



XVI

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
ВНИИГ

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА. ГИДРОТЕХНИКА

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ
И ТЕХНОЛОГИИ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Акционерное общество
«Всероссийский научно-исследовательский институт
гидротехники имени Б.Е. Веденеева»



**ШЕСТНАДЦАТАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ГИДРОЭНЕРГЕТИКА
ГИДРОТЕХНИКА**
Новые разработки и технологии

ТЕЗИСЫ

Санкт-Петербург
2024

УДК 626/627 (06)

ББК 38.77



Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии: тезисы докладов шестнадцатой научно-технической конференции. Санкт-Петербург: АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2024.

ISBN 978-5-85529-223-7

В сборнике представлены тезисы докладов XVI научно-технической конференции **«Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии»** (30 октября – 1 ноября 2024 года, Санкт-Петербург). Тематика материалов охватывает широкий спектр вопросов в области проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений и объектов энергетики.

Сборник предназначен для специалистов гидроэлектростанций, тепловых, атомных станций, строительных компаний, проектных и научных институтов, вузов и других организаций, работающих в сфере энергетики и гидротехники. Может быть интересен научным работникам, аспирантам и студентам по профилю «Гидротехническое строительство» и «Энергетика».

Материалы изложены в авторской редакции с минимальными техническими исправлениями.

ISBN 978-5-85529-223-7

© Авторы докладов, 2024
© АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2024

Секция

Оборудование ГЭС и ГТС

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

В.В. Белобородов¹

Наиболее ответственными элементами главной схемы электрических соединений Саяно-Шушенской ГЭС являются силовые трансформаторы типа ОРЦ-533000/500, от надежности работы которых зависит возможность обеспечения бесперебойной выдачи электроэнергии в Единую энергосистему. В настоящей работе предпринята попытка предложить комплексный подход к оценке их технического состояния на основании опыта эксплуатации трансформаторов производства ЧАО «Запорожский трансформаторный завод» (Украина), АО «СВЭЛ» (г. Екатеринбург) и ООО «Невский трансформатор» (Санкт-Петербург).

Опыт эксплуатации силовых трансформаторов показывает, что выполнение всего комплекса мероприятий по контролю технического состояния силовых трансформаторов, регламентированных требованиями действующих НТД, не гарантирует их безаварийной работы. В работе выполнена классификация выявленных в процессе эксплуатации дефектов, предложены методы их диагностирования и минимизации негативных последствий.

К основным дефектам, напрямую влияющим на надежность работы силовых трансформаторов, в первую очередь, необходимо отнести заводские дефекты изготовления (дефекты провода, применяемого для изготовления обмоток, дефекты паяных соединений, наличие замыканий в магнитной системе и общая культура производственных процессов на заводе-изготовителе). Большое значение имеет наличие внешних неблагоприятных факторов, существенно влияющих на работу изоляции. Наиболее значимыми из них являются высокочастотные резонансные перенапряжения, снижение которых является необходимым и требует применения специальных технических средств.

В процессе эксплуатации одним из наиболее достоверных способов оценки технического состояния трансформатора является хроматографический анализ растворенных в масле газов, однако выявление причин отклонений и локализации дефектов представляет известные сложности. С целью своевременной оценки состояния магнитопровода предлагается помимо измерения потерь холостого хода на пониженном напряжении использование метода частотного отклика (FRA) с последующей математической обработкой результатов.

¹ Начальник Службы мониторинга оборудования, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И ЗАЩИТА ОТ НИХ НА ОБОРУДОВАНИИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

Н.А. Иванов¹, А.В. Голдун²

При операциях с коммутационными аппаратами и коротких замыканиях в распределительных устройствах в результате переходных процессов возникают высокочастотные коммутационные перенапряжения (ВЧКП) с различными амплитудно-частотными и фазо-частотными характеристиками. ВЧКП инициируют внешние и внутренние резонансные процессы в оборудовании, сопровождающиеся значительным увеличением амплитуды и изменением формы ВЧКП. В результате воздействия ВЧКП может происходить частичное или полное повреждение изоляции оборудования.

На Саяно-Шушенской ГЭС была проведена реконструкция ОРУ-500 кВ с установкой КРУЭ-500 кВ и кабельных вставок. После этого была авария с повреждением трансформатора Т5. По результатам расследования аварии было выдвинуто предположение, что причиной повреждения Т5 являлось воздействие ВЧКП на изоляцию трансформатора.

Регистрация ВЧКП на одном из трансформаторов в 2019 г. показала, что при коммутациях в КРУЭ 500 кВ на стороне 15,75 кВ могут быть резонансные ВЧКП с амплитудой более 50 кВ.

Было принято решение по проведению расчетно-экспериментальных исследований ВЧКП и разработке мероприятий по снижению уровней перенапряжений до безопасных значений. Были установлены регистраторы ВЧКП на всех блочных трансформаторах Т1-Т5 (на стороне 500 и 15,75 кВ), а также на порталах кабельных линий КЛ-Т1 – КЛ-Т5. Расчеты проводились с помощью программы АТР-ЕМТР.

В 2023 г. при ударе молнии в портал перекидки блока Т3 на ОРУ 500кВ из-за обратного перекрытия с портала на провод фазы С произошло однофазное короткое замыкание (КЗ). Действием дифференциальной защиты перекидки Т3 отключился блок Т3. Также сработала дифференциальная защита трансформатора Т2 и отключился блок Т2. Блок Т3 был введен в работу после замены гирлянды изоляторов на фазе С на портале.

На блоке Т2 повредился трансформатор фаза С. Было установлено, что при КЗ из-за ВЧКП на обмотке НН1 Т2 произошло межвитковое замыкание перешедшее в двухфазное КЗ.

По результатам проведенных расчетно-экспериментальных исследований были определены амплитудно-частотные ВЧКП и параметры РС-цепочек для защиты от ВЧКП.

В конце 2023 г. были установлены РС-цепочки на стороне низкого напряжения на всех обмотках трансформаторов Т1-Т5 для защиты от ВЧКП. По результатам регистрации ВЧКП за 9 месяцев получена эффективность снижения уровня ВЧКП в 2–4 раза.

¹ Инженер по наладке и испытаниям 1 категории, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»

² Инженер, ООО «НПФ ЭЛНАП»

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛАВНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВОТКИНСКОЙ ГЭС

А.Ю. Ленков¹, А.А. Никонов²

1. Проблемы в работе новых трансформаторов, возникшие в процессе эксплуатации:
Рост концентраций окиси углерода и двуокиси углерода в масле из баков трансформаторов.

Рост общего газосодержания масла.

2. В целях решения данных проблем совместно с заводом-изготовителем разработан и проведен ряд мероприятий.

3. Замечания, выявленные в ходе реализации мероприятий:

затруднен или отсутствует проток масла через часть адсорбционных фильтров. Произведена ревизия фланцев фильтров и устранена несоосность отверстий для протока масла. Проток масла восстановлен;

выявлены локальные нагревы в зоне разъёма бака. Произведена установка шунтирующих перемычек в местах нагревов. Зоны локальных нагревов ликвидированы;

выявлено, что процесс газообразования СО и СО₂ в масле не связан с ростом ОГС;

выявлено несоответствие материала гибких оболочек условиям эксплуатации. Материал теряет эластичность и прочность после длительного соприкосновения с маслом;

выявлено, что материалы, применяемые в конструкции трансформатора (картон, гетинакс, гибкая оболочка), при нагревании выделяют в масло газы СО и СО₂. Результаты нагрева образцов показывают, что наибольший рост концентрации СО₂ наблюдается при нагреве образцов гибкой оболочки расширителя и образцов гетинакса, а наибольший рост концентрации СО наблюдается при нагреве образцов картона и гетинакса. Также значительно ухудшается тангенс угла диэлектрических потерь масла с образцом гибкой оболочки.

4. Результаты исследования и принятые решения.

Проведены исследования с целью выявления причин роста концентраций газов СО, СО₂ и ОГС в масле из баков трансформаторов.

Выявлено неудовлетворительное состояние гибких оболочек расширителей. Принято решение о замене всех гибких оболочек на оболочки другого производителя с применением другого материала. Ожидаемый эффект: остановка роста общего газосодержания.

Опыты с нагревом различных образцов указывают на влияние электротехнического картона, гетинакса и гибкой оболочки на рост концентраций газов СО и СО₂. Для окончательного вывода о причинах роста газов СО и СО₂ необходимо продолжить исследования. Ожидаемый эффект: выявление материала, генерирующего СО и СО₂.

Перед применением в конструкции трансформаторов различных материалов заводам целесообразно проводить их исследование на соответствие условиям эксплуатации и сохранения свойств материалов в процессе эксплуатации. Проводить проверку материалов на внесение искажений в диагностическую информацию.

¹ Начальник службы мониторинга оборудования и гидротехнических сооружений, филиал ПАО «РусГидро» – «Воткинская ГЭС»

² Заместитель главного инженера по технической части, филиал ПАО «РусГидро» – «Воткинская ГЭС»

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ ПРОДУКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

И.П. Кобыльсков¹

В настоящее время актуальнейшей задачей является обеспечение работоспособности техники с оптимизацией затрат на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР). По мнению специалистов, основной причиной выхода из строя деталей машин в эксплуатации является изнашиваемость поверхностей трения.

В докладе представлены технология управления износом и сопутствующая триботехническая продукция, обеспечивающие требуемый уровень надежности функционирования технологического оборудования. Промышленный вариант этой технологии защищен патентом на изобретение Российской Федерации и получил название «РВС-технология».

РВС-технология (патент РФ № 2266979) – безразборная технология восстановления и улучшения характеристик машин и механизмов без вывода из эксплуатации с использованием ремонтно-восстановительных составов (РВС), реализующих эффекты восстановления и «безызноса» в парах трения.

Инновационность и преимущества РВС-технологии перед традиционными способами обслуживания и ремонта техники заключаются:

- в обеспечении комплексного решения вопросов повестки ESG;
- в кардинальном снижении затрат на обеспечение жизненного цикла оборудования – окупаемость затрат составляет от 2-х недель до 6-и месяцев в зависимости от типа оборудования, его исходного состояния, условий эксплуатации и выбранного критерия.

Представлены результаты лабораторных, стендовых и натурных испытаний продукции на основе РВС-технологии и системных практических работ на оборудовании предприятий промышленности, энергетики и транспорта:

- снижение коэффициента трения в 5–9 раз;
- продление периода нормальной эксплуатации оборудования;
- экономические эффекты.

Высокая технико-экономическая эффективность РВС-технологии и потенциал возможностей в импортозамещении позволяет предложить ее в качестве инструментария для мероприятий повышения эффективности операционных расходов Группы РусГидро и успешного решения других задач повестки устойчивого развития (повестка ESG).

- Системный подход к использованию РВС-технологии обеспечит Группе РусГидро: повышение надежности функционирования технологического оборудования;
- оптимизацию затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт;
- улучшение условий труда обслуживающего персонала.

¹ Канд. техн. наук, заместитель генерального директора, ООО «НПК Русспромремонт»

ПОВЫШЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМА ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

М.О. Перцевой¹, А.А. Ачитаев²

Современные электроэнергетические системы (ЭЭС) требуют бесперебойного поступления электроэнергии от производителя к потребителю, а именно соблюдения баланса между выработкой и потреблением электроэнергии. Наиболее перспективной технологией на данный момент является создание автоматизированных гибридных энергокомплексов (АГЭК) на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), поскольку согласно 21-ой сессии конференции сторон рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP21) страны, принимавшие участие в данной сессии, обязаны сокращать выбросы углекислого газа. Стоит отметить, что применение нетрадиционных ВИЭ позволяет сократить вредные выбросы в атмосферу. По состоянию на 2023 г. доля электроэнергии нетрадиционных ВИЭ в России составляет 0,8 % от общей выработки электроэнергии, но, согласно распоряжению правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р, доля нетрадиционных ВИЭ к 2025 г. должна составить 3–5 %. АГЭК основаны на базе солнечных панелей, дизельных генераторов, ветрогенераторов, мини-ГЭС и инвертора для преобразования постоянного тока в переменный. Кроме того, такая изолированная энергосистема, как энергосистема Якутии, обладает высоким показателем солнечной инсоляции. Однако применению солнечных панелей в АГЭК препятствуют следующие недостатки: нестабильность выработки электроэнергии и безынерционность системы. В отличие от синхронных генераторов (СГ), ВИЭ не обладают вращающейся массой, что приводит к возмущениям частоты в ЭЭС, следовательно, к нарушению режима работы электростанций, снижению КПД агрегатов, снижению производительности на предприятиях и увеличению потерь в сети. Именно поэтому важное значение имеет частотное регулирование изолированных ЭЭС. Кроме того, ещё одной проблемой стал режим работы инвертора, ведомый сетью, который работает только на сеть и не может формировать режим её работы. Решением данной проблемы является внедрение в АГЭК комплекса систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) и применение метода виртуального синхронного генератора (ВСГ), благодаря которому безынерционными машинам придают свойства СГ при помощи алгоритмов управления инверторов, работающих в режиме «ведущий» посредством имитации инерционных свойств СГ. В статье подробно описаны проблема изменения частоты изолированных ЭЭС, в состав которых входят нетрадиционные возобновляемые источники энергии, математическая модель ВСГ, а также тесты, показывающие разницу между изменениями частоты ЭЭС без учёта ВСГ и с учётом его интеграции. Целью статьи является описание проблемы низкоинерционных машин для изолированных ЭЭС, математической модели ВСГ, разницы изменений контролируемых параметров ЭЭС между АГЭК, содержащих ВСГ, и не имеющим алгоритм управления инвертором АГЭК и обоснование выбора СНЭЭ.

¹ Студент 3 курса Саяно-Шушенского филиала СФУ

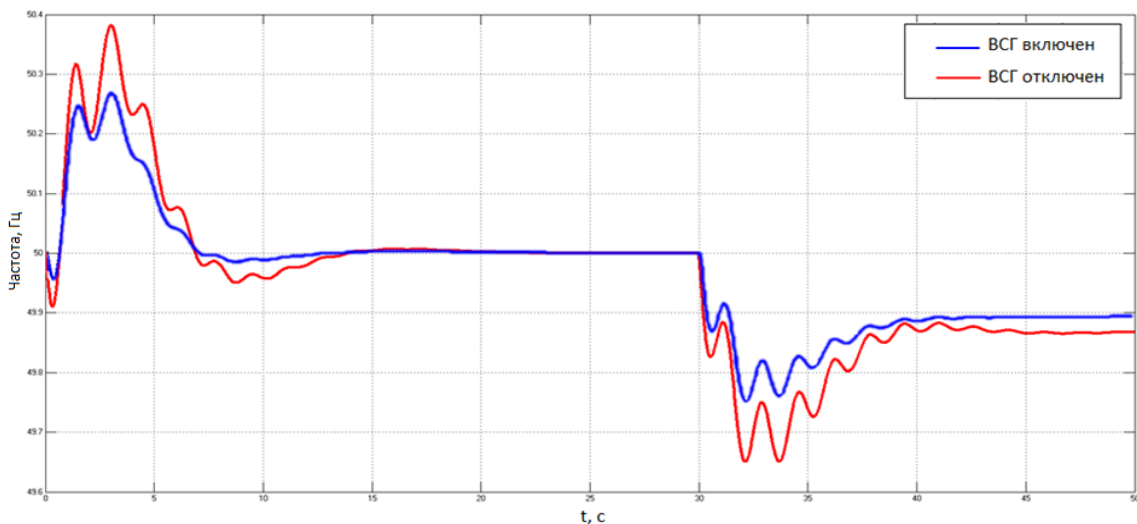
² Канд. техн. наук, доцент, ведущий специалист департамента инновационного развития ГГЭЭС Саяно-Шушенского филиала СФУ

Анализ проблематики

Поскольку альтернативные источники энергии в составе с инвертором, работающим в режиме «ведомый», не обладают инерционными свойствами, то при изменении солнечной инсоляции, скорости ветра и т.д. фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ) теряет связь с ЭЭС, происходит мгновенное изменение баланса мощности системы, что приводит к падению активной мощности и, как следствие, к уменьшению частоты ЭЭС. Данное явление вызывает «лавиноу» частоты, при которой происходит выход ЭЭС из строя с последующим отключением потребителей. Кроме того, при изменении выработки безынерционных машин в ЭЭС протекают низкочастотные и субсинхронные колебания, соответствующие высшим гармоникам. Данные явления приводят к асинхронному режиму работы СГ, повреждению трансформаторов, пробоем изоляторов сетей, перегрузке линий электропередач (ЛЭП), срабатыванию средств релейной защиты и автоматики, а также большим электрическим потерям генератора.

Анализ эффективности ВСГ и тесты, проводимые при помощи математической модели ВСГ

На рисунке показана разница изменения частоты изолированной ЭЭС без включения алгоритма ВСГ и при его включении



Изменение частоты при включении и отключении ВСГ

Выводы

В докладе рассматриваются результаты исследований внедрения алгоритма ВСГ на основе АГЭК. Результаты исследований и проведенных тестов утверждают об эффективности внедрения в данную систему проточных накопителей электроэнергии.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ BIGDATA ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС

З.А. Ахмедов¹

В настоящее время в ПАО «РусГидро» накапливаются значительные объемы данных о состоянии и показателях функционирования оборудования и сооружений. Зачастую эта информация имеет неструктурированный характер, отличается большим разнообразием как состава, так и форм представления.

Большой размер Компании, разнообразность и разнотипность оборудования, разный формат собираемых данных являются минусами для традиционных систем аналитики (проблема 7V). Использование нейросетевых моделей и инструментов аналитики Больших Данных позволит обратить эти минусы в плюсы.

Помимо этого, в соответствии с Приказом Минэнерго РФ от 25.10.2017 г. №1013, предусматривается два вида организации плановых ремонтов основного оборудования, планово-предупредительный ремонт и ремонт по состоянию. Первый зачастую приводит к избыточным техническим воздействиям, особенно когда дело касается нового оборудования после технического перевооружения. Второй способ, в соответствии с вышеуказанным приказом, требует обеспечения оборудования средствами технического диагностирования и автоматизированной системой контроля технического состояния, что при реализации традиционными способами чревато достаточно большими финансовыми издержками.

Использование нейросетевых моделей и инструментов аналитики Больших Данных решает и эту проблему с существенно меньшими затратами.

С учетом вышесказанного, целью реализованного проекта является: диагностирование и прогнозирование изменения технического состояния основного оборудования с использованием нейросетевых моделей и инструментов аналитики Больших Данных, для более точного определения текущего и прогнозирования будущего технического состояния оборудования, в целях осуществления перехода на организацию ремонтов по состоянию в условиях, действующих НТД и без внедрения дорогостоящих систем мониторинга.

В результате реализации проекта была разработана и обучена нейросетевая модель, результаты ее работы были верифицированы на тестовом массиве данных. Работоспособность модели опробована на реальном массиве данных, где были продемонстрированы хорошие показатели точности работы модели. Тем самым показана принципиальная возможность и перспективность использования нейросетевой модели для оценки и прогнозирования технического состояния оборудования, а также большой потенциал к внедрению инструментов аналитики Больших Данных в Компании ПАО «РусГидро».

¹ Начальник ПТС, филиал ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал», магистр техники и технологии

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ УЗЛОВ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.О. Шестаков¹

В специальном конструкторском бюро по проектированию гидрогенераторов (СКБ ПГ) АО «Силовые машины» в настоящий момент большая часть расчётов сварных швов проводится аналитически с использованием существующих расчётных методик и специальной литературы. Для совершенствования оценки сварных высоконагруженных конструкций, в которых содержится влияние усталости, проводятся расчёты с использованием собственной расчётной методики. Данная методика основана на использовании метода конечных элементов и программы ЭВМ «Расчёт характеристик сопротивления усталости сварных конструкций высоконагруженных узлов гидрогенератора», которая была разработана в СКБ ПГ.

Разработанные методика расчёта и программа основаны на процедуре оценки работоспособности сварных швов, описанной в документе FKM Guideline. В данном документе рассмотрены оценки сопротивления усталости с использованием как номинальных, так и местных напряжений. Для разработки программы и написания собственной методики был выбран расчёт с использованием значений местных напряжений.

Оценка начинается с проведения статических расчётов в ANSYS Workbench. Проводится подготовка 3D модели к расчёту с проведением моделирования геометрии рассчитываемых сварных швов. В результате проведения статического расчёта по значениям эквивалентного напряжения Мизеса определяется наиболее напряжённая точка на поверхности сварного шва.

Далее в рассматриваемой точке определяются максимальные и минимальные значения необходимых компонент напряжений, возникающих в рассматриваемых сварных швах в зависимости от режимов работы гидроагрегатов. Далее эти значения используются как исходные данные для проведения оценки работоспособности сварных швов с использованием программы ЭВМ «Расчёт характеристик сопротивления усталости сварных конструкций высоконагруженных узлов гидрогенератора». Для проведения расчёта задаются срок службы работы гидроагрегата, а также требуемое количество его пусков-остановов в год (например, для расчёта сварных соединений остова ротора и крестовины гидрогенератора) или количество циклов изменения усилия, действующего на рассматриваемый узел (например, для расчёта крепления клина статора гидрогенератора). В FKM Guideline данные величины обозначаются как требуемое количество циклов работы. Результатом оценки работоспособности сварного шва является значение циклического выработанного ресурса. Данное значение должно быть меньше или равно единице. В таком случае оценка является успешной. Значит, рассчитываемый сварной шов отработает требуемое количество циклов.

Для остова ротора или грузонесущей крестовины гидрогенератора при нормальной работе требуемое количество циклов определяется сроком службы и количеством пусков-остановов в год по ГОСТ 5616-89. Для узла крепления клина к корпусу статора требуемое количество циклов работы определяется сроком службы и частотой изменения действующего усилия, вызванного магнитным тяжением. В данном случае частота изменения усилия определяется числом полюсов рассматриваемого гидрогенератора и номинальной частотой вращения.

¹ Инженер-конструктор 1 категории, АО «Силовые машины»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БРАТСКОЙ ГЭС ДО И ПОСЛЕ ЗАМЕНЫ РАБОЧИХ КОЛЕС

А.В. Коструба¹, А.Н. Прокопенко², И.П. Иванченко³

В настоящее время на агрегатах Братской ГЭС продолжается замена рабочих колес гидротурбин, начатая еще в 2006 году. Поставщиками новых колес стали три фирмы: «Силовые машины», «Voith hydro» и «ТЯЖМАШ».

Доклад посвящен изучению результатов реконструкции гидроагрегатов Братской ГЭС. На основе натурных энергетических испытаний с измерением расхода абсолютным методом, проведенных фирмой Turboinstitut, а также результатов вибрационных и прочностных испытаний, проведенных ЦКТИ, делаются выводы о смещении зон оптимальных режимов, уровне коэффициента полезного действия в оптимуме и на режиме максимальной мощности по сравнению с заводскими гарантиями для соответствующих гидротурбин. Также изучается влияние кавитации на энергетические характеристики и ограничения на зону режимов работы по условиям вибрации.

Выводом из данной работы является обоснование необходимости проведения дополнительных энергетических, вибрационных, прочностных и кавитационных испытаний на гидроагрегатах Братской ГЭС для уточнения эксплуатационных характеристик гидромашин, так как на данном этапе на них нет линий постоянной высоты отсасывания и ограничений по недопустимым режимам работы по условиям вибрации опорных узлов.

¹ Заведующий лабораторией разработки гидроэнергетического оборудования для ГЭС и ГАЭС, ОАО «НПО ЦКТИ»

² Канд. техн. наук, заведующий отделом гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»

³ Канд. техн. наук, главный специалист отдела гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»

ПЕРЕВОД ДЕЙСТВУЮЩИХ ГИДРОМАШИН НА ОРГАНИЗАЦИЮ РЕМОНТА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Н.В. Пуцын¹, А.А. Конаков²

Доклад посвящен методике перевода действующих низкооборотных низконапорных гидроагрегатов с высоким индексом технического состояния с действующей планово-предупредительной системы ремонтов на организацию ремонтов по фактическому техническому состоянию. Существующая планово-предупредительная система устанавливает сроки межремонтных периодов для различных гидравлических турбин независимо от их фактического состояния – по установленному документацией плану. В большинстве случаев в капитальный ремонт выводятся гидротурбины, техническое состояние которых обеспечивает выполнение требуемых энергосистемой функций при сохранении высокого уровня показателей надежности.

Разрабатываемая концепция перевода старается учесть эти недостатки действующей системы. Предлагаемая методика учитывает статистику повреждаемости узлов каждого отдельного гидроагрегата, особенностей его работы и, исходя из этих показателей, устанавливается продолжительность межремонтного периода. Одновременно с этим внутри каждого межремонтного периода устанавливается периодичность технических осмотров, которая основывается на данных повреждаемости опорных элементов и результатах натурных испытаний.

Методика прошла апробацию на четырех ГЭС Северо-Западного региона.

¹ Ведущий инженер лаборатории промышленных исследований и оценки технического состояния гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»

² Заведующий лабораторией промышленных исследований и оценки технического состояния гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВодОВ И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

К.А. Кравец¹

Гидроагрегаты малой мощности играют ключевую роль в развитии децентрализованной энергетики и устойчивого использования водных ресурсов. Их применение особенно актуально для регионов с ограниченной доступностью крупных энергетических систем и в условиях необходимости автономного энергоснабжения.

Цель настоящего доклада – провести сравнительный анализ преимуществ и недостатков двух типов систем регулирования гидроагрегатов: на базе гидравлической системы высокого давления и электромеханических приводов управления направляющего аппарата.

Сравнение систем регулирования гидроагрегатов основано на таких ключевых параметрах, как:

Эффективность регулирования: точность управления и стабильность работы гидроагрегатов.

Надежность и долговечность: особенности эксплуатации и технического обслуживания каждой из систем.

Экономическая эффективность: начальные и эксплуатационные затраты, энергопотребление и потенциальная выгода.

Гибкость и адаптивность: способность систем к работе в различных режимах и условиях.

Экологические и ресурсные аспекты: влияние на окружающую среду и эффективность использования ресурсов.

Доклад позволит определить оптимальный выбор системы регулирования для конкретных условий эксплуатации гидроагрегатов и задач энергоснабжения.

Для сравнительного анализа используются реальные примеры внедрения систем регулирования, основанные на опыте компании ООО «НПФ «Перспектива». В качестве объектов исследования рассматриваются:

1. Эзминская ГЭС (Северо-Осетинский филиал ПАО «РусГидро») – здесь были внедрены системы регулирования с применением электромеханических приводов управления направляющим аппаратом.

2. Малая ГЭС на канале Даргом, Пикет 102 км (Узбекистан) – использовалось гидравлическое оборудование высокого давления для регулирования гидроагрегатов.

Эти примеры позволят провести детальный анализ преимуществ и недостатков каждой системы регулирования на основе реального опыта эксплуатации, что даст объективное представление о различных подходах к управлению гидроагрегатами.

В результате сравнительного анализа систем регулирования гидроагрегатов на базе гидравлического оборудования высокого давления и электромеханических приводов можно отметить, что каждая из систем имеет свои преимущества и области применения.

¹ Генеральный директор, ООО «НПФ «Перспектива»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ВИБРАЦИИ КРЫШЕК ТУРБИН В ПЕРИОД ПАВОДКА

А.А. Конаков¹

Доклад посвящен исследованию повышенной вибрации крышек турбин, обнаруженной на одной из низконапорных сибирских гидроэлектростанций. Примечательной данную проблему делает нетипичный характер изменения вибраций крышек турбин в течение года – повышенные колебания возникают только в период паводка (с середины марта по середину апреля). В поисках причины подобного явления был рассмотрен и экспериментально проверен целый ряд гипотез: неверная настройка комбинаторных зависимостей гидротурбин, влияние шаговой неравномерности, формируемой лопатками направляющих аппаратов, сход вихрей Кармана с кромок лопастных систем, интенсивное развитие кавитационных явлений и т.д. Всего сотрудниками ОАО «НПО ЦКТИ» исследовано шесть из семи гидротурбин ГЭС (на которых проведены вибрационные и энергетические испытания по расширенной программе, а также специальные опыты с впуском воздуха в проточную часть гидротурбин). В итоге гипотезой, способной непротиворечиво объяснить сразу все наблюдаемые на исследуемых турбинах эффекты, представляется образование в проточной части т.н. «стоячей волны», одна из гармоник которой совпадает (при существующих в марте-апреле отметках верхнего и нижнего бьефов) с частотой собственных колебаний крышек турбин. На основании проведенных исследований также разработаны рекомендации по обеспечению надежной эксплуатации крышек турбин.

¹ Заведующий лабораторией промышленных исследований и оценки технического состояния гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.В. Уфимцев¹, А.А. Филипас²

В данной работе предложена схема автоматизации установки пневматических и гидродинамических процессов. Рассматриваемая в работе схема предусматривает три уровня автоматизации: нижний (полевой), средний и высокий. Реализация данного решения основана на базе существующей установки физического подобию моделирования пневматических и гидродинамических процессов, целью которого является моделирование и имитация технологических процессов различных отраслей промышленности, основанных на законах пневматики, физики и гидравлики. Обеспечение автоматизации данной системы обеспечивается благодаря монтажному щиту автоматики, на который приходят сигналы с датчиков и исполнительных устройств стенда. Обработываются и подключаются данные сигнала посредством программируемого логического контроллера, который установлен в щите. И затем с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК) отправляются на автоматизированное рабочее место оператора, оснащенное SCADA системой.

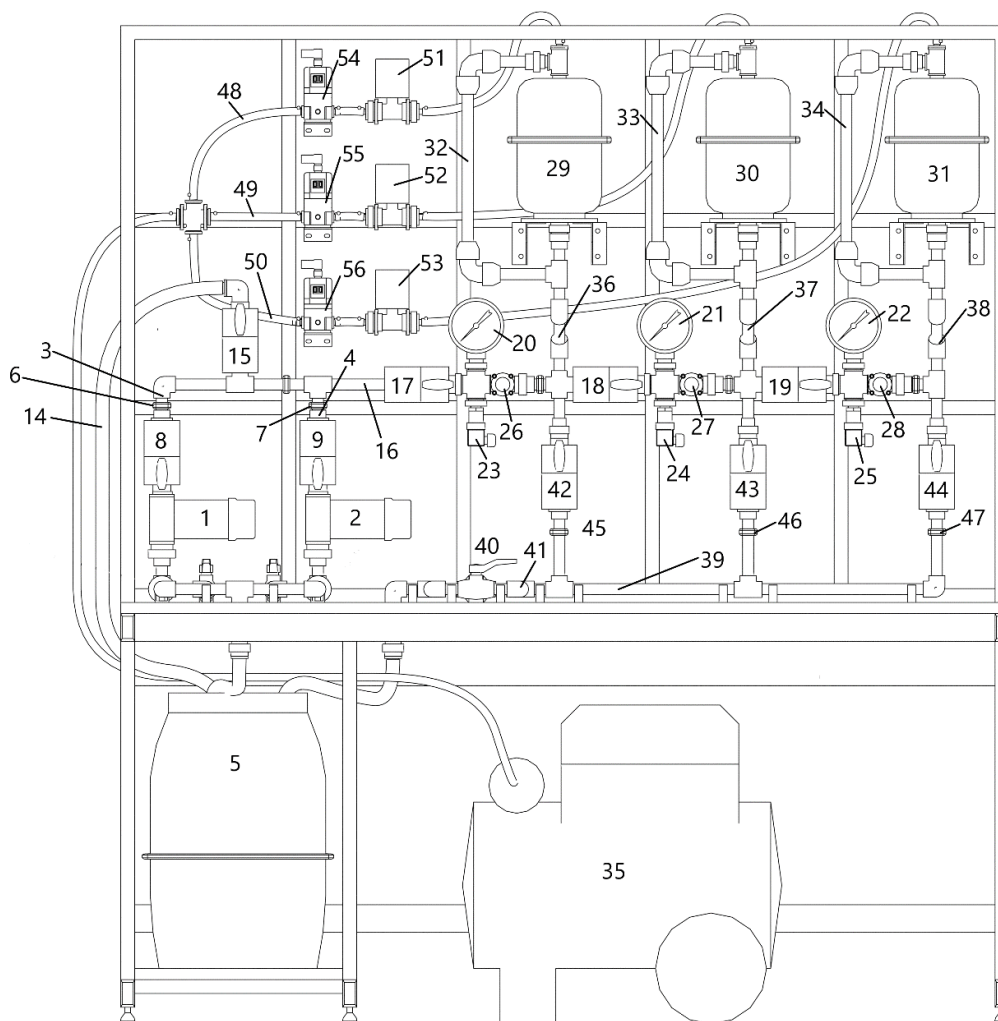
Установка, автоматизация которой предложена в данной работе, служит для реализации регулируемых утечек, имитации местных потерь на участке трубопровода, демпфирования усилий давления жидкости с помощью газовой пробки, подачи сжатого воздуха для наведения противодействия в резервуарах с жидкостью, а также некоторых других операций с эквивалентными названиями, предназначенными для проведения университетских лабораторных работ по курсу гидравлики, физики, пневматики, гидродинамики, гидростатики.

Однако введение технологий автоматизации и дистанционного управления является необходимым условием для качественного регулирования и управления процессами проводимых лабораторных работ. С этой целью в данной работе предложена разработка монтажного щита автоматики для данной установки. Благодаря щиту автоматики, подсоединение контактов всех электрических датчиков и исполнительных устройств будет осуществляться на клеммы монтажного щита автоматики. Для передачи сигналов предназначена «токовая петля» 4 – 20 мА. А обработка и управление данными сигналами происходит благодаря работе программируемого логического контроллера, который является «мозговым центром» монтажного щита. Далее с ПЛК обработанная информация поступает с помощью промышленного протокола на автоматизированное рабочее место оператора, оснащённое SCADA системой. В совокупности такая система позволяет нам реализовать все три основных уровня АСУ ТП для управления установкой с максимальной точностью.

Для того, чтобы управлять системой и с максимальной точностью оказывать управляющие воздействия, необходимо управлять всеми устройствами «полевого уровня» автоматизированной системы управления. Для этих целей необходимо рассмотреть функциональное оснащение установки, приведенное на рисунке.

¹ Студент, ФГАОУ ВО НИ ТПУ ИШИТР

² Канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГАОУ ВО НИ ТПУ ИШИТР



Установка пневматических и гидродинамических процессов

На рисунке представлены все функциональные компоненты установки, однако мы рассмотрим только электрические исполнительные устройства и датчики, управление которыми можно осуществлять посредством автоматики, если подсоединить их контакты в монтажный щит автоматики. Цифрами 1, 2 обозначены помповые насосы, осуществляющие процесс передвижения жидкости в системе трубопроводов. Датчики расхода жидкости 6–7, 26–28, 45–47 позволяют фиксировать и контролировать внешний параметр работы системы – объём расхода жидкости. Электромагнитные клапаны 8, 9, 15, 17–19, 42–44 позволяют регулировать собственный параметр системы – диаметр сечения трубопровода, через которое проходит жидкость. Преобразователи давления 23–25 служат для передачи информации показаний избыточного давления на ПЛК. Пропорциональные электромагнитные клапаны пневматической части 51–53 выполняют функцию регулирования проходного сечения потока воздуха, тем самым регулируя параметр давления, а установленные на той же ветке технологической цепочки электропневматические пропорциональные регуляторы давления 54, 55, 56 позволяют контролировать параметр избыточного давления и передавать данные на монтажный щит автоматики. Контакты вышеописанных устройств по кабельному каналу переходят в щит автоматики, оснащённый четырьмя динамическими рейками для размещения основных функциональных элементов управления установкой.

СОВРЕМЕННЫЕ АНТИКАВИТАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ГИДРОТУРБИН

Д.Н. Госькова¹, В.И. Курир²

Анализ работы гидротурбин показывает, что детали её проточной части подвергаются гидроэрозии, сопровождаемой электрохимической коррозией, и сравнительно быстро выходят из строя. Приведём наиболее эффективные современные защитные покрытия гидротурбин.

В 2011 – 2012 гг. при реконструкции Баксанской ГЭС на гидротурбины были нанесены эффективные новейшие защитные нанопокрывтия. Специалистам компании «Плакарт» предстояло решить сложную задачу: защитить элементы гидротурбин от интенсивного износа при эксплуатации. Износ происходит в результате гидроабразивных процессов при работе деталей в условиях рек Северного Кавказа. Особенность воды в данных реках – высокое содержание взвеси в виде речного песка. В феврале 2017 г. произвели оценку состояния защитного покрытия деталей проточной части турбины, отработавших четыре года без восстановительного ремонта. Выявлено, что нанопокрывтие на основе карбида вольфрама, нанесенное газотермическим методом на рабочее колесо гидротурбины, в условиях эксплуатации продолжает успешно защищать детали гидроагрегата от износа.

Вследствие того, что наночастицы имеют очень малые размеры (нанометровые) и их огромное количество, то покрытие аналогично по прочности керамике и металлическим сплавам. Покрытие демонстрирует отличную ударную вязкость. Из-за большой удельной поверхности и высокой активности наночастицы могут очень легко плавиться равномерно, создавая покрытия с очень низкой пористостью. Китайские исследователи Li Y., Ma J., Yu W., выступая на конференции International Conference on Power System Technology, 24–28 октября 2010 г. (Hangzhou, China), сообщали о результатах исследований по нанесению покрытия в виде наночастиц композита WC/CO – карбида вольфрама и кобальта на рабочее колесо гидротурбины Каплана. Метод нанесения – HVOF (сверхзвуковое газопламенное напыление). Нанопокрывтие обеспечивает достаточно высокую жесткость, лучше сопротивляется взрывной функции и обеспечивает лучшую устойчивость к кавитации среди металлов.

Специалисты по новейшим покрытиям компании Oerlikon Metco предлагают материалы для нанесения твердых, прочных покрытий, используемых на новом оборудовании и для ремонта поврежденных компонентов гидротурбин, увеличивающие срок службы их элементов в 20 – 30 раз по сравнению с элементами без защитных покрытий:

1. Покрытия для турбин Kaplan – части или целиком лопасти Kaplan были напылены карбидом кобальт-хромовым материалом (WC-CoCr) с использованием процесса распыления высокоскоростного кислородного топлива (HVOF), в результате чего были получены очень плотные, устойчивые к истиранию и эрозии покрытия.

2. Покрытия для турбин Francis – компоненты турбин Francis – направляющие лопатки, ступицы, ободы турбин и рабочие колеса с лопастями также покрываются карбидом кобальт-хромовым материалом с использованием процесса распыления высокоскоростного кислородного топлива (HVOF) распылительными аппаратами WokaJet™ и WokaStar™, что приводит к

¹ Магистрант, ФГБОУ ВО КНИТУ–КАИ им А.Н. Туполева

² Канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ЭО ФГБОУ ВО КНИТУ–КАИ им. А. Н. Туполева

очень плотному покрытию, устойчивому к истиранию и гидроэрозии. Покрытия для рабочих колес импульсного типа такие, как Pelton, предотвращают износ ковша и снижение эффективности.

3. Универсальные газотопливные HVOF (HVOF-GF) способы нанесения, с помощью распылителей Diamond-Jet™ позволяют создавать нанослои для сложных геометрических форм с хорошим радиусом действия и высокой износостойкостью.

4. Специалисты по новейшим покрытиям компании Sulzer предлагают технологию и оборудование для нанесения защитного покрытия посредством воздушно-пламенного напыления – APS на элементы гидротурбин, работающих при значительных температурах (паровые турбины).

5. Нанесение защитных покрытий посредством распыления частиц горячей проволоки (CW), предназначенных для подшипников, валов, наконечников – для размерного ремонта и снижения трения в процессе эксплуатации. Сварочные материалы марки CaviTec имеют более высокие характеристики сопротивляемости кавитации по сравнению с традиционными материалами. Электрод разработан для нанесения покрытий, стойких к кавитации и коррозии. Данный материал с высоким содержанием кобальта специально предназначен для наплавки на рабочие поверхности оборудования гидросистем. Идеально подобранное содержание кобальта, хрома, никеля в сплаве CaviTec позволяет помимо повышенных антикоррозионных свойств получить микроструктуру наплавленного слоя, отличающуюся минимальным дефектом кристаллической решетки, что способствует эффективному гашению энергии, вызываемой кавитацией.

ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТУРБИН ДЕЙСТВУЮЩИХ ГЭС НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

А.Н. Прокопенко¹, И.П. Иванченко²

Основным направлением развития гидроэнергетики в России сегодня и на ближайшую перспективу, при незначительных масштабах нового строительства, является реконструкция оборудования действующих ГЭС, в том числе отработавшего нормативный срок службы.

Целью технического перевооружения действующих ГЭС является улучшение энергетических характеристик машин: повышение мощности или увеличение выработки за счет повышения КПД. Улучшение энергетических характеристик гидротурбин достигается практически только за счет применения более совершенного рабочего колеса при сохранении неизменными остальных элементов проточной части турбины (спиральная камера, статор, отсасывающая труба, а во многих случаях и направляющий аппарат).

Работы по модернизации действующего оборудования всегда были весьма эффективными и ведутся на всех ГЭС мира практически постоянно. Необходимость проведения таких работ вызвана, в первую очередь, отличием фактических режимов работы от проектных.

Поэтому выбор типа и параметров нового рабочего колеса (РК) должен производиться с учетом конструктивных особенностей существующего гидроблока и реально сложившихся режимных условий.

В связи с этим можно выделить три основных требования к реконструкции:

1. Диаметр нового РК должен быть не более существующего, то есть $D_{1\text{нов}} \leq D_{1\text{сущ}}$.
2. Мощность новой турбины - не менее существующей $N_{\text{т нов}} \geq N_{\text{т сущ}}$.
3. Без снижения КПД из-за кавитации, то есть $H_s \leq H_{s\text{уст}}$ при $H=H_p$, в пересчете на кавитационный коэффициент установки это требование можно записать: $\sigma_t \leq [\sigma_{\text{уст}}]$ при $H = H_p$.

Анализ результатов реконструкции с заменой рабочих колес радиально-осевых и поворотно-лопастных гидротурбин показал, что на большинстве ГЭС было достигнуто увеличение мощности (ΔN_t в % от проектной мощности) и максимального КПД ($\Delta \eta_{\text{т max}}$), которые составили по сравнению с проектными значениями:

на радиально-осевых турбинах $\Delta N_t = 5-19\%$, $\Delta \eta_{\text{т max}} = 2-4\%$;

на поворотно-лопастных турбинах $\Delta N_t = 10-28\%$, $\Delta \eta_{\text{т max}} = 1-3\%$.

Учитывая невозможность обоснования замены оборудования за счет увеличения выработки электроэнергии, связанного с повышением КПД, основным критерием сегодня является обеспечение максимальной мощности турбины.

Выбор лучшего варианта реконструкции должен выполняться в следующей последовательности:

первоначально подбирается тип и параметры новой гидротурбины, исходя из получения максимально возможной мощности при сложившихся на ГЭС кавитационных условиях;

на втором этапе выбирается вариант, обеспечивающий получение максимальной выработки энергии.

¹ Канд. техн. наук, заведующий отделом гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»

² Канд. техн. наук, главный специалист по гидроэнергетическому оборудованию, ОАО «НПО ЦКТИ»

Повышение мощности радиально-осевых гидротурбин достигается за счет использования напоров выше расчетного, вплоть до максимального, с учетом кавитационных ограничений, то есть, по существу, принятие нового расчетного напора вблизи максимального.

Для поворотно-лопастных турбин, кроме использования повышенных напоров, аналогично радиально-осевым турбинам может быть рекомендован переход к пропеллерным турбинам, работающим с переменной частотой вращения ротора. Это обеспечивает получение максимальной мощности и КПД за счет уменьшения диаметра втулки и применения цилиндрической камеры рабочего колеса вместо сферической. Кроме этого, такой переход упрощает конструкцию рабочего колеса, обеспечивает экологичность за счет отказа от механизма разворота лопастей. При этом обеспечивается достаточно широкий диапазон оптимальных по КПД режимов при всех эксплуатационных напорах. Применение в гидроэнергетике агрегатов с переменной частотой вращения является мировой тенденцией как при реконструкции действующих, так и при строительстве новых ГЭС и ГАЭС.

Учитывая необходимость комплексного подхода к обоснованию замены оборудования гидротурбин действующих ГЭС, для разработки технических требований необходимо привлечь специализированные научные организации.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ КАВИТАЦИИ В ГИДРОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС

О.А. Манякина¹

Кавитация представляет собой процесс образования и последующего схлопывания паровых пузырьков в потоке жидкости при достижении локальных зон с пониженным давлением. Этот процесс является причиной эрозионного износа рабочих лопастей гидротурбин, что может приводить к значительным потерям в КПД оборудования, его износу и необходимости частого ремонта.

Для изучения механизма кавитации активно применяются CFD-методы (Computational Fluid Dynamics). Использование программного обеспечения, такого как Ansys-CFX и Fluent, позволяет моделировать сложные многокомпонентные потоки, включая влияние геометрии рабочих колес и условий эксплуатации. Численные исследования показали, что такие параметры, как форма профиля лопастей, угол их атаки и зазоры между элементами турбины оказывают ключевое влияние на вероятность возникновения кавитации.

Важной мерой для предотвращения кавитационных повреждений является проектирование специальных антикавитационных губок на лопастях рабочих колес. Изменение геометрии этих элементов способно существенно снизить образование кавитационных пузырьков, особенно в критических зонах на всасывающей стороне лопастей. Кроме того, изменение кривизны профиля лопастей и оптимизация зазоров между ними помогают минимизировать кавитационные потоки на концах лопастей.

В ходе исследований на Каплановских турбинах было показано, что изменение линии прогиба лопастей и установка антикавитационных губок приводят к снижению кавитации на 15–20 %. Для Фрэнсисовых турбин, работающих на частичной нагрузке, был проанализирован процесс образования кавитационного шнура в отсасывающей трубе. Численное моделирование показало, что контроль за пульсациями давления в этой зоне позволяет снизить кавитационные повреждения и повысить стабильность работы оборудования.

Кавитация оказывает значительное влияние на долговечность и эффективность работы гидротурбинного оборудования. Снижение эрозионного износа и повышение устойчивости к кавитации напрямую влияют на экономичность эксплуатации ГЭС, снижая затраты на ремонт и повышая общую производительность.

Использование современных методов численного моделирования и применение конструктивных решений, таких как антикавитационные губки и оптимизация профиля лопастей, позволяют существенно снизить риск кавитационных повреждений. Внедрение этих решений на практике способствует увеличению срока службы гидротурбин и снижению эксплуатационных затрат на ГЭС.

¹ Магистрант, Саяно-Шушенский филиал СФУ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ И ПАРАМЕТРОВ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

К.Р. Раменский¹, О.А. Манякина²

Аккумуляторные батареи играют важную роль в обеспечении бесперебойной работы систем, особенно в критически важных областях, таких как системы противопожарной защиты. Эффективное управление состоянием аккумуляторов требует точного мониторинга их состояния и предсказания ключевых параметров, таких как емкость, напряжение, сопротивление, а также срок службы. В данной работе представлено нейросетевое решение для прогнозирования состояния аккумуляторных батарей на основе исторических данных тестирования. Модель способна учитывать различные режимы эксплуатации, а также прогнозировать изменение параметров аккумуляторов в зависимости от текущих условий.

Современные свинцово-кислотные аккумуляторы широко используются в системах противопожарной защиты. Для обеспечения надежности этих систем крайне важно контролировать параметры аккумуляторов и предсказывать моменты, когда аккумулятор потребует замены или выйдет из строя. Нейросетевые модели позволяют решить эту задачу за счет анализа большого объема данных и прогнозирования будущего состояния батареи.

Для прогнозирования параметров аккумуляторных батарей была использована искусственная нейронная сеть, которая учитывает данные тестирования аккумуляторов в двух режимах работы: хранение на складе и буферный режим.

Модель была обучена на наборе данных аккумуляторов различных типов с учетом режима эксплуатации и исторических тестовых показателей.

Модель также учитывает процент саморазряда в режиме хранения и различные графики зависимости емкости от срока службы в буферном режиме и от температуры.

Разработанная нейросетевая модель продемонстрировала высокую точность в предсказании параметров состояния аккумуляторов. В тестовых примерах удалось достичь точности свыше 90 % в предсказании срока службы аккумуляторов. Модель также эффективно предсказывала даты, когда аккумулятор теряет часть своей емкости или достигает критических значений напряжения или сопротивления.

Прогнозирование состояния аккумуляторных батарей с помощью нейросетевых моделей позволяет значительно улучшить управление аккумуляторными системами. Это решение может быть интегрировано в системы мониторинга для автоматизации замены аккумуляторов, а также для улучшения планирования их обслуживания. В будущем возможно улучшение модели за счет расширения базы данных тестирования и включения новых типов аккумуляторов.

¹ Электромонтёр охранно-пожарной сигнализации 5-го разряда Участка технологической автоматики и возбуждения Службы релейной защиты, автоматики и метрологии, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»

² Магистрант, Саяно-Шушенский филиал СФУ

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩИХ ЗНАЧЕНИЙ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М.М. Султанов¹, Ш.М. Милитонян², Д.С. Идаева³

На текущий период времени многие энергетические компании располагают обширной базой данных о состоянии и функционировании своего оборудования и сооружений. Однако большая часть этой информации носит неструктурированный характер, представлена в разнообразных форматах и требует систематизации для эффективного анализа. В рамках цикла проведенных исследований, для качественной оценки технического состояния, а также прогнозирования и оптимизации надежности энергетического оборудования авторами были рассмотрены методы с использованием современных цифровых технологий, позволяющих строить оптимальные модели управления. В данной статье авторы решали задачу оценки точности полученных ранее нейросетевых моделей для определения текущих значений индекса технического состояния (ИТС) на примере функциональных узлов (ФУ) гидросилового оборудования.

Точность создаваемой и обучаемой нейросетевой модели, используемой в работе для решения поставленной задачи, оценивалась двумя параметрами: Meansquarederror (MSE) – среднеквадратическая ошибка и Accuracy – количество совпадающих результатов предсказания модели и набора обучающих либо тестовых данных.

В качестве обучающего набора нейросети был взят файл со значениями параметров, предусмотренных методикой из Приказа Минэнерго Российской Федерации от 26.07.2017 № 676 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей» с общим количеством экземпляров 10100. Тестирование полученной нейросети производилось по принципу отложенной выборки. Далее производилась оценка влияния количества экземпляров в обучающем наборе данных на скорость обучения нейросетевой модели и на точность получаемого результата. Для определения приемлемого количества экземпляров в обучающем наборе были проведены процедуры обучения нейросетевой модели для различного количества экземпляров, в результате чего были получены гистограммы отклонений индекса технического состояния узла (ИТСУ) на примере функционального узла (ФУ) «Крышка турбины». Для остальных ФУ результаты оказались аналогичны. Далее были построены гистограммы отклонений вычисленных значений ИТСУ для функционального узла «Крышка турбины» после обучения при различном количестве экземпляров в обучающем наборе и проведен анализ полученных данных о его влиянии на точность нейросетевой модели.

Следующим этапом была определена приемлемая скорость обучения нейросетевой модели – параметр настройки, определяющий величину изменения весов модели (параметров

¹ Доктор техн. наук, доцент, руководитель Научно-исследовательской лаборатории Цифровых технологий, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

² Инженер-исследователь Научно-исследовательской лаборатории Цифровых технологий, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

³ Студент, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

нейронов) в ходе процедуры поисковой оптимизации. Результаты были представлены в виде графика зависимости среднеквадратичной ошибки и отклонения нейросетевой модели для ИТСУ (СКО) от эпохи обучения модели. Из анализа полученных данных был сделан вывод, что при скорости обучения большей, чем 0,003, обучения модели не происходит. При этом при изменении скорости обучения от 0,001 до 0,003 существенного увеличения скорости улучшения точности модели не происходит. С учетом факта, что при изменении скорости обучения от 0,003 до 0,004 происходит скачкообразное ухудшение обучаемости модели вплоть до утраты ее работоспособности, целесообразно рекомендовать использовать в дальнейших исследованиях скорость обучения, равную 0,001 как наиболее надежно обеспечивающую обучаемость модели с приемлемой скоростью. На основе данных о точности обученной нейросетевой модели были рассчитаны погрешности определения вероятностей отказа функциональных узлов и оборудования в целом и получен доверительный интервал при определении вероятности отказа для каждого ФУ не более 0,2 (в среднем 0,1). На примере обучения нейросетевой модели определения ИТС и ИТСУ гидросилового оборудования определены приемлемые с точки зрения точности параметры обучения нейросетевой модели:

количество экземпляров в обучающем наборе – не менее 10000;

скорость обучения – не более 0,001;

количество эпох обучения – не менее 300.

Полученные результаты могут быть использованы при обучении нейросетевых моделей оценки технического состояния и определения вероятности отказа для других видов энергетического оборудования.

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ И ВЫБОРЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИВОДОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.В. Ащеулов¹, Н.М. Ксенофонтов²

Предприятие ООО «НТП Гидропривод» более тридцати лет проектирует и поставляет гидроприводы, в том числе для гидротехнических сооружений. Для расчета и выбора оборудования гидропривода одним из главных параметров является та нагрузка, которую гидропривод должен преодолевать на заданных режимах движения механического оборудования. Значение нагрузки, как правило, максимально возможное указывается в задании на проектирование.

Методика расчета гидропривода предусматривает назначение рабочего давления. Исходя из опыта, наши конструкторы для ответственных сооружений назначают рабочее давление в два раза ниже номинальных давлений силового гидрооборудования. Например, если используются гидроцилиндры с номинальным давлением 25 МПа, рабочее давление должно быть 12,5 МПа. Таким образом, вводится нагрузочное резервирование. В аварийных случаях это позволяет выполнять рабочие операции на меньшем количестве гидроцилиндров или преодолевать особые (катастрофические) нагрузки. Таких нормативных требований для приводов механизмов ГТС мы не нашли, нет их и в общем машиностроении. А в мостостроении есть.

В руководстве по проектированию разводных мостов есть требование: «При применении в гидроприводе серийно изготавливаемых промышленностью гидроцилиндров, гидродомкратов и гидротолкателей следует использовать не более 70 % их номинальной грузоподъемности». Теоретические расчеты нагрузок на приводах механизмов разводных мостов показывают, что постоянно действующие нагрузки в 2 раза меньше их сочетаний с экстремальными нагрузками. Для мостов нормативной экстремальной нагрузкой, на которую рассчитан привод разводных механизмов, относится ветровая горизонтальная нагрузка с давлением ветра 500 Па (25 м/с). Эти нагрузки маловероятны. Например, на р. Неве в Санкт-Петербурге навигация разрешена до скорости ветра 12,5 м/с (давление ветра 110 Па). Таким образом, на стадии проектирования гидроприводов механизмов разводных мостов закладывается двойной запас по нагрузкам.

В электромеханических приводах нагрузочное резервирование выполняется иначе. По заданным нагрузкам на привод определяется мощность приводного электродвигателя и после выбора электродвигателя определяются нагрузки пускового режима, на которые ведется расчет прочности деталей механической передачи. Как известно, пусковые токи могут быть выше номинальных токов в 7–10 раз, значит, и расчетные нагрузки для механического привода будут получаться с таким запасом.

Если обратиться к опыту расчета механизмов грузоподъемных кранов, а механизмы ГТС к ним приравниваются, то, согласно ГОСТ 28609 – 90, механизмы и их элементы рекомендуется рассчитывать на прочность по методу допускаемых напряжений. Основная расчетная зависимость имеет вид

$$\frac{F\gamma_n}{\Phi} \leq \frac{\sigma_T}{n_1 n_2 n_3} ,$$

¹ Директор, ООО «НТП Гидропривод»

² ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

где F – обобщенная нагрузка или воздействие; γ_n – коэффициент ответственности элемента; Φ – геометрический фактор; σ_T – предел текучести материала элемента механизма; n_1 – коэффициент условий эксплуатации, учитывающий режим и вероятность возникновения перегрузок; n_2 – коэффициент, учитывающий влияние неоднородности структуры материала на сопротивление разрушению; n_3 – коэффициент, учитывающий точность расчета нагрузок и напряжений в расчетном сечении.

Если к нагрузке пусковых токов добавить значения всех коэффициентов, значения которых нормированы у крановщиков в ГОСТ 32579.1–2013, то запасы прочности получаются в электромеханических приводах очень большие. Правда, это относится к несерийным узлам механических передач. А какие должны быть требования при выборе серийных электромеханических приводов – актуаторов, построенных на основе шарико- и роликовинтовых передач, этот вопрос необходимо обсуждать.

Возникает много дополнительных вопросов. Если в теории прочности нормируются разные коэффициенты ответственности, коэффициенты надежности, коэффициенты запаса, то почему в заданиях на проектирование приводов механического оборудования, включая гидроприводы, их не указывают заказчики? Особенно обращает на себя внимание коэффициент, учитывающий точность расчета нагрузок.

В настоящее время в ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» выполняется НИР по разработке требований по проектированию приводов ворот и затворов СГТС, где рассматриваются данные вопросы.

УСТАЛОСТЬ РАБОЧИХ КОЛЕС ГИДРОТУРБИН: ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ, ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Е.В. Георгиевская¹, Н.В. Георгиевский²

Надежность и безопасность эксплуатации гидроагрегата во многом определяются ресурсными характеристиками рабочего колеса, которые зависят от индивидуальных конструктивных, технологических и эксплуатационных особенностей. В настоящее время ни в России, ни за рубежом нет стандартизированного комплексного подхода к решению проблемы ресурса рабочих колес на стадии эксплуатации, учитывающего все эти факторы в полной мере. В то же время накоплен огромный теоретический и практический опыт, охватывающий различные аспекты проблемы оценки ресурса, позволяющий разработать такие подходы:

банк данных по авариям и отказам гидроагрегатов, связанным со снижением ресурсных характеристик рабочих колес и/или изменениям режимов работы оборудования;

доминирующие механизмы деградации металла рабочих колес в условиях коррозионно-активной среды и длительного воздействия переменных нагрузок;

требования к изготовлению рабочих колес для достижения желаемых усталостных характеристик материала и низких остаточных напряжений в сварных соединениях;

особенности монтажа гидроагрегатов, влияющие на величины и равномерность распределения нагрузок на рабочее колесо;

3D-моделирование рабочих колес и проточных частей гидроагрегатов, в том числе с использованием результатов 3D-сканирования;

гидродинамические расчеты проточных частей гидроагрегатов с определением пространственно-временных характеристик потока на границе с рабочим колесом на различных режимах эксплуатации, включая стационарные, нестационарные и переходные режимы;

формирование нагрузочных сценариев, отражающих особенности фактической эксплуатации гидроагрегата на ГЭС;

особенности проведения ремонтно-восстановительных работ по устранению эксплуатационных дефектов усталостного и неусталостного происхождения;

достижения в области методов неразрушающего контроля;

передовые технологии тензометрирования и иных натурных испытаний на работающих гидроагрегатах;

исследования усталостных характеристик и сопротивляемости разрушению материалов рабочих колес;

разнообразные подходы к оценке прочности, усталости и трещиностойкости вновь проектируемых и находящихся в эксплуатации рабочих колес.

Массовое активное внедрение на рынок электроэнергии непредсказуемых и нестабильных источников возобновляемой энергии (ветровой, солнечной и т.п.) приводит к изменению режимов эксплуатации гидроагрегатов как наиболее гибких и маневренных: гидроагрегаты все чаще работают в неоптимальных условиях, подвергаются частым пускам/остановам и сбросам/наборам мощности, увеличивается время нахождения гидроагрегатов в nereкомендуемых

¹ Канд. физ.-мат. наук, директор по науке, ООО «ЦКТИ»

² Канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «ЦКТИ»

зонах. В результате многократно, относительно проектных ожиданий, увеличивается усталостный износ гидроагрегатов и особенно рабочих колес как их основного ресурсопределяющего узла.

Авторами выполнен анализ существующих в отрасли подходов и методов оценки усталостной прочности рабочих колес, охватывающий российский и зарубежный современный опыт. Предложен комплексный единый подход к оценке ресурса рабочего колеса в условиях фактической эксплуатации, базирующийся на двухкритериальной оценке ресурса по параметрам усталости и трещиностойкости и опирающийся на вышеотмеченные передовые возможности и достижения в гидроэнергетике.

Внедрение такого подхода дает возможность сравнивать различные рабочие колеса между собой по критерию ресурса, определять оптимальные с точки зрения ресурса сценарии работы гидроагрегата, повысить точность ресурсных прогнозов, снизить аварийность оборудования, перейти на ремонты по техническому состоянию и активно управлять жизненным циклом гидроагрегата в целом.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОАГРЕГАТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ГЭС

Ю.В. Казанцев¹

В настоящее время возрастает значение гидроэлектростанций не только как экологически чистого и дешевого источника электроэнергии, но и как мощного инструмента регулирования режима работы электроэнергетической системы (ЭЭС), в особенности при увеличении доли ВИЭ, характеризующихся стохастическим характером выработки электроэнергии.

Однако, гидроэлектростанции как маневренный источник электроэнергии не всегда обеспечивают качественное регулирование режима работы электроэнергетических систем. В некоторых случаях это связано с некорректной работой микропроцессорных систем регулирования активной мощности, которая в том числе зависит от правильности их настроек, алгоритмов и методов регулирования. Основной проблемой настройки и синтеза алгоритмов управления систем регулирования гидроагрегатов является учёт нелинейных динамических характеристик его основного движителя, сервоприводов направляющего аппарата, рабочего колеса и моментов на валу ротора.

Нелинейность динамических характеристик основного движителя гидроагрегата вызвана эффектом гидроудара. Этот эффект проявляется в изменении активной мощности гидроагрегата в обратном желаемому направлении на первоначальном этапе регулирования и в знакопеременном изменении давления в проточном тракте, что приводит к повышенному износу сервоприводов рабочего колеса, направляющего аппарата и водовода гидроагрегата.

В наибольшей степени повышенному износу сервоприводов подвержены гидроагрегаты, выполняющие часто изменяющиеся задания по активной мощности от групповых регуляторов, подключенных к централизованной системе автоматического регулирования частоты и активной мощности. Повышенный износ элементов гидроагрегатов, в свою очередь, вынуждает генерирующие компании осуществлять капитальный ремонт таких гидроагрегатов раньше нормативного срока, что приводит к дополнительным издержкам.

Также при распределении активной мощности в системах группового регулирования не в полной мере учтены: минимизации потерь активной мощности, состояние сороудерживающих решеток, условие обеспечения статической устойчивости гидрогенераторов в режиме недовозбуждения, различия в индивидуальных расходных характеристиках.

Стоит отметить, что с растущим уровнем цифровизации энергетики и, как следствие, переходом на микропроцессорные системы управления появилась возможность учесть вышеперечисленные особенности работы гидроагрегатов, а также снизить их негативное влияние, тем самым повысив качество регулирования.

¹ Канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Автоматика энергосистем», ФГБОУ ВО «НГТУ»

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ СТАНЦИЙ КУБАНСКОГО КАСКАДА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

Д.С. Савченков¹

Наряду с новым строительством существенную долю прироста мощности ГЭС дает реализуемая программа реконструкции гидроэлектростанций РФ. По данным принятой Минэнерго РФ «Схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2024 – 2029 гг.», увеличение мощности на реконструируемых гидроагрегатах составляет от 5 до 30 % их номинальной мощности. Для реконструируемых ГЭС Кубанского каскада этот показатель находится в диапазоне от 4 до 19 %, на Кубанской ГАЭС – 23 %.

Широкий разброс в приросте номинальной мощности по отдельным станциям обусловлен тем, за счет чего достигается этот эффект. Принципиально увеличение мощности отдельных гидроагрегатов может быть получено за счет увеличения расчетного расхода турбин, увеличения расчетного напора турбин и более высокого КПД основного оборудования. Прирост мощности по каждому из указанных факторов определяется индивидуально для каждой ГЭС, с учетом особенностей гидрологического режима и режима изменения напора турбин и применяемого оборудования.

Особенностью проекта реконструкции является полная замена всего основного оборудования и частичная реконструкция водопроводящих энергетических сооружений.

ГЭС 1–4 Кубанского каскада и Кубанская ГАЭС работают на проходящем Большом Ставропольском канале, Свистухинская и Сенгилеевская ГЭС - на стоке по Невинномысскому каналу в условиях ограниченной максимальной пропускной способности с учетом отборов по трассе. Определенный резерв на увеличение максимального расчетного расхода ГЭС имеется за счет сокращения холостых сбросов. Важным влияющим фактором, существенно усложняющим выполнение водно-энергетических расчетов, является наличие большого количества водозаборов по трассе и учет лимитов и квот на водозаборы согласно «Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов реки Кубани». В разработанных водохозяйственных балансах заложены: восстановление полезного объема Кубанского водохранилища до 500 млн м³, восстановление пропускной способности 150 м³/с Большого ставропольского канала, ввод в эксплуатацию его IV очереди.

Реконструкция проходит при сохранении диапазона статических напоров с учетом возможного увеличения гидравлических потерь напора, в случае увеличения расхода ГЭС. Тем не менее, результаты выполненных водно-энергетических расчетов показали, что имеется возможность увеличения расчетного напора турбин, в частности, за счет снижения обеспеченности его достижения в расчетном ряду лет.

В докладе, на материалах проекта комплексной реконструкции и модернизации станций каскада Кубанских ГЭС показано, какой вклад каждый из рассмотренных выше факторов вносит в увеличение установленной мощности реконструируемых станций.

В условиях действующей модели оптового рынка электроэнергии и мощности тариф на увеличение установленной мощности является существенным фактором повышения экономической эффективности гидроэлектростанций.

¹ Канд. техн. наук, директор по управлению проектами, АО «Мособлгидропроект»

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ НПРЧ НА БРАТСКОЙ ГЭС

Д.Н. Клевин¹

Представлен опыт реализации режима нормированного первичного регулирования частоты (НПРЧ) на гидроагрегатах (ГА) Братской ГЭС. НПРЧ – это системная услуга, заключающаяся в поддержании постоянной готовности ГА к изменению активной мощности пропорционально отклонению частоты от номинальной с требуемой динамикой и точностью в пределах заданного резерва первичного регулирования.

Рассмотрены основные требования нормативной документации, предъявляемые к реализации режима НПРЧ, существующие проблемы в части обеспечения требуемой точности измерения частоты вращения и их решения. В качестве основного сигнала частоты, используемого для целей регулирования на возбужденном ГА, выбирается сигнал напряжения генератора. При расхождении сигналов (отключенном возбуждении, асинхронном ходе) регулятор автоматически переключается на сигнал частоты вращения, измеряемый посредством зубчатого колеса или тахогенератора. Применение в измерителе частоты метода обратного счета, а также специальной функции измерения частоты между первым зубом и им же на следующем обороте, между вторым и им же на следующем обороте и т. д. обеспечивает заданную точность измерения при низком качестве изготовления зубчатки. На гидроагрегатах Чебоксарской ГЭС удалось добиться качества сигналов с зубчатого колеса, сравнимых с эталонным сигналом напряжения генератора.

В изотропном ПИД регуляторе частоты применен оптимальный по быстродействию закон регулирования, обеспечивающий приближение к точке равновесия в режиме скольжения по переключающей плоскости.

В АСУ ТП реализована система мониторинга первичного регулирования. Данные собираются, обрабатываются и архивируются. В результате обработки по критериям контроля качества участия генерирующего оборудования в ОПРЧ/НПРЧ каждые сутки формируется технический отчет для персонала ГЭС, и файл мониторинга ГА в НПРЧ в требуемом СО ЕЭС формате сохраняется на ftp сервер. При выявлении нарушений критериев контроля качества у персонала станции есть возможность оперативно скорректировать работу системы регулирования, разобравшись в причинах нарушений, не дожидаясь получения ежемесячного отчета и неоплаты за нарушенные часы от СО ЕЭС. По результатам эксплуатации при анализе нарушений экспертами отмечается несовершенство алгоритмов применяемых критериев контроля качества «Отсутствие должной реакции при изменении частоты», связанное со сложностью выделения первичной и вторичной мощности из измеренного значения мощности при одновременном участии ГА в НПРЧ и АВРЧМ.

Представлены тренды переходных процессов, полученных по результатам сертификационных испытаний, наглядно подтверждающие соответствие качества регулирования заданным требованиям.

Выполнено сравнение работы агрегата в режиме ОПРЧ и агрегата в НПРЧ при аварийном отключении блока Белорусской АЭС, а также при нормальном режиме работы энергосистемы. Продемонстрирована более быстрая динамика выдачи требуемой первичной мощности агрегатами в режиме НПРЧ по сравнению с агрегатами в ОПРЧ, сопровождаемая более активным регулированием. При участии ГА в АВРЧМ режим НПРЧ не приводит к более активному регулированию, а значит – дополнительному износу золотниковых пар в исполнительной части системы регулирования.

¹ Главный конструктор САР, ООО «Ракурс-инжиниринг»

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ БИОМИМЕТИКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГИДРОМАШИН

А.А. Дружинин¹, А.В. Филатов²

Природоподобные технологии в настоящее время представляют собой одно из приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 г. В связи с этим, данное направление исследуется в НИУ «МЭИ» на кафедре Гидромеханики и Гидравлических машин им. В.С. Квятковского.

В общемировых исследованиях был выявлен полезный эффект наростов, полученный путем применения принципов биомимекрии в виде выполнения подобных наростов с плавников горбатого кита. Применение данной модификации в ветряных турбинах интенсифицирует вихреобразование и приводит к среднему приросту крутящего момента приблизительно на 3%, что дает пропорциональный прирост мощности агрегата [1]. Исследования на гидродинамических профилях показывают, что данные интенсификаторы вихрей способны провоцировать возникновение кавитации, однако общий объем кавитации уменьшается до 20 % [2].

Исследования данной модификации в гидромашинах направлены на увеличение крутящего момента рабочих органов, снижения уровней шума и вибраций, а также на борьбу с кавитацией. На данный момент учёными запатентованы и сформулированы рекомендации по применению модифицированных входных и выходных кромок центробежных колес насосов в турбинном режиме [3].

В области гидротурбин описанной модификации активные исследования ведутся на кафедре Гидромеханики и Гидравлических машин им. В.С. Квятковского НИУ «МЭИ» [4, 5]. Молодыми исследователями лаборатории автономных источников энергии и обратимых гидроагрегатов на основе микроГЭС были исследованы рабочие колеса осевой обратимой гидромашин. Экспериментально и численно были выявлены и подтверждены следующие полезные эффекты: увеличение подъемной силы лопастной решетки, увеличение гидравлического КПД обратимой гидромашин в турбинном режиме.

Исходя из уже изученных эффектов, возможно сформулировать перспективные области применения биомиметической модификации на основе строения бугорков на плавниках горбатого кита для гидротурбин ГЭС различных видов:

для поворотно-лопастных машин – увеличение гидравлического КПД гидротурбины в рамках проводимых замен рабочих колес на генерирующих станциях;

для радиально-осевых колес – борьба с кавитационным жгутом в области под обтекателем ротора, уменьшение уровня шума и вибраций.

Материалы, вошедшие в данные тезисы доклада, подготовлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Национального проекта «Наука и университеты» о создании новых лабораторий, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей – Уникальный номер проекта FSWF-2022-0008. Соглашение № 075-03-2022-138/5 от 02.11.2022.

¹ Канд. техн. наук, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

² Аспирант, инженер-исследователь, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Xinyu Zhu, Zhiping Guo, Yanfeng Zhang, Xiaowen Song, Chang Cai, Yasunari Kamada, Takao Maeda, Qing'an Li, Numerical study of aerodynamic characteristics on a straight-bladed vertical axis wind turbine with bionic blades, *Energy*, Volume 239, Part E, 2022.
2. Menghao, Fan., Zhaocheng, Sun., Ran, Yu., Zengliang, Li. Numerical study of the evolution of unsteady cavitation flow around hydrofoils with leading-edge tubercles. *Journal of Applied Physics*, 2024.
3. Tong Lin, Jiajing Zhang, Bisheng Wei, Zuchao Zhu, Xiaojun Li, The role of bionic tubercle leading-edge in a centrifugal pump as turbines(PATs), *Renewable Energy*, Volume 222, 2024.
4. Патент № 2741190 С1 Российская Федерация, МПК F03В 3/12. Рабочее колесо насоса-турбины со структурой бугорков горбатого кита: № 2020124523: заявл. 23.07.2020: опубл. 22.01.2021 / А.В. Волков, А.А. Дружинин, А.А. Вихлянцев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)). – EDN CCEUOW.
5. Патент № 2802111 С1 Российская Федерация, МПК F03В 3/12. Рабочее колесо насоса-турбины со сферическими биомиметическими наростами: № 2023104987: заявл. 03.03.2023: опубл. 22.08.2023 / А.В. Волков, А.А. Дружинин, Г.А. Кромм [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»)). – EDN WXLBTV.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОАГРЕГАТОВ ГЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ

Н.П. Караблин¹, О.А. Юдин²

В настоящее время контроль состояния металла конструктивных элементов основного оборудования ГЭС осуществляется только по выявленным дефектам (трещинам), при этом оценка физико-механических свойств и остаточного ресурса металла, как правило, не проводится.

Таким образом, определение возможности дальнейшей эксплуатации оборудования производится на основании статистики повреждаемости элемента, что не позволяет осуществлять прогноз изменения технического состояния оборудования.

В целях поддержания работоспособности оборудования, эксплуатация которого осуществляется за пределами нормативного срока службы, для расчета механической прочности несущих конструкций возникают потребности в определении физико-механических свойств фактического состояния металлоконструкций в местах, где взятие образцов/проб не представляется возможным.

В данной работе представлены результаты исследований состояния крестовин гидрогенераторов двух ГЭС методом коэрцитивной силы. Установлены результаты влияния усиления конструкции крестовины. Выполнен анализ значений коэрцитивной силы при различных режимах работы гидроагрегата, а также на различных стадиях жизненного цикла оборудования, начиная с монтажа. Отмечены этапы проведения предстоящих исследований метода.

В результате проведенных исследований на крестовинах ГЭС повышенных значений не выявлено. При анализе полученных результатов установлено, что значения коэрцитивной силы крестовин ГГ-2 и ГГ-7 находятся в относительно равных диапазонах, в отличие от значений крестовины ГГ-4, что может свидетельствовать о накопленных напряжениях в конструкции за 8 лет эксплуатации.

На основании проведенных исследований возникает потребность в дальнейших исследованиях для установления взаимосвязи показателей коэрцитивной силы, механической нагрузки и срока эксплуатации.

¹ Главный инженер по турбинному и гидромеханическому оборудованию, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

² Ведущий инженер отдела неразрушающего контроля, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОРОУДЕРЖИВАЮЩИХ РЕШЁТОК ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А.С. Антонов¹, Н.П. Караблин², И.В. Баклыков³

В настоящее время развитие современных средств измерения позволяет обнаружить и выявить причины повреждения отдельных ключевых элементов металлоконструкций, а математический аппарат – оценить степень влияния различных факторов. Зачастую неучтёнными факторами, вызывающими существенные повреждения гидромеханического оборудования, являются динамические воздействия от водного потока при различных режимах работы гидроагрегатов. Ключевым аспектом является то, что при проектировании за основу принимаются проектные уровни воды и достаточно равномерное растекание потока вокруг элементов конструкции. Исходя из начальной предпосылки, на стадии проекта наихудшим для работы конструкции является прохождение водного потока от нормального подпорного уровня (НПУ). На практике присутствуют существенные отличия от проектных постановок ввиду изменений условий эксплуатации и внешних воздействий или выявления дополнительных нагрузок неучтённых или заниженных на этапе проектирования. К примеру, в результате длительной работы гидроагрегатов происходит изменение коэффициента полезного действия (КПД), что ведёт к увеличению расходных характеристик через гидроагрегат. Изменение расходных функций вносят существенный вклад частотные спектры колебания конструкций. Учёт изменившихся нагрузок ведёт к существенному изменению напряжённно-деформированного состояния (НДС) гидромеханического оборудования.

Для определения динамических техногенных воздействий на гидромеханическое оборудование изучен российский и мировой опыт проведения инструментальных обследований, научно-техническая информация в части природы возникновения различных дефектов, анализ которой позволяет сделать вывод о необходимости исследования динамических нагрузок на сороудерживающие решетки (СУР) при различных режимах работы гидроагрегатов на напорах, близких к максимальному, минимальному и среднему. Для выполнения замеров динамических техногенных воздействий разработана методика проведения работ, которая разделена на два блока.

Первый блок – инструментальный, включающий в себя инструментальное и визуальное обследование для определения соответствия конструкций проектным решениям, а также уровень коррозионных повреждений СУР и виброобследование, направленное на получение виброускорений различных элементов конструкции.

Второй блок – математическое моделирование. Наиболее перспективным междисциплинарным комплексом, позволяющим одновременно учитывать большое количество факторов, является ANSYS. Данный программный продукт имеет различные модули. Так, ANSYS CFX позволяет решать задачи течения потока, ANSYS Mechanical позволяет выполнять прочност-

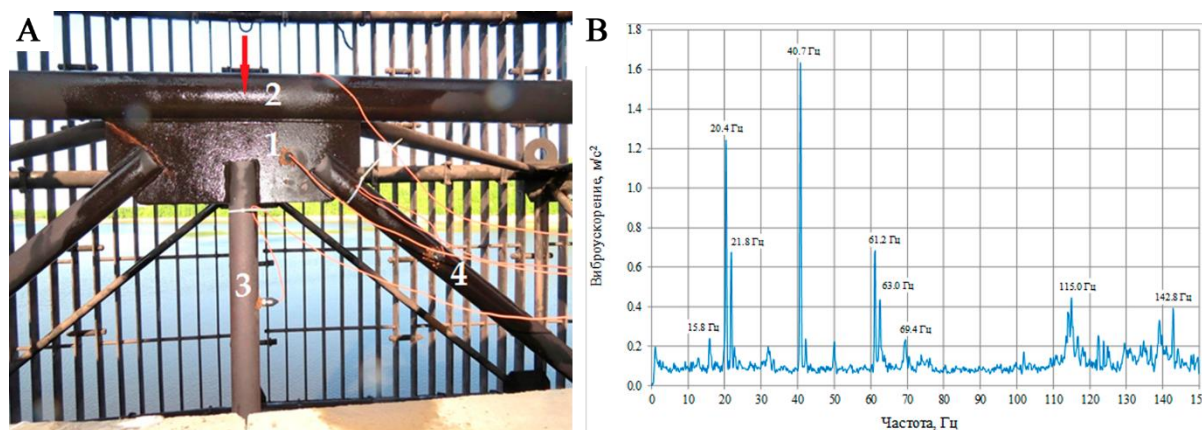
¹ Главный инженер по оборудованию и ГТС, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

² Главный инженер по турбинному и гидромеханическому оборудованию, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

³ Ведущий специалист отдела расчетных исследований, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

ные расчёты металлоконструкций с учётом различных нагрузок при учёте геометрической и физической нелинейности.

По данным инструментальных обследований, дефекты фиксировались на фасонах раскосов, расположенных на тыловой грани несущего каркаса, со стороны гидроагрегатов, при анализе выделены частоты, оказывающие наибольшее влияние на не проектно расположенные раскосы (выделены красным на рисунке). На основании выделенных частот выполнялся прочностной расчёт элементов. Основные частоты выделяются по направлению воздействия, так в направлении вдоль потока основные формы 8-13, которым соответствуют частоты в диапазоне 41.189 - 44.140 Гц. В вертикальном и поперёк потока направлении основные формы вибрации 30, 31, 35 и 39, которым соответствуют частоты 55.63; 56.18; 59.57 и 62.54 Гц. Инструментальные замеры показали, что фактические частоты при работающих гидроагрегатах составляют 41-43 Гц, а расчётные собственные частоты конструкции находятся в диапазоне 40-50 Гц. Соответственно на этих частотах может происходить эффект резонанса, приводящий к существенному увеличению усилий в конструкции.



А – расстановка датчиков для натуральных испытаний; Б – пример частотного сигнала

Выполненные расчёты НДС показали, что при 23.24 Гц, то есть при 2-ой форме колебаний напряжения в конструкции не превосходят нормативных значений для стали 09Г2С-Св-12 ГОСТ 19281-89 и В20 ГОСТ 8731-74. Результат расчёта НДС показал, что при частоте 43,765 Гц эквивалентные напряжения достигают предела текучести металла, что приводит к трещинообразованию в фасонках. Увеличение толщины фасонки незначительно сказывается на общем НДС конструкции.

Исходя из результатов натуральных испытаний и многовариантных расчётов на математических моделях, выявлено, что основной причиной значительной вибрации СУР является изменение вынужденных форм и частот собственных колебаний и смещение их величины в зону работы гидроагрегатов и её не проектное исполнение вследствие изменённого расположение раскосов, что при определенных режимах работы агрегатов приводило к появлению резонанса и концентрации напряжений на концах раскосов в зоне примыкания к фасонкам.

При этом стыковка раскосов к фасонке имела недостаточную длину, что влекло за собой передачу напряжений на край фасонки, и концентрации напряжений, что приводило к образованию трещин по направлению главных напряжений в узле.

Использование методов математического моделирования совместно с натурными данными инструментальных обследований и замеров позволило дать актуальные рекомендации для поддержания оборудования в работоспособном состоянии и обеспечить его нормальную эксплуатацию.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДВОДЯЩЕЙ СПИРАЛЬНОЙ КАМЕРЫ ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ

А.В. Филатов¹, А.А. Дружинин², Д.В. Мылкин³, А.В. Волков⁴

В настоящее время наиболее распространённой в качестве устройства, обеспечивающего формирование потока с требуемыми для нормальной работы гидротурбины параметрами, является спиральная камера. Данная конструкция подводящего устройства обладает рядом преимуществ, позволяющих проектировать эффективные ГЭС. К таким можно отнести высокую равномерность по окружности потока, существование нормализованных рядов типоразмеров для любого рабочего колеса из существующей номенклатуры, а кроме того, спиральная камера воспринимает и распределяет усилия от веса воды в ней.

Однако данная конструкция обладает также и существенными недостатками, особенно если говорить о малых ГЭС, где ключевым параметром эффективности является сохранение КПД гидротурбины при максимальном удешевлении производства. Так, например, сложности в изготовлении и установке спиральной камеры, а также её высокие массогабаритные показатели приводят к необходимости пересмотра технологии изготовления подводящих каналов осевых гидротурбин малой мощности.

В статье [1] было произведено рассмотрение и сравнение различных форм проточной части осевых гидротурбин микроГЭС. Была определена наилучшая конструкция по критерию минимальных потерь давления в подводе и наилучшей картине течения. Однако представленные в статье конструкции не создавали закрутку потока перед рабочим органом гидротурбины, что делает эти конструкции менее универсальным по сравнению со спиральной камерой.

Решением данной проблемы может служить гидротурбина, в которой подводящая часть выполнена в виде спиральной камеры по патенту [2] и представляет собой два участка: вход прямоугольного постоянного сечения, плавно по спиральной поверхности переходящий в цилиндрический участок. Данная конструкция позволяет уменьшить радиальный габарит гидротурбинного блока и, следовательно, увеличить количество генерирующего оборудования при неизменном размере машинного зала ГЭС.

В связи с увеличением интереса к гидроэнергетике малой мощности в децентрализованных регионах с потребностями в электроснабжении, данное решение возможно использовать для создания закрутки потока воды в микро-ГЭС. Простота конструкции обеспечивается использованием стандартных номенклатур на трубопроводы и элементарными технологическими операциями.

Учитывая все описанные преимущества, данное конструктивное решение может быть применено как к новым установкам в рамках развития микро гидроэнергетики, так и для гидроэнергетики больших мощностей без необходимости внесения существенных корректировок конструкции из-за стандартного ряда рабочих колес.

¹ Аспирант, инженер-исследователь лаборатории микроГЭС (120012), ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

² Канд. техн. наук, заведующий лабораторией микроГЭС (120012), ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

³ Аспирант, младший научный сотрудник лаборатории микроГЭС (120012), ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

⁴ Доктор техн. наук, заведующий кафедрой ГТМ им В.С. Квятковского, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

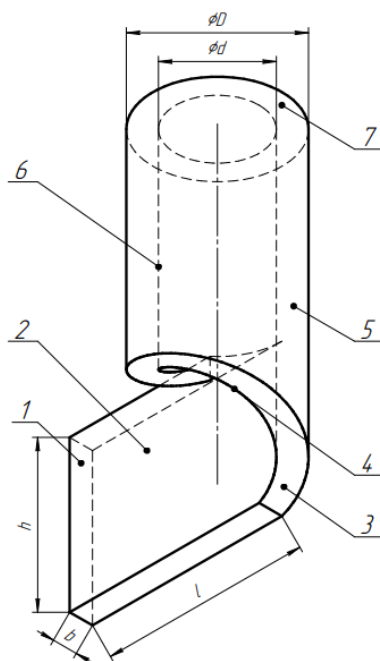


Рис. 1. Спиральная камера гидротурбины:

1 – входное сечение спиральной камеры; 2 – входной участок постоянного прямоугольного сечения; 3 – спиральная поверхность; 4 – внутренняя кромка; 5 – цилиндрическая часть; 6 – контактная поверхность воды с валом гидротурбины; 7 – выходное сечение

Материалы, вошедшие в данные тезисы доклада, подготовлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Национального проекта «Наука и университеты» о создании новых лабораторий, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей – Уникальный номер проекта FSWF-2022-0008. Соглашение № 075-03-2022-138/5 от 02.11.2022.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. А.В. Волков, А.А. Дружинин, В.Ю. Ляпин [и др.] Оптимизация входных элементов проточной части малых осевых гидротурбин // Надежность и безопасность энергетики. 2023. Т. 16. № 2. С. 79-86. – DOI 10.24223/1999-5555-2023-16-2-79-86. – EDN BSJVYS.

2. Патент на полезную модель № 228047 РФ. Спиральная камера гидротурбины: Заявл. № 2024118055 от 28.06.2024 г. Приоритет от 28.06.2024 г. Опубл. 13.08.2024 г. / Байков В.Н., Бирюлин М.А., Волков А.В., Дружинин А.А., Мылкин Д.В., Филатов А.В. Заявитель и патентообладатель НИУ «МЭИ».

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ГИДРОУЗЛА

М.Ш. Магомедов¹, К.Г. Магомедов²

Чиркейская гидроэлектростанция расположена на р. Сулак у посёлка Дубки, в Буйнакском районе Дагестана. Является самой мощной гидроэлектростанцией на Северном Кавказе. Входит в Сулакский каскад ГЭС, являясь его верхней, регулирующей весь каскад ступенью.

Мощность ГЭС – 1000 МВт, среднегодовая выработка – 2,47 млрд кВт·ч. В здании ГЭС установлено 4 радиально-осевых гидроагрегата мощностью по 250 МВт, работающих при расчётном напоре 170 м. Плотина – бетонная арочная высотой 232,5 м, длиной по гребню 338 м, с приплотинным зданием ГЭС и холостым береговым туннельным водосбросом

Чиркейская ГЭС является крупнейшей гидроэлектростанцией Северного Кавказа. Имея высокие маневренные возможности, она является основной регулирующей станцией в Объединённой энергосистеме Юга России, работая в пиковой части графика нагрузок. Также она выполняет функции своеобразной «скорой помощи» в энергосистеме, позволяя в случае аварийного выхода блоков 150–300 МВт на тепловых электростанциях быстро заместить выбывшую мощность. Благодаря наличию контррегулятора – Миатлинской ГЭС – станция не имеет ограничений по режимам сбросов, имея возможность быстро изменять свою мощность (и соответственно расходы в нижний бьеф). Осуществляя глубокое регулирование стока, Чиркейская ГЭС повышает выработку на нижележащих станциях каскада, а также обеспечивает надёжное водоснабжение населённых пунктов и орошение. В последние годы Чиркейская ГЭС стала туристическим хабом Дагестана.

