50	-0,95	1,09	0,49	-0,52	0,21	-0,29	0,29	-1,67	-0,21
15.09.2014	-0,16	-0,65	0,55	-0,90	1,04	0,54	-0,43	0,20	-0,27	0,31	-1,51	-0,13

Продолжение приложения Е

Продолжение таблицы Е.1

Дата	с.31/32, отм.232			с.31/32, отм.262			с.31/32, отм.298			с.31/32, отм.315		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
23.10.2014	-0,18	-0,67	0,45	-0,93	1,15	0,53	-0,43	0,21	-0,29	0,22	-1,14	-0,16
19.11.2014	-0,18	-0,64	0,47	-0,96	1,23	0,44	-0,41	0,14	-0,32	0,09	-0,76	-0,06
17.12.2014	-0,19	-0,61	0,47	-1,00	1,28	0,42	-0,45	0,23	-0,29	0,13	-0,39	-0,02
21.01.2015	-0,28	-0,57	0,34	-0,98	1,45	0,48	-0,46	0,32	-0,23	0,06	-0,18	0,12
16.02.2015	-0,18	-0,54	0,47	-0,99	1,51	0,55	-0,46	0,45	-0,25	0,09	-0,29	0,20
18.03.2015	-0,17	-0,60	0,46	-1,04	1,51	0,51	-0,47	0,39	-0,28	0,14	-0,59	0,15
15.04.2015	-0,18	-0,70	0,49	-0,99	1,39	0,56	-0,46	0,47	-0,27	0,11	-0,84	0,03
18.05.2015	-0,23	-0,63	0,43	-1,05	1,37	0,43	-0,57	0,49	-0,33	0,11	-1,19	-0,21
17.06.2015	-0,20	-0,60	0,48	-0,97	1,39	0,52	-0,50	0,58	-0,25	0,25	-1,28	-0,21
15.07.2015	-0,15	-0,63	0,51	-0,94	1,25	0,52	-0,48	0,37	-0,23	0,28	-1,52	-0,25
17.08.2015	-0,15	-0,70	0,50	-0,91	1,13	0,52	-0,42	0,35	-0,17	0,27	-1,60	-0,21
21.09.2015	-0,11	-0,56	0,59	-0,89	1,16	0,58	-0,34	0,29	-0,19	0,27	-1,46	-0,14
19.10.2015	-0,17	-0,54	0,54	-0,93	1,21	0,54	-0,40	0,28	-0,25	0,23	-1,18	-0,12
18.11.2015	-0,19	-0,64	0,45	-1,00	1,24	0,47	-0,44	0,17	-0,29	0,19	-0,80	-0,15
21.12.2015	-0,14	-0,55	0,51	-1,03	1,41	0,56	-0,47	0,29	-0,26	0,10	-0,11	0,09
20.01.2016	-0,13	-0,57	0,53	-0,97	1,51	0,52	-0,39	0,39	-0,26	0,08	0,07	0,14
18.02.2016	-0,12	-0,48	0,50	-0,97	1,60	0,55	-0,45	0,43	-0,27	0,06	0,11	0,11
21.03.2016	-0,14	-0,45	0,50	-1,10	1,65	0,56	-0,43	0,55	-0,26	0,12	-0,30	0,10
14.04.2016	-0,17	-0,44	0,52	-0,94	1,64	0,60	-0,47	0,59	-0,17	0,11	-0,65	0,10
16.05.2016	-0,19	-0,43	0,53	-0,98	1,55	0,57	-0,47	0,61	-0,23	0,13	-0,96	-0,02
20.06.2016	-0,27	-0,54	0,48	-1,00	1,45	0,53	-0,48	0,58	-0,31	0,26	-1,20	-0,16
19.07.2016	-0,12	-0,63	0,54	-0,91	1,35	0,50	-0,51	0,46	-0,29	0,26	-1,36	-0,23
22.08.2016	-0,14	-0,66	0,54	-0,94	1,21	0,58	-0,45	0,34	-0,23	0,26	-1,41	-0,14
23.09.2016	-0,14	-0,57	0,54	-0,93	1,25	0,58	-0,55	0,22	-0,33	0,24	-1,32	-0,11
25.10.2016	-0,10	-0,61	0,50	-0,91	1,25	0,50	-0,64	0,33	-0,29	0,18	-0,91	-0,14