Предпосылки к модернизации

Точечные капитальные ремонты не решали проблему износа основных фондов Чиркейской ГЭС, который к 1990 г. достиг 70 %. Для того, чтобы обосновать финансирование масштабной реконструкции, требовалось провести комплексное обследование оборудования. Анализ состояния оборудования Чиркейской ГЭС выполнил исследовательский институт ???

Программа комплексной модернизации Чиркейской ГЭС

ПКМ Чиркейской ГЭС рассчитана до 2032 года. Устаревшее оборудование меняется на современное, высокотехнологичное, с увеличенным межремонтным периодом. В результате повышается надёжность оборудования, снижается стоимость его эксплуатации. Модернизация минимизирует риски недовыработки электрической энергии и невыполнения заданий по рабочей мощности станции в результате отказа оборудования.

Эффекты от реализации ПКМ Чиркейской ГЭС:

снижение удельной себестоимости производства электроэнергии (в т. ч. объема ремонтных затрат, объема затрат на техническое обслуживание);

рост надёжности и безопасности основного генерирующего оборудования;

обеспечение защищённости персонала при затоплении подводной части ГЭС.

¹ Первый заместитель директора, филиал ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал»

² Канд. техн. наук, ведущий инженер, филиал ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал»

*Повышение эффективности эксплуатации
водохозяйственного комплекса Чиркейской ГЭС*

Проходящая в настоящее время комплексная модернизация на Чиркейской ГЭС улучшит эффективность эксплуатации водохозяйственного комплекса Чиркейского гидроузла в целом. Будет способствовать организации новых туристических баз и маршрутов, повышению уровня медицинского, культурного, бытового и торгового обслуживания населения.

Эффективность водохозяйственного комплекса Чиркейского гидроузла значительно увеличивается за счёт строительства в составе гидроузла кроме гидроэлектростанции оросительных каналов, систем водоснабжения и организации туризма. Правительством РД запланирована техническая мелиорация 55 тыс га Тишиклинской долины из водовыпуска Тишиклинской плотины Чиркейского гидроузла. В настоящее время завершается строительство водовода с Чиркейского водохранилища в города Махачкала, Каспийск, Буйнакск.

Многолетний опыт эксплуатации Чиркейской ГЭС в составе комплексного гидроузла предлагается использовать при строительстве гидроэлектростанций комплексного назначения в Дагестане и в регионе Северного Кавказа, где требуются новые подходы и новые средства осуществления планирования, проектирования, а также управления функционированием водохозяйственных систем. В состав водохозяйственных комплексов будет входить гидроэлектростанция, оросительный канал, система водоснабжения, рыборазведение и очень быстро развивающаяся отрасль республики – туризм.

Инвестиции в строительство и развитие комплектного гидроузла можно представить как капиталовложения в общие объекты гидроузла (водохранилище, плотину, водосброс) и в отраслевые объекты гидроузла (например, капиталовложения в ГЭС – в энергетике, строительство базы отдыха - в организации туризма, в водозаборное сооружение – в мелиорации). Капиталовложения в ВХК складываются из капиталовложений в гидроузел и в сопутствующие сооружения (каналы и распределительную сеть для орошения и водоснабжения, линии электропередачи, туризм и т. п.). Аналогично формируются и ежегодные издержки производства: как сумма издержек по общим объектам гидроузла, по отраслевым объектам и сопутствующим сооружениям. Все водопользователи должны участвовать в финансировании строительства и эксплуатации не только своих отраслевых объектов (ГЭС, судоподъемника, водозабора и т. д.), но и общих сооружений гидроузла (плотины, водохранилища, водосброса).

При таком комплексном строительстве гидроузла значительно снижаются затраты на строительство каждого участника водохозяйственного комплекса.

ОПТИМИЗАЦИЯ СУТОЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

С.С. Труфакин¹

Режим работы основного оборудования большинства крупных гидроэлектростанций (ГЭС) России зависит от множества факторов: требований энергосистемы, надежности оборудования, водохозяйственных и экологических требований. Зачастую такая разнообразная система ограничений приводит к невозможности точно определить режим работы оборудования ГЭС. В рамках реализации программного обеспечения по планированию суточных режимов работы ГЭС нами были исследованы различные модели оптимизации. Постановка задачи оптимизации включала максимизацию эффективности использования электроэнергии ГЭС в энергосистеме при соблюдении различных ограничений.

Были разработаны несколько моделей оптимизации одиночных ГЭС в энергосистеме. Каждая из моделей имеет свои преимущества и недостатки:

1. Модель с квадратично целевой функцией имеет высокую скорость и максимальную точность, с точки зрения заполнения пиковой части графика нагрузки. Однако в сложных комбинациях исходных данных, особенно при большом количестве запрещенных зон генераторов, длительность работы становится большой (> 120 сек.).

2. Модель с дискретизацией мощностей тепловых электростанций (ТЭС) максимально приближена к квадратичной модели и имеет высокую надежность, то есть не было выявлено ложных комбинаций исходных данных, при которых длительность расчета становилась недопустимо большой, однако имеет повышенную длительность расчета, которая зависит от значений потребления энергосистемы. Для потребления ЕЭС России около 130 ГВт и дискретизации в 10 МВт, длительность составляет около 5 секунд.

3. Модель с целевой функцией минимизации максимума мощности ТЭС и минимизации абсолютного отклонения от средней имеют высокую скорость и надежность, но их результаты в некоторых комбинациях исходных данных могут значительно отличаться от квадратичной модели.

4. Модель с целевой функцией минимизации изменений мощности ТЭС имеет высокую скорость и надежность, но её результаты наиболее заметно отличаются от классического понижения результатов оптимизации режимов ГЭС. Дело в том, что модель минимизирует количество изменений нагрузки ТЭС, стремясь его выровнять, несмотря на значения мощности. С одной стороны, мощность ТЭС может быть высокой, с другой - график мощности характеризуется стабильностью, что может положительно сказаться на эксплуатационных издержках оборудования ТЭС.

В результате разработаны несколько оптимизационных моделей, имеющих свои преимущества и недостатки. Выбор той или иной модели для использования зависит от особенностей конкретных ГЭС в энергосистеме.

¹ Канд. техн. наук, старший аналитик, АО «НТЦ ЕЭС Информационные комплексы»

ВЛИЯНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАПОРНЫХ СИСТЕМ ГЭС НА РЕЖИМЫ ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТИ ПРИ ПЛАНОВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ

О.А. Муравьев¹, А.М. Дудин²

Доклад посвящен анализу влияния неустановившегося движения в напорных водоводах гидроэлектростанций на быстродействие изменения мощности ГЭС при регулировании нагрузки энергосистемы, определению такого количественного показателя быстродействия как эквивалентное время запаздывания.

Одной из важных функций ГЭС в энергосистеме является участие в регулировании общего первичного частоты в соответствии со статической характеристикой регуляторов гидротурбин. Для повышения надежности функционирования электроэнергетических систем ряд крупных ГЭС обеспечивают нормированное первичное регулирование частоты, а также вторичное регулирование частоты и перетоков мощности при скачках нагрузки. Требования к быстродействию восстановления частоты для выделенных ГЭС установлены нормативными документами. Для нормированного первичного регулирования это требуемая скорость изменения мощности, для вторичного регулирования – это время восстановления среднего значения частоты. Таким образом, от ГЭС требуется определенное быстродействие изменения мощности.

На быстродействие регулирования мощности ГЭС влияют такие факторы, как тип турбин, их эксплуатационные напорно-мощностные характеристики, настройки системы регулирования, инерционные характеристики напорных водоводов, характеризующиеся значением постоянной инерции. Постоянная инерция напорных водоводов ГЭС изменяется в широких пределах. Классификация действующих отечественных ГЭС показала, в каком диапазоне изменяется этот показатель в зависимости от типа гидроэлектростанции (руслловая, приплотинная, деривационная) и действующего напора.

Эффективным средством исследований режимов изменения мощности ГЭС при регулировании нагрузки является математическое моделирование неустановившегося движения жидкости в напорных водоводах с учетом граничных условий, отражающих изменение расхода и мощности на валу гидротурбины с учетом напорно-расходной и напорно-мощностной характеристик, структуры и настроек автоматического регулятора. Модель позволяет рассчитывать переходные процессы в разветвленных системах напорных водоводов, включая схемы с уравнительными резервуарами, существенно влияющие на режим изменения мощности, инициируя колебательный характер ее изменения.

Важным количественным показателем, характеризующим быстродействие, является эквивалентное время запаздывания, определяемое через интеграл по времени отклонения фактической мощности от заданного конечного значения по отношению к диапазону ее изменения. Зависимость эквивалентного времени запаздывания ГЭС от начального и конечного значений мощности при ее наборе и снижении представлена в виде регулировочной характеристики.

¹ Доктор техн. наук, начальник управления, АО «ВНИИГ им Б.Е. Веденеева», НИУ МГСУ

² Начальник департамента эксплуатации, ПАО «РусГидро»

Показано влияние на ее параметры, постоянной времени напорной системы ГЭС. Приведены результаты исследований, показывающие вид регулировочных характеристик гидротурбин различных типов в зависимости от постоянной инерции напорной системы ГЭС.

Выполненные исследования позволили выделить группы ГЭС, обладающие наибольшим быстродействием, учесть особенности станций, в которых неустановившееся движение обуславливает повышенную инерционность процессов изменения активной мощности при регулировании нагрузки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЩЕГО ПЕРВИЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ГИДРОАГРЕГАТАМИ НОРИЛЬСКО-ТАЙМЫРСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В.А. Фёдорова¹, В.Ф. Кириченко², Д.В. Корнилович³, Г.В. Глазырин⁴

Одним из ключевых процессов в оперативно-диспетчерском управлении электроэнергетическими системами является регулирование режимных параметров генератора, в частности, частоты его вращения. В работе рассматривается процесс общего первичного регулирования частоты (ОПРЧ), направленный на снижение отклонения частоты от номинального значения.

Первичное регулирование частоты в энергосистеме осуществляют несколько электростанций с различными типами регуляторов (а статическим и статическим). В процессе выполнения ОПРЧ возникает проблема: при регулировании частоты несколькими электростанциями с различными типами регуляторов при определенных аварийных ситуациях имеет место некорректное регулирование, сопровождающееся незатухающими колебаниями частоты (НКЧ). В настоящей работе рассматривается проблема ограниченной эффективности ОПРЧ, связанная с недостаточной координацией различных регуляторов между собой на электростанциях, участвующих в первичном регулировании частоты. Особенно ситуация с колебаниями частоты усугубляется при настройке уставок регуляторов согласно ГОСТ 55890-2013.

Показательным примером ситуации с возникновением НКЧ при ОПРЧ является авария 2020 г. в энергосистеме Норильско-Таймырской энергетической компании (НТЭК). Небаланс активной мощности 60 МВт в энергосистеме запустил процесс первичного регулирования частоты двумя гидроэлектростанциями (ГЭС). Регулятор одной из ГЭС был астатическим, на второй – статическим, их основные уставки были настроены согласно ГОСТ 55890-2013. Это привело к возникновению колебаний частоты при ОПРЧ длительностью более 27 секунд из-за отсутствия координации между регуляторами и сбоя в работе статического регулятора. Устойчивого ОПРЧ удалось добиться только при статизме 25 %, что не соответствует ГОСТ.

Глобальная цель данного исследования – возможность использования в процессе ОПРЧ усовершенствованных методов регулирования. Для достижения цели первоначально необходима разработка многофункциональной математической модели энергосистемы с возможностью программно изменять на смоделированных электростанциях типы регуляторов и корректировать их параметры. Это позволит детально исследовать особенности ОПРЧ и переходные процессы при нем. В данной работе математическая модель представляет собой цифровой прототип энергосистемы НТЭК с возможностью верификации на основе осциллограмм реальной аварийной ситуации этой энергосистемы. Модель отражает динамику работы и особенности управления гидрогенерирующим оборудованием.

¹ Аспирант, ФГБОУ ВО «НГТУ»

² Аспирант, ФГБОУ ВО «НГТУ»

³ Аспирант, ФГБОУ ВО «НГТУ»

⁴ Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «НГТУ»

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ СТАТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

В.Ф. Кириченко¹, В.А. Фёдорова², Г.В. Глазырин³

Увеличение чувствительности к витковым замыканиям в обмотке статора синхронных генераторов за счет разработки инновационных методов и подходов обнаружения повреждения представляет собой важную задачу в области разработки алгоритмов релейной защиты. В данной работе представлено описание принципа работы алгоритма нового типа релейной защиты от витковых замыканий в обмотке статора синхронного генератора прямым методом, основанным на напряжении небаланса в цепях фаз статора.

Защита от витковых замыканий имеет ограниченное применение вследствие отсутствия простых способов ее осуществления. Только для генераторов большой мощности, каждая из фаз которых выполнена в виде двух и более параллельных ветвей, выведенных наружу, разработаны относительно простая и надежная схема защиты (поперечная дифференциальная защита). При малой доле замкнувших витков существующие защиты неэффективны, так как не обладают требуемой чувствительностью. Отсутствие возможности выявления межвитковых замыканий в статоре на ранней стадии может привести к аварийным ситуациям. Как известно, в синхронных и асинхронных машинах межвитковые замыкания могут переходить в замыкания на корпус и междуфазные короткие замыкания. Существующие подходы не могут обеспечить комплексное решение данной проблемы в выявлении витковых замыканий в обмотке статора. В связи с этим актуальной задачей является разработка нового типа релейной защиты для определения замыканий с малой долей витков в обмотке статора прямым методом, основанном на напряжении небаланса в цепях фаз статора.

Предлагаемый в данной работе алгоритм релейной защиты от витковых замыканий позволит учитывать отличающиеся параметры фазных обмоток. Алгоритм будет основан на численном решении дифференциальных уравнений равновесия ЭДС и падений напряжений в обмотках синхронной машины. Витковое замыкание в обмотке статора генератора приводит к изменению собственной индуктивности одной из фаз, её взаимных индуктивностей, а также образованию дополнительного короткозамкнутого контура. Следовательно, равенства, заданные уравнениями электромагнитных переходных процессов исправной синхронной машины, при наличии виткового замыкания выполняться не будут. Нарушения этих равенств могут быть использованы как признаки виткового замыкания в обмотке статора.

Разработанный алгоритм релейной защиты опробован на лабораторном генераторе мощностью 12 кВт, установленном в Новосибирском государственном техническом университете. Согласно полученным осциллограммам, при уставке по небалансу напряжений, принятой на уровне 5 %, предлагаемый алгоритм релейной защиты является чувствительным к межвитковым КЗ в обмотке статора.

¹ Аспирант, ФГБОУ ВО «НГТУ»

² Аспирант, ФГБОУ ВО «НГТУ»

³ Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «НГТУ»

Секция

Научные и практические вопросы гидравлики и гидрологии

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТА СИСТЕМЫ АЭРАЦИИ ПОТОКА В ТУННЕЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬНОМ ВОДОСБРОСЕ СТ4 РОГУНСКОЙ ГЭС

М.В. Алексеевская¹, О.Х. Гадоев², Г.А. Судольский³, Ф.А. Холов⁴, А.В. Шилев⁵

В докладе приведены результаты экспериментальных гидравлических исследований, выполненных на физической модели масштаба 1:25 затворной камеры и отводящего безнапорного участка сооружаемого в настоящее время строительного туннеля 4-го уровня Рогунской ГЭС, рассчитанного на пропуск расчетного расхода 3500 м³/с при напорах до 150 м.

Для аэрации потока в камере сегментных затворов предусмотрен пазовый аэратор на дне и боковых стенах этой камеры. Подвод воздуха к потоку осуществляется через аэрационные трубы, предусмотренные в потолке камеры, сообщающиеся со специальным аэрационным туннелем. На безнапорном отводящем от затворной камеры участке туннеля предусмотрен ряд пазовых аэраторов на дне и боковых его стенах.

При проведении исследований на физической модели фиксировались расходы воздуха в аэрационных трубах и вакуумы, возникающие у потолка камеры сегментных затворов, при полном и частичных открытиях рабочих сегментных затворов. На модели также фиксировались осредненные давления на дно затворной камеры и отводящего участка туннеля, а также уровни воды на этих участках тракта.

В результате выполнения исследований с использованием данных математического моделирования условий течения в аэрационном туннеле, который на физической модели не воспроизводился, определены размеры аэрационных труб, подводящих воздух в затворную камеру. Разработанная система аэрации обеспечивает достаточное поступление воздуха к потоку в широком диапазоне сбросных расходов и требуемую защиту обтекаемых поверхностей от кавитационной эрозии.

По результатам экспериментов на модели разработана система подвода воздуха на участок камеры между рабочим сегментным и плоским аварийно-ремонтным затворами, что позволяет избежать появления здесь недопустимых вакуумов в процессе аварийного закрытия плоского затвора.

Для отводящего от затворной камеры безнапорного участка туннеля на основе данных физического и математического моделирования разработана система аэрации потока с помощью пазовых аэраторов. В результате исследований определена оптимальная конструкция аэраторов и схема их размещения на тракте туннеля.

¹ Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Начальник строительного управления, ОАО «Точикгидроэлектромонтаж»

³ Канд. техн. наук, заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Представитель подрядчика, ОАО «Точикгидроэлектромонтаж»

⁵ Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ ВОДОСБРОСОВ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

И.Д. Бучнев¹

Вихревые водосбросы – это гидротехнические сооружения, которые используются для сброса воды из водохранилищ. Они работают по принципу создания вихревого потока, который позволяет эффективно гасить энергию, что способствует уменьшению размыва русла реки, а также активно аэрирует поток за счет воздушного ядра, предотвращая кавитационное разрушение стен туннеля.

В последние десятилетия в зарубежных странах, особенно в Китае, активно разрабатывают конструкции вихревых водосбросов с вертикальной шахтой. В то же время в отечественной практике нет опыта проектирования, строительства и эксплуатации таких сооружений.

В данной работе проведен анализ результатов гидравлических исследований вихревых шахт вертикального типа на физических моделях, обобщены экспериментальные данные о параметрах потока на тракте вихревого водосброса в относительных единицах, а также рассмотрен зарубежный опыт эксплуатации такого типа сооружений.

¹ Инженер 2 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНЦЕВЫХ УСТРОЙСТВ ДОННЫХ ВОДОСБРОСОВ

А.А. Гиргидов¹

Донные водосбросы широко применяются на средне- и низконапорных сооружениях. Тем не менее, запущенная в 2015 г. в промышленную эксплуатацию высоконапорная Богучанская ГЭС имеет водосброс данного типа. Существенным недостатком донных водосбросов является то, что поток, выходящий в нижний бьеф, неаэрирован по сравнению с потоком поверхностного водосброса. Следовательно, плотность выходного потока практически равна плотности воды. Это предъявляет дополнительные требования к гасителям в нижнем бьефе (например, увеличенную длину и глубину водобойного колодца и пр.).

В рамках усовершенствования концевой устройства водосброса предлагается на носке перед колодцем организовать трамплин-растекатель, обеспечивающий переформирование струи из выходного портала таким образом, чтобы площадь поперечного сечения потока при входе в водобойный колодец была максимальной. За счёт такой конфигурации выходной струи гашение энергии воды в колодце будет происходить более эффективно по сравнению с потоком, сходящим с прямого носка трамплина. Работа посвящена проработке возможных вариантов конфигурации трамплина и определению наиболее рациональной его формы.

Исследование проводилось на численной модели в программном комплексе FLOW-3D, позволяющим воспроизвести всю расчётную область: участок верхнего бьефа, донный водосброс, выходной портал, носок-трамплин, водобойный колодец и участок нижнего бьефа. Модель строилась на параметрах водосброса №1 Богучанской ГЭС.

Исходными данными были:

подводящий участок верхнего бьефа для формирования напора над входным порталом донного водосброса;

конфигурация водосброса; геометрия выходного участка (носок, водобойный колодец); отводящий участок за колодцем (для формирования выходного граничного условия).

Численная модель состояла из более 5 000 000 ячеек. Для моделирования использовалась RNG k-ε модель турбулентности.

В результате моделирования были получены конфигурации трамплинов-растекателей, позволяющих увеличить поперечную площадь потока при входе в водобойный колодец, что позволяет эффективно использовать всю длину колодца для гашения энергии потока. Дополнительно была разработана рациональная конфигурация трамплина, учитывающая особенности выполнения строительных работ (установка опалубки, ровные грани трамплина и др.). Моделирование показало низкую эффективность использования носков-трамплинов с большим углом схода потока к горизонту на концевом участке водосброса. Предлагаемая усовершенствованная конфигурация трамплинов-растекателей может быть использована в дальнейшем как при строительстве новых гидроузлов с донными водосбросами, так и при реконструкции существующих гидроузлов с донными водосбросами.

¹ Канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ НОСКОВ-ТРАМПЛИНОВ ДЛЯ ВЫСОКОНАПОРНЫХ ГИДРОУЗЛОВ

С.А. Анисимов¹

Безопасная эксплуатация, надежная и безаварийная работа высоконапорных гидроузлов обеспечивается только при приемлемых размерах воронки размыва в нижнем бьефе. Значительные увеличения габаритов воронки размыва могут привести к повреждениям ограждающих конструкций в нижнем бьефе. Данные габариты напрямую зависят от траектории и структуры струи, отбрасываемой с носка водосброса такого гидроузла. Добиться нужных параметров струи, при которых ее размывающая способность будет сведена к минимуму, возможно с помощью оптимальной конструкции носка-трамплина, с которого отбрасывается струя.

Исследования данного вопроса проводятся как на физических моделях, так и с использованием математических моделей.

В процессе экспериментальной работы была проведена сравнительная оценка размыва дна в нижнем бьефе при отбросе потока с носков-трамплинов различной конструкции.

По результатам исследований разработаны рекомендации для проектирования конструкции носков-трамплинов.

¹ Инженер 1 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОПУСКА ХОЛОСТЫХ РАСХОДОВ ЧЕРЕЗ ПРОТОЧНУЮ ЧАСТЬ ГИДРОТУРБИНЫ

Г.В. Орехов¹, М.К. Складнев², А.Ф. Зубков³

Статья написана на основании проведённых модельных испытаний проточной части турбины средненапорного гидроузла с установленным в камере рабочего колеса контрвихревым гасителем кинетической энергии сбрасываемого холостого потока.

Для проведения модельных исследований в лаборатории был построен экспериментальный стенд с установленной моделью проточной части турбинного блока. Масштаб геометрического подобия был принят равным 30. Такой масштабный коэффициент был принят, в связи с имеющимися в лаборатории производственными возможностями (количество воды в приёмных баках, их прочность и устойчивость, размеры лабораторного помещения).

Проточная часть экспериментального стенда замкнутого типа. Насосная система, помещённая в приёмные баки, обеспечивала модель необходимым расходом воды, которая проходила по проточной части модельного турбинного блока и вновь возвращалась в приёмные баки.

Целью настоящей работы является исследование вопроса о возможности пропуска расходов через проточную часть турбины средне- и высоконапорных гидроэлектростанций. Изучение поставленного вопроса проводится при помощи физического моделирования с получением основных параметров, характеризующих сложное течение в проточной части гидротурбины.

В статье приводится подробное описание экспериментальной установки и полученные в результате физического эксперимента результаты.

В выводах отмечается, что экспериментальный стенд:

позволяет обеспечивать водой модель проточного тракта с расходом до 16,65 л/с и напором до 2,4 м вод. ст. (23534 Па);

позволяет моделировать гидравлические режимы нижнего бьефа, изменяя уровни воды от минимального до максимального значения.

В камере рабочего колеса турбины установлен контрвихревой гаситель, состоящий из двух круговых решёток: решётки направляющего аппарата и решётки завихрителя внутреннего закрученного потока. Конструкция модели предусматривает подачу атмосферного воздуха в проточную часть с помощью аэрационных трубок различного диаметра.

Выполнены расчёты в рамках гидравлического моделирования на основании критерия Эйлера. Критерии моделирования соблюдены. На модели получен расход, предусмотренный условиями моделирования.

Получены значения расхода воздуха, поступающего самотёком в проточную часть модели через крышку турбины.

Измерение давления на стенке конуса отсасывающей трубы при штатной работе контрвихревого гасителя (при пуске воздуха в проточную часть) показало разброс давления от значения небольшого вакуума до небольшого избыточного давления, что, по мнению авторов, говорит о некоторой несимметрии течения воды в этой области. В целом можно сказать, что

¹ Профессор кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ

² Аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ

³ Канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, НИИ Механики МГУ

при режиме работы гасителя с впуском воздуха давление на стенке конуса следует ожидать близкое к атмосферному.

Анализ полученных пульсаций давления дали возможность оценить пульсационные гидродинамические нагрузки, не превышающие 2,2 % от действующего напора на всех исследованных режимах работы гасителя.

Надо отметить, что мелкомасштабная модель с малым действующим напором не может в полной мере отражать все условия и особенности течения в натурной проточной части. На мелкомасштабной модели, например, не происходит разрыв сплошности потока в приосевой зоне течения, в отличие от натуре. Однако проведённые модельные исследования позволили дать оценку основным показателям работы контрвихревого гасителя, установленного в камере рабочего колеса турбины.

КОЭФФИЦИЕНТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ НАПОРНОГО И БЕЗНАПОРНОГО ПОТОКОВ

К.А. Волнушкина¹, Ю.В. Брянская²

Применение полимерных трубопроводов в современной практике водоснабжения и водоотведения уже не является чем-то новым. Полимерные материалы используют как в качестве новых изделий, так и для восстановления трубопроводов при нарушении их функций в стадии эксплуатации. Например, при восстановлении трубопроводов полимерными рукавами происходит уменьшение внутреннего диаметра трубопровода и, как следствие, изменение гидравлических характеристик потока.

Одной из важнейших характеристик при производстве гидравлических расчетов трубопроводных систем является коэффициент гидравлического сопротивления. Предыдущие исследования, проведенные авторами, показали, что использование полимерных рукавов при восстановлении трубопроводов увеличивает пропускную способность. Расход, проходящий через трубопровод, после уменьшения диаметра при протягивании рукава увеличивается при равных исходных данных за счет гладкой поверхности материала. Однако была выявлена проблема выбора методики расчета коэффициента гидравлического сопротивления восстановленных трубопроводов.

В данной статье рассматриваются расчетные зависимости для коэффициента гидравлического сопротивления при напорном и безнапорном движении жидкости. Особый интерес вызывают формулы, представленные в СП 399.1325800.2018 «Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов. Правила проектирования и монтажа», расчеты коэффициента гидравлического сопротивления по которым сравниваются с расчетами по формулам Колбрука-Уайта, Блазиуса и Конакова.

В результате сформированы выводы о сходимости методик расчета коэффициента гидравлического сопротивления между собой, проведено сопоставление расчетных результатов с опытными данными для трубопроводов с малой шероховатостью, выдвигаются предположения о возникающих расхождениях и формируются вопросы для последующего изучения темы.

¹ Студент, НИУ МГСУ

² Доктор техн. наук, профессор, НИУ МГСУ

ГИБРИДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ НА р. НОРИЛЬСКОЙ

М.В. Алексеевская¹, А.Д. Гончаров², Н.В. Моденов³, Г.А. Судольский⁴, А.В. Шиляев⁵

Для гидравлического обоснования проекта насосной станции 1-го подъема водозабора на реке Норильской в периоды ее строительства и эксплуатации был использован метод так называемого гибридного моделирования, совмещающий в себе как физическое, так и математическое моделирование.

В докладе приведены результаты экспериментальных гидравлических исследований на пространственной физической модели масштаба 1:50 и математического моделирования.

При проведении исследований на физической модели для условий пропуска расходов расчетных обеспеченностей определялись скорости течения в русле, аванкамере и подводящем канале насосной станции, а также качественно оценивался транспорт влекомых и взвешенных наносов.

На математической модели была воспроизведена значительная часть русла реки перед водозаборным сооружением и за ним, вплоть до снабжающей питьевой водой г. Норильска насосной станции, расположенной ниже по течению, что позволило обосновать мероприятия, исключающие попадание мути в действующую насосную станцию при проведении строительно-монтажных работ.

С помощью математического моделирования был проведен расчет мутности воды в русле реки в период строительства и расчет мутности воды в подводящем канале проектируемой насосной станции в период эксплуатации. Также были разработаны рекомендации по уклонам подводных откосов в грунте, которые исключают заиливание траншеи при производстве подводных работ, определены гидродинамические нагрузки на струенаправляющие шторы, используемые при производстве строительно-монтажных работ.

На основании результатов исследований разработаны рекомендации по оптимизации проекта водозаборного сооружения, включающие сокращение длины ковша подводящего канала насосной станции и подбор крупности камня для крепления ограждающих сооружений грунтовых откосов.

Для условий строительного периода рекомендованы мероприятия, позволяющие минимизировать распространение мути ниже по течению и исключить возможность попадания мути в водозабор, расположенный ниже по течению. Также выполнено гидравлическое обоснование конструкции струенаправляющих штор, применяемых для устройства ограждений при возведении оборудования по дну реки.

¹ Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Главный инженер проекта, АО «Ленгидропроект»

³ Главный инженер проекта, АО «Ленгидропроект»

⁴ Канд. техн. наук, заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁵ Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

РАСЧЕТ И ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И СТРУКТУРЫ РЕЧНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТЕЙ

Ю.Д. Чашечкин¹

Развитие математики, вычислительной и измерительной техники способствовало созданию нового поколения моделей течений, обеспечивающих полноту описания и согласованность оценок точности расчетов и погрешности опытов. Жидкость (газ) определяется как текучая среда, характеризуемая потенциалом Гиббса, плотностью и другими параметрами. Течения – перенос импульса, вещества и энергии, сопровождающийся согласованными изменениями других физических величин. Учитывается естественная стратификация и микроструктуризация среды, а также действие различных механизмов переноса энергии: радиационного, трансляционного с течениями, волнами, вихрями и мелкомасштабного: диссипативного и конверсионного. Течения описываются полными решениями системы фундаментальных уравнений механики жидкостей, которая замыкается уравнениями состояния для потенциала Гиббса, плотности и других величин. Система, дополненная начальными и граничными условиями, редуцируется для описания выбранных течений. Полные решения системы фундаментальных уравнений находятся численными и аналитическими методами теории сингулярных возмущений. Анализ полных решений позволил дополнить традиционный список структурных компонентов, включающий струи, следы, волны, вихри, тонкими лигаментами. Их масштабы определяются динамическими условиями и диссипативными свойствами среды. В опытах лигаментам соответствуют волокна и прослойки, которые формируют стабильную тонкую структуру речных потоков. Современные инструменты позволяют проследивать динамику и структуру течений и в природных, и в лабораторных условиях. Методики лабораторных экспериментов разрабатываются с учетом наблюдения крупномасштабных и разрешения тонкоструктурных компонентов. Перенос данных лабораторных исследований на природные системы проводится на основе полных наборов критериев подобия, включающих отношения характерных макромасштабов геометрической и динамической природы – чисел Рейнольдса, Фруда и других, и специфических микромасштабов. Изменения структуры течений сопровождаются генерацией волн различных видов – внутренних, гравитационных, капиллярных, акустических и сопутствующих лигаментов. Анализ волновых полей позволяет проследить изменения динамики течений и выделить процессы, предшествующие развитию катастрофических состояний природных и технических систем. Имплементация новых моделей повысит качество проектирования и безопасность эксплуатации гидротехнических сооружений.

¹ Доктор физ.-мат. наук, заведующий лабораторией механики жидкостей, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А. Слейман¹, Д.В. Козлов²

Изучение гидрологического цикла и его компонентов базируется, в том числе, на моделировании поверхностного стока, имеющего тесную взаимосвязь с остальными составляющими цикла, а также с климатическими факторами на исследуемой территории. Вопрос усложняется в случае недостаточности имеющихся данных и наличия пробелов во временных рядах наблюдений. Поэтому целью данного исследования является моделирование речного стока в бассейне верхнего течения р. Оронтес в Сирии в условиях недостаточности информационного обеспечения. В процессе моделирования поверхностного стока были использованы статистические модели, модели машинного обучения и физико-математические концептуальные модели. Было изучено влияние результатов моделирования стока на водохозяйственный баланс в исследуемой части речного бассейна. Результаты показали, что модель ARIMA способна прогнозировать и оценивать поверхностный сток на исследуемой территории с хорошими результатами, в то время как искусственные нейронные сети (ИНС) и модели нечеткой логики показали более высокую надежность и эффективность, особенно нейронные сети. С другой стороны, результаты моделирования на основе применения MIKE 11 NAM оказались неудовлетворительными, скорее всего из-за небольшого количества имеющихся исходных данных об исследуемой территории. Отечественный программный комплекс «Гидрорасчеты» так же, как нейронные сети, показал достаточно хорошие результаты. В целом же модели искусственных нейронных сетей были выбраны в качестве лучшей (наиболее эффективной) модели по критериям коэффициента корреляции и среднеквадратичной ошибки. Искусственные нейронные сети были использованы в процессе заполнения пробелов во временных рядах данных о поверхностном стоке на станциях Аль-Амири и Аль-Джавадия в бассейне р. Верхний Оронтес. В заключительной части было проведено исследование водохозяйственного баланса (ВХБ) на исследуемом водохозяйственном участке реки с входной информацией о речном стоке до и после его моделирования. Результаты показали, что в годы 50 и 75 %-ой обеспеченности по стоку итоговые ВХБ с использованием входной информации до и после моделирования стока не изменились, в то время как в год 95 %-ой обеспеченности использование смоделированного с помощью ИНС стокового ряда привело к увеличению дефицита водохозяйственного баланса более чем на 10 %, что, естественно, потребовало комплексных мероприятий и больших усилий в части управления водными ресурсами в исследуемой части речного бассейна. По итогам исследования рекомендовано расширить применение технологий искусственного интеллекта и сетевых моделей машинного обучения для оценки и прогнозирования климатических факторов и различных составляющих гидрологического цикла с целью подготовки полных специализированных баз данных, которые станут основой для различных исследований, связанных с управлением и использованием водных ресурсов в западном регионе Сирии.

¹ Преподаватель кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ

² Доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ

ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ НА УЧАСТКЕ р. ВИЛЮЙ МЕЖДУ СТВОРАМИ
ВИЛЮЙСКИХ ГЭС-1,2 И СВЕТЛИНСКОЙ ГЭС
С ЦЕЛЬЮ РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОДПОРНОГО УРОВНЯ СВЕТЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
И МАКСИМАЛЬНОЙ ОТМЕТКИ ПО УСЛОВИЯМ БЕЗОПАСНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ГТС ВИЛЮЙСКИХ ГЭС-1,2

Н.С. Бакановичус¹, В.А. Прокофьев², А.А. Лялина³

Светлинская ГЭС расположена в 141,2 км ниже створа гидроузла Вилюйских ГЭС-1,2 и предназначена для обеспечения электроэнергией объектов алмазного комплекса АК «АЛРОСА», освоения новых месторождений алмазов, газа, нефти и социально-экономического развития группы Вилюйских улусов Республики Саха (Якутия). Строительство Светлинской ГЭС было начато в 1983 г. Пуск первого гидроагрегата (ГА) приурочен к 2004 г., второго – к 2005 г., третьего – к 2008 г. С 2004 г. по настоящее время гидроузел Светлинской ГЭС находится в статусе объекта незавершённого строительства и эксплуатируется при наполнении водохранилища до промежуточной (непроектной) отметки, которая составляет 175,00 м БС-77. На протяжении последних лет ведётся проработка вариантов возможного подъёма подпорного уровня воды Светлинского водохранилища до промежуточных или проектного (181,00 м БС-77) значений. Одной из основных причин, сдерживающих возможность подъёма подпорного уровня воды Светлинского водохранилища, являются требования обеспечения безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС) Вилюйских ГЭС-1,2. В силу конструктивных особенностей каменно-земляной плотины Вилюйских ГЭС-1,2, спроектированной с мёрзлой каменно-набросной упорной призмой, поддержание требуемого уровня воды в нижнем бьефе является важнейшим фактором обеспечения её безопасной эксплуатации.

Ранее в исследованиях АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» был сделан вывод о необходимости ограничения режимов работы Светлинской ГЭС условиями, при которых среднегодовые значения УНБ Вилюйской ГЭС-1,2 не будут превышать отметки 181,00 м СГ в нормальных условиях эксплуатации и отметки 181,50 м СГ – в особых условиях. В соответствии с Декларацией безопасности ГТС Вилюйских ГЭС-1,2, допустимое среднегодовое значение уровня нижнего бьефа (УНБ) устанавливается по критерию К1, который с 01.01.2020 г. понижен с отметки 180,29 м БС-77 (181,00 м СГ) до отметки 179,79 м БС-77 (180,50 м СГ) и критерию К2, значение которого составляет 182,00 м СГ. Другими словами, по критерию безопасности К1 для диагностического показателя *среднегодовые значения уровней воды в нижнем бьефе* требования были ужесточены.

Таким образом, необходимость непревышения УНБ у плотины гидроузла Вилюйских ГЭС-1,2 по условиям безопасной эксплуатации ГТС, с одной стороны, и подъём подпор-

¹ Канд. техн. наук, заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Канд. техн. наук, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Главный специалист, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ного уровня воды Светлинского водохранилища до промежуточной или проектной отметки, с другой стороны, обуславливают конфликт интересов гидроузлов станций, работающих в каскаде. При этом оценка количественного влияния каждого из факторов, оказывающих влияние на формирование уровенного режима в нижнем бьефе гидроузла Вилуйских ГЭС-1,2, на сегодняшний день отсутствует.

Основными целями выполнения работы являются:

выявление и оценка влияния факторов, формирующих уровенный режим в нижнем бьефе гидроузла Вилуйских ГЭС-1,2;

определение и обоснование максимально допустимого подпорного уровня воды Светлинского водохранилища (с учётом фаз годового гидрологического цикла и основных факторов, влияющих на уровенный режим нижнего бьефа гидроузла Вилуйских ГЭС-1,2) при условии обеспечения безопасной эксплуатации Вилуйских ГЭС-1,2.

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ПЛОСКОСТИ ОТСЧЁТА ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАСЧЁТЕ БЫСТРОТОКА С УСИЛЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ

Д.В. Бубнов¹, Ю.В. Брянская²

Быстроток с усиленной шероховатостью является широко применимым гидротехническим сооружением, используемым для снижения энергии потока, что позволяет снизить стоимость строительства. Гидравлические расчёты быстротоков с усиленной шероховатостью в литературе основываются либо на коэффициенте Шези (методика Е.А. Замарина), либо на коэффициенте гидравлического сопротивления (методика О.М. Айвазяна).

Одним из факторов, оказывающих влияние на коэффициент Шези и коэффициент гидравлического сопротивления, является относительная «гладкость» Δ / R . В значительной мере это проявляется для быстротоков усиленной шероховатости ввиду значительных размеров высот выступов шероховатости Δ по отношению к глубине потока. К тому же важным вопросом остаётся и определение гидравлического радиуса ввиду неопределённости в выборе плоскости отсчёта расчётных глубин (плоскость гидравлического дна).

Существуют различные методы определения положения гидравлического дна. Наиболее применимые для быстротоков с усиленной шероховатостью являются следующие методы:

1) путем визуализации потока в сочетании с фотометрическим способом; это позволяет выявить транзитную и вихревые (между выступами шероховатости) области потока;

2) гидрометрическим способом, в котором расходы воды, рассчитанные по измеренному полю скоростей и глубинам, сравниваются с расходом, измеренным объемным способом или с помощью водослива;

3) гидравлическим способом. Следует построить кривую расходов воды. Экстраполируя кривую до Q нуля, на оси глубин отсчитывается глубина h_0 , которая соответствует гидравлическому дну;

4) согласно зависимости, полученной А.К. Радюком, $h_0=0,54\beta k$.

В работе произведена оценка влияния выбора плоскости отсчёта на расчёты размеров выступов усиленной шероховатости при использовании различных методов определения её положения. А также проведено сравнение расчётных результатов с экспериментальными данными.

¹ Студент, НИУ МГСУ

² Доктор техн. наук, профессор кафедры Гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ

ЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН, ЛИГАМЕНТОВ И ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ИМИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

А.А. Очиров¹

Вопрос распространения поверхностных волн оказывается очень важным и интересным с точки зрения воздействия периодических течений на гидротехнические сооружения и плавательные средства. Большое количество современных моделей производят учет влияния дополнительных внешних факторов на поверхностные волны, таких как ледовый покров, пленки поверхностно-активного вещества и др. Отдельную интересную задачу представляет генерация поверхностных волн, например, ветровая генерация или возбуждение периодических течений твердыми телами. Однако наблюдения показывают, что помимо крупномасштабных волновых компонентов течения распространяются и мелкомасштабные компоненты – лигаменты, определяющие тонкую структуру. Большинство современных моделей не позволяют получить выражения, описывающие влияние тонкоструктурных лигаментов на динамику периодических течений.

В настоящей работе, основываясь на фундаментальной системе уравнений гидродинамики, строится модель расчета динамики и тонкой структуры периодических течений вдоль свободной поверхности жидкости. При условии малых возмущений переменных периодическими течениями допускается использование метода разложения по малому параметру, определяющему отношение амплитуды к длине волны. Из условия совместности уравнений движения и физически обоснованных граничных условий на свободной поверхности и на глубине строится дисперсионное соотношение, решения которого определяют компоненты периодических течений. Решение строится методами теории сингулярных возмущений и содержит два типа корней: регулярные и сингулярные. Сформулированы математические правила, определяющие физически обоснованный отбор получаемых решений. Регулярные корни отвечают за крупномасштабную волновую динамику периодических течений и при выполнении предельных переходов к более простым моделям сводятся к известным классическим волновым решениям. Сингулярные корни определяют тонкую структуру течения и при выполнении предельных переходов к моделям идеальной жидкости вырождаются. Таким образом, лигаментные компоненты периодических течений – это качественно новый тип решений, появляющийся с учетом вязкости и гетерогенности жидкости и описывающий структуру течений.

В редуцированной постановке получены аналитические асимптотические полные решения уравнений движения, позволяющие производить расчеты, определяющие динамику и структуру физических величин. Получены выражения, характеризующие дисперсию волновых и лигаментных компонентов, плотность, градиент плотности, давление, импульс и другие параметры периодических поверхностных течений для крупномасштабных и тонкоструктурных компонентов.

Работа выполнена по теме государственного задания (№ госрегистрации 124012500442-3).

¹ Канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории механики жидкостей, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН, ОПИСЫВАЕМЫХ ФУНКЦИЕЙ ЛАМБЕРТА

А.А. Очиров¹, К.Ю. Лапшина²

При эксплуатации технических средств и сооружений в водоемах необходимо учитывать воздействие поверхностных гравитационных волн, изучение свойств которых привлекали внимание многих исследователей на протяжении столетий в связи с большим числом практических и академических приложений. Многие аналитические модели рассматривают линейные приближения волн малой амплитуды и, несмотря на очевидные недостатки и ограничения, демонстрируют удовлетворительное согласие с экспериментом и используются в инженерных расчетах при решении задач по взаимодействию волн с преградами. Также часто используется теория трохoidalных волн, которая описывает вихревые движения, в то время как волновые движения в идеальной жидкости считаются безвихревыми. В данной работе детально изучаются характеристики поверхностных волн в идеальной жидкости с использованием функции Ламберта, предложенной в [1].

При построении решения производится частичная линеаризация кинематического граничного условия, что с одной стороны не позволяет получить точное решение нелинейной задачи, а с другой стороны приводит к приближенному решению в виде функции Ламберта, в котором амплитуда волны не обязательно малая величина по сравнению с длиной. Исследованы дисперсионные зависимости и проанализировано влияние амплитуды волны на характер и скорость распространения фазового и амплитудного фронтов волны. Проведено сравнение характеристик волн Стокса и волн, описываемых с привлечением функции Ламберта. Показано, что для волн малой амплитуды различие в характеристиках незначительно и увеличивается с ростом амплитуды волны (с переходом в область, в которой теория Стокса слабо применима). В рассматриваемой модели отсутствуют ограничения на амплитуду волны, что является важным для определения характеристик поверхностных гравитационных волн больших амплитуд, например, штормовых волн, а также их силового воздействия на гидротехнические сооружения и плавательные средства, такие как плотины, набережные, буровые платформы и различные плавательные средства. Получены различные угловые и пространственные характеристики волн, знание которых необходимо при проведении инженерных расчетов и решении разнообразных задач. Развиваемая теория позволяет расширить область применения аналитических расчетов параметров поверхностных волн.

Работа выполнена по теме государственного задания (№ госрегистрации 124012500442-3).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kistovich A.V., Chashechkin Yu.D. Propagating stationary surface potential waves in a deep ideal fluid // Water Resources. 2018. V. 45, No. 5. P. 719–727.

¹ Канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории механики жидкостей, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

² Инженер лаборатории механики жидкостей, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРА И ВОЛНЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ МОРСКОГО РЕКРЕАЦИОННО-ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В.Н. Аносов¹, Т.А. Дьякова², В.Э. Егурнов³, Д.В. Корнилов⁴, В.В. Сизов⁵

Цель настоящей работы состояла в исследовании воздействия ветра и морского волнения на основные элементы многофункционального рекреационно-туристического комплекса, который разрабатывает компания «НПО Гидроэнергоспецстрой» по заказу акционерного общества «Морской клуб – два моря».

Комплекс состоит из набора большого количества однотипных жилых домов, расположенных на поверхности воды в прибрежной части южного берега Таманского залива. Каждый дом имеет индивидуальный наплавной причал, предназначенный для отдыха людей, швартовки катеров и размещения различного оборудования.

Каждый дом установлен на отдельную платформу-основание, которая поддерживается на воде как за счёт сил плавучести, так и системы опор-якорей. Распределение веса всей конструкции между силами плавучести и давления на опоры может регулироваться в широких пределах.

Наплавной причал поддерживается на воде за счёт сил плавучести. Его положение относительно дома обеспечивается за счёт применения системы гравитационных якорей, опирающихся на дно, и соединения с домом специальными замками. При этом наплавной причал может свободно перемещаться по вертикали при изменении уровня воды.

В силу своего географического положения морской комплекс и его элементы находятся в зоне действия ветров Чёрного и Азовского морей. Скорость ветра в этом районе может достигать 30 – 40 м/с. В то же время волнение в Таманском заливе сравнительно небольшое (от 0,5 до 1,0 м).

Для оценки воздействия ветра и морского волнения на основные элементы рекреационно-туристического комплекса были изготовлены модели дома на воде и наплавного причала в масштабе 1:30 и проведён комплекс их испытаний, который включал:

круговые продувки моделей в аэродинамической трубе над плоским твёрдым экраном, моделирующем поверхность воды;

испытания моделей в мореходном бассейне на тихой воде и волнении разной интенсивности, в том числе с учётом сил от воздействия ветра.

В ходе выполненных исследований получены следующие результаты:

1. Для дома на воде определены зависимости коэффициентов аэродинамических сил (C_x , C_y , C_z) и моментов (M_x , M_y , M_z) от углов направления воздушного потока в диапазоне от 0 до 360°. Определены углы направления ветра относительно дома, при которых горизонтальные и вертикальные силы достигают максимальных значений.

¹ Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

² Ведущий инженер, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

³ Генеральный директор, ООО «НПО Гидроэнергоспецстрой»

⁴ Начальник сектора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

⁵ Инженер 1 категории, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

2. Определены натурные значения аэродинамических сил и моментов, действующих на дом на воде при экстремальной скорости ветра 41,6 м/с.

3. Определены значения составляющих волновых сил (F_x , F_y , F_z) и моментов (M_x , M_y , M_z), действующих на дом на воде при разных высотах и длинах регулярных волн для трёх направлений фронта волны относительно дома.

4. Выполнена оценка распределения давления воздуха на поверхностях дома и деформаций поверхности воды вблизи дома под воздействием ветра для трех углов направления ветра. Получены значения безразмерных коэффициентов давления на каждой из четырех сторон дома на воде.

5. Разработана методика определения условий сдвига прибрежных сооружений с гравитационных якорей при воздействии ветра и волнения на основе результатов испытаний моделей в аэродинамической трубе и мореходном бассейне. Определены условия сдвига дома на воде с гравитационных якорей под воздействием ветра на тихой воде и волнении разной интенсивности при различных значениях веса модели для трёх углов направления ветра и фронта волны относительно дома.

Полученные результаты использованы для выбора конструктивных характеристик элементов проектируемого сооружения дом на воде с наплавным причалом.

Разработанные методики испытаний могут быть использованы при проектировании других объектов, расположенных в прибрежной зоне морей, озёр и рек.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАБИОНОВ МАТРАСНО-ТЮФЯЧНОГО ТИПА В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ

Р.О. Яковлев¹

Основными причинами размыва оснований морских гидротехнических сооружений (МГТС) могут быть воздействия волн, течений и струй от работающих винтов судна. Существует множество инженерных мероприятий для защиты оснований МГТС. В условиях, когда к ГТС предусматривается самостоятельная швартовка судов, может возникнуть ситуация, в которой придонные скорости водного потока достигают значений 2–4 м/с. В такой ситуации представляется целесообразным применять защиту от размыва с помощью габионных сетчатых изделий.

В последние годы при устройстве защиты от размывов оснований морских ГТС всё чаще отдаётся предпочтение габионам матрасно-тюфячного типа. Впервые в отечественной практике в морских портах защита дна габионами матрасно-тюфячного типа от размыва судовыми струями была применена в начале двухтысячных годов. На момент проектирования в отечественной нормативной литературе информация по использованию габионов матрасно-тюфячного типа для защиты от размывов под воздействием струй от работающих винтов судна отсутствовала. Вопросы по данной проблеме в отечественных нормативах впервые были рассмотрены в изменениях №1 СП 38.13330.2018 в 2022 г. и нуждаются в дополнении. Необходимо уделять особое внимание научному обоснованию принимаемых проектных решений. Работы по физическому моделированию позволяют выявить наиболее слабые места в конструкции и подобрать наиболее эффективное решение для устранения недоработок в проекте. Требуется усиленный контроль за выполнением работ по укладке габионных полей. Работы должны выполняться более качественно, без отклонений от проекта. Какие-либо работы по устранению дефектов при укладке габионов не являются гарантом надёжности, так как качественное выполнение водозлазных ремонтных работ в морских условиях на большой глубине крайне затруднительно.

В докладе рассмотрены морские гидротехнические сооружения, для которых габионы использовались в качестве защиты оснований от размывающего воздействия. Дана оценка эффективности принятых проектных решений. Сформулированы рекомендации по устройству защиты от размывов с помощью габионов матрасно-тюфячного типа.

¹ Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И УТВЕРЖДЕНИЯ ПРОЕКТОВ ПРАВИЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

Н.С. Бакановичус¹, А.А. Лялина²

На территории Российской Федерации расположено большое количество водохранилищ, водные ресурсы которых используются для целей энергетики (гидро-, атомной, тепловой), водного транспорта, водоснабжения населённых пунктов и промышленных предприятий, рыбного хозяйства, орошения, регулирования половодного и паводочного стока и прочее, но чаще всего водохранилища используются комплексно и не ограничиваются одним видом водопользования. С целью рационального использования водных ресурсов всеми заинтересованными водопользователями, а также для соблюдения требований по безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений предусмотрена разработка такого нормативного документа, как Правила использования водохранилища.

Настоящий доклад посвящён обзору нормативных документов, регламентирующих использование водных ресурсов водохранилищ, опыту разработки, согласования и применения правил использования водохранилищ, а также описанию проводимых ФГБУ «Акваинфо» в течение 2021 – 2024 гг. работ по актуализации проектов правил использования водохранилищ.

В качестве основных этапов разработки и применения правил использования водохранилищ можно выделить следующие ключевые события:

1961 г. – утверждено «Положение о порядке использования водных ресурсов водохранилищ РСФСР», в котором впервые указывается, что руководящим документом по использованию водных ресурсов водохранилищ в нормальных эксплуатационных условиях являются «Основные положения правил использования водных ресурсов»;

1972 г. – утверждено «Положение о порядке использования водных ресурсов водохранилищ СССР», которое являлось развитием предшествующего документа и наделяло Правила использования водных ресурсов водохранилищ общесоюзным статусом;

период 1961–1987 гг. – разработано и утверждено около 150 «Основных положений правил использования водных ресурсов» и «Основных правил использования водных ресурсов» для более, чем 300 водохранилищ. Для значительного числа водохранилищ в этот период осуществляется пересмотр и актуализация Правил использования водных ресурсов;

1987 г. – утверждены имеющие межведомственный статус «Типовые правила эксплуатации водохранилищ ёмкостью 10 млн. м³ и более», основное отличие которых заключалось в том, что, в соответствии с этим документом, Правила эксплуатации водохранилищ должны содержать не только правила использования водных ресурсов, но и правила использования дна и берегов водохранилища;

1997 г. – Постановлением правительства Российской Федерации № 762 от 20 июня 1997 г. «О порядке эксплуатации водохранилищ» закрепляется подход к разработке «всеобъемлющих» правил «эксплуатации водохранилищ», включающих как вопросы использования водных ресурсов, так и вопросы использования дна и берегов водохранилища;

¹ Канд. техн. наук, заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Главный специалист, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

период 1987 – 2013 гг. – утверждён только один проект Правил эксплуатации водохранилищ в 1996 г. (для Усть-Хантайского водохранилища), Правила использования водных ресурсов водохранилищ для других объектов не актуализируются и не пересматриваются;

2000 г. – разработка Министерством природных ресурсов проекта «Положения о порядке эксплуатации водохранилищ Российской Федерации», в котором предлагается под общим названием *Правила эксплуатации* подразумевать отдельные документы: «Правила использования водных ресурсов водохранилищ» и «Правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ»;

2007 г. – статьёй 45 Водного кодекса Российской Федерации вводятся требования использования водохранилищ в соответствии с правилами использования водохранилищ, включающими правила использования водных ресурсов водохранилищ и правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ;

2009 г. – во исполнение статьи 45 Водного кодекса, выпускаются два основополагающих документа: Постановление № 349 от 22.04.2009 г. «Об утверждении Положения о разработке, согласовании и утверждении правил использования водохранилищ, в том числе типовых правил использования водохранилищ» и Распоряжение № 197-р от 14.02.2009 г. «Об утверждении перечня водохранилищ, в отношении которых разработка правил использования водохранилищ осуществляется для каждого водохранилища»;

2011 г. – с учётом требований статьи 45 Водного кодекса Российской Федерации Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации Приказом № 17 от 26 января утверждает Методические указания по разработке правил использования водохранилищ;

период 2011 – 2020 гг. – проводится кампания по разработке проектов Правил использования водохранилищ через Бассейновые водные управления (БВУ). В этот период разработаны проекты Правил использования водных ресурсов и Правил технической эксплуатации и благоустройства для почти 340 водохранилищ, из которых согласование и утверждение осуществлено для 15 Правил использования водных ресурсов, при этом ни одни Правила технической эксплуатации и благоустройства согласование и утверждение не получили. При этом необходимо отметить, что разработанные в 2011 г. Правила использования водохранилищ, не прошедшие процедуры согласования и утверждения, к 2021 г. уже нуждались в актуализации.

С 2021 г. обязанности по разработке и актуализации проектов Правил использования водохранилищ возложены на подведомственную ФАВР организацию – ФГБУ «Акваинфотека». В 2021–2022 гг. ФГБУ «Акваинфотека» объявляет конкурсы по 53 объектам (включая каскады водохранилищ). За период 2021 – 2024 гг. согласовываются 23 проекта Правил использования водных ресурсов водохранилищ (ПИВР) по 26 водохранилищам.

С 2021 г. процесс актуализации проектов ПИВР включает в себя 4 этапа:

этап 1. Сбор и анализ исходной информации о характерных проектных уровнях воды в водохранилище (НПУ, ФПУ, УМО и пр.), морфометрических характеристиках водохранилища, задачах создания водохранилища и фактическом его использовании, классе ГТС, водопользователях и лимитах водопотребления, правилах эксплуатации ГТС, пропускной способности водосбросных сооружений и пр.;

этап 2. Выполнение расчётного обоснования проекта – анализ опыта эксплуатации водохранилища за период с момента ввода в эксплуатацию до года разработки проекта ПИВР, определение расчётных гидрологических характеристик водотока в створе гидроузла водохранилища (с общей или с частной площади водосбора в зависимости от наличия или отсутствия каскада), водохозяйственные расчёты по многолетнему гидрологическому ряду и построение диспетчерского графика, расчёты пропуска модельных гидрографов весеннего половодья и дождевых паводков;

этап 3. Формирование проекта ПИВР и Пояснительной записки к нему – проект ПИВР как документ, который проходит процедуру согласования, в том числе в Министерстве юстиции Российской Федерации, должен быть оформлен в строгом соответствии с требованиями, предъявляемыми к нормативным документам и законодательным актам, жёстких требований к оформлению Пояснительной записки к проекту ПИВР не предъявляется;

этап 4. Сопровождение согласования – проект ПИВР согласовывается в соответствии с требованиями Постановления Правительства РФ от 22 апреля 2009 г. № 349.

В период 2021 – 2022 гг. в лаборатории «Ледотермика и термика водоёмов» АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» были актуализированы шесть проектов ПИВР, пять из которых зарегистрированы в Министерстве юстиции РФ и успешно используются как региональными БВУ, так и эксплуатирующими ГТС организациями.

На настоящий момент кампания по разработке проектов ПИВР приостановлена.

ФГБУ «Акваинфотека» согласовывает разработанные в 2021–2022 гг. проекты, которые необходимо утвердить до сентября 2025 г.

В сентябре 2025 г., в соответствии с Федеральным законом от 25.12.2023 г. № 657-ФЗ вступит в силу новая редакция статьи 45 «Использование водохранилищ». В соответствии с вносимыми изменениями упраздняется разделение Правил использования водохранилищ на ПИВР и ПТЭБ, новый единый документ будет включать все разделы ПИВР и некоторые разделы ПТЭБ. Вносимые в водный кодекс РФ изменения повлекут за собой необходимость пересмотра Методических указания по разработке правил использования водохранилищ и формирование нового шаблона проекта ПИВР.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ КОНФИГУРАЦИИ РУСЛА р. ПАДМА В ГРАНИЦАХ ИЗЛУЧИНЫ НАТОР

Н.С. Бакановичус¹, Е.Ю. Голованова²

Исследуемый участок расположен в пределах крупнейшей дельтовой системы мира, которую формируют реки Ганг, Брахмапутра и Мегхна при впадении в Бенгальский залив. Основной дельтовый рукав Ганга – р. Падма – представлен крупным разветвлённо-извилистым руслом со множеством песчаных отмелей.

Исследуемый участок р. Падма находится в границах излучины Натор и прямолинейного участка от мыса Райта до створа, расположенного в 26-и км ниже по течению и представляет собой плоскую аллювиальную равнину, густонаселенную и занятую сельскохозяйственными посадками, малоэтажными постройками, отдельными участками древесной растительности.

С использованием имеющихся разновременных картографических и аэрокосмических материалов зарубежными и отечественными Авторами в разные годы проводился анализ русловых переформирований р. Падма. Авторы настоящего исследования систематизировали ранее собранную информацию и дополнили её новыми данными, включая современные сведения последних лет.

Выполненный ретроспективный анализ русловых процессов р. Падма на исследуемом участке за период 1776–2023 гг. позволил сделать следующие выводы:

1. Развитие руслового процесса происходит по типу незавершённого меандрирования, на фоне которого в руслах рукавов излучины и на прямолинейном участке наблюдаются ленточно-грядовый, побочневый и осередковый типы руслового процесса.

2. На исследуемом участке наблюдается интенсивное переформирование русла, включая горизонтальные и вертикальные деформации.

3. Процесс незавершённого меандрирования русла р. Падма в границах излучины Натор происходит циклично. Период цикла находится в диапазоне от 20 до 40 лет.

Определяющим фактором, оказывающим влияние на развитие русловых переформирований в районе излучины Натор, являются антропогенные воздействия в виде следующих проведённых мероприятий:

укрепление мысов Райта, Сара и Дамукдиа;

возведение струнаправляющих дамб по обоим берегам реки от ж/д моста до укрепленных мысов Сара и Дамукдиа;

укрепление берега в вершине и нижнем крыле левобережного рукава излучины Натор до мыса Сара;

другие мероприятия по укреплению берегов, возведение берегозащитных сооружений.

Три ключевые точки фиксации русла р. Падма у мысов Райта, Сара и Дамукдиа, а также укрепление участка вершины излучины Натор протяжённостью около 10 км определяют крайние границы развития руслового процесса реки в границах излучины Натор. В диапазоне крайних положений – излучина Натор и/или её спрямляющая протока – возможны любые иные промежуточные положения русла и распределение водности между рукавами.

Проведённый анализ фактически наблюдаемых сценариев развития морфологии крайних и промежуточных положений русла в пределах излучины Натор позволил выделить 8 характерных конфигураций, которые представляют собой различные комбинации и положения левобережного рукава и спрямляющей протоки.

¹ Канд. техн. наук, заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Канд. геол. наук, научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПАДМА (ГАНГ)

В.А. Прокофьев¹, Д.Д. Тесленко²

Математическое моделирование русловых процессов на реках до сих пор относится к одной из наиболее сложных областей гидравлики открытых потоков. При этом, если решение локальных задач, например, по определению финальной глубины ямы размыва у мостовых опор или за концевым ковшом в настоящее время может быть получено с достаточной точностью, то возможность получения достоверных долгосрочных прогнозных оценок русловых процессов на больших участках рек является вопросом дискуссионным. Тем не менее, математическое моделирование русловых процессов на реках востребовано, а в будущем, вероятно, станет безальтернативным.

Исследованию подлежал сложный участок многоводной равнинной р. Падма, протяжённостью около 22 км, в Народной Республике Бангладеш. В начале и конце рассматриваемого участка, дно которого сложено мелким/средним песком, ширина реки составляет около 2 км. Посередине участка река поворачивает на 90 градусов и обычно представлена двумя рукавами переменной ширины с их регулярным перестроением в пределах пойменно-руслового комплекса шириной около 6 км. От конфигурации двухрукавного русла на этом повороте зависит направленность русловых процессов на нижележащем участке, для которого и необходимо было определить величины намывов и размывов на перспективу в 70 лет. Смоделировать перестроение двухрукавного русла на столь долгую перспективу не представляется возможным, поэтому на этапе ретроспективного анализа были определены основные конфигурации двухрукавного русла, с учётом которых и были выполнены численные эксперименты.

Для расчётов параметров течения на р. Падма, транспорта взвешенных наносов и моделирования русловых деформаций был применён разработанный во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева программный комплекс, который апробирован на ряде крупных водных объектов и гидроузлов. Фактически, нестационарный расчётный алгоритм состоял в циклическом расчёте гидродинамических параметров потока при известном профиле дна, транспорта взвешенных и влекомых наносов и корректировке профиля дна. Задача решалась как в плановой, так и в трёхмерной нестационарной постановке с использованием К-Eps модели турбулентности.

Для достижения максимально достоверных долгосрочных прогнозных оценок русловых процессов любую математическую модель необходимо проверять на натурных данных, то есть проводить её валидацию и при необходимости – калибровку. Этот этап стоит считать ключевым при выполнении подобных работ.

Калибровка математической модели по гидродинамическим условиям обычно заключается в подборе таких коэффициентов шероховатости русла и поймы, при которых расчётные уровни воды в контрольных створах соответствуют натурным данным при всех рассматриваемых расходах воды. Калибровка же по литодинамическим условиям заключается в выборе наиболее подходящей эмпирической формулы для транспорта взвешенных и влекомых наносов, при этом в эти формулы может быть добавлен калибровочный множитель, если это позволяет получить лучшее согласование с натурными данными. Также в небольших пределах можно менять средний диаметр частиц песка взвешенных и влекомых наносов и другие параметры.

В докладе представлены результаты комплексной валидации и калибровки использованной математической модели, а также некоторые результаты прогностических экспериментов.

¹ Канд. техн. наук, начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

РАСЧЁТ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ОБЪЁМЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.А. Лялина¹, А.В. Пучкарюс²

Обоснование характеристик максимального стока (в первую очередь, максимальных расходов воды весеннего половодья различной вероятности превышения) является основой инженерных гидрологических изысканий при проектировании. Основным нормативным документом, содержащим правила и положения по определению расчётных гидрологических характеристик при различном объёме гидрометеорологической информации, является разработанный ФГБУ «ГТИ» СП 529.1325800.2023, который был утверждён приказом Минюста России в конце 2023 г. Ключевым недостатком данного СП является отсутствие актуальных региональных карт и зависимостей. До настоящего времени на практике при проведении инженерных изысканий нередко случаи применения региональных карт и расчётных схем из пособий, выпущенных около полувека назад, что неприемлемо в условиях меняющегося климата и возрастающей антропогенной нагрузки на речные водосборы.

Настоящий доклад содержит краткую информацию о существующих методах расчёта максимального стока весеннего половодья с реальными примерами их реализации на практике.

В зависимости от степени достаточности ряда наблюдений и надёжности исходных данных применяются следующие методы расчёта максимальных расходов воды:

при наличии гидрометрических данных (измеренных характеристик за длительный период) строится эмпирическая кривая обеспеченности, верхняя часть которой экстраполируется за пределы наблюдений до заданных вероятностей превышения с помощью теоретической кривой обеспеченности. Данный метод расчёта был применён при определении характеристик максимального стока весеннего половодья р. Колы в створе мостового перехода;

при недостаточности гидрометрических данных короткий ряд наблюдений расчётной реки приводится к многолетнему периоду по регрессионной зависимости с привлечением данных реки-аналога с последующим получением по нему обеспеченных значений путём построения кривой обеспеченности. В качестве примера реализации данного метода служит расчёт характеристик максимального стока р. Зай в створе гидроузла Заинского водохранилища;

при отсутствии гидрометрических данных расчёт производится по районной редуцированной формуле, рекомендованной СП 529.1325800.2023. Этот метод расчёта наиболее актуален вследствие сокращения количества пунктов наблюдений гидрологической сети за режимом рек, пик которого приходится на конец XX – начало XXI столетия. Примером применения районной редуцированной формулы служит расчёт характеристик максимального стока р. Выи в створах Верхне-Качканарского и Нижне-Качканарского гидроузлов.

Корректное определение расчётных гидрологических характеристик максимального стока весеннего половодья, а также их актуализация в створах существующих гидроузлов, должно основываться на гидрометеорологической информации за весь период наблюдений, включая данные последних лет. Это позволит в будущем сократить число периодически отмечаемых затоплений населённых пунктов, полного или частичного разрушения дамб, мостовых переходов, трубопроводов, аварий на переходах через реки и др.

¹ Главный специалист, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Инженер 1 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СИСТЕМЫ НАЛИВНЫХ И САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ ГИДРОУЗЛОВ В РЕГИОНАХ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ПРИРОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Н.С. Смирнов¹

На сегодняшний день в мире существует большое количество регионов с экстремальными условиями: с засушливым климатом, подверженных катастрофическими дождевыми паводками в условиях изменяющегося климата. Возникают две актуальные задачи: защита от наводнений и аккумуляция максимального стока в водно-дефицитных районах. Одним из регионов России, где остро проявляются вопросы затопления и нехватки водных ресурсов, является Республика Крым. В зонах, подверженных наводнениям, находится 10 муниципальных образований, площадь затопления составляет 89 км², численность населения, проживающего в зоне затопления - 70 700 человек, в связи с размывом берегов численность населения, могущего потерять постоянное место жительства, составляет 3 100 человек. По результатам расчета водохозяйственного баланса, для хозяйственно-питьевых нужд Республике Крым требуется дополнительный объем воды в размере 21,29 млн. м³ в год, что составляет 12% от существующей потребности населения и предприятий региона по «Схеме комплексного использования и охраны водных объектов Республики Крым» (СКИОВО).

Предлагается одновременное решение этих задач путем создания на водосборе системы наливных водохранилищ (НВ), а также саморегулируемых противопаводковых гидроузлов (СПГ) на боковых притоках водотоков для сглаживания пика паводковых вод. Это позволит обеспечить надежное функционирование наливных водохранилищ с уменьшенным объемом форсировки, при этом аккумулируя требуемое количество воды для хозяйственно нужд.

Ключевым фактором при создании системы, состоящей из НВ и СПГ, является выбор места размещения гидроузлов и определения их параметров, что представляет собой сложную задачу, ввиду отсутствия необходимой гидрологической, водохозяйственной, ландшафтной, экологической, социальной, экономической и прочей информации. Первым этапом решения этой задачи является формирование базы данных для построения цифровой модели местности (ЦМР) в среде геоинформационных систем (ГИС), что позволит создать имитационную модель совместного функционирования системы НВ и СПГ.

В сообщении рассматривается методика создания модели «синтетической» реки путем построения гидрографической сети условного водосборного бассейна на основе ЦМР, а также выбора приоритетных мест размещения системы наливных и саморегулируемых противопаводковых гидроузлов применительно к природно-климатическим условиям Республики Крым.

¹ Аспирант ВШГиЭС, ИСИ ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

ПРИМЕНЕНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЗАТОПЛЕНИЯ

В.В. Борисовский¹, А.В. Шипилов²

Ежегодно огромному количеству людей по всему миру наводнения наносят вред, нарушают условия жизнедеятельности гражданского населения, разрушают инфраструктуру. По некоторым оценкам, в России за последние два года ущерб от наводнений составил около 50 млрд. рублей. В борьбе с наводнениями человечество изобрело множество методов как их прогнозирования при помощи различных моделей, так и методов инженерной защиты. Но, даже имея разнообразие в методах прогнозирования и защиты, многие населенные пункты так и остаются незащищенными от наводнений.

Значительные трудозатраты и большая стоимость строительства сооружений инженерной защиты от затопления не всегда позволяют обеспечить населенные пункты защитными сооружениями. Одновременно с этим, зачастую отсутствуют необходимые исходные данные для выполнения расчетных оценок. Недостаточная информация при моделировании паводка не дает достоверно определить сроки и максимальные уровни воды.

В качестве решения авторы доклада предлагают рассмотреть применение риск-ориентированного подхода для определения параметров гидравлической модели паводка при недостатке исходной информации с использованием геоинформационных технологий и для определения необходимости и достаточности применения сооружений инженерной защиты в совокупности с получением наибольшей эффективности от их использования.

В основе риск-ориентированного подхода заложены методы моделирования волны паводка при неполной исходной информации. При построении модели определяется вероятность затопления территории населенного пункта. Полученная вероятность совместно с оценкой ущерба от затопления позволяют оценить риск от затопления территорий и принять решение о необходимости возведения сооружений инженерной защиты.

¹ Инженер 2 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Канд. техн. наук, начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОРОДЕЦКОГО ГИДРОУЗЛА – ФОРМИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ПОРОГА НА р. ВОЛГЕ

М.А. Колосов¹, Д.М. Федоров²

АО «Ленгипроретранс» по заказу АО «Монолитное строительное управление -1» разработал проект дополнительной камеры шлюза 15а в составе судопропускных сооружений Городецкого гидроузла, которая будет исполнять функцию второй ступени шлюзования после прохождения судами камеры № 15. Продольный разрез по проектируемому сооружению представлен на рис. 1.

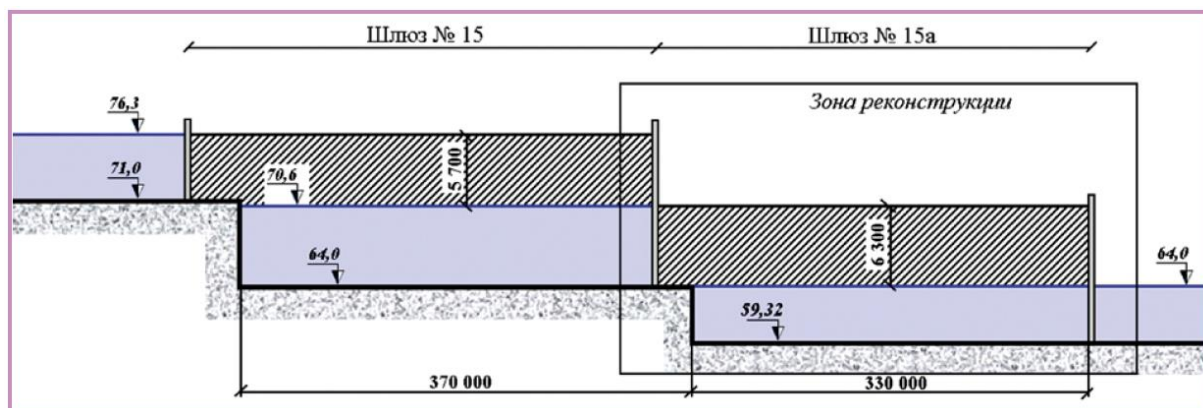


Рис. 1. Продольный профиль по камерам шлюза №15 и 15а

После завершения строительства дополнительной камеры №15а для перехода судна из верхнего бьефа в нижний необходимо будет проведение шлюзования через две камеры, что удвоит затраты времени на судопропуск. Данные затраты будут включать наполнение и опорожнение камеры №15а, продолжительность операции со шлюзующимся судном (вход в камеру и выходы с неё), а также дополнительные операции с воротами и затворами. Установлено, что длительность прохождения судна составит 42,5 мин. Время шлюзования двух шлюзов составит 72 мин. Кроме потерь времени на второе шлюзование увеличится вероятность отказа элементов рабочих систем механизмов.

Подтопление нижней головы порога шлюза, при пропуске большегрузных судов может быть обеспечено посредством перекрытия нижнего подходного канала дамбой с водосудопропускными отверстиями. Участок канала между нижними головами камеры шлюзов 15 и 16 и сооружаемой грунтовой дамбой превращаются в компенсационный бассейн. При этом основной флот проходит, минуя компенсационный бассейн (рис. 2).

¹ Доктор техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

² Аспирант, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

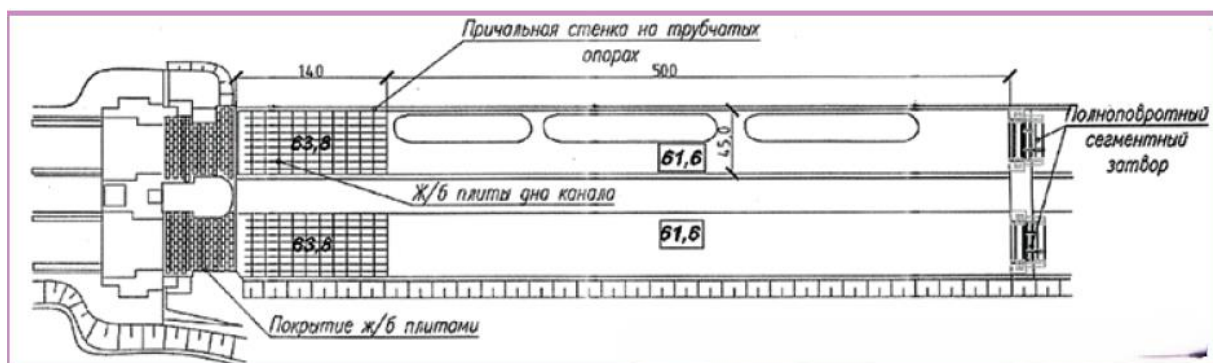


Рис. 2. Компенсационный бассейн в нижнем бьефе шлюзов №15 и №16

Компенсационный бассейн позволит исключить необходимость строительства второй камеры шлюза 15а, что сократит стоимость работ в 14 раз.

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ ВОДОЗАБОРОВ В ПРЕДЕЛАХ г. ТЮМЕНИ В УСЛОВИЯХ КРИТИЧЕСКОГО МАЛОВОДЬЯ В р.ТУРЕ

Д.А. Давиденко¹, А.А. Ломоносов², П.С. Борщ³, И.Б. Турецкий⁴

Основной целью работы является выявление причин резкого снижения уровней воды в р. Туре в районе водозаборов г. Тюмени в период маловодья и разработка мероприятий по обеспечению их устойчивой работы в условиях маловодных периодов.

Целью анализа гидрологической информации является оценка гидрологических условий на р. Туре у г. Тюмени, сложившихся в маловодный 2023 г., по сравнению с многолетним периодом наблюдений на гидрологическом посту р. Туры у г. Тюмени, а также в сравнении с принятыми при проектировании и реконструкции водозаборов (Метелевского водозабора, водозаборов Тюменской ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2) значениями минимальных расходов и уровней воды заданных обеспеченностей. Схема размещения водозаборов на р. Туре приведена на рисунке 1.

В процессе исследования были собраны, проанализированы и систематизированы ряды гидрологических наблюдений р. Туры по гидрологическому посту г. Тюмени за период 1896–2023 гг. (128 лет). Выполнена серия гидрологических расчетов по обоснованию гидрологических характеристик реки, оценке минимальных срочных расходов и уровней различной обеспеченности. Выполнен анализ гидрологических условий по водозаборах Метелевский, ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, изучены проектные материалы и проанализированы современные условия их работы.

Для обеспечения бесперебойной работы водозаборов при наступлении критических условий маловодья рассмотрены:

мероприятия, обеспечивающие в р. Туре уровень воды, достаточный для бесперебойной работы оборудования водозаборов;

мероприятия, обеспечивающие бесперебойную работу водозаборов независимо от уровня воды в р. Туре.

Обеспечение уровня воды в р. Туре, достаточного для бесперебойной работы водозаборных сооружений, можно достичь следующими методами:

созданием подпора с помощью постоянного регулирующего сооружения;

созданием подпора с помощью временного сооружения;

увеличением расходов в р. Туре.

Мероприятия, обеспечивающие бесперебойную работу водозаборов независимо от уровня воды в р. Туре, для каждого водозабора индивидуальны.

¹ Начальник отдела водохранилищ и охраны окружающей среды, АО «Институт Гидропроект»

² Главный инженер проекта, АО «Институт Гидропроект»

³ Заместитель главного инженера по общестроительным работам, АО «Институт Гидропроект»

⁴ Главный эксперт отдела водохранилищ и охраны окружающей среды, АО «Институт Гидропроект»

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРОТЕЧЕК ЧЕРЕЗ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС/ГАЭС

А.В. Амельчаков¹, П.А. Судаков², А.А. Амельчакова³

В настоящее время не существует общепринятого решения (методики, математической модели) для определения и учета расходов воды через уплотнения гидромеханического оборудования, перекрывающего водосливные, водосбросные отверстия (затворы). В Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации существует требование о допустимом количестве расхода воды через уплотняющий контур затвора (не более 0,2 л/с на 1 погонный метр), поэтому разработка методики расчета количества протечек через уплотняющий контур затворов механического оборудования ГТС и их учета является одной из актуальных задач при проектировании и эксплуатации ГТС.

В качестве решения данной проблемы предлагается применение систем дистанционного визуального контроля протечек (СДВК).

В ходе работы описываются: основная концепция СДВК, моделирование процессов, разработка и натурные испытания для подтверждения результатов моделирования. В работе были использованы методы моделирования, эксперимента и программирования.

СДВК определяет расход воды через уплотнения/конструкции затворов как расход, истекающий через отверстие под напором воды. СДВК состоит из системы слежения (видеокамеры), программного обеспечения (ПО) и серверного оборудования.

В качестве входных данных СДВК использует изображение с видеокамеры выбранного водосбросного (водосливного) пролета, отметки уровня верхнего бьефа (УВБ). Изображение из видеокамеры передается в программное обеспечение, которое отображается в интерфейсе программы, установленной на АРМ оператора. Оператор с помощью кнопок задает тип фигуры в соответствии с примерной формой контура отверстия. На изображении с видеокамеры оператор обводит фигурой отверстие. После определения параметров для расчета расхода воды происходит в ПО автоматически.

Была разработана и изготовлена испытательная установка и программное обеспечение для нее. По результатам испытаний можно сделать вывод, что СДВК показывает максимальную точность измерений, проста в эксплуатации, надежна и безопасна в использовании.

¹ Дежурный инженер по обслуживанию подстанции Группы оперативного персонала Оперативной службы, филиал ПАО «РусГидро» – «Чебоксарская ГЭС»

² Машинист гидроагрегатов Группы оперативного персонала Оперативной службы, филиал ПАО «РусГидро» – «Чебоксарская ГЭС»

³ Инженер Группы расчетов, филиал ПАО «РусГидро» – «Чебоксарская ГЭС»

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ И СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ

А.А. Сысоев¹, Д.С. Сычев², М.Г. Тягунов³

Одна из проблем обоснованности планирования режима работы ГЭС и достоверности учета стока воды через гидротехнические сооружения ГЭС связана с неточностью определения составляющих водного баланса: от притока до потерь расхода воды из водохранилища.

Неточность измерений, погрешности в методиках определения составляющих водного баланса приводят к накоплению погрешностей, которые в ряде случаев существенно влияют на наблюдаемую невязку водного баланса за длительный период времени. Устойчивость и величина невязки водного баланса требует анализа факторов, влияющих на ее величину, и выработку мер по её снижению.

Проведённый авторами анализ показал, что основным источником невязки водного баланса является не наличие неучтенной водной массы, а накопление погрешностей, возникающих в процессе измерений и расчёта определения параметров, используемых для сведения водного баланса. К таким погрешностям относятся неточность измерения бокового притока, испарения, осадков, а также отборов и возвратов воды в системах водоснабжения.

Для улучшения точности водного баланса было предложено несколько направлений модернизации. Одно из них – расширение гидрологической сети мониторинга, что позволит лучше учитывать боковые притоки и другие составляющие водного баланса: более точные данные о боковом притоке, особенно от малых и средних рек, которые в настоящее время практически не обеспечены гидрологическими постами. Расширение гидрологической сети на основном притоке также позволит более точно определять время добегания расхода до нижележащей станции в каскадных системах.

Другим важным направлением модернизации является усовершенствование методов измерения испарений и осадков на поверхность водохранилища за счёт установки плавучих метеостанций на поверхности водохранилищ.

Автоматизация сбора и обработки данных играет ключевую роль в снижении невязки. Современные автоматизированные системы способны значительно ускорить процесс получения и анализа данных, устраняя ошибки, связанные с человеческим фактором. Использование таких систем позволяет более оперативно реагировать на изменения в водном балансе и корректировать расчёты в режиме реального времени.

Таким образом, модернизация систем измерения и сбора данных – это ключевой шаг к повышению точности водных расчётов, что, в свою очередь, способствует улучшению планирования водно-энергетических режимов на гидроузлах и снижению экологических рисков, связанных с неточными данными.

¹ Ассистент кафедры ГВИЭ, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

² Канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ГВИЭ, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

³ Доктор техн. наук, профессор кафедры ГВИЭ, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

ЗАЩИТА ГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ОТ ЗАИЛЕНИЯ

А.Ш. Мамедов¹, Э.Б. Джавадзаде²

В настоящее время суммарная среднегодовая величина поступающих в водохранилища Азербайджана наносов составляет 37 млн.т. За период существования всех водохранилищ Азербайджана в них накопилось около 1,6 млрд.т наносов и образовалось 1,99 млрд.м³ донных отложений. В настоящее время в результате процесса заиления суммарный объем водохранилища республики уменьшается в среднем на 0,22 % или на 47 млн. м³ в год. За период существования их объем уменьшился на 2,0 км³ и их суммарный объем в настоящее время составляет не 21,5, а 19,5 км³.

С самого начала наполнения чаши горных водохранилищ их заиление и занесение вследствие большой насыщенности горных водотоков наносами протекает очень интенсивно. Заиление вызывает быстрое понижение объема водоемов, что осложняет их эксплуатацию и сокращает срок службы гидроузлов.

Мероприятия по уменьшению заиления горных водохранилищ можно разделить на две группы – *предупредительные и эксплуатационные*.

К предупредительным относятся мероприятия, направленные на общее уменьшение поступления наносов в водохранилища за счет снижения эрозии почв в бассейне регулируемого водотока.

Указанные мероприятия являются наиболее эффективным средством борьбы с заилением и занесением горных водохранилищ.

Эксплуатационные мероприятия по способу исполнения можно сгруппировать в следующем виде:

гидравлическая промывка отложившихся на дне наносов сосредоточенным расходом воды после опорожнения водоема. Основным недостатком этого способа является то, что он не предупреждает заиление водохранилищ, и сосредоточенный поток воды размывает грунт только вдоль пути своего перемещения, образуя узкое глубокое русло на дне водохранилища;

механическая очистка ложа от отложений и растительности, борьба с зарастанием. Механическую очистку применяют в исключительных случаях (при малых емкостях, относительно малом количестве наносов);

наращивание гребня плотин и дамб или постепенное увеличение емкости водохранилища. Этот способ требует затопления новых площадей, перестройки дорожной сети, коммуникаций и т.д., поэтому применяется редко;

свободный транзитный сброс полного расхода половодья и паводков в нижний бьеф через донные отверстия плотины или боковые паводкосбросы с низкими порогами и последующее наполнение чаши осветленной водой на спаде половодья. По этому способу в существующих сооружениях, перед началом прохождения паводка водохранилище должно быть опорожненным;

отвод половодья и паводков сбросными устройствами (обводные каналы, туннели) в нижний бьеф без понижения уровня водоема. Однако в сложных горных областях строитель-

¹ Доктор техн. наук, заслуженный инженер Азербайджана, главный специалист, ООО «HIDROLOQ»

² Канд. техн. наук, главный инженер ООО «HIDROLOQ»

ство обходных каналов весьма затруднительно, а сооружение туннелей и штолен требует значительных капитальных вложений.

Учитывая сложившуюся ситуацию по эксплуатации водохранилищ, нами предлагается два варианта борьбы с наносами при проектировании и эксплуатации водохранилищ.

В условиях аридного климата, крайне неравномерного распределения стока рек по территории, к которому относится наша республика, для рационального использования водных ресурсов имеется необходимость в строительстве водохранилищ. Вместе с тем, крупные водохранилища оказывают ощутимое воздействие на природную среду и заметно нарушают экологическое равновесие, а также создают трудноразрешимые противоречия между отдельными потребителями народного хозяйства.

На наш взгляд, в будущем необходимо отказаться от сооружения на реках крупных водохранилищ как экологически нецелесообразных для окружающей среды. Для сохранения экологического равновесия в перспективе наиболее эффективным является строительство преимущественно внерусловых (наливных) малых и средних водохранилищ. При таком подходе к созданию гидротехнических сооружений можно эффективно бороться с донными и взвешенными наносами в русле реки. При больших паводках в реках можно прекратить забор воды и при этом полностью защитить водохранилище от занесения. Строительство внерусловых водохранилищ позволяет минимально влиять на гидро-экологическое равновесие в русле реки, так как само водохранилище находится вне русла реки.

Предлагаемый *второй способ* с применением паводкосбросного сооружения обеспечивает гарантированную защиту от заиления и занесения водохранилищ такого типа, а также защиту нижнего бьефа и берегов приемного водоема от возможных деформаций. Для решения поставленных задач нами разработана новая компоновка водосбросных сооружений водохранилища, которая заключается в том, что оголовок водосбросного сооружения перемещается в начальный участок водохранилища. Головная часть водосбросного сооружения в виде водоприемной башни располагается в русле реки между мертвым и нормальным горизонтами.

Водоприемная башня состоит из двух порогов. Первый водоприемный порог (отверстие) располагается на уровне водохранилища и способствует прохождению первого весеннего половодья. Второй порог располагается на уровне нормального горизонта и работает в автоматическом режиме (типа шахтного сброса). Первое водоприемное отверстие закрывается затворами при работе поверхностных водоприемных порогов. Такое расположение порогов позволяет во время прохождения паводков и селей осуществлять сброс в нижний бьеф более мутного слоя потока при незаполненном водохранилище с помощью первого водоприемного порога. При полном наполнении водохранилища автоматический водосброс (второй порог) обеспечивает сброс лишних расходов. При этом сбрасывается более мутный поток в нижний бьеф.

Применение предлагаемой компоновки водосбросного сооружения позволяет эффективно бороться с наносами в эксплуатационный период, не снижая уровня воды в верхнем бьефе. Такая компоновка обеспечивает рациональное использование емкости водохранилища в борьбе с заилением в эксплуатационном периоде. Путем пропуска суспензионного и паводочного расхода в нижний бьеф с большими мутностями можно частично предотвратить размыв русла реки на участке ниже водохранилища, т.к. в этом случае поток поступает сюда в первоначальном, естественном состоянии.

Последнее позволяет значительно уменьшить отрицательное воздействие водохранилища на экологическое равновесие коренного русла реки в нижнем бьефе. Предлагаемый способ борьбы с заилением и занесением чаш водохранилищ осуществляется в эксплуатационный период и поэтому он более эффективен, чем способы, применяемые для очистки после заиления.

ОГОЛОВОК БЕРЕГОВЫХ ВОДОСБРОСОВ

А.Ш. Мамедов¹, А.А. Байрамов²

Закавказье является регионом, располагающим значительными гидроэнергетическими ресурсами. Гидроэнергетический потенциал Азербайджанской Республики оценивается в 16 млрд. кВт/ч. В настоящее время используемая доля гидроэнергетического потенциала республики составляет 17%. После строительства ряд ГЭС эта доля составит примерно 40%. В настоящее время ведутся проектные работы по строительству приграничного с Исламской Республикой Иран Худаферинского гидроузла на р. Аракс. Общий объем водохранилища будет 1612 млн. м³. Предусмотрено строительство ГЭС с установкой на каждом берегу 2-х турбин по 200 МВт. Среднегодовой расход в створе плотины р. Аракс составляет 276 м³/с, 1 % максимальный расход 2310 м³/с.

В проекте предусмотрены различные варианты поверхностных и донных водосбросов. Анализ гидравлического режима действующих водоприемных оголовков показал, что при больших габаритных размерах внутреннее пространство оголовка полностью не используется. Поэтому была поставлена задача по использованию внутреннего пространства водоприемного оголовка для увеличения переливающего фронта воды. В связи с этим проектом, нами разработано несколько вариантов конструкций оголовков поверхностных водосбросов. Целями при разработке новых сооружений были следующие:

рациональное использование габаритных размеров сооружения для пропуска дополнительного расхода;

увеличение пропускной способности водосбросного оголовка при постоянной высоте переливающего слоя;

использование внутреннего пространства оголовка для увеличения фронта перелива воды;

уменьшение потерь напора на смешение переливающих и транзитных потоков внутри оголовка.

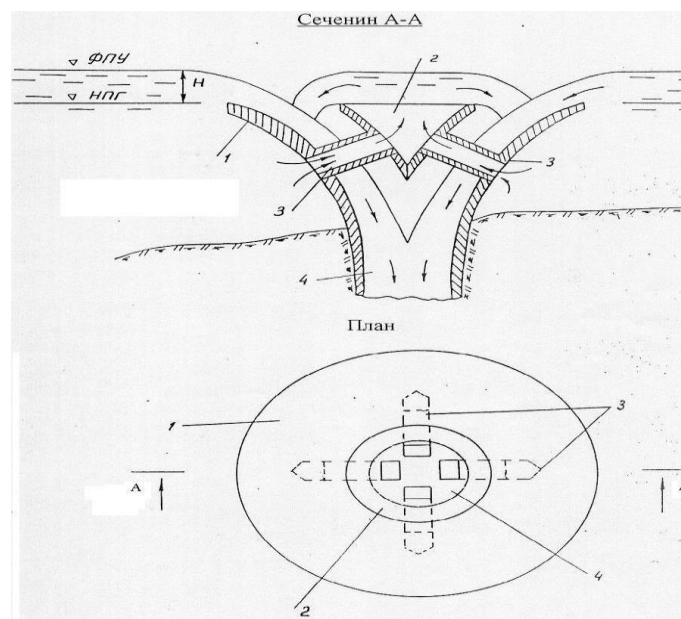
При рассмотрении варианта шахтного водосброса проанализированы существующие работы, посвященные гидравлическим расчетам и усовершенствованию конструкций шахтного водосброса, и разработан новый оголовок. Для рационального использования внутреннего пространства водосливной воронки нами разработан вариант оголовка шахтного водосброса с дополнительными водосливными воронками. В данной конструкции для увеличения пропускной способности водосброса предлагается использовать внутреннее пространство водосливной воронки, так как при больших расходах воды диаметр водосливной воронки шахтного водосброса получается чрезмерно большим, что требует значительного объема строительных работ. В таких конструкциях водосброса внутри воронки образуется большое, не используемое рационально пространство.

Для увеличения пропускной способности водосливной воронки-1 внутри него располагается дополнительный водоприемный оголовок-2, который сообщается с водохранилищем с помощью полых опорных труб-3. При работе водосбросного сооружения вода, поступающая через

¹ Доктор техн. наук, заслуженный инженер Азербайджана, главный специалист ООО «HIDROLOQ»

² Канд. техн. наук, директор ООО «HIDROLOQ»

полые опорные трубы-3, переливается в основную шахту-4 через дополнительный водоприемный оголовок-2. Таким образом, при работе водосброса вода одновременно переливается из внутреннего и внешнего оголовка в шахту (рисунок).



В связи с этим, нами разработан оголовок водосбросных сооружений. Как показывают лабораторные исследования, для крупных водосбросных оголовков лоткового или траншейного типа перелив воды в широкую траншею создает условия неравномерного распределения скоростей в поперечном сечении и при этом поперечное сечение оголовка не полностью используется для транспортировки воды. Для устранения этого недостатка нами разработана новая конструкция водосбросного оголовка с дополнительными оголовками. Дополнительные оголовки располагаются в середине водосбросного оголовка в зоне минимального скоростного поля. При этом уменьшается поперечное сечение оголовка по ширине, и часть переливающегося слоя воды приносится в середину оголовка.

В этой конструкции внутри основного оголовка-1, имеющего постоянное или переменное поперечное сечение, располагается дополнительный оголовок-2, который питается водой водохранилища через донные отверстия-3. Донные отверстия для подачи воды к дополнительному оголовку расположены в бетонном основании основного оголовка. Из водохранилища к отверстиям поток воды поступает через водоводы, которые могут обеспечить одностороннюю и двухстороннюю подачу воды к дополнительному оголовку. Водовод располагается в пределах основания и в теле водосливной стенки основного оголовка.

С целью повышения пропускной способности в траншее, за счет уменьшения подпора и винтовых течений наружная сторона внутреннего водосливного оголовка обеспечена струенаправляющими элементами-4.

Переливающий сбросной расход из внутреннего оголовка с помощью струенаправляющих элементов-4 направляется в траншею под острым углом 30–40. Такой подход обеспечивает интенсивное поступательное движение потока в траншею и уменьшает подпор в ней.

Водосбросное сооружение работает следующим образом. При подъеме воды в водохранилище до уровня НПГ происходит поступление паводочного потока через свободное пространство на дне оголовка в дополнительный оголовок-2. Далее вода переливается в траншею из основного-1 и дополнительного-2 оголовков и с помощью отводящего водовода-5 сбрасывается в нижний бьеф. Вся конструкция оголовка держится на опорах-3.

Применение данной конструкции позволяет уменьшить плановые размеры водосбросного оголовка 40–50 %.

ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗУБА ВОДОБОЯ И РЕЛЬЕФА ДНА КАМСКОЙ ГЭС

С.В. Двинянинов¹, С.З. Сафин², А.А. Палехов³, З.А. Афанасьева⁴

Защита гипсодержащих пород основания Камской гидроэлектростанции, построенной в 50-х годах прошлого века, повлекла за собой применение уникальной компоновки гидротехнического сооружения, совместив водосливную плотину и здание ГЭС. Совмещение водосливной плотины с гидроэлектростанцией исключило применение на водобое эффективных гасителей энергии, которые создавали бы подпор турбинного потока. Для защиты русла реки в нижнем бьефе был устроен водобойный участок с укороченной рисбермой, на конце которого устроен зуб.

Значительное влияние на условия эксплуатации, надежность и безопасность гидротехнического сооружения оказывают русловые процессы со стороны нижнего бьефа. К этим процессам относятся размывы дна за зубом водобоя, оползневые процессы, понижение уровня воды в результате неконтролируемой добычи природных ископаемых в русле реки.

Переформирование неукрепленного русла р. Камы началось с наполнения Камского водохранилища в октябре 1953 г. После перекрытия реки и наполнения водохранилища транзит наносов через Камскую ГЭС существенно снизился, наносы стали осаждаться в водохранилище, а к створу Камской ГЭС стала поступать осветленная вода. Русловые процессы в нижнем бьефе условно разделились на три периода: строительство и пусконаладочных работ, затухания деформации русла и периода минимальных и незначительных деформаций. Также немалое влияние оказала добыча нерудных полезных ископаемых в русле р. Камы.

Для контроля состояния подводных частей гидротехнических сооружений на Камской ГЭС проводятся подводно-технические обследования с периодичностью один раз в 10 лет со стороны верхнего бьефа и раз в 5 лет со стороны нижнего бьефа. Помимо подводно-технических обследований, ежегодно после прохождения весеннего половодья проводится эхолотная съемка зуба водобоя. Резюмируя результаты наблюдений за состоянием рельефа дна Камской ГЭС, можно заключить:

минимальная отметка дна фокуса размыва была достигнута в первые годы эксплуатации ГЭС, дальнейшего увеличения глубины не происходит;

крепление дна русла реки, выполненное в 2011 и 2015 гг. по методу, разработанному ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», доказало свою эффективность.

Для уменьшения негативного воздействия перед пропуском половодья разрабатывается схема маневрирования затворами с учетом:

гидрологического прогноза, анализа прохождения половодно-паводкового периода прошлого года, эксплуатационного состояния и ограничений на маневрирование затворами водопропускных сооружений, рекомендаций, полученных при подводно-техническом обследовании.

Данный подход к пропуску половодья доказал свою эффективность, пропуски крупных паводков не приводят к неконтролируемым размывам. Для обеспечения равномерного укрепления дна русла реки вдоль всего фронта зуба водобоя необходимо продолжить укладку тетраэдров с отсыпкой бутовым камнем. При проведении работ применять геодезический контроль, а результат выполненных работ должен подтверждаться акустическим изображением дна реки до и после выполнения работ.

¹ Директор, филиал ПАО «РусГидро» – «Камская ГЭС»

² Заместитель Главного инженера по технической части, филиал ПАО «РусГидро» – «Камская ГЭС»

³ Инженер-геодезист, филиал ПАО «РусГидро» – «Камская ГЭС»

⁴ Инженер-гидротехник, филиал ПАО «РусГидро» – «Камская ГЭС»

50 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНЕЙШЕГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЮГА РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.А. Волосухин¹, Ю.Ю. Ткаченко², Я.В. Волосухин³

В бассейне реки Кубани ($L=870$ км, $F=57,9$ тыс. км²), протекающей по территории четырех субъектов РФ: Карачаево-Черкесская Республика, Ставропольский край, Республика Адыгея, Краснодарский край проживает 4,768 млн. чел. и эксплуатируется 57 водохранилищ ($W>1,0$ млн. м³) с суммарным полным объемом $\Sigma W=4,382$ км³ и площадью зеркала $\Sigma F_{НПУ}=690$ км² [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Краснодарское водохранилище на р. Кубани расположено в 242 км от ее устья на территории Краснодарского края и Республики Адыгея, введено во временную эксплуатацию в 1973 году и в постоянную в 1975 году.

Комплекс гидротехнических сооружений Краснодарского водохранилища - крупнейший искусственный водоем на Северном Кавказе - начал строиться в 1967 г. Он состоит из грунтовой плотины протяженностью 11,4 км с максимальной высотой 23 м, водосбросных, водозаборных и водопропускных сооружений, дамб инженерной защиты, прилегающих территорий общей протяженностью свыше 70 км. Среднегодовой сток р. Кубани в створе Краснодарского гидроузла составляет $W_{cp}=13,6$ км³/год, ($W_{max}=18,30$ км³ (1963 г.), $W_{min}^{XXI \text{ век}}=6,528$ км³ (2020), $W_{min}^{XX \text{ век}}=8,47$ км³ (1963)). За период с 1975 по 2023 гг. наименьший сток по данным Кубанского БВУ был в створе Краснодарского гидроузла на р. Кубани в 2020 г. $W_{2020}=6,528$ км³/год, а наибольший в XXI веке (2000 – 2023 гг.) $W_{2004}=16,210$ км³/год.

Ежегодный водозабор поверхностных вод из р. Кубани составляет около 10,39 км³/год, в том числе около 4,32 км³/год для переброски стока (Кубань-Калаусская обводнительно-оросительная система (БСК), Кубань-Егорлыкская ООС (Невинномысский канал)).

Проектный полный объем воды в Краснодарском водохранилище (1975 г.) $W_{НПУ}=2,396$ км³, полезный объем $W_{п.о.}=2,160$ км³, мертвый объем $W_{УМО}=0,236$ км³ [1, 2, 3].

В 1993 г. из-за неготовности сооружений инженерной защиты Нижней Кубани по пропуску проектных сбросных расходов в нижний бьеф водохранилища в объеме $Q=1500$ м³/с проектная отметка НПУ (33,65 м БС) была снижена на 0,9 м до НПУ (32,75 м БС) [1, 2, 3].

Ежегодное поступление наносов в Краснодарское водохранилище в среднем составляет около 8 – 9 млн. м³/год [1, 2].

По результатам батиметрической съемки Кубанского государственного университета 2021 года полный объем воды в Краснодарском водохранилище составил $W_{НПУ}^{2021}=1,40548$ км³, (уменьшился по отношению к проектному (1975 г.) на 41,3%), полезный объем $W_{пол}^{2021}=1,27041$ км³ (уменьшился на 41,2%), мертвый объем $W_{УМО}^{2021}=135,07$ млн. м³ (уменьшился на 42,8%). Площадь зеркала Краснодарского водохранилища $F_{НПУ}^{2021}=224,16$ км² (уменьшилось

¹ Доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры строительства и эксплуатации ВХО ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина», директор, «Институт безопасности ГТС»

² Канд. геогр. наук, профессор кафедры строительства и эксплуатации ВХО ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина»

³ Генеральный директор, «ИКЦ «Безопасность ГТС»

на 43,1%). Площадь мелководий (до 2,0 м) в настоящее время (2021 г.) составляет 44,5%. Средняя глубина воды $H=6,27$ м.

При проведении реконструкции Краснодарского гидроузла необходимо рассматривать совместную работу всех сооружений Нижней Кубани – комплексов ГТС Шапсугского, Крюковского, Варнавинского водохранилищ, Федоровского и Тиховского гидроузлов сооружений инженерной защиты Нижней Кубани с учетом климатических изменений и роста антропогенных нагрузок в бассейне реки Кубань [1, 2, 3, 7, 8, 9].

Литература

1. Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб.: Гидрометеоздат, 2005. 500 с.
2. Лурье П.М., Панов В.Д. Реки бассейна Азовского моря: гидрография и режим стока. Ростов н/Дон.: Донской издательский дом, 2021. 670 с.
3. Волосухин В.А., Белоконов Е.Н., Волосухин Я.В., Явнов И.Г., Захарчук Н.В., Иванкова Т.В. Краснодарский гидроузел: проблемы безопасности. Новочеркасск: Лик, 2016. 394 с.
4. Правила использования водных ресурсов Краснодарского водохранилища. Краснодар: ПИИ «Кубаньводпроект», 2008. 158 с.
5. Волосухин В.А., Ткаченко Ю.Ю. Пути снижения ущербов от быстроформирующихся паводков на горных и предгорных реках на примере наводнений в Краснодарском крае // Материалы к докладу на VII Гидрологический съезд 19-21 ноября 2013. Санкт-Петербург, 2013. 2-23 с.
6. Волосухин В.А., Волинов М.А. Использование водных ресурсов и безопасность гидротехнических сооружений в бассейне р. Кубани // Мелиорация и водное хозяйство. 2007. 65-68 с.
7. Малышев Б.Н. Математическое моделирование инженерной защиты по охране земель в бассейне Нижней Кубани. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2008. 212 с.
8. СП 529.1325800.2023. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. Москва: Минстрой России. 2023. 103 с.
9. Приказ Росгидромета от 18.02.2022г № 64 «О внедрении актуализированных климатических норм в оперативно-производственную практику подведомственных учреждений Росгидромета».

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ В УСЛОВИЯХ ПРИНЯТИЯ «СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРИАЗОВЬЯ ДО 2040 ГОДА»

Т.В. Иванкова¹, Л.Н. Фесенко², В.С. Рожков³

Водные ресурсы новых субъектов РФ, включающих в себя ЛНР, ДНР, Запорожскую и Херсонскую области, ограничены и не соответствуют минимальным потребностям населения и экономики. Лидер по проблемам с водой с ДНР, где крупнейшие города – Донецк, Макеевка и Мариуполь – всегда зависели от поставок воды по каналу Северский Донец – Донбасс. Местные водные ресурсы в среднем за период 1985–1990 гг. составляли по ЛНР – 0,512 тыс.м³/(год/чел.), ДНР – 0,233 тыс. м³/(год/чел.), Запорожская обл. – 0,300 тыс.м³/(год·чел.), Херсонская обл. – 0,114 тыс.м³/(год/чел.). По данным Национальной академии аграрных наук Украины, ресурсы местного стока на 2014 г. составляли для трех субъектов (ДНР, Запорожская и Херсонская обл.) менее 0,300 тыс.м³/(год/чел.), а для ЛНР – в интервале от 0,45 до 1,00 тыс.м³/(год/чел.), в зависимости от водности года. По данным ООН (2020 г.), минимально необходимое водопотребление для населения и отраслей экономики – 1,70 тыс.м³ воды/(год/чел.). Для решения водообеспеченности населения и объектов экономики в период СССР (до 1991 г.) использовались воды из бассейна рек Днепра и Северского Донца (правого притока р. Дон). Сегодня забор водных ресурсов из малых рек новых субъектов РФ $\approx 1,0$ км³/год, при проживающем населении N=7,5 млн.чел., удельный забор (2024 г.) ≈ 130 м³/(чел/год). Суммарно речной сток ДНР, ЛНР, Запорожская и Херсонская обл. $\sum W_{\text{мест. } p=50\%}=3232,0$ млн. м³, удельные водные ресурсы (2024 г.) – 431 м³/чел. (1991 г.) – 231 м³/чел. Площадь четырех новых субъектов (ДНР, ЛНР, Херсонской и Запорожской областей) составляет 108,9 тыс.км². Дефицит воды оценивается $W_{\text{реч}} \approx 12$ км³/год. Площадь ДНР $F_{\text{ДНР}}=26,5 \cdot 10^3$ км², для года средней водности $W_{\text{реч}} \approx 0,3$ км³/год. В период СССР были построены и эксплуатировались каналы межбассейновой переброски, наливные водохранилища, водохранилища многолетнего разлива. Водный баланс Азовского моря составляет $W \approx 290$ км³. При этом сток р. Дон (среднегодовой) – 27 км³/год, р. Кубани – 13 км³/год, что в сумме $\Sigma=40$ км³/год. Основываясь на данные Государственного доклада идет цикл маловодных лет, сток р. Дон – 12 км³/год (2020 г.), р. Кубани – 6 км³/год (2020 г.), в сумме $\Sigma=18$ км³/год. Если в ДНР местные ресурсы составляют (для среднего по водности года) 750 млн.м³/год, то в водохранилищах и прудах аккумулируется 80% стока – 500 млн.м³.

Строительство водовода Дон–Донбасс улучшило ситуацию, но не решило проблему нехватки воды. Мощность водовода в стандартном режиме менее 300 тыс.м³/сут, что обеспечивает не более четверти объема от потребления ресурса на 2010 г. Экономика в таких условиях не

¹ Канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова»

² Доктор тех. наук, профессор, заведующий кафедрой «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова»

³ Доктор тех. наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охраны водных ресурсов», ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

может нормально восстанавливаться, а тем более развиваться. Азовское море ожидает серьезный экологический кризис, вызванный маловодьем р. Дон. Начиная с 2007 г., сток воды в р. Дон значительно снизился, что привело к повышению солености Азовского моря, среднегодовая соленость моря, составляющая в 2006 г. 9,6 ‰, достигла рекордных 15,1 ‰ в 2020 г. Согласно данным, сток рек в южных регионах России снизится на 3% до 2030 г. и на 4 % до 2041–2060 гг. и 2080–2099 гг. Использование подземных вод в ДНР невозможно, воды непригодны в силу их крайней загрязнённости тяжёлыми металлами.

В соответствии с поручениями Президента Российской Федерации В.В. Путина от 1 апреля 2023 г. № Пр-650 и от 27 июля 2023 г. № Пр-1477 о разработке «Стратегии развития акватории Азовского бассейна и территорий приазовского побережья», была разработана «Стратегия устойчивого развития Приазовья до 2040 года». Стратегия направлена на восстановление экологии Азовского моря и побережья, развитие рыбохозяйственного, туристического и рекреационного потенциала. Однако развитие туризма невозможно без полноценного доступа к качественной питьевой воде. Врио председателя госкомитета водного и рыбного хозяйства ДНР А. Судьин, выступая на круглом столе «Вода России», заявил: «Все сохранившиеся ГТС на территории ДНР старше 50 лет и находятся в аварийном состоянии». На большинстве ГТС Республики не сохранилась проектная документация, нет службы эксплуатации, не ведутся журналы мониторинга, отсутствуют декларации безопасности ГТС. Согласно российскому законодательству на всех ГТС должен осуществляться федеральный государственный надзор. Таким образом, работы по модернизации системы водоснабжения можно разбить на три главных составляющих: сокращение потерь, восстановление ранее использовавшихся водозаборов, а также организация подачи воды оттуда, где ранее её не брали. Работы по каждому из направлений должны вестись параллельно. На сегодня потери воды в сетях г. Донецка составляют порядка 70 %.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЧИСЛЕННОМ ЛОТКЕ В ANSYS FLUENT

С.А. Платонов¹, Д.В. Козлов²

Моделирование литодинамических процессов является довольно труднопрогнозируемым ввиду большого количества факторов, прямо или косвенно влияющих на транспорт взвешенных в потоке воды частиц. При этом как математическое, так и физическое моделирование имеют ряд недостатков, влияющих на достоверность получаемых результатов:

- искажение физики процессов при масштабировании модели;
- невозможность учёта всех факторов, влияющих на результат;
- ограничение вычислительных мощностей (особенно при необходимости моделирования довольно продолжительных временных интервалов).

С целью упрощения решения задач литодинамики, а также уменьшения объемов и продолжительности физического моделирования был выполнен анализ возможностей моделирования гидроволновых и литодинамических процессов в системе «открытая граница – песчаные донные отложения – подводный трубопровод» с помощью компьютерного инструментария ANSYS Fluent в режиме двухфазной среды. В плоской постановке был рассмотрен участок трубопровода, проложенного по дну водотока. Течение при этом задано равномерным ламинарным потоком, поступающим с открытой границы. Калибровка модели выполнялась по данным физических экспериментов, произведенных в гидравлических лотках. Результаты калибровки модели показали приемлемую сходимость результатов численного моделирования и данных физических экспериментов, что говорит о возможности применения ANSYS Fluent для реализации численного гидравлического лотка для прогнозирования литодинамических процессов на предварительных этапах проектирования.

Помимо моделирования численного лотка основной задачей исследования являлся анализ воздействия открытого волнения на деформации дна в зоне расположения подводного трубопровода (горизонтальная обтекаемая преграда). Волнение при этом реализовано с помощью волногенератора, замоделированного в форме «клина». Исследование показало, что открытое волнение, особенно в сочетании с течением, близким по скорости к размывающему, оказывает значительное влияние на местные деформации дна в зоне укладки трубопровода. Поэтому при прокладке подводных трубопроводах в местах с развитым течением и/или волнением необходимо выполнять устройство траншей либо локальной защиты от размыва.

¹ Аспирант, НИУ МГСУ

² Доктор техн. наук, профессор, НИУ МГСУ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ОПОРЫ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ В ANSYS FLUENT

О.Е. Руденко¹, И.Г. Кантаржи²

Определение нагрузок на вертикальные опоры от воздействия волн является сложной инженерной задачей. Нагрузки от волн на обтекаемые преграды и сквозные сооружения изложены в СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов), приложение Е, а также в СН 92-60 Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега. Данные методики расчётов подтверждаются большим количеством экспериментальных данных и натурных наблюдений. Однако, для нужд проектирования сложных конфигураций гидротехнических сооружений с большим количеством рядов вертикальных опор поперёк распространения луча фронта волны, переменным их шагом и разной шероховатостью поверхностей, данные методы не могут в полной мере отразить реальную картину волнового воздействия. Поэтому целью исследований было определение возможности использования ANSYS Fluent в качестве инструмента численного моделирования.

Был проведён ряд численных экспериментов и согласованных с ними аналитических расчётов нагрузок от волн на вертикальные обтекаемые преграды различных форм. Также были учтены в экспериментах шаг опор поперёк распространения луча фронта волны, а также их шероховатость.

Результаты численных экспериментов позволяют сделать вывод о том, что ANSYS Fluent возможно использовать в качестве численной гидравлической лаборатории. При этом параметры волнения (высота, длина, период) задаются в режиме Open Chanel BC как регулярные волны Стокса.

Возможность проводить численные эксперименты с определением волновой нагрузки позволяет более эффективно и качественно определить наиболее предпочтительную конструкцию гидротехнического сооружения, не прибегая к объёмным аналитическим расчётам. Кроме того, это позволит выполнить вариантную проработку конструкций. Впоследствии для выбранного варианта конструкции в сложных волновых условиях необходимо выполнять физическое моделирование в гидравлической лаборатории.

¹ Аспирант, НИУ МГСУ

² Доктор техн. наук, профессор, НИУ МГСУ

Секция

**Бетонные и железобетонные конструкции ГТС.
Новые разработки и методы исследований**

РАЗВИТИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е.Ю. Витохин¹, С.Б. Кондратьев², Т.Р. Хазиахметов³, В.С. Костылев⁴

Обеспечение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений является важнейшей и приоритетной задачей ПАО «РусГидро». Сведения о напряженно-деформированном состоянии сооружения позволяют судить о его прочности и устойчивости и, как следствие, безопасной эксплуатации. Конечно-элементное моделирование позволяет определять напряженно-деформированное состояние сооружений при условии учета всех значащих геометрических и физических особенностей сооружения, а также внешних нагрузок. В АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» созданы и на протяжении длительного времени развиваются конечно-элементные модели гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской ГЭС. Кроме того, в данный момент ВНИИГ является генеральным подрядчиком по проекту создания принципиально новой комплексной диагностической математической модели Саяно-Шушенской ГЭС. Особое внимание при создании этих моделей уделяется моделированию температурного поля, конструктивным особенностям сооружений, а также нелинейному поведению бетона зоны отремонтированных трещин и скального основания. Учет этих особенностей в конечно-элементной модели позволяет достичь высокой степени соответствия параметров напряженно-деформированного состояния данным натурных наблюдений.

В работе представлены результаты экспериментального определения напряженно-деформированного состояния бетона первого столба плотины с использованием двух альтернативных методов – метода параллельных скважин и метода полной разгрузки керна. Полученные в результате измерений значения напряжений используются при калибровке конечно-элементной модели Саяно-Шушенской ГЭС, включающей в себя бетонную арочно-гравитационную плотину, в которой учтены внутренние особенности сооружений: галереи, аэрационные трубы, водозаборные сооружения, пазы затворов и т.д. Температурное поле плотины определялось на основе решения одномерных задач теплопроводности, граничные условия в которых задавались на основе показаний датчиков температуры, расположенных вблизи поверхности бетона плотины. Конечно-элементная модель плотины верифицирована по данным натурных наблюдений путем сравнения форм и частот собственных колебаний, а также горизонтальных перемещений и углов наклона плотины с данными измерений. Полученные результаты свидетельствуют о высокой точности создаваемых моделей.

¹ Канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией «Динамика и сейсмостойкость сооружений», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Член Правления, первый заместитель Генерального директора – Главный инженер ПАО «РусГидро»

³ Директор Департамента технического регулирования ПАО «РусГидро»

⁴ Канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории «Динамика и сейсмостойкость сооружений», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

В.В. Чильчигашева¹

Арочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС возведена на скальном основании, имеющем различное геологическое строение и неоднородные свойства. Проектные физико-механические характеристики скальных грунтов подтверждались в период эксплуатации как изысканиями, так и несколькими циклами геофизических исследований.

При наполнении водохранилища до проектной отметки НПУ состояние приконтактной зоны под первым столбом плотины характеризовалось разуплотнением скального массива с раскрытием контактного шва и нарушением целостности глубокой цементационной завесы. Для восстановления функций противofильтрационного элемента в период с 1998 по 2003 гг. проведены масштабные ремонтные работы путем инъекций эпоксидными компаундами скального основания под первыми столбами плотины всех русловых секций. В целях организации контроля состояния системы *плотина–основание* вся ремонтируемая зона была оснащена контрольно-измерительной аппаратурой.

За 21 год постремонтного периода достигнутый эффект по восстановлению свойств глубокой завесы сохраняется. Роста фильтрационных расходов в дренажах и противоаварийного за цементационной завесой в подавляющем большинстве контрольных точек не отмечается. Лишь на двух локальных участках русловой части основания была проведена повторная цементация по причине небольшого роста фильтрационных показателей.

По результатам наблюдений за деформационным состоянием скального основания в последний 6-летний период эксплуатации отмечается рост растягивающих деформаций по подавляющему числу контрольных приборов в 10-метровом приконтактном слое основания под первыми столбами плотины в зоне сопрягающей и глубокой цементационной завес. Признаки накопления растягивающих деформаций отмечаются и на глубине до 30 м от контакта *скала–бетон*, а также на удалении от напорной грани плотины вплоть до начала третьих ее столбов. При этом в зоне основания, в области шва, между третьим и четвертым столбами, работающей на сжатие при росте гидростатической нагрузки, явных признаков уплотнения скалы не отмечается. Рост деформаций в основании происходит на фоне наличия необратимых составляющих в углах наклона приконтактного сечения плотины в сторону нижнего бьефа.

По результатам наблюдений и приведенного анализа сделаны выводы о длительности сохранения результатов ремонтных работ в основании, об актуальности и достоверности данных закладной контрольно-измерительной аппаратуры, о необходимости учета изменения современных деформационных свойств основания при разработке моделей, оценке надежности и прогнозирования состояния системы *плотина–основание* Саяно-Шушенской ГЭС.

¹ Руководитель группы НН и ТО КИА, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»

СОСТОЯНИЕ ОТРЕМОНТИРОВАННОЙ ЗОНЫ БЕТОНА ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС МЕЖДУ ОТМЕТКАМИ 344–359 м ПОСЛЕ 28 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Н.В. Зюзина¹

В арочно-гравитационной плотине Саяно-Шушенской ГЭС в начальный период эксплуатации возникла зона трещин в бетоне первого столба между отметками 344–359 м с высоконапорной фильтрацией с расходом более 450 л/с. Крупномасштабные ремонтные работы по подавлению фильтрации выполнены в 1995–1996 гг. в 27 секциях (19, 21–46) эпоксидными смолами по технологии французской компании Soletanche. Продвижение трещин было остановлено, фильтрация через напорную грань была снижена на 99 %. В последующем участки трещин в секциях 15–18, 20 были отремонтированы собственными силами.

После 28-летней постремонтной эксплуатации плотины эффективность выполненных ремонтных работ в бетоне сохраняется. Суммарный фильтрационный расход через отремонтированную зону бетона в настоящее время более чем в 300 раз меньше, чем до ремонта. Локальные фильтрационные расходы не более 0,17 л/с по одной секции наблюдаются в отдельных секциях через контрольные скважины, пробуренные в межштопочное пространство. Скважины, пробуренные дальше от напорной грани, в глубь первого столба остаются сухими. Для контроля состояния зоны назначены критерии безопасности по фильтрационным расходам через одну секцию с предупреждающим уровнем $K_1=10$ л/с.

Контроль состояния зон трещин ведется с применением экстензометров и тензометров. Изменения деформаций на участках с залеченными трещинами в течение всего послеремонтного периода эксплуатации характеризуют стабильное состояние зон трещин. На отдельных участках в ряде секций, в разные годы (в основном в 2001 и 2017 гг.), происходил прирост деформаций, вызвавший остаточные приращения деформаций растяжения. Однако наличие остаточных деформаций не вызывает роста или появления новых источников фильтрации в отремонтированном бетоне. В большинстве обжатых в процессе ремонта 1996 г. зон бетона, куда смола не нагнеталась, сохраняется запас сжатия, полученный при ремонте.

В отремонтированной зоне бетона отсутствуют признаки наличия, образования или распространения трещин по напорному фронту плотины. Имеются локальные участки с раскрытием трещин до 3–4 м в 9-ти секциях и до середины первого столба – в двух секциях 16, 19. Состояние зоны отремонтированных трещин в бетоне первого столба плотины зоны не влияет на безопасность и надежность ГЭС СШГЭС.

Многофакторными исследованиями 2018 г. подтверждено, что полимерные материалы в бетоне находятся в стабильном состоянии, признаков деградации материалов и вымывания компонентов бетона в зоне примыкания ремонтного состава не выявлено, адгезия обеспечивается. В 2025 г. планируется повторное исследовательское бурение в отремонтированную зону бетона.

¹ Заместитель начальника службы мониторинга ГЭС, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АГРЕССИВНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД

В.И. Белан¹, А.Н. Пермин², А.В. Пермина³

Анализ результатов обследования технического состояния эксплуатируемых объектов системы свидетельствует об увеличении в последние годы числа аварийных ситуаций вследствие сероводородной коррозии железобетона, имеются случаи его раннего повреждения. Одной из главных причин несоответствия ожидаемого и фактического срока службы железобетонных конструкций систем является то, что их проектирование и строительство осуществлялось без применения каких-либо средств защиты.

В действующих нормах (СП 28.13330.2017 Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии») в целом достаточно объективно оценивается степень агрессивного воздействия на железобетон как сточных вод (среда неагрессивная или слабоагрессивная), так и газовой фазы, агрессивность которой может изменяться от неагрессивной до сильноагрессивной – в зависимости от концентрации. Однако реальная возможность объективной оценки агрессивности среды у проектировщиков отсутствует, в связи со сложностью надежного прогноза концентрации сероводорода в среде и оксидов серы. В связи с этим, до разработки соответствующих нормативов целесообразно при проектировании в наибольшей степени использовать опыт эксплуатации существующих объектов-аналогов, в первую очередь, при строительстве в водоемах с агрессивной средой, морях.

На основе результатов натурных обследований уточнены механизм и кинетика коррозионного воздействия эксплуатационной среды, выполнены характерные дефекты и повреждения бетонных и железобетонных конструкций при эксплуатации. В конструкции протекают процессы сероводородной коррозии, вызывающие интенсивное разрушение бетона. По результатам комплексных физико-химических исследований установлено, что основными продуктами коррозии бетона являются сульфатсодержащие новообразования.

На стадии достижения нормативного срока должна быть обеспечена различными средствами защита: на участках с сильноагрессивной средой необходимо, применять коррозионно-стойкие материалы, на остальных участках рекомендуется применять бетон повышенной плотности либо бетон с защитным покрытием или добавками. При проектировании сооружений необходимо применение вторичной защиты в любом случае.

На основе комплексных физико-химических и физико-механических исследований выполнен отбор оптимальных составов для защиты бетонных и железобетонных конструкций.

Разработана методика определения величины коррозии бетона под воздействием агрессивных газовых сред с использованием установки с автоматическим поддержанием заданной концентрации газа.

Предложена формула с коэффициентами K_c – среды, K_m – материалов для определения глубины коррозии от проникновения газа.

Результаты проведения исследований применены при строительстве и ремонте железобетонных конструкций. Эффект от внедрения результатов исследований заключается в продлении срока службы конструкций до нормативных значений и выше

¹ Доктор техн. наук, профессор, Президент, ООО «СИБНИИСТРОЙ»

² ООО «СИБНИИСТРОЙ»

³ ООО «СИБНИИСТРОЙ»

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ НА ОДНООСНОЕ СЖАТИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА ПО ГРАДУИРОВОЧНЫМ ЗАВИСИМОСТЯМ НА ГЭС РОССИИ

Л.С. Дейнеко (Василевская)¹

Мониторинг технического состояния бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений (ГТС) проводится не реже одного раза в пять лет.

При обследовании бетонных конструкций, выполняемом с целью оценки их состояния, прочности и остаточного ресурса работоспособности, наиболее достоверным является метод выбуривания кернов. При этом нарушается прочность конструкции сооружения, а процессы изъятия образцов требуют затраты большого количества времени и являются весьма трудоемкими и дорогостоящими.

Для уменьшения количества кернов или полного отказа от них в пользу косвенных методов необходимо иметь градуировочные зависимости вида «косвенная характеристика–прочность по прямому методу».

Использование ультразвукового метода позволяет определить не только прочность бетона, прилегающего к открытым граням, но и осредненную прочность бетона массива. Для определения прочностных свойств бетона ультразвуковым методом необходимо построение градуировочной зависимости вида «скорость – прочность». При построении этой зависимости для оценки прочности на одноосное сжатие надо принимать во внимание различные факторы, которые приводят к недопустимым ухудшениям состояния сооружений – старению материалов плотин и основания: естественный износ, выщелачивание, суффозия, деструктивные изменения: расколы, выбоины, пустоты, каверны, трещины, воздействие внешней среды: солнечная радиация, выветривание, замораживание и оттаивание, щелочно-кремнеземные или другие химические реакции.

Состояние конструкций ГТС контролируется в процессе строительства путем отбора образцов на бетонном заводе и последующего их испытания по ГОСТ 17624–2012. Образцы бетона, взятые при его укладке, позволяют получать данные по большому количеству точек всей плотины, но они хранятся в иных температурно-влажностных условиях и не испытывают влияния большого количества негативных процессов, происходящих при эксплуатации ГТС. Таким образом, применение линейной зависимости к эксплуатируемому долгое время ГТС в ряде случаев является некорректным. При диагностировании технического состояния в процессе эксплуатации гидротехнических сооружений возникает необходимость построения более корректных градуировочных зависимостей, описывающих реальное состояние конструкции, на основании большой выборки данных.

Более чем за 11-летний период проведены многочисленные совместные испытания прямого метода (выбуривания кернов) и ультразвукового методов на различных ГЭС России, и выведены различные аппроксимирующие функции не только линейного, но и экспоненциального, степенного и полиномиального вида. Использование этих зависимостей существенно сократит трудозатраты при оперативном и достоверном диагностировании бетонных конструкций, а также позволит использовать их с учетом различных научно-технических и практических требований.

¹ Канд. техн. наук, начальник технического отдела ООО «МНИПИИТИ»,
доцент кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева

О ВОЗМОЖНОСТЯХ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЦЕНКИ УПРУГИХ СВОЙСТВ БЕТОНА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Г. Штенгель¹

Доклад посвящен проблеме определения в натуральных условиях упругих свойств бетона крупногабаритных монолитных и сборных железобетонных конструкций с помощью серийной ультразвуковой аппаратуры. Методика определения упругих характеристик бетона ультразвуковым методом основана на известной из механики аналитической связи скорости распространения упругих волн в материале с физическими свойствами самого материала: плотностью, динамическим модулем упругости и коэффициентом Пуассона. Проверка этой связи для бетона проводилась при сопоставлении результатов совместных испытаний бетонных образцов призм на прессе и ультразвуком, а также совместным исследованием натуральных крупногабаритных железобетонных колонн, проводимых резонансным методом на специальном стенде, и ультразвуковым методом. Скорость продольной волны определялась при поверхностном прозвучивании с использованием переменной установки преобразователей по схеме усеченного профилирования. Скорость поверхностной волны определялась по характерному излому комплексной осциллограммы ультразвукового сигнала в зоне резкого увеличения суммарной амплитуды. Динамический коэффициент Пуассона можно также определить при использовании соотношения времени прохождения по поверхности бетона продольной и поверхностной волн при одной установке пары преобразователей (источника и приёмника).

Опытные и натурные исследования образцов бетона и реальных элементов показали высокую сходимость результатов оценки упругих свойств бетона разными методами и, соответственно, продемонстрировали возможность замены трудоёмких испытаний относительно простыми оперативными методами при ограниченных возможностях доступа к конструкциям в эксплуатационном режиме сооружений.

Предложена базовая методика оценки модулей упругости и коэффициента Пуассона бетона конструкций эксплуатируемых сооружений неразрушающим ультразвуковым методом с использованием серийных приборов с визуализацией принятого ультразвукового сигнала.

Эти редко определяемые фактические характеристики материала востребованы при поверочных расчётах для контроля реального состояния конструкций после длительной эксплуатации. Предлагается развить это направление и включить его в номенклатуру нормативных документов по применению методов ультразвукового контроля бетона.

¹ Канд. техн. наук, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕЦИФИКИ РАБОТЫ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ БРАТСКОЙ ГЭС ЗА 60 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Н. Дурчева¹

В докладе рассматриваются итоги многолетних натурных исследований состояния бетонной плотины Братской ГЭС с начала строительства, в течение многолетнего периода промышленной эксплуатации. Это позволило оценить проект бетонной плотины, технологии ее возведения и схему статической работы.

Натурные наблюдения, осуществляемые ВНИИГ, состояли из исследований: закономерностей изменения температурного режима, напряжений в бетоне, плановых и вертикальных перемещений тела плотины и основания, работы подземного контура, монолитности бетона, обусловленной влиянием температурных трещин и степенью монолитности межстолбчатых швов.

Дается оценка проектного решения станционных и водосливных секций. Рассмотрены причины раскрытия контактного шва скала–бетон станционных секций и неработающего проектного противодиффузионного контура.

Установлена сезонность схемы статической работы плотины, обусловленная разным влиянием температурного и силового факторов. Приведены результаты регрессионного анализа сезонных перемещений.

Рассмотрены влияния разного температурного режима, длительного осушения расширенных швов, разных величин сезонных изменений УВБ, на НДС плотины. Выявлены причины необратимых горизонтальных перемещений гребня секций. Дана оценка роли «опережающего» дренажа.

¹ Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им Б.Е. Веденеева»

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕТОННЫХ КОНТРОРСНЫХ ПЛОТИН НА ПРИМЕРЕ ПЛОТИНЫ ЗЕЙСКОЙ ГЭС

И.И. Загрядский¹, А.В. Боченков²

Сравниваются, с точки зрения удобства и трудоемкости их эксплуатации, две большие бетонные плотины в Амурской области Российской Федерации: массивно-контрфорсная Зейская плотина и гравитационная Бурейская плотина. Плотины находятся в регионе с суровыми климатическими условиями: экстремальными зимними температурами воздуха ниже -55°C и летними выше $+40^{\circ}\text{C}$. Характерные размеры плотин, количество уложенного в них бетона, сборного железобетона, выработка электроэнергии на ГЭС и некоторые другие показатели сведены в таблицу.

ГЭС	Тип бетонной плотины	Максимальная высота плотины, м	Длина плотины по гребню, м	Объем бетона и железобетона в плотине, тыс. м ³	Объем сборного железобетона плотины, тыс. м ³	Объем тела плотины, включая пустоты, %	Суммарная выработка электроэнергии с 2009 по 2022 гг., %	Общая численность персонала, %	Численность служб мониторинга и эксплуатации, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зейская	Массивно-контрфорсная	115.5	714.2	2025	58	89	93	95	80
Бурейская	Гравитационная	140.0	744.0	3500	49	100	100	100	100

Примечание: в графах таблицы 7 – 10 величины указаны в процентах, принимая показатели Бурейской ГЭС за 100%

Из таблицы видно, что две плотины сопоставимы как по размерам и выработке электроэнергии на ГЭС, так и по численности эксплуатирующего их персонала. Например, по данным из Википедии суммарная выработка электроэнергии Зейской ГЭС с 2009 по 2022 гг. на 7 % меньше, чем за тот же срок на Бурейской ГЭС; при этом численность служб мониторинга, эксплуатации и ремонтов Зейской ГЭС на 20 % меньше численности аналогичных служб Бурейской ГЭС. Объем бетона, уложенного в Бурейскую плотину, значительно больше объема бетона Зейской плотины, но, если включить в объем Зейской плотины пазухи между контрфорсами, то подобное отличие уменьшится до 11 %.

Во многих контрфорсных плотинах с более мягким и теплым климатом полости между контрфорсами вообще не перекрываются плитами со стороны низовой грани. Полости Зейской плотины перекрыты для обеспечения возможности их обогрева в зимний период и создания благоприятного термонапряженного состояния плотины в зимний период. В этих полостях в холодный период года должна поддерживаться положительная температура не менее $+2^{\circ}\text{C}$.

¹ Доктор техн. наук, заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Проведенное с участием авторов обследование Зейской плотины показало, что протечки дождевой воды в полости между контрфорсами со стороны низовой грани плотины превышают протечки фильтрующей воды со стороны водохранилища через напорную грань плотины. Проектные решения не обеспечивают полную водонепроницаемость низовой грани Зейской плотины и ее оголовка, возможно, из-за сложности, дороговизны и отсутствия оправданной необходимости таких мер.

Горизонтальные межэтажные сборные железобетонные перекрытия полостей Зейской плотины расположены с шагом по высоте около 15 м и состоят из плит, уложенных на мощные несущие балки, опирающиеся на пазы в контрфорсах. Поддержание этих перекрытий в работоспособном состоянии достаточно трудоемко. Для них наиболее опасно регулярное смачивание фильтрующей водой и образующимся в теплое время года водным конденсатом, приводящее к коррозии арматурного каркаса и локальным разрушениям защитного слоя бетона.

Контрфорсы Зейской плотины в пределах внутренних пазух облицованы несъемной сборной утепленной железобетонной опалубкой. За этими облицовочными плитами требуется наблюдать и поддерживать их в работоспособном состоянии, защищая от подтеков воды, приводящих к коррозии арматурного каркаса и закладных частей. Коррозия может привести к деградации крепежа плит к монолитному бетону контрфорсов.

Несмотря на то, что многие присущие Зейской контрфорсной плотине дефекты и повреждения имеют локальный характер и при последующем развитии не могут оказать влияния на основные несущие конструкции здания и сооружения, для недопущения их развития требуются немалые дополнительные затраты – около 5 млн. руб. ежегодно только на дополнительные текущие ремонты железобетонных плит перекрытий и железобетонной опалубки контрфорсов плотины. При этом возрастает нагрузка на планирующие и организующие ремонты производственно-техническую службу ГЭС, службу мониторинга ГЭС и некоторые другие. За проектный срок эксплуатации 100 лет для плотины I класса накапливаются большая сумма дополнительных издержек и большие трудозатраты. Отметим, что требования нормативных документов к осмотру, регистрации и подавлению водопроявлений в бетонных и железобетонных конструкциях плотин не учитывают тип бетонной плотины, будь она гравитационная, арочная или контрфорсная; не учитывают источник и направление фильтрации – дождевая вода или вода из водохранилища; не учитывают фильтрующую область – напорная грань плотины или низовая.

Общая площадь поверхностей внутренних полостей, галерей и перекрытий Зейской плотины, которые необходимо наблюдать и поддерживать в работоспособном состоянии, защищая от протечек и связанной с ними коррозии бетона и арматуры, приблизительно на 16,5 гектаров больше общей площади поверхностей галерей Бурейской бетонной гравитационной плотины. И эти 16,5 гектаров дополнительных поверхностей пазух приходится не перепахать трактором, а замазывать шпателями дорогими ремонтными составами в труднодоступных местах, используя альпинистское снаряжение.

Таким образом, эксплуатация бетонной контрфорсной плотины в суровых климатических условиях требует больших трудовых и финансовых затрат в сравнении с аналогичной гравитационной плотиной. Это важно учитывать при планировании эксплуатации, ремонтов, реконструкции и технического обслуживания бетонной массивно-контрфорсной плотины Зейской ГЭС, а также при проектировании новых бетонных контрфорсных плотин в суровых климатических условиях для объективного оценивания их экономической эффективности на всех этапах жизненного цикла.

ПОВТОРНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ: ОПАСНОСТЬ АФТЕРШОКОВ

О.О. Эртелева¹, Ф.Ф. Аптикаев²

В соответствии с п. 6.20 СП 358.1325800.2017 «Сооружения гидротехнические. Правила проектирования и строительства в сейсмических районах», при расчетах на сейсмостойкость гидротехнических сооружений требуется учет влияния повторных толчков на сооружения. Однако вопрос методики оценки сейсмических воздействий от возможных афтершоков не рассмотрен.

В большинстве же нормативных документов подобные расчеты, связанные с опасностью афтершоков, и не предусматриваются. Причина такого пренебрежения заключается в том, что согласно исследованиям М. Бота (Bath M., 1965), наиболее вероятная магнитуда сильнейшего афтершока на 1,2 магнитудных единицы M_w меньше магнитуды главного толчка.

Как известно, зависимость сейсмической интенсивности I от магнитуды землетрясения M описывается уравнением макросейсмического поля, которое в среднемировой форме (не региональной) имеет вид

$$I = 1,5 M - 3,5 \lg R + 3,0,$$

где R – гипоцентральное расстояние до точки наблюдения.

Таким образом, ожидаемая сейсмическая интенсивность при сильнейшем афтершоке на 1,8 балла ниже, чем при основном толчке. Отсюда и следовал вывод, что достаточно учитывать только опасность главных толчков.

Однако необходимо учитывать тот факт, что оценка Бота является наиболее вероятной статистической оценкой. Возможны афтершоки и с более высокими магнитудами. Так, в СП 358 рекомендуемая разница интенсивностей при главном событии и сильнейшим афтершоком, если не проводятся дополнительные исследования, составляет 1 балл, что, как следует из формулы, соответствует разнице в 0,7 единиц магнитуды.

Кроме того, в практике сейсмологических наблюдений встречаются землетрясения, при которых афтершоки с меньшей магнитудой вызывали более серьезные повреждения зданий, чем главный толчок. Объяснить это явление можно тем, что очаги афтершоков могут оказаться ближе к объекту, поскольку они занимают всю территорию очаговой зоны главного толчка. Поэтому вероятность появления афтершока вблизи строительного объекта следует рассчитывать таким же способом, как для землетрясений рассеянной сейсмичности.

Согласно теоретическим выкладкам и эмпирическим данным, значения ускорений на поверхности разлома не зависят от магнитуды. При этом площадь поражения при малых магнитудях также мала. Таким образом, опасность афтершоков связана не столько с магнитудой толчка, сколько с расстоянием. Известно, что наилучшей характеристикой расстояния является кратчайшее до поверхности разлома.

Существует еще один фактор, вследствие которого повреждения сооружений при повторных толчках могут быть более значительными. Оказалось, что при расчетных сейсмических воздействиях, когда никаких видимых повреждений не наблюдается, сейсмостойкость сооружений все-таки снижается: за одно событие – на 0,2, за два события – на 0,5, за три события – на 0,9 единиц магнитуды.

Выводы

При расчетах повторных расчетных сейсмических воздействий следует учитывать следующие факторы, определяющие опасность афтершоков: величина его магнитуды, расстояние от поверхности разлома до объекта и снижение сейсмостойкости за счет перенесенных сооружений предыдущих землетрясений.

¹ Доктор физ.-матем. наук, главный научный сотрудник, ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

² Доктор физ.-матем. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНОЛИТНОСТИ БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В.М. Давиденко¹, Е.Л. Чердинцева²

Для обеспечения монолитности бетонных плотин после завершения процесса остывания бетона до установленных расчетных температур производится цементация временных строительных швов либо, если проектом вместо цементируемых швов предусмотрено устройство объемных замыкающих блоков, их бетонирование (Мамаканская, Зейская ГЭС). Омоноличивание является завершающим этапом возведения сооружения и определяет его готовность к восприятию напора и последующей эксплуатации. Основная задача цементации заключается в возможно более полном заполнении швов цементным камнем с тем, чтобы обеспечить взаимосвязь бетонных массивов плотины.

Для качественной цементации строительных швов необходимо, чтобы их раскрытие имело величину, достаточную для движения в них густых цементных суспензий. Так, по данным Бюро мелиорации США, величина такого раскрытия должна составлять 0,5 мм и более, отечественные нормативные документы допускают проведение цементации при раскрытии 0,3 мм. Однако, на основании натурных исследований, проведенных на плотине Братской ГЭС, установлено, что раскрытие 0,3 мм не обеспечивает надлежащего заполнения шва цементным раствором требуемой консистенции и поэтому, в дальнейшем, в качестве наименьшей величины, обеспечивающей удовлетворительную цементацию, было принято считать раскрытие 0,5 мм.

Основной расчетной зависимостью для расчета раскрытия строительных швов является зависимость

$$\delta = \alpha L \Delta T, \quad (1)$$

то есть предполагается зависимость раскрытия шва от длины столба (L), температурного перепада между максимальной среднеобъемной температурой массива и температурой его омоноличивания (ΔT) и коэффициента линейного расширения (α).

Приведенная формула показывает, что условия качественной цементации, во многом зависящие от раскрытия строительных швов, находятся в определенном противоречии с мерами по борьбе с температурным трещинообразованием бетона, то есть с увеличением плановых размеров блоков увеличивается наряду с величиной раскрытия шва и опасность трещинообразования в них. Вместе с тем, укладка бетона в тело плотины малыми блоками существенно ухудшает последующее качество омоноличивания сооружений из-за затруднений, возникающих при цементации швов с малым раскрытием. Исходя из этого, при назначении плановых размеров блоков необходим комплексный подход, учитывающий как вопросы обеспечения трещиностойкости бетона, так и вопросы цементации швов.

Цементация выполняется при температуре омоноличивания, которая назначается в проекте, близкой к установившейся среднесезонной температуре массива. При этом за контрольную температуру принимается среднеобъемная температура блоков, образующих шов.

¹ Доктор техн. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Инженер 2 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Наряду с этим было установлено, что раскрытие швов начинается после некоторого охлаждения массива бетона.

Учитывая этот факт, было предложено рассчитывать раскрытие швов при остывании как полусумму линейных деформаций смежных столбов:

$$\delta = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2} . \quad (2)$$

При вычислении их линейных деформаций учитывать, наряду с температурой омоноличивания, температурный перепад между максимальной среднеобъемной температурой в блоке под влиянием температурного воздействия на него позже уложенного смежного блока ($t_{\text{макс.}}$) и температурой бетонной смеси, а также понижающий коэффициент (K), учитывающий термонапряженное состояние массива

$$\Delta l = \alpha l [(t_{\text{бет. смеси}} - t_{\text{ом.}}) + K(t_{\text{макс.}} - t_{\text{бет. смеси}})] . \quad (3)$$

Следует отметить, что приведенные формулы для величины раскрытия строительных швов не учитывают конструктивных особенностей характера штрабления бетона в швах, неравномерности температурного поля элементов плотин, в связи с чем не обеспечивают достаточной точности.

Подтверждением этому служат исследования, проведенные при возведении плотины Усть-Илимской ГЭС, где было показано, что раскрытие межстолбчатых швов тем больше, чем меньше разрыв во времени между бетонированием блоков соседних столбов и блоков в пределах одного столба.

В отечественной практике для цементации строительных швов, как правило, применяют портландцемент марок 400-500. Омоноличивание отечественных плотин цементацией швов выполнено растворами на таких цементах и лишь в исключительных случаях при наличии затруднений, связанных с малыми раскрытиями швов, применялись специально домолотые цементы. Широкое применение при производстве цементационных работ получили различные виды добавок, позволяющие регулировать характеристики цементных растворов: их пластичность, вязкость, сроки схватывания, нерасслаиваемость, прочность цементного камня в раннем возрасте и т. п.

«ПОДНОЖНИК ЛЕНГИДРОПРОЕКТА» – ФУНДАМЕНТ АНКЕРНЫЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДЛЯ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В.В. Мищенко¹

Свободностоящие опоры воздушных линий электропередачи – металлические пространственные конструкции башенного типа. В первую очередь это решетчатые конструкции, в которых можно выделить основные несущие элементы: угловые пояса, объединяющие соседние грани башни и ограниченные снизу опорными башмаками, называемые «ногами» опоры.

Основной вид фундамента типовых опор воздушных линий электропередачи – сборные железобетонные из грибовидных конструкций, каждая из которых предназначена для закрепления только одного опорного узла. Часто для наименования данных конструкций используют термин «подножник». Несмотря на то, что типовые серии грибовидных фундаментов разрабатывались, начиная с конца 60-х годов прошлого века, наименование «подножник» до 2006 г. было ненормативным, так как отсутствовало какое-либо определение в нормативной литературе.

Применение типовых «подножников» сопряжено со следующими трудностями:

небольшое число заводов-производителей, специализирующихся на выпуске типовых «подножников», большая часть которых расположена в европейской части Российской Федерации. В то время как основные электросетевые объекты АО «РусГидро» расположены в удаленных регионах страны – Крайний Север, Сибирь и Дальний Восток;

сложная опалубка, количество которой на заводах крайне ограничено. Новая опалубка для фундаментов не производится, так как утеряны компетенции: специалисты, чертежи, организации, занимающиеся разработкой и изготовлением специальной опалубки;

ограниченная производительность существующих заводов: невозможно нарастить объем выпуска путем привлечения сторонних производителей строительных конструкций, не специализирующихся на выпуске типовых фундаментов для воздушных линий (ВЛ);

негабаритные конструкции для транспортировки: перевозка готовых фундаментов к месту строительства – сложная и дорогая логистическая задача.

Существует потребность в разработке типового проектного решения: фундамента для закрепления типовых анкерно-угловых и промежуточных металлических опор при строительстве и реконструкции ВЛ в удаленных регионах страны – Крайний Север, Сибирь и Дальний Восток.

Основная цель – простота изготовления и транспортировки фундаментов к месту строительства – достигнута в предлагаемом на рассмотрение варианте «подножника» конструкции Ленгидропроекта.

В докладе подводится итог выполненной в течение 2022–2023 гг. специалистами АО «Ленгидропроект» работы по разработке конструкции фундамента для замены типовых железобетонных «подножников». Название «подножник Ленгидропроекта» появилось весной 2022 г., для обозначения в переписке с Заказчиком одного предлагаемого варианта закрепления опор ВЛ, который впоследствии в рабочих чертежах за 2023 г. стал именоваться Фундамент анкерный универсальный (ФАУ).

¹ Заместитель начальника отдела расчетных обоснований, АО «Ленгидропроект»

ИЗМЕНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ СЛАБЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В РАЙОНЕ БУРЕЙСКОЙ И НИЖНЕ-БУРЕЙСКОЙ ГЭС

**В.А. Бормотов¹, А.Ю. Егоров², Е.В. Кукушкина³,
Т.В. Сингатулина⁴, Е.Я. Скоморовская⁵**

Реализация нового ГОСТ Р70811-2023 «Гидротехнические сооружения в сейсмических районах. Геодинамический мониторинг. Сейсмологические и сейсмометрические наблюдения» требует проведения анализа сейсмологических и сейсмометрических данных для выявления изменений сейсмического режима и оценки интенсивности слабых сейсмических воздействий.

В районе расположения Бурейской и Нижне-Бурейской ГЭС функционирует локальная сейсмологическая сеть (ЛСС) из семи сейсмостанций (размеры сети 35 на 45 км). Конфигурация сети и чувствительность сейсмостанций позволяют определять местоположение и регистрировать без пропусков микроземлетрясения магнитудой $M=1,5$ до удалений 150 км от центра сети. Территория сейсмологического мониторинга находится в области влияния северо-западного сегмента Тихоокеанского сейсмического пояса. Изменение сейсмического режима района (на уровне $M=1-2$) начинает проявляться в показателях сейсмичности за интервал 3–6 месяцев. Определение времени изменения режима осуществляется по графикам сейсмических потоков. Для этого (с 2014 г.) были построены графики потоков землетрясений $M=1,5$ и $M=2,0$. Годовые колебания графиков, обусловленные влиянием водной нагрузки водохранилища Бурейской ГЭС на микросейсмичность, наблюдались в 2014–2017 г. С 2018 г. техногенное влияние прекратилось. При этом понизилась скорость потоков (сейсмоактивность). Выявились три сейсмических режима в интервалах: 2014–2017 гг., 2018–2020 гг. и 2021–2024 гг. Для этих интервалов были построены графики повторяемости. Бугаев Е. Г. (2017 г.) и другие исследователи отмечают: «При прочих равных условиях наклон графика повторяемости магнитуд (b) определяется условиями деформирования среды (в условиях всестороннего деформирования наклон близок к $b=-1$, а в условиях одноосного деформирования он стремится к $b=-0,5$)». Можно предположить, что в 2014–2017 гг. на территории мониторинга сейсмический режим формировался в условиях всестороннего деформирования ($b=-1,25$), в 2021–2024 гг. – в условиях, близких к одноосному ($b=-0,74$). В 2018–2020 гг. происходил переход от одного напряжённо-деформированного состояния (НДС) к другому ($b=-0,98$). Изменения НДС также изменили и структурный план сейсмогенерирующих зон. В 2014–2017 гг. активность проявлялась системой сейсмолинеаментов к северо-востоку от БГЭС, а на остальной территории распределение землетрясений было рассеянное. В 2018–2020 гг. сейсмоактивность уменьшилась, сей-

¹ Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Заместитель начальника отдела по лабораторной базе, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Инженер группы сейсмологического и сейсмометрического контроля СМО и ГТС, филиал ПАО «РусГидро» – «Бурейская ГЭС»

⁴ Ведущий инженер группы сейсмологического и сейсмометрического контроля СМО и ГТС, филиал ПАО «РусГидро» – «Бурейская ГЭС»

⁵ Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

смолинеаменты «распались». В 2021–2024 гг. землетрясения, в основном, произошли вне известных очаговых зон. Активизация при этом распространилась на западную часть территории. С 2021 г. на территории мониторинга произошли землетрясения с $M \approx 3$ и одно с $M=4,2$. Для оценки влияния региональных сейсмогеодинамических процессов на локальную сейсмогеодинамику был выбран коромантийный геоблок размерами по площади 1500 на 1650 км, по глубине – 700 км. Для построения сейсмических потоков по бюллетеню ССД ЕГС РАН использовались землетрясения с $M=4,5$ и $M=5,0$. По графикам потоков выявилось, что изменение регионального сейсмического режима произошло в конце 2017 – начале 2018 гг. Это привело к тому, что с 2018 г. техногенное влияние на сейсмоактивность в районе водохранилища БГЭС прекратилось. Можно утверждать, что чувствительность сейсмогенерирующих разломов к техногенным влияниям изменилась под влиянием регионального поля напряжений.

Необходимость в оценке интенсивности слабых сейсмических воздействий на точках наблюдений автоматизированных систем сейсмического контроля (АССК) обусловлена требованием ГОСТ пункт 4.2.5.2 «Измерения собственных частот и декремента затухания, анализ реакции сооружения на слабые сейсмические воздействия ...». Оценки интенсивности на других объектах возможны на основе данных, полученных на сейсмостанциях ЛСС. В обоих случаях в диапазоне 1–9 баллов это следует делать на основе инструментальных сейсмометрических данных: ГОСТ Р57546-2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности». Количество точек наблюдения в АССК БГЭС – 26: 3 точки в здании ГЭС, 1 – на сейсмостанции ЛСС, остальные – в плотине. Количество точек в системе НБГЭС – 7: в здании ГЭС – 4 точки; в водосбросной плотине – 3 точки. Уравнение сейсмического поля, составленное на основе параметров локальных землетрясений и интенсивности сотрясений на сейсмостанциях, позволяет рассчитать интенсивность сотрясений в местах расположения плотин ГЭС или других объектов. Подбор коэффициентов уравнения сейсмического поля проведён по результатам наблюдений на сейсмостанциях 8-и локальных землетрясений с магнитудами 3–5 за период 2012–2023 гг. При выбранных коэффициентах значения расчётных и наблюдаемых интенсивностей на сейсмостанциях ЛСС совпали с точностью +/- 0,5 балла. По результатам наблюдений пяти землетрясений установлено, что точка наблюдений №12 АССК БГЭС (расположенная в прибрежной секции) реагирует на сейсмическое воздействие как сейсмологическая станция, расположенная на грунтах второй категории. На других точках АССК пиковые значения скоростей колебаний отличались от точки № 12 как в сторону уменьшения (в два раза), так и увеличения (до четырёх раз). Для АССК НБГЭС было установлено, что средняя интенсивность, по всем точкам, близка к расчётной по уравнению сейсмического поля. Для четырёх взрывов, произведённых на карьере, удалённом от НБГЭС на 2 км, было выполнено сопоставление веса взрывчатых веществ (ВВ), магнитуд по данным станций ЛСС и среднего значения максимальных скоростей колебаний на точках наблюдения АССК НБГЭС. Установлено, что величина магнитуды не коррелируется с весом ВВ (27 – 48 тонн). Корреляция величины магнитуды со значениями максимальных скоростей колебаний достоверная. Расчётная интенсивность сотрясений от взрывов, по уравнению сейсмического поля, составила для НБГЭС 2–3 балла. Данная величина интенсивности соответствовала наблюдаемым значениям максимальных скоростей колебаний на точках наблюдения НБГЭС.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

А.Ю. Егоров¹, Д.В. Мартынов², А.А. Никифоров³, Е.В. Шеремет⁴

Существующие автоматизированные системы сейсмометрического контроля (АССК) базируются либо на универсальных регистраторах, рассчитанных на работу в составе систем сейсмологического мониторинга (что неоправданно увеличивает стоимость аппаратуры и программного обеспечения) либо созданные более 10 лет назад морально устарели, не соответствуют современным требованиям и исчерпали заложенный ресурс по возможностям модификации.

В АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» было принято решение о создании АССК нового поколения с существенно расширенной функциональностью, гибкой архитектурой, развитыми диагностическими функциями состояния объекта, универсальной областью применения и возможностью интеграции в альтернативные измерительные системы.

При создании системы были решены следующие задачи:

создан и подготовлен к серийному выпуску универсальный регистрирующий модуль. Создана система синхронизации и управления сбором данных, находящаяся в настоящее время в опытной эксплуатации в составе АССК Майнского гидроузла. Подготовлены технические и программные решения по доводке модуля с учетом требований Департамента информационных технологий РусГидро. Регистратор оптимизируется на уменьшение стоимости изготовления, инсталляции и эксплуатации;

выпущен и согласован с Заказчиком проект АССК нового поколения Бурейской ГЭС;

создано программное обеспечение уровня управления сбором и передачей данных со стандартным программным интерфейсом и возможностью интеграции в распространенные профессиональные системы управления и сбора данных (SCADA).

Создавалось программное и аппаратное обеспечение с соблюдением условий импортозамещения и возможностью осуществления полного производственного цикла на территории РФ.

Были разработаны методы, созданы и отлажены вычислительные программы для уточнения параметров математических моделей бетонных плотин (модули упругости и характеристики затухания) с использованием определенных экспериментально-комплексных форм и частот собственных колебаний.

Выполнены тестовые расчеты, позволяющие отладить различные этапы разработанных алгоритмов и программ. Отладка и тестирование программного обеспечения проводится с использованием архивных данных действующей АССК Бурейской ГЭС. Тестовые расчеты выполнены с использованием математических моделей гравитационной бетонной плотины Бурейской ГЭС и арочной плотины Чиркейской ГЭС.

Создан и опробован интерфейс, позволяющий производить обработку данных на удаленном сервере.

Использование облачных технологий позволяет существенным образом сократить затраты на внедрение и обслуживание АССК.

Отработка цикла, включающего периодические углубленные исследования и упрощенный мониторинг, позволит, не снижая качества контроля, упростить и удешевить контроль состояния объекта в многолетнем цикле.

¹ Заместитель начальника отдела по лабораторной базе, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Главный специалист, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Инженер 1 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГТС ПО ДАННЫМ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Д.В. Новицкий¹

Динамические характеристики (ДХ) сооружения – это его параметры как линейной динамической системы: спектр собственных частот, соответствующих собственным частотам формы собственных колебаний, и коэффициенты затухания. Важно подчеркнуть, что ДХ являются свойствами самой механической системы и определяются упругими и демпфирующими характеристиками использованных материалов и конфигурацией системы, но никак не зависят от характера, уровня или точек приложения динамических нагрузок.

Поскольку динамические характеристики сооружения являются свойствами самой системы, то их изменения, фактически определенных экспериментально по отношению к ранее определенным, или отклонения ДХ от их ожидаемых сезонных изменений может наряду с данными других натурных наблюдений свидетельствовать об изменении свойств материалов или о начавшихся процессах нарушения целостности сооружения – образовании трещин или иных повреждений.

Для моделирования НДС ответственных сооружений применяются КЭ модели и специализированные расчетные программные комплексы. При этом сравнительный анализ расчетных и экспериментальных ДХ является одним из основных критериев оценки достоверности расчетного анализа.

Начиная с 90-х годов прошлого века и по настоящее время, в мире интенсивно развивается группа методов ОМА (Operational Modal Analysis) для экспериментальной идентификации ДХ с использованием тех динамических нагрузок на сооружения, которые возникают при эксплуатации. Одним из самых востребованных методов ОМА является метод FDD (Frequency Domain Decomposition) – Декомпозиция в частотной области.

С 2019 г. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева по данным динамических тестовых испытаний (ДТИ) проводит идентификацию ДХ ГТС на различных ГЭС с использованием метода FDD и специализированного программного обеспечения. Обследуются как высоконапорные бетонные плотины (Саяно-Шушенская, Бурейская, Зейская, Богучанская ГЭС), так и другие сооружения – здания ГЭС, перекрытия, отдельные и подпорные стенки, ограждающие конструкции и пр.

Особенностями всех методов ОМА является гипотеза о том, что динамические нагрузки стационарны, а их спектры близки к белому шуму в окрестностях собственных частот. Технологичный вибрационный фон от множества источников, ветровые нагрузки, волновые нагрузки - обеспечивают стационарное широкополосное нагружение для непромышленных зданий и мостов. Для ГТС динамические нагрузки зависят от применяемых режимов эксплуатации (мощности ГА, расходов, задействования водосбросов), которые могут изменяться несколько раз в течение дня. Наличие локализованных источников виброн нагружения, большая неравномерность спектра нагрузок, нестационарные виброн нагружения в моменты изменений режимов работы - все это, в ряде случаев, затрудняет точное определение ДХ ГТС при проведении ДТИ с использованием автономной переносной виброизмерительной аппаратуры.

¹ Главный специалист, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Накопленный при ДТИ опыт применения методов ОМА для экспериментальной идентификации ДХ ГТС позволяет создать систему мониторинга ДХ ГТС в рамках АССК нового поколения. Несмотря на то, что по данным АССК не могут быть получены детальные формы собственных колебаний сооружений, в ряде других аспектов идентификация ДХ по данным АССК имеет ряд преимуществ:

1) Одновременные измерения вибрационных параметров всей сейсмометрической системы, включающей в себя 10 или более датчиков, позволяет использовать матрицы взаимных спектральных плотностей большой размерности, что должно существенно повысить точность определения ДХ по сравнению с ДТИ, где одновременные измерения производятся всего двумя или тремя датчиками.

2) Одновременные измерения вибрационных параметров всей сейсмометрической системы позволяют определять ДХ в один и тот же момент времени для всех измерительных точек, что исключает погрешность, связанную с изменением спектра динамических нагрузок во времени при изменении режимов эксплуатации ГТС.

3) Непрерывные измерения вибрационных параметров в круглосуточном режиме с одновременной фиксацией эксплуатационных режимов работы ГА и водосбросов позволяют оценить реальную погрешность определения ДХ, связанную с варьированием режимов эксплуатации ГТС. Анализ совокупности этих данных позволит выявить те эксплуатационные режимы, в которых ДХ могут быть определены с минимальной погрешностью.

4) Очевидно, что количество датчиков, которым будет располагать АССК, не позволит получать детальные формы собственных колебаний всего сооружения в целом, так как для больших сооружений при проведении ДТИ число необходимых для этого последовательных измерений может достигать 1000 и более. Однако значения форм собственных колебаний в ограниченном числе точек может быть получено с инструментальной точностью. Тем самым, станет доступен ранее невозможный непрерывный или периодический мониторинг ограниченного числа точек форм собственных колебаний, контроль их сезонных вариаций.

5) Сезонный мониторинг собственных частот и декрементов затухания, определяемых с высокой точностью в зависимости от внешних влияющих факторов (например, от УВБ для высоконапорных бетонных плотин), позволит существенно увеличить информационную базу для калибровки КЭ математических моделей.

6) Стабильность ДХ после значительных сейсмособытий является одним из возможных способов оценки состояния сооружения и может быть проверена при наличии системы непрерывного или периодического мониторинга ДХ. С другой стороны, знание ДХ сооружения в момент сейсмособытия, наряду с результатами вибрационных измерений АССК в момент сейсмособытия являются исходными данными для необходимого в этом случае динамического расчета НДС.

В рамках НИР «Создание автоматизированной системы сейсмометрического контроля нового поколения (АССКнп)» в 2022–2024 гг. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева были разработаны новые модификации метода FDD и программное обеспечение для мониторинга ДХ высоконапорных бетонных плотин с использованием данных АССК. Тестирование разработанного ПО проводилось для пилотного объекта – плотины Бурейской ГЭС на архивных данных, действующей АССК с использованием архивных суточных ведомостей режимов работы ГА Бурейской ГЭС. Подтверждена возможность реализации перечисленных выше преимуществ использования данных АССК при идентификации ДХ. Полученные материалы будут представлены в докладе.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЧАСТОТНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ (FDD) ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СООРУЖЕНИЙ В СЛУЧАЕ НЕ СИНХРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА

Е.А. Андрианова¹

Определение динамических характеристик сооружений (собственных частот, форм собственных колебаний, декрементов затухания) является важной задачей в строительной отрасли, и в частности, для гидротехнических сооружений (ГТС) в сейсмических районах, так как для них требования к безопасности эксплуатации особенно высоки.

В данной работе рассматривается один из наиболее часто используемых методов, который позволяет экспериментально определять динамические характеристики сооружений при нормальных условиях эксплуатации, получивший международное название Frequency Domain Decomposition (FDD) (его дословный перевод – «декомпозиции в частотной области»). Метод основан на сингулярном разложении матрицы взаимных спектральных плотностей (МВСП) одновременно выполненных измерений. Важной особенностью метода является наличие формализованного критерия идентификации собственных частот, который заключается в том, что, будучи функцией частоты, первое сингулярное число МВСП имеет локальные максимумы вблизи собственных (модальных) частот.

Начиная с 2019 г., метод FDD применяется сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники (ВНИИГ) им. Б.Е. Веденеева (Санкт-Петербург, Россия) для инструментальной идентификации динамических характеристик ГТС различных ГЭС, в частности, крупных высоконапорных бетонных плотин. В работах ВНИИГ получена двусторонняя оценка первого сингулярного числа МВСП и на основе этой оценки теоретически обоснован основной критерий метода FDD в случае «одинокых» частот. Вместе с тем, все выводы и доказательства были сделаны на основе предположения, что по результатам измерений могут быть определены все элементы МВСП.

Основная цель настоящей работы – обосновать возможность использования для получения искомых динамических характеристик такой МВСП, в которой известны не все ее элементы. Далее будем называть такую матрицу «неполной». Эта проблема имеет принципиальное значение, поскольку для детальной идентификации форм собственных колебаний крупных и конструктивно сложных сооружений, требуется значительное число измерительных точек, намного превышающее возможное число одновременно используемых комплектов измерительного оборудования. Такая проблема возникает при обработке данных вибрационных испытаний при последовательных не синхронных измерениях. Для применения алгоритма FDD в этом случае необходимо наличие всего нескольких опорных точек, в которых измерения производятся непрерывно. В результате таких испытаний может быть вычислена лишь некоторая часть элементов матрицы взаимных спектральных плотностей (МВСП) сигналов, измеренных в различных точках сооружения.

Несмотря на то, что работа с неполной матрицей МВСП является обычной практикой при решении подобных задач, ранее правомерность такого подхода доказана не была.

В данной работе было дано теоретическое обоснование использования алгоритма определения динамических характеристик для таких случаев, а также подробно описан алгоритм построения матриц, состоящих из известных элементов исходной «неполной» МВСП, сингулярное разложение которых позволяет определить собственные частоты исследуемого сооружения.

¹ Научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРАВИТАЦИОННЫХ БЕТОННЫХ ПЛОТИН

Н.И. Павлюк¹, Б.В. Цейтлин²

Развитие методов экспериментальной идентификации динамических характеристик сооружений позволяет использовать результаты вибрационного мониторинга для контроля изменения частот и форм собственных колебаний и соответствующих характеристик затухания. Одновременно получили развитие методы идентификации характеристик конечно-элементных (КЭ) расчетных моделей и повреждений конструкций с использованием определенных экспериментально динамических характеристик. Это делает возможным контролировать состояние сооружений в процессе эксплуатации, оценить наличие, характер и величину повреждений.

Идентифицируемыми характеристиками материалов являются модули упругости различных участков плотины, выполненных из бетонов одного класса и характеризующихся сходными условиями возведения и эксплуатации; модули упругости различных зон основания плотины; характеристики затухания, соответствующие различным зонам плотины и основания, вязкоупругие характеристики швов. Идентифицируемыми характеристиками повреждений являются параметры, характеризующие возможное расположение и протяженность трещин, характеристики и размеры зон трещиноватого и ослабленного бетона и т. п. Для уточнения математических моделей гравитационных бетонных плотин используется метод чувствительности. Критериями адекватности расчетных моделей является близость соответствующих расчетных и определенных экспериментально частот и форм собственных колебаний и характеристик демпфирования. Расчетные значения являются функциями параметров математической модели, поэтому как задача построения оптимальной КЭ модели, так и задача оценки повреждений сводятся к задаче минимизации некоторых положительно-определенных функций от рассмотренных параметров. При реализации указанных алгоритмов возникает ряд трудностей. Чтобы установить соответствие между расчетными и экспериментальными формами колебаний недостаточно контролировать близость соответствующих собственных частот и близость параметра МАС для указанных форм собственных колебаний к значению 1. Необходимо контролировать и область локализации форм колебаний. Рассматриваемые сооружения являются системами с непропорциональным демпфированием. Их формы собственных колебаний комплексны. Поэтому расчетная методика включает решение задачи определения действительных форм и частот собственных колебаний плотины с использованием экспериментальных комплексных собственных пар. Кроме того, некорректность задачи идентификации параметров бетонной плотины потребовала использования процедуры регуляризации. Разработанные методы и вычислительные программы были использованы для идентификации параметров КЭ моделей и оценки состояния ряда высоких бетонных плотин.

¹ Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

О ВЫБОРЕ РАЗМЕРА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ НАХОЖДЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

В.С. Костылев¹

При решении задачи поиска напряжённо-деформированного состояния бетонных плотин важным вопросом является определение расчётного температурного поля. Такое поле может быть получено аналитическим, либо численным методом. Одним из наиболее часто используемых в этом случае является метод конечных элементов. Однако температурное поле вблизи дневной поверхности быстро изменяется. Таким образом, остро встаёт вопрос выбора размера конечного элемента. Правильный выбор в этом случае может стать фактором, определяющим корректность расчёта и соответствие вычисленной реакции сооружения натурным данным.

В настоящей работе вопрос о выборе размера конечных элементов исследуется на основе численных экспериментов на двумерной сетке. В качестве исходных данных мы берём общедоступную почасовую хронограмму температуры воздуха вблизи бетонной арочно-гравитационной плотины за период около 20 лет. После чего методом конечных элементов решается серия нестационарных задач теплопроводности для толстой стенки. В процессе решения контролируется средняя температура стенки. Решённые задачи различаются между собой размером конечных элементов, наличием или отсутствием средних узлов и типом граничных условий (условия первого рода и условия третьего рода на границе). Путём сравнения результатов с решением, полученным на заведомо густой сетке, определяется погрешность вычисления средней температуры. Погрешность сравнивается с годовым размахом средней температуры, что позволяет оценить относительную ошибку в определении температурной составляющей НДС плотины.

Результаты численных экспериментов показывают, что пригодный для практического использования размер конечного элемента вблизи дневной поверхности может составлять около 1 метра. С возможными вариациями в сторону увеличения или уменьшения в зависимости от требуемой точности расчёта. При этом мы отмечаем, что использование условий третьего рода (закон Ньютона) приводит к более плавному распределению температуры и меньшим погрешностям расчёта, однако требует рассмотрения почасовой хронограммы в связи со значительными внутрисуточными колебаниями температуры воздуха.

¹ Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ БЕТОННОЙ АРОЧНОЙ ПЛОТИНЫ

К.С. Устинова¹

Обеспечение надежной эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС) имеет перво-степенное значение, учитывая их высокую экономическую, экологическую и социальную значимость. Особое внимание уделяется бетонным плотинам, поскольку их неисправности могут иметь катастрофические последствия. Для контроля эксплуатационного состояния сооружений на них устанавливаются комплексы контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), позволяющие отслеживать изменения диагностических показателей. Анализ перемещений гребня позволяет оценить показатели эксплуатационной надежности плотины и своевременно выявить отклонения от нормального состояния.

В работе приводятся алгоритм построения детерминированной прогнозной модели на основе расчетов, полученных методом конечных элементов, а также способы построения статистических прогнозных моделей с помощью регрессионного анализа и нейронной сети с архитектурой многослойного персептрона. По полученным результатам произведено сравнение полученных горизонтальных перемещений с данными натуральных наблюдений. Также предложен способ построения гибридной прогнозной модели.

Первая часть посвящена решению задач нестационарной теплопроводности и полусвязанной термоупругости. Проводится идентификация расчетных параметров модели, в частности модулей деформации основания и бетонной части плотины. Во второй приведены способы построения статистических регрессионных моделей с помощью таких методов, как линейная регрессия, метод опорных векторов регрессии и градиентный бустинговый регрессор. Перед построением моделей проводится поиск оптимальных гиперпараметров моделей путем перекрестной проверки, с которыми обучается модель, а результат сравнивается с фактическими значениями целевой функции. В третьей части прогнозирование осуществляется с помощью нейронной сети с архитектурой многослойного персептрона. В итоге обучается нейросеть с оптимизацией гиперпараметров – число узлов в скрытых слоях, принятых в количестве два слоя. В результате также проводится сравнение рассчитанных горизонтальных перемещений с фактическими данными. В последней предлагается способ построения гибридной прогнозной модели, которая учитывает как физико-механические свойства изучаемого материала, так и стохастичность, возникающую в системе, на основе средневзвешенного сочетания детерминированной и статистической и нейросетевой моделей. По полученным результатам можно судить о высокой точности построенных моделей.

¹ Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Секция

Основания и грунтовые ГТС объектов энергетики и промышленности

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КОРРЕКТИРОВКИ ПРОЕКТА КРАСНОГОРСКОГО ВОДОПОДЪЕМНОГО ГИДРОУЗЛА НА р. ИРТЫШ. ЗАВЕРШЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПУСКОВОЙ КОМПЛЕКС (1 ЭТАП СТРОИТЕЛЬСТВА)

С.В. Сольский¹, Р.Н. Орищук², В.М. Шайтанов³, В.Р. Кузьмина⁴

Представлены сведения о составе, конструкции и состоянии сооружений строящегося Красногорского водоподъемного гидроузла (КГГУ) на р. Иртыш. Завершение строительства. Пусковой комплекс (1 этап строительства).

Участок строительства расположен на территории Омского района, Омской области, с. Красная Горка, в 1813 км от устья реки Иртыш. Назначение Красногорского водоподъемного гидроузла на р. Иртыш комплексное: водоснабжение, судоходство, рекреация.

Класс основных ГТС – III. Класс второстепенных ГТС – IV. Уровень ответственности сооружений – КС-3 (повышенный). В составе основных гидротехнических сооружений шлюза запроектированы: верхняя и нижняя головы шлюза, камера шлюза, верхний и нижний подходные каналы, причальные и направляющие сооружения в подходных каналах, подпорные стенки у верхней и нижней голов шлюза, левобережная бетонная водосливная плотина, причальные и направляющие сооружения в подходных каналах, центральная земляная плотина, левобережная земляная плотина. В настоящее время ведется строительство КГГУ (1 этапа) по разработанному проекту, прошедшему Главгосэкспертизу.

Приводятся данные о выявленных в процессе специализированных обследований некоторых негативных факторах и проявлениях, свидетельствующих о непроектной фильтрации в основании основных сооружений – левобережной бетонной водосливной плотины и нижней головы шлюза. В частности, вертикальных деформаций на водосливе, в том числе видимых невооруженным глазом по смещению подкрановых путей на участках между секциями.

Предварительный анализ показал, что данные проявления являются следствием недоучета в проектных решениях инженерно-геологических условий в створе КГГУ, в частности, характеристик песчаного основания. Имеется предположение, основанное на характере выявленных внешних дефектов и анализе проектной и исполнительной документации о разуплотнении в некоторых местах основания гидротехнических сооружений.

Разуплотнение объясняется наличием в основании сооружений напорного фронта КГГУ потенциально суффозионных грунтов, потенциально подверженных фильтрационным деформациям при относительно небольших градиентах напора, отсутствием развитого противофильтрационного контура.

Для оценки состояния сооружения, получения доказательств о масштабах (наиболее критичных участках, причинах, виде, характере и прогнозе развития процесса) и в дальнейшем по-

¹ Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Канд. техн. наук, заместитель Генерального директора, АО «Ленгипроречтранс»

³ Канд. техн. наук, заместитель Генерального директора, АО «Ленгипроречтранс»

⁴ Начальник проектного отдела, ООО «НПК Проектводстрой»

лучения количественных значений характеристик грунтов для расчетного прогноза осадков и смещений сооружений, их устойчивости, предполагается выполнение комплекса специальных исследований, полевых, лабораторных и аналитических, а именно:

Полевых исследований: проведение специализированных ОФР, проведение статического зондирования, комплексных геофизических исследований, отбор образцов грунтов, установка дополнительных КИА.

Лабораторных исследований: проведение комплексных фильтрационно-суффозионных исследований на двух видах приборов – вертикальном фильтрационно-суффозионном приборе и горизонтальном фильтрационно-суффозионном лотке.

Аналитических исследований, включающих анализ инженерно-геологических условий в створе сооружений напорного фронта КГГУ с целью выявления потенциально неблагоприятных зон с точки зрения проявления фильтрационных деформаций; анализ конструктивных особенностей бетонных сооружений и их подземного контура с целью выявления потенциально неблагоприятных зон с точки зрения проявления фильтрационных деформаций; анализ данных по КИА (маркам) на бетонных сооружениях с оценкой влияния на перемещения уровня режима Иртыша и уровня режима в пьезометрах; анализ технических отчетов о выполнении перечисленных выше исследований.