Продолжение приложения Е

Продолжение таблицы Е.1

Дата	с.31/32, отм.232			с.31/32, отм.262			с.31/32, отм.298			с.31/32, отм.315		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
21.11.2016	-0,08	-0,57	0,47	-0,93	1,29	0,56	-0,40	0,34	-0,26	0,14	-0,52	-0,05
19.12.2016	-0,15	-0,53	0,50	-0,97	1,40	0,57	-0,47	0,38	-0,29	0,12	-0,18	0,00
16.01.2017	-0,08	-0,53	0,54	-0,95	1,55	0,58	-0,45	0,43	-0,26	0,10	-0,09	0,14
13.02.2017	-0,16	-0,46	0,49	-0,97	1,57	0,53	-0,43	0,45	-0,37	0,14	-0,28	0,19
20.03.2017	-0,15	-0,46	0,54	-0,98	1,59	0,57	-0,44	0,52	-0,28	0,20	-0,63	0,05
24.04.2017	-0,12	-0,53	0,51	-0,98	1,58	0,52	-0,46	0,53	-0,25	0,21	-0,91	-0,02
19.06.2017	-0,09	-0,50	0,57	-0,96	1,57	0,59	-0,47	0,59	-0,34	0,21	-1,01	-0,05
17.07.2017	-0,05	-0,59	0,51	-0,98	1,50	0,60	-0,50	0,67	-0,22	0,25	-1,15	-0,08
22.08.2017	-0,02	-0,61	0,53	-0,93	1,29	0,57	-0,42	0,32	-0,31	0,26	-1,50	-0,25
20.09.2017	-0,03	-0,59	0,56	-0,99	1,18	0,52	-0,43	0,22	-0,26	0,27	-1,53	-0,22
18.10.2017	-0,04	-0,59	0,51	-0,90	1,21	0,59	-0,41	0,28	-0,24	0,24	-1,35	-0,11
20.11.2017	-0,03	-0,56	0,52	-0,89	1,18	0,55	-0,39	0,25	-0,28	0,25	-1,10	-0,18
20.12.2017	-0,03	-0,51	0,58	-0,94	1,30	0,55	-0,42	0,29	-0,30	0,13	-0,43	0,00
19.01.2018	-0,03	-0,49	0,54	-0,93	1,49	0,62	-0,40	0,35	-0,25	0,09	-0,03	0,21
20.02.2018	-0,03	-0,42	0,55	-0,95	1,58	0,58	-0,42	0,38	-0,26	0,05	0,06	0,22
19.03.2018	-0,03	-0,39	0,58	-0,95	1,68	0,61	-0,42	0,47	-0,29	0,11	0,05	0,29
18.04.2018	-0,06	-0,40	0,53	-0,95	1,73	0,59	-0,43	0,53	-0,26	0,15	-0,24	0,22
21.05.2018	-0,01	-0,41	0,58	-0,96	1,65	0,55	-0,46	0,57	-0,22	0,15	-0,83	0,01
18.06.2018	-0,05	-0,49	0,51	-0,97	1,56	0,57	-0,47	0,58	-0,28	0,21	-1,02	-0,03
23.07.2018	-0,07	-0,53	0,56	-0,96	1,49	0,54	-0,47	0,52	-0,31	0,25	-1,18	-0,07
23.08.2018	-0,10	-0,58	0,54	-0,90	1,35	0,61	-0,44	0,33	-0,30	0,29	-1,39	-0,11
20.09.2018	-0,11	-0,57	0,53	-0,87	1,25	0,58	-0,40	0,30	-0,26	0,29	-1,47	-0,14
22.10.2018	-0,12	-0,57	0,56	-0,91	1,23	0,58	-0,46	0,29	-0,25	0,26	-1,37	-0,09
20.11.2018	-0,11	-0,55	0,54	-0,93	1,27	0,57	-0,43	0,29	-0,26	0,22	-1,22	-0,04
20.12.2018	-0,10	-0,55	0,53	-0,94	1,32	0,59	-0,41	0,30	-0,29	0,19	-0,76	0,03