По комплексу специальных полевых, лабораторных и аналитических исследований проблем сооружений напорного фронта КГГУ предполагается подготовка сводного ЗАКЛЮЧЕНИЯ с рекомендацией и обоснованием конструкции подземного контура КГГУ и корректировки проекта.

ПРАКТИКА СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛИНОЦЕМЕНТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМЫ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ БЕЛОПОРОЖСКИХ МГЭС

**А.В. Виноградов¹, С.В. Сольский², А.С. Величко³, А.Д. Созинов⁴, О.Н. Котлов⁵,
А.Р. Засеев⁶, Б.В. Сенькин⁷**

Представлены материалы по строительству глиноцементобетонной диафрагмы грунтовых плотин Белопорожских МГЭС в 2023–2024 гг. Приводятся проектные данные и сведения о состоянии грунтовых плотин на стадии строительства. Приведены материалы, обосновывающие конструкцию и технологию строительства глиноцементобетонной диафрагмы по состоянию ГТС, как дополнительного ПФУ, направленного на обеспечение надежной и безопасной эксплуатации гидроузла.

В связи с отсутствием возможности поставить гидроузел под проектный напор по первоначальной проектной документации потребовалась корректировка проектных решений по обеспечению фильтрационной прочности грунтовых плотин.

В качестве основного технического решения принято устройство противofильтрационной диафрагмы из буросекущихся глиноцементобетонных свай, выполненных единым фронтом на протяжении всей длины грунтовых плотин (1185 м) с заглублением в скальное основание на 1 м, с последующей его цементацией.

Для обоснования предложенных технических решений были выполнены фильтрационные расчеты, ряд лабораторных исследований свойств материала глиноцементобетона и лабораторное моделирование работы конструкции диафрагмы.

На основании выполненных комплексных расчетных и лабораторных исследований доказана возможность реализации предложенного технического решения по устройству противofильтрационной ГЦБ диафрагмы в существующих грунтовых плотинах БП МГЭС в условиях пониженных напоров с гарантированной их эксплуатационной надежностью.

Корректировка проекта выполнена АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», проект получил положительное заключение Главгосэкспертизы. Авторский надзор за реализацией проектных решений также осуществлялся АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

Для устройства ГЦБД из буросекущихся свай были привлечены две подрядные организации: ООО «ТКСС» – опыт, устройство ГЦБД на перемычках и грунтовой плотине Нижне-Бурейской ГЭС и ООО «Технострой» – опыт, устройство ГЦБ диафрагмы в основании Гоцатлинской ГЭС. Всего в процессе строительства было задействовано 6 буровых станков.

Приводятся сведения о технологии строительстве ГЦБД параллельно двумя подрядными организациями.

¹ Генеральный директор АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Доктор техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Павловского Н.Н., АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Научный сотрудник лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Павловского Н.Н., АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Первый заместитель Генерального директора – технический директор АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁵ Канд. геол.-минер. наук, начальник отдела «Основания, грунтовые и подземные сооружения», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁶ Ведущий инженер управления проектирования АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁷ Главный инженер ООО «Норд Гидро-Белый Порог»

При устройстве свай в моренных грунтах тела плотины и основания отмечаются следующие сложности:

во время бурения в теле плотины встречались валуны, что приводило к повышенным нагрузкам на буровое оборудование;

проблема фиксации входа сваи в коренные породы из-за некоторого несоответствия фактических данных ранее выполненным изысканиям, что требовало заверки выбираемого материала;

в некоторых сваях отмечалась непроектная утрата ГЦБ после извлечения обсадной трубы в объеме до 30 % вследствие повышенной проницаемости грунтов ГП и их основания, что требовало доливки ГЦБ сваи до проектной отметки.

Все работы по устройству ГЦБД ГП БП МГЭС по проекту АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденева» выполнены в течение 9 месяцев и в настоящее время завершены. БП МГЭС введены в эксплуатацию и работают с полной нагрузкой.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРМИРУЮЩИХ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С.В. Сольский¹, В.С. Рыков², М.В. Софонова³, А.О. Вершинин⁴

Рассмотрен комплекс вопросов применения армирующих геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве. Под армированием в данном случае понимается улучшение и (или) повышение несущей способности механических свойств грунта (почвы) или других строительных материалов, применяемых в гидротехническом строительстве, путем использования механических свойств армирующего материала.

Сооружения из армированного грунта представляют собой слои насыпного грунта, чередующиеся со слоями армирующего материала, который укладывается в направлении растягивающих напряжений, возникающих в грунте под действием собственного веса и внешних нагрузок.

Известны примеры применения основных принципов армирования при строительстве грунтовых сооружений еще за 2 тыс. лет до н.э.

В настоящее время в качестве армирующих материалов применяются различные виды синтетических материалов: геотекстилы (тканые и нетканые), георешетки, геосетки, геополосы, геоболочки и др.

При выборе геосинтетических материалов для применения в гидротехническом строительстве следует учитывать следующие требования: восприятие растягивающих усилий с соблюдением деформаций, передача растягивающих усилий в насыпной грунт, стойкость к механическим повреждениям при монтаже и укладке (надежность), достаточная фильтрационная проницаемость для предотвращения подпора воды, химическая и микробиологическая стойкость, устойчивость к воздействию атмосферных факторов (ультрафиолетовая устойчивость, морозостойкость).

Показаны требования к грунту засыпки армогрунтового сооружения, особенности проектирования и расчетов армогрунтовых сооружений.

В гидротехническом строительстве армогрунтовые сооружения нашли применение при строительстве плотин и дамб, каменных набросок, оснований сооружений и различных подпорных стен.

В частности, в плотинах армирование применяется в следующих конструктивных схемах:
для обжатия профиля плотины – уменьшение объема насыпи;
для повышения сейсмостойкости гребня плотины;
для ускоренного поэтапного ввода плотины в эксплуатацию;
для наращивания плотины;
для укрепления старых плотин устройством в нижнем бьефе массива из армированного грунта;

¹ Доктор техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Павловского Н.Н., АО «ВНИИГ им Б.Е. Веденеева»

² Инженер, АО «ВНИИГ им Б.Е. Веденеева»

³ Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Руководитель проектов, ООО «Сотерра Инжиниринг»

для повышения прочности слабого основания; в плотине из армированного грунта с поверхностным водосливом;

при пропуске строительных расходов через недостроенные грунтовые плотины и перемычки;

для пропуска паводка в период эксплуатации;

для устройства устоев (подпорных стен) при сопряжении земляной плотины с бетонной водосливной.

При расчете ГТС из армированного грунта так же, как и в остальных армогрунтовых сооружениях рассматривают внутреннюю и внешнюю устойчивость.

Механизмы разрушения ГТС из армогрунта аналогичны прочим насыпям, усиленных армированием. Однако для ГТС, которые взаимодействуют с водной средой (плотины, подпорные стены, устои и пр.), дополнительно учитываются различные случаи и степень насыщения водой как тела сооружения в целом, так и возможного насыщения армированной насыпи: положение поверхности депрессии, фильтрационные силы, градиенты фильтрационного потока. Наличие этих факторов может существенно повлиять на несущую способность сооружения, изменить картину распределения сил и напряжений в армированном грунте, в частности, засыпки, условий сцепления с арматурой, особенно при наличии в грунте большого количества мелких фракций.

Внешняя устойчивость связана с общей устойчивостью сооружения из армогрунта как целого, включая разрушение от сдвига, наклона с потерей несущей способностью, также образования поверхности скольжения, проходящей в пределах грунта, взаимодействующего с сооружением, или в пределах самого сооружения.

Анализ внутренней устойчивости направлен на определение оптимальных размеров и схем размещения арматуры в грунте, отвечающих условиям предельного равновесия, охватывает вопросы, связанные с обеспечением внутренней целостности сооружения, полагая, что разрушение сооружения может произойти вследствие разрушения арматуры. Внутренняя устойчивость связана с оценкой количества, размеров, размещения и протяженности армирующих элементов, которые необходимы для обеспечения устойчивости всего сооружения, а также с давлением, воздействующим на стенку.

Рассмотрены основные методы и подходы к расчетам ГТС из армированного грунта.

Приведены сведения о специфике применения армирующих геосинтетических материалов в промышленных накопителях, где требуется учитывать снижения их характеристик под влиянием химических, биологических и возможных термических факторов.

Выводы

1. Выполнен анализ применения армирующих материалов, в частности, синтетических в гидротехническом строительстве, определены перспективные направления их использования.

2. Выполнен обзор существующих методик расчета гидротехнических сооружений, который показал, что на данный момент не сформирована законченная система положений, необходимая для расчетов и проектирования ГТС из грунта, армированного геосинтетическими материалами.

3. Учитывая свойства геосинтетических материалов, их использование в гидротехническом строительстве можно считать перспективным при условии адаптации методик расчетов под нагрузки на ГТС, конкретизации областей применения, проведении крупномасштабных полевых экспериментов, подготовки квалифицированных кадров – как проектировщиков, так и строителей.

СОВРЕМЕННЫЕ РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДИКИ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С.В. Сольский¹, И.Г. Зеленский², В.И. Мелихов³

Приведен анализ современных расчетных методик гидротранспортных систем горно-обогатительных предприятий, используемых в практике проектирования, и перспективы их развития и совершенствования.

Под гидротранспортом понимается перемещение твердых частиц продуктов промышленности направленными и управляемыми потоками воды. В данном контексте применение гидротранспорта в промышленных масштабах началось более 200 лет назад и, соответственно, тогда же возникла потребность в изучении и расчетном обосновании этих процессов.

В настоящее время единая методика расчета и жесткие нормативные требования к расчетам гидротранспортных систем отсутствуют. Это связано с тем, что в потоках гидросмеси (пульпы) при разных условиях происходят различные физические процессы, а также с тем, что существует многообразие факторов, которые необходимо учитывать при расчетах: скорости движения гидросмеси, диаметры трубопроводов/глубины потоков, удельные веса твердого, содержание твердого в потоке, окатанность частиц твердого, гранулометрический состав твердого, температура гидросмеси и др.

Актуальность необходимости как можно более точного расчета гидротранспортных систем связана, в основном, с развитием горно-обогатительной отрасли. Значительно (в десятки раз) увеличилось объемы переработки исходных пород на обогатительных фабриках, соответственно увеличилось объемы перекачки гидросмесей как внутри фабрик, так и на места складирования продуктов переработки.

К сожалению, из-за ошибок в расчетах гидротранспортных систем имеются примеры вынужденного снижения производительности комбинатов. А чрезмерные «запасы» в расчетах ведут к неоправданному увеличению затрат на трубопроводы, насосное оборудование, строительные конструкции и энергетические системы. Учитывая многократно возросшие перекачиваемые объемы и расходы гидросмесей, исправление ошибок является сложным, трудоемким и дорогостоящим мероприятием. Тем более на действующих предприятиях.

При отсутствии единой методики расчета гидротранспорта очевидно, что имеющиеся расчетные методики должны быть тщательно выверены на применимость для конкретного случая, а технические решения должны быть тщательно соотнесены с экономическими показателями с учетом действующей нормативной базы и способами обоснования принимаемых технических решений.

Также очевидно дальнейшее совершенствование и развитие расчетных методик гидротранспортных систем горно-обогатительных предприятий, в том числе на основе натуральных результатов работы гидротранспортных систем.

¹ Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Начальник отдела проектирования гидротехнических сооружений – главный гидротехник, ООО «АйДи Инжиниринг»

³ Инженер-проектировщик первой категории отдела проектирования гидротехнических сооружений, ООО «АйДи Инжиниринг»

Это обусловлено, с одной стороны, требованиями заказчиков по экономической и технологической эффективности принимаемых технических решений с целью максимального удешевления конструкций и возможности их строительства в кратчайшие сроки (что тоже ведет к сокращению издержек и повышению экономической эффективности).

С другой стороны, необходим анализ и учет ошибок, допущенных при проектировании и эксплуатации гидротранспортных систем, объясняющихся скрытыми недостатками существующих методик. Проектные ошибки могут быть допущены из-за неверного выбора расчетной методики, неверного проведения расчетов, начиная с задания исходных данных, или отсутствием необходимой методики, подходящей для конкретного расчетного случая.

На данный момент как в России (или бывшем СССР), так и в мире имеются наработанные методики расчета гидротранспортных систем. Все разработки и исследования выполнялись для удовлетворения потребностей промышленности в определенное время и для определенных задач.

Например, известное и до сих пор применяемое Пособие к СНиП 2.05.07-85 по проектированию гидравлического транспорта рекомендует следующие методики расчета систем гидротранспорта:

для золы и шлака тепловых электростанций крупностью 0,025–10 мм, разработанную ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева;

для продуктов обогащения рудных полезных ископаемых крупностью 0,03–0,3 мм, разработанную Институтом гидромеханики АН УССР и Механобром;

для грунтов и нерудных полезных ископаемых крупностью 0,1–10 мм, разработанную институтами ВНИИжелезобетон и Проектгидромеханизация.

Указанные в данном пособии методики не затрагивают область гидротранспорта сгущенной пульпы пылевато-глинистых частиц.

Исследования гидротранспорта выполняли ряд выдающихся отечественных и зарубежных ученых: Д.Л. Меламут, Б.М. Шкундин, А.П. Юфин, Ю.А. Попов, А.Е. Смолдырев, Д.П. Лобанов, С.М. Штин, Р. Дюран, В. Ванони и др. Изучение данного вопроса продолжается постоянно и вызвано изменяющимися потребностями промышленности.

Можно привести такие примеры:

расчетная программа, которая разработана и постоянно совершенствуется Компанией Warman, входящей в концерн WEIR;

программа расчета гидротранспорта для песчано-глинистых смесей под нужды горно-обогатительных канадских компаний, разработанная и выпущенная в 2005 г. Исследовательским советом Саскачевана, Канада (Saskatchewan Research Council, Saskatoon, Canada);

собственная методика расчета сгущенных пульп, разработанная И.Г. Зеленским и В.И. Мелиховым.

Сопоставительный анализ результатов расчетов, выполненных по данным методикам для конкретных тестовых примеров, показал удовлетворительную сходимость, что подчеркивает значимость проведения таких сопоставлений и сопоставлений с результатами натуральных показателей, получаемых в производственных условиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА МАГИСТРАЛЬНОМ КАНАЛЕ

О.А. Баев¹, Ю.М. Косиченко²

В настоящее время в Российской Федерации эксплуатируется значительное количество мелиоративных каналов, используемых для различных нужд сельского хозяйства, технического водоснабжения, обводнения и орошения сельхозугодий. Общая же протяженность каналов, находящихся только в ведении Минсельхоза РФ (по данным на 2023 г.), составляет более 38 тыс. км, из которых порядка 25 тыс. км – оросительных и 13 тыс. – дренажных.

Ввиду длительной эксплуатации каналов гидромелиоративных систем (оросительных, магистральных, распределительных, дренажно-сбросных), составляющей 50–65 лет, большинство из них характеризуется неудовлетворительным техническим состоянием. Наблюдается ряд негативных явлений, приводящих к потерям водных ресурсов, транспортируемых по каналам (на фильтрацию и испарение), что в последующем приводит к подтоплению, заболачиванию и засолению приканальных территорий.

Наибольшие потери приходятся на фильтрацию из необлицованных («земляных») каналов через дно и откосы (до 35–40 %), а также через бетонные и железобетонные облицовки (стыки, деформационные и температурные швы, повреждения). При этом среднестатистический коэффициент полезного действия каналов гидромелиоративных систем (по данным исследований ФГБНУ «РосНИИПМ», ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ», ФГБНУ «Радуга», ФГБОУ ВО НИМИ «Донской ГАУ», ФГБОУ ВО «РГАУ–МСХА» и др.) не превышает 0,70, а применяемые конструкции противофильтрационных экранов из глины, полиэтиленовых пленок, бетона характеризуются низкой эффективностью, долговечностью и эксплуатационной надежностью.

С целью научного и практического обоснования применения новых геосинтетических материалов в конструкциях противофильтрационных экранов каналов гидромелиоративных систем был выполнен ряд исследований и конструктивных проработок с последующей апробацией 3-х вариантов разработанных решений на опытном участке магистрального канала. Рассматривалось применение комбинированных закрытых экранов с использованием полимерных геомембран (вариант 1), геосинтетических бентонитовых материалов, скрепленных с геомембранами (вариант 2), геокомпозитных материалов, сочетающих геомембрану с двумя слоями из геотекстиля (вариант 3).

Для оценки технических и физико-механических характеристик конструкций противофильтрационных экранов с применением геосинтетических материалов были проведены экспериментальные исследования в лаборатории испытания геосинтетических материалов. По результатам определены фильтрационные характеристики конструкции для 3-х типов экранов (при их неповреждаемости); прочностные показатели при статическом продавливании от защитно-пригрузочного слоя из камня, уложенного в основании и на откосах канала; разрывные нагрузки и удлинения при разрыве как для новых материалов, так и для эксплуатируемых в течение нескольких лет на канале.

Установлены наиболее приемлемые параметры конструкций экранов из геосинтетических материалов, определены условия и области их применения, рассмотрена эффективность использования защитных и подстилающих слоев из геотекстилей.

¹ Доктор техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «РосНИИПМ»

² Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «РосНИИПМ»

ПРОГНОЗ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ В КРИОЛИТОЗОНЕ

М.Е. Гармакова¹, С.Н. Долгих²

В докладе приведены сведения о геокриологических условиях, характерных для района расположения рассматриваемого гидроузла, а также его основные характеристики. Представлены результаты численного моделирования температурного режима земляной плотины гидроузла с прогнозом на 50 лет.

Для проведения прогнозных расчетов температурного режима была создана трехмерная модель гидроузла. Данная модель разработана в модуле Frost.Термо программного комплекса Frost 3D, в котором производится численное моделирование тепловых процессов в многолетнемерзлых породах под воздействием сооружений, охлаждающих устройств, а также с учетом процессов фильтрации в грунте.

Модель разработана на основе обработки и анализа данных по геологическому, инженерно-геологическому строению водохранилища с плотиной, данных мониторинга за температурным и фильтрационным режимами грунтовой плотины и прилегающих территорий. Заданы теплофизические свойства материалов, составляющих модель, определены и реализованы в формате граничных условий условия теплообмена гидроузла и прилегающей территории с окружающей средой и источниками воды. В расчетах учитывалась работа сезоннодействующих охлаждающих устройств, расположенных вдоль оси плотины. При разработке постоянно действующей модели была проведена калибровка фильтрационных параметров по температурным замерам на объекте.

Постоянно действующая модель гидроузла позволяет визуализировать и оценивать как текущее состояние теплового режима, так и динамику его изменения.

¹ Канд. техн. наук, научный сотрудник, Институт «Якутнипроалмаз», АК «АЛРОСА» (ПАО)

² Заведующий сектором, Институт «Якутнипроалмаз», АК «АЛРОСА» (ПАО)

УСИЛЕНИЕ ГРУНТОВ КАК ОДИН ИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ РЕМОНТА И ПРОФИЛАКТИКИ РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Е.В. Вишняков¹

Обосновано применение добавки для цементов российского производства для стабилизации и закрепления грунтового массива по технологии струйной цементации при реконструкции пирса. Подбранная рецептура добавки обеспечила производство работ в соответствии с разработанным регламентом по скорости и давлению закачки инъекционного раствора минимизировала пенообразование и увеличила скорость перемешивания готового раствора.

¹ Технический директор, ООО «Рунова»

РАСЧЕТ ПРОМЕРЗАНИЯ КОТЛОВАНА С УЧЕТОМ МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ

И.А. Расторгуев¹, Д.Д. Луканов², А.С. Пиотровский³

Разработка котлованов и последующее строительство промышленных объектов в условиях Севера могут осложняться промерзанием грунтов, что неприемлемо в основании фундаментов сооружений. В случае промерзания грунтового массива на значительную глубину его последующее оттаивание естественным образом может привести к образованию массивов нерастепленного, льдистого грунта, наличие которого в основании сооружений недопустимо, поскольку приведет к неравномерным осадкам фундаментов.

Профильная модель фильтрации и теплопереноса участка разработки котлована будущего гидротехнического сооружения в Якутии создана в программном комплексе DHI FEFLOW 7.5. Для расчета промерзания грунта используется модуль FreezeThaw75, расширяющий возможности программного комплекса DHI FEFLOW.

Калибровочные расчеты проводились на 5-ти моделях, соответствующих 5-ти скважинам, для которых имеется достаточное количество замеров температурного режима по глубине от времени и наблюдается стабилизация температуры с глубиной. Длительность замеров около года. Калибровка заключалась в проведении серии прямых расчетов, на основе которых определялось соответствие расчетных температур с измеренными, полученными по данным режимных наблюдений. Расчеты производились в нестационарной постановке на одномерных моделях теплопереноса с вертикальной дискретизацией.

Калибруемыми параметрами были коэффициент теплопроводности λ [Вт/(м·С)], объемная теплоемкость C [МДж/(м³·С)] и коэффициенты теплообмена α [Вт/(м²·С)] для холодного и теплого периодов.

Временной период расчета соответствует реальному, данные по среднесуточным температурам взяты с ближайшего метеопоста. Выбор временного периода обусловлен началом преобладания отрицательных среднесуточных температур, что в условиях разработанного котлована представляется худшим вариантом.

Глубина сезонного промерзания, рассчитанная по формуле, предложенной Кудрявцевым, составила 3,2 м. Максимальная глубина промерзания котлована на модели получилась равной 3,15 м.

Приток в котлован изменяется в пределах от 0 до 14,5 м³/сут на 1 пог. м в зависимости от степени промерзания дна котлована.

По мере увеличения мощности мерзлого слоя с поверхности формируются локальные участки с напорным режимом фильтрации, поскольку лёд является слабопроницаемой толщей (водоупором). В данном случае гидроизогипсы принимают характер гидроизопьез и отображают величину напора в данной точке.

Дополнительно были рассмотрены два варианта искусственного растепления котлована – при помощи электродов и закачки солевого раствора.

¹ Канд. физ.-мат. наук, главный специалист, АО «Институт Гидропроект»

² Главный специалист, АО «Институт Гидропроект»

³ Главный геолог, АО «Институт Гидропроект»

В первом варианте расчета каждый электрод имеет мощность 1,5 кВт и длину 3 м, общее количество электродов в пределах котлована составляет 79 штук. Прогрев грунта производится с самого начала его вскрытия (0 суток на модели).

При использовании электродов практически не происходит промерзания грунтов котлована. Между электродами возможно формирование наледей мощностью до 10 см. Поступающий в котлован приток постоянен и равен 14 м³/сут на 1 пог. м.

В случае растепления грунтов закачкой солевого раствора минерализация последнего принималась равной 5 г/л. Расход закачиваемой воды для 6-ти нагнетательных скважин составил 30 м³/сут. Ежедневный расход соли составляет 150 кг. Закачка раствора осуществляется на глубину 6,5–7 м. При таком варианте максимальная глубина промерзания на небольших локальных участках котлована составляет 1,5 м. Также наблюдаются увеличение значения притока воды в котлован – с 38 до 41 м³/сут на 1 пог. м в период работы нагнетательных скважин.

ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ЗОЛОШЛАКОТВАЛЕ

И.А. Расторгуев¹, Д.О. Морозов², А.А. Подвысоцкий³, Л.Н. Мухина⁴

В Якутии проектируется сооружение золошлакоотвала. Емкость золошлакоотвала создается путем перегораживания оврага низовыми дамбами. Пусковой комплекс предусматривает строительство первичной дамбы, последующие этапы эксплуатации – строительство дамб ярусом наращивания.

Трехмерная геофильтрационная модель для территории строительства второй очереди золошлакоотвала создана в программном комплексе DHI FEFLOW 7.4 с целью расчета гидродинамического распределения напоров на территории строительства ЗШО-2, а также оценки эффективности работы противофильтрационных мероприятий для обеспечения минимизации потенциального вреда при эксплуатации золошлакоотвала.

Калибровочные расчеты выполнялись в стационарной постановке методом пилотных точек. Для проведения калибровки модели были взяты данные замеров уровней подземных вод в период с 19.11.2023 г. по 13.02.2024 г. Проведенные калибровочные расчеты позволили выявить хорошую сходимость между фактическими и модельными данными – среднеквадратичное отклонение составило 4 % от разности уровней в модели.

Для моделирования процесса заполнения чаши золоотвала был написан модуль для программы Feflow на языке программирования C++. Смысл его работы заключается в следующем: накопление золошлака воспроизводится путем постепенного изменения абсолютных отметок поверхности первого модельного слоя, на котором накапливается золошлак. Также при помощи модуля моделируется процесс заполнения пруда отстойника. Уровень воды в пруде задается на 2 м ниже отметки заполнения золошлака в узлах с граничным условием I-го рода в соответствии с рекомендациями ВНИИГ. Процесс заполнения чаши ЗШО-2 разбивается на 3 последовательных этапа. В течение первого этапа продолжительностью 2690 сут (7,37 лет) чаша заполняется до отметки 794 м, на следующем этапе продолжительностью 1500 сут (4,12 года) – до отметки 799 м, и последний этап продолжительностью 1850 сут (5,05 лет) – до отметки 804 м. Суммарная длина расчетных периодов составит 6090 сут (16,54 лет).

Прогнозные расчеты проводились для двух сценариев: с учетом противофильтрационных мероприятий (противофильтрационный экран и дренаж в тальвеге ручья) и без них для оценки эффективности их работы.

При отсутствии противофильтрационных мероприятий достаточно быстро образуется единая водонасыщенная толща, объединяющая естественные грунтовые воды и техногенный

¹ Канд. физ.-матем. наук, главный специалист, АО «Институт Гидропроект»

² Ведущий инженер, АО «Институт Гидропроект»

³ Главный инженер, АО «Институт Гидропроект»

⁴ Главный специалист, АО «Институт Гидропроект»

горизонт в теле золошлака. При этом депрессионная кривая будет выходить на откос первичной дамбы уже на ранних этапах заполнения ЗШО-2, что является недопустимым.

По результатам варианта расчета с наличием противофильтрационных мероприятий в процессе эксплуатации ЗШО-2 будут наблюдаться две депрессионные кривые: первая – естественный уровень грунтовых вод под дамбой, вторая – уровень воды в чаше ЗШО-2.

Для обоих вариантов расчета был дополнительно рассчитан расход перетекания фильтрата по площади чаши золоотвала. Расход фильтрации для варианта расчета без противофильтрационных мероприятий составит до 13665 м³/сут к концу заполнения золоотвала. Максимальный расход фильтрации через противофильтрационный экран составит 45,71 м³/сут, что значительно ниже, чем для варианта без экрана, что говорит об эффективности противофильтрационных свойств экрана.

Величина притока грунтовых вод к дренажу к концу заполнения золоотвала составит 54,6 м³/сут.

Для проведения прогнозных расчётов также была разработана трехмерная геомиграционная модель в среде DHI Feflow 7.4.

При отсутствии противофильтрационных мероприятий фильтрат с условной концентрацией 1 г/л быстро проникает до уровня грунтовых вод и за период заполнения ЗШО-2 дойдет до ручья ниже по течению, что недопустимо по экологическим соображениям.

По результатам расчета варианта с наличием противофильтрационных мероприятий в процессе эксплуатации ЗШО-2 фильтрат останется в чаше ЗШО и не проникнет на уровень грунтовых вод, что дополнительно подтверждает эффективность их работы.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ В КАЧЕСТВЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА В ЛОЖЕ ЧАШИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА ПО ПРОЕКТУ «ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ, 2-я ОЧЕРЕДЬ»

С.В. Сольский¹, М.В. Софонова², Ф.П. Собкалов³, О.Н. Котлов⁴, В.И. Савинов⁵

Приведены результаты комплексных полевых и лабораторных исследований по обоснованию возможности использования лежалых хвостов флотации золоторудного месторождения «Вернинское» в качестве противofильтрационного экрана в чаше проектируемого хвостохранилища в части экспериментальной проверки достижения ими требуемых параметров (влажность, плотность грунта, коэффициент фильтрации).

Ранее, в 2023 г., АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» выдал рекомендации по техническим решениям по предотвращению фильтрации через ложе хвостохранилища хвостов флотации по проекту «Хвостохранилище хвостов флотации. 2-я очередь», путем использования в качестве противofильтрационного экрана лежалые хвосты флотации.

Для достижения указанной цели нами была разработана двухэтапная схема подготовки лежалых хвостов флотации.

Первым этапом являлось кондиционирование лежалых хвостов флотации в буртах. Цель буртования – максимально возможное обезвоживание хвостов, имеющих начальную влажность в местах их разработки 40–35 %.

Вторым этапом являлось формирование опытных фрагментов противofильтрационного экрана, выполненных из подсушенных хвостов. В карты на слой щебня были уложены обезвоженные лежалые хвосты разной мощности – 0,5, 0,8 и 1,0 м. Укладка лежалых хвостов производилась послойно по специально разработанной схеме и технологии (толщина слоя – 0,20 м), с уплотнением каждого слоя.

Во время проведения настоящих исследований в августе 2024 г. в полевых условиях нами и параллельно лабораторией Заказчика определена плотность укладки хвостов методом режущего кольца и влажность грунтов. Для продолжения лабораторных исследований, начатых в 2023 г., на полигоне были отобраны образцы лежалых хвостов флотации и доставлены в лабораторию фильтрационных исследований ВНИИГ.

После укладки лежалых хвостов в карты и проведения всех запланированных отборов образцов для экспериментальной проверки водонепроницаемости опытная площадка заливалась водой, после чего фиксировался расход из водоотводных труб в каждой из карт. Наличие расхода позволило подробнее изучить свойства лежалых хвостов как материала для противofильтрационного экрана.

¹ Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Канд. техн. наук, научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Канд. геол.-мин. наук, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁵ Директор по управлению проектами и строительству, АО «Полус Вернинское»

В лаборатории проведены определения гранулометрического состава, определены полевая плотность и влажность. Исходя из достигнутых в полевых условиях фактических значений влажности и плотности, были проведены исследования по определению коэффициента фильтрации.

Результаты лабораторных исследований отобранных образцов уплотненных лежалых хвостов показали значения плотности в пределах 1,90–2,17 г/см³ при влажности 19,39–24,54 %, значения коэффициентов фильтрации для этих образцов составили $K_{\phi} = 8,05 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Таким образом, полученные в результате опытной укладки хвостов коэффициенты фильтрации $8,05 \cdot 10^{-4}$ м/сут или $0,93 \cdot 10^{-6}$ см/с удовлетворяют требованиям п.5.2 СП 127.13330.

Моделирование заливки чаши хвостохранилища на специальном опытном полигоне показало, что расход уменьшается в 21 раз при повторной заливке.

Результаты работы являются научным обоснованием рекомендаций по техническим решениям по предотвращению фильтрации через ложе хвостохранилища хвостов флотации по проекту «Хвостохранилище хвостов флотации. 2-я очередь» на базе золоторудного месторождения «Вернинское».

На основании опыта, полученного при организации опытных фрагментов противофильтрационного экрана, выполненных из подсушенных хвостов, разработаны рекомендации по подготовке лежалых хвостов флотации к укладке в тело противофильтрационного экрана, рекомендации и технологическая карта по производству работ по непосредственному устройству противофильтрационного экрана в ложе хвостохранилища хвостов флотации 2-й очереди.

АСПЕКТЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Ю.О. Белослудцева¹, О.Н. Котлов², П.В. Кондратенко³, А.М. Тюрикова⁴

На сегодняшний день научно-техническое сопровождение станет неотъемлемой частью инженерно-геологических изысканий, особенно в связи с выходом нового нормативного документа СП 539.1325800.2024 «Научно-техническое сопровождение инженерных изысканий, проектирования и строительства».

Гидротехнические сооружения зачастую являются уникальными сооружениями и имеют повышенный уровень ответственности, как на энергетических, так и на промышленных объектах. В свою очередь институт как научная организация постоянно участвует в научно-техническом сопровождении проектирования и инженерных изысканий применительно к гидротехническим сооружениям и имеет опыт в развитии данного направления.

Главной целью научно-технического сопровождения является обоснование соответствия конструктивных решений требованиям Технического регламента о безопасности зданий и сооружений, обеспечения требований надежности и механической безопасности при проектировании, строительстве, реконструкции, эксплуатации, демонтаже и сносе зданий и сооружений.

В частности, для научно-технического сопровождения инженерно-геологических изысканий главной целью является обеспечение достоверности и достаточности результатов изысканий. Помимо основной цели в рамках научно-технического сопровождения можно проводить разработку программ специальных и нестандартных испытаний.

В состав работ по научно-техническому сопровождению инженерно-геологических изысканий входят:

- разработка рекомендаций и согласование технического задания, программы работ, промежуточных результатов и технического отчета;

- разработка программ специализированных исследований (по необходимости);

- схематизация расчетных моделей и назначение расчетных параметров;

- составление прогнозов изменения инженерно-геологических условий;

- оценка риска и моделирование возникновения аварийных ситуаций, вызванных опасными природными процессами и явлениями и (или) техногенными факторами;

- предварительная оценка влияния проектируемых сооружений на окружающую среду на основе фондовых материалов;

- техническое сопровождение при прохождении государственной экспертизы результатов инженерно-геологических изысканий.

Таким образом, научно-техническое сопровождение позволяет не только провести оценку достоверности и достаточности результатов инженерно-геологических изысканий, но и осуществлять специализированные исследования, прогнозы и расчеты, которые нельзя реализовать в рамках стандартных инженерно-геологических исследований.

В докладе будут рассмотрены особенности и примеры инженерно-геологических изысканий на гидротехнических сооружениях.

¹ Младший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Канд. геол.-мин. наук, начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Инженер 2 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ НОВОШИРОКИНСКОГО СКВАЖИННОГО ВОДОЗАБОРА

Ю.Е. Назукина¹, С.В. Сольский², В.Н. Соколов³

Комплексная оценка и прогноз состояния инженерно-геокриологической среды имеют важное значение для безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС), в частности, систем водоснабжения. Такие исследования в районах распространения многолетнемерзлых грунтов вызывают сложности в связи с необходимостью учета фазовых переходов, происходящих в грунтах при переходе из одного теплового состояния в другое.

Скважинный водозабор АО «Ново-Широкинский рудник» Ново-Широкинского месторождения подземных вод находится в Забайкальском крае, в области островного развития высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов.

В рамках исследования выполнен анализ условий функционирования водозабора, состоящего из двух скважин, с учетом влияния отработки запасов месторождения золота. В пределы III пояса зоны санитарной охраны одной из водозаборных скважин попадает участок месторождения россыпного золота р. Широкой Газимуро-Заводского района Забайкальского края. При этом вскрышными работами при добыче золота будет целиком вскрыта толща многолетнемерзлых грунтов, служащая защитным барьером от поверхностного загрязнения для эксплуатируемого водоносного горизонта.

Разработка месторождения способствует изменению гидродинамического и термического режимов, что спровоцирует оттаивание многолетнемерзлых грунтов и скажется на жизнеспособности водозаборного сооружения, являющегося единственным источником водоснабжения в селе Широкая.

Приведены результаты анализа и оценки архивных материалов исследований инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий, проектной документации водозабора и отработки запасов месторождения россыпного золота р. Широкой, по результатам которых намечены дополнительные объемы исследований.

Разработана методика геокриологического мониторинга и прогноза состояния системы ГТС–зона влияния для новых сооружений, а также алгоритм методики для существующих сооружений без функции контроля состояния данной системы.

Водозабор АО «Ново-Широкинский рудник» стал пилотным объектом для предлагаемой усовершенствованной методики геокриологического мониторинга, в рамках которой выполнен теплотехнический расчет с учетом фильтрации с помощью ПО «Frost.Термо» и рассмотрены варианты управляющих воздействий для обеспечения безопасной эксплуатации водозаборного сооружения.

Предложена система мониторинга за фильтрационным и температурным режимами грунтового массива, назначены критериальные значения диагностических показателей для скважинного водозабора. Рекомендованы дальнейшие действия при достижении предупреждающего и предельного значений данных показателей.

Таким образом, на рассматриваемом объекте апробирована разработанная методика геокриологического мониторинга, позволяющая выполнять комплексную оценку состояния системы *сооружение–основание* на участках размещения гидротехнических сооружений и прогноз изменения инженерно-геокриологических условий.

¹ Младший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Директор по проектированию МКАО «ХАЙЛЭНД ГОЛД»

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРУНТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Т.Н. Костюк¹, А.О. Колесников²

Работа строительного или промышленного оборудования является источником распространяющейся в грунтовом массиве вибрации, которая воздействует на конструкции существующих близкорасположенных зданий и сооружений. Вне зависимости от типа источника вибрации её воздействие может привести к ухудшению условий эксплуатации существующих зданий и сооружений. Помимо этого, создаваемые колебания могут привести к опасным последствиям, которые заключаются в образовании дополнительных неравномерных осадок в основании зданий и сооружений, а также выпирании грунта при потере его устойчивости.

Действующие нормативные документы устанавливают требования по проверке влияния производства строительных работ на существующие близкорасположенные здания. С целью выполнения требований нормативных документов на этапе проектирования необходимо определять допустимое расстояние от источника колебаний до существующих зданий на основе сравнения установленных предельно допустимых значений амплитуд колебаний с расчетными для поверхности грунта на удалении от источника динамического воздействия.

Расчетные значения амплитуды виброскорости и виброускорения вертикальных колебаний грунта A на расстоянии от источника определяются как

$$A = A_0 \cdot K(r),$$

где A_0 – начальная амплитуда колебаний; $K(r)$ – функция затухания колебаний с расстоянием r .

Для получения формулы, описывающей затухание колебаний грунта, используется модель упругого полупространства и решается задача о вертикальных колебаниях бесконечного тонкого слоя при действии динамической нагрузки. Относительное перемещение слоя на расстоянии r при этом описывается комплексной функцией, действительная S_R и мнимая S_I части которой определяются как

$$S_R(kr) = \frac{J_0[k(r-r_f)]J_0[k(r_0-r_f)] + Y_0[k(r-r_f)]Y_0[k(r_0-r_f)]}{J_0^2[k(r_0-r_f)] + Y_0^2[k(r_0-r_f)]},$$

$$S_I(kr) = \frac{J_0[k(r-r_f)]Y_0[k(r_0-r_f)] - Y_0[k(r-r_f)]J_0[k(r_0-r_f)]}{J_0^2[k(r_0-r_f)] + Y_0^2[k(r_0-r_f)]},$$

где $k = \omega/V_s$, ω – угловая частота колебаний; V_s – скорость поперечных волн; r_f – граница начала упругой зоны грунта; J_0 , Y_0 – функции Бесселя первого и второго рода. При этом затухание амплитуды колебаний поверхности грунта с удалением от источника динамической нагрузки определяется формулой

$$K(r) = \sqrt{S_R^2 + S_I^2}.$$

¹ Аспирант, ФГБОУ ВО «НГАСУ (Сибстрин)»

² Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «НГАСУ (Сибстрин)»

ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА В СЛОИСТЫХ ГРУНТАХ С РАЗЛИЧНОЙ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

М.Е. Михайлов¹

Приводятся сведения о комбинированном способе создания противofильтрационного устройства в грунтовой полите. Представлен метод пропитки для типа грунтов (песок мелкий, песок средней крупности и крупный) и метод направленного микроразрыва для одной инъекционной линии (скважины). Работа основана на опытных испытаниях проникающей способности гидроструктурной смолы в песках различной крупности, комбинированном подходе сочетания метода пропитки и микрогидроразрыва для супесей и суглинков в условиях практической модели.

Для проведения опытно-производственных испытаний были разработаны 27 специальных макетов, которые заполнялись песком заданной крупности, супесью песчанистой и суглинком, в центральной части макета на всю глубину размещались инъекционные пики, после чего под давлением до 20 бар производилось нагнетание гидрогеля методом пропитки и с давлением до 100 бар методом микрогидроразрыва. Успешным результатом проведения испытаний являлось формирование колонны из грунтополимера.

На основании проведенных испытаний для формирования колонн с диаметром 400 мм были сделаны выводы о проникающей способности гидрогеля с вязкостью от 3 до 16 мПа·с.

В докладе представлены результаты коэффициента фильтрации грунтовых материалов разной крупности (песков средних, мелких, очень мелких и супеси песчанистой).

¹ Руководитель отдела крупных проектов, ООО «Эм-Си Баухеми»

ИССЛЕДОВАНИЕ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ МИГРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЯЗНЫХ И НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОНВЕКТИВНО-ДИСПЕРСИОННОГО МАССОПЕРЕНОСА

Ю.Г. Козуб¹, А.Р. Гардиева², А.П. Марюхин³, К.В. Введенский⁴

Миграционные параметры грунтов используются при решении задач миграции загрязняющих веществ, что наблюдается при эксплуатации накопителей промышленных отходов.

Миграционные параметры для решения задач конвективно-дисперсионного массопереноса – это активная пористость и дисперсивность.

Активная пористость считается условным параметром, который зависит от скорости фильтрации и времени воздействия загрязнения. Активная пористость не может быть больше общей.

Дисперсивность характеризует меру рассеивания вещества, что вызвано неоднородностью строения пород.

Эти параметры можно определять в лабораторных и полевых условиях. Полевые методы включают индикаторные запуски (в естественный поток или в процессе проведения опытно-фильтрационных работ) и режимные наблюдения.

Для каждого из методов есть свои достоинства и недостатки. Рассматривается только лабораторный способ определения активной пористости и дисперсивности образцов связных и несвязных грунтов. Испытания проводились при различных скоростях фильтрации, опробованы несколько методик запуска индикатора.

В результате получены первичные требования к проведению лабораторных испытаний с целью определения активной пористости и дисперсивности, сделаны предположения возможных осложняющих факторов, влияющих на полученный результат.

¹ Научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Инженер 2 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Техник 1 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Техник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗАКАЧНЫХ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОСФЕРЫ

И.А. Расторгуев¹, И.В. Литвинова², И.А. Хилько³, А.В. Ильин⁴, Е.В. Синчук⁵

Для прогноза планируемой эксплуатации участка по отведению дренажных вод при отработке месторождения алмазов разработана фильтрационная модель. Созданная фильтрационная модель позволила предварительно оценить объемы отводимых дренажных вод и время эксплуатации участка. Был создан математический алгоритм для поиска оптимального расположения закачных скважин с учетом геологического строения и экологических условий. Найденное оптимальное расположение скважин позволило максимально увеличить объемы отводимых дренажных вод.

Моделирование проводилось в программном пакете DHI Feflow 7.4. Для моделирования принята округлая область с площадью около 165 км², в центре которой находится участок закачки. Область наибольшего сгущения сетки рассматривается как участок закачки, в пределах которого задаются закачные скважины. Оптимальное расположение закачных скважин подбирается в рамках поискового алгоритма.

Предполагается, что на участок закачки будет отводиться 1–1,2 млн.м³ дренажных и шахтных вод в год. Планируемый режим закачки – безнапорный. Основным критерий, по которому останавливается закачка в модели – превышение предельно допустимой отметки уровня. Эта предельно допустимая отметка для недопущения перелива не должна подниматься выше отметки рельефа минус 40 м во всех точках модельной области (включая низкие отметки уреза на реке – ~300 м).

Таким образом, критерий недопущения перелива является параметром управления, ограничивающим закачку. Он проявляется как в точках закачки, так и на участках с низким рельефом. После достижения предельно допустимого уровня закачка останавливается. Она может быть продолжена, если в результате паузы уровень начнет восстанавливаться, и упадет ниже предельных значений. В качестве искомым параметров задаются положения скважин, их координаты X, Y. Рассматривается 5–8 скважин. Максимальное расчётное время закачки – 10 лет.

Разработанная и откалиброванная модель далее вовлечена в оптимизационный процесс. Пошаговое представление алгоритма показано на рисунке. В качестве поисковой оптимизационной процедуры был задействован алгоритм Нельдера-Мида, основанный на симплекс-методе [1]. Недостатки этого алгоритма в том, что он может «откапывать» локальные минимумы.

Отдельно отметим возможности среды моделирования Feflow по перемещению узлов. Это функция программы Feflow была необходима, поскольку оптимизационный метод не способен выдавать координаты, точно совпадающие с дискретизацией, а именно с узлами конечно-элементной сетки. Для этого дополнительно была задействована API функция MoveNode(x,y), встроенная в Feflow. Результаты применения этой функции для перемещения узлов приводятся в статье [2].

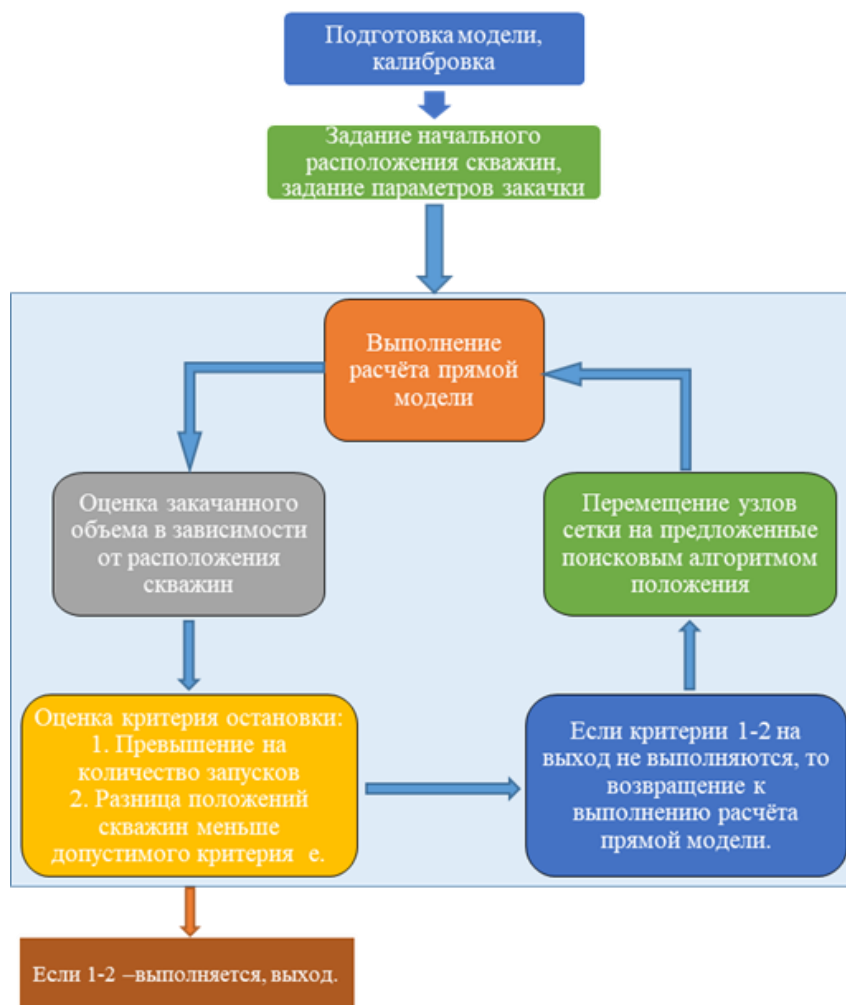
¹ НИЦ «Курчатовский институт», АК «АЛРОСА» (ПАО)

² АК «АЛРОСА» (ПАО)

³ АК «АЛРОСА» (ПАО)

⁴ АК «АЛРОСА» (ПАО)

⁵ АК «АЛРОСА» (ПАО)



Блок-схема работы алгоритма оптимизационной процедуры

Опыт применения оптимизационной процедуры эффективного расположения скважин на участке закачки может быть транслирован и на другие объекты, например на водозаборы, где требуется оптимизация расположения скважин с целью добычи подземных вод, а также для строительного водопонижения при откачке подземных вод, поступающих в скважину, котлован, подземную выработку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gao, F. and Han, L. Implementing the Nelder-Mead simplex algorithm with adaptive parameters. 2012. Computational Optimization and Applications. 51:1, pp. 259-277
2. И. А. Расторгуев, Д. Д. Луканов. Применение кодов для динамической адаптации модельной сетки при решении задач водопонижения в среде DHI Feflow.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКАМ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ И СУФФОЗИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОВЫХ И ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Е.Е. Легина¹, С.А. Захарова², В.А. Клушенцев³, А.Р. Гардиева⁴

Данные Рекомендации являются актуализацией выпущенного ранее П «Рекомендации по методике лабораторных испытаний грунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость». Настоящий стандарт разработан в соответствии с Федеральным законом от 29.06.2015 N 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации (с изменениями на 3 июля 2016 года)», а также СТП ВНИИГ 304.13-17 «Порядок разработки (пересмотра, изменения или актуализации), согласования и утверждения нормативно-технических документов». Рекомендации разработаны специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» с учетом требований современных задач геофильтрационных исследований и действующих нормативных документов, а также обновления лабораторной (приборной) базы и с целью дальнейшей аккредитации экспериментального участка лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Павловского Н.Н.

Рекомендации развивают и поясняют в деталях соответствующие разделы СП 23.13330 и СП 39.13330, которыми регламентируется выбор расчетных характеристик грунтов, проектирование подземного контура сооружений, противофильтрационных элементов грунтовых плотин и других конструктивных элементов ГТС.

Рекомендации являются практическим пособием по экспериментальному определению в лабораторных условиях водопроницаемости и суффозионной устойчивости грунтовых и геосинтетических материалов, а также образцов материалов, предназначенных для использования в гидротехническом строительстве как в качестве оснований и тела, так и конструктивных элементов (ПФУ, облицовка откосов и т.д.) ГТС. В Рекомендациях рассматриваются методические приемы, наиболее широко используемые в настоящее время при экспериментальном определении в лабораторных условиях указанных свойств грунтов, строительных и геосинтетических материалов, а также тампонажных смесей.

Теоретически Рекомендации базируются на разработанной в АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» типизации видов механической суффозии грунтов, в зависимости от характера воздействия на них фильтрационного потока, а также основных закономерностей фильтрации воды в различных средах, обобщенных проф. В.Н. Жиленковым, в основе Рекомендаций лежат выполненные научно-исследовательские работы, а также производственный опыт, накопленный за период с 1930 г. по настоящее время в лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского. Исследованием фильтрационных процессов в лаборатории в разное время занимались выдающиеся гидротехники, крупные ученые и инженеры Н.Н. Павловский, Н.П. Пузыревский, И.И. Заурбрей, С.В. Избаш, В.И. Аравин, Р.Р. Чугаев, А.Н. Патрашев,

¹ Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Младший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Инженер 2 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

С.Н. Нумеров, Н.И. Дружинин, Е.А. Лубочков, Г.Х. Праведный, О.Н. Носова, М. П. Павчич, В.Н. Жиленков.

На основе разработанных Рекомендаций могут быть проведены лабораторные исследования образцов различных материалов в процессе обоснования их использования при проектировании, строительстве, ремонте и реконструкции грунтовых сооружений и/или при подготовке оснований, проверке соответствия качества материалов требованиям проектной документации, нормативных документов, паспортам и сертификатам, а также требованиям технических регламентов в целях обеспечения безопасности сооружений.

Разработанные Рекомендации могут применяться при проведении лабораторных исследований различных видов твердых и пластичных промышленных отходов, твердых коммунальных отходов, промышленных продуктов и вторичных материалов, обладающих по своим характеристикам признаками грунтовых (несвязных или связных) материалов при проектировании, строительстве, эксплуатации, рекультивации объектов постоянного или временного их размещения, хранения, захоронения или использования в качестве строительных грунтовых материалов.

Субъектами, на которые распространяется действие документа, являются: организации (общества, компании), осуществляющие функции заказчика проектных, строительных и монтажных работ, при создании новых, реконструкции и ремонтах находящихся в эксплуатации грунтовых гидротехнических сооружений, а также проектные, конструкторские, научно-исследовательские организации, разрабатывающие проекты, проводящие исследования по обоснованию проектных решений для нового строительства, реконструкции, ремонтов, а также консервации и ликвидации грунтовых сооружений; строительные, монтажные, промышленные и иные организации, в любой форме привлекаемые заказчиком к созданию новых или к реконструкции грунтовых гидротехнических сооружений; специализированные организации, осуществляющие экспертный анализ проектов гидротехнических сооружений и в установленном порядке участвующие в контроле безопасности строящихся и вводимых в эксплуатацию гидротехнических сооружений.

Разработка Рекомендаций позволила выполнить полную инвентаризацию имеющейся лабораторной и методологической базы, провести модернизацию экспериментальных установок, придать экспериментальному участку лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Павловского Н.Н. современное оснащение.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ КАНЬОННЫЙ ЭФФЕКТ: РАСЧЁТЫ И НАБЛЮДЕНИЯ

А.Г. Бугаевский¹

До настоящего времени нет устоявшегося понимания необходимости оценки и учёта сейсмического каньонного эффекта при задании расчётных сейсмических воздействий для динамического анализа устойчивости высоких плотин при землетрясениях. Приводятся примеры расчётно-аналитического исследования влияния высоты и угла наклона склонов каньона на относительные величины сейсмических воздействий в основании каньона и в его верхней части, а также примеры инструментальных наблюдений каньонного эффекта при натурных исследованиях для сейсмического микрорайонирования участков размещения плотин в условиях горного рельефа. Показано, что неучёт сейсмического каньонного эффекта может приводить к существенному завышению величин расчётных сейсмических воздействий и, соответственно, к некорректным расчётным оценкам устойчивости плотин.

¹ Канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник,
ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА В ОСНОВАНИИ И ТЕЛЕ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН ВОТКИНСКОЙ ГЭС ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ. АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ

А.Б. Ленков¹, А.Н. Бусаргин²

1. Для плотин из грунтовых материалов наиболее опасным является нарушение фильтрационного режима.

2. Основной причиной нарушения работы дренажа земляных плотин Воткинской ГЭС является геохимическое заиливание дренажа, развивающееся в результате образования на контакте минерализованных фильтрующихся вод и воздуха взвешенных частиц хемогенных марганцевых руд, что приводит к постепенному подъему уровня разгрузки фильтрующихся вод.

3. Мероприятия, проводимые для создания наиболее благоприятных условий работы дренажной системы, и результаты:

3.1. Выданы рекомендации по дополнительным ежегодным наблюдениям за содержанием окислов марганца в дренажных водах. По результатам 20-летних анализов проб, специальные наблюдения за содержанием марганца в дренажном стоке на земляных плотинах рекомендовано завершить в декабре 2024 г., так как концентрации ионов марганца в грунтовых водах и в речной воде не меняются ни по сезонам, ни в многолетнем разрезе.

3.2. Гидродинамическая промывка дренажных труб для предотвращения перехода марганцевых отложений в твердую форму. Учитывая, что марганцевые отложения нерастворимы в воде и других экологически безопасных растворителях, единственным реально применимым на сегодня способом их ликвидации остается механическая очистка труб дренажного коллектора и при необходимости замена/промывка фильтрующего материала.

3.3. Каскадное снятие путевых водосливов для организации промывки полости дренажа от взвешенных наносов с последующей установкой.

Необходимое мероприятие для качественной беспрепятственной промывки дренажей.

3.4. Установка противосуффозионных креплений (материал «Вилатерм», резина) в стыках труб дренажного коллектора земляных плотин. Эффективное мероприятие для значительного уменьшения суффозионных явлений сквозь стыки дренажных труб.

3.5. Работы по водообустройству, направленные на понижение грунтовых вод в низовом клине земляных плотин (устройство дополнительных разгрузочных скважин, перебурирование или промывка разгрузочных скважин, капремонт разгрузочных скважин с дренажными лотками)

3.6. Установка дополнительных пьезометров.

Установка дополнительных пьезометров позволяет уточнить работу дренажных систем и оперативно оценить проводимые мероприятия.

¹ Начальник службы мониторинга оборудования и гидротехнических сооружений, филиал ПАО «РусГидро» – «Воткинская ГЭС»

² Инженер-гидротехник, филиал ПАО «РусГидро» – «Воткинская ГЭС»

3.7. Откачка взвешенных и донных наносов в приямках дренажных колодцев.

Мероприятия по откачке наносов из колодцев позволяют улучшить беспрепятственный сток дренажных вод.

4. Анализ проводимых мероприятий показал эффективность реализованных мероприятий для обеспечения фильтрационной устойчивости грунтовых ГТС и их конструктивных элементов. Однако при исследованиях дренажной системы была обнаружена кальматация не только дренажных отверстий труб, но и хемотренное заиливание обратного фильтра, что требует дальнейшего исследования и разработки мероприятий по устранению данного явления.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО НАКОПИТЕЛЯ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ю.Г. Козуб¹, О.Н. Котлов², Е.В. Вилькевич³

Задача оценки влияния проектируемых накопителей жидких промышленных отходов на подземные воды обязательна при их проектировании. Одним из методов ее решения является численное моделирование. Для оценки негативного воздействия на подземные воды выполняются геофильтрационное и геомиграционное моделирование.

В качестве примера приведен накопитель жидких промышленных отходов овражно-балочного типа. В основании накопителя залегают дисперсные и скальные грунты. Проектом для защиты подземных вод от загрязнения предусмотрены дренажные сооружения и противофильтрационная завеса.

В результате выполненной работы:

1. Определены основные виды исследований, необходимые для проведения оценки влияния проектируемого накопителя жидких промышленных отходов на подземные воды при реализации дренажных сооружений и противофильтрационной завесы.

2. Представлен перечень параметров, получаемых на численных геофильтрационной и геомиграционной моделях.

¹ Научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Канд. геол.-мин. наук, начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ПРИРОДНЫХ ВОД В ЛОЖЕ СОЛЕОТВАЛА И ШЛАМОХРАНИЛИЩА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА (ГОКА) НА ТАЛИЦКОМ УЧАСТКЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

С.В. Сольский¹, И.П. Веретельник², В.Р. Кузьмина³, Е.Н. Филоненко⁴

Представлен комплекс технических решений по защите природных (поверхностных и подземных) вод на территории объектов Талицкого ГОКа – производственной зоны, хвостового хозяйства (солеотвал, шламохранилище).

В административном отношении территория проектирования расположена в пределах городского округа Березники и Усольского муниципального района Пермского края.

Рассматриваемая территория расположена в бассейне Верхней Камы, на восточной окраине Восточно-Европейской равнины, имеет холмистый рельеф, для которого характерны возвышенные изрезанные междуречья и широкие речные долины. В морфологическом отношении территория представляет собой всхолмленную равнину, расчлененную долинами рек, ручьев и оврагов. Рельеф имеет холмисто-увалистый характер. Наиболее высокие отметки (240–245 м) приурочены к водоразделу р. Царева Уньва и Малая Уньва, наиболее низкие (170–175 м) наблюдаются в долине р. Большая Уньва ниже устья руч. Крутик.

Проектируемые объекты ГОКа приурочены к водосборной территории руч. Крутик, р. Царева Уньва, р. Малая Уньва. Согласно ст. 65 «Водного кодекса РФ» для рек территории исследований установлены водоохранные зоны: р. Бол.Уньва и р. Мал.Уньва – 100 м, остальные реки и ручьи – 50 м. Все реки относятся к группе рек с весенним половодьем, к восточноевропейскому типу, питание их преимущественно снеговое.

Климат района континентальный (умеренный) с холодной и продолжительной зимой, теплым сравнительно коротким летом, ранними осенними и поздними весенними заморозками. Среднегодовая температура воздуха равна плюс 1,9 °С, в течение года преобладают ветра южного направления, по количеству выпадающих осадков относится к зоне избыточного увлажнения (в среднем за год выпадает 674 мм осадков).

Пресные подземные воды приурочены к шешминскому терригенному комплексу и верхнесоликамским отложениям, представленным в основном песчаниками, алевролитами, аргиллитами, глинами. Коренные отложения повсеместно перекрыты четвертичными породами, сложенными преимущественно глинами и суглинками. К четвертичным отложениям приурочены грунтовые воды, характеризующиеся неповсеместной и слабой обводненностью.

Необходимость строительства проектируемых сооружений хвостового хозяйства обусловлена технологическим процессом на обогатительной фабрике. Отходами технологического процесса обогатительной фабрики являются галитовые (солевые) хвосты и шламы.

Определенный проектной документацией состав сооружений хвостового хозяйства обеспечивает технологические потребности предприятия на 35 лет эксплуатации и условия без-

¹ Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Директор Санкт-Петербургского филиала ООО «НПЦ «Акрон инжиниринг»

³ Начальник проектного отдела, ООО «НПК Проектводстрой»

⁴ Инженер-проектировщик 1 категории, ООО «НПК Проектводстрой»

опасной эксплуатации, последующей консервации проектируемых сооружений и рекультивации накопителей отходов.

На горно-обогатительном комплексе предусматривается максимальное повторно-оборотное водоснабжение, исключаящее прямоточное поступление производственно-ливневых сточных вод в поверхностные воды, а также принята отдельная система водоотведения и система очистки сточных вод. Жидкие отходы производства отводятся в шламохранилище, из которого рассолы после осветления используются повторно в технологическом процессе.

Хозяйственно-бытовые сточные воды и избыточные поверхностные воды предполагается после очистки сбрасывать в ближайшие водотоки. Генеральная планировка комплекса предусматривает исключения попадания паводковых вод с прилегающих водосборов.

Солеотвал и шламохранилище расположены каскадно в долине ручья Крутик, занимая значительную часть водосборной площади ручья, и соответственно отведение стоков ручья и грунтовых вод осуществляется по изолированному от продуктов складирования руслу ручья последовательно: с площадки солеотвала на территорию шламохранилища и далее за пределы сооружения. Объектами хвостового хозяйства ГОКа является солеотвал и шламохранилище общей площадью 2,462 км².

Техническими решениями по инженерной защите природных вод в ложе солеотвала и шламохранилища предусмотрено устройство бесполосного дренажа. Бесполосный дренаж выполняется в виде щебеночных лент, толщиной до 1,0 м, заполненных щебнем фр. 20–70 мм (М400, F100 ГОСТ 8267-93 с коэффициентом размягчения не менее 0,85). Ширина дрен определяется рельефом дна тальвегов.

Для обеспечения ускоренной консолидации связных грунтов основания за счет беспрепятственного отвода грунтовых вод, отжимаемых из пор грунта в основании солеотвала под действием веса складированных галитовых отходов под ложем солеотвала и ложем шламохранилища предусмотрен пластовый дренаж. Пластовый дренаж сбрасывает сток вод в бесполосный дренаж.

Пластовый дренаж выполняется из щебня фр. 20–70 мм (М400, F100 ГОСТ 8267-93 с коэффициентом размягчения не менее 0,85). Толщина слоя пластового дренажа – 0,2 м. Поверх пластового дренажа укладывается геотекстилем плотностью не менее 300 г/м².

Для предотвращения загрязнения грунтовых вод от проникновения в них рассолов на площадке солеотвала и шламохранилища предусмотрено устройство противодиффузионного экрана. Противодиффузионный экран укладывается по всей площади солеотвала и шламохранилища.

Выполнен подбор гранулометрического состава щебня и расчет пропускной способности русла ручья с учетом сужения русла при засыпке щебнем.

Таким образом, проблема защиты природных (поверхностных и подземных) вод на территории объектов Талицкого ГОКа – производственной зоны, солеотвала и шламохранилища полностью обеспечена комплексом соответствующих технических решений.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГРУНТОВЫХ ГТС С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ ИНЪЕКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Глухов¹

Грунтовые ГТС, такие как плотины, дамбы эксплуатируются в различных климатических и природно-технических условиях. Дамбы возводятся как защитные сооружения от возможных наводнений, так и в качестве конструкций, например, шламовых амбаров для накопления отходов переработки на промышленных предприятиях.

Климатические изменения, повышение нагрузок на ГТС, отсутствие или недостаточность мероприятий по поддержанию сооружения в нормативном состоянии, превышение срока эксплуатации объекта - все это может приводить к разрушениям конструкции и техногенным катастрофам.

Суффозионные процессы являются наиболее опасными для грунтовых ГТС. Уменьшение связности между частицами грунта в плотине, образование путей интенсивной фильтрации, промоин внутри тела ГТС снижают надежность природно-технического сооружения.

Применение современных геофизических методов позволяет с высокой точностью локализовать места нарушений в теле плотины, что даст возможность проводить инъекционные работы по снижению коэффициента фильтрации и восстановлению надежности сооружения с максимальной эффективностью.

Использование цементов, бентонитов не всегда приводит к желаемому результату, особенно при значительной скорости движения воды в теле ГТС. Вынос инъекционных растворов через нижний бьеф и засорение акватории могут создавать серьезную нагрузку на экологическую обстановку района, а также ведут к серьезным экономическим потерям для заказчика.

Компанией СТРИМ[®] разработана, запатентована и успешно внедрена уникальная технология укрепления обводненных оснований грунтовых ГТС. Данное решение является отличной альтернативой традиционной цементации, которая не всегда способна остановить активную фильтрацию грунтов. В сравнении с инъекционными полимерными материалами, так же применяемыми для снижения коэффициентов фильтрации и укрепления грунтов, расход гидрофильных смол АКВИДУР[®] примерно в 20 раз ниже.

Применение композитных инъекционных составов на базе гидрофильных смол АКВИДУР[®] позволяет в короткие сроки восстановить надежность грунтового гидротехнического сооружения.

Испытания по минимальной температуре эксплуатации композитных инъекционных материалов на базе гидрофильных смол АКВИДУР[®] проводились на базе ИтхУРОРАН (Института Технической химии Уральского отделения Российской Академии Наук). Доказана возможность эксплуатации композитных инъекционных материалов при температуре до минус 63°С,

¹ Академик Академии Горных Наук,
Эксперт экспертного совета при комитете по транспорту и развитию транспортной инфраструктуры Госдумы Российской Федерации,
Эксперт Центра стратегических оценок и прогнозов, Генеральный директор ООО СТРИМ

что позволяет применять данную технологию во всех климатических зонах Земли, где построены и эксплуатируются грунтовые ГТС.

Грунтовые ГТС, эксплуатирующиеся в зоне вечной мерзлоты, требуют повышенного внимания и постоянного мониторинга состояния, так как устойчивость их снижается в ходе глобального потепления, приводящего к растеплению слоёв вечной мерзлоты, на которых построены данные сооружения.

В отличие от цементации, экзотермическая реакция при использовании данной технологии минимально оказывает влияние на растепление вечной мерзлоты. В ходе испытаний в ИНГГ СО РАН (Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, Сибирское Отделение Российской Академии Наук) произведена оценка экзотермического эффекта применения композитных инъекционных материалов на базе гидрофильных смол АКВИДУР® за счёт химических реакций растворения известняков в мёрзлой скважине за 10-летний период. Количество энергии, которое получила порода за счёт растворения породы и уравнивания растворов, составило 0,17 % от энергии, полученной грунтами за счёт нагрева обратными водами. Это позволяет применять данную технологию для восстановления герметичности грунтовых ГТС, эксплуатирующихся в зоне вечной мерзлоты.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ УСЛОВИЯ ПО ОСАДКЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

А.М. Караулов¹, К.В. Королев², К.А. Федосин³

Надежность можно считать основным свойством инженерных сооружений, заключающимся в их способности не разрушаться и деформироваться в допустимых пределах. Это должно обеспечиваться уже на стадии проектирования применением апробированных методов расчета и учетом случайной природы характеристик материалов и грунтов основания. Именно учет случайности осуществляется методами теории надежности. Уровень надежности есть вероятность не превышения расчетных значений прочности и деформируемости их предельных величин.

В последние издания строительных правил по основаниям зданий и сооружений включен модернизированный метод послойного суммирования для определения осадки грунтовых оснований в рамках расчетной схемы линейно-деформируемого полупространства. Рассмотрим алгоритм определения уровня надежности по осадке для этого случая.

Итак, расчет осадки согласно методу послойного суммирования осуществляется по формуле

$$S = 0,8 \sum_1^n \frac{\sigma_{zpi} - \sigma_{z\gamma i}}{E_i} h_i + 0,8 \sum_1^n \frac{\sigma_{z\gamma i}}{5E_i} h_i .$$

Приведенное выражение общеизвестно и не требует расшифровки. Заметим лишь, что n – это количество расчетных слоев в пределах сжимаемой толщи. Для упрощения примем размеры площади подошвы фундамента и котлована одинаковыми. Тогда приведенное выражение можно представить в виде

$$S = 0,8(p - 0,8\sigma_{zg0}) \sum_{i=1}^{i=k} \frac{A_i}{E_i}, \quad A_i = \int_{z_{i-1}}^{z_i} \alpha dz .$$

Здесь p и σ_{zg0} – расчетное и бытовое давление в уровне подошвы фундамента, а k – количество инженерно-геологических элементов (ИГЭ) в пределах сжимаемой толщи. Величина A_i является площадью эпюры коэффициента рассеивания напряжений α в границах по глубине кровли z_{i-1} и подошвы z_i . Случайными будем считать величины модулей деформаций ИГЭ – E_i , имеющими числовые характеристики – математические ожидания E_{mi} и дисперсии D_{Ei} .

Далее выполняется линеаризация последнего выражения для осадки

$$S = S_m + \sum_1^k S'_{mi} (E_i - E_{mi}), \quad S'_{mi} = -0,8(p - 0,8\sigma_{sg0}) \frac{A_i}{E_{mi}^2}$$

В приведенных уравнениях S_m является осадкой, S'_{mi} – частными производными $\partial S / \partial E_i$, вычисленными для математических ожиданий модуля деформации E_{mi} .

Условие по осадке Y при допустимой ее величине S_u естественно имеет вид

¹ ФГБОУ ВО СГУПС

² ФГБОУ ВО СГУПС

³ ФГБОУ ВО СГУПС

$$Y = S - S_u \leq 0.$$

Величина Y , также являясь случайной, имеет характеристики – математическое ожидание m_Y , дисперсию D_Y и среднее квадратическое отклонение σ_Y

$$m_Y = S_m - S_u, \quad D_Y = \sum_{i=1}^{i=k} S_{mi}^2 D_{E_i}, \quad \sigma_Y = \sqrt{D_Y}$$

Тогда в рамках нормального закона распределения уровень надежности H составит

$$H = \frac{1}{2}[1 + \Phi(Z)], \quad Z = -\frac{m_Y}{D_Y}, \quad \Phi(Z) - \text{функция Лапласа.}$$

Изложенный алгоритм в целом отвечает «Рекомендациям по вероятностному расчету оснований и фундаментов каркасных зданий» (НИИОСП, 1985). Следует заметить, что принятие нормального закона распределения необязательно. Данный алгоритм может быть распространен и на произвольный закон распределения, записываемый с помощью ряда Шарлье. Такая методика подробно изложена в фундаментальной монографии Н.Н. Ермолаева и В.В. Михеева «Надежность оснований сооружений» (1976).

В заключении отметим, что оценка надежности позволяет установить вероятность выполнения условия по осадке в зависимости от нагрузки, а также оценить влияние каждого инженерно-геологического элемента на уровень надежности. Считаем подобную информацию полезной при проектировании сооружений на многослойных грунтовых основаниях.

ВАРИАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О СВОДООБРАЗОВАНИИ НАД КАЛОТТОЙ В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ

В.С. Макарова¹, А.О. Кузнецов²

Явление сводообразования в скальных грунтах при проходке подземных выработок исследуется на протяжении последних полутора веков. Можно сказать, что с практической точки зрения это явление продиктовал один из приемов при проходке – устройство калотты с криволинейным очертанием, близким к параболе или окружности. С теоретической точки зрения, как ни парадоксально, схема сводообразования получила гораздо меньше развития, чем другие задачи определения НДС грунтовых массивов вблизи подземных сооружений.

Первым, кто рассмотрел предельное равновесие свода обрушения, был В. Риттер в 1879 г. Методами вариационного исчисления Риттером было установлено, что наиболее неблагоприятным очертанием (в отношении вертикальной нагрузки на подземные конструкции) свода обрушения является парабола. Силовое взаимодействие свода обрушения и окружающего массива в его решении описывалось одним параметром – пределом прочности грунта на одноосное растяжение. В силу ряда причин решение В. Риттера не получило большого распространения среди горняков и тоннельщиков, хотя основной его результат – параболическое очертание свода обрушения – прочно вошел в практику тоннельных расчетов.

Следующим крупным шагом в этом направлении, конечно же, стало появление теории сводообразования М.М. Протоdjяконова. В этой теории основным является понятие коэффициента крепости f – интегрального параметра, в целом характеризующего устойчивость грунта в процессе проходки выработки. Для назначения величины коэффициента крепости М.М. Протоdjяконов составил специальную таблицу, в которой поставил в соответствие описанию грунта конкретные значения f . Эта теория на протяжении ста лет служит практически безальтернативной теоретической базой для расчета вертикальной нагрузки на конструкции тоннелей и, соответственно, назначения параметров самой конструкции.

Уже в последние годы теория сводообразования получила развитие в работах Я.О. Стахнёва, который усовершенствовал описание силового взаимодействия свода обрушения и несмещающихся пород (на основе паспорта прочности) и рассмотрел задачу о максимизации нагрузки на подземные сооружения в зависимости от высоты свода обрушения. Тем самым, вместо необходимости назначать коэффициент крепости (a , значит, и высоту свода обрушения) по описанию грунта, решение Я.О. Стахнёва позволило определять нагрузку от горного давления на основе паспорта прочности грунта.

В развитие перечисленных выше решений в настоящей работе предлагается выполнить поиск максимума нагрузки от горного давления на крепь калотты методами вариационного исчисления с использованием стандартных параметров прочности грунта (то есть с использованием паспорта прочности). Ранее авторы уже рассматривали эту задачу, но при заданном очертании свода обрушения (по квадратной параболе), у которого была неизвестна лишь высота. Эта высота находилась из условия максимизации нагрузки на крепь калотты. Таким образом, предлагаемая работа является продолжением предыдущего решения. В результате статического

¹ ФГБОУ ВО СГУПС

² ФГБОУ ВО СГУПС

анализа системы сил, действующих на свод обрушения, формирующегося над калоттой, было составлено уравнение равновесия на вертикальную ось. Из этого уравнения была выражена сила предельного давления грунта на крепь калотты как функционал, зависящий от двух неизвестных функций – очертания свода обрушения $y(x)$ и уравнения распределения нормальных напряжений σ_n по контуру свода обрушения. Решение было приведено к виду

$$y(x) = \frac{R_t}{\gamma} \left(\frac{\gamma}{C_0} \right)^{1/m} [a^{1/m} - (a-x)^{1/m}]; \quad \sigma_n(x) = R_t \left\{ 1 - \left[\frac{\gamma}{C_0} (a-x) \right]^{1/m} \right\};$$

$$\frac{1}{2} P = R_t a \left[\frac{m}{1+m} \left(\frac{\gamma a}{C_0} \right)^{1/m} - 1 \right] - \frac{2}{3} \gamma h_k a,$$

где R_t – предел прочности грунта на одноосное растяжение, кПа; C_0 – сцепление скального грунта, кПа; m – параметр огибающей предельных кругов Мора; γ – удельный вес грунта, кН/м³; a – полупролет свода обрушения, м; h_k – высота калотты, м.

Для предварительных расчетов можно принять: $R_t = 0,1R_c$, $C_0 = 0,2R_c$, $m = 0,64$, где R_c – предел прочности скального грунта на одноосное сжатие.

По результатам решения можно сделать два основных вывода:

очертание свода обрушения над калоттой не зависит от высоты и очертания калотты, если калотта полностью находится «внутри» свода обрушения;

чем выше калотта, тем меньше сила предельного давления на ее крепь.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ АКТИВНОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА ПОДПОРНЫЕ СТЕНКИ МЕТОДОМ КУЛЬМАНА

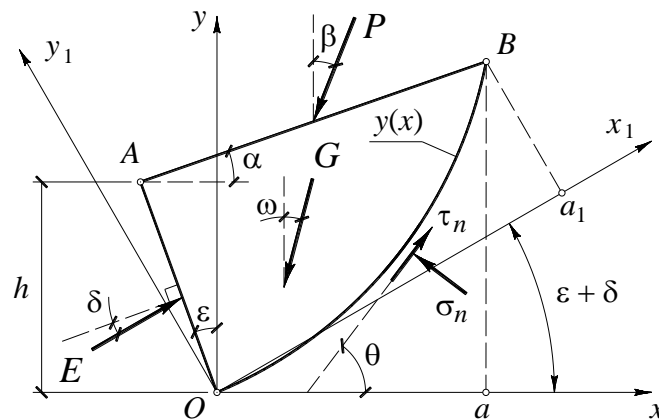
Т.В. Бурдин¹, К.В. Королев²

Как известно, история задачи об активном давлении грунта насчитывает более 250 лет. Любопытно, но среди всей совокупности исследований на эту тему встречаются расчетные схемы, которые, с одной стороны, как бы хорошо известны, но с другой – до сих пор до конца не решены. К таковым относится, например, схема Кульмана. Несмотря на то, что она получила в литературе широкое распространение и даже включена в нормативные документы, полное решение было опубликовано только в 2015 г. А.М. Карауловым.

Интересно отметить, что в нормативных документах (например, СП 22.13330) дана формула для коэффициента активного давления, которая учитывает трение между грунтом и стенкой, величину уклона грунта за стенкой и угол наклона самой стенки к вертикали. Эта формула, иногда в литературе именуемая как формула Понселе, на самом деле получена для частного случая идеально-сыпучего грунта, и, строго говоря, при наличии удельного сцепления ее использование для расчета активного давления некорректно.

Возвращаясь к схеме Кульмана, хотелось бы отметить, что сама по себе задача поиска активного давления – это экстремальная задача. В рамках классической схемы Кульмана ставится задача определения такого положения плоскости скольжения, которое бы обеспечивало максимум силы E_a активного давления. Здесь важно то, что поверхность скольжения предполагается плоской, а ее положение определяется единственным параметром – углом ее наклона. Соответственно, поиск максимума E_a – это поиск экстремума функции одной неизвестной.

Если же отказаться от гипотезы о плоской поверхности скольжения, то сила E_a становится функционалом, зависящим от неизвестной функции $y(x)$, описывающей поверхность скольжения, а также от распределения нормальных σ_n и касательных τ_n напряжений по этой поверхности (рисунок). Учитывая, что вдоль поверхности скольжения σ_n и τ_n связаны законом Кулона, то из двух названных напряжений только одно останется неизвестной функцией.



Система сил, действующих на призму обрушения

¹ ФГБОУ ВО СГУПС

² ФГБОУ ВО СГУПС

Особенностью математической формулировки данной задачи является то, что в общем случае ($\alpha \neq 0, \beta \neq 0, \delta \neq 0, \varepsilon \neq 0, \omega \neq 0$ – см. рис. 1) уравнения равновесия составляются по таким координатным осям, одна из которых (Ox_1) совпадает с линией действия силы E_a , а другая (Oy_1) ей перпендикулярна. Тогда первое из уравнений дает функционал E_a от двух неизвестных функций $y_1(x_1)$ и $\sigma_n(x_1)$, а второе представляет собой ограничение, наложенное на неизвестные

$$E - G \sin \omega_1 - P \sin \omega_1 + \int_0^{a_1} (\tau_n \cos \theta_1 - \sigma_n \sin \theta_1) \frac{dx_1}{\cos \theta_1} = 0 ;$$

$$-G \cos \omega_1 - P \cos \omega_1 + \int_0^{a_1} (\sigma_n \cos \theta_1 + \tau_n \sin \theta_1) \frac{dx_1}{\cos \theta_1} = 0 .$$

Здесь обозначено:

$$\theta_1 = \theta - \delta - \varepsilon, \quad \omega_1 = \omega + \delta + \varepsilon, \quad \beta_1 = \beta + \delta + \varepsilon ;$$

$$a_1 = x_B \cos(\delta + \varepsilon) + y_B \sin(\delta + \varepsilon); \quad G = \gamma S_{AOBa_1} - \int_0^{a_1} \gamma y_1 dx_1 ,$$

где $x_B = a$ и $y_B = (h \operatorname{tg} \varepsilon + a) / \cos \alpha$ – координаты точки B в системе координат xOy ; γ – удельный вес грунта; P – равнодействующая внешней нагрузки; S_{AOBa_1} – площадь соответствующей фигуры (см. рис. 1).

В результате решения этих уравнений

установлено, что поверхность скольжения в рамках данной расчетной схемы представлена плоскостью;

найдена точка приложения силы активного давления.

ТЕХНОЛОГИЯ И ПРАКТИКА ВЕРТИКАЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Д.С. Галтер¹

Армирование грунтовых оснований жесткими вертикальными элементами можно рассматривать двояко – и как предпостроечное усиление основания, и как новый вид фундаментов. Этот сравнительно молодой метод, кажется, проще объяснить с точки зрения его фактической работы и на этой основе теоретически его описать, чем найти ему место в той или иной классификации. Наряду с некоторыми другими новыми строительными технологиями (например, с фибробетоном или нагельным креплением котлованов), наверное, здесь можно говорить уже о неклассических методах и технологиях в строительстве. С одной стороны, такие методы выходят за рамки привычных классификаций, а с другой – вбирают в себя различные черты и преимущества известных классических методов и технологий.

Действительно, с одной стороны прямыми предками вертикального армирования являются сейсмостойкие свайные фундаменты с промежуточной грунтовой подушкой, разделяющей плиту ростверка и сваи. Разумеется, эта конструкция была призвана решать специфические проблемы, связанные с сейсмикой, но по факту она работает и как вертикальное армирование оснований. Другим предшественником вертикального армирования можно считать предпостроечное усиление грунтовых оснований микросваями, например, в раскатанных скважинах. Этот метод получил большое распространение благодаря работе научных и производственных организаций в Москве, Липецке и Новосибирске. Однако, в первую очередь устройство свай в раскатанных скважинах преследовало также свою узкоспециальную цель – уменьшение пористости в просадочных грунтах. Эффект же вертикального армирования при проектировании таких оснований чаще всего просто игнорировался. Максимум из того, что можно было увидеть на практике – это обоснование увеличения жесткости армогрунта путем введения в расчет средневзвешенных значений удельного веса и модуля деформаций.

Настоящим прорывом в теоретическом анализе работы грунтов, армированных вертикальными элементами, стала знаменитая статья 1994 г. В.Г. Федоровского и С.Г. Безволева в журнале «Основания и фундаменты, механика грунтов». В указанной работе была дана постановка самой задачи о вертикальном армировании, которая оказалась крайне удобной для дальнейшего развития и практической реализации. Первая практическая методика расчета вертикально армированных оснований, по всей видимости, была разработана А.М. Карауловым в начале 2000 г. на базе теории В.Г. Федоровского. В том же году по этой методике был выполнен реальный проект, реализованный в г. Новосибирске. Следующие два десятилетия ознаменовались возрастающим интересом ученых-геотехников и проектировщиков к этой теме. Здесь можно выделить труды З.Г. и А.З. Тер-Мартirosянов, И.Т. Мирсяяпова, А.Г. и К.Г. Шашкиных, М.Б. Мариничева и др.

В Новосибирске развитие вертикального армирования пережило три этапа. Первый этап – это проектирование и строительство трех многоэтажных зданий в самом начале 2000-х по методике А.М. Караулова. Второй этап – это массовое применение усиления оснований микросваями в раскатанных скважинах. Как уже сказано выше, такое усиление не рассматривалось

¹ ФГБОУ ВО СГУПС

авторами проектов именно как вертикальное армирование, а лишь как способ борьбы с просадочностью. Но проблемы, которые возникали при контроле качества такого усиления, приводили к тому, что в ряде случаев технических отчетах приходилось выполнять учет эффекта армирования для обоснования достаточности принятого решения. Наконец, третий этап связан с разработкой в 2016 г. новой, усовершенствованной практической методики расчета вертикально армированных оснований, которая была опубликована в 2017 г. (А.М. Караулов, Королев К.В., Галтер Д.С.). С этого момента проектирование и строительство зданий на таких основаниях в г. Новосибирске было поставлено на регулярную основу, и к настоящему моменту возведено около 30-ти домов этажностью 15...25.

Вертикальное армирование, запроектированное по указанной методике, оказывается практически во всех случаях дешевле свайных фундаментов на 30...40%. Наиболее эффективными себя показали армоэлементы, представленные буровыми столбами диаметром 0,4...0,6 м. Отметим, что свайные фундаменты выигрывают только для зданий небольшой этажности при использовании забивных свай.

Опыт эксплуатации зданий, построенных на вертикально армированных основаниях, показывает, что осадки не превышают 7...10 см при допустимых 15...20 см.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СКАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ ГТС

А.С. Антонов¹, Е.А. Горохова², П.В. Рогожина³

Специалисты филиала АО «Институт Гидропроект» - «НИИЭС» на протяжении многих лет проводят геофизические исследования на участках расположения различных гидротехнических сооружений (ГТС). В частности, накоплена огромная база данных исследований скальных массивов, являющихся основаниями для ГТС.

Результаты таких исследований показали, что в процессе эксплуатации сооружения скальные основания подвергаются воздействию различных природных и техногенных факторов, в результате действия которых породы, слагающие скальное основание, претерпевают существенные изменения.

Детальные обследования геофизическими методами оснований и береговых примыканий плотин выявили ряд закономерностей в изменении скоростного строения и физико-механических свойств вмещающего массива.

В состав применённых геофизических методов вошли сейсмическое просвечивание между выработками и между скважинами, а также видеокаротаж скважин, который используется для уточнения и подтверждения результатов сейсморазведочных исследований.

В рамках доклада приведены результаты измерений скоростей упругих волн в массиве пород скального основания плотины ГТС при минимальном и максимальном УВБ. Установлено различие в изменении скоростей продольных и поперечных волн при подъеме УВБ на различных участках массива пород (основание, правобережное и левобережное примыкания). Проведено сопоставление со значениями, заложенными при проектировании.

Первый блок – инструментальный, включающий в себя инструментальное и визуальное обследование для определения соответствия конструкций проектным решениям, а также уровень коррозионных повреждений СУР и виброобследование, направленное на получение виброускорений различных элементов конструкции.

Второй блок – математическое моделирование. Наиболее перспективным междисциплинарным комплексом, позволяющих одновременно учитывать большое количество факторов является ANSYS.

¹ Главный инженер по оборудованию и ГТС, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

² Начальник отдела геофизических исследований и сейсмологии, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

³ Ведущий специалист отдела расчетных исследований, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СООРУЖЕНИИ, СВЯЗАННЫЕ С ТЕКТОНИЧЕСКИМИ НАРУШЕНИЯМИ

О.С. Поеджаев¹, А.С. Антонов²

При проектировании ГТС сложно учитывать все изменения природных условий, которые могут привести к развитию и активизации негативных физико-геологических, геодинамических процессов в их основании. Такие процессы проходят медленно, можно сказать, что сооружение находится в состоянии неустойчивого равновесия, которое может быть нарушено любым внешним воздействием и привести к аварийным ситуациям.

В настоящее время благодаря развитию методических и аппаратных комплексов улучшилось качество и полнота получаемых данных о состоянии оснований ГТС, используемых для проектирования сооружений или применения превентивных мер для избегания аварийных ситуаций на уже эксплуатируемых объектах. К таким процессам относятся тектонические нарушения и зоны их влияния, рассматриваемые в данном докладе.

Для решения инженерной задачи использовался комплекс геофизических методов, включающий в себя:

1. Для локализации участков развития фильтрационных процессов применялся метод электротомографии (ЭТ) – один из методов электроразведки на постоянном токе, основанный на методике многоэлектродных зондирований.