Окончание приложения Е

Окончание таблицы Е.1

Дата	с.31/32, отм.232			с.31/32, отм.262			с.31/32, отм.298			с.31/32, отм.315		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
21.01.2019	-0,14	-0,49	0,55	-0,98	1,44	0,52	-0,44	0,31	-0,25	0,11	-0,15	0,13
20.02.2019	-0,09	-0,42	0,60	-0,97	1,55	0,53	-0,46	0,38	-0,27	0,04	0,14	0,15
20.03.2019	-0,12	-0,46	0,53	-0,98	1,62	0,53	-0,48	0,42	-0,34	0,00	0,13	0,30
16.04.2019	-0,16	-0,46	0,57	-0,98	1,59	0,55	-0,46	0,45	-0,23	0,09	-0,39	0,20
20.05.2019	-0,14	-0,45	0,58	-0,95	1,60	0,59	-0,52	0,40	-0,32	0,07	-0,74	0,07

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
Наблюдения по ДКИА

Таблица Ж.1 – Изменение деформаций плотины, по показаниям телетензометров

Дата	ТТ1012	ТТ1017	ТТ1018	ТТ1035	ТТ1038	ТТ1048	Дата	ТТ1012	ТТ1017	ТТ1018	ТТ1035	ТТ1038	ТТ1048
11.01.2011	9,3E-05	1,443E-05	9,64E-05	0,00020	4,667E-06	0,0001268	04.12.2014	9,0E-05	1,443E-05	9,61E-05	0,00019	2,885E-06	0,0001245
08.02.2011	9,2E-05	1,398E-05	9,48E-05	0,00020	2,885E-06	0,0001279	14.01.2015	8,9E-05	1,286E-05	9,26E-05	0,00020	-8,852E-07	0,0001271
09.03.2011	9,0E-05	1,443E-05	9,36E-05	0,00020	6,646E-07	0,0001302	06.02.2015	8,9E-05	1,286E-05	9,22E-05	0,00020	-1,769E-06	0,0001279
07.04.2011	8,8E-05	1,713E-05	9,50E-05	0,00021	4,89E-06	0,0001306	11.03.2015	8,8E-05	1,443E-05	9,33E-05	0,00021	-2,213E-07	0,0001283
10.05.2011	8,7E-05	1,961E-05	9,80E-05	0,00021	1,049E-05	0,0001291	07.04.2015	8,7E-05	1,6E-05	9,48E-05	0,00021	1,996E-06	0,0001279
14.06.2011	8,4E-05	2,211E-05	1,01E-04	0,00021	1,569E-05	0,0001268	06.05.2015	8,7E-05	1,668E-05	9,64E-05	0,00021	3,776E-06	0,0001275
12.07.2011	8,6E-05	2,393E-05	1,03E-04	0,00020	2,002E-05	0,0001245	09.06.2015	8,4E-05	1,825E-05	9,87E-05	0,00021	7,35E-06	0,000126
11.08.2011	8,8E-05	2,347E-05	1,05E-04	0,00019	2,162E-05	0,0001222	02.07.2015	8,3E-05	2,006E-05	1,01E-04	0,00020	1,162E-05	0,0001241
01.09.2011	8,7E-05	2,233E-05	1,05E-04	0,00018	2,07E-05	0,0001218	10.08.2015	8,4E-05	2,165E-05	1,03E-04	0,00019	1,524E-05	0,0001214
10.10.2011	8,9E-05	1,825E-05	9,98E-05	0,00018	1,252E-05	0,0001233	03.09.2015	8,5E-05	2,12E-05	1,04E-04	0,00019	1,592E-05	0,0001203
08.11.2011	8,8E-05	1,713E-05	9,77E-05	0,00018	1,004E-05	0,0001241	05.10.2015	8,7E-05	1,848E-05	1,01E-04	0,00018	1,049E-05	0,0001203
09.12.2011	9,0E-05	1,533E-05	9,52E-05	0,00019	7,35E-06	0,0001252	10.11.2015	8,6E-05	1,6E-05	9,80E-05	0,00018	7,126E-06	0,0001214
10.01.2012	9,0E-05	1,42E-05	9,29E-05	0,00020	3,108E-06	0,0001275	02.12.2015	8,8E-05	1,465E-05	9,59E-05	0,00019	3,776E-06	0,0001222
09.02.2012	8,8E-05	1,398E-05	9,06E-05	0,00020	-8,852E-07	0,0001302	12.01.2016	8,7E-05	1,263E-05	9,24E-05	0,00020	-1,106E-06	0,0001249
11.03.2012	8,7E-05	1,555E-05	9,08E-05	0,00021	6,646E-07	0,0001318	08.02.2016	8,7E-05	1,263E-05	9,15E-05	0,00020	-2,872E-06	0,0001264
09.04.2012	8,5E-05	1,78E-05	9,27E-05	0,00021	3,776E-06	0,0001322	09.03.2016	8,6E-05	1,331E-05	9,11E-05	0,00020	-3,533E-06	0,0001279
12.05.2012	8,3E-05	2,052E-05	9,62E-05	0,00022	9,369E-06	0,0001314	22.03.2016	8,6E-05	1,443E-05	9,17E-05	0,00021	-2,431E-06	0,0001279
09.06.2012	8,2E-05	2,188E-05	9,89E-05	0,00021	1,365E-05	0,0001298	06.04.2016	8,5E-05	1,533E-05	9,27E-05	0,00021	-8,852E-07	0,0001275
16.07.2012	8,3E-05	2,393E-05	1,03E-04	0,00020	2,048E-05	0,0001256	05.12.2016	8,9E-05	1,152E-05	9,66E-05	0,00019	-2,21E-06	0,0001245
08.08.2012	8,4E-05	2,347E-05	1,05E-04	0,00019	2,139E-05	0,0001245	12.01.2017	8,7E-05	1,04E-05	9,36E-05	0,00020	-6,389E-06	0,0001271
05.09.2012	8,7E-05	1,848E-05	1,04E-04	0,00019	1,501E-05	0,0001249	03.02.2017	8,7E-05	1,062E-05	9,31E-05	0,00020	-7,047E-06	0,0001279
17.10.2012	8,7E-05	1,488E-05	1,02E-04	0,00019	9,369E-06	0,0001252	06.03.2017	8,6E-05	1,174E-05	9,31E-05	0,00021	-6,17E-06	0,0001287
12.11.2012	8,8E-05	1,375E-05	1,00E-04	0,00019	7,798E-06	0,0001256	06.04.2017	8,3E-05	1,533E-05	9,57E-05	0,00021	-6,639E-07	0,0001275