2. Детальное изучение и выявление изменений свойств грунтов, а также получение актуальных данных о водонасыщении рыхлых пород методом преломленных волн и наземной сейсмической томографии. Метод основан на излучении упругих волн и последующей регистрации отклика среды-волн, отраженных от неоднородностей и границ раздела с различной скоростью распространения в исследуемой среде.

3. Оценка интенсивности фильтрационных процессов производилась методом измерений естественных электрических потенциалов (ЕП). В основе метода лежит измерение электрических потенциалов, возникающих в изучаемом массиве под воздействием окислительно-восстановительных, фильтрационных, диффузионно-адсорбционных процессов.

Комплексным инженерно-геофизическим исследованием оснований грунтов Здания ГЭС удалось локализовать участки развития фильтрационных процессов и участки тектонических нарушений и зоны их влияния. Исходя из результатов исследований выявлено, что фильтрационные процессы протекающие в грунтах основания в основном связаны с тектоническими нарушениями.

Примененный комплекс геофизических исследований, включающий в себя методы электрофотографии, естественного электрического поля и сейсмического профилирования, позволяет получить хорошие результаты для оценки инженерной ситуации грунтов основания.

¹ Ведущий инженер геофизических исследований и сейсмологии, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

² Главный инженер по оборудованию и ГТС, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

РЕГИСТРАЦИЯ ВИБРАЦИИ ОТ ГИДРОАГРЕГАТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТОВЫХ ГТС

Ю.А. Строчков¹

В инженерной геофизике анализ параметров техногенных вибраций, зарегистрированных на поверхности грунтового массива, позволяет получить косвенную информацию о его строении и состоянии. Возникновение резонансных пиков в спектре колебаний может свидетельствовать о наличии в разрезе границ, контрастных по акустической жесткости, что позволяет определять толщину верхнего, более рыхлого слоя. Также на участках рыхлого сложения амплитуда колебаний возрастает, а энергия смещается в область низких частот.

По описанной методике возможно обследование и грунтовых ГТС. При измерениях на дамбах и насыпях толщинный резонанс в спектре вибраций фиксируется от границ раздела коренных и насыпных грунтов, что легко проверить, зная проектную высоту ГТС. При этом основные вибрации на таких объектах возникают не от движения транспорта, а от работы гидроагрегатов. Спектр колебаний от движущегося транспорта обычно непрерывен в определенном диапазоне (например, 30–60 Гц для железнодорожного транспорта) и не содержит ярко выраженных пиков. Спектр вибраций гидроагрегатов, напротив, может иметь несколько узких максимумов, частоты которых близки к оборотной частоте гидроагрегата и кратным ей (лопастная частота). Интерпретация таких спектральных пиков должна проводиться с учетом конструктивных особенностей каждой конкретной ГЭС, с использованием априорной информации о количестве гидроагрегатов, их осевой частоте и количестве лопастей.

При прохождении вибраций от гидроагрегатов на строительные конструкции ГЭС, а с них, через фундамент на грунт, амплитудно-частотные характеристики вибраций меняются. Кроме того, при распространении колебаний по грунтовому массиву, свойства грунта также меняют параметры вибраций. Чаще всего насыпной грунт выступает в роли фильтра высоких частот, переводя энергию колебаний в область более низких частот. При этом общий характер спектра вибраций, с наличием узких резонансных пиков, сохраняется и на поверхности грунтового массива. Сравнивая спектральные амплитуды пиков, полученных в различных точках на поверхности грунтовых ГТС, можно по возрастанию этих значений определить участки рыхлого сложения.

Таким образом, амплитуды вибраций, зарегистрированных на поверхности грунтовых ГТС, не могут характеризовать вибрационные процессы, идущие непосредственно в гидроагрегатах, однако, помогают выделить в насыпном массиве ослабленные участки.

¹ Геофизик, ООО «НПЦ ГЕОТЕХ»

ИСПЫТАНИЯ ГАЛЕЧНИКОВОГО ГРУНТА В ВАКУУМНОМ СТАБИЛОМЕТРЕ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

А.С. Бестужева¹

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовых плотин при сейсмических воздействиях связано с тремя основными этапами постановки задачи: выбор расчетной модели, определение физико-механических свойств грунтов применительно к используемой модели, интерпретация полученных результатов и их сопоставление с данными натурных наблюдений, результатами расчетов по альтернативным методикам. В исследованиях НДС грунтовых плотин большую роль имеет технология, продолжительность, последовательность строительства и наполнения водохранилища, поскольку 90 % осадок и смещений плотины протекают во время строительства. Одной из наиболее разработанных и совершенных моделей отечественной гидротехники является модель грунта профессора Л.Н. Рассказова, построенная на «энергетическом» условии прочности, нашедшая широкое применение при обосновании проектов строительства и реконструкции грунтовых плотин в нашей стране и за рубежом. Модель относится к классу моделей с упрочнением (HS), что отражается в изменении характеристик модели в зависимости от прочностного и напряженно-деформированного состояния грунта в каждом расчетном элементе плотины в расчетный момент времени. Важный параметр сходимости итерационного процесса обеспечивается использованием алгоритма, построенного на совместном решении уравнений метода конечных элементов (МКЭ) с уравнениями метода локальных вариаций (МЛВ), при этом для поиска истинных перемещений, согласно принципу Лагранжа, производится минимизация приращений энергии деформирования грунта на шаге приращения нагрузки.

Все инкрементальные модели, к которым относится и модель Рассказова Л.Н., и модель Зарецкого Ю.К., построенные на законах деформирования твердого тела и механики сплошной среды, тем не менее являются феноменологическими моделями, использующими экспериментальные зависимости, описываемые своими специфическими характеристиками. Определение физико-механических характеристик грунта, применительно к расчетам с использованием «энергетической» модели основывается на проведении серии экспериментов в приборе трехосного сжатия в два этапа, сначала в условиях всестороннего сжатия с увеличивающимся гидростатическим давлением, затем по стандартной методике ($\lambda_\sigma = -1$) с доведением образца до разрушения на траектории осевого нагружения ($\Theta_\sigma = 0,33$).

Для экспериментального изучения деформируемости и прочности крупнозернистого грунта сконструирован вакуумный стабилометр с размером рабочей камеры 300×600мм, в котором проводятся экспериментальные исследования грунта в условиях трехосного сжатия. Использование вакуумного стабилометра позволяет исследовать анизотропные свойства галечникового грунта, проявляющиеся в различии модулей деформации грунта по направлению. Конструкция прибора позволяет его располагать на виброплатформе с горизонтальными и вертикальными колебаниями. Деформации грунта по окончании этапа динамического нагружения определяют величину динамического модуля деформации. Использование прибора в условиях

¹ Канд. техн. наук, доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

осевого нагружения с доведением образца до разрушения позволяет получить прочностные характеристики крупнозернистого грунта. Мобильная конструкция вакуумного стабилометра удобна для исследований грунта непосредственно на стройплощадке.

Экспериментальные исследования деформируемости галечникового грунта с размером фракций до 60мм позволили разработать методику экспериментальных работ при статических и динамических нагрузках. Такие эксперименты, проведенные с достаточным числом повторов, позволяют получить достоверную информацию по физико-механическим характеристикам грунтов, что очень важно при численном моделировании напряженно-деформированного состояния грунтовой плотины при землетрясении.

РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИОРИТЕТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ВЫСОКИХ ПЛОТИН ГЭС

О.П. Минаев¹

Возведение высоких грунтовых плотин ГЭС является очень важной хозяйственной задачей. Наиболее экономичным и экологически оправданным является строительство таких плотин в узких горных каньонах, что не приводит к затоплению больших равнинных территорий в большинстве случаев плодородных земель. Не случайно, что самая высокая в мире грунтовая плотина Нурекской ГЭС высотой 304 м, спроектированная и возведённая российскими специалистами-гидротехниками, построена именно в таком месте.

Как правило, горные районы в Дагестане (Россия), Таджикистане, Киргизии и других странах СНГ расположены в зонах очень высокой сейсмичности (9 баллов и более), что требует более высокой надёжности и безопасности работы гидротехнических сооружений. К настоящему времени Нурекская ГЭС успешно перенесла 25 (данные на 2015 г.) землетрясений без существенных повреждений.

Одним из главных факторов при проектировании и эксплуатации грунтовой плотины является плотность укладки материала плотины, определяющая деформационные характеристики как материала плотины, так и всего сооружения в целом, в том числе при сейсмических воздействиях. Возведение грунтовых плотин в горных районах осуществляется из местных материалов, как правило, крупнообломочных грунтов.

Российскими учёными в области гидротехнического строительства, динамики и сеймики грунтов, вибрационной техники и технологий разработан комплекс оборудования мирового уровня для динамического уплотнения и контроля качества грунтов при возведении высоких плотин ГЭС в узких каньонах в сейсмоопасных районах строительства. Данный комплекс включает тяжёлый вибрационный каток К-701ВК, производимый на Кировском заводе в Санкт-Петербурге, и двухмассовые тяжёлые трамбовки на базе самоходной крановой установки.

Разработанный тяжёлый вибрационный каток К-701М-ВК широко использовался для уплотнения гравийно-галечниковых и супесчано-щебенистых грунтов на строительстве Ирганайской плотины в России.

Применение двухмассовых тяжёлых трамбовок для уплотнения грунтов на строительстве высоких плотин позволяет решить ряд задач по их эффективному возведению, главной из которых, безусловно, является уплотнение зон примыкания плотины к бортам каньона. В этом случае использование крановой самоходной установки с тяжёлой двухмассовой трамбовкой, при работе на максимальном расстоянии вылета стрелы от бортов каньона позволит исключить необходимость уменьшения их крутизны или предварительного бетонирования и обеспечит качественное и дешёвое сопряжение тела плотины и бортов каньона. Применение для этих целей виброкатков труднодоступно и очень опасно.

Кроме того, применение тяжёлой трамбовки открывает возможности для более точного и простого определения плотности гравийно-галечниковых грунтов в теле грунтовых плотин из гравийно-галечниковых грунтов по величине «контрольного отказа» основания.

В связи с Программой «технического суверенитета» и «технологического прогресса» в России, комплекс отечественных уплотняющих машин, включающий тяжёлые двухмассовые трамбовки на самоходной крановой установке и самые тяжёлые вибрационные катки марки К-701М-ВК, рекомендуется использовать на строительстве крупных плотин из грунтовых материалов в Дагестане (Россия), а также в Таджикистане, Киргизии и других странах СНГ, проектируемых и реализуемых российскими специалистами-гидротехниками для энергообеспечения стран СНГ и продажи конкурентноспособной электроэнергии за рубеж.

¹ Канд. техн. наук, соискатель-докторант, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

О БЕЗОПАСНОМ РАССТОЯНИИ ОТ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДВУХМАССОВОЙ ТРАМБОВКИ НА ПОДПОРНУЮ СТЕНКУ

О.П. Минаев¹

Воздействие тяжёлых грузов, сбрасываемых с большой высоты, все более качественно изменяет характер их воздействия на грунтовое основание от местных пластических деформаций трамбования до образования интенсивных ударных волн деформаций в уплотняемом грунтовом массиве значительного объёма (до 1000 м³ и более). Это уже не трамбовка, а некий «массовый ударник»*, волны деформаций от воздействия которого распространяются от места воздействия в грунтах основания на значительные расстояния.

Впервые в нашей стране метод динамического уплотнения водонасыщенных грунтов мощной толщ (до 10 м) был применён на строительстве Загорской ГАЭС при подготовке основания дамбы верхнего бассейна, который выявил недостатки применения этого метода без учёта интенсивности динамического воздействия на уже существующие сооружения.

Кроме того, в настоящее время в мире повсеместно используются одномассовые трамбовки с круглым или многоугольным нижним основанием, обычно диаметром 2–3 м, которые имеют существенные недостатки.

Автором предложена принципиально новая конструкция трамбовки. Данная тяжёлая трамбовка состоит из двух ударных масс, последовательно взаимодействующих с грунтом основания с заданным интервалом времени.

Первое теоретическое обоснование воздействия динамического уплотнения грунтов тяжёлой трамбовкой на подпорную стенку было выполнено проф. Зарецким Ю.К. при выдаче экспертного заключения по аварии на строительстве Загорской ГАЭС. Результаты этого исследования не были опубликованы.

В настоящее время основополагающие зависимости для построения эпюры давления грунта при послойном уплотнении песчаных и крупнообломочных грунтов обратной засыпки катками рекомендуется принимать в соответствии с действующим нормативным документом по проектированию подпорных сооружений.

Применительно к уплотнению грунтов двухмассовой трамбовкой ординаты $e_{h,d}$ эпюры бокового давления уплотнения на подпорную стенку должны определяться по зависимости

$$e_{h,d} = \sqrt{\frac{2P_d\gamma'}{\pi}},$$

где P_d – динамическая нагрузка от воздействия двухмассовой трамбовки на один погонный метр диаметра трамбовки или её части, кН/м; γ' – эффективный удельный вес грунта обратной засыпки, кН/м³.

* Термин «массовый ударник» был впервые в мировой практике введен автором (по одобрению академика РАН Юрия Сергеевича Васильева) взамен традиционно признанного названия «тяжёлые» и «сверхтяжёлые трамбовки», его принципиальное разъяснение дано в тексте.

¹ Канд. техн. наук, соискатель-докторант, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

Не останавливаясь на выявлении недостатков этой методики, автор использовал данные зависимости для оценки возможности применения тяжёлых двухмассовых трамбовок для уплотнения песчаных грунтов обратной засыпки при проектировании подпорных стенок в сейсмоопасных районах строительства.

При этом значение динамической нагрузки P_0 от воздействия двухмассовой трамбовки на один погонный метр диаметра трамбовки должно определяться соотношением QH/F , где Q – вес трамбовки или её ударной части, кН; H – высота сбрасывания трамбовки; F – площадь основания трамбовки или её части.

Результаты расчётов показали, что, с одной стороны, ординаты $e_{h,d}$ эпюры бокового давления грунта при динамическом воздействии двухмассовой тяжёлой трамбовки превышают значения ординат $e_{h,a}^c$ эпюры бокового давления при эксплуатационной нагрузке. С другой стороны, ординаты $e_{h,a}^c$ эпюры бокового давления при сейсмической нагрузке превышают значения ординат $e_{h,d}$ эпюры бокового давления грунта при динамическом воздействии двухмассовой тяжёлой трамбовки. При этом представляется, что по значению максимальной ординаты $e_{h,a}^c$ давления грунта на глубине h при сейсмической нагрузке может быть произведён подбор предельных параметров веса и высоты сбрасывания трамбовки.

Применение двухмассовых трамбовок общим весом $2Q$, отдельные ударные части которых весом Q взаимодействуют с грунтом основания с заданным интервалом Δt времени, будет способствовать снижению динамического давления при заданном общем весе двухмассовой трамбовки, равной весу традиционной одномассовой трамбовки.

НАМЫВ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЦИКЛОНА

Д.М. Федоров¹, М.А. Колосов²

Представленный доклад дает технологию интенсивного намыва береговых территорий полученным грунтом со дна водоемов или водонасыщенных карьеров.

Намывные площади используют в портовом строительстве, городском хозяйстве для создания новых территорий.

Практика строительства новых площадок показала, что есть два основных способа:

Насыпные грунты для создания новых территорий в акватории, грунт привозят с карьеров. Недостатками данного способа является многочисленные факторы, такие как загрязнение акватории, нарушение биологической сферы, вскрытие новых территорий образованием карьерных выемок.

Намывные грунты для создания новых территорий в акватории, водогрунтовую смесь земснаряд добывает из русла реки или карьера. Недостатками данного способа является то, что существующая техника не может передавать густую водонасыщенную смесь с высокой концентрацией. В настоящее время при разработке землесосами концентрацию водонасыщенной смеси составляет (20–25 %-твердого и 75–80 %-жидкого), что в свою очередь не дает возможность быстрого возведения намывных территорий.

С целью эффективного намыва территорий и сооружений предлагается включить в систему гидротранспорта установку, снижающую содержание воды в укладываемых грунтах. Наиболее рациональным и технологическим совершенным является применение установки гидроциклона, которое позволяет увеличить концентрацию до 80–90 %.

Технологическая схема включает в себя следующие элементы:

1. Землесосный снаряд с рефулером и якорной системой.

2. Гидроциклон установлен на концевом понтоне рефулера или на специально подвижной платформе.

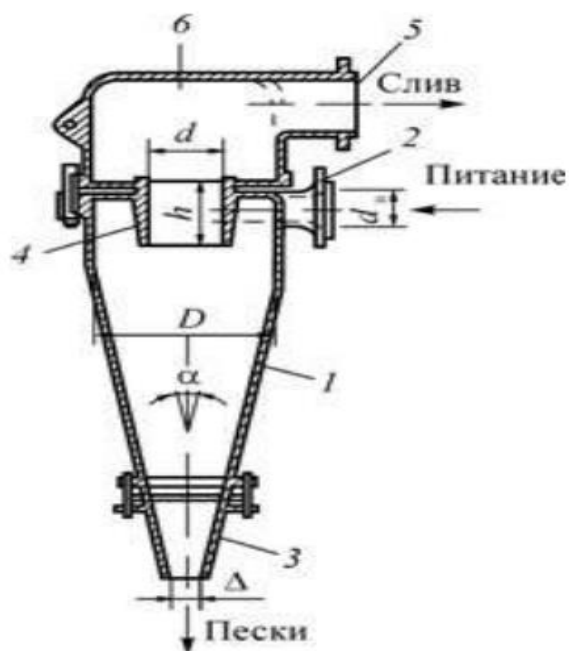
Принцип работы гидроциклона – водогрунтовая смесь подается в гидроциклон под давлением через питающий патрубок 2, установленный тангенциально непосредственно под крышкой аппарата. При подаче водогрунтовой смеси в гидроциклон идет процесс выделения твердых фракций (песок). Пески разгружаются через песковый патрубок 3, а слив воды – через сливной патрубок 4, расположенный в центре крышки и соединенный со сливной трубой 5 непосредственно или через сливную камеру 6. Возникающая при вращении пульпы благодаря тангенциальной подаче питания центробежная сила выводит частицы из потока к наружной стенке циклона. Поскольку радиальная составляющая скорости частиц пропорциональна их крупности, то более крупные и более тяжелые частицы успевают выйти из потока, а мелкие, в основной своей массе выносятся восходящим потоком через сливной патрубок. В результате крупная фракция частиц выгружается через песковую насадку 3.

Поверхностный закрученный поток с мелкими частицами поступают через сливную трубу 5. и сливает их в акваторию в не зоны намыва по гибкому водоводу. Основной поток пульпы

¹ Аспирант, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

² Доктор техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

крупнозернистых песков с содержанием (80–95%) сливается через песковой патрубок 3. и поступает по направляющему пульповоду в намывное сооружение (рисунок).



Цилиндрикоконический гидроциклон

1 – корпус; 2 – питающий патрубок; 3 – песковый патрубок; 4 – сливной патрубок;
5 – сливная труба; 6 – сливная камера

Практика использования существующей системы гидроциклона в горной промышленности позволяет нам рекомендовать применение установки гидроциклона, для возведения и строительства сооружений морского и речного транспорта.

УЧЕТ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Ф.Ф. Аптикаев¹

Известно, что на рыхлых грунтах повреждения строений намного больше, чем на скальных. Вплоть до настоящего времени считается, что повреждения сооружений вызываются инерционными силами. Поэтому приращение сейсмической интенсивности связывают только с изменениями амплитуды ускорения.

В инженерном диапазоне сейсмической интенсивности (7–9 баллов) автором выделены три зоны с различными зависимостями параметров колебаний от механизма очага, расстояния и грунтовых условий. В первой зоне – разломной амплитуды ускорения зависят от механизма очага и не зависят от грунтовых условий. В соседней, ближней, зоне ускорения не зависят ни от механизма очага, ни от грунтовых условий. Многие авторы у нас и за рубежом отмечают одинаковый уровень амплитуд ускорений на скальных и рыхлых грунтах вблизи разлома, несмотря на различный сейсмический эффект. Возникает парадокс: грунтовые условия влияют на значение сейсмической интенсивности, но в то же время они не влияют на амплитуды сейсмических колебаний, по значению которых оценивается интенсивность.

Это противоречие может быть объяснено, если связать изменение сейсмического эффекта с изменением несущей способности грунтов. При обследовании последствий сильных землетрясений отмечались случаи, когда здания, оставаясь практически неповрежденными, проседали в грунт, испытывая еще и наклоны. Как правило, полагают, что основной фактор, снижающий несущую способность грунта, – это разжижение. Установлено, что разжижение грунтов не единственная причина подобных просадок. Широко используется метод вибропогружения свай. Зарубежными учеными установлено, что при сильных колебаниях в вертикальной плоскости несколько изменяется прочность на срез в горизонтальной плоскости для грунтов 3-ей категории, то есть несущая способность грунтов.

В дальней зоне влияние грунтовых условий на амплитуды колебаний неоспоримо. Однако, как показывает анализ эмпирических данных, от свойств грунтов зависит и другой параметр движений грунта при землетрясениях – продолжительность колебаний. Этот фактор влияет на сейсмическую интенсивность в такой же степени, как и амплитуда ускорения.

Поскольку в инструментальных шкалах оценки сейсмической интенсивности по амплитудам ускорений, скоростей и смещений в общем случае различаются, значения сейсмической интенсивности следует связывать не только с амплитудой и продолжительностью колебаний, но и со спектральным составом.

При оценке сейсмической опасности необходимо разработать новые правила расчета приращения сейсмической интенсивности. При технической мелиорации грунтов следует улучшать их физико-механические характеристики, определяющие несущую способность грунтов. Для гидротехнических сооружений, по определению контактирующих с крупными водоемами, проблема оценки несущей способности грунтов имеет первостепенное значение.

¹ Доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

ВЛИЯНИЕ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ НА НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

Н.А. Анискин¹, А.В. Ступивцев²

Задачи, связанные с неустановившейся фильтрацией, часто встречаются при решении гидротехнических задач, таких как наполнение и сработка водохранилища, возведение намывных плотин, а также работа гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). Статистические данные показывают, что после перелива через гребень основным фактором аварий на грунтовых плотинах являются фильтрационные деформации и появление сосредоточенной фильтрации в теле плотины.

Снижение уровня воды перед плотиной приводит к изменению фильтрационных процессов в грунтовом сооружении, включая изменение положения депрессионной поверхности, величины и направления фильтрационных потоков. Эти изменения ослабляют удерживающие нагрузки, что снижает устойчивость откоса плотины. Сработка водохранилища увеличивает фильтрационные градиенты, что может вызвать деформации грунта и откоса. В практике гидротехники известны случаи аварий, вызванные понижением уровня воды в водохранилищах. Степень изменения устойчивости сооружения и фильтрационного режима зависят от таких факторов, как проницаемость грунтов, скорость сработки и угол заложения откоса.

В работе рассматривается процесс неустановившейся фильтрации в однородной грунтовой плотине, при этом основной упор делается на скорость сработки водохранилища как ключевой фактор влияния. С помощью численного метода конечных элементов и программного комплекса PLAXIS 2D были проведены исследования для определения параметров фильтрационного потока в различных условиях. В ходе работы были получены значения максимальных фильтрационных градиентов вблизи верхового откоса, а также коэффициенты устойчивости грунтовой плотины при различных показателях проницаемости грунта и скоростях сработки водохранилища. Результаты показали, что максимальные фильтрационные градиенты возникают на выходе фильтрационного потока в районе верхового откоса на разных стадиях сработки в зависимости от её скорости и проницаемости грунта. Величины этих градиентов достаточно значительны, что указывает на необходимость проведения мероприятий по предотвращению фильтрационных деформаций.

Минимальные значения коэффициентов устойчивости верхового откоса при сработке возникают при определенном уровне водохранилища в зависимости от проницаемости грунта плотины и скорости сработки.

Важно рассматривать весь период сработки водохранилища, чтобы определить момент, при котором достигаются максимальные значения фильтрационных градиентов и минимальные коэффициенты устойчивости откосов плотины.

¹ Доктор техн. наук, профессор, НИУ МГСУ

² Аспирант, НИУ МГСУ

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДЕГРАДАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА ПРИМЕРЕ СООРУЖЕНИЯ ШТАБЕЛЕЙ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Н.А. Анискин¹, С.А. Сергеев², И.А. Боков³

В докладе представлены результаты решения нестационарной температурной задачи и задачи по определению напряженно-деформированного состояния грунтового массива, представляющего собой насыпное сооружение из штабелей, используемых для добычи золота из руды путем кучного цианидного выщелачивания. В процессе орошения штабелей подогретым раствором цианида происходит, разогрев массива грунта и основания, что приводит к образованию зоны оттаявшей мерзлоты или так называемого талика. В результате численного решения нестационарной температурной задачи с учетом поэтапного возведения грунтового массива, воздействия температуры воздуха и орошающего раствора получено распределение температуры в массиве и основании на период с начала возведения массива до 50-летнего периода после окончания строительства. Для наиболее опасного момента окончания возведения, когда зона оттаивания грунта максимальна, дана оценка устойчивости откоса совместно с основанием с использованием их напряженно-деформированного состояния. Задачи решены численным методом конечных элементов с использованием программного комплекса PLAXIS.

¹ Доктор техн. наук, профессор, директор ИГЭС, НИУ МГСУ

² Канд. техн. наук, доцент кафедры ГиГС, Заместитель директора ИГЭС по науке, НИУ МГСУ

³ Аспирант 1 курса кафедры ГиГС НИУ МГСУ, инженер НОЦ «ГЕОТЕХНИКА» им. З.Г. Тер-Мартirosяна, НИУ МГСУ

СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ И ПОДЪЕМ ФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ИНЪЕЦИРОВАНИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ СМОЛЫ

В.А. Черненко¹

Стабилизация грунтового основания и подъем фундаментных конструкций методом инъецирования расширяющейся полиуретановой смолы.

Технология укрепления, стабилизации грунтов и оснований и приведения конструкций фундаментов в проектное положение MC-Montan Injekt LE построена на базе управляемого гидроразрыва.

Представленная технология является технологией стабилизации грунта методом смолизации, что соответствует действующим положениям СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений и СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011 Освоение подземного пространства. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве.

Данная технология заключается в создании в грунте связанной сети армирующих ламелей, которая образует матрицу в грунте. Причем в процессе создания этой сети материал, образующий ламели, расширяется в грунте, создавая уплотнения в образуемых ячейках грунта. Ячейки грунта окружены ламелями из легкого и высоко прочного материала, имеющего закрытую пористость.

Данная технология позволяет производить укрепления грунта за счет сильнейшей реакции расширения в грунте в 10-30 раз под давлением. Во время инъекции контролируется скорость, давление и объем подачи материала. При этом сначала небольшая часть материала проникает в грунт в течение времени жизни материала, а большая часть смолы сильно вспенивается (расширяется), раздвигая окружающую часть грунта. Следующие порции материала работают в условиях обжата уже прореагированного материала. Расширение приводит к образованию контролируемых гидроразрывов в грунте. Это позволяет точно контролировать степень уплотнения грунта и достичь максимальной эффективности с минимальными затратами.

В ходе химической реакции материала MC-Montan Injekt LE протекающей с его вспениванием грунт раздвигается и уплотняется, происходит перераспределение нагрузки на окружающий грунт и несущее основание и формирование структуры с постоянной несущей способностью.

За счет быстрой реакции (около 30 секунд) материал не покидает «полезный объем инъецирования» и поэтому укрепление производится именно там, где это запланировано, а при пересечении грунтов с разными физико-механическими свойствами уплотнение выполняется с контролем давления, объема и расхода так, что после инъекции образуется армированный грунт с заданной степенью уплотнения.

MC-Montan Injekt LE не имеет усадки, поэтому после инъекции не происходит релаксации.

Реакция протекает вне зависимости от наличия влаги в грунте. При пересечении каналов фильтрации материал поступает в канал фильтрации по наименьшему сопротивлению, вспениваясь, блокирует его. Данный факт регистрируется оборудованием по замеру давления, расхода и объема.

Химическая реакция начинается в сопле подающего оборудования, тип грунта и степень его водонасыщенности не оказывают влияния на протекание реакции. Уже сформированное инъекционное тело стабильно и не вступает в реакции с грунтами или грунтовыми водами.

Технология не требует технологического перерыва на набор прочности.

¹ ООО «Эм-Си Баухеми»

УСИЛЕНИЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПРИ ПОМОЩИ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ ЭКСПАНСИВНОГО ПОЛИУРЕТАНА МАРКИ «МС-MONTAN INJEKT LE»

А.В. Коняшин¹

В настоящее время в границах Октябрьской дирекции инфраструктуры РЖД состоит на учёте как неустойчивый и деформирующийся 141 участок земляного полотна. 119 участков состоят на учёте по причине сплывов и осадок.

На текущий момент основными работами по ремонту земляного полотна является устройство контрбанкета. Стоит отметить, что в рамках текущего ремонта проводятся работы с нарушением требований, таких как срезка обочины, с увеличением крутизны откосов, выгрузка засорителей на обочину земляного полотна, недостаточное плечо балластной призмы, все производится своими же руками. Соответственно, данные действия приводят к возникновению деформаций земляного полотна.

Для тестирования новой технологии усиления грунтового основания выбран участок, требующий усиления длиной 32 метра, располагающийся с 17 км ПК 1+65 м – 17 км ПК 1 Шоссейная – Александровская. Выявленной причиной деформации земляного полотна на данном участке является оползание откосов насыпи - отслоение откосной части насыпи с захватом основной площадки до оси пути и смещение ее к подошве откоса, с захватом основания насыпи.

Для усиления земляного полотна на данном участке разработаны Программа и методика эксплуатационных и приёмочных испытаний (ПМИ), которые утверждены заместителем начальника Управления пути и сооружений (по искусственным сооружениям) Центральной дирекции инфраструктуры Еськовым Д.В. от 4 ноября 2023 г. № ЦДИ-4486.

В соответствии с разработанными ПМИ, на участке Шоссейная – Александровская 17 км ПК 1 выполнено усиление земляного полотна по технологии ООО «ЭМ-СИ Баухеми». По результатам мониторинга, проведенного после выполнения усиления земляного полотна со связыванием щебеночной призмы на на 17 км ПК 1 перегона (17 км ПК 1+65 м по 17 км ПК 1+97 м) Шоссейная – Александровская в границах Санкт-Петербург-Балтийской дистанции пути установлено, что суммарные просадки за весь период наблюдения (6 мес.), с учетом переменных погодных условий (зимне-весенний период) составили: 19-25 мм, что говорит об отличном результате по остановке просадок, в сравнении с периодом мониторинга, проведенного до выполнения инъектирования. Необходимо отметить, что просадки до выполнения работ по усилению составляли 10 мм в день.

¹ Руководитель отдела направления ИПС,
ООО «Эм-Си Баухеми»

Секция

Гидротехника для ТЭС, АЭС и промышленных предприятий

ПРОБЛЕМА БИООБРАСТАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЯНЬВАНЬСКОЙ АЭС

С.В. Антипина¹

Биообрастание представляет собой одну из существенных проблем для систем технического водоснабжения и теплообменного оборудования на атомных электростанциях. Этот процесс заключается в образовании биологических пленок и скоплений микроорганизмов на поверхностях элементов системы, что может вызывать серьезные эксплуатационные проблемы. К ним относятся снижение эффективности теплопередачи, увеличение сопротивления потоку воды, повреждение элементов системы и необходимость проведения частых очисток и ремонтов. В результате биообрастание может приводить к повышению эксплуатационных расходов, снижению мощности энергоблоков и увеличению времени простоя оборудования.

Тяньваньская АЭС, расположенная на восточном побережье Китая, является одной из крупнейших в стране. Она включает шесть действующих энергоблоков, а также два энергоблока, находящиеся в стадии строительства. Система охлаждения в проекте принята прямоточная, с однократной циркуляцией морской воды через теплообменное оборудование промежуточного контура, что делает её особенно уязвимой к различным видам загрязнений, включая биообрастание. Морская вода, используемая для охлаждения на первом и втором блоках Тяньваньской АЭС, проходит через систему ответственных потребителей (РЕ) без значительной предварительной обработки, что способствует накоплению биологических отложений.

Основными факторами, влияющими на интенсивность биообрастания в системах технического водоснабжения, являются температура воды, её химический состав, скорость потока и материал трубопроводов. В морской воде, используемой для охлаждения на Тяньваньской АЭС, содержится большое количество органических и неорганических примесей, которые создают благоприятные условия для роста микроорганизмов. Температура воды достигает 33 °С, что также способствует ускоренному развитию биопленок. В совокупности эти факторы ведут к значительному накоплению отложений на внутренних поверхностях оборудования.

В ходе эксплуатации первого и второго энергоблоков Тяньваньской АЭС неоднократно фиксировались случаи частичного или полного загрязнения (рисунок) теплообменников системы промконтура охлаждения ответственных потребителей (КАА). Также была обнаружена проблема накопления биологических и илистых отложений в подводных закрытых туннелях и камерах насосной станции. В некоторых случаях толщина отложений достигала одного метра. Перечисленные проблемы привели к снижению эффективности работы системы охлаждения, увеличению времени простоя оборудования для его очистки и ремонта.

Проанализировав данные по эксплуатации первого и второго блока Тяньваньской АЭС на примере системы ответственных потребителей (РЕ), предполагаем, что одна из причин интенсивного биообрастания оборудования является неоптимальная схема обработки морской воды, обусловленная количеством и местом ввода реагентов. Для снижения негативных последствий от биообрастания необходимо откорректировать режимы вводимого в воду биоцида, обеспечивая достаточную концентрацию активных веществ для предотвращения развития биопленок на оборудовании в насосной станции. Необходимо предусмотреть точки ввода данных реагентов непосредственно перед гидромеханическим оборудованием в насосной станции. Установить контроль остаточного хлора на сбросе в насосной станции ответственных потребителей.

¹ Инженер-проектировщик 1 категории, АО «Атомэнергопроект»



Загрязнения теплообменников системы промконтура охлаждения ответственных потребителей (КАА)

Для предотвращения сильного заиливания насосной станции для строящихся блоков Тяньваньской АЭС были разработаны решения по ее перекомпоновке. В проекте предусмотрено такое количество плоских затворов, чтобы каждое помещение здания UQV, кроме сбросной камеры, могло быть изолировано и осушено для очистки от иловых отложений и ремонта оборудования. В каждом помещении должны быть проемы для спуска персонала и более широкие проемы для удаления отложений и монтажа оборудования, а также, при необходимости, опускания персонала в водолазных костюмах. Люк для водолаза также можно использовать для осмотра и измерения уровня ила.

На установке самопромывающихся фильтров на трубопроводах системы технической воды для ответственных потребителей (РЕВ) также необходимо сократить количество ремонтов и очистки теплообменного оборудования.

Биообрастание элементов системы технического водоснабжения является серьезной проблемой для Тяньваньской АЭС, влияющей на эффективность работы станции и увеличивающей эксплуатационные затраты. Необходимы меры по улучшению системы химической обработки и регулярного мониторинга состояния оборудования, чтобы минимизировать риски, связанные с биообрастанием. Внедрение более эффективных методов борьбы с биообрастанием позволит обеспечить стабильную и безопасную работу АЭС в долгосрочной перспективе.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ САХАЛИНЭНЕРГО

П.Г. Яковлев¹

Осуществляя правовое регулирование в области обращения с отходами, Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» устанавливает основные принципы государственной политики в области обращения с отходами, одним из которых является использование методов экономического регулирования деятельности в области обращения с отходами в целях уменьшения количества отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот.

В июне 2022 г. Президентом РФ был утвержден перечень поручений Правительству РФ, направленных на развитие перспективной минерально-сырьевой базы, в числе которых значится разработка и реализация комплекса первоочередных мероприятий, предусматривающих в том числе вовлечение в промышленный оборот золошлаковых материалов (ЗШО), образующихся на тепловых электростанциях.

Согласно энергетической стратегии РФ к 2035 г. доля утилизации ЗШО в стране должна вырасти с 12 до 50 %. Продукция переработки сегодня успешно используется при производстве стройматериалов, в дорожном строительстве. Однако пока что такие проекты реализуются лишь точечно и в небольших объемах. Одна из причин – косность рынка и мифы среди потребителей о неэкологичности и вреде продукта.

В целом в стране, по данным Росприроднадзора, образуется более 26 млн. т. ЗШО, из которых около 88 % просто складировается в золоотвалах, занимающих громадные площади земель, которые могли бы использоваться более эффективно.

По оценке экспертов, увеличение объемов утилизации ЗШО позволит оставить в обороте примерно 3 тыс. га участков, а экономический эффект с учетом использования золы в циклической экономике может составить 113,5 млрд. руб. Одна из тактических задач этого направления работы – снижение негативного воздействия на окружающую среду действующих объектов генерации.

Технологии по переработке и утилизации золы существуют и активно применяются в мировой практике: в Европе в переработку идет 98% ЗШО, в Японии – 96 %, в Китае – 80 %, в России – примерно 10 %.

На сегодняшний день на объектах хранения отходов электростанций ПАО «Сахалинэнерго» размещено порядка 9 млн. т. ЗШО, а ежегодное образование сухой золы-уноса составляет около 100 тыс. т. Разработана техническая документация для легитимного признания золы в качестве попутной товарной продукции от сжигания угля. Среднегодовая реализация такой товарной продукции для потребителей составляет до 40 тыс. т. или 40 % ежегодного объема образования.

ЗШО – это минеральная, не сгорающая часть угля, которая не представляет совершенно никакой опасности ни с точки зрения радиоактивности, ни с точки зрения токсичности. По степени опасности золошлаки не превосходят обычные бытовые отходы, которые в гораздо больших количествах складировются по всему миру.

¹ Первый заместитель Генерального директора - главный инженер, ПАО «Сахалинэнерго»

Для борьбы с заблуждениями необходимо использовать не только просветительские меры, но и государственное регулирование. В частности, предусмотреть возможность введения со стороны государства правила о приоритетном рассмотрении в рамках госзаказа проектов, в которых будет предусмотрено использование материалов с золошлаками. Очевидно, что если этот материал будет признан «зеленым», его начнут более активно использовать и строители в собственных проектах. Также в качестве государственных мер может быть использовано снижение ставки по ипотеке для домов, построенных с применением экологичных материалов.

На территории Сахалинской области существуют все условия для вовлечения продуктов сжигания твёрдого топлива в хозяйственный оборот. Одним из важных направлений является широкое информирование об успешных кейсах использования ЗШО в различных отраслях экономики, в том числе на официальных государственных информационных ресурсах.

ПАО «Сахалинэнерго» постоянно работает над поиском рынка сбыта своей продукции. Больше всего в компании рассчитывают на сотрудничество с представителями строительной и дорожной отраслей.

С учётом изложенного и принимая во внимание важность достижения целевых значений по утилизации ЗШО, определенных энергетической стратегией России на период до 2035 г., повышения инвестиционной привлекательности для инвесторов, учитывающих экологическую повестку и рейтинги ESG, целесообразно было бы создать переговорную площадку, которая даст возможность объединить в едином информационном пространстве представителей бизнеса, научных институтов, экспертов и других заинтересованных лиц для обсуждения и принятия оптимальных решений по использованию золошлаковых материалов при производстве продукции.

УНИКАЛЬНЫЙ ОПЫТ ПЕРЕВОДА УГТЭС НА ССЗШУ-100

А.И. Калачёв¹

В докладе описывается уникальный для угольной генерации РФ опыт разработки ОТР и ОБИН по переводу Угольной ТЭС (УГТЭС) на Систему Сухого ЗолошлакоУдаления-100 (ССЗШУ) (ориентирована на 100 % утилизацию ЗШП) конкретной УГТЭС в РФ.

Дано краткое описание объекта Западно-Сибирской ТЭЦ.

Описаны обстоятельства и стимулы Заказчика на данную работу.

Приведена концепция, разработанная консорциумом «Феникс» по ССЗШУ-100. Даются «Принципы ССЗШУ-100».

Описан этап «Исследование потребительских свойств ЗШП ЗС ТЭЦ».

Описан этап «Исследование рынка сбыта ЗШП ЗС ТЭЦ».

Описан этап «ОТР ССЗШУ-100 ЗС ТЭЦ».

Описан этап «ОБИН на ССЗШУ-1002».

Выводы: В докладе даются общие выводы по проблематике экологической модернизации угольной генерации РФ как основного мирового тренда повышения её энергетической и экономической эффективности и экологической безопасности.

¹ Генеральный директор ООО «ПЦВ», Член НТС РПН РФ, Эксперт Комитета по энергетике ГД РФ

ПРОБЛЕМЫ ВОВЛЕЧЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ И СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ В ПРОЦЕСС ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ВО ВТОРИЧНЫЙ ОБОРОТ НА ПРИМЕРЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНА ПО УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ V КЛАССА ОПАСНОСТИ ФИЛИАЛА ПАО «МАГАДАНЭНЕРГО» – МАГАДАНСКАЯ ТЭЦ

В.Х. Холикулов¹

В России действуют 172 ТЭС на угольном топливе, ежегодно потребляющих свыше 65 млн.т угольного топлива. В золошлакоотвалах РФ, общей площадью 28 тыс. га, накоплено свыше 1,3 млрд.т золошлаковых отходов. Ежегодно образуется порядка 18 млн.т, при этом используется менее 32 % от общего объема. С каждым годом работы тепловых электростанций увеличивается количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот.

Филиал ПАО «Магаданэнерго» Магаданская ТЭЦ представляет собой тепловую электростанцию (теплоэлектроцентраль) с комбинированной выработкой электроэнергии и тепла. Установленная мощность электростанции – 96 МВт (в том числе дизельной части – 21 МВт), установленная тепловая мощность – 563,8 Гкал/час. Золошлакоотвал двухсекционный, косогорного типа, предназначен для складирования золошлакового материала (ЗШМ), поступающего с ТЭЦ.

Вывоз ЗШО из ЗШО-1 в ЗШО-2 выполняется с целью поддержания объема отстойного пруда в размерах, необходимых для достижения нужной степени осветления оборотной воды.

С целью принятия мер по расширению резервов свободного запаса для складирования ЗШМ, ПАО «Магаданэнерго» приняты решения о необходимости реконструкции ЗШО-2.

В разделе доклада «Основные проблемы при проектировании» представлены замечания ФАУ «Главгосэкспертиза» в отношении проекта реконструкции объекта капитального строительства (ЗШО-2), находящегося ранее в границах земель населенных пунктов.

Кратко изложены меры, принимаемые филиалом ПАО «Магаданэнерго» Магаданская ТЭЦ по вовлечению ЗШО в промышленный оборот в рамках реализации мероприятий комплексного плана. Представлены результаты по исследованию свойств золы Магаданской ТЭЦ и оценке её эффективности использования в составах бетона.

В рамках проводимой работы ПАО «Магаданэнерго» в вовлечении представителей промышленной и строительной отраслей отмечен ряд системных ограничений по применению ЗШМ:

1. Отсутствие в Магаданской области инвестиционных программ по вовлечению ЗШО в строительство, в том числе дорожное.

2. Отсутствие программного подхода обеспечением бюджетного финансирования в проведении научно-исследовательских работ в отношении вовлечения ЗШМ в строительство. В связи с существенными различиями ЗШМ по химическому составу возникают проблемы в формировании стандартизированного опыта применения.

¹ Начальник отдела организации эксплуатации зданий и сооружений ИА ПАО «Магаданэнерго»

3. Отсутствие действующих мер поддержки и стимулирования со стороны государства в отношении предприятий и организаций строительной отрасли, готовых к применению ЗШМ стабильного качества, а также в отношении предприятий, выпускающих строительные материалы с долей вторичных составов (ЗШМ).

4. Отсутствие в Магаданской области запланированных в целевых программах пилотных проектов строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства (в том числе линейных), рекультивации нарушенных земель с применением ЗШМ.

5. Отсутствие законодательных требований об обязательном рассмотрении в процессе разработки проектной документации использования ЗШО в составе основных материалов.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВОЗМОЖНОМУ СНЯТИЮ ОГРАНИЧЕНИЙ УСТАНОВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ПРИ РЕМОНТЕ (МОДЕРНИЗАЦИИ) СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В.И. Бельх¹

В докладе приводятся технические решения по возможному снятию ограничений установленной электрической мощности при ремонте (модернизации) систем технического водоснабжения. Рассматриваются следующие вопросы:

1. Влияние расхода охлаждающей воды через конденсаторы турбин на ограничение установленной мощности с анализом причин снижения расхода для ряда станций АО «ДГК» (КТЭЦ-2, АТЭЦ-1, РГРЭС, КТЭЦ-3, НГРЭС, ПаГРЭС, ВТЭЦ-2), в том числе:

- износ рабочих колес ЦН;
- загрязнение трубных пучков конденсаторов;
- отсутствие сифона на сливных водоводах конденсаторов из-за проблем с переполнением сифонных колодцев (КТЭЦ-2, АТЭЦ-1);
- повышение гидравлического сопротивления циркуляционного тракта оборотной схемы из-за загрязнения разводящей системы оросителей башенных градирен.

2. Технические решения по увеличению расхода охлаждающей воды через конденсаторы для снятия ограничений установленной мощности:

- замена ЦН (пример энергоблок № 1 НГРЭС);
- реконструкция ЦН с заменой рабочих колес на больший диаметр;
- очистка трубных пучков конденсаторов от органических загрязнителей методом сушки (без останова турбоагрегата);
- замена клиновых напорных задвижек на входе в конденсаторы на поворотные затворы;
- организация сифона на сливных участках конденсаторов повышением пропускной способности сбросных каналов сифонных колодцев (КТЭЦ-2, АТЭЦ-1);
- внедрение технического решения по предотвращению загрязнения разводящей системы оросителей башенных градирен на БГ 2600 ст. № 1 Комсомольской ТЭЦ-3.

¹ Ведущий инженер СЭТМО АО «ХЭТК»

УМЕНЬШЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ТЭЦ С ОБОРОТНОЙ СИСТЕМОЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И БАШЕННЫМИ ГРАДИРНЯМИ

Д.В. Чугунков¹, В.И. Масько²

Для увеличения выработки электроэнергии на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) Дальневосточного региона в отопительный сезон возникает необходимость повышения конденсационной выработки электроэнергии, что приводит к росту подачи циркуляционной воды на охлаждение в башенные градирни оборотных систем водоснабжения. При работе башенных градирен в зимний период их функциональные элементы, являющиеся самыми важными и дорогостоящими, подвергаются обледенению. В ряде случаев обрушение накопившихся ледяных масс из области устьев градирен приводит к разрушению оросителей, влагоуловителей, трубопроводов и форсунок водораспределительной системы и других элементов (рис. 1). В результате охлаждающая способность градирен уменьшается, что приводит к ограничениям электрической мощности ТЭЦ, особенно в летний период эксплуатации, когда требуется максимальная производительность градирен.

Серьёзная проблема ограничения электрической мощности стояла на Комсомольской ТЭЦ-3 из-за пониженной производительности градирен по причинам, описанным выше. Для решения данной проблемы в рамках НИОКТР АО «ДГК» в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» была разработана специальная система предотвращения льдообразования в устьях градирен (Патент РФ на изобретение №2820248), обеспечивающая исключение конденсации влаги на поверхностях устья башенной градирни и соответственно образование наледи.

Разработанная система обеспечивает измерение и анализ температуры наружного воздуха, в случае фиксации температуры наружного воздуха ниже 0 °С осуществляется подвод теплоты с помощью саморегулируемого электрического кабеля к устью башенной градирни по всему периметру внутренней и верхней поверхностей обрамления верхней её части, при этом количество подводимой теплоты регулируется в зависимости от температуры наружного воздуха.

Указанная система была внедрена на башенной градирне БГ-2600-70 №1 Комсомольской ТЭЦ-3 (рис. 2) с одновременным проведением её модернизации для восстановления производительности и охлаждающей способности, включающей установку: системы водораспределения (ВРС) с независимым распределением воды между центральной и периферийной зонами и применением разбрызгивающих устройств сопел, исключая засо-



Рис. 1. Разрушение оросителя из-за падения наледи

¹ Канд. техн. наук, доцент кафедры ТЭС, руководитель НПЦ «Энергетические и экологические технологии» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

² Начальник отдела планирования и анализа ТЭП АО «ДГК»

рение ВРС; износостойкого оросителя с повышенной охлаждающей способностью и водоулавливающего устройства из полимерных материалов, которые позволяют увеличить срок эксплуатации и надёжность работы; устройства регулирования подачи воздуха в окна градирни для плавного изменения объёма поступающего воздуха в градирню во всем диапазоне регулирования, равномерности и постоянства скорости воздушных потоков с исключением завихрений и др.

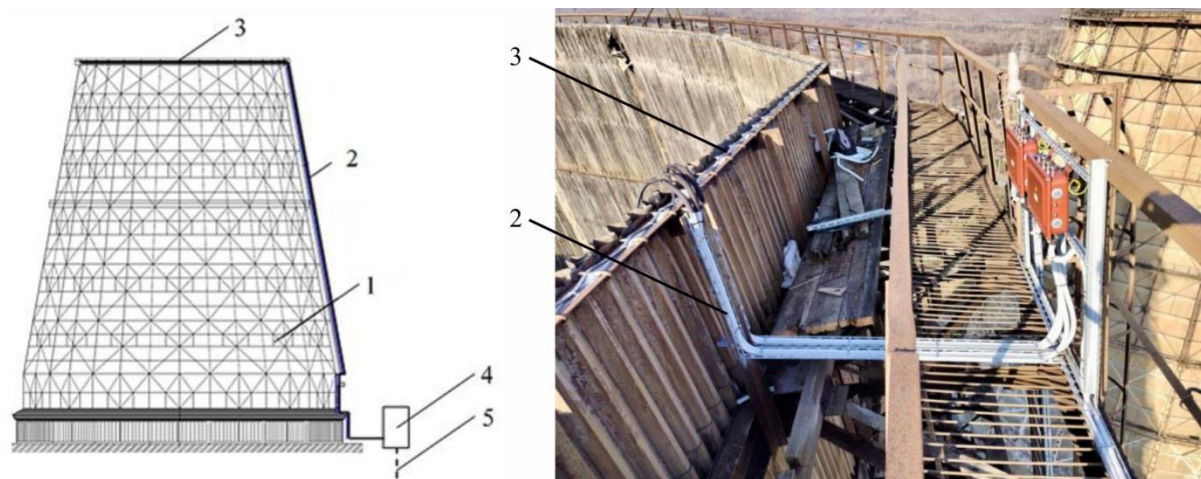


Рис. 2. Антиобледенительное устройство башенной градирни:
1 – башенная градирня; 2 – силовой кабель; 3 – кабель саморегулирующийся нагревательный;
4 – шкаф управления; 5 – подвод к электрической сети

После внедрения опытно-промышленного образца антиобледенительного устройства был проведен комплекс пусконаладочных работ, который позволил: наладить правильность работы изоляторов, коммутационных аппаратов, греющего кабеля, контактных проводников и др.; определить соответствие параметров систем нормативным показателям; выявить недостатки и несоответствия с их последующим устранением; достичь готовность системы к эксплуатации.

По завершению модернизации башенной градирни в целом были выполнены балансовые испытания для проверки соответствия расчётной номограммы фактической охлаждающей эффективности и получения гидротермических характеристик. Результаты испытаний показали, что фактическая охлаждающая способность градирни № 1 лежит в расчётной зоне номограммы. Это позволило добиться существенного увеличения электрической мощности на Комсомольской ТЭЦ-3, а наличие антиобледенительного устройства обеспечивает надёжную работу градирни в зимний период эксплуатации, тем самым способствуя сохранению её охлаждающей способности.

НАКОПИТЕЛИ С СИСТЕМАМИ ГИДРОТРАНСПОРТА. ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

С.С. Голубев¹, А.А. Коношенков², Б.А. Арын³

Накопители с системами гидротранспорта являются частью сооружений предприятий горнодобывающей, энергетической, металлургической промышленности и представляют собой отдельный класс объектов, включающих гидротехнические сооружения, инженерные сети и системы, транспортные коммуникации, сооружения инженерной защиты территорий и пр. Они обладают рядом специфических особенностей, с одной стороны, накопитель является комплексом напорных гидротехнических сооружений, а с другой, объектом размещения отходов от «практически не опасных» до «умеренно опасных» по степени воздействия на окружающую среду. При этом, в отличие от гидротехнических сооружений, возводимых сразу на проектную высоту, одновременно происходят эксплуатация накопителя и его строительство (наращивание), которые имеют непрерывный характер в течение всего срока службы объекта. Данная особенность характеризуется сроком эксплуатации в десятки лет и интенсивностью наращивания до 2 м/год и более, что со временем превращает накопители в высоконапорные сооружения с классом опасности до «высоко опасных» и «чрезвычайно высоко опасных».

Действующий свод правил «Накопители жидких промышленных отходов. Основные положения проектирования» (СП 540.1325800), разработанный АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», освещает следующие вопросы, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией накопителей.

Во-первых, свод правил распространяется на накопители, предназначенные для размещения отходов III, IV, V классов опасности.

Во-вторых, СП 540.1325800 ввел обязательное требование о проведении комплексной оценки технического состояния накопителя за 3 года до окончания срока его эксплуатации или через 25 лет эксплуатации объекта. При условии наличия положительных результатов комплексной оценки состояния накопителя и отсутствия его негативного влияния на окружающую среду накопитель можно эксплуатировать и дольше. При этом если накопитель предполагается эксплуатировать дольше 25 лет, то комплексную оценку выполняют не реже одного раза в пять лет. Комплексная оценка предполагает оценку надежности накопителя, устойчивости его упорной призмы, оценку воздействия накопителя на поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух и прочие компоненты природной среды.

В-третьих, в своде правил нашли свое отражения вопросы относительно новых технологий сгущения продуктов обогащения (пульп), внедряемые сегодня как в нашей стране, так и за рубежом. Указанные технологии являются общим трендом развития технологий обращения с промышленными отходами, поскольку решают одну из главных проблем транспортировки и размещения отходов – уменьшение количества воды в водно-хвостовом (водно-шламовом) балансе системы гидротранспорта для реализации концепции ресурсосбережения и минимизации

¹ Начальник отдела «Промышленная гидротехника», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Ведущий инженер, ТОО «ВНИИГ»

³ Ведущий инженер отдела «Промышленная гидротехника», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

воздействия на поверхностные и подземные воды. Ранее внедрение этих технологий не было регламентировано в каком-либо нормативно-техническом документе.

В-четвертых, СП 540.1325800 систематизирует требования к использованию (утилизации) размещаемых в накопителях отходов, если последние отвечают необходимым физико-механическим и санитарно-гигиеническим требованиям, а также критериям возможности их утилизации в соответствии с ГОСТ Р 54098. Подходящие по своим характеристикам отходы могут использоваться в качестве строительного материала для возведения грунтовых сооружений и их элементов, например, противодиффузионных экранов.

В-пятых, в документе раскрыты вопросы по охране окружающей среды и влиянию накопителей на различные компоненты природной среды в районе его размещения, в том числе вопросы применения геофильтрационного и геомиграционного моделирования для оценки воздействия на природные подземные воды. В число предусмотренных природоохранных мероприятий и технических решений в свод правил включены: природные и техногенные грунтовые и негрунтовые экраны; использование современных противодиффузионных материалов; водопонижительные и водоперехватывающие скважины; вертикальные завесы, горизонтальные и вертикальные дренажи; различные меры по защите атмосферного воздуха от пыления сухих поверхностей накопителей; применение техногенных и геосинтетических материалов и их комбинаций в конструктивных элементах накопителей, что особенно актуально для отдалённых районов, куда привоз качественных строительных материалов затруднен; моделирование работы и испытания геосинтетических материалов в конструкциях ГТС под проектными нагрузками.

Перечисленные вопросы проектирования, строительства и эксплуатации накопителей не могли быть достаточно детально освещены в рамках одного документа - свод правил СП 540.1325800.2024 отразил только основные положения. В связи с этим, в настоящее время АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» ведет разработку стандарта организации, который призван дополнить СП 540.1325800.2024 и отразить необходимые детали.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ОТНЕСЕНИЯ К ПЯТОМУ КЛАССУ ОПАСНОСТИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ВКЛЮЧЕНИЕМ В ФЕДЕРАЛЬНЫЙ КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ КАТАЛОГ ОТХОДА «ШЛАК ОТ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ» САХАЛИНСКОЙ ГРЭС-2

С. В. Дубцов¹

В результате производственной деятельности электростанций ПАО «Сахалинэнерго» в процессе сжигания угля образуются золошлаковые отходы (ЗШО), размещаемые на собственных специализированных объектах. Среднегодовой объем образования ЗШО составляет порядка 50,5 тыс. т.

В рамках реализации региональной программы по повышению объемов утилизации ЗШО 5-го класса опасности, а также мероприятий ПАО «РусГидро» по увеличению объемов утилизации ЗШО на угольных ТЭЦ ПАО «Сахалинэнерго» налажена работа по поставке ЗШО региональным строительным организациям. Среднегодовой объем реализуемых ЗШО составляет порядка 37,5 тыс. т.

Основная масса реализуемых на сегодняшний день ЗШО – это отходы Южно-Сахалинской ТЭЦ-1. Однако для отходов Сахалинской ГРЭС-2 разработана вся необходимая техническая документация, проведены лабораторные, в том числе радиологические, исследования, ведется работа по поиску потенциальных покупателей золы в качестве попутной товарной продукции от сжигания угля.

В то же время наиболее актуальным вопросом в части отходов от сжигания угля остается затянувшийся спор с Дальневосточным межрегиональным управлением Росприроднадзора (Росприроднадзор) по отнесению шлаков от сжигания угля к конкретному классу опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду.

Вопрос по подтверждению 5-го класса опасности отхода шлак от сжигания угля Сахалинской ГРЭС-2 требует оперативного решения. В противном случае ПАО «Сахалинэнерго» грозит доначислением платы за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) по разделу 3 «Расчет суммы платы за размещение отходов производства и потребления» декларации о плате за НВОС за 2020 г. в размере 42 млн. руб.

Проектной документацией на строительство первой очереди Сахалинской ГРЭС-2 предусмотрено отдельное складирование отходов золы и шлака (сухое золоудаление и гидрошлакоудаление) на собственных специализированных объектах, запроектированных и построенных для размещения отходов 4-го класса опасности с возможностью дальнейшего уточнения класса опасности размещаемых отходов.

С целью уточнения класса опасности размещаемых отходов в пусконаладочный период работ были проведены лабораторные исследования двух отобранных проб отходов (золы и шлака) в части определения компонентного химического состава и класса опасности (методом биотестирования).

По результатам лабораторных исследований подтверждено отнесение золы к 4-му классу опасности, а шлака – к 5-му классу.

Отсутствие в Федеральном классификационном каталоге отходов (ФККО) отхода шлака от сжигания угля с 5-м классом опасности, равно как и несоответствие агрегатных состояний отхода Сахалинской ГРЭС-2 (сыпучий материал) и отхода, включенного в ФККО с 4-м классом опасности (кусовая форма), послужило причиной направления ПАО «Сахалинэнерго» в Росприроднадзор материалов обоснования отнесения отхода шлака к 5-му классу опасности.

¹ Начальник производственно-технического отдела ПАО «Сахалинэнерго»

В ответ от Росприроднадзора пришел отказ по причине установления при проверке материалов отнесения вида отхода к конкретному классу опасности полного соответствия вида отхода шлак Сахалинской ГРЭС-2 всем классификационным признакам виду отхода, уже включенного в ФККО.

Не согласившись с позицией Росприроднадзора, в целях закрепления полученного результата ПАО «Сахалинэнерго» были найдены аккредитованные лаборатории и проведены еще 4 анализа проб отхода шлака методом биотестирования, которые подтвердили первоначальные данные об отнесении данного отхода к 5-му классу опасности.

Важно отметить, что согласно требованиям методик токсикологического метода контроля в лабораторию проба отхода должна быть доставлена не позднее, чем через 12 часов с момента ее отбора. В связи с чем удаленность нашего региона и логистические проблемы существенно усложняют задачу по своевременной доставке проб в лабораторию, а с учетом времени доставки пробы отхода с объекта размещения отходов (гидрошлакоотвала Сахалинской ГРЭС-2), территориально расположенного в селе Ильинском Томаринского района, до аэропорта г. Южно-Сахалинск (не менее 3 часов) круг возможных аккредитованных лабораторий ограничивается Дальним Востоком, городами Красноярском и Новосибирском.

На каждое обращение в Росприроднадзор с материалами обоснования отнесения отхода шлака к 5-му классу опасности ПАО «Сахалинэнерго» получало уведомления о невозможности подтверждения отнесения отходов к конкретному классу опасности по формальным причинам: отбор проб в тару не темного стекла, недоисследование компонентного состава отхода, вынесение данных по каждой серии разбавлений, исходной воды и контролю в приложение к протоколу лабораторных исследований и т.п.

В связи с чем ПАО «Сахалинэнерго» инициировало судебные разбирательства по вопросу отказа в подтверждении отнесения отхода шлак от сжигания угля Сахалинской ГРЭС-2 к конкретному классу опасности в Арбитражном суде Москвы, решением которого в удовлетворении заявленных требований ПАО «Сахалинэнерго» отказано.

Постановлением Девятого арбитражного апелляционного суда решение Арбитражного суда Москвы оставлено без изменений.

Одновременно с идущими судебными разбирательствами по вопросу отнесения отхода шлак от сжигания угля Сахалинской ГРЭС-2 к 5-му классу опасности Росприроднадзор направил в адрес ПАО «Сахалинэнерго» уведомление о необходимости произвести доначисление платы по разделу 3 «Расчет суммы платы за размещение отходов производства и потребления» декларации о плате за НВОС за 2020 г. по спорному виду отхода с применением ставки платы для отходов 4-го класса опасности (663,2 руб. за тонну вместо 40,1 руб.), повышающего коэффициента 25 и без применения понижающего коэффициента 0,3. Размер доначислений составляет 42 млн. руб.: сумма основного долга – 36 млн. руб., а также неустойка в размере 6 млн. руб.

Ответным письмом ПАО «Сахалинэнерго» обосновало свою позицию о несогласии применения 25-кратного повышающего коэффициента и неприменения коэффициента 0,3, а также указало на продолжение процедуры отнесения отхода шлака к 5-му классу опасности, в связи с чем перерасчет за размещение этого отхода за 2020 г. не производился.

После вынесения постановления Девятого арбитражного апелляционного суда не в пользу ПАО «Сахалинэнерго» руководством было принято решение об оформлении всей необходимой нормативной документации по отходу шлак от сжигания угля Сахалинской ГРЭС-2 по 4-му классу опасности и продолжении процедуры по отнесению спорного отхода к 5-му классу опасности.

Было произведено доначисление платы по разделу 3 «Расчет суммы платы за размещение отходов производства и потребления» декларации о плате за НВОС за 2020 год по отходу шлак от сжигания угля с применением ставки платы для отходов 4-го класса опасности, но без повышающего коэффициента 25 и с применением понижающего коэффициента 0,3. Сумма доначисления составила 412,5 тыс. руб.

Не согласившись с суммой произведенного доначисления, Росприроднадзор обратился в Арбитражный суд Сахалинской области с иском о взыскании с ПАО «Сахалинэнерго» доначислений в размере 42 млн. руб.

В настоящее время судебное разбирательство по иску Росприроднадзора продолжается. В связи с чем завершение процедуры по отнесению отхода шлак от сжигания угля Сахалинской ГРЭС-2 к 5-му классу опасности с включением нового отхода в ФККО будет основанием для отказа в удовлетворении исковых требований Росприроднадзора.

КАК ЗАМЕРЗАЮТ ГРАДИРНИ. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

С.А. Рудченко¹

Описана проблематика зимней работы градирен, пути решения и конкретное конструктивное решение – трубопровод зимнего обогрева (ТЗО).

Градирни напрямую влияют на КПД теплового цикла ТЭС и АЭС. Выход градирни из строя приводит к прекращению выработки электроэнергии.

В настоящей работе рассматриваются вопросы образования льда в области воздухоходных окон и подоросительного пространства.

В зимний (морозный) период времени на оросителе и строительных конструкциях градирни образуется лёд, что может привести к поломке оросителя, обрушению опорных балок, поломке металлоконструкций, трубопроводов и оборудования в зоне падения льда. Опасность представляет не сам факт льда, а его количество. Небольшое обмерзание оросителя не является опасным. Обмерзание опорных колонн также является нормой, если под ними не расположены уязвимые конструкции.

Обмерзанию способствуют следующие факторы: низкая температура воздуха, ветер, низкая тепловая нагрузка, плохо орошаемые зоны, протечки в отсечённых зонах градирни.

Цель зимних мероприятий – не допустить опасное образование льда, поддерживая в то же время температуру охлаждённой воды возможно ближе к оптимальной для турбины. Простое повышение температуры воды после градирни, например, с помощью байпаса, не решает проблему, кроме того, может привести к снижению выработки. Необходимы конструктивные меры именно в проблемной зоне льдообразования – на периферии площади орошения.

Возможные зимние конструктивные решения: ТЗО, разделение площади орошения на отключаемые зоны, регулируемые жалюзи на воздухоходных окнах, решётки на окнах.

В 2021 г. по заказу Белорусской АЭС АО «Атомэнергопроект» разработал проект модернизации градирни – установку ТЗО. Принцип действия ТЗО: подогрев входящего воздуха, расплавление льда тёплой водой, увеличение аэродинамического сопротивления на входе. Специфические требования к ТЗО: обеспечение необходимого расхода воды, равномерность подачи воды, незабивание отверстий.

«Классический» проект ТЗО АО «Атомэнергопроект» (например, для Курской АЭС-2) предполагает подъём воды по двум или четырём стоякам на отметку верха окон и мощный кольцевой трубопровод (1600 мм в начале) на этой отметке. Недостаток этого решения: площадь орошения сокращается на 5–7 %. Для Белорусской АЭС было предложено новое решение, сохраняющее ороситель и 100 % тепловой эффективности градирни в течение всего года. На отметке верха окон монтируется лёгкое кольцо из стеклопластиковой трубы диаметром 300 мм, питаемое 25-ю стояками от нижнего раздающего кольца.

Монтаж ТЗО градирни блока № 1 Белорусской АЭС был выполнен в 2022 г. Проектный расход был подтверждён результатами испытаний АО «Атомтехэнерго». Персонал Белорусской АЭС дал положительные отзывы, образование льда многократно снижено, повреждение оросителя более не наблюдалось.

В настоящее время идёт разработка проекта модернизации градирен блока № 1 ЛАЭС-2. Решения Белорусской АЭС были улучшены: запорная арматура на ТЗО вынесена вне градирни и заменена на регуляторы в целях неперевышения температуры воды и сохранения выработки турбогенератора.

¹ Главный специалист АО «Атомэнергопроект»

МОРСКИЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

С.А. Толкачев¹

Морские водозаборные сооружения совместно с береговой насосной станцией - это уникальное гидротехническое сооружение, сочетающее все самые передовые технологии и оборудование, применяемые для систем технического водоснабжения тепловых и атомных электростанций. Морская вода, несмотря на большое содержание растворенных солей, является хорошей заменой пресной воды в системах охлаждения. Особенно в условиях ограничения в использовании речной и подземной воды в регионе строительства.

Использование морской воды характеризуется рядом особенностей. Нужно учитывать колебания уровней воды, обусловленные волнениями, морскими течениями, приливами и отливами. В морской воде присутствуют планктоны, водоросли, моллюски и ракушки. Повышенные коррозионные свойства воды доставляют массу проблем металлическим конструкциям и трубопроводам. В зимнее время ледовая обстановка оказывает сильное влияние на эксплуатацию водозаборного сооружения.

Наиболее удобное размещение морских водозаборов в естественных или искусственно возведенных бухтах, где береговая линия защищена от обмеления, наносов, опасных ледовых условий и разрушительного действия волн. Гораздо реже размещают на открытых участках побережья в связи с большим количеством неблагоприятных факторов.

Морские водозаборные сооружения в зависимости от глубины воды в месте водозабора могут быть берегового типа, или при недостаточных глубинах воды у берега, совмещенного типа. Оголовок его выдвинут в море и соединён с насосной станцией трубопроводами большого диаметра или каналами. Чаще всего для обеспечения устойчивой работы водозаборов используют решение в виде ковша.

В качестве примеров рассмотрены прямоточные и обратные морские водозаборные сооружения технического водоснабжения атомных станций: АЭС Бушер-2, АЭС Аккую, ЛАЭС-2 и др.

Технические решения направлены на то, чтобы уменьшить вред природе. Конструкция водозаборного сооружения предотвращает попадание в него рыбы и морских обитателей.

¹ Начальник отдела «Техводоснабжение и охладители ТЭС и АЭС», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ АЭС

О.А. Муравьев¹, А.В. Голубев², И.С. Третьяков³

В докладе на конкретных примерах и в обобщении рассматриваются условия протекания переходных процессов в насосных системах охлаждения АЭС с центробежными насосами. Представлена классификация переходных процессов, показаны действующие ограничения, отражены особенности используемой расчетной математической модели, отражены методы защиты от повышенного гидроудара.

Для систем охлаждения ответственных и неответственных потребителей характерна разветвленная закольцованная система трубопроводов, имеющая до 10–15 ветвей, которые подводят воду к теплообменникам, и затем объединяются в одну отводящую магистраль. Расположение трассы и теплообменников на высоких отметках относительно верхнего и нижнего бьефов приводит к тому, что при отключении насосов поток обязательно разрывается. Задачей является правильное размещение комбинированных воздушных клапанов вдоль трассы, определение их параметров для предотвращения опасного прямого гидроудара при обратном смыкании потоков. Используемая математическая модель должна иметь возможность расчета параметров разрыва сплошности потока, условия впуска воздуха в образовавшиеся полости, учет параметров и характеристик воздушных клапанов.

Особенностью работы рассматриваемых насосных станций в переходных процессах является последовательные комбинации режимов потери привода и последующего включения насосного агрегата или резервного насоса с некоторым временем запаздывания. К таким режимам относятся:

автоматическое повторное включение (АПВ) всех рабочих насосных агрегатов при переходе на резервный источник питания или при восстановлении электропитания после короткого замыкания с запаздыванием от 0,075 с до 0,5 с;

автоматический ввод резервного насоса при отключении (потере привода) одного из рабочих; запаздывание включения резервного насоса составляет 3–5 с; влияние на динамику процесса в напорной системе в этом случае оказывают режимы закрытия обратного клапана отключенного насоса и режим открытия регулирующего затвора пускаемого насоса, который происходит за 20–60 с;

автоматическое переключение на резервное (АВР) электропитания от дизельной станции после потери привода всех работающих насосов, при котором запаздывание составляет 25–30 с.

Переходный процесс при АПВ имеет свои специфические особенности. Ввиду быстрого восстановления электропитания не успевают сработать воздушные клапаны и обратные клапаны на насосах во время быстро протекающей фазы снижения давления, в то же время само понижение давления при отключении насоса является существенным. Задачей является определе-

¹ Доктор техн. наук, начальник управления, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», НИУ МГСУ

² Канд. техн. наук, директор ООО «Белый уголь»

³ Аспирант, НИУ МГСУ

ния допустимого времени перерыва электропитания по условиям допустимой амплитуды колебаний давления.

Во всех переходных процессах существенную роль на динамику колебания давления оказывают соотношение между постоянными инерции напорных водоводов и насосного агрегата, время перерыва электропитания. Важным фактором является наличие и расположение по трассе регулирующих диафрагм или задвижек обеспечивающих заданное распределение между расходами в ответвлениях через теплообменники и кроме того обеспечивающих подпор, обеспечивающий запас по условиям наступления разрыва сплошности потока.

В процессах АВР и пуска резервного насоса существенными являются режимы закрытия и открытия регулирующих органов (обратных клапанов и затворов), высотное положение трассы водоводов и теплообменников над уровнями верхнего и нижнего бьефов, батиграфия, связывающая объемы воды в разорвавшихся полостях с изменением уровня свободной поверхности в них.

Представленная методика, учитывающая особенности переходных процессов, подтвержденная опытом натурных испытаний, позволяет обоснованно проектированию и эксплуатации подобных насосных станций, предусмотреть необходимые мероприятия, обеспечивающие надежную защиту от повышенного гидродара.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС ЧЕРЕЗ ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГТС

А.В. Шалатонов¹

В последние десятилетия атомная энергетика занимает все более значимое место в структуре мирового энергетического баланса. Однако, с увеличением масштабов эксплуатации АЭС, возрастает и необходимость обеспечения их надежности и безопасности. Одним из ключевых аспектов, влияющих на безопасность эксплуатации АЭС, являются береговые гидротехнические сооружения (ГТС), которые играют важную роль в обеспечении устойчивости и защиты атомных станций от внешних факторов, таких как наводнения, эрозия и другие природные явления.

Актуальность повышения надежности береговых ГТС на АЭС обусловлена несколькими факторами. Во-первых, изменения климата, проявляющиеся в виде увеличения частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, ставят под угрозу устойчивость существующих гидротехнических сооружений. Во-вторых, многие ГТС, используемые на АЭС, были построены несколько десятилетий назад и не соответствуют современным требованиям безопасности и надежности. В-третьих, недостаточная надежность и устаревшее состояние береговых ГТС могут угрожать не только безопасности эксплуатации АЭС, но и окружающей среде, что делает данную тему особенно актуальной для научного и практического обсуждения.

Важным направлением в области гидротехнического строительства является использование износостойких и коррозионностойких материалов при ремонте и реконструкции существующих сооружений.

Стандартные строительные материалы, такие как бетон, кирпич, железобетон и бутовый камень, продолжают играть важную роль в процессах восстановления. Однако, для достижения оптимальных результатов все чаще применяются инъекционные полимерные материалы и специальные цементные смеси, которые обладают улучшенными характеристиками, особенно при воздействии воды.

Компанией «Стрим» разработаны и успешно применяются специальные цементные смеси линейки «Ремстрим» и композитные инъекционные материалы на базе гидрофильных смол АКВИДУР для выполнения ремонтных работ на ГТС.

Испытания по минимальной температуре эксплуатации композитных инъекционных материалов- гидрофильных смол АКВИДУР® проводились на базе ИтхУРОРАН (Института Технической химии Уральского отделения Российской Академии Наук). Доказана возможность эксплуатации композитных инъекционных материалов при температуре до – 63°C, что позволяет применять данную технологию во всех климатических зонах Земли, где построены и эксплуатируются ГТС.

Применение новых композитных материалов и инженерных решений позволяет значительно увеличить срок службы сооружений и улучшить их эксплуатационные характеристики.

Внедрение современных технологий, регулярный мониторинг состояния ГТС и использование инновационных материалов являются ключевыми факторами, способствующими улучшению безопасности эксплуатации АЭС. Важно, чтобы все заинтересованные стороны,

¹ ООО СТРИМ

включая государственные органы, научные учреждения и промышленные компании, объединили усилия для решения данной проблемы, что позволит обеспечить надежную и безопасную работу атомной энергетики в России и за ее пределами.

Производственные мощности компании «Стрим» и опыт применения материалов позволяют решать задачи, связанные с повышением надежности сооружений, продлением срока эксплуатации и комплексной защитой зданий и сооружений от техногенных и природных факторов, снижать стоимость строительных, ремонтно-восстановительных и эксплуатационных мероприятий.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ НА САХАЛИНСКОЙ ГРЭС-2 ПАО «САХАЛИНЭНЕРГО» ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА ГРУППЫ РУСГИДРО

Н.В. Недашковский¹

Описание и года ввода в эксплуатацию Сахалинской ГРЭС-2.
Состав установленного оборудования Сахалинской ГРЭС-2.
Проблемы, связанные с эксплуатацией сухой вентиляторной градирни.
Перспективная схема ТВС Сахалинской ГРЭС-2 с подводной береговой насосной станцией, вынесенной в Татарский пролив.
Преимущества ПСТВ над ОСТВ, существующие ТЭС с ПСТВ и Перспективные проекты.
Выбор вариантов ТВС на стадии ОТР проекта Сахалинской ГРЭС-2.
Оценочная стоимость инфраструктуры организации ПСТВ и ОСТВ.
Основные годовые технико-экономические показатели одной очереди 120–140 МВт и на полное развитие Сахалинской ГРЭС-2 – 360–400 МВт, а также показатели экономии по капитальным затратам, электрическим собственным нуждам, УРУТ, стоимости топлива и выбросам парниковых газов.
Выводы независимой экспертизы в рамках ТЦА проекта Сахалинской ГРЭС-2.
Научно-техническая поддержка ПСТВ.

¹ Директор, ОП «Сахалинская ГРЭС» ПАО «Сахалинэнерго»

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ ПУЛЬП С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ГЛИНИСТЫХ И ПЫЛЕВАТЫХ ЧАСТИЦ

А.А. Коробов¹, С.С. Голубев²

1. Причины повышенного содержания глинистых и пылеватых частиц в гидросмесях горно-обогатительного предприятия и последствия данного явления.
2. Примененные решения и методики их расчета при проектировании:
 - a. Система гидротранспорта пульп с повышенным содержанием глинистых и пылеватых частиц.
 - b. Система гидротранспорта оборотной воды с повышенным содержанием глинистых и пылеватых частиц.
 - c. Сифонный трубопровод для перекачки глинистой суспензии ($\rho=1,16 \text{ т/м}^3$).
3. Анализ фактических показателей введенных в эксплуатацию объектов, сопоставление их с проектными (расчетными) показателями.
4. Выводы о применении использованных методик расчета.

¹ АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

РОЛЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА В ОБРАЗОВАНИИ КАЛЬЦИТОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА СООРУЖЕНИЯХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

И.М. Царовцева¹, Л.Э. Беллендир², Д.Ю. Власов³, С.А. Толкачёв⁴, Е.Ю. Борисова⁵

Минеральные отложения в водной среде образуются на различных твердых материалах. Особое место в этой связи занимают процессы биоминерализации, представляющие собой совокупность биохимических реакций, в ходе которых происходит образование неорганических твердых веществ (вторичных минералов) при участии живых организмов. Подобные явления можно наблюдать на материалах и конструкциях как в наземной, так и водной среде, где развиваются биологические объекты. Известно, что особая роль в процессах биоминерализации принадлежит микроорганизмам, к которым относятся бактерии, микроскопические грибы и микроскопические водоросли. Они способны выступать в качестве индукторов кристаллообразования и карбонатной минерализации.

Одна из проблем функционирования тепловых электростанций – образование кальцитовых отложений на поверхности градирен (сооружений для охлаждения большого количества воды направленным воздушным потоком). Обычно это явление рассматривается как результат химических процессов, приводящих к отложению минеральных веществ на твердой поверхности градирен. Однако возможным фактором образования подобных отложений может служить развитие микроорганизмов, обладающих высокой биохимической активностью. Микроорганизмы первыми закрепляются на твердой поверхности, формируют первичные биопленки и создают условия для образования биоминеральных отложений.

Цель данной работы состояла в изучении возможной роли микроорганизмов в образовании отложений на поверхности материала градирен, применяемых на тепловых электростанциях.

Материалом для исследования послужили сухие образцы, представляющие собой элементы градирен с твердыми корковидными наростами, покрывающими большую часть поверхности конструкций.

Для анализа состава отложений использовали рентгенофазовый анализ (РФА) и рентгеноспектральный микрозондовый анализ. Структура отложений была изучена с использованием сканирующей электронной микроскопии. Поиск и выделение микроорганизмов осуществлялись с применением прямого микроскопирования мелких фрагментов отложений, а также путем посева таких фрагментов на искусственные питательные среды, рекомендованные для культивирования микроорганизмов.

В результате проведенных исследований установлено, что отложения на поверхности градирен имеют разнообразный состав и структуру, а также заметно варьируют по толщине. Так, в отложениях на решетках зафиксированы игольчатые кристаллы и сростки вторичного

¹ Канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», ведущий научный сотрудник БИН РАН

⁴ Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁵ Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

кальцита различной морфологии. Толщина отложений в некоторых случаях в несколько раз превышала толщину самих решеток. Элементный состав корок на решетках указывает на их кальцитовую природу. Однако в отдельных случаях состав оказался достаточно сложным – с преобладанием кремния и различных примесей. Очевидно, что наблюдаемое явление представляет собой результат взаимосвязанных химических и биологических процессов, что требует комплексного подхода к решению данной проблемы. Влияние на указанное явление может оказывать состав воды, ее температура, свойства материала градирен, а также видовой состав сообщества микроорганизмов, колонизирующих поверхность сооружения.

При прямом микроскопировании сухих корок удалось выявить отдельные структуры, характеризующие присутствие биологических объектов. При посеве на питательную среду были выделены микроорганизмы, известные способностью к образованию вторичного кальцита. Среди них, например, бактерии рода *Bacillus*, роль которых в карбонатной биоминерализации была показана в различных экологических условиях. Очевидно, что для выявления более широкого спектра микроорганизмов, способных к карбонатной биоминерализации, необходимо исследовать свежие пробы отложений, в которых микроорганизмы сохраняют свою жизнеспособность. Подтверждение роли биологического фактора в образовании минеральных отложений можно получить и путем экспериментального моделирования минералообразования при участии микроорганизмов, выделенных из кальцитовых корок. Исследования в данном направлении позволят не только лучше понять механизмы происходящих процессов, но целенаправленно вести поиск способов противодействия данному явлению на тепловых электростанциях.

ИСУ «РАЗУМ» – ПОДХОД ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.С. Ануфриев¹, О.С. Яковлева², О.Н. Масько³, А.И. Замятин⁴

Для решения проблемы переработки техногенного сырья с точки зрения автоматизации необходим всесторонний подход, охватывающий не только управление химико-технологическими параметрами, но и логистические аспекты. Инструменты моделирования и стратегической оптимизации цепей поставок становятся ключевыми для создания экономически обоснованных и эффективных цепочек поставок в области переработки золошлаковых отходов (ЗШО).

Предлагаемое решение – интеллектуальная система управления «РАЗУМ» (ИСУ «РАЗУМ») – обеспечивает эффективное управление всей цепочкой создания стоимости конечного продукта.

ИСУ «РАЗУМ» представляет собой универсальное решение, направленное на автоматизацию и оптимизацию технологических процессов (ТП). Система охватывает весь производственный цикл, осуществляя управление ТП по целевым функциям в автоматическом режиме. В основе управления лежит многопараметрический регулятор и имитационные модели основных производственных агрегатов и движения материальных потоков. Успешная реализация проекта на основе ИСУ «РАЗУМ» для горно-обогатительного комбината на секции дробления и обогащения руды увеличила производительность на 3 % при стабилизации качества готовой продукции и существенном снижении удельных энергоресурсов.

Система выполнена в модульной архитектуре, обеспечивающей гибкость и адаптацию под специфику различных производственных цепочек, включая процессы переработки и перемещения техногенных материалов. Этот подход позволяет интегрировать специализированные модули, адаптированные к конкретным производственным задачам и целям. Одним из таких решений является модуль управления плановой маржинальностью, разработанный для повышения экономической эффективности операций, связанных с переработкой сырья, через точное планирование и оптимизацию затрат на каждом этапе производственного цикла.

Модуль обеспечивает комплексный подход к оптимизации рентабельности переработки ЗШО, опираясь на данные о поступлении сырья, мощностях переработки и рыночной ситуации. Для поддержки стабильности и гибкости производственного процесса модуль анализирует логистику и географию цепочки поставок, определяя оптимальные маршруты движения сырья и готовой продукции с учетом расстояний и транспортных тарифов. Учет объема и интенсивности поступления ЗШО позволяет планировать загрузку мощностей перерабатывающих предприятий и прогнозировать использование оборудования в зависимости от доступного объема отходов.

Также модуль учитывает производственные мощности и доступные технологии, оптимизируя переработку и снижая издержки в соответствии с экологическими стандартами. Включение данных о рыночном спросе и прогнозах цен позволяет эффективно распределять продукцию по регионам с максимальной рентабельностью. В результате работы модуля формируется экономически обоснованная структура цепочки поставок, стратегическое планирование мощностей в соответствии с прогнозами и выбор приоритетных регионов для сбыта, что способствует минимизации затрат, устойчивости и высокой доходности производственного процесса.

¹ Директор по инновациям и развитию, ООО «Лаборатория инжиниринга»

² Руководитель департамента ИСУ, ООО «Лаборатория инжиниринга»

³ Канд. техн. наук, ассистент кафедры АТПП,

Санкт-Петербургский горный университет имени императрицы Екатерины II

⁴ Аспирант, Санкт-Петербургский горный университет имени императрицы Екатерины II

Секция

Экологические проблемы энергетики и гидротехники

ВЫСОКИЕ ПЛОТИНЫ В ГОРНЫХ РЕГИОНАХ – ЭКОЛОГИЧЕСКИ ПРИЕМЛЕМЫЕ АНАЛОГИ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

А.Л. Стром¹, О.Д. Рубин², А.С. Антонов³

Гидроэлектростанции являются одним из важнейших источников возобновляемой энергии во всем мире. Однако строительство крупных ГЭС с высокими плотинами и большими водохранилищами приводит к существенным изменениям окружающей среды и поэтому они не считаются источниками «чистой» ("зеленой") энергии.

Это в определенной степени справедливо для крупных ГЭС на равнинных реках, таких как Волга, Ангара, Миссисипи, Нил, где образование аналогичных плотин по естественным причинам практически невозможно. Однако в горных регионах возведение высоких плотин лишь воспроизводит природное явление – образование крупных завальных плотин, что происходит периодически во всех высокогорных регионах. При этом такие плотины и образуемые ими подпрудные озера зачастую намного превосходят аналогичные сооружения, создаваемые людьми.

Завальные плотины приводят к затоплению речных долин выше по течению, иногда на десятки километров, а при их прорыве возникают мощные паводки, распространяющиеся иногда на сотни километров. Все эти природные явления, которые неоднократно происходили в прошлом, происходят в наше время и неизбежно будут происходить в будущем, существенно влияют на экосистему горных речных долин. Некоторые из таких плотин были прорваны вскоре после их образования, другие существуют в течение веков и тысячелетий и в конечном счете либо прорываются постепенно или катастрофически, либо сохраняются, а образуемые ими подпрудные озера постепенно заиливаются. Паводки, возникающие в случае катастрофических прорывов таких озер, распространяются на десятки и даже сотни километров и способны кардинально изменить экосистему речных долин и уничтожить всю инфраструктуру на дне долины, являясь при этом естественным, хотя и экстраординарным природным явлением.

В докладе будут приведены примеры крупных завальных плотин и прорывных паводков на реках Памира, Тянь-Шаня, гор Лонгменшань, Гималаев, Загроса, где уже эксплуатируются, строятся или проектируются крупные гидроузлы.

Если рассматривать эту проблему с чисто экологической точки зрения, не касаясь ее гуманитарных, социальных и экономических аспектов, то любое природное явление, даже наиболее катастрофическое, такое как извержение вулкана, землетрясение, ураган и т.д. – это фактор глобальной эволюции экосистемы Земли. Даже такая глобальная катастрофа, как падение астероида, погубившее, как считается, динозавров, открыло дорогу млекопитающим и в том числе виду *Homo Sapiens*. Поэтому искусственное воспроизведение таких явлений не может рассматриваться как действие «против природы». Это в полной мере относится и к катастрофическим склоновым процессам. С экологической точки зрения строительство высоких плотин с большими водохранилищами в горных регионах является вполне приемлемым, тем более, что при их создании практически исключается возможность прорыва плотин и неконтролируемых сбросов воды, имеющих наиболее тяжелые последствия. Такие объекты должны относиться к «зеленой» энергетике.