Окончание приложения Ж

Окончание таблицы Ж.1

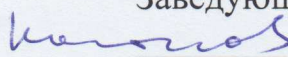
Дата	ТТ1012	ТТ1017	ТТ1018	ТТ1035	ТТ1038	ТТ1048	Дата	ТТ1012	ТТ1017	ТТ1018	ТТ1035	ТТ1038	ТТ1048
10.12.2012	9,0E-05	1,286E-05	9,82E-05	0,00020	3,776E-06	0,0001268	11.05.2017	8,3E-05	1,735E-05	9,80E-05	0,00021	2,885E-06	0,0001264
18.01.2013	9,0E-05	1,129E-05	9,50E-05	0,00020	-1,106E-06	0,0001295	08.06.2017	8,2E-05	1,758E-05	9,89E-05	0,00021	4,221E-06	0,000126
08.02.2013	8,9E-05	1,219E-05	9,38E-05	0,00020	-1,548E-06	0,0001302	04.07.2017	8,0E-05	1,984E-05	1,01E-04	0,00020	1,004E-05	0,0001237
11.03.2013	8,7E-05	1,375E-05	9,47E-05	0,00021	-4,427E-07	0,0001314	08.08.2017	8,1E-05	2,029E-05	1,03E-04	0,00019	1,23E-05	0,0001214
08.04.2013	8,5E-05	1,623E-05	9,59E-05	0,00021	2,663E-06	0,000131	05.09.2017	8,4E-05	1,825E-05	1,03E-04	0,00019	1,049E-05	0,0001206
07.05.2013	8,4E-05	1,916E-05	9,87E-05	0,00022	7,35E-06	0,0001295	03.10.2017	8,5E-05	1,533E-05	1,00E-04	0,00018	4,667E-06	0,0001214
14.06.2013	8,9E-05	1,961E-05	1,04E-04	0,00021	1,072E-05	0,0001302	07.11.2017	8,6E-05	1,331E-05	9,78E-05	0,00019	2,44E-06	0,0001218
01.07.2013	8,7E-05	2,165E-05	1,06E-04	0,00020	1,524E-05	0,0001279	04.12.2017	8,6E-05	1,085E-05	9,45E-05	0,00019	-3,753E-06	0,0001241
08.08.2013	9,0E-05	1,803E-05	1,09E-04	0,00020	1,637E-05	0,000126	11.01.2018	8,7E-05	9,507E-06	9,15E-05	0,00020	-7,047E-06	0,0001264
04.09.2013	8,7E-05	1,825E-05	1,06E-04	0,00019	1,388E-05	0,0001229	12.02.2018	8,6E-05	9,73E-06	8,99E-05	0,00021	-9,451E-06	0,0001287
08.10.2013	8,9E-05	1,578E-05	1,02E-04	0,00019	6,007E-06	0,0001249	05.03.2018	8,4E-05	1,152E-05	9,11E-05	0,00021	-6,827E-06	0,0001295
07.11.2013	8,9E-05	1,488E-05	1,00E-04	0,00019	4,444E-06	0,0001256	06.04.2018	8,3E-05	1,375E-05	9,33E-05	0,00022	-3,093E-06	0,0001291
06.12.2013	9,0E-05	1,353E-05	9,89E-05	0,00020	3,776E-06	0,000126	07.05.2018	8,1E-05	1,668E-05	9,62E-05	0,00022	1,552E-06	0,0001279
13.01.2014	9,1E-05	1,219E-05	9,59E-05	0,00020	-6,639E-07	0,0001279	09.06.2018	8,0E-05	1,893E-05	9,84E-05	0,00021	6,007E-06	0,000126
05.02.2014	9,0E-05	1,219E-05	9,45E-05	0,00020	-2,652E-06	0,0001291	04.07.2018	7,8E-05	2,006E-05	1,00E-04	0,00020	8,92E-06	0,0001245