¹ Доктор геол.-мин. наук, главный специалист, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

² Доктор технических наук, директор, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

³ Канд. техн. наук, главный инженер по оборудованию и ГТС, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЫБОХОДНО-НЕРЕСТОВЫХ КАНАЛОВ

А.В. Шевченко¹, О.А. Баев²

До настоящего времени отсутствуют нормативные документы по проектированию и эксплуатации рыбоходно-нерестовых каналов, устраиваемых при низконапорных речных гидроузлах. В действующем СП 101.13330.2023, определяющим порядок разработки рыбопропускных сооружений, отсутствуют рекомендации по проектированию таких каналов. Наличие их востребованности при разработке проектов каналов на ряде гидроузлов рек Дон, Северский Донец, Кубань, Терек и др. обуславливает актуальность разработки соответствующего норматива.

Необходимой составной частью указанного нормативного документа является методика по определению качества технических решений рыбоходно-нерестовых каналов, позволяющая прогнозировать способность каналов обеспечивать привлечение и заход рыб из реки в их акваторию. Качество условий привлечения и захода рыб из нижнего бьефа гидроузла в канал характеризуется показателем $\Pi_{\text{зах}}$, описываемым функциональной связью вида

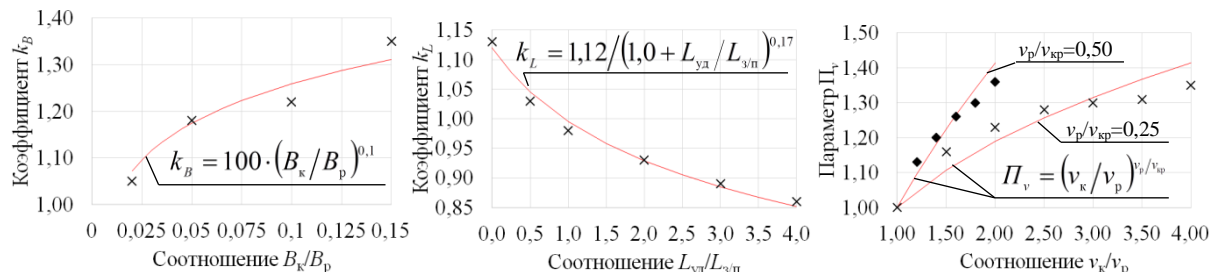
$$\Pi_{\text{зах}} = f\left(\frac{Q_k}{Q_p}; v_k/v_p; v_p/v_{кр}; B_k/B_p; L_{уд}/L_{зп}\right),$$

где $\Pi_{\text{зах}}$ – показатель качества условий привлечения и захода рыб в канал, %; Q_k и Q_p – расход канала и реки, м³/с; v_k , v_p – скорости на выходе из канала и в реке, м/с; $v_{кр}$ – крейсерская скорость плавания рыб, м/с; $L_{уд}$ – расстояние от нижней границы зоны поисков рыб прохода через плотину гидроузла, м; $L_{зп}$ – протяженность зоны поискового перемещения рыб, м.

Решение задачи по поиску зависимости, описывающей приведенную функциональную модель, осуществлено посредством постановки экспериментальных исследований на гидравлической модели водосбросной плотины гидроузла и входного оголовка канала с использованием модельных рыб – молоди уклей, густеры и рыбца длиной 4,0–6,0 см.

По результатам проведенных исследований установлены опытные зависимости, описывающие процесс привлечения и захода рыб в канал. Установлено, что наибольшее влияние на качество функционирования канала, оказывает расходный параметр – $\Pi_Q = 100 \cdot Q_k/Q_p$, %.

Основные результаты эксперимента, аппроксимирующие их кривые и математические зависимости, их описывающие, приведены ниже на соответствующих графиках.



¹ Младший научный сотрудник, ФГБНУ «РосНИИПМ»

² Ведущий научный сотрудник, начальник Гидротехнического отдела, ФГБНУ «РосНИИПМ»

С учетом полученных результатов предложена математическая модель, позволяющая прогнозировать количество рыб, привлекаемых из реки и заходящих в канал

$$П_{\text{зах}} = 100 \frac{Q_{\text{к}}}{Q_{\text{р}}} \left(\frac{v_{\text{к}}}{v_{\text{р}}} \right)^{v_{\text{р}}/v_{\text{кр}}} \left(100 \frac{B_{\text{к}}}{B_{\text{р}}} \right)^{0,1} \left[1,12 / \left(1,0 + \frac{L_{\text{уд}}}{L_{\text{з/п}}} \right)^{0,17} \right], \%$$

Полученная модель рекомендуется к использованию для оценки эффективности проектируемых и функционирующих в составе гидроузлов рыбоходно-нерестовых каналов.

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ УСИЛИВАЕТ ВОСТРЕБОВАННОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.В. Тетельмин¹

В п.5 Климатической доктрины (КД) РФ выражается обеспокоенность беспрецедентно высокой скоростью глобального потепления и усиливающимся влиянием хозяйственной деятельности человека на климат. За последние полтора века глобальная температура увеличилась на 1,2 °С. Климатологи всего мира пришли к заключению, что наблюдаемое необратимое «широкомасштабное и усиливающееся изменение климата» – это следствие выбросов антропогенных парниковых газов, которые расшатывают климатическую систему (КС) Земли, основными составляющими которой являются Мировой океан, атмосфера, суша и биосфера. Главным аккумулятором накопленной тепловой энергии является Мировой океан – около 91 %, на сушу приходится около 5 %, на льды около 3 %, на атмосферу около 1,0 % энергии.

В п. 17 КД справедливо отмечается, что удержать рост средней глобальной температуры ниже 2 °С по сравнению с 1900 г. не удастся. В дальнейшем изложении содержание ПГ в атмосфере (CO₂, CH₄, N₂O) приводится в единицах объемной концентрации (млн⁻¹), эквивалентных потенциалу глобального потепления диоксида углерода (ppm-eq). Максимально возможный вклад антропогенных ПГ в глобальное потепление составляет около 8,9 °С при содержании антропогенных ПГ К = 850 ppm-eq.

Рассмотрим последствия потепления для трех возможных сценариев снижения выбросов парниковых газов ПГ:

интенсивный сценарий, при котором современные выбросы CO₂ от использования ископаемого топлива 35 Гт/год обнуляются к 2100 г., в результате чего в атмосфере накапливаются ПГ в количестве 292 ppm-eq;

умеренный сценарий, при котором выбросы обнуляются к 2150 г. и в атмосфере накапливаются 390 ppm-eq;

консервативный сценарий, при котором «ноль выбросов» достигается в 2150 г. при концентрации ПГ 497 ppm-eq.

Последствия сокращения выбросов ПГ можно будет увидеть только через много лет из-за инертности КС Земли. Расчеты выполнены с использованием авторского алгоритма.

При интенсивном сценарии декарбонизации глобальное потепление будет продолжаться до достижения в 2270 г. радиационно-равновесного состояния КС Земли при температуре $T_{\max}=5$ °С.

Следствием глобального потепления являются усиливающиеся экстремальные природные явления: метеорологические, гидрологические, геофизические, изменение уровня Мирового океана. Спровоцированные потеплением природные стихийные бедствия по силе воздействия на экономику выходят на первое место: на тропические циклоны и приносимые ими осадки и наводнения приходится 32 %, на землетрясения 12 %, на засухи 10 % природных ката-

¹ Доктор техн. наук, главный специалист, Институт экологии РУДН им. Патриса Лумумбы, член Общественного совета при Минэнерго РФ

строф. Частота повторяемости отмеченных в мире природных стихийных бедствий (ПСБ) увеличивается по мере накопления Землей тепловой энергии. В таблице приводятся расчетные значения роста частоты различных ПСБ в будущем для трех названных сценариев декарбонизации мировой энергетики.

Расчетные характеристики основных последствий глобального потепления для трех сценариев декарбонизации с достижением углеродной нейтральности: сценарий интенсивный – в 2100 г.; сценарии умеренный и консервативный – в 2150 г.

Расчетный параметр	Сценарии		
	интенсивный	умеренный	консервативный
Содержание антропогенных ПГ в атмосфере, К ppm-eq	292	390	497
Радиационно-равновесная температура атмосферы, °С	5,0	6,3	7,4
Достижение радиационно-равновесного состояния КС Земли, год	2270	2330	2400
Накопленная парниковая тепловая энергия, $Q_{КС} \times 10^{15}$ кВт·ч	1090	1900	2420
Максимальный уровень Мирового океана, мм	1200	2090	2650
Уровень Мирового океана в 2100 г., мм	680	760	820
Метеорологические стихийные бедствия в 2100 г., N ед/год	440 ±20	520 ±30	650±40
Увеличение осадков в 2100 г. относительно 1980 г., %	6,5	7,0	7,4
Отсутствие арктического морского льда в сентябре, год	2090	2070	2060
Суммарная годовая магнитуда землетрясений $M \geq 4$ в 2100 г.	270	290	310

Частота метеорологических стихийных бедствий при умеренном сценарии может увеличиться к 2100 г. до 520 в год и в дальнейшем будет расти. Частота экстремальных гидрологических бедствий коррелирует с частотой метеорологических бедствий, потому что тропические и внетропические циклоны несут с собой большое количество осадков. Усиление гидрометеорологических событий ускоряет круговорот воды в природе, приводит к увеличению осадков, перераспределяет залежание грунтовых вод, изменяет гидрологический режим рек. С начала XXI века содержание водяного пара в атмосфере увеличилось на $1,3 \text{ кг/м}^2$ воздушного столба. Согласно расчетам, при умеренном сценарии декарбонизации осадки над сушей в сравнении с 1980 г. могут к концу 21 века увеличиться примерно на 7 %, что увеличит востребованность противопаводкового гидротехнического строительства и обеспечит гидроэнергетике надежное будущее.

Человечество волнует проблема ускоряющегося роста таяния арктического морского льда, а также таяния материковых льдов и роста уровня Мирового океана, которые вызваны глобальным потеплением. При умеренном темпе декарбонизации к 2070 г. арктический морской лед в сентябре практически будет отсутствовать, что обеспечит круглогодичную навигацию по Северному морскому пути.

При умеренном сценарии уровень океана поднимется к 2100 г. примерно на 760 мм, а к моменту достижения в 2340 г. радиационного баланса – на 1090 мм. Подобная перспектива по-

требует строительства новых и возможного увеличения высоты действующих гидротехнических защитных сооружений во всем мире.

Негативным последствием глобального потепления является увеличение сейсмической активности, проявляющееся в росте общего числа землетрясений. При умеренном сценарии декарбонизации к 2100 г. суммарная годовая магнитуда землетрясений $M \geq 4$ увеличится до 290. Потепление земной поверхности затрудняет разгрузку восходящего геотермального потока. Не получившая выхода геотермальная энергия формирует в толще пород земной коры термоупругие напряжения, которые способны оживить существующие разломы и сочленения тектонических плит и инициировать сейсмическое событие. Это обстоятельство необходимо учитывать при строительстве новых и эксплуатации действующих подпорных сооружений.

Каждая страна должна определять на национальном уровне вклад в снижение мировых выбросов ПГ и разрабатывать собственную Стратегию по адаптации к последствиям изменения климата. Именно такие необходимые действия предусматривает Климатическая Доктрина РФ (п. 22), чтобы минимизировать катастрофические последствия глобального потепления на территории России.

Развитие гидроэнергетики органически вписывается в климатическую повестку, являясь альтернативой «угольным проектам», способной осуществить значительную часть обязательств России по декарбонизации экономики. В долгосрочном плане с учетом коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) замещать энергетику ископаемого топлива гидроэнергетикой в 2,5 раза более эффективно по сравнению с ветроэнергетикой и в 3,5 раза – по сравнению с солнечной энергетикой.

В настоящее время установленная мощность мировых ГЭС составляет около 1,3 ТВт, которые вырабатывают более $4,5 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год электроэнергии, что составляет около половины гидропотенциала Земли. Годовой сток российских рек составляет примерно 4,3 тыс. км³, в дальнейшем, по мере глобального потепления, годовой сток сибирских рек будет увеличиваться. Гидропотенциал рек России составляет не менее 800 млрд кВт·ч/год, из которых используется не более 20 %. Работающие в России 104 крупных ГЭС суммарной мощностью около 52 ГВт вырабатывают до 180 млрд кВт·ч/год, в то время как в Китае на ГЭС вырабатывается более 1200 млрд кВт·ч/год электроэнергии.

Широкое строительство ГЭС является наиболее эффективным способом достижения Россией «углеродной нейтральности» и осуществления «энергетического перехода», а также предотвращения ущерба от экстремальных паводков и половодий, интенсивность которых в условиях глобального потепления будет усиливаться.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДОПОДОБНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

Г.Л. Козинец¹, В.Н. Чечевичкин², Л.А. Якунин³, А.В. Чечевичкин⁴

Всё более пристальное внимание уделяется вопросу очистки поверхностных и производственных сточных вод в процессе разработки мероприятий по снижению воздействия на окружающую среду при проектировании, строительстве и реконструкции различных промышленных объектов, в том числе и комплексов гидроэлектростанций (ГЭС).

Наиболее вероятными участками образования загрязнённых поверхностных сточных вод (ПСВ) с территории гидроузлов являются:

- площадки открытых распределительных устройств (ОРУ);
- кровли зданий;
- транспортная инфраструктура (автодороги на плотинах, места стоянки личного и служебного автотранспорта, автотранспортные цеха и др.).

В качестве производственных сточных вод, подлежащих необходимой очистке, следует рассматривать промывочные и моечные воды (например, от постов мойки транспорта), а также аварийные стоки, образование которых возможно в машинных залах при проведении обслуживания и ремонта гидроагрегатов или в результате пожаротушения.

Наиболее передовой и универсальной разработкой в области очистки ПСВ является природоподобная технология сорбционно-фильтрационной очистки, повсеместно применяющаяся для локальной очистки поверхностного стока с селитебных и производственных территорий городов. Основой данной технологии, разработанной Политехническим университетом, являются промышленные картриджи – фильтры ФОПС® (рис. 1), которые размещаются в типовых канализационных колодцах (рис. 2а) или наземных блочно-модульных системах (рис. 2б). Разнообразие применяемых в фильтрах ФОПС® сорбционно-фильтрационных материалов позволяет создавать на их основе локальные очистные сооружения для глубокой комплексной очистки ПСВ.

На основе размещаемых в канализационных колодцах фильтров ФОПС® возможно обустройство локальных очистных сооружений (ЛОС) для очистки от нефтепродуктов (трансфор-



Рис. 1. Фильтр ФОПС®

¹ Доктор техн. наук, директор ВШГиЭС, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

² Канд. хим. наук, заведующий НИЛ «Технологии очистки промышленных и поверхностных сточных вод» ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

³ Инженер-исследователь НИЛ «Технологии очистки промышленных и поверхностных сточных вод» ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

⁴ Инженер-исследователь НИЛ «Технологии очистки промышленных и поверхностных сточных вод» ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

маторного масла) ПСВ, образующихся на площадках ОРУ, а также сооружений для очистки ПСВ с автодорог и мест стоянки транспорта.

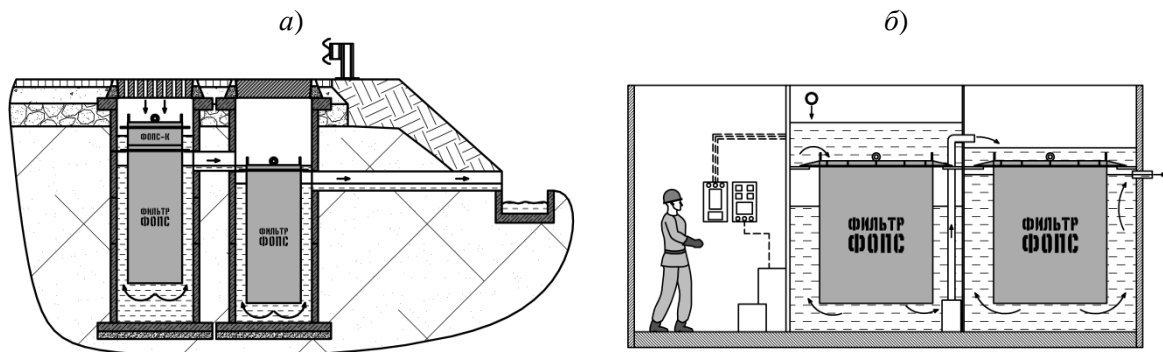


Рис. 2. Возможные варианты размещения фильтров ФОПС® в наземных блочно-модульных системах (а) и в типовых канализационных колодцах (б)

Перспективным представляется использование наземных блочно-модульных систем на основе фильтров ФОПС® для очистки производственных и аварийных сточных вод. Использование стандартных 10-фут. и 20-фут. контейнеров предоставляет возможность обустроить ЛОС в стеснённых условиях, что особенно важно при создании малых ГЭС.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (ПОЧВА, ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ, АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ) В ПРОЦЕССЕ ЛИКВИДАЦИИ ГТС (ШЛАМОНАКОПИТЕЛЬ)

С.В. Сольский¹, С.Х. Таскаева², В.Р. Кузьмина³, Е.В. Чернышева⁴

Представлены результаты проведения мониторинга – контроля состояния геологической, гидрогеологической и воздушной среды на потенциальном источнике загрязнения окружающей природной среды на территории производственного предприятия для обеспечения безопасности в процессе ликвидации ГТС. В настоящее время ГТС находится в стадии ликвидации на основании декларации безопасности гидротехнического сооружения шламонакопителя (ШН). В ходе работ выполняется определение уровня воздействия процессов при ликвидации на окружающую среду, выявление потенциальных угроз и своевременное принятие мер по их минимизации. Мониторинг осуществляется с 2020 г.

Мониторинг производится в соответствии со следующими требованиями: ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»; СП 127.13330.2017 СНиП 2.01.28-85 «Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию»; «Правила охраны подземных водных объектов», утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2016 г. № 94; СП 2.1.5.1059-01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения», утвержденные Главным государственным санитарным врачом РФ 16 июля 2001 г.

Оценка качества почв и атмосферного воздуха производится в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» в области влияния на окружающую среду.

Задачами исследования являются: регулярное наблюдение и сбор данных в процессе ликвидации ГТС; анализ и оценка данных мониторинга; выявление отклонений от норм на ранних стадиях и предотвращение ухудшения экологической обстановки; документирование и отчетность.

Мониторинг состояния окружающей среды ведется на основании утвержденной декларации безопасности гидротехнического сооружения (стадия ликвидации) в соответствии с требованиями ПП РФ от 06.11.1998 «Об утверждении Положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений», ПП РФ № 1081 от 20.10.2014 «Об утверждении правил консервации и ликвидации гидротехнического сооружения», ПБ 03-438-02 «Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов» и др.

Мониторинг осуществляется по трем параметрам: грунтовые воды, почва и атмосферный воздух. Для поставленной задачи выполняется отбор и анализ проб грунтовых вод из наблюда-

¹ Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Заместитель технического директора по производству, ООО «НПК Проектводстрой»

³ Начальник проектного отдела, ООО «НПК Проектводстрой»

⁴ Начальник инженерно-технического отдела, ООО «НПК Проектводстрой»

тельных и фоновых скважин (2 этапа), отбор и анализ проб почво-грунтов в контрольных пунктах (1 этап), атмосферические исследования (2 этапа).

Результаты анализа за 2020–2023 гг. проб грунтовых вод указывают на то, что содержание загрязняющих веществ в наблюдательных скважинах находится в пределах значений, близких к фоновым показателям. Отмечаются превышения нормативов по железу, барию, нефтепродуктам и марганцу, включая фоновую скважину, что указывает на потенциально природное или долгосрочное антропогенное происхождение этих превышений. Динамика изменения концентраций в грунтовых водах не свидетельствует об ухудшении гидрогеологической обстановки в зоне влияния шламонакопителя (ШН).

В почво-грунтах ШН по результатам расчетов наблюдается расчетное превышение ОДК никеля в 2-х пробах в 2022 г. и 2023 г. Величина превышения измеренной концентрации никеля над ДК меньше погрешности измерения (± 7 мг/кг), следовательно, указанным превышением можно пренебречь. Сравнительный анализ с данными предыдущих лет свидетельствует об отсутствии тенденции к увеличению концентрации загрязняющих веществ в почвах объекта.

Мониторинг атмосферного воздуха над участком ШН и на границе санитарно-защитной зоны не выявил превышения максимальной разовой ПДК для сероводорода, диоксида азота и формальдегида. Атмосферическая обстановка демонстрирует положительную динамику, что указывает на отсутствие существенного влияния процессов ликвидации на качество атмосферного воздуха.

Состояние окружающей среды на территории объекта и в зоне его влияния можно охарактеризовать как стабильное. Не наблюдается ухудшения экологической ситуации, связанного с деятельностью по ликвидации гидротехнического сооружения ШН. Текущие мероприятия по контролю и снижению влияния на окружающую среду соответствуют установленным нормативам и требованиям законодательства. Рекомендуется продолжение регулярного мониторинга в период ликвидационных работ для оперативного выявления потенциальных изменений в состоянии окружающей среды. Особое внимание следует уделить контролю содержания железа, бария, нефтепродуктов и марганца в грунтовых водах, а также динамике концентрации никеля в почвах.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПОПАДАНИЯ ПЛАНКТОНА В ВОДОЗАБОР ПУТЕМ ЕГО РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А.В. Иванов¹, П.В. Ратников²

Согласно требованиям российского законодательства водопользователи обязаны принимать меры по сохранению рыб и иных (планктонных кормовых) водных биоресурсов (ВБР), то есть предотвращать как их попадание в водозаборы/ГЭС, так и бесполезный вынос из водохранилища. При этом вместе с фито- и зоопланктоном по водохранилищу дрейфует нежизнеспособный ихтиопланктон, численность которого может на два-четыре порядка превышать численность жизнеспособных особей. К сожалению, в современной нормативной базе средства для предотвращения попадания планктона в водозаборы/ГЭС не предусмотрены. В то же время именно гибель планктона определяет основной размер вреда, который водопользователь причиняет состоянию ВБР и среды их обитания. Поэтому есть смысл уделить особое внимание вопросам предупреждения попадания в водозаборы не только рыб, но и планктона. Разрабатывая стратегию сохранения планктона, необходимо учитывать, что это кормовой ресурс, который должен быть рационально использован ихтиофауной по его основному назначению. Поэтому есть смысл организовать ихтиофауну и ее кормовых организмов-фильтраторов для выполнения важной природоохранной задачи – максимально полного освоения, то есть нагула на кормовом планктоне, дрейфующем к водозабору/ГЭС. Очевидно, что добиться этого можно путем повышения конкуренции, стимулирование которой обеспечивает повышенная концентрация утилизаторов планктона. Поэтому на пути дрейфа планктона в водозабор/ГЭС необходимо организовать специальное место для их накопления, продолжительного обитания и высокопродуктивного нагула. Поскольку в качестве утилизаторов планктона используются как свободно плавающие рыбы, так и резидентные организмы-фильтраторы, то для их базирования наиболее целесообразно использовать упорядоченную совокупность – гряду развитых в транзитную водную толщу рифовых модулей, которые служат одновременно и субстратом, заселяемым фильтраторами, и охотничьими стоянками/засадами для различных видов рыб. Причем, если рифовые модули заселяют преимущественно рыбы-планктофаги, то они совместно с фильтраторами утилизируют планктон непосредственно на рифе. Если же на упорядоченно-протяженной рифовой гряде базируются рыбы-ихтиофаги, то с ее помощью они организуются в единую крупную группировку – биобарьер и, отпугивая жизнеспособных планктофагов, вытесняют их от водозабора/ГЭС вверх против течения. На безопасном удалении от биобарьера жизнеспособные планктофаги также собираются в плотное скопление, формируя утилизатор фито- и зоопланктона (рис. 1). В этом случае ихтиофагам остается утилизировать нежизнеспособных особей планктофагов и ихтиопланктон.

¹ Доктор техн. наук, главный специалист, АО «Институт Гидропроект»

² Главный инженер проекта, АО «Институт Гидропроект»

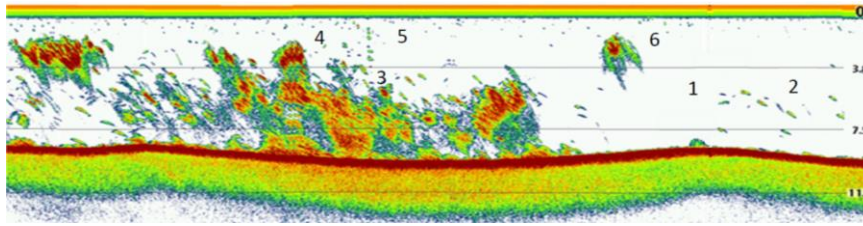


Рис. 1. Формирование эшелонированного утилизатора планктона на поперечной рифовой гряде-биотопе:
 1 – поперечная рифовая гряда; 2 – биобарьер из ихтиофагов; 3 – утилизатор планктона из планктофагов;
 4 – планктон; 5 – зона дефицита планктона; 6 – дрейфующий «котел» нежизнеспособных особей

В то же время часть нежизнеспособных особей планктофагов, планктон и ихтиопланктон проходят через биобарьер. Для водопользователя они могут быть серьезными биопомехами. Поэтому ниже по течению биобарьера целесообразно разместить специальный рифовый биотоп – утилизатор планктона (биопомех). Поскольку дрейфующий по водоему планктон, как правило, распределен по водозаборному фронту весьма мозаично, то обитатели различных участков утилизатора биопомех могут испытывать различную нагрузку – где-то корма будет в избытке и его не успеют полностью утилизировать, а где-то, наоборот, будет ощущаться дефицит корма. Для более равномерного распределения биопомех по всему водозаборному фронту рифовый биотоп-утилизатор биопомех выполняется в виде эшелонированной совокупности потоконаправляющих косых гряд – диффузоров и конфузоров, которые в совокупности сначала равномерно рассеивают планктон по всему водозаборному фронту, а затем вновь собирают его и направляют вдоль гряд утилизаторов, заселенных планктофагами и детритофагами, которые перерабатывают корм до фракций, не представляющих опасности для водопользователя (рис. 2).

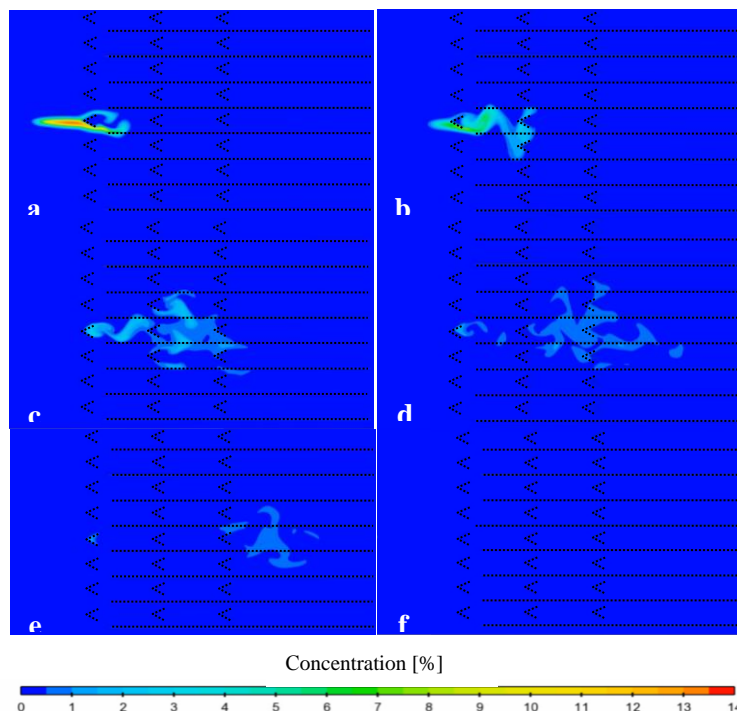


Рис. 2. Утилизация эшелонированным рифовым биотопом планктонного пятна, дрейфующего в водозабор (математическая модель)

Таким образом, водное население рифового биотопа не только продуктивно нагуливается, рационально используя биопомехи, но и предотвращает их поступление в водозабор/ГЭС.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МЕЛИОРАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РЫБ НА ВОДОЗАБОРАХ

А.В. Иванов¹, П.В. Ратников²

Согласно требованиям российского законодательства водопользователи обязаны принимать меры по сохранению рыб и иных водных биоресурсов (ВБР), в том числе кормового планктона, то есть предотвращать их попадание в водозаборы. Если же предотвратить попадание не удастся, то необходимо проведение восстановительных мер посредством искусственного воспроизводства ВБР или рыбохозяйственной мелиорации водных объектов.

В настоящее время предотвращение попадания ВБР в водозаборы обеспечивают рыбозащитными сооружениями (РЗС), которые, согласно СП 101.13330.2023, предназначены для *предотвращения попадания* рыб в водозаборные сооружения и отведения их в *жизнеспособном состоянии в безопасное место* водного объекта рыбохозяйственного значения. Однако большинство конструкций, рекомендованных СП, допускает контакт рыб с защитным экраном/полем, травмирующим их молодь. В результате жизнеспособность рыб не обеспечивается. Кроме того, во всех РЗС на водохранилищах отсутствует безопасное место, гарантирующее невозвращение рыб обратно к водозабору. В результате из трех основных требований, предъявляемых в СП к РЗС, два нарушаются. Учитывая также, что представленные в СП конструкции РЗС не обеспечивают предотвращение попадания в водозабор планктона, то есть одного из наиболее многочисленных видов ВБР, можно подытожить, что в совокупности ныне действующий СП полностью не соответствует требованиям российского законодательства. В результате водопользователь, независимо от того, оборудован его водозабор РЗС или нет, должен платить за вред, причиняемый ВБР. В связи с этим весьма актуальным представляется решение проблемы снижения до минимума поступления всех видов ВБР в водозаборы и ГЭС, в том числе в особо крупные.

Очевидно, что наиболее рационально данная проблема, в соответствии с требованиями российского законодательства, решается с помощью рыбохозяйственной мелиорации, которая позволяет водопользователю, целенаправленно повышая в ключевых точках проблемного водного объекта неоднородность подводного ландшафта, то есть естественной среды обитания ВБР, запускать процессы самоорганизации и саморегуляции локальных экосистем. При этом оседлые обитатели обустроенного участка, рационально используя весь спектр транзитного кормового ресурса проблемного водоема, контролируют перемещения и распределения жизнеспособных ВБР, регулируют и предотвращают их подход к водозабору. Инструментом для запуска процессов самоорганизации и саморегуляции локальных экосистем служат наиболее доступные, не требующие эксплуатации и энергообеспечения рукотворные рифовые модули и сформированные из них упорядоченно-протяженные гряды-биотопы. С их помощью, согласно требованиям СП, можно решать следующие рыбоохранные задачи, а именно создавать в проблемном водоеме:

а) безопасное место оседлого обитания молоди и мирных рыб (БМООР), которое в зависимости от конструкции и места расположения может быть:

¹ Доктор техн. наук, главный специалист, АО «Институт Гидропроект»

² Главный инженер проекта, АО «Институт Гидропроект»

арьергардным – в устье рыбоотвода РЗС, обеспечивающее адаптацию и невозвращение молоди к водозабору после ее контактной защиты с эффективностью, превышающей 90 %;

авангардным – на основных путях в водозабор биостока, аккумулируя который, БМООР обеспечивает достижение основной конечной цели рыбозащиты – продолжительного пребывания в нем защищенных рыб с эффективностью, достигающей 70 %, то есть является самодостаточным РЗС, позволяющим отказаться от дорогостоящего нормативного РЗС;

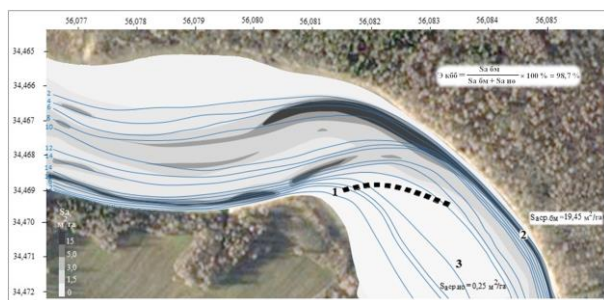
б) упорядоченно-протяженную гряду-биотоп охотничьих стоянок и засад, организующую ихтиофагов в биобарьер – природный источник биологической опасности, о смертельной опасности встречи с которым рыба знает с самого рождения на инстинктивном уровне. Эффективность биобарьера, организованного на поперечной рифовой гряде, превышает 90 %.

В зависимости от конструкции и места расположения биобарьер может быть:

авангардным – на основных путях в водозабор биостока, жизнеспособных особей которого ихтиофаги отпугивают от водозабора, а нежизнеспособных – утилизируют. При этом планктофаги, которых отпугнули от биобарьера на безопасное расстояние, собираются в плотные скопления и тщательно утилизируют дрейфующий в водозабор планктон;

арьергардным – в устье рыбоотвода или перед водозабором за авангардным биобарьером, служит для окончательной утилизации ихтиофагами, планктофагами и детритофагами нежизнеспособного биостока, прошедшего через РЗС или авангардный биобарьер;

в) упорядоченно-протяженную косую гряду-биотоп охотничьих стоянок и засад, организующую ихтиофагов в косой биобарьер, направляющий жизнеспособных рыб в арьергардное БМООР или оголовок сооружения, обеспечивающего безопасный спуск/проход рыб на нагул из верхнего бьефа в нижний, с эффективностью, превышающей 95 % (рисунок).



Перенаправление жизнеспособных рыб-мигрантов в безопасное место биобарьером из ихтиофагов, организованном на косой рифовой гряде:
1 – косая рифовая гряда;
2 – в безопасное место;
3 – к источнику техногенной опасности (к водозабору)

Утилизируя нежизнеспособных и сорных особей, ихтиофаги как санитары водоема не только saniруют ихтиоценоз, но и переводят его малоценную биомассу в свою более ценную, а также устраняют пищевых конкурентов ценных мирных видов рыб, способствуют их продуктивному нагулу. Тем самым, они не только предотвращают попадание ВБР в водозабор, но и улучшают качество совокупного промыслового водного биоресурса.

В утилизации транзитного планктона и переводе его в резидентный кормовой ресурс, который продолжительно сохраняется на рифе, в том числе в зимний период, активное участие принимают также многочисленные организмы перифитона и бентоса, оседло заселяющего на гряде субстрат рифовых модулей, развитый в водную толщу транзитного дрейфа планктона.

Таким образом, водное население рифового комплекса без дальнейшего участия человека обеспечивает максимально возможное рациональное использование транзитного кормового ресурса, предотвращает попадания в водозабор жизнеспособных особей и тем самым способствует сохранению ВБР и повышению рыбопродуктивности водного объекта.

ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩА СВЕТЛИНСКОЙ ГЭС ПО ВАРИАНТАМ ЛЕСООЧИСТКИ

А.Н. Чусов¹, С.В. Селиванова²

Для оценки инженерно-экологических условий территории основных и вспомогательных сооружений Светлинской ГЭС, акватории водохранилища, участков берегопереработки необходим научно-обоснованный прогноз возможных изменений инженерно-экологических условий природно-технической системы на базе водохранилища Светлинской ГЭС, связанный с качеством воды в водохранилище при различных уровнях воды в нем.

Целью настоящего исследования являлось:

выполнение прогнозной оценки объемов затопления остаточной (после выполненной 35 лет назад лесосводки и проведенной в 2001–2008 гг. повторной лесочистки территории в пределах отметки 181,00 м) древесной массы в ложе водохранилища Светлинской ГЭС при повышении уровня водохранилища до отметки 177,00 м;

прогнозная оценка качества воды при изменениях уровня режима водохранилища до указанной отметки;

на основании выполненных прогнозных оценок и анализа действующих нормативных требований сделать выводы о необходимости и целесообразности проведения повторной лесосводки и лесочистки на территориях дополнительного затопления при повышении уровня воды в водохранилище с действующей подпорной отметки 175,00 м до обоснованной проектной документацией 2023 г. отметки НПУ 177,00 м.

Результаты выполненных исследований по прогнозной оценке объемов затопления остаточной древесной массы в ложе водохранилища и прогноза качества воды водохранилища Светлинской ГЭС при повышении НПУ до 177,00 м по вариантам лесочистки показали, что отказ от проведения повторной лесочистки в зоне дополнительного затопления между отметками 175,00 и 177,00 м не окажет отрицательного влияния на качества воды формирующегося водохранилища. Определяющими факторами остаются качество вод, поступающих из выше-расположенного Вилюйского водохранилища, поступление водорастворимых веществ с локального водосбора водохранилища и из почвенного покрова, а также очень высокая интенсивность водообмена – более 27 раз в год.

В результате выполненных работ была создана цифровая пространственная модель ложа водохранилища Светлинской ГЭС, на которой были проведены расчеты экологических показателей при поднятии уровня воды в нем до различных отметок.

¹ Канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

² Канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

РАСШИРЕНИЕ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ. ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ НА НЕРЮНГРИНСКОЙ ГРЭС

А.А. Яблонцев¹, А.Я. Мирзаев², И.В. Колоусов³

Действующий шлакозолоотвал (ШЗО) № 1 Нерюнгринской ГРЭС – овражного типа, намывной, односекционный, двухъярусный. Система внешнего гидрозолоудаления – гидравлическая с совместным транспортированием и складированием золы и шлака, обратная с возвратом осветленной воды на ГРЭС. Эксплуатация ГРЭС и ШЗО началась в декабре 1983 г. Проектный объем первой очереди – 7,3 млн. м³ был заполнен за первые 25 лет эксплуатации ГРЭС. В 2009 г. было выполнено наращивание ограждающих дамб ШЗО № 1 до отметки 837,50 м. Расчетный объем ШЗО был увеличен до 16,3 млн. м³. К середине 2024 года остаточная ёмкость незначительна и проводятся работы по его реконструкции для обеспечения возможности дальнейшего размещения отходов (золошлакового материала) в пределах существующего землеотвода с учетом ввода в эксплуатацию дополнительных мощностей на ГРЭС.

При проектировании были рассмотрены различные варианты увеличения ёмкости ШЗО.

Вариант № 1. Наращивание существующих ограждающих дамб с переводом прилегающих земель (защитные леса) в эксплуатационные земли (земли промышленности), увеличение ёмкости за счет дополнительной территории.

Вариант № 2. Наращивание существующих дамб и возведение южной ограждающей дамбы, в пределах существующего землеотвода.

Вариант № 3. Секционирование ШЗО разделительной дамбой на две секции с выполнением 3 и 4 яруса наращивания, в пределах существующего землеотвода.

По результатам сопоставления предпочтение было отдано варианту № 3, так как:

не требуется дополнительного отвода земельного участка;

не затрагиваются прилегающие природные территории;

не оказывается дополнительное воздействие на природные водные объекты, на водные биологические ресурсы;

производство строительных работ по отдельным секциям минимизирует антропогенную нагрузку на компоненты природной среды по каждому периоду строительства;

секционирование позволяет распределить инвестиционные затраты на реконструкцию ШЗО.

В соответствии с современным природоохранным законодательством для предотвращения фильтрации в основании и по бортам наращиваемых ярусов ШЗО было принято решение об устройстве противофильтрационного экрана из полиэтилена низкого давления толщиной 2 мм, укладываемого на откосы дамб и дно в основание нового яруса наращивания.

Проект наращивания дамб предусматривает новые технические решения по конструкции и методам производства работ, которые могут быть применены для аналогичных сооружений в северной климатической зоне.

Для контроля состояния сооружений и воздействия на гидрогеологический режим в основании и степени воздействия на окружающую среду предусматривается установка контрольно-измерительной аппаратуры.

¹ Главный инженер проекта, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Начальник отдела капитального строительства, АО «Дальневосточная генерирующая компания» СП «Нерюнгринская ГРЭС»

ВОЗДЕЙСТВИЕ КОЛЫМСКОЙ ГЭС НА ИХТИОФАУНУ ВОДОХРАНИЛИЩА

В.В. Елистратов¹, В.И. Масликов², М.Б. Шилин³

Гидроузел Колымской ГЭС расположен в Ягоднинском городском округе Магаданской области на 1894-ом километре от устья р. Колымы. Судопропускные, рыбозащитные, рыбопропускные сооружения и насосные станции в составе гидроузла Колымского водохранилища Техническим проектом не предусмотрены.

Специальные рыбохозяйственные попуски из Колымского водохранилища Техническим проектом не предусмотрены. Весенний нерест рыб проходит в период с 10 мая по 10 июня, осенний – с 10 сентября по 20 октября.

Колымское водохранилище представляет собой антропогенную систему, переходную от речного типа к озерному, с выраженным доминированием озерных характеристик (замедленное течение, замутнение воды, выраженное осадконакопление). Наибольшая глубина водохранилища (у плотины) – 120 м, средняя глубина при НПУ – около 33 м. Наибольшая сработка водохранилища возможна до УМО с отметкой 430 м, то есть до отметки порога поверхностных водосборов или на 20 м. Скорость течения в водохранилище значительно меньше, чем в естественных условиях р. Колымы: весной, в период половодья, – от 0,2 до 0,6 м/с., в летний и зимний периоды – не более 0,5 см/с. Прозрачность воды в водохранилище более высокая, чем в водотоке р. Колымы до зарегулирования. Увеличение прозрачности воды, накопление илстых осадков, благоприятных для развития кормового бентоса, и снижение скорости течения создают условия, более благоприятные для развития рыбных сообществ, чем это было до зарегулирования водотока.

Ихтиофауна Колымского водохранилища представлена следующими видами рыб: хариус сибирский, сибирский чукучан, обыкновенный валек, обыкновенная щука, речной окунь, тонкохвостый налим, обыкновенный голянь, обыкновенный ерш, пелядь – всего 9 видов. Колымское водохранилище является местом нагула, нереста и зимовки перечисленных видов рыб.

По мере наполнения водохранилища соотношение и численность различных представителей ихтиофауны несколько изменились. Наиболее массовым видом в водохранилище стала щука. Высокая экологическая приспособляемость позволяет ей использовать как участки с замедленным течением реки с песчаным или илстым дном, так и участки горного характера со значительными течениями, перекатами и даже порогами.

Скудость кормовых ресурсов водной толщи и бентали обуславливает присутствие в ихтиофауне исключительно эврифагов (использующих любые виды кормовых ресурсов, включая детрит) и хищников, причем среди хищников развит каннибализм – поедание мелких особей своего же вида. Явление каннибализма характерно для щуки, налима и окуня – видов, составляющих основу уловов в водохранилище.

Начиная с 2017 г., в Колымское водохранилище различными организациями ежегодно производится выпуск молоди рыб (пеляди, чира, осетра). Значительная часть выпущенной мо-

¹ Доктор техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

² Доктор техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

³ Доктор геолог. наук, профессор, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

лоди (до 90%) выедается местными хищниками – окунем, налимом и щукой. Воздействие хищничества (в том числе – каннибализма), наряду с недостаточной кормовой базой, является основным фактором, лимитирующим состояние ихтиофауны в Колымском водохранилище.

Виды рыб, населяющих Колымское водохранилище, относятся к экологической группе туводных или жилых, не совершающих протяженных миграций и приуроченных в своей жизнедеятельности к определенному участку водохранилища. Плотина ГЭС и работающие гидроагрегаты по характеру режимов работы в принципе не оказывают какого-либо влияния на рыб данной экологической группы. В своем распределении рыбы тяготеют к мелководным прибрежным участкам, где расположены поселения кормового бентоса, и не заселяют глубоководье. Вероятность опускания рыб глубже отметки 20 м чрезвычайно низкая в связи с отсутствием здесь кормового планктона. Наиболее популярный объект рыболовства – хариус – вообще является приповерхностным видом, в кормовой базе которого основу составляют упавшие в воду или низко парящие над ней насекомые. Соответственно, вероятность попадания рыб в водопроводящий тракт ГЭС очень низкая.

Для Колымской ГЭС специфичным является расположение водоприемника ГЭС на относительно большой глубине (23-41 м относительно отметки НПУ) в горизонте с минимальной концентрацией молоди. Забор воды из малонасыщенных рыбой горизонтов обеспечивает защиту тех видов, размах сезонных и суточных вертикальных миграций которых ограничен определенными глубинами водной толщи. Наличие у молоди многих видов рыб четкого вертикального распределения в толще воды позволяет использовать и эту особенность в целях их защиты от попадания в водозаборы. Фактически на Колымской ГЭС реализуется *экологический способ защиты рыб от попадания в водопроводящие тракты*.

Негативного воздействия со стороны ГЭС на состояние рыбы и среды ее обитания по результатам проведенного исследования не обнаружено. На водохранилище проводятся специальные мероприятия компенсационного характера в форме выпуска молоди рыб с целью зарыбления данного водоема.

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ГТС

В.Ю. Белоусова¹, Г.Л. Козинец², И.Е. Фролова³

Гидротехнические сооружения (ГТС) играют важную роль в обеспечении устойчивого развития населения разных стран. Они используются для хранения воды, водоснабжения, выработки электроэнергии, орошения земель и других целей. Однако эксплуатация ГТС может оказывать негативное воздействие на окружающую среду (сброс сточных вод - нагрузка на гидросферу, выбросы газовой смеси – нагрузка на атмосферу, размещение отходов - нагрузка на литосферу), что требует проведения, разработки ряда охранных мероприятий на основании данных, информации экологического мониторинга.

Мониторинг экологической безопасности ГТС представляет собой систему наблюдений на основании нормативов и законодательства РФ, направленных на сбор, обработку и анализ данных о состоянии окружающей среды в зоне влияния ГТС. Эти данные позволяют оценить уровень негативного воздействия сооружений на окружающую среду, сопоставить её фактическое состояние с прогнозируемым. Вследствие выявления такого воздействия принять меры по его снижению на разных этапах жизненного цикла объекта – от строительства до эксплуатации.

По пути достижения этой цели решаются следующие задачи:

- сбор и обработка данных о состоянии окружающей среды в зоне влияния ГТС;
- анализ полученных данных и выявление факторов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду;
- оценка уровня экологической безопасности ГТС;
- разработка рекомендаций по снижению негативного воздействия ГТС на окружающую среду.

Система экологического мониторинга безопасности ГТС использует различные методы для сбора и анализа данных по загрязнению атмосферного воздуха, водных объектов гидрографической сети, почвенного, гидрологического, руслоформирующего процессов в верхних и нижних бьефах водозаборных гидроузлов и техническому состоянию гидротехнических сооружений. Эти методы можно объединить по группам:

дистанционные методы – спутниковые снимки, аэрофотосъёмка, лазерное сканирование, позволяющие получить информацию о состоянии окружающей среды в широком пространственном диапазоне;

контактные методы – отбор проб воды, почвы, воздуха, растительности. Эти методы позволяют получить информацию о химическом составе и физических свойствах окружающей среды;

математические методы – статистический анализ, моделирование, прогнозирование. Эти методы позволяют обработать полученные данные, создать соответствующие базы данных и выявить закономерности в изменении состояния окружающей среды.

¹ Канд. техн. наук, доцент, ВШГиЭС, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

² Доктор техн. наук, доцент, и.о. директора, ВШГиЭС, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

³ Канд. техн. наук, доцент, ВШГиЭС, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

Полученная информация от вышеперечисленных методов может быть представлена в виде отчётов о состоянии окружающей среды в зоне влияния ГТС; рекомендаций по снижению негативного воздействия ГТС на окружающую среду; прогнозов изменения состояния окружающей среды при различных сценариях эксплуатации ГТС.

Для получения достоверной информации о состоянии и тенденциях протекающих изменений в окружающей среде могут проводиться маршрутные мониторинговые исследования, которые создаются на базе сети постоянных пунктов системных наблюдений по каждому компоненту природной среды (назначаются посты, точки отбор проб и так далее) в соответствии с мониторинговыми программами, где точно обозначено время наблюдений.

При выявлении в процессе мониторинга неблагоприятных изменений каких-либо показателей в программу мониторинга при специальном обосновании в соответствии с нормативами вводятся уточнения по углубленному изучению причин этих процессов.

Таким образом, результаты экологического мониторинга безопасности ГТС позволяют оценить уровень экологической безопасности сооружений и разработать меры по её повышению.

Секция

Новые материалы и технологии в строительстве

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ В БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБЛИЦОВКАХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ КАНАЛОВ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ РАЗГРУЗКИ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

С.А. Аверьянов¹

Существует проблема давления грунтовых вод на внешнюю сторону облицовки герметичных водопроводящих каналов, особенно при их опорожнении. Вследствие чего зачастую происходит всплытие облицовки или ее деформация, ухудшающие техническое состояние канала и затрудняющие дальнейшую эксплуатацию.

В настоящее время проблематика с деформациями облицовки из-за выталкивающей силы воды не решена при масштабном строительстве. Некоторые предложенные решения, такие как, например в патенте: «Российский патент 2021 года по МПК E02B5/02 E02B3/16» – малоэффективны, финансово затратные, не удобны в производстве работ и сильно влияют на сроки строительства. Прочие известные решения в данной области также являются ресурсно-затратными и малоэффективными, и в большинстве случаев выходят из строя в первый-второй год после строительства.

Нами разработана концепция новой конструкции деформационных швов из материалов, широко используемых в строительстве в настоящее время. Данная конструкция позволяет в опорожненном состоянии канала беспрепятственно выходить через облицовку грунтовому потоку, оказывающему на нее внешнее давление. В то же время при наличии воды в канале обеспечивается его герметичность.

Такие швы помогают избежать таких неприятных последствий, как деформация или всплытие облицовки при опорожнении каналов.

Данная конструкция деформационного шва представляет собой стандартный шов с нормальными его размерами, при этом внутри перед бетонированием особым образом укладывается высокоэластичная геомембрана, например, на каучуковой основе. После заливки секций бетонирования мембрана надрезается по всей длине шва. Таким образом, формируется клапанный шов. Защищается клапан от иловых отложений ПВХ профилем с укладкой геотекстиля и защитного слоя из мелкого гравия на композите.

Данная концепция клапанного шва пока не применялась в реальном строительстве и выносится на обсуждение инженерно-техническому сообществу для получения критических замечаний.

По итогам конференции клапанные деформационные швы будут доработаны, испытаны и рекомендованы для широкого применения в гидротехническом строительстве.

¹ Магистр, главный инженер проекта и начальник инжинирингового отдела «Alterra Teams», «INTOP»

ТЕОРИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ШВОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

М.К. Кудобаев¹

Герметизация строительных швов является неотъемлемой частью комплекса мероприятий по устройству гидроизоляции заглубленных зданий и сооружений. В соответствии с СП 250.1325800.2016, герметизация швов выполняется вне зависимости от выбранной схемы гидроизоляции и применяемых материалов. При этом большое количество материалов и практическое отсутствие рекомендаций по их выбору, а также неточности в описании, часто приводят к протечкам через швы.

Сегодня существует целый ряд материалов и технологических приемов, направленных на герметизацию строительных швов, среди которых можно выделить следующие группы:

1. Профильные уплотнительные ленты (гидрошпонки), выполненные из различных материалов (ПВХ, резина, ПЭ, металл и пр.), а также комбинированные.
2. Набухающие профили и ленты на основе бентонитовых глин, акрилата и гидрофильной резины.
3. Синтетические и органические герметики и пасты.
4. Цементные составы проникающего действия.
5. Линейные трубчатые инъекторы.
6. Инъекционные материалы на основе цемента, ПУ и эпоксидных смол, акрилатные гели и пр.

Наиболее частым решением по герметизации строительных швов в настоящее время считается монтаж ПВХ гидрошпонок, благодаря относительной простоте их монтажа и невысокой стоимости. Несмотря на то, что производство и монтаж ПВХ гидрошпонок в настоящий момент регулируется СП 250.1325800.2016, а рекомендации по их установке указаны в СТО 2.7.156-2014, до сих пор нет единых правил проектирования герметизации швов. Отсутствие понимания принципов работы гидрошпонки и часто низкая квалификация исполнителей, приводят к выходу из строя гидроизоляционной системы, зачастую еще до ее ввода в эксплуатацию.

Выявлено серьезное расхождение между теоретическими и практическими данными водонепроницаемости швов с гидрошпонками. Расчетное значение водонепроницаемости в соответствии с эмпирической формулой, представленной в СТО 2.7.156-214, на порядок превышает значения, полученные в лаборатории и на строительных объектах.

Установлено, что качество герметизации швов с уплотнительными лентами зависит от следующих параметров:

1. Сила давления флюида в зоне контакта.
2. Наличие и величина сцепления цементной матрицы к материалу уплотнителя.
3. Жесткость материала уплотнителя.
4. Форма уплотнителя и рельеф его поверхности.
5. Длина контактной зоны в плоскости перпендикулярной направлению движения флюида.
6. Свойства бетона.

Увеличение водонепроницаемости швов с установленными гидрошпонками возможно как путем изменения свойств профиля, так и путем комбинирования с различными материалами. Наиболее оптимальным примером такого применения является монтаж инъекционных систем, позволяющий производить прокачку швов только при наличии протечек.

¹ Аспирант кафедры ТСМиМ СПбГАСУ, Исполнительный директор ООО «ГЕОИЗОЛ ПГС»

СКОРОСТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МАССИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ПРИМЕНЕНИЕ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ И АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

А.Е. Огурцов¹

Специалисты АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» стояли у истоков разработки и применения скоростной технологии возведения массивных монолитных конструкций зданий и сооружений в гидротехнической и атомной отраслях. В настоящее время проводится авторское сопровождение данной технологии при возведении особо ответственных сооружений. В связи с этим накоплен огромный опыт применения скоростной технологии возведения массивных сооружений, о котором будет сообщено в данном докладе.

Скоростная технология бетонирования позволяет сократить сроки строительства, снизить трудоемкость выполняемых работ и общую стоимость проекта. Для реализации скоростного возведения массивных монолитных конструкций необходимо внедрение новых организационно-технологических решений на всех этапах строительства, начиная от детальной проработки основных принципов внедрения скоростных технологий для каждого конкретного объекта, и заканчивая получением готового продукта (монолитной конструкции), отвечающего всем проектным требованиям.

В докладе будут рассмотрены основные аспекты скоростных технологий на всех этапах строительного процесса:

подготовка к производству работ (разработка проектной и организационно-технологической документации, подготовка и выбор технологии возведения, апробация и внедрение принятых решений на натурных макетах);

разработка составов бетона, отвечающих заданным требованиям;

приготовление и поставка бетонной смеси на объект строительства;

технология арматурных и опалубочных работ;

технология бетонных работ, включая выдерживание и уход за бетоном;

контроль и оценка качества выполняемых работ;

анализ и оценка эффективности применяемой технологии;

преимущества и недостатки скоростной технологии.

¹ Главный специалист отдела «Технология строительства и ремонта железобетонных сооружений», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВОЗВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ В РАМКАХ НИР «КОМПЛЕКСНОЕ РАЗВИТИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ И АРМИРОВАНИЯ (ВСТБА)»

Н.В. Тютюнщиков¹, С.Б. Кондратьев²

Применяемая в настоящее время при строительстве АЭС скоростная технология бетонирования позволила обеспечить сокращение сроков строительства, поставленных в рамках проекта ВВЭР-ТОИ.

Однако для еще большего сокращения сроков строительства хорошо зарекомендовавшая себя технология скоростного бетонирования требует усовершенствования в части внедрения дополнительных технологических решений, направленных на охлаждение бетонной смеси при ее изготовлении и твердеющего бетона в конструкции, а также на применение новых материалов, в частности - композиционного цемента с низким тепловыделением.

Как показала практика бетонирования массивных конструкций, в частности фундаментных плит, основными сдерживающими факторами для обеспечения дополнительного сокращения сроков строительства являются:

- высокая температура разогрева бетона. В некоторых случаях температура бетона в конструкциях достигала значения $+75^{\circ}\text{C}$ и выше;
- низкая скорость остывания бетона в массивных конструкциях и соответственно достаточно длительное выдерживание забетонированных захваток, без возможности примыкания к ним новых блоков.

Для оптимизации строительного процесса и дополнительного сокращения сроков строительства в качестве эффективного способа регулирования температурного режима твердения бетона и термонапряженного состояния в массивных монолитных конструкциях рассматривается комплексное внедрение рецептурных и технологических методов охлаждения бетонных смесей и бетона.

¹ Канд. техн. наук, заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Член Правления, первый заместитель Генерального директора – Главный инженер ПАО «РусГидро»

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ БЕТОНОВ. ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ

**К.О. Чугунова¹, Ю.П. Федоренко, Р.А. Натынчик,
А.А. Мингазова, Е. Пивнова, А. Жук**

Современные высокоскоростные технологии бетонирования подразумевают использование новых высокотехнологичных бетонов. Использование высокоподвижных самоуплотняющихся бетонных смесей позволяет значительно увеличить скорость укладки бетонной смеси. Применение низкотермичных бетонов значительно ускоряет процесс возведения массивных железобетонных конструкций. Самоуплотняющиеся бетонные смеси, как и низкотермичные бетоны содержат в своем составе минеральные наполнители. Совместное использование минеральных наполнителей (добавок) и клинкерного компонента представляет собой композиционные цементы.

Применение композиционных цементов в составе бетонных смесей способствует улучшению их свойств и расширению функциональных возможностей. В составе самоуплотняющихся бетонных смесей композиционные цементы, содержащие минеральные добавки, играют ключевую роль в обеспечении уникальных свойств самоуплотняющихся бетонных смесей, таких как высокая текучесть, плотность, связность и однородность без необходимости механического уплотнения.

Снижение клинкерной части цемента в составе композиционного цемента и бетона сказывается на снижении тепловыделения при гидратации цемента, что имеет особое значение при бетонировании массивных конструкций, а также уменьшает усадочные явления в процессе твердения бетона.

Для подбора состава композиционного цемента необходимо использовать комплексный подход, основанный на нескольких основных этапах исследования свойств и характеристик минеральных добавок, растворных и бетонных смесей, а также затвердевшего раствора и бетона. Одним из основных критериев подбора состава является тепловыделение бетона.

Применение композиционных цементов, содержащих в своем составе минеральные добавки различного генезиса и дисперсности, позволяет существенно улучшить технологические свойства бетонной смеси, эксплуатационные характеристики бетона, обеспечивая его долговечность, устойчивость к внешним воздействиям и удобство в применении.

¹ Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

БЕСЦЕМЕНТНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ЗОЛОУНОСА УГОЛЬНЫХ ТЭС

А.С. Брыков¹

Смесь высококальциевой, низкокальциевой золоуноса и активатора – карбоната натрия – может служить в качестве низкомарочного бесклинкерного вяжущего, затворяемого водой. В щелочной среде, создаваемой в результате взаимодействия компонентов вяжущего и воды, активируются гидравлические и пуццолановые свойства высококальциевой и низкокальциевой золоуноса, в результате чего получается водостойкий камень прочностью 10–20 МПа и более. Процесс твердения стимулируется тепловлажностной обработкой. Величина объемных деформаций, сопровождающих гидратацию свободного СаО в составе высококальциевой золы и влияющих на стабильность образцов и их прочность, зависит от состава золы и ее дисперсности, состава вяжущего и режима его твердения. Используя эти факторы, становится возможно контролировать развитие деформаций на уровне допустимых пределов или существенно их уменьшить. Введение в состав вяжущего ультрадисперсных видов кремнезема подавляет деструктивные процессы даже в случае использования в составе вяжущего грубодисперсных высококальциевых золоуноса с высоким содержанием свободного СаО.

¹ Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЭЦ, ПОДВЕРЖЕННЫХ АГРЕССИВНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ МОРСКОЙ ВОДЫ

В.В. Чеботарев¹

В данном докладе приведен опыт работы специалистов института по комплексному обследованию ТЭЦ, в рамках которого произведена оценка технического состояния конструкций, подверженных длительному влиянию агрессивной среды, создаваемой вследствие охлаждения турбин ТЭЦ морской водой.

Выявлены проблемы несвоевременного мониторинга строительных конструкций и, соответственно, отсутствия проведения необходимых мероприятий по предотвращению доведения конструкций до аварийного состояния.

В рамках обследования строительных конструкций ТЭЦ стояли следующие задачи: 1) визуальное обследование открытых бетонных поверхностей с выявлением дефектных участков; 2) контроль прочности бетона конструкций неразрушающими методами контроля; 3) определение фактического армирования приборами неразрушающего контроля; 4) выборочное определение глубины карбонизации защитного слоя бетона; 5) визуальное обследование металлических несущих конструкций каркасов зданий, выявление дефектов конструкций, включая деформации, смятие, разрывы металла и коррозионное повреждение конструкций; 6) выборочная толщинометрия металла, оценка соответствия применённых профилей проектным решениям, оценка фактического коррозионного износа металла; 7) выборочный отбор образцов металла из основных несущих конструкций каркаса и их лабораторные исследования с целью подтверждения фактических характеристик металла проектным данным для использования полученной информации при выполнении комплекса поверочных расчётов.

В докладе представлены результаты комплексного обследования ТЭЦ, включая оценку категории технического состояния конструкций, подверженных агрессивному воздействию морской воды, изложены соответствующие выводы, рекомендации по восстановлению конструкции, а также даны предложения по мониторингу и эксплуатации аналогичных сооружений.

¹ Заведующий лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

РЕМОНТ И ЗАЩИТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГТС. ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е.И. Сороколетова¹

ООО «Рунова» – российский производитель высокотехнологичных материалов для ремонта и защиты бетона, где надежность и долгосрочное функционирование являются ключевыми требованиями. При производстве и разработке материалов используются нанотехнологии, которые позволяют быть уверенными в качестве и свойствах материалов, которые декларирует компания.

RUNOVA ЭТО:

- 1** 3 производственные площадки в Санкт-Петербурге
Лаборатория
Научно-исследовательский Центр
Высококвалифицированные специалисты

- 2** Производство и поставка материалов:
гидроизоляция
промышленные полы
инъекционные композиции
ремонтные составы
защитные покрытия
добавки в бетоны
реставрационные составы
составы для укрепления грунтов

- 3** Разработка материалов, технических решений под конкретные задачи
Техническая поддержка на всех этапах проекта
Обучение рынка (подрядные и проектные организации, служба заказчика)
Сопровождение работ и шеф-монтаж

При ремонте любой конструкции важен комплексный подход, начиная от обследования и заканчивая СМР. В докладе представлен практический опыт применения нескольких систем материалов компании Рунова на различных объектах Российской Федерации и других стран.

¹ Ведущий инженер по работе с проектами, ООО «Рунова»

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ SIKA ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Е.А. Архангельский¹

Строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений неразрывно связаны с водой, поэтому мы часто сталкиваемся с необходимостью бетонирования или ремонта конструкции под водой.

Технология подводного бетонирования не нова, но каждое гидротехническое сооружение по-своему уникально.

Так, на смену хорошо зарекомендовавшим себя продуктам производства Германии приходят российские локализованные продукты, по качеству не уступающие, а часто даже превосходящие зарубежные аналоги.

Отечественные материалы лучше адаптированы к местным реалиям, зачастую почти не реагируют на ошибки при производстве, не так требовательны к гранулометрическому составу материалов.

Одной из проблемных зон производства подводных бетонных работ являются работы в условиях движущейся воды (реки, каналы). В результате происходит вымывание растворной части свежееукладываемой бетонной смеси. Потеря вяжущего приводит к снижению эксплуатационных характеристик бетонной конструкции.

Для предотвращения вымывания растворной части свежееукладываемой бетонной смеси применяются различные приемы бетонирования конструкции: это и ограждения, и искусственные насыпи, и создание искусственных русел, где это возможно. Все указанные мероприятия затратны как по времени, так и в денежном выражении.

Для решения этих задач в нашей компании раньше использовалась добавка импортного производства. Это сухая смесь специальных полимеров, которые добавлялись в бетонную смесь при приготовлении. Из преимуществ можно отметить стабильность свойств бетонной смеси после ввода добавки, которая не оказывала влияние на показатели бетонной смеси, такие как сохраняемость, подвижность, помогала получать стабильную бетонную смесь, не подверженную вымыванию растворной части при ее укладке при подводном бетонировании.

Из недостатков надо отметить сложность в дозировании сухого компонента, импортное производство, высокая стоимость. Несмотря на указанные факторы, ее использование было экономически обосновано и часто – в гидротехническом строительстве.

По объективным причинам мы не можем сейчас импортировать продукцию из-за рубежа, поэтому нашей компанией для этой цели был адаптирован новый продукт, который изначально предназначался для других целей (получение самоуплотняющихся бетонных смесей без применения микронаполнителей), так называемые Смарт-динамические бетоны.

При увеличенной дозировке данной добавки в бетонную смесь ей было найдено новое применение. Это стабилизация бетонной смеси, препятствие вымыванию растворной части. Новый продукт обладает всеми положительными характеристиками немецкого аналога, не имея его недостатков.

¹ Руководитель проектов в направлении энергетики, ООО «Строительные системы»

Новый продукт представляет собой смесь сложных полимеров в сочетании с целлюлозой. Master matrix имеет жидкую агрегатную форму, что позволяет его дозировать обычными водяными насосами, это достаточно бюджетное решение относительно MasterMatrix UW 420.

Безусловно, это не единственное решение, которое мы предлагаем для подводного бетонирования. Так же по запросу коллег из проектного института, специализирующегося на проектировании гидротехнических сооружений, мы провели исследования, выполнили натурные испытания по подводному бетонированию в ограниченном пространстве в соленой воде.

С заказчиком были обговорены условия проведения работ. Из-за ряда ограничений использование товарного бетона было невозможным: это и отсутствие бетонного завода в ближайшем радиусе проведения работ, невозможность подать бетонную смесь через бетононасос (сложность рельефа береговой линии), небольшая толщина бетонируемой конструкции.

Все эти факторы привели нас к идее провести работы мелкозернистым бетоном, в котором в виде основы использовалась готовая сухая смесь SikaGrout®-928 (MasterFlow 928) с добавлением гранитного щебня фракции 3–10 в виде инертного заполнителя.

Предварительно работы были выполнены в лабораторных условиях. В качестве смесительных установок использованы две растворомешалки принудительного действия РН-150.2.

ВЕКТОРЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

К.В. Костякова¹

Пластификаторы – это уникальный вид добавок, при помощи одного пластификатора мы можем получить сразу ряд интересных свойств бетона и бетонной смеси. Это не только удобоукладываемость, но и водоредуцирование, повышение прочности, морозостойкости, водонепроницаемости. На сегодняшний день широко применяют три пластифицирующие основы лигносульфоанты, полиметиленафталинсульфонаты и поликарбоксилатные эфиры.

Поликарбоксилатные эфиры – синтетический продукт знакомый всем уже более 20 лет. По мере развития направления поликарбоксилатных эфиров новые модификации стали группировать в семейства, которые условно назвали поколениями. На сегодняшний день их уже пять.

Первые два поколения рассматривать не имеет смысла, они практически выведены с рынка. На сегодня широко представлено третье и четвертое поколение, а пятое только начинает применяться там, где необходимо придать бетону особые свойства.

Третье поколение поликарбоксилатных эфиров представляет собой классическую молекулу ПКЭ, которая условно изображается в виде «расчески». Изменением параметров такой молекулы можно достичь повышение или понижение пластифицирующей способности и сохраняемости в пределах 2–3 часов.

В связи с потребностью рынка в продуктах с более высокой сохраняемостью (6-8 часов), следующим этапом развития ПКЭ стало появление четвертого поколения поликарбоксилатных эфиров, со встроенными фрагментами, отвечающими за продление жизни бетонной смеси.

Пятое поколение поликарбоксилатных эфиров нашло развитие по нескольким направлениям:

«тройные» – прививка дополнительных функциональных групп, влияющих на содержание воздуха, сохраняемость, водонепроницаемость,

«гиперразветвленные» – изменение структуры ПКЭ, приводящее к повышению прочностных характеристик бетона и продлению жизни бетонной смеси,

«сшитые» – полимеры, повышающие стабильность и сохраняемость бетонной смеси.

На базе современных модифицированных ПКЭ была создана полифункциональная многокомпонентная добавка ПФМ-21. В состав добавки входит оригинальный амфифильный поликарбоксилатный эфир, который позволяет устранить конкурентное взаимодействие между воздухововлекающей добавкой и суперпластификатором, что позволяет достигать оптимальной поровой структуры в бетоне и, соответственно, высоких показателей по морозостойкости. Амфифильный поликарбоксилатный эфир обладает эффектом гидрофобизации.

Добавка является средством, снижающим риск развития щелочной коррозии в бетоне. т.к. в своем составе содержит ингибитор ASR и не содержит «вредных» щелочей.

¹ Начальник отдела технического сопровождения продукции, ООО «НИИ СМиТ»

ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНСТРУКЦИОННОГО РЕМОНТА БЕТОНА ПОД ВОДОЙ И В ЗОНЕ ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ. МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕМОНТА И ЗАЩИТЫ СЛОЖНЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

С.И. Ермоленко¹

Технологические приемы конструкционного ремонта железобетона, находящегося под водой и в зоне переменного уровня, подразумевают использование оборудования, позволяющего снизить размывание бетона при подаче в водную среду. Например, бетонирование подъемом трубы, но даже в этом случае размыв вяжущего при бетонировании может достигать 80–95 %, что крайне негативно сказывается на прочностных характеристиках восстанавливаемой конструкции, стоимости выполняемых работ и, самое главное, на экологической обстановке акватории. Применение кессонов и иных технических средств, обеспечивающих выполнение работ в воздушной среде, многократно увеличивает стоимость и продолжительность работ по восстановлению конструкций, находящихся ниже уровня воды или в зоне переменного уровня. В зоне переменного уровня процесс ремонта так же осложняется сменой различных сред вода/воздух, заплеском и, соответственно, разными темпами набора прочности и, в конечном счете, различными характеристиками восстановленной поверхности сооружения.

Применение неразрываемых составов с длительным временем (не менее 40 мин) марки РЕМСТРИМ с индексом «П» (подводный) позволяет выполнять работы без применения дорогостоящих методов снижения уровня зеркала воды и с минимальным использованием водолазного оборудования. В отличие от конкурентных материалов, которые обеспечивают на скорость выработки (в среднем 10–15 минут), смеси РЕМСТРИМ отличаются удобством применения и возможностью использования стандартных растворонасосов и иного оборудования для конструкционного ремонта ГТС в зоне переменного уровня и под водой. Преимуществом технологии РЕМСТРИМ для подводного бетонирования является отсутствие ограничений по температуре воды в зоне работы ГТС. Возможность выполнения работ в пресной, морской воде и рассолах позволяет восстанавливать конструкции, эксплуатирующиеся при постоянном контакте с водой и растворами во всех климатических зонах, где эксплуатируются ГТС.

Применение технологий СТРИМ для подводного бетонирования и восстановления конструкций в зоне переменного уровня позволяет повысить надежность сооружения, снизить финансовые затраты и время на выполнение работ.

Испытания по неразрываемости высокоподвижных смесей для подводного бетонирования и заполнения обводненных подземных пространств РЕМСТРИМ ЦИН П и РЕМСТРИМ ЦИН П 180 проходили в ИтхУРОРАН (Института Технической химии Уральского отделения Российской Академии Наук). Доказана неразрываемость при нагнетании в пресную и морскую воду.

Смеси РЕМСТРИМ для подводного бетонирования и работы в обводненных условиях применяются для восстановления сооружений с 2015 г. Основные объекты: канализационные

¹ ООО СТРИМ

коллекторы Санкт-Петербурга, Каскад Нивских ГЭС, КЗС Санкт-Петербурга, Шульбинская ГЭС, Московский Метрополитен.

Высокие технические характеристики такие, как морозостойкость, достигающая F1000, водонепроницаемость на уровне W20 или 200 м водяного столба, прочность на сжатие более 60 МПа и изгиб более 10 МПа позволяют эксплуатировать конструкции в разы дольше, чем при восстановлении традиционными способами.

Восстановление бетона исторических ГТС связано со многими взаимоисключающими требованиями к составам для ремонта такими, как невысокая прочность ремонтного состава, водонепроницаемость и морозостойкость на уровне материалов для конструкционного ремонта значительно более высокого класса. Дело в том, что большинство «исторических» гидротехнических сооружений эксплуатируются более 70 лет и бетон, использовавшийся для строительства, обладает невысокими техническими характеристиками, что накладывает существенные ограничения на прочностные характеристики ремонтных составов, применяемых для восстановления данного вида сооружений. Компания СТРИМ разработала материал, который может применяться для восстановления исторических ГТС. Материал РЕМСТРИМ ТП-Н представляет собой сухую быстротвердеющую безусадочную ремонтную смесь тиксотропного типа для ремонта конструкций с пониженной прочностью, в том числе находящихся под водой, в зоне переменного уровня воды. Материал практически не подвержен размыву в присутствии воды, что позволяет применять его для ремонта конструкций под водой, в обводнённых условиях, а также в зоне переменного уровня воды не утяжеляет восстанавливаемую конструкцию, благодаря лёгкому весу смеси. Обладает тиксотропными свойствами. Не требует установки опалубки.

Смесь РЕМСТРИМ ТП-Н применяется для защиты и ремонта бетонных и железобетонных конструкций с пониженной прочностью, включая сооружения, возведённые до повышения проектных требований к характеристикам бетона (сооружения советского периода постройки) по принципам 3, 4, 7 и методам 3.1, 3.3, 4.4, 7.1, 7.2 (ГОСТ 32016), для ремонта и защиты конструкций сооружений с пониженной прочностью в зоне переменного уровня воды, при производстве работ в обводнённых условиях и под водой: гидротехнические сооружения, включая судоходные, портовые и мостовые сооружения, тоннели, каналы. Оптимален для восстановления конструкций с гладкой арматурой.

РЕМСТРИМ ТП-Н обладает безусадочностью, прочностью, необходимой для восстановления исторических ГТС в среднем 20 МПа, маркой по морозостойкости F₁ 400. Применение смеси РЕМСТРИМ ТП-Н позволит существенно продлить срок службы и обеспечить необходимую надежность исторических ГТС.

Компания СТРИМ находится в постоянном поиске новых решений! В предыдущий год был разработан и внедрён современный, инновационный, российский, высокоэффективный импортозамещающий материал, который называется «Беторол».

«Беторол» представляет собой гибкое многослойное полотно с пространственным армированием, заполненное специальной дисперсной сухой смесью на основе нормированных и специальных цементов, полимеров, комплексных добавок: водоредуцирующих, ускоряющих сроки схватывания и твердения, повышающих прочность, морозостойкость, капиллярную проницаемость, с компенсированной усадкой.

Производственные мощности компании СТРИМ и опыт применения материалов позволяют решать задачи, связанные с повышением надежности сооружений, продлением срока эксплуатации и комплексной защитой зданий и сооружений от техногенных и природных факторов, снижать стоимость строительных, ремонтно-восстановительных и эксплуатационных мероприятий.

ТЕХНОЛОГИИ «ПОЛИПЛАСТ» ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Д.В. Саламатов¹

Гидротехнические сооружения (ГТС) относятся к категории сложнейших инженерных объектов водной инфраструктуры - проектирование и строительство ГТС ответственная и сложная задача.

Подрядные организации, занимающиеся строительством гидротехнических объектов, должны обладать высокой квалификацией.

К гидротехническим конструкциям предъявляются высокие требования, расчетный срок службы ГТС 1-го и 2-го классов должен быть не менее - 100 лет согласно СП 58.13330.2019.

При проектировании, строительстве и эксплуатации необходимо обеспечивать высокую надежность и безопасность гидротехнических сооружений, выполнять своевременный мониторинг, а также инструментальный и визуальный контроль технического состояния сооружений. Гидротехнические сооружения, эксплуатирующиеся более 25 лет, независимо от состояния должны один раз в 5 лет подвергаться комплексному обследованию

В процессе эксплуатации конструкции гидротехнических сооружений подвергаются комплексному воздействию различных нагрузок, железобетонные конструкции ГТС, в зависимости от типа и расположения, должны обладать такими характеристиками как: высокая долговечность, водонепроницаемость, морозостойкость, износостойкость, стойкость к эрозии и кавитации.

Для производства качественных и долговечных гидротехнических бетонов применяют комплексы из специальных суперпластифицирующих, воздухововлекающих добавок, регуляторов схватывания, а также наполнители для бетонов с низкой теплотой гидратации.

В случае ремонтов ГТС применяются комплексы материалов включающие системы ремонтных, инъекционных составов и защитных покрытий.

В зависимости от условий эксплуатации и воздействий на конструкции, а также зонирования дефектной зоны (надводная, переменный уровень, подводная), выбирают различные стратегии и методы ремонта и защиты конструкций гидротехнических сооружений.

¹ Технический директор, ООО «Полипласт-Юг»

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТА БМ ДЛЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

А.М. Шемуратова¹, М.А. Разаков²

Влага может негативно сказываться на прочностных характеристиках ограждающих конструкций зданий и сооружений. Поэтому поддержание оптимального влажностного режима является одной из приоритетных задач служб эксплуатации. Существуют здания, в которых некоторые помещения имеют непосредственный контакт с природными водными объектами. К таким зданиям можно отнести гидроэлектростанции, где происходит выработка электрической энергии за счет потока воды, вращающей турбину. Некоторые конструктивные элементы сооружения имеют массивные ограждающие конструкции, которые в разной степени подвергнуты влаге. Из-за избытков влаги в стене возможно возникновение патогенных микроорганизмов и насекомых, которые будут негативно сказываться на рабочем персонале. Критически важной потенциальной проблемой является потеря несущей способности конструкции, которая, в конечном счете, может привести к разрушению сооружения. Наименее значимой проблемой является разрушение облицовочного слоя ограждающей конструкции. Но данная проблема требует постоянных эксплуатационных затрат ввиду частых восстановительных мероприятий. Поэтому в лаборатории «Строительные материалы» НИУ МЭИ произведена попытка разработки материала, учитывающего особенности влажностного режима ограждающих конструкций.

Разработанный композитный строительный материал состоит из молотого мела, бумажной пыли, канифоли и ряда других элементов и является композитным материалом из бумажной массы (БМ). Авторы провели исследования прочностных и теплофизических характеристик материала БМ, благодаря которым выявили низкие прочностные характеристики (что позволяет его относить к облицовочным материалам) и умеренные влажностные свойства материала. Влажностные исследования проводились при температуре от +18 °С до +23 °С и относительной влажности от 20 до 40 %. После 4-х суток выдержки при относительной влажности воздуха, равной 20 %, материал частично начал разрушаться, предположительно вследствие сухости воздуха. Аналогичный эксперимент проводился при относительной влажности воздуха 40 % и материал частично начал разрушаться уже после десяти суток. Поэтому из исследования можно сделать вывод, что при увеличении относительной влажности воздуха композит БМ разрушался менее интенсивно.

Авторами предполагается, что материал возможно использовать при восстановительных работах ограждающих конструкций, влажных и умеренных по влажности помещений гидроэлектростанций в качестве облицовочного материала.

¹ Студент, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

² Преподаватель-исследователь, старший преподаватель, инженер, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», НИИСФ РААСН

ИНЪЕКЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ И ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

В.А. Алексеев¹, М.И. Баженов²

Инъекционные технологии всё шире применяются в гидроэнергетической отрасли как на этапе нового строительстве (в виде специальных методов производства работ), так на этапах эксплуатации гидроэнергетических объектов (как для противофильтрационных завес, так и для решения широкого спектра гидроизоляционных задач).

Серьёзной проблематикой, требующей дальнейшего изучения, является инъекция полимерных и минеральных растворов в условиях отрицательных или знакопеременных температур, так как такие условия способствуют пониженной кинетике твердения таких инъекционных систем или полной остановке химических реакций, не позволяющих набирать прочность. Поэтому технологии инъектирования грунта как при высоких (струйная цементация), так и средних и низких давлениях (гидроразрыв и инъекционная пропитка, инъекционная гидроизоляция), несмотря на свои положительные стороны, не всегда используются при температурах ниже +5...0°C, так как в большинстве случаев полученные характеристики проинъектированного грунта или самого инъекционного материала являются пониженными, зачастую не позволяющими реализовать проектную задачу.

Специалистами НОЦ «Подземное строительство» НИЦ МГСУ была предложена концепция разработки спецматериалов, твердеющих при отрицательных температурах, в инициативном порядке на лабораторной базе ООО «Синерго» было разработано специальное минеральное вяжущее «Литокрит Кριο», обладающее способностью к самостоятельному гидравлическому твердению без использования солей (ускорителей твердения, засаливающих и растепляющих грунт) на базе замещения в вяжущем ионы кальция двух- и трехвалентными металлами.

Управляя параметрами инъекций назначенных составов с требуемой кинетикой твердения при разных температурах, можно в рамках той или иной технологии решать целый спектр задач в гидротехническом строительстве для решения проблематики слабых и водонасыщенных грунтов, ненормативных осадков и кренов, закрепления грунтов при строительстве гидротехнических сооружений, возведении и ремонте сооружений и объектов инфраструктуры в зоне отрицательных и знакопеременных температур.

¹ Директор НОЦ «Подземное строительство», НИУ МГСУ

² Канд. техн. наук, руководитель службы технологического сервиса ООО «Синерго»

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

И.А. Говоруценко¹

Перед АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» стоят задачи по выполнению сложных технических решений, разработке и проверке материалов с высокими эксплуатационными характеристиками. Для проверки работоспособности выдаваемых технических решений и эксплуатационных характеристик материалов, специалисты института выполняют моделирование данных технических решений на лабораторных моделях, максимально имитирующих реальные условия проведения работ или эксплуатации конструкции. Также разрабатываются специальные методики испытания материалов и их работы в конструкции, по которым выполняются лабораторные исследования.

В данном докладе представлены примеры работ по проверке технических решений на лабораторных моделях и исследований эксплуатационных характеристик материалов по разработанным методикам.

¹ Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ СВАЙ В ОПОРНЫХ БЛОКАХ НЕФТЯНЫХ ПЛАТФОРМ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТАВОВ БЕТОНА

И.В. Филатов¹, Р.А. Натынчик²

Для закрепления опорных частей нефтяных платформ на морском дне предусмотрена установка свай в свайных направляющих, которые у днища опорных блоков переходят в гильзы для закрепления свай. В современных устройствах опорных блоков платформ предусматривается закрепление свай в свайных направляющих методом гидравлического разжима оголовка сваи в двухпазовом соединении гильзы с использованием зарубежной технологии гидророзжима.

В связи с уходом с российского рынка компаний, производивших гидророзжим, появилась необходимость замены ранее применяемой технологии путем разработки альтернативного решения закрепления свай в опорных блоках нефтяных платформ с применением различных видов бетонов и специальных составов (на разных видах вяжущих).

Основная задача, поставленная перед специалистами института АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», заключается в обеспечении надёжного решения по фиксации свай в гильзах опорного блока и разработка высокотехнологичного состава бетона / раствора для опорных блоков нефтяных платформ. Ключевым требованием при разработке состава является обеспечение возможности заполнения межтрубного пространства без изменения проектной конструкции узла крепления свай, а также высочайшие требования к характеристикам бетона, ставящие перед специалистами ВНИИГ уникальную задачу по разработке материала, не имеющего аналогов среди отечественных продуктов.

Дополнительно к работам по разработке составов специалистами института предложены альтернативные технические решения по обеспечению надёжности узла крепления свай в гильзе опорного блока.

В докладе представлены результаты исследований и разработки составов на различных компонентах, учитывающих условия эксплуатации и конструктивные особенности сооружения, а также предложения по альтернативным техническим решениям для обеспечения надёжности узла крепления свай в гильзе опорного блока.

¹ Заведующий лабораторией «Оценки состояния зданий и сооружений, Технологии ремонтных работ», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Инженер 2 категории отдела «Технологии строительства и ремонта железобетонных сооружений», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА СЛОЖНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ 68-Й ПОДВОДНОЙ ПОТЕРНЫ ВОДОСПУСКА КАНАЛА им. МОСКВЫ. РАЗРАБОТАННЫЕ БИТУМПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ РУСИНЖЕКТ ДЛЯ РЕМОНТА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

А.Ю. Глущенко¹

В ходе работы над проектом ремонта 68-й потерны столкнулись с серьёзными техническими проблемами, а именно: бетон с 1937 г. набрал высокую прочность более 80 МПа, возникли серьёзные проблемы с расшивкой швов. Пришлось использовать алмазную резку. Потерна имела серьёзные протечки через повреждения бетона секций в течение длительного времени (повреждения при пуске объекта в эксплуатацию с 1937 г.).

Через швы поступала вода и давлением воды давило битум по тош. Специалистами нашей компании было принято решение (позднее согласованное с заказчиком) ремонтировать швы с помощью гидрофильных полиуретанов. Презентация продукта (показ слайдов и образцов).

В дальнейшем, основываясь на результатах этого проекта, были разработаны битум совместимые полимеры. (Показ слайдов и образцов). Все гидротехнические сооружения в данный момент используют в своём конструктиве битумные тош. Проблемы потерны 68 типовые. Мы нашли решение этих типовых проблем.

Битумполимерные материалы производства компании Русинжект НИОКР и настоящее Импортозамещение.

Обсуждение вопросов типичных проблем на гидротехнических сооружениях и методы решения от нашей компании Русинжект.

¹ Генеральный директор компании Русинжект (Русские Инъекционные Технологии)

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ БЕТОНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЧЕБОКСАРСКОЙ ГЭС

П.В. Федоров¹, Е.П. Федорова², И.Н. Кузнецов³

Для обеспечения проектирования и строительства крупного гидроузла Волжско-Камского каскада Чебоксарской ГЭС научно-исследовательским сектором института «Гидропроект» в разработке экономичных и технологических составов бетона при дефиците качественного крупного заполнителя на месте строительства и требованиях к долговечности бетонных сооружений, работающих в условиях сульфатной агрессии со стороны грунтовых вод, континентального климата и воздействия потока при пропуске эксплуатационных и паводковых расходов воды, выполнен большой объем исследований.

Бетон сооружений Чебоксарского гидроузла должен был отвечать высоким требованиям прочности, плотности, морозостойкости, водостойкости и сопротивляемости стирающему действию воды при больших скоростях. Эти условия обеспечивались применением различных по их свойствам цементов, заполнителей и составом бетона. В соответствии с действующими на тот момент нормами и требованиями было разработано и исследовано не менее 20 составов бетона, различающихся видом применяемого цемента, составом мелкого и крупного заполнителя, видом и свойствами применяемых добавок, консистенцией бетонной смеси при укладке.

В процессе эксплуатации гидротехнических сооружений Чебоксарской ГЭС, результатами натурных наблюдений, многофакторными исследованиями при оценке состояния бетона основных сооружений выявлены отличия фактических величин характеристик бетона от проектных значений, символизирующих о наборе прочности бетона. Результаты сравнения оценки текущего состояния бетона гидротехнических сооружений с проектными значениями характеристик прочности и марки требуют сопоставления действующих норм и требований, предъявляемых к качеству бетона, с требованиями тех же нормативных документов, действующих во времена проектирования и подбора состава бетона ввиду разных подходов к классификации прочности бетона.

В работе рассмотрены составы бетонов применяемых марок при строительстве Чебоксарской ГЭС с учетом распределения по конструктивам бетонных плотин. Также рассмотрена взаимосвязь важных прочностных показателей «марка бетона» и «класс бетона» в разрезе существующих нормативных требований в части классификации и определения прочности бетона.