12.03.2014	9,0E-05	1,398E-05	9,45E-05	0,00021	-1,548E-06	0,0001302	07.08.2018	7,9E-05	2,052E-05	1,02E-04	0,00019	1,185E-05	0,0001222
04.04.2014	9,0E-05	1,668E-05	9,64E-05	0,00021	2,44E-06	0,0001295	04.09.2018	8,1E-05	2,006E-05	1,03E-04	0,00019	1,207E-05	0,0001206
05.05.2014	8,8E-05	1,961E-05	9,91E-05	0,00021	7,126E-06	0,0001283	05.10.2018	8,2E-05	1,758E-05	1,01E-04	0,00019	7,35E-06	0,000121
09.06.2014	8,6E-05	2,12E-05	1,01E-04	0,00021	1,139E-05	0,0001264	09.11.2018	8,1E-05	1,465E-05	9,73E-05	0,00019	1,552E-06	0,0001222
03.07.2014	8,4E-05	2,301E-05	1,03E-04	0,00020	1,524E-05	0,0001241	05.12.2018	8,3E-05	1,308E-05	9,55E-05	0,00019	-1,106E-06	0,0001237
12.08.2014	8,5E-05	2,188E-05	1,05E-04	0,00019	1,683E-05	0,0001222	11.01.2019	8,4E-05	1,107E-05	9,20E-05	0,00020	-5,731E-06	0,000126
05.09.2014	8,7E-05	2,165E-05	1,05E-04	0,00019	1,706E-05	0,0001206	04.02.2019	8,4E-05	1,085E-05	9,11E-05	0,00020	-7,047E-06	0,0001271
06.10.2014	8,8E-05	1,825E-05	1,02E-04	0,00018	9,819E-06	0,0001218	06.03.2019	8,4E-05	1,174E-05	9,13E-05	0,00021	-6,608E-06	0,0001279
11.11.2014	8,7E-05	1,578E-05	9,85E-05	0,00019	6,902E-06	0,0001229	02.04.2019	8,1E-05	1,375E-05	9,33E-05	0,00021	-2,431E-06	0,0001279

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Саяно-Шушенский филиал
институт

Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и
электрических сетей
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

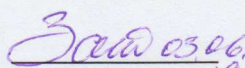
 М. В. Кочетков
подпись инициалы, фамилия
« 13 » июня 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Диагностика состояния плотины гидроэлектростанции.
Разработка критериев безопасности**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
13.04.02.06 Гидроэлектростанции


Научный
руководитель


подпись, дата 19

Директор СШФ СФУ, к.т.н.
должность, ученая степень


Е.Ю. Затеева
инициалы, фамилия

Выпускник

 03.06.19
подпись, дата

А.В. Козлова
инициалы, фамилия


Рецензент

 03.06.19
подпись, дата

Инженер СМОиГТС Филиал
ПАО «РусГидро»-«Зейская
ГЭС»
должность

А.А.Росихин
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 13.06.19
подпись, дата

А.А. Чабанова
инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2019