¹ Начальник участка диагностики ГТС Службы МО и ГТС филиала ПАО «РусГидро» – «Чебоксарская ГЭС»

² Студент, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

³ Студент, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В СФЕРЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ДРОБЛЕННОГО БЕТОНА В СОСТАВЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ БЕТОНОВ

А.С. Брыков¹, К.О. Чугунова²

Использование дробленого бетона из отслуживших сооружений в качестве заполнителя в новых конструкциях из бетона до сих пор остается ограниченным, несмотря на, казалось бы, очевидные перспективы, связанные не только с решением проблемы дефицита натуральных заполнителей в недалеком будущем, но и с разрешением важных экологических задач по утилизации строительных отходов и бетонного лома. Основная причина заключается в более низком качестве заполнителей из дробленого бетона (ЗДБ) по сравнению с натуральными, что ухудшает эксплуатационные свойства бетона – снижает его прочность, увеличивает пористость и проницаемость для агрессивных воздействий окружающей среды, и в конечном счете может привести к сокращению срока службы. Однако проводимые на протяжении нескольких последних десятилетий исследования, сочетающие лабораторные разработки и долгосрочный мониторинг за объектами, возведенными из бетона с ЗДБ, а также достижения современной строительной химии дают обнадеживающие результаты. Способы, позволяющие улучшить свойства бетона с ЗДБ, в настоящее время разрабатываются в двух направлениях: 1) предварительная физическая или химическая обработка заполнителей из дробленого бетона, повышающая их качество; 2) оптимизация состава и способов приготовления бетонной смеси с помощью высокоэффективных минеральных и пластифицирующих добавок, с целью уплотнения структуры бетона с ЗДБ. Цель, к которой стремятся исследователи и технологи, - получение высококачественного и высокопрочного бетона, заполнитель в котором преимущественно является вторичным.

¹ Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОПЫТ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТРЕЩИН НА ХОЛОСТЫХ ВОДОВОДАХ ИРКУТСКОЙ ГЭС

К.Н. Барило¹, М.С. Терехова², О.А. Борус³, Г.В. Охапкин⁴, А.Б. Веселов⁵

Объекты гидротехники являются одними из важнейших в топливно-энергетических и транспортных комплексах стран. В связи с чем обеспечение надёжной и безопасной эксплуатации ГТС является одной из важнейших стратегических задач для функционирования топливно-энергетических комплексов Российской Федерации.

Строительство Иркутской ГЭС проводилось с весны 1950 г. по декабрь 1958 г. В связи с длительным сроком эксплуатации, температурными особенностями режима работы железобетона происходит образование трещин в бетоне ограждающих конструкций водосбросов. При заполнении холостых водосбросов водой выявлены трещины с проявлением локальных фильтраций как в самих холостых водосбросах, так и в смежных помещениях.

С целью устранения фильтраций с 2016 по 2019 гг. выполнен ремонт фильтрующих трещин холостых водосбросов. В состав работ включались влажные, а также самые длинные и широкие трещины. Эти работы уменьшили объём фильтрующей через бетон воды, но не устранили проблему полностью. После открытия холостых водосбросов в 2020 г. возобновилась фильтрация через не проинъектированные трещины.

В 2021 г. в рамках договора по техническому содействию в обеспечении безопасности ГТС «ЕвроСибЭнерго-Гидрогенерация» с АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», аналитическим центром по безопасности ГТС предложены варианты унифицированных (типовых) компенсационных мероприятий по ремонтно-восстановительным работам, в соответствии с которыми в 2022 г. выполнена герметизация холостого водосброса № 6. Герметизация трещин с раскрытием более 0,2 мм выполнялась методом двухэтапного инъецирования с использованием материалов группы КГ и АГ. Однако в процессе эксплуатации, выявлено проявление фильтраций на других участках. В связи с чем определена необходимость в дополнении технических решений.

В 2023 г. АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» предложено комплексное техническое решение по герметизации трещин, которое включало следующие унифицированные решения:

герметизация трещин с раскрытием до 0.2 мм путём устройства штрабы 5X10 мм с последующим заполнением эластичным защитно-гидроизоляционным покрытием класса АЗ ВЗ.1 по ГОСТ 32017-2012;

герметизация трещин с раскрытием более 0.2 мм путём устройства штрабы 50X50 мм с последующим заполнением ремонтным материалом класса R4 по ГОСТ Р 56378-2015;

площадная гидроизоляция внутренней поверхности водоводов путём нанесения эластичного защитно-гидроизоляционного покрытия класса АЗ ВЗ.1 по ГОСТ 32017-2012.

Выводы

¹ Начальник службы зданий и сооружений, ООО «ЕвроСибЭнерго-Гидрогенерация»

² Ведущий инженер – руководитель группы наблюдения за ГТС ИГЭС
ООО «ЕвроСибЭнерго-Гидрогенерация»

³ Ведущий инженер службы зданий и сооружений, ООО «ЕвроСибЭнерго-Гидрогенерация»

⁴ Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁵ Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

1. Надёжная и безопасная эксплуатация ГТС неразрывно связана с обеспечением водонепроницаемости конструкций. Наиболее подверженными проявлению фильтрации являются конструкции холостых водоводов.

2. Для обеспечения водонепроницаемости конструкции холостых водоводов Иркутской ГЭС выполнены ремонтно-восстановительные компенсационные мероприятия методом нанесения защитно-гидроизоляционного покрытия на предварительно загерметизированные трещины.

3. С целью оценки качества и эффективности проведенных ремонтно-восстановительных работ необходимо вести мониторинг за состоянием конструкций холостых водосбросов на предмет проявлений фильтраций после проведения ремонтно-восстановительных работ.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ И ПРОЧИЕ ДЕФЕКТЫ МЕТОДОМ ГЛУБИННОГО ИНЪЕКТИРОВАНИЯ

К.А. Федосин¹

Возникновение активной фильтрации воды через деформационные и температурно-осадочные швы – нередкое явление на объектах гидротехнической инфраструктуры, наблюдаемое как при новом строительстве, так и на объектах, эксплуатирующихся продолжительное время. Помимо задачи сохранения эластичности шва и обеспечения его долговременной герметизации стоит проблема активной фильтрации воды, а следовательно, вымывания и/или некачественного заполнения полости дефектов при использовании классических технологий тампонажа и герметизации. Имеющийся опыт герметизации таких дефектов учитывает не только свойства инъекционных материалов, но и общий подход к решению задачи, начиная с обследования конструкции. В итоге инженерное решение сводится к проработке отдельных нюансов, позволяющих достичь долговременной герметизации: технология бурения, установка ограничительной опалубки, подбор времени реакции материала. Основная цель – избежать вымывания инъецируемого материала и обеспечить полноценное заполнение дефектов.

Также подобный опыт применим для задач подавления активного водопритока при аварийном прорыве строительных котлованов и аварийной фильтрации через массив бетонных конструкций. Ключевые параметры, которым уделяется особое внимание, те же: выбор схемы бурения, мероприятия по устройству ограничительной опалубки, подбор времени реакции материала.

В итоговом докладе будет представлен практический опыт некоторых реализованных проектов и озвучены ключевые факторы, сыгравшие свою роль в достижении результата.

¹ Менеджер проектов, ООО «Эм-Си Баухеми»

Секция

**Обеспечение безопасности ГТС
с учетом новых требований
законодательства.**

**Методы и средства контроля
состояния ГТС**

**ИЗМЕНЕНИЯ В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ О БЕЗОПАСНОСТИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ВСТУПИВШИЕ В СИЛУ
С 1 СЕНТЯБРЯ 2024 Г. ПЕРСПЕКТИВЫ НОРМОТВОРЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

Е.А Климов¹

Новшества в законодательстве о безопасности ГТС: федеральные нормы и правила, классификация, эксперты в области безопасности ГТС.

Реформирование экспертизы деклараций безопасности ГТС.

Изменение порядка ведения Российского регистра ГТС.

Приоритетные направления в части цифровизации осуществления надзора за ГТС и оказания государственных услуг.

¹ Начальник отдела, Ростехнадзор

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЛУЖБ МОНИТОРИНГА ФИЛИАЛОВ И АНАЛИТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПАО «РУСГИДРО» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ САРАТОВСКОЙ ГЭС

А.В. Шишов¹, Е.В. Курнева², М.Л. Халенёва³

В ходе эксплуатации гидротехнических сооружений объектов электроэнергетики могут возникать различные нештатные ситуации, отклонения / нарушения в работе ГТС, негативная динамика изменения контролируемых показателей состояния сооружений, превышение диагностическими показателями состояния ГТС критериев безопасности, требующие комплексного подхода при проведении анализа и принятии решений по их устранению.

Оперативное принятие решений и назначение надлежащих мер по устранению выявленных дефектов и нарушений на ГТС наиболее эффективно решаются в рамках организации системы взаимодействия между эксплуатирующими и специализированными организациями, что в дальнейшем позволяет вывести объект на параметры нормальной эксплуатации.

В докладе представлен процесс взаимодействия Службы мониторинга филиала ПАО «РусГидро» – «Саратовская ГЭС» и Аналитического центра на примере оценки состояния левобережной дамбы Саратовской ГЭС при выявлении нештатной ситуации в ходе проведения мониторинга состояния сооружения, описаны результаты научно-технического сопровождения, и освещены методологические подходы к проведению подобных работ на грунтовых ГТС.

¹ Инженер УДГТС СМОиГТС, филиал ПАО «РусГидро» – «Саратовская ГЭС»

² Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОБ ВОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ГТС НА ПРИМЕРЕ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ ГОЦАТЛИНСКОЙ ГЭС

С.Ю. Ладенко¹, К.М. Воробьев², Г.А. Будунов³

Химический состав воды, фильтрующейся через тело и основание грунтовой плотины, связан с составом грунтов, через которые просачивается вода, и с процессами, происходящими в области формирования фильтрационного потока. Соответственно, результаты химического анализа воды можно использовать для определения направленности фильтрационных потоков, режима фильтрации, его изменения во времени, развития фильтрационных процессов в теле и основании гидротехнических сооружений.

Гоцатлинская ГЭС находится в Республике Дагестан на р. Аварское Койсу.

С июля 2017 г. на правобережном откосе отводящего канала наблюдается выход воды, кроме того, в июле 2017 г. впервые был зафиксирован скачок показаний уровней воды в пьезометре П-15.

В августе 2018 г. были выполнены первоочередные ремонтные работы, направленные на предотвращение развития опасных процессов, после чего уровни воды в пьезометре П-15 стабилизировались. В то же время фильтрационные расходы воды на выходе потока на правобережном откосе отводящего канала увеличились.

Для определения путей фильтрации через ГТС Гоцатлинской ГЭС специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» были выполнены исследования химического состава проб воды. В период с июня 2022 по май 2024 г. были отобраны пробы воды из пьезометров, фильтры которых расположены в теле и основании грунтовой плотины, а также на выходе из дренажных штолен правого и левого берегов, из фильтрационного выхода на правобережном откосе отводящего канала и из водохранилища.

По результатам химического анализа, состав воды различных проб оказался достаточно разнообразным, для отдельных мест отбора проб были отмечены сезонные изменения состава воды, что является показателем связи подземных вод с атмосферой, для других – явных изменений не было.

По классификации О.А. Алекина, вода проб из определенных точек отбора относится к гидрокарбонатному классу, из других – к сульфатному, в остальных пробах класс воды меняется в зависимости от сезона. По преобладающему катиону вода в большинстве проб относится к кальциевой группе.

По результатам проведенных исследований, вода из фильтрационного выхода на отводящем канале по составу наиболее близка к подземным водам, горизонт которых контролируется пьезометрами с фильтрами на сопряжении тела и основания плотины. Уровни воды в этих пьезометрах изменялись в 2022–2024 гг. в диапазоне не более 1 м. Пробы воды из этих точек отбора отличаются стабильностью значения водородного показателя рН в диапазоне от 6,9 до 8,2.

¹ Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Инженер, филиал ПАО «РусГидро» – «Дагестанский филиал»

Химический анализ проб воды показал, что общая жесткость воды в этих точках в несколько раз больше, чем в остальных.

В результате проведенных исследований были выделены три группы отобранных проб, химический состав которых, а также характер его изменения по сезонам позволил выявить генезис исследуемой воды и, соответственно, пути фильтрационных потоков в теле и основании плотины.

Первая группа – на формирование химического состава воды преобладающее влияние оказывает фильтрационный поток из водохранилища, при этом вода, отобранная из пьезометров, по химическому составу не повторяет сезонные изменения состава воды в водохранилище, что свидетельствует об отсутствии прямой связи. К этой группе относится и вода, отобранная из пьезометра П-15.

Вторая группа – химический состав воды в значительной степени формируется под влиянием подземных вод, при этом, в зависимости от сезона, отмечается связь с поступлением фильтрационного потока из водохранилища. Начиная с 2023 г. влияние подземной составляющей увеличивается.

Третья группа – химический состав воды этой группы наиболее стабильный, он формируется в основном под влиянием подземных вод, участие фильтрационного потока из водохранилища проявляется слабо или не проявляется совсем. К этой группе относится вода, отобранная из фильтрационного выхода на отводящем канале.

В целом, химический состав воды всех проб значительно отличается от химического состава воды из водохранилища.

Анализ химического состава проб воды в пьезометрах, дренажных штольнях, верхнем бьефе водохранилища и в фильтрационном выходе на правобережном откосе отводящего канала, отобранных с заданной периодичностью по сезонам в 2022–2024 гг., не выявил тенденции изменения состава, что свидетельствует о стабильности фильтрационного режима тела и основания плотины Гоцатлинской ГЭС.

О ПЛАНАХ ПО АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А.С. Маренков¹

С 2015 г. Минстрой России активно развивает нормативную техническую базу строительства, в том числе в области гидротехнического строительства. Так, например, в 2024 г. в области гидротехнического строительства проводится прикладное научное исследование с целью определения необходимого объема работы с документами.

Для развития нормативно-технической базы Минстроем России инициировано проведение научного исследования, результаты которого будут способствовать развитию нормативной технической базы.

НИР по теме: «Мониторинг и анализ действующих нормативных документов по проектированию, строительству, ремонту, реконструкции и эксплуатации гидротехнических сооружений». Актуальность выполняемой научно-исследовательской работы обусловлена необходимостью отражения и учета в нормативной технической документации по ГТС последних достижений в науке и технике, наработок значительного отраслевого опыта, появления новых материалов и технологий, изменения технических параметров флота, появление и, как следствие, применение автоматизированных систем проектирования, программ по цифровому моделированию и расчетов прочности и устойчивости зданий и сооружений.

В данной НИР выполняется обзор отраслевой нормативной базы, в том числе планируемых к внедрению проектов нормативных технических документов, уведомления о публичном обсуждении которых размещены на сайте Росстандарта в период выполнения НИР, а также ведомственных документов по тематике ГТС, применяемых в заинтересованных отраслевых ведомствах; содержания нормативных документов, также будут предоставлены предложения по их переработке в документы, отвечающие требованиям системы стандартизации (в том числе отвечающим требованиям параметрического нормирования), по объединению групп РД в укрупненные своды правил, по дополнению (изменению) существующих НТД современными достижениями в области новых и инновационных материалов (с учетом обобщения практики ремонта и усиления конструкций отработанных в промышленном, гражданском и транспортном строительстве), применяемых машин и механизмов, методов и методик расчета, производства работ, программного обеспечения, выделение этапов разработки первоочередных и последующих групп документов.

Качественное изменение и развитие системы нормативного технического регулирования в строительной отрасли является приоритетным направлением нашей работы. ФАУ «ФЦС» в ежедневном режиме реализовывает самые амбициозные задачи, направленные на решение стратегических вызовов, которые стоят перед нашей страной, в том числе в области гидротехнического строительства.

¹ Главный специалист, ФАУ «ФЦС»

РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СШГЭС

М.И. Саранцев¹

Гидротехнические сооружения СШГЭС относятся к сооружениям первого класса. В соответствии с действующей нормативно-технической документацией на СШГЭС создана и эксплуатируется автоматизированная диагностическая система (АСДК). Согласно ГОСТ Р 57793-2017 Автоматизированная система диагностического контроля - система автоматического опроса дистанционной контрольно-измерительной аппаратуры, установленной на сооружении, одновременно сравнивающая полученные результаты с критериями оценки технического состояния и безопасности сооружений. АСДК это интегрированная система, включающая верхний уровень в виде информационно-диагностической системы (ИДС) и нижний уровень — автоматизированные системы опроса КИА (АСО КИА).

Автоматизированная диагностическая система СШГЭС позволяет накапливать, обрабатывать и отображать в удобном формате данные о состоянии гидротехнических сооружений. Система оперативно оценивает диагностические показатели технического состояния ГТС, степень их соответствия требованиям НТД, проектной документации и критериям безопасности. При превышении критериев безопасности выполняется автоматическая рассылка с уведомлением руководства и персонала станции. В системе реализован модуль прогнозирования диагностических показателей, модуль регрессионного анализа, автоматической оценки состояния и уровня безопасности ГТС. Данные наблюдений представляются в графической и табличной форме.

АСДК СШГЭС полностью соответствует требованиям действующей нормативно-технической документации, ее функционал соответствует современному уровню развития технологий. АСДК СШГЭС непрерывно развивается и постоянно совершенствуется в процессе эксплуатации. В связи с переходом на Alter OS выполняется модернизация автоматизированной системы диагностического контроля. Согласно статье 9 ФЗ 117 «О безопасности гидротехнических сооружений», собственник ГТС обязан развивать системы контроля за состоянием ГТС. В данном направлении реализуется принципиально новый подход к системе оценки и диагностики состояния сооружений — разработка Комплексной диагностической математической модели (КДММ). Особенностью создания КДММ является построение реального НДС плотины с верификацией по данным натурных исследований в бетоне и основании плотины, а также лабораторных испытаний, которые выполняются в настоящее время. Создание КДММ с последующей интеграцией в АСДК СШГЭС позволит применять единые подходы к расчетам и оценке состояния на всех этапах жизненного цикла сооружений, интегрированная система станет единой площадкой для взаимодействия проектного, эксплуатационного и исследовательского блоков ПАО «РусГидро».

¹ Ведущий инженер Службы мониторинга гидротехнических сооружений, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»

УЧЕТ В ДЕЙСТВУЮЩИХ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТАХ РОЛИ МО ГТС В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

П.А. Арсеньев¹, К.А. Сухецкий², Е.А. Филиппова³

В сообщении будут отражены следующие положения:

1. МО ГТС входит в единый напорный фронт, создаваемый ГТС, и является неотъемлемой частью гидротехнических сооружений.

2. Согласно имеющейся статистике, основные сценарии наиболее тяжелых по последствиям аварий ГТС происходят по причине отказа МО ГТС или его элементов.

3. Одну из ключевых ролей в обеспечении надежной работы МО ГТС играет состояние подъемных устройств.

4. Наличие МО ГТС как неотъемлемой части ГТС и специфика эксплуатации накладывает требования в назначении критериев безопасности для МО ГТС по тем же нормативно-правовым актам, которые применяются при назначении критериев безопасности гидротехнических сооружений.

5. В настоящее время имеется несоответствие в части подходов в определении технического состояния МО ГТС и гидротехнических сооружений, начиная от терминологии, заканчивая результатами оценки.

6. Опыт проведенных обследований, оценки состояния ГТС, а также процедуры декларирования безопасности ГТС показали актуальность и неоценимый вклад в оценку уровня безопасности ГТС результатов оценки состояния МО ГТС и необходимости внесения изменений в действующие НПА в части МО ГТС, что будет отражено в докладе.

7. В настоящее время в Аналитическом центре безопасности ГТС «РусГидро» начата активная деятельность по включению в контур АЦ МО ГТС, результаты которой будут предложены к обсуждению в рамках работы круглого стола.

¹ Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Заместитель директора Аналитического центра по безопасности ГТС, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Канд. техн. наук, директор Аналитического центра по безопасности ГТС, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ИЗМЕНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ О БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ЧАСТИ ПОЭТАПНО ВВОДИМЫХ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Е.А. Филиппова¹, А.А. Воронин²

Объектами размещения отходов производства тепловой энергии на тепловых электростанциях, используемых в качестве основного сырья уголь, являются золошлакоотвалы. Емкость золошлакоотвалов создается путем строительства ограждающих дамб от первичной ограждающей дамбы до дамб ярусов наращивания.

В рамках строительства нового объекта капитального строительства либо при реконструкции действующего объекта, реализуемой в виде строительства ярусов наращивания, каждый ярус выделяется в отдельный этап строительства с необходимостью получения разрешения на строительство в соответствии с требованиями Градостроительного кодекса Российской Федерации. Так, при поэтапном наращивании золошлакоотвалов тепловых электростанций – поэтапном возведении ярусов наращивания - Статьей 55 главы 6 Градостроительного кодекса Российской Федерации требуется получение разрешения на ввод объекта в эксплуатацию, который является основанием для постановки на государственный учет построенного объекта капитального строительства, внесения изменений в документы государственного учета реконструированного объекта капитального строительства.

При этом для золошлакоотвалов тепловых электростанций, характеризующихся сравнительно небольшой емкостью, проектный объем очередного яруса наращивания может быть сопоставим с годовым выходом золошлаков с ТЭЦ. Это обстоятельство диктует необходимость ежегодного наращивания золошлакоотвала или, в случае многосекционных золошлакоотвалов, – соответствующей секции с последующим получением разрешения на ввод объекта в эксплуатацию.

В рамках внесения очередных изменений в действующее законодательство «О безопасности гидротехнических сооружений» и некоторые подзаконные акты с 01.09.2024 г. расширился перечень обстоятельств, при которых требуется предоставление в орган государственного надзора Декларации безопасности ГТС. Так, в соответствии с п.7 требований Постановления Правительства РФ от 20.11.2020 N 1892 «О декларировании безопасности гидротехнических сооружений» (ред. от 3 мая 2024 года) с 01.09.2024 г. Декларация безопасности ГТС представляется в течение 6 месяцев со дня получения разрешения на ввод гидротехнического сооружения в эксплуатацию.

Предоставление декларантом в орган государственного надзора Декларации безопасности ГТС золошлакоотвалов, предполагающих ежегодное наращивание и последующий ввод очередного яруса, образованного ограждающей дамбой, требует ежегодную процедуру проведения декларирования безопасности ГТС.

С целью сокращения избыточной нагрузки на декларанта авторами предложены условия, которые рекомендуется внести в перечень исключений к требованию по предоставлению в орган государственного надзора Декларации безопасности ГТС в течение 6 месяцев со дня получения разрешения на ввод гидротехнического сооружения в эксплуатацию.

¹ Канд. техн. наук, директор Аналитического центра по безопасности ГТС, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Заместитель директора Аналитического центра по безопасности ГТС, научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАСЕЙНОВ СУТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И НАПОРНЫХ БАСЕЙНОВ НА ПРИМЕРЕ КАСКАДА НИЖНЕ-ЧЕРЕКСКИХ ГЭС

М.Х. Мисиров¹, М.С. Ахкубеков², А.А. Воронин³, Р.Ю. Лабойко⁴

Каскад Нижне-Черекских ГЭС расположен на р. Черек и является единым энергетическим комплексом, в состав которого входят ГЭС деривационного типа: Кашхатау ГЭС, Аушигерская ГЭС и Зарагижская ГЭС.

Работа каскада при нормальной эксплуатации предусмотрена в режиме последовательного использования части стока р. Черек, забираемого, очищаемого от наносов и регулируемого в энергетических целях на гидротехнических сооружениях Кашхатау ГЭС.

За период эксплуатации выявлены проблемы заилиения бассейнов суточного регулирования и напорных бассейнов каскада Нижне-Черекских ГЭС. При этом данные проблемы на напорном бассейне Аушигерской ГЭС решены на этапе проектирования путем реализации промывника-грязеспуска, который обеспечивает удаление наносов со дна напорного бассейна и деривационного канала Аушигерской ГЭС. На БСР Кашхатау ГЭС и напорном бассейне Зарагижской ГЭС аналогичные сооружения «в целях оптимизации» строительства не были реализованы, а объемы их заилиения не позволяют выполнять промыв наносов через энергетические тракты гидроэлектростанций.

Основными проблемами при эксплуатации бассейнов суточного регулирования и напорных в условиях отсутствия промывных сооружений в них являются:

увеличение времени на подготовку к предпаводковым / послепаводковым осмотрам части деривации ввиду наличия в них существенного объема воды, образованной за счет подпора наносами в бассейнах, увеличение времени на подготовку к текущему ремонту подтопленных участков деривации;

необходимость разработки проектов по очистке бассейнов и решения вопросов последующего складирования наносов;

риски повреждения противофильтрационных элементов при механизированном удалении наносов;

снижение объема проектной призмы регулирования;

заилиение порогов водоприемников, проблемы посадки затворов на порог;

заилиение проточных частей гидроагрегатов;

повышение абразивного износа напорных трубопроводов, гидромеханического оборудования;

нарушение уплотнений валов турбин, ремонтных уплотнений предтурбинных затворов и пр.

В докладе описывается опыт эксплуатации таких сооружений, приводятся разработанные и фактически реализованные в процессе эксплуатации технические решения по повышению эксплуатационной надежности и безопасности ГЭС, а также даются промежуточные сведения об эффективности реализованных технических решений.

Вместе с тем, с целью снижения рисков, возникающих в процессе эксплуатации гидротехнических сооружений деривационных ГЭС на реках с высоким расходом и стоком взвешенных наносов, имеющих в составе бассейны суточного регулирования и напорные бассейны, следует на этапе разработки проектной документации предусматривать промывные сооружения на них.

¹ Советник директора по технической политике, филиал ПАО «РусГидро» – «Кабардино-Балкарский филиал»

² Начальник Службы мониторинга ОиГЭС, филиал ПАО «РусГидро» – «Кабардино-Балкарский филиал»

³ Научный сотрудник, заместитель директора Аналитического центра по безопасности ГЭС, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Младший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОУЗЛА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ШВА МЕЖДУ ВОДОПРИЕМНИКОМ И ПРАВОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКОЙ ЗАГОРСКОЙ ГАЭС БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕЖИМА

Д.П. Михайлец¹

Проблемы фильтрации воды через деформационные швы между бетонными гидротехническими сооружениями верхнего водохранилища Загорской ГАЭС возникали с начала заполнения водохранилищ в 1988 г. В правобережном примыкании дамбы верхнего водохранилища протечки для организованного отвода фильтрационной воды через деформационный шов № 1 (Дш № 1), расположенный между водоприемником и правой подпорной стенкой ПС-1 второго яруса, был сооружен специальный водосборный колодец с отводом воды в дренажную систему. Дш № 1 состоит из вертикального и горизонтального уплотнений. Со стороны верхнего бьефа фундамент подпорной стены имеет зуб, в котором установлен металлический шпунт с заделкой в нижнюю часть вертикального уплотнения. Шпунт также заделан в боковую грань водоприёмника, а глубина его заложения составляет 16,5 м от подошвы зуба. После ввода в постоянную эксплуатацию Загорской ГАЭС в 2003 г. ремонт шпонок водоприемника выполнялся несколько раз. В 2011 г. полость между смотровой шахтой и шпонкой Дш № 1 была заполнена тиоколовой мастикой. Это снизило протечки на длительный срок.

В 2020 г. при анализе результатов натурных наблюдений выявлен рост расходов по водосливу, контролирующему работу дренажной системы правобережного примыкания дамбы верхнего водохранилища. До указанного события расход дренажной системы не превышал 3,5 л/с, но с конца 2019 г. начал повышаться и в апреле 2023 года достигал максимума 34,1 л/с. Обследованием было установлено, что увеличение расхода в дренажной системе связано с увеличением фильтрации воды, поступающей через Дш №1.

С первых дней выявления проблемы были организованы учащённые наблюдения за расходами и составом воды, противодавлением на подошву сооружений, их осадками и раскрытием шва, намечены мероприятия по определению фильтрационного пути и состояния уплотнений, запланированы ремонтные работы и разработана инструкция на случай возникновения аварийной ситуации. Отсутствие взвешенных частиц грунта и посторонних примесей в пробах воды из протечки свидетельствовало о стабильности состояния основания Дш № 1 и возможности продолжить эксплуатацию гидроузла в проектном режиме. Для оперативного реагирования на показатель взвешенных частиц было назначено предельно-допустимое значение, соответствующее 24 мг/дм³. Расход протечки контролировался дважды в сутки в автоматизированном режиме и один раз в сутки в ручном режиме. Физико-химический анализ воды выполнялся 2-3 раза в неделю в зависимости от величины расхода. При ухудшении ситуации планировался аварийный сброс верхнего водохранилища до уровня мертвого объёма и ниже, в случае необходимости.

¹ Канд. техн. наук, начальник службы мониторинга оборудования и гидротехнических сооружений, филиал ПАО «РусГидро» – «Загорская ГАЭС»

В связи с отсутствием подрядчиков с опытом выполнения аналогичных работ и отсутствием гарантий возможности реализации разработанной проектной документации было принято решение организовать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) по апробированию технологии восстановления деформационных швов.

Согласно разработанной программе по выполнению НИОКР восстановление Дш № 1 было запланировано в 3 этапа. На первом этапе сделаны два пьезометра в основание подпорной стены вблизи деформационного шва для дополнительного контроля фильтрационного противодействия во время восстановления и выполнены дополнительные исследования. На втором этапе выполнено бурение исследовательской скважины в асфальтно-битумной мастике вертикального уплотнения Дш № 1, инъецирование в основание исследовательской скважины, две дубль-шпонки (одна через дно смотровой шахты, вторая между смотровой шахтой и вертикальной шпонкой).

Протечка была остановлена 26 апреля 2024 г. после инъецирования бетонной смеси в основание исследовательской скважины в вертикальной шпонке между водоприемником и подпорной стеной ПС-1. В настоящее время проходит третий этап НИОКР – опытная эксплуатация восстановленной шпонки Дш № 1, по результатам которой планируется разработка рекомендаций к внедрению и дальнейшему использованию разработанных технических решений, материалов и методов ремонта уплотнений напорного фронта.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

М.М. Султанов¹, И.А. Болдырев², А.Р. Плетнева³

В рамках решения проблемных вопросов цифровой трансформации на энергетических объектах необходима разработка новых подходов к управлению данными (сбор, хранение, обработка, прогнозирование) о режимах работы энергетических систем, определяющих цифровую трансформацию подразделений и предприятий энергетической отрасли, позволяющих обеспечить достижение высоких показателей конкурентоспособности на рынках электроэнергии с учетом требований российского законодательства.

Таким образом, актуальной является разработка методов обеспечения эффективности и безопасности оборудования объектов энергетических систем, включая ГТС, на основе совершенствования структуры распределения потоков информации в системе управления с применением сквозных цифровых технологий.

Выполнен детальный анализ основных направлений совершенствования организации деятельности по управлению энергетическими предприятиями генерирующих и энергетических систем в современных условиях развития сквозных цифровых технологий.

Рассмотрена структура потоков информации и установлены методические положения организации системы управления энергетическими предприятиями генерирующих и энергетических систем.

Предложена прогнозная модель для предиктивного анализа технологических параметров в системах диагностики энергетического оборудования. Модель предиктивного анализа предназначена для прогнозирования предаварийных режимов работы оборудования, что позволяет внести изменения в технологический процесс с целью предотвращения аварийной ситуации. Проведен анализ статистических характеристик сигналов, на основании которых получены оптимальные параметры настройки прогнозной модели.

Предложена архитектура системы прогнозирования на основе модели ARIMA для внедрения на производственный объект, включая тепловые электрические станции, с использованием имеющихся на объектах АСУ ТП.

Проведен анализ технических решений для управления энергетическими предприятиями с использованием облачных сервисов и технологий, рассмотрен отечественный и зарубежный опыт внедрения облачных технологий в систему управления энергетическим предприятием.

Предложена усовершенствованная методика управления энергетическим предприятием с использованием облачных серверов, которая отличается усовершенствованным алгоритмом консенсуса и использованием российских стандартов шифрования для работы распределенного реестра.

Предложен комплексный критерий оптимальности при формировании управленческих воздействий верхнего уровня, с точки зрения обеспечения максимальной эффективности работы энергетического предприятия в части выполнения заданной общесистемной надежности и безопасности в условиях цифровой трансформации в единой информационно-измерительной системе управления энергетическими предприятиями.

¹ Докт. техн. наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

² Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

³ Студент, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

СПЕЦИФИКА УЧЁТА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ГТС В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ

А.К. Карпов¹, Б.В. Ушан²

В состав гидротехнических сооружений, эксплуатируемых филиалом ПАО «РусГидро» – «Каскад Кубанских ГЭС», входят грунтовые плотины водохранилищ, дамбы бассейнов суточного регулирования и дамбы каналов. Тип грунтовых сооружений идентичен — однородные насыпные земляные, противofильтрационный элемент отсутствует. Плотины и дамбы отсыпались из местных грунтов, представленных суглинками. При отсыпке грунт уплотнялся до объемного веса скелета $1,58 \text{ т/м}^3$. Положительным свойством уплотненного суглинистого грунта является низкая водопроницаемость. В то же время местные суглинки в своей структуре имеют включения гипса и песка, подвержены трещинообразованию и пучению (верхние слои), что со временем может привести к локальному (местному) снижению водопроницаемости.

Для контроля за фильтрационным режимом дамб и плотин ведутся наблюдения за пьезометрическими уровнями в теле сооружений. Проектом предусмотрено наблюдение за фильтрационным режимом в теле сооружений трубчатыми опускными пьезометрами со снятием показаний вручную лотом-хлопушкой. Таким образом определяется фактическое положение кривой депрессии и сравнивается с её проектным положением.

В процессе многолетних наблюдений и анализа данных установлено:

1. Корреляция между уровнями воды в пьезометрах и уровнями воды в БСР практически отсутствует, что связано с низкой проницаемостью грунтов.

2. Значительная часть пьезометров заилена, что связано с конструкцией пьезометра и свойствами грунта (гранулометрический состав, глинистые частицы).

3. Периодическое превышение уровня воды в части пьезометров, что связано со свойствами грунта (трещинообразование), и поступление поверхностной воды в шахту пьезометра.

Учитывая указанные проблемы, можно считать, что результаты измерений фильтрационного режима опускными пьезометрами вызывают сомнения.

Положение кривой депрессии контролируется в створе пьезометров, участки сооружений между створами контролируются только визуальными наблюдениями. На участках между створами, из-за свойств грунтов и срока эксплуатации сооружений, существуют риски возникновения неконтролируемого развития локальных дефектов (снижения фильтрационной прочности).

Общая длина напорного фронта грунтовых сооружений составляет 20,58 км без учета дамб каналов (25 км). Расстояние между сооружениями в одном комплексе ГТС в среднем составляет 2 км. Инструментальные и визуальные наблюдения ведутся персоналом группы фильтрационного контроля общей численностью 11 человек. Согласно программе натурных наблюдений контроль фильтрационного режима сооружений ведется 1 раз в две недели. Исходя из протяженности, расположения, количества сооружений снизить период наблюдений затруднительно или невозможно. Учитывая срок эксплуатации, специфику грунтовых сооружений и

¹ Первый заместитель директора - Главный инженер, филиал ПАО «РусГидро» – «Каскад Кубанских ГЭС»

² Начальник службы мониторинга оборудования и ГТС, филиал ПАО «РусГидро» – «Каскад Кубанских ГЭС»

негативное воздействие на них природного и техногенного характера, возможно, существует необходимость непрерывного контроля технического состояния.

На данный момент, в рамках комплексной реконструкции и модернизации, а также при реализации отдельных проектов по дооснащению ГТС филиала КИА, на сооружениях устанавливаются автоматизированные системы опроса, с применением различных типов и модификаций датчиков.

В докладе поднимаются вопросы о выборе методов, способов и периодичности контроля фильтрационного режима грунтовых сооружений.

ПРИМЕНЕНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГТС

Д.А. Чернуха¹, А.В. Шипилов²

Интенсивность государственного и муниципального контроля за гидротехническим сооружением зависит от рисков нанесения вреда охраняемым Государством ценностям, которые могут пострадать при нарушении работоспособности объекта. Данная концепция называется риск-ориентированным подходом в надзорной деятельности. Целями применения такой концепции при регулировании процесса эксплуатации ГТС являются не только минимизация показателей риска от сооружения, но и оптимальное использование трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Применение риск-ориентированного подхода является эффективным инструментом для повышения прибыли от ГТС, поскольку экономически целесообразная эксплуатация сооружения неразрывно связана с обеспечением его безопасности, что возможно достичь через управление эксплуатационными процессами, основанное на комплексной оценке рисков.

В данной работе рассматривается консервативный подход, при котором показатели надежности часто вводятся как вероятностные характеристики, причем для уникальных сооружений используется понятие индивидуальной вероятности. Оценка безопасности сооружения в таком случае производится с применением методов теории надежности, которые включают в себя определение характеристик самого сооружения, оценку действующих нагрузок, в том числе и воздействие окружающей среды. При установленных законах распределения величин, влияющих на состояние сооружения, можно воспользоваться методом деревьев отказов для получения количественной оценки риска. В случае простых соотношений, например между нагрузкой и несущей способностью, и известных функций распределения вероятностей этих величин, такие вычисления могут быть выполнены достаточно просто, с использованием инструментов теории вероятности. Также, в случае наличия аналитического выражения функции нескольких переменных, вычисление вероятности может быть выполнено с использованием метода Монте-Карло.

Доработка вышеописанной методики и формализация предложенных подходов создадут основы для математически обоснованного распределения бюджета на эксплуатацию гидротехнических сооружений. Это позволит не только оптимизировать финансовые ресурсы, но и повысить эффективность управления эксплуатационными процессами, обеспечивая более точное прогнозирование потребностей в финансировании и улучшение общей надежности объектов. Внедрение таких методов станет шагом к систематизации управления ресурсами.

Дерево отказов, как структурированная схема, отражающая связи базовых узлов системы, может выступать в роли цифрового двойника, интегрирующего не только пространственную модель гидротехнического сооружения и систему контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), но и комплексную схему, позволяющую на ее основе формировать обоснованные управленческие решения, минимизируя риски. Цифровой двойник предоставляет возможность создания виртуальной реплики реального объекта, что способствует более глубокому анализу

¹ Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Канд. техн. наук, начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

его поведения в различных эксплуатационных условиях. Он включает в себя данные о текущем состоянии конструкции, её элементах и системах, интегрируя информацию о расходах, нагрузках и возможных отказах. Такая модель не только позволяет проводить мониторинг в режиме реального времени, но и имитировать различные сценарии, что значительно облегчает процесс принятия решений при планировании технического обслуживания, определении приоритетов в восстановлении и модернизации объектов. Использование дерева отказов в данной концепции способствует выявлению потенциальных уязвимостей и определению критических точек, что, в свою очередь, улучшает стратегию управления рисками и повышает общую эффективность эксплуатации сооружений.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕССЕТОЧНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ АВАРИЙ ГТС

И.В. Баянов¹, А.В. Шипилов²

В соответствии с Федеральным законом от 21.07.1997 №117–ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений», выполняется обоснование безопасности ГТС путем разработки Декларации безопасности, в состав которой входит Расчет вероятного вреда.

Оценка вероятного вреда выполняется на основе данных о прогнозе развития волны прорыва. Важным параметром при расчете волны прорыва является граничное условие в виде расчетного гидрографа, которое зависит от времени, скорости и других параметров развития прорыва. Вопросом развития прорыва занимались многие исследователи, и при выполнении расчетов распространение получили несколько основных подходов: например, метод А.М. Прудовского или методика ICOLD, основанные на методе подобия размерностей; методика АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», основанная на классических уравнениях гидравлики.

Описанные выше подходы имеют некоторые ограничения в прогнозировании развития прорыва, например, при оценке его развития в примыканиях к бетонным сооружениям или на сооружениях сложной формы. Также имеются некоторые ограничения, связанные непосредственно с математической моделью применяемых методов. Для решения возникающих трудностей могут быть использованы бессеточные методы, например, метод сглаженных частиц.

Метод сглаженных частиц (англ. *Smoothed Particle Hydrodynamics*, SPH) является бессеточным лагранжевым методом для моделирования динамики жидкости, газа и твердых тел. С помощью этого метода могут быть получены решения, не содержащие ограничений указанных выше методов.

¹ Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Канд. техн. наук, начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ НИВЕЛИРОВ «МОНИТРОН»

А.В. Дейнеко¹, А.Н. Симутин²

Искусственный интеллект (ИИ) сформировался как направление информатики в пятидесятых годах прошлого века и рассматривает применение компьютеров к решению задач, воспроизводящих мышление человека, например: анализ информации, формирование выводов, управление (автопилоты, роботы), умственная работа (создание текстов, изображений, музыки) и т.п. ИИ представляет собой компьютерную программу, отличающуюся некоторыми признаками:

самообучение - когда программа содержит не окончательный алгоритм решения задачи, а алгоритм обучения к выполнению данной задачи;

учет данных в заметно большем объеме, чем при традиционном анализе человеком.

Для компьютерного анализа данных применяются модели машинного обучения регрессионного типа. Они связывают исходные данные (независимые переменные) с наблюдаемой величиной (зависимой или целевой переменной). Модель обучается на доступных данных (обучающей выборке), и в дальнейшем прогнозирует целевую переменную при новых сочетаниях независимых переменных (которые не встречались в обучающей выборке).

Принцип самообучения позволяет генерировать алгоритмы, которые создаются по общим правилам и адаптируются к конкретным случаям. Именно так применяется машинное обучение для контроля стабильности эксплуатируемых сооружений в гидростатических нивелирах «Монитрон», формирующих поток больших данных благодаря высокой цикличности (от 1 раза в минуту) и точности наблюдений ($\pm 0,1$ мм).

Обучение ведется на взаимосвязи между вертикальными перемещениями (результатами автоматизированного нивелирования), с одной стороны, и данными о зарегистрированных нагрузках, воздействиях и условиях эксплуатации, с другой стороны. Обучение идет отдельно для каждого прибора, потому что влияние нагрузок, воздействий и условий эксплуатации различно в разных точках сооружения.

В режиме эксплуатации модель машинного обучения определяет ожидаемое вертикальное перемещение в текущий момент времени (исходя из предыдущего опыта эксплуатации). Учитывая допустимую погрешность, получается диапазон ожидаемых значений. Если фактическое вертикальное перемещение попадет в диапазон, значит сооружение работает закономерно. Если фактические результаты нивелирования вышли за пределы ожидаемых значений, значит сооружение работает не как прежде, возможно изменение технического состояния.

Таким образом, модуль ИИ выступает в качестве роботизированного виртуального эксперта на облачном сервере «Монитрон», который оценивает в режиме реального времени поступающие данные автоматизированного нивелирования, и при необходимости направляет предупреждающие оповещения по каналам связи (электронная почта, СМС-сообщения).

¹ Канд. техн. наук, главный инженер, ООО «Сигма Тау»

² Канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «Монитрон»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРАВОВЫХ ОСНОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

М.Н. Раченков¹, Р. Файзулдин²

Введение

Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) является актуальной задачей для Казахстана и России. Оба государства имеют развитые законодательные системы, направленные на предотвращение аварий и обеспечение стабильности ГТС. Сравнительный анализ позволяет выявить общие черты и различия в подходах к регулированию, что способствует выработке рекомендаций по совершенствованию правовой базы.

Общие принципы законодательства

Законодательства обеих стран опираются на ряд общих принципов:

Определение ГТС и их классификация по уровням опасности.

Установление требований к проектированию, строительству, эксплуатации и ремонту.

Оценка технического состояния сооружений и регулярный мониторинг.

Ответственность за нарушение норм безопасности.

Законодательство Республики Казахстан

Водный кодекс республики Казахстан от 9 июля 2003 года № 481.

Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 2 декабря 2015 года № 19-2/1054 «Об утверждении Правил, определяющих критерии отнесения плотин к декларируемым, и Правил разработки декларации безопасности плотины». Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 30 декабря 2015 года № 12660.

Дополнительно регулируется Приказом Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 19-4/294 «Об утверждении Правил эксплуатации водохозяйственных сооружений, расположенных непосредственно на водных объектах». Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 28 июля 2015 года № 11775.

Важное место занимает подготовка специалистов в области безопасности ГТС.

Законодательство Российской Федерации

Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21.07.1997 № 117-ФЗ.

Постановление Правительства Российской Федерации от 20 ноября 2020 года № 1892 «О декларировании безопасности гидротехнических сооружений» аналогичен казахстанскому Постановлению, но имеется ряд отличий.

Сравнительный анализ

Сходства: Оба законодательства требуют строгого контроля за состоянием ГТС, регулярных инспекций, а также разработку аварийных планов.

¹ Главный инженер проекта, ТОО «Институт Казгипроводхоз»

² Генеральный директор, ТОО «Институт Казгипроводхоз»

Различия: В России более детализирована классификация ГТС по уровню риска, в Казахстане больше внимания уделяется общей гражданской защите и обучению персонала. В РФ разработаны строгие требования к декларации безопасности, тогда как в Казахстане это менее детализировано.

Механизмы государственного контроля

В Казахстане надзор осуществляет Комитет по чрезвычайным ситуациям и Министерство экологии. В России — Ростехнадзор и МЧС. Оба государства требуют обязательных проверок и сертификации персонала.

Ответственность за нарушение законодательства

В обеих странах предусмотрены санкции за несоблюдение норм безопасности, однако в России предусмотрены более жесткие меры, включая приостановку деятельности ГТС.

В Казахстане акцент делается на штрафах и административной ответственности.

Оценка эффективности законодательства

В Казахстане и России проводятся регулярные исследования уровня безопасности, однако, в России проводится более жесткий контроль рисков.

В обоих странах наблюдается необходимость совершенствования законодательства с учетом новых технологий и климатических вызовов.

Заключение и рекомендации

Несмотря на схожие подходы, существует необходимость гармонизации нормативной базы двух стран. Рекомендуются усилить международное сотрудничество, разработать единые стандарты безопасности в рамках ЕАЭС, а также улучшить системы мониторинга и прогнозирования аварий.

НОВОЕ РЕШЕНИЕ ПО МОНИТОРИНГУ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С ГЛИНОЦЕМЕНТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМОЙ ИЗ БУРОСЕКУЩИХСЯ СВАЙ

Р.Ю. Лабойко¹, С.В. Сольский²

Противофильтрационные элементы (ПФЭ), выполненные из глиноцементобетонных буросекущихся свай, зарекомендовали себя как надежный способ гашения фильтрационного потока в теле и основании грунтовых сооружений.

Проблема мониторинга грунтовых плотин с глиноцементобетонной диафрагмой (ГЦБД) из буросекущихся свай (БСС) сохраняется ввиду недостаточной изученности работы таких ПФЭ в условиях постоянной эксплуатации. Эксплуатируемые в России грунтовые плотины с глиноцементобетонной диафрагмой (ГЦБД) из буросекущихся свай или не оснащены контрольно-измерительной аппаратурой в ПФЭ (Белопорожская МГЭС), или ее состав не в полной мере достаточен для всестороннего изучения работы плотин в условиях постоянной эксплуатации (Нижне-Бурейская ГЭС).

Исследования напряженно-деформированного состояния единственной в России эксплуатируемой грунтовой плотины с установленной КИА в ГЦБД из БСС свидетельствуют о неоднозначной картине распределения НДС по высоте ПФЭ. При этом в действующей нормативной документации отсутствуют требования по оснащению контрольно-измерительной аппаратурой непосредственно ПФЭ.

Другой важной проблемой является отсутствие требований по монтажу контрольно-измерительной аппаратуры в БСС. Опыт монтажа в БСС показал, что обеспечение работоспособного состояния датчиков дистанционной контрольно-измерительной аппаратуры при бетонировании скважин имеет большое значение для последующего мониторинга в процессе эксплуатации плотины. С этой целью был разработан и запатентован способ монтажа контрольно-измерительной аппаратуры в ГЦБД из БСС.

В докладе описываются особенности мониторинга грунтовой плотины с ГЦБД из БСС, существующие проблемы в части оснащения КИА и мониторинга таких плотин, а также разработанные решения по совершенствованию системы мониторинга.

¹ Младший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

КРОСС-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

А.В. Кондакова¹, С.В. Морозов², И.В. Гранёв³

*Целое — это больше, чем сумма его частей
Аристотель «Метафизика»*

При рассмотрении задач проектного дела необходимо выделить самое главное, что целью всегда является качественный результат, который обязательно должен включать:

актуальность решения и соответствие его потребностям современных специалистов;
технологическую готовность производителей оборудования;
технический уровень интеграторов;
понимание, удобство и готовность строителей;
уверенность проектировщиков в обеспечении показателей характеристик качества системы;
безопасность и удобство использования.

При этом важно помнить, что такое решение может и, как правило, будет не соответствовать желаемым ценовым планкам решений, действующей нормативной документации, срокам производства.

При поступлении запроса на создание систем автоматизированного диагностического контроля параметров аналитических и жизненно-важных процессов промышленных и инфраструктурных объектов, установленных на сооружении, одновременно сравнивающей полученные результаты с критериями оценки технического состояния и безопасности сооружений, проектные организации, не осуществляющие научную деятельность, сталкиваются с рядом препятствий, не позволяющих осуществить быстрое проектирование в объеме максимального удовлетворения всех потребностей заинтересованных сторон. К таким препятствиям относятся:

1. Отступление от стадий разработки автоматизированных систем в соответствии с ГОСТ Р 59793-2021.
2. Неоднозначное определение нормативной базы и ее избыток.
3. Желание Заказчика автоматизированной системы получить полную конечную стоимость реализации технического решения «под ключ» на этапе создания концепции.
4. Технические требования на разработку автоматизированной системы часто не учитывают желания службы эксплуатации.
5. В исходных данных для проектирования отсутствует информация по критериальным параметрам.
6. Отсутствует кросс-функциональное взаимодействие между научными институтами, проектировщиками, службой эксплуатации и производителями оборудования.

¹ Руководитель проектного отдела, ООО «Мимир Инжиниринг»

² Заместитель генерального директора по проектному инжинирингу, ООО «Мимир Инжиниринг»

³ Генеральный директор, ООО «ТПИ»

7. У исполнителей проектных организаций отсутствует возможность посещать производителей, строительные площадки.
8. Производители оборудования и интеграторы не получают, либо не воспринимают прямую обратную связь о возникающих проблемах, сложностях и особенностях при реализации проектов.

На сегодняшний день автоматизированные системы мониторинга с точки зрения эксплуатации часто оказываются дискредитированы. Это связано с тем, что:

Осуществляется мониторинг большого количества показателей, не несущих смысловую нагрузку;

нерационально организованные и нетехнологичные системы сложно оперативно обслуживать и поддерживать в работоспособном состоянии, в результате чего получаем недостоверные данные;

ручные измерения вызывают большее доверие, так как ответственными за системы назначаются специалисты с недостаточным техническим уровнем;

в сопровождении автоматизированной системы и развитии её значимости и эффективности не заложено участие научных организаций, которые не просто смотрят аналитические данные, но и формируют на их основе модели обслуживания, содержания и поведения профильных специалистов эксплуатирующей организации;

системы мониторинга и диагностики, данные от измерений (даже ручных) до сих пор воспринимают как подтверждение факта, а не аналитический инструмент для помощи в развитии технологии эксплуатации.

Все описанные препятствия – это существующая реальность, которая приводит к непониманию Заказчиком значимости систем мониторинга, где в основе стоит только желание реализовать систему с минимальными затратами в сжатые сроки только с целью получения разрешения на ввод в эксплуатацию объекта.

В глобальном смысле каждая заинтересованная Сторона при создании автоматизированных диагностических систем и систем мониторинга преследует свою цель. Заказчик – получить разрешение на ввод объекта в эксплуатацию. Проектировщик – получить согласование проектной документации. В стремлении достичь свои цели часто не учитываются потребности самого объекта либо всей сферы промышленности – функциональная и безопасная эксплуатация объекта с возможностью прогнозирования протекающих процессов.

Для реализации автоматизированных систем, удовлетворяющих потребностям всех заинтересованных сторон, необходимо обязательное участие профильных научных организаций и тесное взаимодействие между проектными организациями и службами эксплуатации на этапе самой идеи создания объекта.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ ГТС

Г.В. Охапкин¹, А.Б. Веселов²

Гидротехнические сооружения играют ключевую роль в стабильности топливно-энергетического сектора Российской Федерации. Их надёжность и безопасность имеют огромное значение для отрасли. Однако износ конструкций и продолжительный срок эксплуатации таких сооружений могут привести к ухудшению их технического состояния и снижению уровня безопасности. В связи с этим необходимо своевременно проводить ремонтно-восстановительные работы для поддержания работоспособности сооружений и предотвращения аварийных ситуаций.

Цифровая трансформация в сфере безопасности и надёжности гидротехнических сооружений становится ключевым фактором устойчивого развития топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. Она способствует повышению эффективности работы предприятий, снижению риска возникновения аварийных ситуаций и обеспечению стабильного функционирования этих объектов.

Цифровая трансформация в области безопасности и надёжности ГТС включает использование современных информационных технологий, таких как базы данных и программы для ЭВМ, сервисы обмена информацией между участниками, инструменты автоматизации (рис. 1).



Рис. 1. Современные информационные технологии

¹ Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Интеграция различных систем и информационных ресурсов, связанных с безопасностью и надёжностью ГТС, создаёт единую информационную систему, которая обеспечивает оперативное получение информации о состоянии ГТС, прогнозирование аварийных ситуаций и своевременное принятие мер по их предотвращению (рис. 2).



Рис. 2. Пример концепции единой информационной системы

В докладе рассматриваются: основные направления цифровой трансформации в области безопасности и надёжности ГТС; схема взаимосвязи основных функциональных блоков с указанием ключевых задач в рамках цифровой трансформации (рис. 3); последовательность выбора компенсационных мероприятий; общая взаимосвязь баз данных и программ для ЭВМ при выборе технических решений по ремонту ГТС.

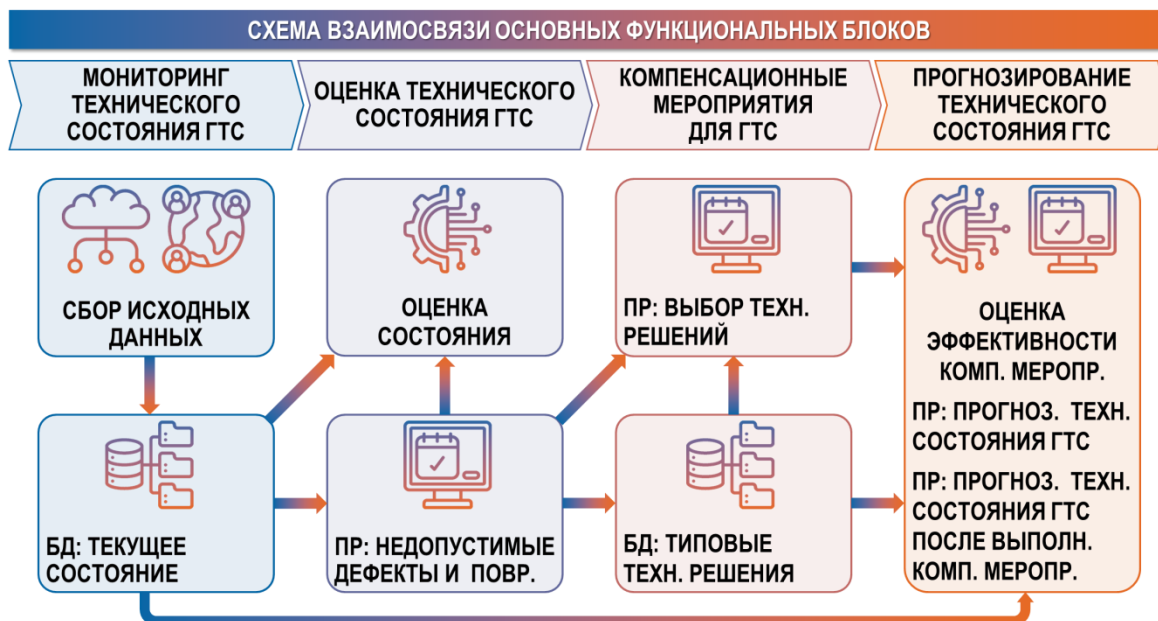


Рис. 3. Пример схемы взаимосвязи функциональных блоков

ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ГТС: СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

А.Б. Веселов¹, А.В. Толстикова², Г.В. Охапкин³, А.А. Метс⁴

Гидротехнические сооружения играют ключевую роль в стабильности топливно-энергетического сектора Российской Федерации. Обеспечение их надёжной и безопасной эксплуатации имеет огромное значение для отрасли. Продолжительный срок эксплуатации таких сооружений в сложных, порой суровых, климатических условиях приводят к естественному износу конструкций. В связи с этим необходимо вести постоянный контроль состояния ГТС, собирать, систематизировать и анализировать информацию об изменениях состояния ГТС, своевременно разрабатывать и проводить ремонтно-восстановительные работы для поддержания работоспособности сооружений и предотвращения развития аварийных ситуаций.

Цифровая трансформация процессов в сфере безопасности и надёжности гидротехнических сооружений становится ключевым фактором устойчивого развития топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. Она способствует повышению эффективности работы предприятий, снижению риска возникновения аварийных ситуаций и обеспечению стабильного функционирования этих объектов.

Большинство компаний ТЭКа имеют зонтичную структуру, в которой центром принятия решения является центральный аппарат (управление), куда стекаются все информационные потоки и данные об эксплуатации комплексов ГТС. Для обеспечения эффективного взаимодействия участников данного процесса при столь обширной, организационной структуре, и предоставления центрам принятия решений достоверной информации о состоянии сооружений требуются современные решения, такие как цифровые информационные платформы (ЦИП).

На основе ЦИП персонал эксплуатирующих организаций могут выполнять функции по:

- сбору, консолидации, обработке и анализу информации, необходимой для принятия решений по управлению жизненным циклом производственных объектов в части обеспечения безопасности и надёжности сооружений и их оборудования;
- формированию вариантов решений, рекомендаций по обеспечению безопасности и надёжности сооружений и оборудования на основе обобщения информации;
- контролю реализации принятых решений по обеспечению безопасности и надёжности сооружений и оборудования и оценке их эффективности;
- по оценке и прогнозу технического состояния оборудования и сооружений производственных объектов.

Специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» ведется активная работа по цифровизации отмеченных процессов и созданию ЦИП энергетических компаний (ПАО «РусГидро», ПАО «ТГК-1»). В докладе рассматривается опыт работы специалистов АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» в данном направлении с указанием основных проблем, с которыми приходится сталкиваться при цифровом переходе, и ключевых направлений по развитию ЦИП.

¹ Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Начальник Управления Департамента эксплуатации, ПАО «РусГидро»

³ Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

⁴ Техник-программист, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ПУТИ УСТРАНЕНИЯ ПРОБЛЕМ И БАРЬЕРОВ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А.В. Виноградов¹, А. Б. Веселов², Г.В. Охапкин³

Обеспечение эксплуатационной надёжности и безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) является одной из важнейших стратегических задач для функционирования топливно-энергетического, агропромышленного и транспортного комплексов Российской Федерации.

Естественный износ конструкций и продолжительный срок службы таких сооружений приводят к ухудшению их технического состояния и снижению уровня безопасности. Это может вызвать аварии ГТС и негативно сказаться на функционировании вышеуказанных комплексов. В связи с этим, вопросы поддержания работоспособного состояния ГТС и своевременного эффективного выполнения ремонтно-восстановительных работ являются весьма существенными.

При выборе технических решений по проведению ремонтно-восстановительных работ необходимо опираться на требования нормативно-технической документации. При этом даже на уровне нормативно-правовых актов Российской Федерации отмечается несовершенство нормативно-правовой и нормативно-технической баз, препятствующих развитию отрасли, что является одной из ключевых проблем текущего состояния объектов.

Анализ существующей документации выявил отсутствие специализированной законодательной базы в сфере ремонтно-восстановительных работ для ГТС. Общие документы не учитывают специфику ГТС, в то время как отраслевые нормативы сосредоточены на строительстве новых объектов, оставляя без внимания особенности ремонтно-восстановительных работ.

Необходимость ответа на стоящие перед отраслями внешние и внутренние вызовы формирует задачу динамичного и опережающего развития направления в области разработки и внедрения специализированной законодательной базы, которая будет регламентировать процессы на всех этапах жизненного цикла ГТС. Такая база должна учитывать специфику ГТС и особенности ремонтно-восстановительных работ, обеспечивая безопасность и надёжность эксплуатации этих объектов.

Для обеспечения безопасности ГТС необходимо решение комплекса взаимосвязанных задач: мониторинг, оценка и прогнозирование технического состояния ГТС, разработка компенсационных мероприятий и экспертный надзор за их реализацией (рис. 1).

¹ Генеральный директор, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»



Рис.1. Пример схемы взаимосвязи функциональных блоков

С целью научно-технической оптимизации, унификации и стандартизации процессов по обеспечению безопасности ГТС, а также для формирования специализированной законодательной базы специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» активно разрабатывается цифровая трансформация процессов, включая следующие прикладные задачи:

1. Разработка и внедрение специализированных информационных систем, которые содержат базы данных о состоянии ГТС, результатах наблюдений за развитием дефектов и повреждений, данные о проведенных обследованиях, выполненных работах по ремонту, модернизации и замене элементов. Для наполнения информационных систем созданы и внедрены унифицированные шаблоны по ведению наблюдений за ГТС и механическим оборудованием (МО) ГТС, по оценке работы и функционированию систем мониторинга ГТС.

2. Типизация и унификация в области дефектов бетонных и железобетонных ГТС, повреждений и компенсационных мероприятий для их устранения. Разработка алгоритмов и методик выбора эффективных технических решений по ремонту и восстановлению бетонных и железобетонных ГТС с использованием унифицированных баз данных. Автоматизация процесса разработки рекомендации по необходимым компенсационным мероприятиям для обеспечения безопасности ГТС и проведению экспертного надзора за их реализацией на ГТС.

Среди примеров разработок, реализованных специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», можно отметить:

база данных по классификации, типизации и параметризации дефектов и повреждений (разрушений) бетона конструкций ГТС (рис. 2);

базы данных унифицированных комплексных компенсационных мероприятий (технических решений) по защите, гидроизоляции, восстановлению и ремонту бетонных и железобетонных конструкций ГТС, включая требуемые для их реализации технологические операции (рис. 3);

база данных по параметрам и показателям состояния ГТС, требующих организации контроля;

база данных отечественных производителей контрольно-измерительной аппаратуры; алгоритмы и методики выбора компенсационных мероприятий (технических решений, технологических операций) по ремонтно-восстановительным работам на железобетонных конструкциях ГТС на основе разработанных баз данных;

основные положения концепции организации сопровождения проведения ремонтно-восстановительных работ на бетонных и железобетонных ГТС.

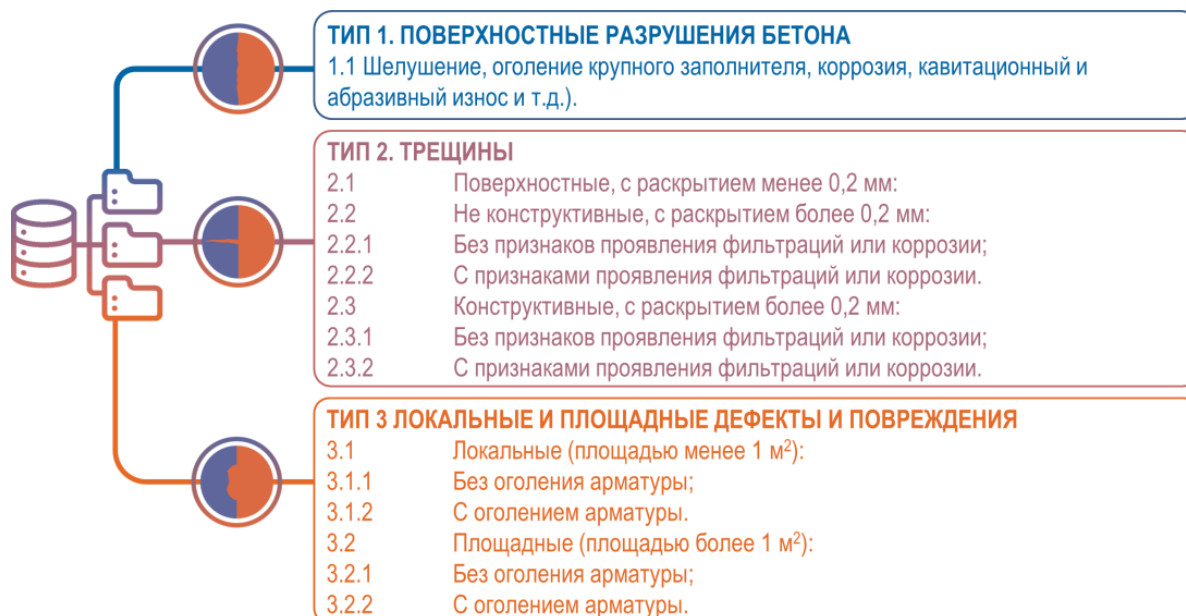


Рис. 2. Классификация, типизация и параметризация дефектов и повреждений (разрушений) бетона конструкций ГТС



Рис. 3. Унифицированные комплексные компенсационные мероприятия (технические решения)

Примером внедрения баз данных является интегрирование в разработанную для ПАО «РусГидро» унифицированную информационно-диагностическую систему (ИДС) функционала по ведению дефектных ведомостей с учетом типизации и параметризации дефектов и повреждений ГТС и МО ГТС.

В дальнейшем планируется интеграция различных систем и информационных ресурсов, связанных с безопасностью и надёжностью ГТС, в единую информационную систему, которая обеспечит оперативное получение информации о текущем состоянии ГТС, прогнозирование его изменения и своевременное принятие мер по предотвращению аварийных ситуаций ГТС и МО ГТС (рис. 4).



Рис. 4. Пример концепции единой информационной системы

Выводы

1. Развитие отмеченного направления обеспечит унификацию и сокращение количества операций, необходимых для выполнения задач, благодаря замене традиционных (стандартных) процессов цифровыми решениями, что способствует:

- повышению эффективности управленческих решений;
- улучшению качества экспертных работ;
- обеспечению прозрачности и доступности данных для всех участников процесса;
- автоматизации, стандартизации и унификации процесса выбора обоснованных, оптимальных и эффективных компенсационных мероприятий и экспертного надзора за их реализацией;
- оптимизации затрат на обеспечение безопасности ГТС в области ремонтно-восстановительных работ.

2. Систематизация и обобщение лучших практик имеют огромное значение для создания специализированной законодательной базы, в том числе:

- позволяет выявить и проанализировать успешные подходы и методы, применяемые в разных отраслях и регионах, а также определить общие закономерности и тенденции.
- способствует формированию единого подхода к решению проблем, возникающих в определённой сфере деятельности, что позволяет избежать дублирования усилий, повысить эффективность работы и улучшить качество принимаемых решений;
- позволяют обмениваться опытом между различными организациями и специалистами, что способствует распространению передового опыта и развитию профессиональных компетенций.

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ОАО «РЖД» ПРИЗНАКАМ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРЯДКА ДЕЙСТВИЙ СОБСТВЕННИКА ДЛЯ ИХ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Е.М. Кобочкина¹

В настоящее время ОАО «РЖД» эксплуатируются более 80 тысяч искусственных сооружений. К искусственными сооружениями объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» относятся защитные и укрепительные инженерные сооружения земляного полотна, часть из которых подходит под применение термина «гидротехническое сооружение» в соответствии с их названием и выполняемыми ими функциями, к примеру: подпорные стены, волноотбойные стены, волногасители, струенаправляющие дамбы.

Нормативная база РФ предусматривает ряд документов, в соответствии с которыми производится организация эксплуатации и технического обслуживания, мониторинга и оценки технического состояния, декларирования, а также проведения регулярных и специализированных комплексных (многофакторных) обследований гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации.

Учитывая, что часть искусственных сооружений ОАО «РЖД» по первичным признакам можно отнести к термину «гидротехнические сооружения», выполнена оценка соответствия защитных и укрепительных инженерных сооружений земляного полотна объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на соответствие признакам гидротехнических сооружений, согласно конструктивными и функциональными признаками сооружений.

В результате выполненной оценки выявлено, что значительная часть рассматриваемых защитных и укрепительных инженерных сооружений земляного полотна объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, эксплуатируемых ОАО «РЖД», служит для предотвращения негативного воздействия вод и соответствует признакам (видам и типам) гидротехнических сооружений, определенных в нормативной документации, применяемой в области безопасности гидротехнических сооружений, и может быть отнесена к термину «гидротехнические сооружения».

Для оценки полноты и достаточности действий собственника при эксплуатации защитных и укрепительных инженерных сооружений земляного полотна, которые могут быть отнесены к термину «гидротехнические сооружения», выполнен анализ технической и нормативной документации, используемой ОАО «РЖД» при эксплуатации искусственных сооружений объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

По итогам анализа определены действия собственника по обеспечению безопасной эксплуатации защитных и укрепительных инженерных сооружений земляного полотна, которые могут быть отнесены к гидротехническим сооружениям, в соответствии с требованиями Федерального закона от 21 июля 1997 г. N 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».

¹ Главный инженер по гидротехническим сооружениям, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

РОЛЬ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

К.А. Сухецкий¹, А.Б. Веселов², А.В. Данкова³

Анализ причин развития аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях показывает, что большая часть таких ситуаций связана с отказами механического оборудования гидротехнических сооружений (МО ГТС). Поэтому надежность эксплуатации МО ГТС является одним из определяющих факторов в обеспечении безопасности эксплуатации всего гидроузла.

При этом, оценка состояния МО ГТС требует специальных знаний в области металловедения, электротехники, машиностроения, неразрушающего контроля. Вопросы эксплуатации и обеспечения МО ГТС регламентированы специализированными нормативными документами, а на комплексах ГТС мониторингом состояния и обслуживанием МО ГТС занимаются отдельные структурные подразделения. В результате, оценка состояния МО ГТС требует иного подхода и компетенций по сравнению с оценкой ГТС.

В составе ВНИИГа имеется специализированный отдел, специалисты которого более 40 лет занимаются обследованиями МО ГТС. С привлечением сотрудников этого отдела, в Аналитическом центре ВНИИГ успешно реализован комплексный подход к оценке технического состояния и уровня безопасности ГТС с учетом оценки надежности МО ГТС на объектах ПАО «ТГК-1». Это позволило ранжировать имеющиеся дефекты МО ГТС, выделить приоритетные элементы, требующие первоочередного воздействия с их обоснованием.

Руководством Группы РусГидро принято решение о включение с 2025 года в контур деятельности Аналитического центра ПАО «РусГидро» вопросов, связанных с детальной оценкой МО ГТС.

При этом планируется решить ряд проблемных вопросов. К примеру, критерии безопасности ГТС не всегда соответствуют нормативной документации по эксплуатации МО ГТС и не учитывают специфику условий их эксплуатации, что снижает качество оперативной диагностики МО ГТС.

Требуется разработка регламента и типизация подходов ведения карт технического состояния МО ГТС, внедренных в унифицированную информационно-диагностическую системы (ИДС) ГТС ПАО «РусГидро». Это позволит систематизировать информацию о состоянии МО ГТС, ускорить процессы реагирования в случае нештатных ситуаций.

Таким образом, состояние МО ГТС играет важную роль при обеспечении безопасности ГТС и для достоверной оценки состояния ГТС требуется комплексный подхода. Единый централизованный подход к оценке состояния МО ГТС и создание специализированных баз по состоянию парка МО ГТС Группы РусГидро позволит дать объективную оценку состояния МО ГТС, оптимизировать процесс принятия управленческих решений по приоритезации и выбору объектов воздействий, повысить надежность МО ГТС в условиях длительной эксплуатации ГТС.

¹ Заместитель директора аналитического центра по безопасности ГТС, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Инженер 1 категории, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГТС ИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАТФОРМЫ-АГРЕГАТОРА CGIS PRO

А.М. Ставицкий¹

Уровень безопасности эксплуатации промышленных объектов может быть значительно повышен за счет использования цифрового двойника, включающего в себя актуальную информацию по данным инженерных изысканий, включая ЦМР и облака точек, данные информационных моделей объектов капитального строительства (ВИМ/ТИМ), данных ТОиР, систем видеонаблюдения, систем телеметрии и систем видеонаблюдения, систем мониторинга транспортных средств и персонала и иных информационных ресурсов.

Использование этого известного подхода осложняется нетривиальной задачей совместного отображения и оперативного анализа данных всех перечисленных систем в силу их фрагментированности. Известный опыт использования зарубежных технологий предполагает использование проприетарных замкнутых экосистем, внедрение которых сопровождается миграцией данных из существующих источников, изменением технологических процессов использования перечисленных выше отраслевых систем, переобучением использующего их персонала и значительными финансовыми и временными затратами.

Использование же платформы-агрегатора cGIS Pro (регистрационный номер 12850 в Едином реестре российских программ для ЭВМ и баз данных) предполагает лишь агрегирование данных ранее успешно внедренных для решения перечисленных задач отраслевых систем с последующим отображением всей совокупности данных в веб-интерфейсе, без установки какого-либо программного обеспечения на оборудовании пользователей.

Отличительными особенностями платформы-агрегатора cGIS Pro являются также возможность оперирования ВИМ-моделями, независимо от использованного при их создании инструмента проектирования и без ограничения по размеру ВИМ-моделей, а также функционал оперативной генерации аналитических дашбордов встроенными ВІ-компонентами платформы.

Описанный подход был успешно апробирован в ряде проектов для промышленных холдингов (ОЦКС ГК «Росатом», АО «НЛМК», ПАО «Северсталь», АО «Россети-Янтарь» – «Лучший инновационный проект в рамках ПАО «МРСК Северо-Запад»), АО «Калининградгазификация», а также в рамках пилотных проектов для ОАО «РЖД», АО «Апатит», АО «Газпром Космические системы».

¹ Канд. техн. наук, Генеральный директор, «СИГИС ТЕХНОЛОГИИ»

Секция

Малая гидроэнергетика

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ МИКРО- И МИНИ-ГЭС

Д.Н. Госькова¹, В.И. Курир²

Микро-ГЭС и мини-ГЭС разделяются в зависимости от вырабатываемой мощности: микро-гидроэлектростанции – до 0,1 МВт; мини-гидроэлектростанции – до 1 МВт.

Каскад – несколько гидроэлектростанций, расположенных одна после другой либо параллельно одна другой на одной реке. Каскады микро- и мини-ГЭС, как правило, работают в автоматическом режиме. Для корректной работы каскада используется SCADA SYSTEM (диспетчерское управление и сбор данных) – архитектура системы управления, включающая компьютеры, сетевую передачу данных и графические пользовательские интерфейсы для высокоуровневого контроля машин и процессов в реальном времени. Данная система также охватывает датчики и другие устройства, такие как программируемые логические контроллеры, взаимодействующие с технологическими установками или механизмами.

Сама SCADA система – это программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. Данное программное обеспечение устанавливается на компьютеры и для связи с объектом использует драйверы ввода-вывода или OPC/DDE серверы. Программный код может быть как написан на языке программирования (например на C++), так и сгенерирован в среде проектирования.

SCADA – система обычно содержит следующие подсистемы:

1. Драйверы (серверы ввода-вывода) – программы, обеспечивающие связь SCADA с промышленными контроллерами, счётчиками, АЦП и другими устройствами ввода-вывода информации.

2. Система реального времени – программа, обеспечивающая обработку данных в пределах заданного временного цикла с учетом приоритетов.

3. Человеко-машинный интерфейс (HMI, англ. Human Machine Interface) – инструмент, который представляет данные о ходе процесса человеку, что позволяет ему контролировать процесс и управлять им. Программа-редактор для разработки человеко-машинного интерфейса.

4. Система логического управления – программа, обеспечивающая исполнение пользовательских программ (скриптов) логического управления в SCADA-системе.

Система для управления, контроля и защиты работы ГЭС реализуется путем получения информации в режиме реального времени, предоставления мощной локальной и дистанционной системы управления и системы предварительной защиты. Система автоматизации состоит из следующих составляющих:

- а) возбуждение и защита генератора;
- б) управление турбиной;
- в) управление станцией;
- г) синхронизация гидрогенераторов;
- д) SCADA.

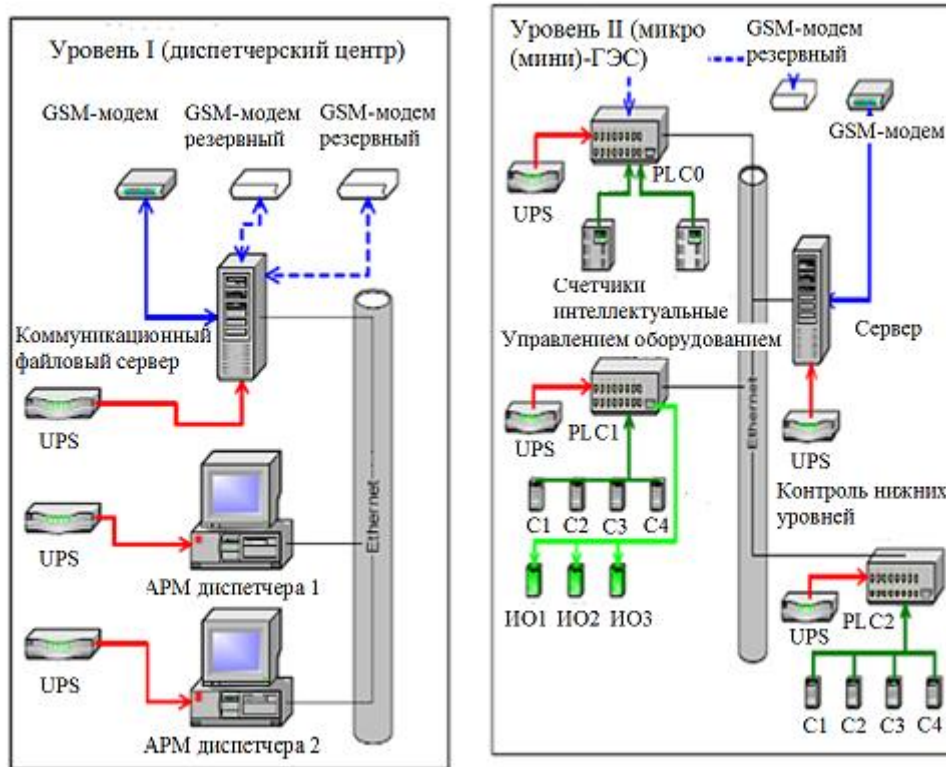
¹ Магистрант, ФГБОУ ВО КНИТУ–КАИ им А.Н. Туполева

² Канд. техн. наук, старший преподаватель, кафедры ЭО ФГБОУ ВО КНИТУ–КАИ им. А.Н. Туполева

Программа управления каскадом микро-, мини-ГЭС одинаково может быть создана как в SCADA SIMATIC WinCC OA (с открытой архитектурой), так и в SCADA Citect.

На рисунке представлена структурная схема аппаратной реализации каскада АСУ микро- и мини-ГЭС. Справа – схема АСУ отдельно взятой микро (мини)-ГЭС, слева диспетчерский центр управления всеми микро (мини)-ГЭС. В случае, если каскад включает десятки мини-ГЭС, допустимо создание распределенного диспетчерского центра.

В качестве программируемых логических контроллеров для автоматического управления микро (мини)-ГЭС специалисты ЗАО МНТО «ИНСЭТ» используют PLC SIMATIC S7-300.



Структурная схема аппаратной реализации АСУ ГЭС.
C1, C2, C3, C4 – сенсоры; ИО1, ИО2, ИО3 – исполнительные механизмы

Энергия, произведенная каскадом микро- и минигидрогенераторов, может быть подана на синхронно параллельно работающие АС–АС преобразователи частоты и напряжения, преобразована перед подачей в общую городскую электросеть.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КЛАССИФИКАЦИИ МАЛЫХ ГЭС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ

Д.А. Кожемякина¹, В.Е. Кожемякин²

Современная энергетика сталкивается с двумя проблемами: экологическим загрязнением от сжигания ископаемого топлива и истощением запасов этого топлива. Несмотря на интенсивное развитие ЕЭС России, все еще остаются регионы, где для электроснабжения применяются дизель генераторные установки (ДГУ), что обуславливает высокую стоимость и низкую экологичность производимой электроэнергии.

Малые ГЭС (МГЭС) являются одним из возможных решений этой проблемы. Они могут частично вытеснить ДГУ в отдаленных районах, обеспечивая стабильную выработку дешевой и экологически чистой энергии, а их внедрение является перспективностью для развития устойчивой распределенной энергетики в России.

Фотоэлектрические установки (ФЭУ) и ветроэнергетические (ВЭУ) так же могут являться альтернативной ДГУ.

МГЭС в сравнении с ФЭУ и ВЭС обладают преимуществом, связанным с прогнозируемостью выработки электроэнергии. Известные методы прогнозирования расхода позволяют осуществлять долгосрочное планирование выработки электроэнергии для различных значений обеспеченности стока.

Для наиболее эффективного освоения энергии малых водотоков может быть целесообразно уточнить классификацию малых ГЭС, для учета их принципа действия, конструкции, методы проектирования.

Возможно упростить процесс проектирования, применив классификацию по разработанным параметрам. Одним из направлений снижения стоимости проектирования является разработка унифицированных гидравлических турбин. Такая работа уже проделана отечественными авторами.

Создание классификации МГЭС возможно производить путем анализа существующих гидроэлектростанций и проектов с целью выделения для них на различных мощностях и параметрах гидротурбинных установок, характерных конструктивных или компоновочных решений. Примеры существующих проектов:

МГЭС на реках Пурнема и Кулосега используют каменно-набросные плотины, приплотинные здания ГЭС;

пилотный проект на Таймыре предполагает использование модульных зданий ГЭС для сокращения сроков и стоимости строительства;

МГЭС, сооружаемые на водохранилищах не энергетического назначения, могут быть типизированы для снижения стоимости их проектов, при этом также стоит рассматривать возможность использования таких водохранилищ в качестве верхнего бассейна малой ГАЭС;

Красногорские МГЭС используют унифицированные здания ГЭС, входящие в состав единого напорного фронта;

¹ Студентка, Саяно-Шушенский филиал СФУ

² Старший преподаватель, Саяно-Шушенский филиал СФУ

большой массив данных можно получить, анализируя эксплуатируемые долгие годы малые ГЭС, построенные при строительстве канала Москва – Волга.

Перечислены только некоторые из возможных примеров проектируемых и существующих малых ГЭС. В дальнейшем необходимо:

1. произвести классификацию малых ГЭС по назначению и возможным конструктивно-компоновочным решениям;

2. определить диапазоны напоров и расходов для оптимизации выбора типов гидравлических турбин;

3. произвести оценку возможности использования ирригационных водохранилищ для сооружения МГЭС, т.к. данное решение позволит возвращать порядка 60% энергии, затраченной на наполнение водохранилища;

4. оценить возможность переоборудования насосных станций в гидроаккумулирующие МГЭС.

В современных условиях, возможна разработка программных средств, которые будут учитывать большой массив данных, при этом возможно сокращение величины затрат на проведение технико-экономического сравнения.

Перед разработкой программы необходимо сформулировать математическую модель, позволяющую формализовать критерии выбора оптимального створа, схемы создания напора, принципа действия, числа и единичной мощности малых гидроагрегатов.

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В.Л. Баденко¹, А.О. Мохирева², Е.М. Мелехин³

1. Введение в онтологическое моделирование в гидротехнике

Необходимость использования онтологического моделирования для интероперабельности в создании BIM-моделей гидротехнических объектов, как способ дополнения КСИ (Классификатор строительной информации). Рассмотрение принципов Model-Based Systems Engineering (MBSE) как основы для онтологического подхода.

2. Принципы разработки системной архитектуры

Анализ методов разработки системной архитектуры для существующих промышленных объектов на примере малых гидроэлектростанций, используя MBSE для создания цифрового двойника.

3. Онтологические модели в инженерии гидротехнических систем

Разработка и применение онтологических моделей для структурирования данных и управления знаниями в контексте гидротехнических объектов, обеспечивающих их функциональную совместимость обмена данными.

4. Интеграция онтологического подхода с BIM-моделированием

Обсуждение способов интеграции онтологических моделей с процессами BIM-моделирования для улучшения управления проектами и эксплуатации гидротехнических объектов.

5. Выявление проблем и предложение улучшений

Анализ ключевых проблем и ограничений, возникающих при онтологическом моделировании и BIM-моделировании гидротехнических объектов, и разработка предложений по их устранению для оптимизации процессов проектирования и эксплуатации.

6. Кейс-стадия по применению разработанного метода

Практический пример применения онтологического подхода и MBSE в проектировании малой гидроэлектростанции

¹ Доктор техн. наук, профессор, ВШГиЭС, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

² Аспирант, ассистент, ВШПГиДС, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

³ Аспирант, ассистент, ВШПГиДС, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

БАШЕННАЯ МГЭС НА р. АРГУН

А.С. Терликов¹

В настоящее время энергоснабжение Чеченской Республики практически полностью зависит от внешних поставок электроэнергии и мощности из Дагестанской и Ставропольской энергосистем. В последние годы наблюдается существенный рост электропотребления в ОЭС Юга и, как следствие, без ввода новых мощностей энергообъединение не сможет в полной мере осуществить растущие потребности в электроэнергии и мощности республиканских энергосистем, в том числе и энергосистемы Чеченской Республики.

Строительство собственных энерго мощностей снизит зависимость экономики Республики от получения энергии и мощности из ОЭС Юга. При реализации заявленных программ энергетического строительства за счет расположенных на территории Чечни электростанций может быть покрыто порядка 90 % внутреннего спроса на уровне 2030 г.

Экономический гидроэнергетический потенциал Чеченской Республики составляет 249 МВт и 0,75 млрд. кВт·ч. В настоящее время установленная мощность существующих ГЭС в Чеченской Республике составляет 1,3 МВт.

Основным гидроэнергетическим ресурсом Чеченской Республики является р. Аргун.

Река Аргун берёт начало на отрогах Главного Кавказского хребта на высоте 3265 м и впадает в р. Сунжу в районе г. Гудермеса. Длина реки составляет 148 км. Общая водосборная площадь составляет 3390 км², средняя высота водосбора 1900 м.

До населенного пункта Дуба-Юрт р. Аргун течет в узком ущелье с обрывистыми берегами, русло реки порожистое, местами с каньонными участками, уклоны реки до 0,1. После Дуба-Юрта и впадения правобережного притока р. Шаро-Аргун характер реки меняется на равнинный с уклонами около 0,003 и спокойным течением.

Целью представляемой работы является разработка проектных материалов по Башенной МГЭС на р. Аргун в Чеченской Республике.

Башенная МГЭС расположена в Итум-Калинском районе Чеченской Республики между населенными пунктами Ушкалой и Гучум–Кале, на правом берегу р. Аргун.

Башенная МГЭС относится к ГЭС деривационного типа и использует падение участка реки Аргун длиной 1,8 км. МГЭС работает «по водотоку» без создания водохранилища и регулирования стока реки.

В состав сооружений МГЭС входят:

головной узел, состоящий из следующих сооружений:

бетонная плотина с автоматическим водосбросом,

двухпролетный водосброс с широким порогом,

отстойник,

безнапорный деривационный туннель длиной 1448,89 м,

напорный бассейн с водоприемником ГЭС,

два напорных металлических водовода МГЭС, длиной около 80 м,

станционный узел.

Установленная мощность МГЭС – 10 МВт.

Среднеголетняя выработка МГЭС – 52,7 млн. кВт·ч.

В настоящее время завершается реализация проекта Башенной МГЭС.

¹ Начальник гидротехнического отдела №2, АО «Институт Гидропроект»

НИХАЛОЙСКАЯ ГЭС НА р. АРГУН. ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ В СТРОИТЕЛЬСТВО

А.Ю. Пшенов¹, А.Н. Волынчиков²

Нихалойская ГЭС мощностью 23 МВт в Чеченской Республике прошла отбор среди инвестиционных проектов на конкурсе ДПМ ВИЭ 2.0 в 2021 г.

Участок строительства Нихалойской ГЭС расположен в Итум-Калинском и Шатойском районах на р. Аргун.

На этапе основных технических решений (ОТР) было рассмотрено 4 варианта компоновки основных сооружений:

Вариант № 1 – с забором воды из отводящего канала Башенной МГЭС, напорным деривационным туннелем длиной 7,3 км по правому берегу и станционным узлом на правом берегу р. Аргун напротив села Вашендарой.

Вариант № 2 – с устройством водозаборного узла в 4-х км ниже станционного узла Башенной МГЭС для создания напора с отметкой НПУ равной 600 м. Состав сооружений: бетонная плотина, совмещённая с водосбросом, отстойник и напорный деривационный туннель длиной 3,4 км по правому берегу.

Вариант № 2.1 – с устройством водозаборного узла в 4,4 км ниже станционного узла Башенной МГЭС для создания напора с отметкой НПУ, равной 585 м. Состав сооружений: глухая бетонная плотина, береговой водосброс, отстойник и напорный деривационный туннель длиной 3 км по правому берегу.

Станционный узел идентичен вариантам №№ 1, 2 и 2.1.

Вариант № 3 – с забором воды из отводящего канала Башенной МГЭС и напорным деривационным туннелем длиной 8,3 км по левому берегу. Здание ГЭС также располагается на левом берегу.

Все рассмотренные варианты позволяют работать ГЭС «по водотоку», без регулирования стока реки.

Для разработки проектной документации ПД Научно-техническим советом «РусГидро» и Комитетом по контролю за реализацией Технической политики Группы «РусГидро» утверждён вариант № 2.1 компоновки основных сооружений.

С целью выполнения рекомендаций НТС «РусГидро» по возможности оптимизации строительства отстойника был выполнен комплекс уточняющих расчётов по прогнозу заиления и эффективности гидравлических промывок верхнего бьефа Нихалойской ГЭС. Расчёты были выполнены с построением численной гидравлической модели верхнего бьефа на основании имеющихся гидрологических данных и величин твёрдого стока р. Аргун.

С учётом результатов выполненных расчётов был предложен и утверждён на дополнительно проведённых НТС ПАО «РусГидро» и Комитете по контролю за реализацией Технической политики Группы «РусГидро» оптимизированный вариант компоновки сооружений головного узла с размещением водосброса в теле плотины на более низких отметках (25 м ниже

¹ АО «Институт Гидропроект»

² АО «Институт Гидропроект»

НПУ), позволяющий исключить отстойник из состава сооружений при проведении гидравлических промывок верхнего бьефа.

13.07.2024 г. было получено Положительное заключение государственной экспертизы по оценке соответствия результатов инженерных изысканий требованиям технических регламентов, оценке соответствия проектной документации установленным требованиям, проверке достоверности определения сметной стоимости Нихалойской ГЭС.

В настоящее время осуществляется реализация проекта Нихалойской ГЭС.

Секция

Арктический центр: гидротехническое строительство в Арктике

ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АРКТИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

О.М. Финагенов¹

Арктические трубопроводы – это трубопроводы, проложенные на участках многолетней мерзлоты, где почва или порода весь год имеют температуру ниже 0 °С.

Открытие нефтяных месторождений на шельфе арктической области обусловило необходимость в исследованиях конструкции морских трубопроводов с целью разработки методов прокладки трубопроводов через ледяной покров до морского дна. Если не брать в расчет стандартные условия работы под давлением, то уникальные условия нагружения в арктической области предполагают, что традиционные, основанные на напряжениях методы проектирования, будут невозможны с экономической точки зрения, а методы проектирования стандартных трубопроводов будут нецелесообразны для арктических трубопроводов, поскольку потенциально сильные смещения грунта рядом с такими трубопроводами обусловлены вспучиванием грунта от промерзания, оседанием при таянии и ледовым выпахиванием, а также возможна и допустима некоторая пластическая деформация.

При проектировании морских трубопроводов в арктических и северных, покрытых льдом зонах необходимо оценивать нагрузку на окружающую среду и геотехническую нагрузку с целью определения возможного смещения грунта при значительных деформациях, которое может нарушить механическую целостность трубопровода.

Помимо первичных нагрузок, например, внутреннего или внешнего давления на стандартный трубопровод, арктические трубопроводы подвергаются действию вторичных геотехнических нагрузок. Однако вторичные нагрузки на арктические трубопроводы, вызванные деформациями изгиба из-за вспучивания грунта при промерзании, оседания при таянии и ледового выпахивания айсбергами, являются нагрузками с контролем перемещения. Для снижения вторичных нагрузок при проектировании арктических трубопроводов можно применить метод расчета на основе деформаций.

При проектировании арктических трубопроводов также необходимо учитывать такие параметры, как ледовая нагрузка, выпахивание айсбергами или ледяными киями, оценка неопределенности, связанной с ледовой эрозией, а также контакт между льдом, грунтом и трубой.

Ледовая эрозия – это сложное явление, предполагающее взаимодействие между гидродинамическими силами, ледовыми образованиями, почвенной средой и трубопроводом. Раньше считали, что если можно избежать прямого контакта между льдом и трубопроводом за счет прокладки трубопровода на глубине ниже максимальной глубины борозды выпахивания, то трубопровод будет достаточно защищен. Позже экспериментальные исследования показали, что даже при отсутствии прямого контакта со льдом деформации грунта под бороздой могут сильно воздействовать на заглубленный трубопровод. В последние два десятилетия проблему ледовой эрозии рассматривали с помощью разных методов и доступных на тот момент инструментов. К ним относятся аналитические и эмпирические формулировки, упрощенные расчеты конструкций, а также усовершенствованные методы численного расчета. Существует вероятность повреждения трубопровода, расположенного в зоне ледовой эрозии, так как в процессе

¹ Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ледовой эрозии происходит сильное смещение грунта. В условиях нагрузки от ледовой эрозии заглубленный трубопровод, как правило, считается гибкой конструкцией, которая перемещается вместе с грунтом. Напряжения, возникшие в грунте морского дна вследствие эрозии, менее важны, поскольку они ограничены прочностью грунта; что касается морских трубопроводов, ожидается, что они выдержат данный уровень напряжений без чрезмерной деформации. Именно поэтому, крайне важно понимать механизм разрушения грунта и вызванные этим его смещения. Можно использовать модель ледового выпахивания, чтобы спрогнозировать силы и деформации, обусловленные выпахиванием грунта ледовым образованием, определить смещения грунта вокруг или вблизи ледового образования, а также определить деформации и напряжения, воздействующие на трубопровод, пересекающий ледовую борозду.

Анализ показал, что арктический трубопровод следует проектировать с учетом требований к безопасности, надежности и охране окружающей среды, при этом капитальные, эксплуатационные затраты и затраты на техническое обслуживание должны быть сбалансированы.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЕРТНОМУ СОПРОВОЖДЕНИЮ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ГТС

Г.В. Охапкин¹, А.Б. Веселов²

Гидротехнические сооружения (ГТС) играют ключевую роль в стабильности топливно-энергетического, агропромышленного и транспортного сектора Российской Федерации, обеспечивая безопасность отрасли. Основные задачи портового и шельфового строительства включают расширение причальных линий, увеличение полезной площади портов и модернизацию существующих и строительство новых портовых сооружений (набережных, пирсов, палов, моллов, волноломов и других). Также необходимо создавать искусственные территории и основания для шельфовых нефтегазодобывающих платформ. Эти задачи являются частью более широкой программы по развитию морской портовой и транспортной инфраструктуры, а также топливно-энергетического сектора. Вместе с тем длительный срок эксплуатации некоторых сооружений, как правило, в сложных природно-климатических условиях, в сочетании с естественным износом конструкций способствуют ухудшению их технического состояния, снижению уровня безопасности и возрастанию рисков аварийных ситуаций.

Для предотвращения подобных ситуаций необходимо своевременно проводить ремонтно-восстановительные компенсационные мероприятия, направленные на поддержание работоспособности сооружений и повышение уровня их безопасности. Такие мероприятия должны включать диагностику состояния сооружений, оценку их износа и разработку стратегии ремонтно-восстановительных работ.

При выборе компенсационных мероприятий при проведении ремонтно-восстановительных работ следует опираться на требования нормативно-технической документации. Однако несовершенство нормативно-правовой и нормативно-технической баз, отмеченное даже на уровне нормативно-правовых актов Российской Федерации, создаёт препятствия для развития отрасли и является одной из ключевых проблем текущего состояния объектов.

Анализ существующей документации выявил отсутствие специализированной законодательной базы в сфере ремонтно-восстановительных работ для ГТС. Общие документы не учитывают специфику ГТС, в то время как отраслевые стандарты ориентированы на строительство новых объектов, игнорируя особенности ремонтно-восстановительных работ.

В связи с необходимостью решения внешних и внутренних вызовов отрасли возникает потребность в динамичном и опережающем развитии направления разработки и внедрения специализированной законодательной базы, которая будет регламентировать процессы на всех этапах жизненного цикла ГТС. Такая база должна учитывать специфику ГТС и особенности ремонтно-восстановительных работ, обеспечивая безопасность и надёжность эксплуатации этих объектов.

Для реализации ремонтно-восстановительных компенсационных мероприятий актуально решение следующего комплекса последовательных, взаимосвязанных, основных задач:

¹ Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

разработка технического решения на ремонтно-восстановительные работы с учётом специфики эксплуатации, индивидуальных особенностей и расположения ГТС;

разработка концепции организации экспертного надзора (сопровождения) на этапе реализации ремонтно-восстановительных работ на ГТС;

реализация ремонтно-восстановительных работ и экспертный надзор на этапе реализации (сопровождения) ремонтно-восстановительных работ на ГТС.

Для повышения качества и эффективности осуществления экспертного надзора на этапе реализации (сопровождения) ремонтно-восстановительных работ на бетонных и железобетонных ГТС целесообразно разработать специальный технологический регламент на ремонтно-восстановительные работы для конкретной конструкции бетонных и железобетонных ГТС с учётом специфики эксплуатации, индивидуальных особенностей и расположения объекта и подробную программу сопровождения работ, являющуюся основой для реализации экспертного надзора.

В докладе рассматриваются: основные этапы реализации ремонтно-восстановительных работ; результаты сопоставления процессов реализации ремонтно-восстановительных работ; концепция разработки и сопровождения ремонтно-восстановительных работ (рис. 1); общая взаимосвязь баз данных и программ для ЭВМ (рис. 2); примеры цифровой трансформации в области ремонтно-восстановительных работ; преимущества внедрения цифровых решений.

Результаты проведенных исследований обеспечивают унификацию и сокращение количества операций, необходимых для выполнения задач, благодаря замене традиционных (стандартных) процессов цифровыми решениями, что способствует:

повышению эффективности управленческих решений;

улучшению качества экспертных работ;

обеспечению прозрачности и доступности данных для всех участников процесса;

автоматизации, стандартизации и унификации процесса выбора обоснованных, оптимальных и эффективных компенсационных мероприятий и экспертного надзора за их реализацией;

оптимизации затрат на обеспечение безопасности ГТС в области ремонтно-восстановительных работ.

Полученные статистические данные будут являться надёжной основой для разработки специализированной законодательной базы по ремонтно-восстановительным работам на ГТС.



Рис. 1. Пример концепции разработки и сопровождения ремонтно-восстановительных работ

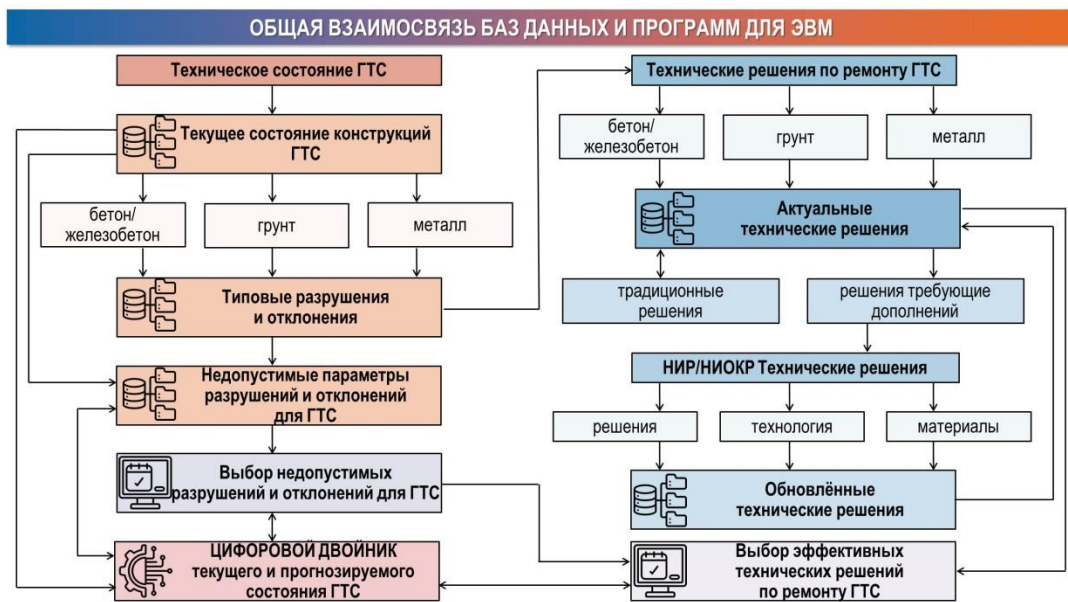


Рис.2. Пример общей взаимосвязи баз данных и программ для ЭВМ

Выводы

1. Текущее состояние нормативно-правовой и нормативно-технической базы в области ремонтно-восстановительных работ для гидротехнических сооружений (ГТС) характеризуется рядом проблем и недостатков, которые препятствуют эффективному развитию отрасли.

2. Существующая документация не учитывает специфику ГТС, что приводит к отсутствию специализированной законодательной базы для данного типа объектов. Общие документы не охватывают все аспекты ремонтно-восстановительных работ, в то время как отраслевые нормативы сосредоточены на строительстве новых объектов, оставляя без внимания особенности ремонтно-восстановительных процессов на ГТС.

3. Техническое состояния ГТС, несовершенство нормативно-правовой и нормативно-технической базы обосновывают актуальность разработки и внедрения специализированной законодательной базы, которая регламентировала бы процессы на всех этапах жизненного цикла ГТС, в том числе ремонтно-восстановительные работы.

4. Отсутствие механизмов финансирования и стимулирования развития направления ремонтно-восстановительных работ на ГТС также является серьёзной проблемой. Это затрудняет привлечение инвестиций в развитие технологий, необходимых для эффективного выполнения ремонтно-восстановительных работ на ГТС.

5. Для решения вышеуказанных проблем необходимо провести комплексное исследование и анализ существующих нормативно-правовых и нормативно-технических документов, а также изучить международный опыт в данной области. На основе полученных данных следует разработать предложения по внесению изменений и дополнений в законодательство, направленных на совершенствование нормативно-правовой и нормативно-технической базы в области ремонтно-восстановительных работ для ГТС.

6. Согласно нормативно-правовым актам – цифровая трансформация является одним из приоритетных направлений для устойчивого развития и функционирования топливно-энергетического комплекса РФ. Следовательно, разработка алгоритмов выбора технических решений при восстановлении и ремонте бетонных и железобетонных ГТС, позволяющих в последствие выполнить цифровую трансформацию, является особо актуальным вопросом.

ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И РЕМОНТЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА РОССИИ

В.М. Давиденко¹, Е.Л. Чердинцева²

Обоснование долгосрочных перспектив развития Арктического региона показывает, что приоритетными направлениями развития Арктики должны стать исследования строительных материалов, технологии, диагностика и ремонт эксплуатируемых зданий и сооружений.

Как показывает практика строительства, принято выделять два принципа проектирования и строительства в условиях вечной мерзлоты:

по *1 принципу* - в основании зданий и сооружений сохраняется вечномерзлое состояние грунтов, как в процессе строительства, так и в течение всего периода эксплуатации;

по *2 принципу* - перед строительством грунты предварительно оттаивают или используют грунты, оттаивающие в период эксплуатации, то есть в этом случае вечная мерзлота грунтов не сохраняется.

В последние годы в Арктическом регионе внедряются новые архитектурно-строительные решения.

Военные городки замкнутого типа – это основной вид возводимых объектов. Также сформирован свайный фундамент, обусловленный наличием вечной мерзлоты и позволяющий сохранить её состояние.

В настоящее время применяют две основных технологии строительства - монолитный и традиционный сборный железобетон либо каменную кладку. Рассматриваются задачи и методы технического обследования зданий и сооружений, эксплуатируемых в арктическом климате.

Можно рассмотреть три типа задач определения технического состояния объекта:

Первый тип составляют задачи определения технического состояния, в котором находится объект в настоящий момент. Это задача диагностирования.

Задача второго типа – предсказание технического состояния, в котором окажется объект в некоторый будущий момент времени. Это задача – прогнозирования.

К третьему типу относятся задачи определения технического состояния, в котором находится объект, в некоторый момент времени в прошлом. Это задачи генеза.

Детальное визуально-инструментальное обследование объекта в наиболее общем виде включает в себя:

- изучение проектной и исполнительной документации;
- геологические и гидрогеологические изыскания;
- геодезические работы;
- взятия проб материала и их испытания и проведение неразрушающих испытаний обследуемых конструкций;
- выполнение поверочных расчетов конструкций;
- оценку состояния строительных конструкций и обследуемого объекта в целом;

¹ Доктор техн. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

² Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

составление Заключения по результатам детального обследования.

Детальное обследование конструкций бывает сплошным или выборочным.

При обследовании применяют визуальные и визуально-инструментальные методы.

Предварительное или общее обследование выполняют с помощью визуальных и частично визуально-инструментальных методов. В случае детального обследования наряду с визуальными обязательно применение визуально-инструментальных методов.

В Арктическом регионе широкое распространение получили здания и сооружения, возведенные из крупнопанельных и крупноблочных элементов жилых, общественных и промышленных объектов.

При визуально-инструментальных обследованиях применяют:

инженерно-геологические методы для выяснения свойств грунтового основания;

геодезические методы для получения данных о пространственном положении конструкций и их геометрических размерах;

разрушающие и неразрушающие методы для выяснения физико-механических материалов конструкций.

Успешное осуществление конкретных ремонтных работ в Арктических районах требует тщательной подготовки, правильного выполнения ремонтных операций, применения высококачественных материалов.

Выработка общей концепции ремонта сводится к совместному решению инженерных, материаловедческих, технологических и экономических задач.

Решение указанных задач дает возможность разработать оптимальную концепцию ремонта строительных конструкций, зданий и сооружений, эксплуатируемых в Арктических районах.

Стандартные методы ультразвукового контроля (УЗК) прочности бетона и диагностирования бетонных и железобетонных конструкций, предусмотренные ГОСТ 17624-87 и другими нормативно – методическими документами РФ, могут быть реализованы только при положительных температурах бетона и относительной влажности не превышающей 70 %.

СОВМЕСТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОЛН И ЛЬДА НА СООРУЖЕНИЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ЛЬДА

И.Г. Кантаржи¹, М.С. Афонюшкин²

Рассматривается изменение совместной волно-ледовой нагрузки, воздействующей на отдельно стоящую одиночную опору в условиях, когда лед примерзает к сооружению. Данная тема приобретает особую значимость в контексте активного освоения арктической части Российского шельфа и строительства новых гидротехнических объектов, для которых требуются более точные методы оценки ледовых и волновых нагрузок, обеспечивающие надежность и безопасность строительства. Новизна исследования заключается в анализе комбинированного воздействия волн и льда на сооружение, в то время как обычно подобные нагрузки рассматриваются изолированно.

Проведен анализ существующих публикаций по теме исследования, в ходе которого было выяснено, что моделирование взаимодействия волн, льда и сооружения выполняется с помощью подхода Эйлера-Лагранжа, используемого для моделирования взаимодействия жидких, газообразных и твердых сред, а также механизма разрушения льда, основанного на исчезновении узлов общих объемных элементов при достижении определенного процента пластических объемных деформаций.

В ходе исследования применялись численное моделирование с использованием программы LS-DYNA и аналитические методы, представленные в нормативных документах. Верификация модели по волновым и ледовым нагрузкам осуществлялась через сопоставление численных данных с результатами аналитического расчета.

Получены значения горизонтальной составляющей сил давления волны и льдины на сооружение, построены графики зависимостей изменений этих сил в зависимости от длины льдины и от времени.

Основной целью исследования являлось определить, как изменяются циклические волновая и ледовая нагрузка в зависимости от времени в результате постоянного воздействия на систему *льдина–опора* регулярных волн, вызывающих эффект «всплытия-погружения льдины» и частично разрушающих лед.

В ходе анализа определен характер уменьшения циклических нагрузок на сооружение в зависимости от времени, что может быть использовано для определения общего закона изменения волно-ледовых нагрузок, действующих на сооружение.

¹ Доктор техн. наук, профессор, НИУ МГСУ

² Аспирант, НИУ МГСУ

РАЗРАБОТКА И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ЗАКРЫТЫХ АКВАТОРИЙ ПОРТОВ ОТ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ ИРРЕГУЛЯРНО ВМОРАЖИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

И.Д. Казунин¹

В условиях активной борьбы за арктический шельф на арктическом континентальном шельфе Российской Федерации ведется активная разведка и разработка естественных месторождений. Интенсивная добыча полезных ископаемых (например, нефть и газ) побуждает к развертыванию добывающих платформ, устройству портов и причалов, для обслуживания транспортных судов, переброске оборудования и т.д.

Борьба с обледенением акваторий портов приводит к разработке систем по поддержанию поверхности воды, свободной ото льда, путем его разрушения, понижения скорости нарастания льда, управления движением льда и его удаления с защищаемой акватории. Известно, что каждый объект в арктических районах обладает своими особенностями и требует индивидуального подхода.

Основная цель заключается в разработке новой технологии по инженерной защите портовых сооружений с целью повышения эксплуатационной надежности и долговечности гидротехнических сооружений в арктических регионах. Новый подход ориентирован на снижение ледовых усилий за счет снижения прочностных характеристик ледового поля, а также снижение нагрузок, передаваемых через ледовый покров на ГТС, возникающих в результате столкновения с другими ледовыми образованиями или во время сближения судна ледового класса (СЛК) с ГТС.

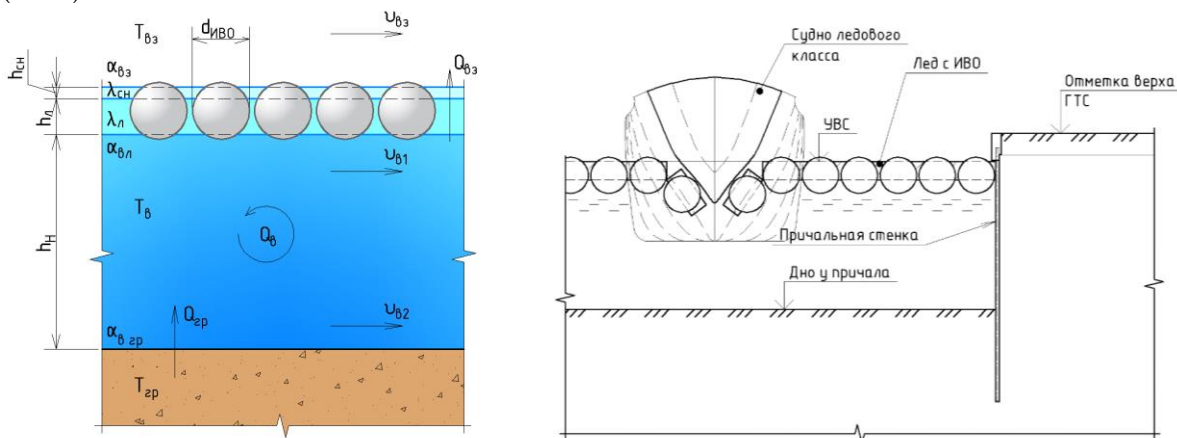


Схема работы новой технологии инженерной защиты

Для определения эффективности применения ИВО среди других распространенных методов был проведен сравнительный экономический анализ способов по защите ГТС, выявление недостатков и преимуществ их использования, а также приведены результаты теоретического, экспериментального и экономического исследований предлагаемой технологией инженерной защиты.

¹ Аспирант, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТКОСОВ ОГРАЖДАЮЩИХ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕТРАПОДОВ

Д.А. Калязин¹; В.И. Климович²; Р.О. Яковлев³

На основе выполненных целенаправленных экспериментальных исследований в трехмерной постановке предложена и обоснована схема укладки тетраподов Т-20, обеспечивающая надежную защиту морских откосов оградительных сооружений на прямолинейном, головном и поворотном участках при расчетных волновых воздействиях с характеристиками $h_{1\%}=7,1$ м, $T_a=10,54$ с. Рассматривался косой подход расчетных волн к оградительным сооружениям.

Моделирование гидродинамических характеристик проводилось согласно классическим подходам на основе подобия критерия Фруда. Поскольку высота волн в модельных условиях превышала 4 см, то автомодельность по числу Вебера выполнялась. Все линейные размеры моделей, а также глубина изменялись пропорционально выбранному линейному масштабу моделирования $1/m$ ($m=60$). Временные характеристики изменялись пропорционально масштабу $1/(m^{1/2})$. Отметим, что при экспериментальных исследованиях числа Рейнольдса (Re) при воздействии волн (V_{bot} – придонная скорость жидкости при волнении; D – характерный размер (высота тетраподов); ν – кинематическая вязкость жидкости)

$$Re = \frac{V_{bot} D}{\nu}$$

превышали значение 10^4 , что соответствует автомодельной области.

Для обоснования выбора продольных размеров модели головного и поворотного участков оградительных сооружений были проведены два сопоставительных теста: с базовыми размерами и с размерами, увеличенными на 20 % за счет дополнительных приставок при сходных условиях по укладке тетраподов. Показано, что характеристики волн в характерных фиксированных точках для моделей головного и поворотного участков с базовыми размерами практически не отличаются от характеристик волн для случая удлиненных моделей (с дополнительными приставками). Отличие в высотах волн при этом не превышало 3–4 %.

На прямолинейных участках оградительных сооружений предложена и обоснована 2-рядная схема укладки тетраподов Т-20 (1-й ряд имеет плотную укладку тетраподов, 2-й ряд имеет укладку тетраподов по схеме «ромашка»). На участках с поворотом предложена и обоснована 3-рядная схема укладки тетраподов в наиболее опасных зонах. Даны конкретные рекомендации по укладке тетраподов Т-20 для защиты морских откосов оградительных сооружений.

¹ Заместитель директора по проектированию, ООО «СтройПроект»

² Доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

³ Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОСНОВАНИЯ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ В АРКТИКЕ

В.В. Елистратов¹, И.Г. Кудряшева²

Решение актуальных проблем, связанных с обустройством арктических территорий, создание социальной и энергетической инфраструктуры, обеспечивающей современный уровень проживания и работы в северных условиях, в настоящее время целесообразно за счет внедрения гибридных энергокомплексов (ЭК), использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и дизельные станции (ДЭС). В настоящее время достаточно широко при энергоснабжении объектов Арктической зоны внедряются гибридные энергокомплексы с использованием солнечной и ветровой генерации. Общая мощность ветро-дизельных и солнечно-дизельных энергокомплексов превышает 45 МВт. Использование потенциала ВИЭ данных регионов позволит существенно снизить затраты на топливо и производство энергии на ДЭС.

Модернизация существующих ДЭС и строительство экономически и энергетически эффективных гибридных энергокомплексов модульного типа, адаптированных к суровым климатическим условиям Арктики, повысит надежность энергоснабжения, экономическую эффективность, улучшит экологическую ситуацию.

Предложены методологические принципы и технологии цифрового проектирования гибридных ЭК для суровых природно-климатических условий с использованием информационного моделирования и цифровых программных комплексов для расчетного обоснования и параметризации цифрового двойника объекта.

Методически процесс проектирования реализуется в виде иерархической последовательности взаимосвязанных функциональных блоков, в каждом из которых определяется свой критерий эффективности.

В первом блоке с использованием геоинформационной системы АркГИС формируется необходимая информация: инженерно-геологические и климатические характеристики, ветровой режим территории, текущее и прогнозное состояние энергопотребления. В результате анализа исходной информации выбираются наиболее перспективные площадки под строительство по критерию высокого ветропотенциала и строится суммарный график покрытия нагрузки.

На втором блоке проводится цифровое моделирование и многопараметрическое сравнение, определяется состав и параметры оборудования ВЭС и ДЭС. На основе цифровых моделей с учетом рекомендаций по адаптации оборудования и его отдельных элементов к северным условиям формируются конструктивно-компоновочные решения элементов ВЭУ (ветроколесо, гондола, башня, фундамент). Критерием выбора состава энергокомплекса является минимальная себестоимость электроэнергии.

В третьем блоке с использованием программы HomerPro или других программ с открытым доступом проводится имитационное моделирование режимов работы с целью оптимизации параметров и режимов ЭК по критерию максимума использования ВИЭ и экономии органического топлива.

¹ Доктор техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

² Канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

В четвертом блоке реализуется финансово-экономическая модель энергокомплекса с учетом дисконтирования и обоснованных в предыдущих блоках данных по техническим, режимным, экономическим характеристикам в лицензионном программном комплексе и определяются следующие показатели эффективности:

- чистому дисконтированному доходу $NPV > 0$;
- внутренней норме доходности $IRR > r$;
- дисконтированному сроку окупаемости проекта $DBP \rightarrow \min$;
- индексу прибыльности $PI > 1$.

При невыполнении условий экономической и финансовой эффективности проекта следует вернуться ко второму блоку выбора состава, параметров и режимов работы энергокомплекса. В результате вариантных расчетов выбирается оптимальный вариант реализации ЭК.

Заключение энерго-сервисных контрактов с подрядными организациями будет способствовать значительному снижению инвестиционных вложений в проектирование энергокомплексов Арктической зоны, увеличению внутренней нормы доходности и сокращению сроков окупаемости проектов.

Разработанная методология обоснования энергокомплексов на основе цифровых технологий позволяет оптимизировать процесс проектирования по выбору состава, параметров и режимов энергокомплекса и может быть использована при разработке перспективных программ по энергоснабжению арктических территорий на основе возобновляемых источников энергии. Учитывая планы освоения Арктики и развитие ее энергетической структуры, методология цифрового проектирования энергокомплексов позволяет на основе системной эффективности и максимизации замещения органического топлива принимать обоснованные решения о возможности создания систем энергоснабжения на основе ВИЭ с высокой долей замещения органического топлива.

АЭРОУПРУГОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ АРКТИЧЕСКОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В.В. Елистратов¹, И.В. Ригель²

Одной из основных задач при проектировании несущих конструкций арктической ветроэнергетической установки является оценка статических и динамических нагрузок, возникающих в процессе ее эксплуатации. Объект исследования – динамические нагрузки от турбулентного ветрового потока на несущие конструкции арктической ветроэнергетической установки. Узкоспециализированные программные комплексы для аэроупругого моделирования ветроэнергетических установок имеют ограниченный функционал для расчета несущих конструкций и оснований, основное внимание в них уделяется моделированию нагрузки на ротор при различных режимах ветра, при этом для башни упрощенно используется фиксированный коэффициент лобового сопротивления, не зависящий от числа Рейнольдса и относительной шероховатости поверхности башни. Для уточненной оценки нагрузок на башню и расчета несущих конструкций ВЭУ в распространенных конечно-элементных программных комплексах строительного назначения необходима разработка универсальной методики моделирования динамической ветровой нагрузки.

Предлагаемая методика основана на применении синтезированных нестационарных турбулентных ветровых потоков на основе степенного вертикального профиля, спектральной плотности мощности и функции когерентности пульсаций. Расчет динамических нагрузок на башню и импорт в конечно-элементные программные комплексы производится посредством скриптов, разработанных на языке программирования Python. Сформулированы этапы методики, описан алгоритм моделирования динамической нагрузки на башню ветроэнергетической установки с учетом зависимости коэффициента лобового сопротивления башни от числа Рейнольдса и шероховатости поверхности.

Разработанная методика численного моделирования нагрузки реализована программно, что обеспечивает автоматизированную подготовку входных данных для конечно-элементных программных комплексов QBlade, SCAD++ и Midas GTS NX. Проведена апробация методики на примере моделирования несущих конструкций ветроэнергетической установки мощностью 100 кВт высотой 50 метров. Выполнено динамическое моделирование башни ветроэнергетической установки при арктическом турбулентном ветровом потоке на основе предлагаемой методики, получены значения перемещений и усилий в башне и функция их изменений во времени.

Предлагаемая методика позволяет учитывать пространственно-временную изменчивость турбулентного ветрового потока, резонансную и нерезонансную составляющие пульсационной ветровой нагрузки с учетом зависимости коэффициента лобового сопротивления от меняющихся чисел Рейнольдса при динамическом моделировании несущих конструкций ВЭУ в различных конечно-элементных программных комплексах.

¹ Доктор техн. наук, профессор, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

² Аспирант, инженер, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАСЧЕТНЫХ ВОЛН. ОТРАЖЕНИЕ ВОЛН ОТ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

И.Г. Кантаржи¹, А.Г. Гогин², Ж.И. Нагорнова³

При определении нормативных расчетных волн для гидротехнических сооружений используются как аналитические методы, так и численное моделирование. Существующие строительные правила предлагают аналитические методы, поэтому нормативы ориентируются на них. Численное моделирование волнового режима позволяет получить наиболее полную информацию о волнах в окрестности сооружения, однако результаты численного моделирования требуют верификации.

Использование для этой цели данных натурных измерений волн проблематично, так как сооружения еще не построены. Данные лабораторных измерений можно использовать, но здесь возникают сложности, связанные с характером данных: при численном моделировании определяется поле волн, при экспериментах в волновом бассейне – волны в нескольких точках измерения. И сравнивать их сложно.

Как правило, на акватории порта волны отражаются от портовых сооружений и формируют поле частично стоячих волн. И тогда, результат измерения волн в точке зависит от выбора положения этой точки в системе стоячих волн. Эта проблема рассматривалась в некоторых работах, в том числе авторами настоящей статьи.

При отсутствии данных измерений волн в последнее время аналитическое определение параметров расчетных волн часто используется для «верификации» результатов численного моделирования. С этим можно согласиться с известной натяжкой, так как для верификации нужны фактические данные, натурные, в крайнем случае лабораторные измерения параметров волн.

Отражение волн от сооружений важно для многих задач: определение волновой нагрузки на сооружение, заплеск и перелив волн через гребень сооружения, размыв пляжа у подножья сооружения. Далее, в качестве примера используем задачу определения безопасных условий швартовки судна у причала.

Определение степени отражения волн от сооружения представляет собой серьезную задачу. В настоящей статье показаны противоречия нормативов по определению коэффициента отражения и способ устранения этих противоречий.

Согласно существующим нормативам, безопасность швартовки судна у причала определяется в числе прочего волнами расчетного шторма. Но с точки зрения формирования поля частично стоячих волн возникает вопрос, на каком расстоянии от причала определяется расчетная волна. Следует ли учитывать отражение волн от зашвартованного судна или ОГТ, размеры которого могут существенно повлиять на поле волн? Это особенно важно для региона Арктики.

Расчетные волны «для швартовки» – это волны 5 % обеспеченности в системе расчетного шторма. Но для определения коэффициента перехода от значительных волн к волнам 5 % обеспеченности используется функция распределения на подходе к порту, а не в припричальной акватории.

Задачи рассматриваются в статье с привлечением данных современных морских объектов.

¹ Доктор техн. наук, профессор кафедры ГиГС, НИУ МГСУ

² Канд. техн. наук, ведущий специалист, АО «КИС Исток»

³ Аспирант, НИУ МГСУ

ОЦЕНКА КЛИМАТА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

А. В. Шипилов¹

Арктическая зона России обладает значительными запасами полезных ископаемых и освоение этих запасов требует строительства надежных и безопасных инженерных сооружений. Одним из факторов, учитываемых при проектировании инженерных сооружений, является температура воздуха, а ее изменения для уже построенных сооружений может привести к неблагоприятным последствиям при их эксплуатации, в особенности для сооружений имеющих фундаменты, построенные по первому принципу.

В последние годы в средствах массовой информации и различных изданиях все более активно указывают на изменения климата, в том числе в оценочном докладе межправительственной группы экспертов по изменениям климата при ООН, даются прогнозы его изменения, в том числе в арктической зоне.

В докладе выполнена оценка климата по имеющимся данным метеорологических станций расположенных в арктической зоне России за последние 50 лет, с применением статистических методов для выявления наличия указанных изменений.

¹ Канд. техн. наук, начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ИНЪЕКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

А.В. Глухов¹

Современные дестабилизирующие факторы, такие как изменение климата, могут вносить свои коррективы в надежность функционирования ГТС в Арктической зоне. Гидротехнические сооружения испытывают постоянные нагрузки от воздействия воды, а также могут подвергаться влиянию внешних факторов, таких как землетрясения, низкие температуры, приливы и отливы, ледовая обстановка и человеческое вмешательство. Эти условия требуют постоянного мониторинга и оценки их эксплуатации.

Климатические изменения, повышение нагрузок на ГТС, отсутствие или недостаточность мероприятий по поддержанию сооружения в нормативном состоянии, превышение срока эксплуатации объекта, все это может приводить к разрушениям конструкции и техногенным катастрофам.

При эксплуатации объектов, особое внимание должно быть уделено использованию современных материалов в процессе ремонта и реконструкции ГТС. Новые композитные и полимерные материалы позволяют значительно увеличить срок службы сооружений за счет их превосходных эксплуатационных характеристик. Эти материалы также адаптированы для работы в сложных условиях, что повышает общую надежность конструкции.

Одновременно возникает необходимость в развитии новых технологий, которые могли бы улучшить устойчивость и надежность гидротехнических сооружений. В этом контексте важно внедрять инновации не только в материаловедение, но и в процесс проектирования и строительства, что позволит снизить риски и увеличить срок службы ГТС.

Применение современных геофизических методов, позволяет с высокой точностью локализовать места нарушений в теле плотины, что позволит проводить инъекционные работы по снижению коэффициента фильтрации и восстановлению надежности сооружения с максимальной эффективностью.

Компанией СТРИМ[®] разработана, запатентована и успешно внедрена уникальная технология укрепления обводненных оснований грунтовых ГТС. Данное решение является отличной альтернативой традиционной цементации, которая не всегда способна остановить активную фильтрацию грунтов. В сравнении с инъекционными полимерными материалами, так же применяемыми для снижения коэффициентов фильтрации и укрепления грунтов, расход гидрофильных смол АКВИДУР[®] примерно в 20 раз ниже.

Применение композитных инъекционных составов на базе гидрофильных смол АКВИДУР[®] позволяет в короткие сроки восстановить надежность грунтового гидротехнического сооружения.

¹ Академик Академии Горных Наук, эксперт экспертного совета при комитете по транспорту и развитию транспортной инфраструктуры Госдумы РФ, эксперт Центра стратегических оценок и прогнозов, Генеральный директор, ООО СТРИМ

Испытания по минимальной температуре эксплуатации композитных инъекционных материалов на базе гидрофильных смол АКВИДУР® проводились на базе ИтхУРО РАН (Института Технической химии Уральского отделения Российской Академии Наук). Доказана возможность эксплуатации композитных инъекционных материалов при температуре до -63 °С.

В отличие от цементации, экзотермическая реакция при использовании данной технологии минимально оказывает влияние на растепление вечной мерзлоты. В ходе испытаний в ИНГГ СО РАН (Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, Сибирское Отделение Российской Академии Наук) произведена оценка экзотермического эффекта применения композитных инъекционных материалов на базе гидрофильных смол АКВИДУР® за счёт химических реакций растворения известняков в мёрзлой скважине за 10-летний период. Количество энергии, которое получила порода за счёт растворения породы и уравнивания растворов, составило 0,17 % от энергии, полученной грунтами за счёт нагрева обратными водами. Что позволяет применять данную технологию для восстановления герметичности грунтовых ГТС, эксплуатирующихся в зоне вечной мерзлоты.

В заключение отметим, что повышение надежности гидротехнических сооружений – задача комплексная, требующая не только внедрения новых технологий и материалов, но и постоянного мониторинга, анализа и адаптации процессов эксплуатации. Учитывая важность данных объектов для обеспечения безопасности, необходимость системного подхода к их надежности является очевидной. Производственные мощности компании СТРИМ и опыт применения материалов позволяют решать задачи, связанные с повышением надежности сооружений, продлением срока эксплуатации и комплексной защитой зданий и сооружений от техногенных и природных факторов, снижать стоимость строительных, ремонтно-восстановительных и эксплуатационных мероприятий.

Круглый стол

**Подготовка кадров
для гидроэнергетики
и гидротехники**

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ANSYS WORKBENCH В КАЧЕСТВЕ СПЕЦКУРСА ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ГИДРОЭНЕРГЕТИКОВ

Д.Н. Госькова¹, В.И. Курир²

В статье делается упор на специализации (профили обучения) гидроэнергетиков в период обучения в вузе:

1. Проектирование гидроэлектростанций и гидроэнергетических установок.
2. Эксплуатация и управление ГЭС.

Классическое рассмотрение гидравлических процессов, протекающих в проточном тракте гидроагрегата ГЭС, позволяющее провести приближенную инженерную оценку параметров течения в проточном тракте гидроагрегата ГЭС, является необходимым элементом обучения будущего гидроэнергетика-проектанта. Тем не менее, оптимальная эксплуатация ГЭС требует глубокого изучения гидродинамических процессов, протекающих в проточном тракте гидроагрегата ГЭС.

Авторы полагают, что студентам-гидроэнергетикам для дальнейшей работы в качестве профессиональных проектантов гидравлической части нового гидроэнергетического оборудования необходимо серьезное ознакомление со спецкурсом «Моделирование гидроэнергетических установок на базе вычислительной платформы ANSYS WORKBENCH», позволяющим самостоятельно проводить гидродинамическое моделирование и оптимизацию гидротехнического оборудования ГЭС. Применительно к гидроэнергетическим установкам ГЭС под гидродинамическим анализом данного оборудования авторы подразумевают проведение численного анализа течения водных масс в проточном тракте гидроагрегата (вход водных масс в плотинный трубопровод из водохранилища → течение водных масс по нему → течение водных масс в спиральной камере → течение водных масс в промежуточной камере, содержащей лопасти направляющего аппарата, → течение водных масс в рабочей камере гидротурбины → течение водных масс в отсасывающей трубе с эвакуацией их в реку). Студент должен уметь строить внешние геометрические границы данного тракта в графическом пакете NX – UNIGRAPHICS (Pro/Engineer). А далее использовать в своей работе следующие пакеты вычислительной платформы ANSYS WORKBENCH:

1. ANSYS DESIGN MODELER.
2. ANSYS TURBOGRID.
3. ANSYS ICEM CFD.

С использованием первого пакета производится геометрическое построение бетонных поддерживающих колонн гидроагрегата, лопаток направляющего аппарата, лопастей гидротурбины.

С применением сеточного генератора ANSYS TURBOGRID производится нанесение высококачественной гексаэдральной сетки конечных элементов в области течения вблизи данных элементов. Для нанесения высококачественной трехмерной сетки конечных элементов в отсасывающей трубе привлекается пакет ANSYS ICEM CFD. Далее производится сцепление всех

¹ Магистрант, ФГБОУ ВО КНИТУ–КАИ им А.Н. Туполева

² Канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ЭО ФГБОУ ВО КНИТУ–КАИ им. А. Н. Туполева

зон течения в единое расчетное пространство, постановка граничных условий в модуле Setup. Анализ течения в проточном тракте гидроагрегата производят в модуле Solution. И наконец, в модуле Results данные вычислительного анализа представляются в виде графических эпюр статического давления, траекторий частиц, движущихся по тракту, и т. д.

Конечная цель анализа – оптимизация геометрии направляющих лопаток, формы лопастей гидротурбины, геометрии отсасывающей трубы, выявление оптимальных режимов работы гидротурбины. Для этой цели привлекается пакет ANSYS DESIGNXPLORER.

Основные целевые параметры начального этапа оптимизации – максимальный КПД и наилучшие кавитационные показатели гидротурбины. Для этого создается таблица для десятков вариантов основных геометрических параметров гидротурбины, используемых затем в последовательном многовариантном пакетном расчете. Отбираются наилучшие варианты.

Дальнейшее улучшение геометрии гидротурбин достигается с применением генетических методов оптимизации. Последние присутствуют в пакете ANSYS DESIGNXPLORER. Но могут быть интегрированы в платформу ANSYS WORKBENCH в виде скриптов.

Дальнейшей задачей овладения навыками практического использования пакетов и модулей платформы ANSYS WORKBENCH будущими профессиональными проектантами гидроэнергетического оборудования является приобретение навыков проведения прочностного анализа механических конструкций данного проточного тракта гидроагрегата. Для этого необходимо детальное ознакомление с оболочкой WORKBENCH MECHANICAL и овладение модулями MECHANICAL MODEL, STATIC STRUCTURAL и др. Студент должен самостоятельно проводить анализ напряженно-деформированного состояния лопастей рабочего колеса и лопастей направляющего аппарата, определять максимальное эквивалентное напряжение в лопастях, запас механической прочности для лопастей, проводить оценку возможности появления пластических деформаций в лопастях, проводить расчет спектра собственных частот колебания лопастей рабочего колеса и направляющего аппарата, расчет спектра собственных частот колебания всего рабочего колеса, проводить анализ устойчивости вращающегося вала генератора с гидротурбиной с учетом эффекта кручения вала в области соединения вала с гидротурбиной.

Предполагается, что студент уже достаточно хорошо владеет основами механических прочностных расчетов, приводимыми в ранее представленных ему дисциплинах: теоретическая механика, теория механических колебаний, теория устойчивости движения твердого тела, сопротивление материалов, теория упругости материалов, теория пластичности материалов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОТИВАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.Л. Любимова¹, И.В. Климова²

Деятельность человека направлена на удовлетворение его потребностей. Существуют разнообразные классификации последних. Так, Симонов П.В. делил их на витальные (базовые, физиологические – еда, сон, груминг), зоосоциальные (половые, родительские, моральные) и потребности в саморазвитии (познание мира). Согласно пирамиде потребностей А. Маслоу существует определенный порядок их удовлетворения. Первыми удовлетворяются физиологические потребности, потом социальные, а затем – духовные. Леонтьев А.Н., в свою очередь, утверждает, что иерархия потребностей индивидуальна и может меняться течением времени; она связана с системой личности человека, а также социумом – той культурой, в которой находится человек.

Работа является одним из способов удовлетворения потребностей. При этом за одним и тем же действием могут стоять совершенно разные мотивы, которые в том числе влияют на качество выполняемой деятельности. Мотив характеризуется переживанием (желание, хотение, отвращение) и является побуждением и направлением деятельности. Он может также меняться в зависимости от той среды, где находится человек – трудового коллектива, в частности, и компании в целом.

В гидроэнергетике задействованы узкие специалисты: инженеры-механики, инженеры-электрики, инженеры-гидротехники и пр. Каждый из них выполняет свою трудовую функцию в соответствии со своими внутренними мотивами: из страха наказания, для получения материальных благ, ради самореализации. Самый эффективный и качественный способ достижения цели строится на основе интереса к выполняемой деятельности. Человек становится вовлеченным в процесс выполнения и осознаёт его смысл, его деятельность становится целенаправленной, а не механической. Целенаправленная деятельность отличается значимостью для субъекта и, следовательно, её результат становится небезразличен. Это влечёт за собой изучение исследуемого предмета на основе внутренней мотивации, которая является долгосрочной и обеспечивает выполнение задания с заданным качеством.

Помимо получения специальных знаний, умений и навыков, которые необходимы специалистам и рабочим для успешной реализации трудовой деятельности, следует дополнительно проводить оценку мотивации трудовой деятельности с помощью специальных тестов и/или опросников, например, «Многофакторного опросника для оценки мотивации трудовой деятельности» Прохорова М.В., Овсянниковой О.М. В зависимости от мотива можно определить степень осознания смысла деятельности и его наличия, а также организовать обучение в соответствии с мотивом отдельного человека или сформировать положительный (в случае, если он был отрицательным) с помощью влияния среды, тем самым поспособствовав развитию и укреплению вовлеченности в профессиональную деятельность.

¹ Магистрант, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

² Канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

МОЛОДЕЖНЫЕ НАУЧНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ КАДРОВ В ВУЗЫ И ОТРАСЛЬ

Ю.В. Казанцев¹

В настоящее время в связи с существенным усложнением технологий возрастает значение квалифицированных инженерных кадров. Однако, по целому ряду социодемографических и экономических причин перед энергетической отраслью остро встает проблема нехватки инженерных кадров. Данной проблемы, тем более, не удастся избежать вузам как государственным учреждениям с основной некоммерческой деятельностью – образовательными услугами, в особенности региональным, далёким от централизованной государственной или корпоративной поддержки. Региональные вузы, в свою очередь могли бы выступить кузницей кадров, более заинтересованных в карьере в своих или соседних регионах.

Но стоит отметить, что для поддержания должного качества образования в региональных вузах должно быть обеспечено соответствующее качество научной школы университета. Научная школа, в свою очередь, базируется на трех составляющих – материальной базе, высококвалифицированных преподавателях-ученых и сотрудничестве с отраслью. Первая составляющая, на первый взгляд, наиболее ресурсоемкая, таковой не является на долгой дистанции. Тогда как последние две – наиболее сложны ввиду огромной временной инерции – так для подготовки сотрудника вуза со степенью от входа в вуз уходит от 10 лет. Соответственно, развитие, а уж тем более создание или восстановление научной школы, иной раз может занимать годы. Наиболее простым способом развития научных школ, на наш взгляд, является ритмичная работа вузов с отраслью по реальным научно-исследовательским проектам по заказу энергокомпаний с реальным непрерывным планом проектов порядка 5 лет. Наличие перерывов в подобных работах может приводить к соответствующим кадровым потерям в научных коллективах вузов. Проведение совместных НИОКР с отраслью также должно позволить получать вузам живые предметы исследований с внедрениями, а значит, и диссертатбельностью.

Кроме того, чтобы обеспечить более широкую кадровую воронку вузы могут сначала привлекать студентов к НИР в виде смежной проектной деятельности, а затем создавать или расширять штат сотрудников молодежных научных лабораторий. Данный доклад посвящен созданию совместной с ПАО «РусГидро» молодежной научной лаборатории «Автоматика электроэнергетических систем» на базе факультета энергетики ФГБОУ ВО НГТУ.

¹ Канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Автоматика энергосистем», ФГБОУ ВО «НГТУ»

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1	Оборудование ГЭС и ГТС	3	
1.	В.В. Белобородов	КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	4
2.	Н.А. Иванов, А.В. Голдун	ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И ЗАЩИТА ОТ НИХ НА ОБОРУДОВАНИИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС	5
3.	А.Ю. Ленков, А.А. Никонов	ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛАВНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВОТКИНСКОЙ ГЭС	6
4.	И.П. Кобыльсков	ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ ПРОДУКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	7
5.	М.О. Перцевой, А.А. Ачитаев	ПОВЫШЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМА ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	8
6.	З.А. Ахмедов	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ BIGDATA ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС	10
7.	А.О. Шестаков	ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ УЗЛОВ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	11
8.	А.В. Коструба, А.Н. Прокопенко, И.П. Иванченко	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БРАТСКОЙ ГЭС ДО И ПОСЛЕ ЗАМЕНЫ РАБОЧИХ КОЛЕС	12
9.	Н.В. Пуцын, А.А. Конаков	ПЕРЕВОД ДЕЙСТВУЮЩИХ ГИДРОМАШИН НА ОРГАНИЗАЦИЮ РЕМОНТА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ	13
10.	К.А. Кравец	ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	14
11.	А.А. Конаков	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ВИБРАЦИИ КРЫШЕК ТУРБИН В ПЕРИОД ПАВОДКА	15
12.	А.В. Уфимцев, А.А. Филипас	АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	16
13.	Д.Н. Госькова, В.И. Курир	СОВРЕМЕННЫЕ АНТИКАВИТАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ГИДРОТУРБИН	18
14.	А.Н. Прокопенко, И.П. Иванченко	ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТУРБИН ДЕЙСТВУЮЩИХ ГЭС НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ	20

15.	О.А. Манякина	МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ КАВИТАЦИИ В ГИДРОТУРБИНЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС	22
16.	К.Р. Раменский, О.А. Манякина	ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ И ПАРАМЕТРОВ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ	23
17.	М.М. Султанов, Ш.М. Милитонян, Д.С. Идаева	ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩИХ ЗНАЧЕНИЙ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	24
18.	А.В. Ащеулов, Н.М. Ксенофонтов	К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ И ВЫБОРЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИВОДОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	26
19.	Е.В. Георгиевская, Н.В. Георгиевский	УСТАЛОСТЬ РАБОЧИХ КОЛЕС ГИДРОТУРБИН: ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ, ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ	28
20.	Ю.В. Казанцев	МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОАГРЕГАТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ГЭС	30
21.	Д.С. Савченков	ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ СТАНЦИЙ КУБАНСКОГО КАСКАДА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ	31
22.	Д.Н. Клевин	ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ НПРЧ НА БРАТСКОЙ ГЭС	32
23.	А.А. Дружинин, А.В. Филатов	ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ БИОМИМЕТИКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГИДРОМАШИН	33
24.	Н.П. Караблин, О.А. Юдин	ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОАГРЕГАТОВ ГЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ	35
25.	А.С. Антонов, Н.П. Караблин, И.В. Баклыков	ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СООРУДЕРЖИВАЮЩИХ РЕШЁТОК ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	36
26.	А.В. Филатов, А.А. Дружинин, Д.В. Мылкин, А.В. Волков	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДВОДЯЩЕЙ СПИРАЛЬНОЙ КАМЕРЫ ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ	38
27.	М.Ш. Магомедов, К.Г. Магомедов	КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЧИРКЕЙСКОЙ ГЭС И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ГИДРОУЗЛА	40
28.	С.С. Труфакин	ОПТИМИЗАЦИЯ СУТОЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	42
29.	О.А. Муравьев, А.М. Дудин	ВЛИЯНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАПОРНЫХ СИСТЕМ ГЭС НА РЕЖИМЫ ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТИ ПРИ ПЛАНОВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ	43

30.	В.А. Фёдорова, В.Ф. Кириченко, Д.В. Корнилович, Г.В. Глазырин	ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЩЕГО ПЕРВИЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ГИДРОАГРЕГАТАМИ НОРИЛЬСКО-ТАЙМЫРСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ	45
31.	В.Ф. Кириченко, В.А. Фёдорова, Г.В. Глазырин	РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ СТАТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	46
Секция 2		Научные и практические вопросы гидравлики и гидрологии	47
1.	М.В. Алексеевская, О.Х. Гадоев, Г.А. Судольский, Ф.А. Холов, А.В. Шиляев	ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТА СИСТЕМЫ АЭРАЦИИ ПОТОКА В ТУННЕЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬНОМ ВОДОСБРОСЕ СТ4 РОГУНСКОЙ ГЭС	48
2.	И.Д. Бучнев	ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ ВОДОСБРОСОВ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	49
3.	А.А. Гиргидов	УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНЦЕВЫХ УСТРОЙСТВ ДОННЫХ ВОДОСБРОСОВ	50
4.	С.А. Анисимов	ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ НОСКОВ- ТРАМПЛИНОВ ДЛЯ ВЫСОКОНАПОРНЫХ ГИДРОУЗЛОВ	51
5.	Г.В. Орехов, М.К. Скляднев, А.Ф. Зубков	ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОПУСКА ХОЛОСТЫХ РАСХОДОВ ЧЕРЕЗ ПРОТОЧНУЮ ЧАСТЬ ГИДРОТУРБИНЫ	52
6.	К.А. Волнушкина, Ю.В. Брянская	КОЭФФИЦИЕНТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ НАПОРНОГО И БЕЗНАПОРНОГО ПОТОКА	54
7.	М.В. Алексеевская, А.Д. Гончаров, Н.В. Моденов, Г.А. Судольский, А.В. Шиляев	ГИБРИДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ НА Р. НОРИЛЬСКАЯ	55
8.	Ю.Д. Чашечкин	РАСЧЕТ И ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И СТРУКТУРЫ РЕЧНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТЕЙ	56
9.	А. Слейман, Д.В. Козлов	МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ НЕДО- СТАТОЧНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	57
10.	Н.С. Бакановичус, В.А. Прокофьев, А.А. Лялина	ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА УЧАСТКЕ Р. ВИЛОЙ МЕЖДУ СТВОРАМИ ВИЛОЙСКИХ ГЭС-1,2 И СВЕТЛИНСКОЙ ГЭС С ЦЕЛЬЮ РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДПОРНОГО УРОВНЯ СВЕТЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И МАКСИМАЛЬНОЙ ОТМЕТКИ ПО УСЛОВИЯМ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЭС ВИЛОЙСКИХ ГЭС-1,2	58

11.	Д.В. Бубнов, Ю.В. Брянская	ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ПЛОСКОСТИ ОТСЧЁТА ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАСЧЁТЕ БЫСТРОТОКА С УСИЛЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ	60
12.	А.А. Очиров	ЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН, ЛИГА- МЕНТОВ И ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ИМИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	61
13.	А.А. Очиров, К.Ю. Лапшина	ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН, ОПИСЫВАЕМЫХ ФУНКЦИЕЙ ЛАМБЕРТА	62
14.	В.Н. Аносов, Т.А. Дьякова, В.Э. Егурнов, Д.В. Корнилов, В.В. Сизов	ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕТРА И ВОЛНЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ МОРСКОГО РЕКРЕАЦИОННО- ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	63
15.	Р.О. Яковлев	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАБИОНОВ МАТРАСНО-ТЮФЯЧНОГО ТИПА В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ	65
16.	Н.С. Бакановичус, А.А. Лялина	ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И УТВЕРЖДЕНИЯ ПРАВИЛ ИСПОЛЬ- ЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВОДОХРАНИЛИЩ	66
17.	Н.С. Бакановичус, Е.Ю. Голованова	РЕЗУЛЬТАТЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ КОНФИГУРАЦИИ РУСЛА Р. ПАДМА В ГРАНИЦАХ ИЗЛУЧЕНЫ НАТОР	69
18.	В.А. Прокофьев, Д.Д. Тесленко	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПАДМА (ГАНГ)	70
19.	А.А. Лялина, А. Пучкарюс	РАСЧЁТ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ОБЪЁМЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	71
20.	Н.С. Смирнов	ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СИСТЕМЫ НАЛИВНЫХ И САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ ГИДРОУЗЛОВ В РЕГИОНАХ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ПРИРОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ	72
21.	В.В. Борисовский, А.В. Шипилов	ПРИМЕНЕНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЗАТОПЛЕНИЯ	73
22.	М.А. Колосов, Д.М. Федоров	РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОРОДЕЦКОГО ГИДРОУЗЛА – ФОРМИ- РОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ПОРОГА НА РЕКЕ ВОЛГЕ	74
23.	Д.А. Давиденко, А.А. Ломоносов, П.С. Борщ, И.Б. Турецкий	РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ ВОДОЗАБОРОВ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДА ТЮМЕНИ В УСЛОВИЯХ КРИТИЧЕСКОГО МАЛОВОДЬЯ В Р.ТУРЫ	76
24.	А.В. Амельчаков, П.А. Судаков, А.А. Амельчакова	СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРОТЕЧЕК ЧЕРЕЗ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС/ГАЭС	77

25.	А.А. Сысоев, Д.С. Сычев, М.Г. Тягунов	МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ И СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ	78
26.	А.Ш. Мамедов, Э.Б. Джавадзаде	ЗАЩИТА ГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ОТ ЗАИЛЕНИЯ	79
27.	А.Ш. Мамедов, А.А. Байрамов	ОГОЛОВОК БЕРЕГОВЫХ ВОДОСБРОСОВ	81
28.	С.В. Двинянинов, С.З. Сафин, А.А. Палехов, З.А. Афанасьева	ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗУБА ВОДОБОЯ И РЕЛЬЕФА ДНА КАМСКОЙ ГЭС	83
29.	В.А. Волосухин, Ю.Ю. Ткаченко, Я.В. Волосухин	50 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНЕЙШЕГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЮГА РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	84
30.	Т.В. Иванкова, Л.Н. Фесенко, В.С. Рожков	ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ, В УСЛОВИЯХ ПРИНЯТИЯ «СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРИАЗОВЬЯ ДО 2040 ГОДА»	86
31.	С.А. Платонов, Д.В. Козлов	МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЧИСЛЕННОМ ЛОТКЕ В ANSYS FLUENT	88
32.	О.Е. Руденко, И.Г. Кантаржи	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ОПОРЫ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ В ANSYS FLUENT	89
Секция 3		Бетонные и железобетонные конструкции ГЭС. Новые разработки и методы исследований	90
1.	Е.Ю. Витохин, С.Б. Кондратьев, Т.Р. Хазиахметов, В.С. Костылев	РАЗВИТИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	91
2.	В.В. Чильчигашева	ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ ПЛОТИНЫ СШГЭС	92
3.	Н.В. Зюзина	СОСТОЯНИЕ ОТРЕМОНТИРОВАННОЙ ЗОНЫ БЕТОНА ПЛОТИНЫ СШГЭС МЕЖДУ ОТМЕТКАМИ 344-359 М ПОСЛЕ 28 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ	93
4.	В.И. Белан, А.Н. Пермин, А.В. Пермина	ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АГРЕССИВНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД	94
5.	Л.С. Дейнеко (Василевская)	ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ НА ОДНООСНОЕ СЖАТИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА ПО ГРАДУИРОВОЧНЫМ ЗАВИСИМОСТЯМ НА ГЭС РОССИИ	95

6.	В.Г. Штенгель	О ВОЗМОЖНОСТЯХ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЦЕНКИ УПРУГИХ СВОЙСТВ БЕТОНА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	96
7.	В.Н. Дурчева	РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕЦИФИКИ РАБОТЫ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ БРАТСКОЙ ГЭС ЗА 60 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ	97
8.	И.И. Загрядский, А.В. Боченков	ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕТОННЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ПЛОТИН НА ПРИМЕРЕ ПЛОТИНЫ ЗЕЙСКОЙ ГЭС	98
9.	О.О. Эргелева, Ф.Ф. Аптикаев	ПОВТОРНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ: ОПАСНОСТЬ АФТЕРШОКОВ	100
10.	В.М. Давиденко, Е.Л. Чердинцева	НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНОЛИТНОСТИ БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	101
11.	В.В. Мищенко	«ПОДНОЖНИК ЛЕНГИДРОПРОЕКТА» – ФУНДАМЕНТ АНКЕРНЫЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ (ФАУ) ДЛЯ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	103
12.	В.А. Бормотов, А.Ю. Егоров, Е.В. Кукушкина, Т.В. Сингатулина, Е.Я. Скоморовская	ИЗМЕНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ СЛАБЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В РАЙОНЕ БУРЕЙСКОЙ И НИЖНЕ-БУРЕЙСКОЙ ГЭС	104
13.	А.Ю. Егоров, Д.В. Мартынов, А.А. Никифоров, Е.В. Шеремет	АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	106
14.	Д.В. Новицкий	МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГТС ПО ДАННЫМ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	107
15.	Е.А. Андрианова	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЧАСТОТНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ (FDD) ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СООРУЖЕНИЙ В СЛУЧАЕ НЕ СИНХРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА	109
16.	Н.И. Павлюк, Б.В. Цейтлин	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ КОНЕЧНО - ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРАВИТАЦИОННЫХ БЕТОННЫХ ПЛОТИН	110
17.	В.С. Костылев	О ВЫБОРЕ РАЗМЕРА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ НАХОЖДЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ	111
18.	К.С. Устинова	ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ БЕТОННОЙ АРОЧНОЙ ПЛОТИНЫ	112

1.	С.В. Сольский, Р.Н. Оришук, В.М. Шайтанов, В.Р. Кузьмина	КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КОРРЕКТИРОВКИ ПРОЕКТА КРАСНОГОРСКОГО ВОДОПОДЪЕМНОГО ГИДРОУЗЛА (КГГУ) НА Р. ИРТЫШ. ЗАВЕРШЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПУСКОВОЙ КОМПЛЕКС (1 ЭТАП СТРОИТЕЛЬСТВА)	114
2.	А.В. Виноградов, С.В. Сольский, А.С. Величко, А.Д. Созинов, О.Н. Котлов, А.Р. Зассеев, Б.В. Сенькин	ПРАКТИКА СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛИНОЦЕМЕНТОБЕ- ТОННОЙ ДИАФРАГМЫ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ БЕЛОПОРОЖСКИХ МГЭС	116
3.	С.В. Сольский, В.С. Рыков, М.В. Софонова, А.О. Вершинин	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРМИРУЮЩИХ ГЕОСИНТЕТИ- ЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	118
4.	С.В. Сольский, И.Г. Зеленский, В.И. Мелихов,	СОВРЕМЕННЫЕ РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДИКИ ГИДРО- ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА НАМЫВНЫХ ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ	120
5.	О. А. Баев, Ю. М. Косиченко	РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОН- НЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА МАГИСТРАЛЬНОМ КАНАЛЕ	122
6.	М.Е. Гармакова, С.Н. Долгих	ПРОГНОЗ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ В КРИОЛИТОЗОНЕ	123
7.	Е.В. Вишняков	УСИЛЕНИЕ ГРУНТОВ КАК ОДИН ИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ РЕМОНТА И ПРОФИЛАКТИКИ РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ	124
8.	И.А. Расторгуев, Д.Д. Луканов, А.С. Пиотровский	РАСЧЕТ ПРОМЕРЗАНИЯ КОТЛОВАНА С УЧЕТОМ МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ	125
9.	И.А. Расторгуев, Д.О. Морозов, А.А. Подвысоцкий Л.Н. Мухина	ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ЗОЛОШЛАКООТВАЛЕ	127
10.	С.В. Сольский, М.В. Софонова, Ф.П. Собкалов, О.Н. Котлов, В.И. Савинов	ПРИМЕНЕНИЕ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ В КАЧЕСТВЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА В ЛОЖЕ ЧАШИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА ПО ПРОЕКТУ «ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ, 2-Я ОЧЕРЕДЬ»	129
11.	Ю.О. Белослудцева, О.Н. Котлов, П.В. Кондратенко, А.М. Тюрикова	АСПЕКТЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	131

12.	Ю.Е. Назукина, С.В. Сольский, В.Н. Соколов	РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ НОВОШИРОКИНСКОГО СКВАЖИННОГО ВОДОЗАБОРА	132
13.	Т.Н. Костюк, А.О. Колесников	ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРУНТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ	133
14.	М.Е. Михайлов	ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬ- ТРАЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА В СЛОИСТЫХ ГРУНТАХ С РАЗЛИЧНОЙ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬЮ	134
15.	Ю. Г. Козуб, А.Р. Гардиева, А.П. Марюхин, К.В. Введенский	ИССЛЕДОВАНИЕ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ МИГРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЯЗНЫХ И НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОНВЕКТИВНО-ДИСПЕРСИОННОГО МАССОПЕРЕНОСА	135
16.	И.А. Расторгуев, И.В. Литвинова, И.А. Хилько, А.В. Ильин, Е.В. Синчук	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗАКАЧНЫХ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОСФЕРЫ	136
17.	Е.Е. Легина, С.А. Захарова, В.А. Клушенцев, А.Р. Гардиева	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКАМ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ВОДОПРОНИ- ЦАЕМОСТЬ И СУФФОЗИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОВЫХ И ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	138
18.	А.Г. Бугаевский	СЕЙСМИЧЕСКИЙ КАНЬОННЫЙ ЭФФЕКТ: РАСЧЁТЫ И НАБЛЮДЕНИЯ	140
19.	А.Ю. Ленков, А.Н. Бусаргин	ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА В ОСНОВАНИИ И ТЕЛЕ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН ВОТКИНСКОЙ ГЭС ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ. АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ	141
20.	Ю.Г. Козуб, О.Н. Котлов, Е.В. Вилькевич	ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО НАКОПИТЕЛЯ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	143
21.	С.В. Сольский, И.П. Веретельник, В.Р. Кузьмина, Е.Н. Филоненко	ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ПРИРОДНЫХ ВОД В ЛОЖЕ СОЛЕОТВАЛА И ШЛАМО-ХРАНИЛИЩА ГОРНО- ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА (ГОКА) НА ТАЛИЦКОМ УЧАСТКЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ	144
22.	А.В. Глухов	ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГРУНТОВЫХ ГТС С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ ИНЪЕКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	146
23.	А.М. Караулов, К.В. Королев, К.А. Федосин	ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ УСЛОВИЯ ПО ОСАДКЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ	148
24.	В.С. Макарова, А.О. Кузнецов	ВАРИАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О СВОДООБРАЗОВАНИИ НАД КАЛОТТОЙ В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ	150

25.	Т.В. Бурдин, К.В. Королев	К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ АКТИВНОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА ПОДПОРНЫЕ СТЕНКИ МЕТОДОМ КУЛЬМАНА	152
26.	Д.С. Галтер	ТЕХНОЛОГИЯ И ПРАКТИКА ВЕРТИКАЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ	154
27.	А.С. Антонов, Е.А. Горохова, П.В. Рогожина	ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СКАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ ГТС	156
28.	О.С. Поезжаев А.С. Антонов	КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СООРУЖЕНИИ, СВЯЗАННЫХ С ТЕКТОНИЧЕСКИМИ НАРУШЕНИЯМИ	157
29.	Ю.А. Строчков	РЕГИСТРАЦИЯ ВИБРАЦИИ ОТ ГИДРОАГРЕГАТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТОВЫХ ГТС	158
30.	А.С. Бестужева	ИСПЫТАНИЯ ГАЛЕЧНИКОВОГО ГРУНТА В ВАКУУМНОМ СТАБИЛОМЕТРЕ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ	159
31.	О.П. Минаев	РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИОРИТЕТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ВЫСОТНЫХ ПЛОТИН ГЭС	161
32.	О.П. Минаев	О БЕЗОПАСНОМ РАССТОЯНИИ ОТ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДВУХМАССОВОЙ ТРАМБОВКИ НА ПОДПОРНУЮ СТЕНКУ	162
33.	Д.М. Федоров, М.А. Колосов	НАМЫВ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЦИКЛОНА	164
34.	Ф.Ф. Аптикаев	УЧЕТ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ	166
35.	А.В. Ступивцев, Н.А. Анискин	ВЛИЯНИЕ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ НА НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН	167
36.	Н.А. Анискин, С.А. Сергеев, И.А. Боков	РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДЕГРАДАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА ПРИМЕРЕ СООРУЖЕНИЯ ШТАБЕЛЕЙ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ	168
37.	В.А. Черненко	СТАБИЛИЗАЦИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ И ПОДЪЕМ ФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ИНЪЕЦИРОВАНИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ СМОЛЫ	169
38.	А.В. Коняшин	УСИЛЕНИЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПРИ ПОМОЩИ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ ЭКСПАНСИВНОГО ПОЛИУРЕТАНА МАРКИ «МС-MONTAN ИНЖЕКТ LE	170

Секция 5**Гидротехника для ТЭС, АЭС и промышленных предприятий****171**

1.	С.В. Антипина	ПРОБЛЕМА БИООБРАСТАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЯНЬВАНЬСКОЙ АЭС	172
2.	П.Г. Яковлев	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ САХАЛИНЭНЕРГО	174
3.	А.И. Калачёв	УНИКАЛЬНЫЙ ОПЫТ ПЕРЕВОДА УГТЭС НА ССЗШУ-100	176
4.	В.Х. Холикулов	ПРОБЛЕМЫ ВОВЛЕЧЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ И СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ В ПРОЦЕСС ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ВО ВТОРИЧНЫЙ ОБОРОТ НА ПРИМЕРЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНА ПО УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ V КЛАССА ОПАСНОСТИ ФИЛИАЛА ПАО «МАГАДАНЭНЕРГО»-«МАГАДАНСКАЯ ТЭЦ»»	177
5.	В.И. Белых	ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВОЗМОЖНОМУ СНЯТИЮ ОГРАНИЧЕНИЙ УСТАНОВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ПРИ РЕМОНТЕ (МОДЕРНИЗАЦИИ) СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	179
6.	Д.В. Чугунков, В.И. Масько	УМЕНЬШЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ТЭЦ С ОБОРОТНОЙ СИСТЕМОЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И БАШЕННЫМИ ГРАДИРНЯМИ	180
7.	С.С. Голубев, А.А. Коношенков, Б.А. Арын	НАКОПИТЕЛИ С СИСТЕМАМИ ГИДРОТРАНСПОРТА. ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ	182
8.	С.В. Дубцов	ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ОТНЕСЕНИЯ К ПЯТОМУ КЛАССУ ОПАСНОСТИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ВКЛЮЧЕНИЕМ В ФЕДЕРАЛЬНЫЙ КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ КАТАЛОГ ОТХОДА «ШЛАК ОТ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ» САХАЛИНСКОЙ ГРЭС-2	184
9.	С.А. Рудченко	КАК ЗАМЕРЗАЮТ ГРАДИРНИ. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ	186
10.	С.А. Толкачев	МОРСКИЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	187
11.	О.А. Муравьев, А.В. Голубев, И.С. Третьяков	ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ АЭС	188
12.	А.В. Шалатонов	ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС ЧЕРЕЗ ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ГТС	190
13.	Н.В. Недашковский	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ НА САХАЛИНСКОЙ ГРЭС-2 ПАО «САХАЛИНЭНЕРГО» ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА ГРУППЫ РУСГИДРО	192

14.	А.А. Коробов, С.С. Голубев	ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ ПУЛЬП С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ГЛИНИСТЫХ И ПЫЛЕВАТЫХ ЧАСТИЦ	193
15.	И.М. Царовцева, Л.Э. Беллендир, Д.Ю. Власов, С.А. Толкачёв, Е.Ю. Борисова	РОЛЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА В ОБРАЗОВАНИИ КАЛЬЦИТОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА СООРУЖЕНИЯХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	194
16.	А.С. Ануфриев, О.С. Яковлева, О.Н. Масько, А.И. Замятин	ИСУ «РАЗУМ» – ПОДХОД ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	196
Секция 6		Экологические проблемы энергетики и гидротехники	197
1. 1	А.Л. Стром, О.Д. Рубин, А.С. Антонов	ВЫСОКИЕ ПЛОТИНЫ В ГОРНЫХ РЕГИОНАХ – ЭКОЛОГИЧЕСКИ ПРИЕМЛЕМЫЕ АНАЛОГИ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ	198
2. 2	А. В. Шевченко, О.А. Баев	К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕС- КИХ РЕШЕНИЙ РЫБОХОДНО-НЕРЕСТОВЫХ КАНАЛОВ	199
3.	В.В. Тетельмин	ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ УСИЛИВАЕТ ВОСТРЕБО- ВАННОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	201
4.	Г.Л. Козинец, В.Н. Чечевичкин, Л.А. Якунин, А.В. Чечевичкин	ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДОПОДОБНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ	204
5.	С.В. Сольский, С.Х. Таскаева, В.Р. Кузьмина, Е.В. Чернышева	АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (ПОЧВА, ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ, АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ) В ПРОЦЕССЕ ЛИКВИДАЦИИ ГЭС (ШЛАМОНАКОПИТЕЛЬ)	206
6.	А.В. Иванов, П.В. Ратников	ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПОПАДАНИЯ ПЛАНКТОНА В ВОДО- ЗАБОР ПУТЕМ ЕГО РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	208
7.	А.В. Иванов, П.В. Ратников	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МЕЛИОРАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РЫБ НА ВОДОЗАБОРАХ	210
8.	А.Н. Чусов, С.В. Селиванова	ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩА СВЕТЛИНСКОЙ ГЭС ПО ВАРИАНТАМ ЛЕСООЧИСТКИ	212
9.	А.А. Яблонцев, А.Я. Мирзаев, И.В. Колоусов	РАСШИРЕНИЕ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ. ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ НА НЕРЮНГРИНСКОЙ ГРЭС	213
10.	В.В. Елистратов, В.И. Масликов, М.Б. Шилин	ВОЗДЕЙСТВИЕ КОЛЫМСКОЙ ГЭС НА ИХТИОФАУНУ ВОДОХРАНИЛИЩА	214
11.	В.Ю. Белоусова, Г.Л. Козинец, И.Е. Фролова	АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ГЭС	216

1.	С.А. Аверьянов	НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ В БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБЛИЦОВКАХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ КАНАЛОВ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ РАЗГРУЗКИ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД	219
2.	М.К. Кудобаев	ТЕОРИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ШВОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	220
3.	А.Е. Огурцов	СКОРОСТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МАССИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ПРИМЕНЕНИЕ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ И АТОМНОЙ ОТРАСЛИ	221
4.	Н.В. Тютюнщиков, С.Б. Кондратьев	РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВОЗВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ В РАМКАХ НИР «КОМПЛЕКСНОЕ РАЗВИТИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ И АРМИРОВАНИЯ (ВСТБА)»	222
5.	К.О. Чугунова, Ю.П. Федоренко, Р.А. Натынчик, А.А. Мингазова, Е. Пивнова, А. Жук	ПРОБЛЕМА ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ БЕТОНОВ. ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ	223
6.	А.С. Брыков	БЕСЦЕМЕНТНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ЗОЛУНОСА УГОЛЬНЫХ ТЭС	224
7.	В.В. Чеботарев	ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЭС, ПОДВЕРЖЕННЫХ АГРЕССИВНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ МОРСКОЙ ВОДЫ	225
8.	Е.И. Сороколетова	РЕМОНТ И ЗАЩИТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГТС. ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	226
9.	Е.А. Архангельский	СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ СИКА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	227
10.	К.В. Костякова	ВЕКТОРЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	229
11.	С.И. Ермоленко	ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНСТРУКЦИОННОГО РЕМОНТА БЕТОНА ПОД ВОДОЙ И В ЗОНЕ ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ. МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕМОНТА И ЗАЩИТЫ СЛОЖНЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	230
12.	Д.В. Саламатов	ТЕХНОЛОГИИ «ПОЛИПЛАСТ» ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	232

13.	А.М. Шемуратова, М.А. Разаков	ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТА БМ ДЛЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ	233
14.	В.А. Алексеев, М.И. Баженов	ИНЪЕКЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ И ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР	234
15.	И.А. Говорущенко	ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	235
16.	И.В. Филатов, Р.А. Натынчик	ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ СВАЙ В ОПОРНЫХ БЛОКАХ НЕФТЯНЫХ ПЛАТФОРМ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТАВОВ БЕТОНА	236
17.	А.Ю. Глущенко	ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА СЛОЖНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕС- КИХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ 68-Й ПОДВОДНОЙ ПОТЕРНЫ ВОДОСПУСКА КАНАЛА ИМ. МОСКВЫ. РАЗРАБОТАННЫЕ БИТУМПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ РУСИНЖЕКТ ДЛЯ РЕМОНТА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ	237
18.	П.В. Федоров, Е.П. Федорова, И.Н. Кузнецов	ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ БЕТОНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЧЕБОКСАРСКОЙ ГЭС	238
19.	А.С. Брыков, К.О. Чугунова	НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В СФЕРЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ДРОБЛЕННОГО БЕТОНА В СОСТАВЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ БЕТОНОВ	239
20.	К.Н. Барилло, М.С. Терехова, О.А. Борус, Г.В. Охапкин	ОПЫТ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТРЕЩИН НА ХОЛОСТЫХ ВОДОВОДАХ ИРКУТСКОЙ ГЭС	240
21.	К.А. Федосин	ТЕХНОЛОГИЯ ПОДАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ И ПРОЧИЕ ДЕФЕКТЫ МЕТОДОМ ГЛУБИННОГО ИНЪЕКТИРОВАНИЯ	242
Секция 8		Обеспечение безопасности ГТС с учетом новых требований законодательства. Методы и средства контроля состояния ГТС	243
1.	Е.А. Климов	ИЗМЕНЕНИЯ В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ О БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ВСТУПИВШИЕ В СИЛУ С 1 СЕНТЯБРЯ 2024 Г. ПЕРСПЕКТИВЫ НОРМОТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	244
2.	А.В. Шишов, Е.В. Курнева, М.Л. Халенева	ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЛУЖБ МОНИТОРИНГА ФИЛИАЛОВ И АНАЛИТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПАО «РУСГИДРО» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИ- ТОРИНГА И АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕС- КИХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ САРАТОВСКОЙ ГЭС	245

3.	С.Ю. Ладенко, К.М. Воробьев, Г.А. Будунув	ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОБ ВОДЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ГТС НА ПРИМЕРЕ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ ГОЦАТЛИНСКОЙ ГЭС	246
4.	А.С. Маренков	О ПЛАНАХ ПО АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	248
5.	М.И. Саранцев	РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СШГЭС	249
6.	П.А. Арсентьев, К.А. Сухецкий, Е.А. Филиппова	УЧЕТ В ДЕЙСТВУЮЩИХ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТАХ РОЛИ МО ГТС В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	250
7.	Е.А. Филиппова, А.А. Воронин	ИЗМЕНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ О БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ЧАСТИ ПОЭТАПНО ВВОДИМЫХ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	251
8.	М.Х. Мисиров, М.С. Ахкубеков, А.А. Воронин, Р.Ю. Лабойко	ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАСЕЙНОВ СУТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И НАПОРНЫХ БАСЕЙНОВ НА ПРИМЕРЕ КАСКАДА НИЖНЕ-ЧЕРЕКСКИХ ГЭС	252
9.	Д.П. Михайлец	ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОУЗЛА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ШВА МЕЖДУ ВОДОПРИЕМНИКОМ И ПРАВОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКОЙ ЗАГОРСКОЙ ГАЭС БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕЖИМА	253
10.	М.М. Султанов И.А. Болдырев, А.Р. Плетнева	ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	255
11.	А.К. Карпов, Б.В. Ушан	СПЕЦИФИКА УЧЁТА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ГТС В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ	256
12.	Д.А. Чернуха, А.В. Шипилов	ПРИМЕНЕНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГТС	258
13.	И.В. Баянов, А.В. Шипилов	ПРИМЕНЕНИЕ БЕССЕТОЧНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ АВАРИЙ ГТС	260
14.	А.В. Дейнеко, А.Н. Симутин	ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ НИВЕЛИРОВ «МОНИТРОН»	261
15.	М.Н. Раченков, Р. Файзулдин	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРАВОВЫХ ОСНОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	262

16.	Р.Ю. Лабойко, С.В. Сольский,	НОВОЕ РЕШЕНИЕ ПО МОНИТОРИНГУ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С ГЛИНОЦЕМЕНТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМОЙ ИЗ БУРОСЕКУЩИХСЯ СВАЙ	264
17.	А.В. Кондакова, С.В. Морозов, И.В. Гранёв	КРОСС-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИ- РОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	265
18.	Г.В. Охапкин, А.Б. Веселов	ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ ГТС	267
19.	А. Б. Веселов, А.В. Толстикова, Г.В. Охапкин, А.А. Метс	ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ГТС: СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ	269
20.	А.В. Виноградов, А.Б. Веселов, Г.В. Охапкин	СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ПУТИ УСТРАНЕНИЯ ПРОБЛЕМ И БАРЬЕРОВ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	270
21.	Е.М. Кобочкина	АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ОАО «РЖД» ПРИЗНАКАМ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРЯДКА ДЕЙСТВИЙ СОБСТВЕННИКА ДЛЯ ИХ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	274
22.	К.А. Сухецкий, А.Ю. Колпаков, А.Б. Веселов, А.В. Данкова	РОЛЬ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	275
23.	А.М. Ставицкий	ПЛАТФОРМА CGIS PRO ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ	276
Секция 9		Малая гидроэнергетика	277
1.	Д.Н. Госькова, В.И. Курир	АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ МИКРО- И МИНИ ГЭС	278
2.	Д.А. Кожемякина, В.Е. Кожемякин	ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КЛАССИФИКАЦИИ МАЛЫХ ГЭС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ	280
3.	В.Л. Баденко, А.О. Мохирева, Е.М. Мелехин	ОПЫТ СОЗДАНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	282
4.	А.С. Терликов	БАШЕННАЯ МГЭС НА Р. АРГУН	283
5.	А.Ю. Пшенов, А.Н. Волынчиков	НИХАЛОЙСКАЯ ГЭС Р. АРГУН. ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ В СТРОИТЕЛЬСТВО	284

Секция 10**Арктический центр: гидротехническое строительство в Арктике****286**

1.	О.М. Финагенов	ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АРКТИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ	287
2.	Г.В. Охапкин, А.Б. Веселов	ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЕРТНОМУ СОПРОВОЖДЕНИЮ КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ГТС	289
3.	В.М. Давиденко, Е.Л. Чердынцева	ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И РЕМОНТЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА РОССИИ	292
4.	И.Г. Кантаржи, М.С. Афонюшкин	СОВМЕСТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОЛН И ЛЬДА НА СООРУЖЕНИЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ЛЬДА	294
5.	И.Д. Казунин	РАЗРАБОТКА И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ЗАКРЫТЫХ АКВАТОРИЙ ПОРТОВ ОТ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ ИРРЕГУЛЯРНО ВМОРАЖИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ	295
6.	Д.А. Калязин, В.И. Климович, Р.О. Яковлев	ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТКОСОВ ОГРАЖДАЮЩИХ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕТРАПОДОВ	296
7.	В.В. Елистратов, И.Г. Кудряшева	ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОСНОВАНИЯ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ В АРКТИКЕ	297
8.	В.В. Елистратов, И.В. Ригель	АЭРОУПРУГОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ АРКТИЧЕСКОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	299
9.	И.Г. Кантаржи, А.Г. Гогин, Ж.И. Нагорнова	АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАСЧЕТНЫХ ВОЛН. ОТРАЖЕНИЕ ВОЛН ОТ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ	300
10.	А.В. Шипилов	ОЦЕНКА КЛИМАТА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ	301
11.	А.В. Глухов	ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ИНЪЕКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ	302
Круглый стол		Подготовка кадров для гидроэнергетики и гидротехники»	304
1.	Д.Н. Госькова, В.И. Курир	ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ANSYS WORKBENCH В КАЧЕСТВЕ СПЕЦКУРСА ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ГИДРОЭНЕРГЕТИКОВ	305

2.	А.Л. Любимова, И.В. Климова	ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОТИВАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	307
3.	Ю.В. Казанцев	МОЛОДЕЖНЫЕ НАУЧНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ КАДРОВ В ВУЗЫ И ОТРАСЛЬ	308

**ШЕСТНАДЦАТАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ГИДРОЭНЕРГЕТИКА
ГИДРОТЕХНИКА
Новые разработки и технологии**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Технический редактор *Т.М. Бовичева, И.В. Кривошапка*
Верстальщик *Н.Н. Седова*

Дата подписания к использованию 29.10.2024.
Объем издания 8137 КБ. Заказ 60.

Издательство АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».
195220, Санкт-Петербург, Гжатская ул., 21