XVI НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА. ГИДРОТЕХНИКА.
НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ И ТЕХНОЛОГИИ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



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



СЕМНАДЦАТАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ГИДРОТЕХНИКА

Новые разработки и технологии

ТЕЗИСЫ

Санкт-Петербург
2025

УДК 626/627 (06)
ББК 38.77



Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии: тезисы докладов семнадцатой научно-технической конференции. Санкт-Петербург: АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2025.

ISBN 978-5-85529-225-1

В сборнике представлены тезисы докладов XVII научно-технической конференции **«Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии»** (8–10 октября 2025 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.

© Авторы докладов, 2025
ISBN 978-5-85529-225-1
© АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2025

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Оборудование ГЭС и ГТС

РАСШИРЕНИЕ ДИАПАЗОНА ПРИМЕНЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КАПСУЛЬНЫХ ТУРБИН

Ю.В. Бабаченко[1], В.Н. Селезнев[2]

Гидроагрегаты с турбинами горизонтальной компоновки имеют целый ряд преимуществ перед агрегатами с вертикальной компоновкой. Они, как правило, более компактны и имеют лучшие энергетические характеристики.

Обычно, горизонтальные капсульные гидроагрегаты применяются на напорах менее 20 м. Применение горизонтальных агрегатов с осевыми рабочими колесами на более высокие напоры ограничивается главным образом кавитационными качествами осевых рабочих колес и трудностями размещения мощного гидрогенератора в проточной части гидроагрегата.

Кроме этого, капсульные агрегаты двойного регулирования достаточно сложны для применения в малых гидроагрегатах, поэтому появились более простые решения в виде агрегатов с пропеллерными рабочими колесами и переменной частотой вращения (пример: Сегозерская ГЭС).

Для расширения диапазона применения капсульных гидроагрегатов на более высокие напоры необходимо эффективно понижать быстроходность рабочего колеса гидроагрегата примерно до уровня быстроходных рабочих колес типа Френсиса.

В качестве возможного решения предлагается рассмотреть применение в капсульном агрегате вместо осевого рабочего колеса диагонального пропеллерного рабочего колеса, которое обеспечит работу на напорах до 50 м с сохранением приемлемого диапазона регулирования по мощности.

[1] Ведущий инженер-конструктор, АО «Силовые Машины»
[2] Начальник сектора, АО «Силовые Машины»

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ НА САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

А.М. Грек[1], К.А. Демшин[2]

В настоящий момент в гидроэнергетике набирает актуальность развитие систем предиктивной диагностики как один из этапов перехода от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по техническому состоянию.

Цель системы предиктивной диагностики (далее – Системы) – определение дефектов оборудования. Основой Систем являются различные программные комплексы, использующие в качестве исходных данных показания стационарных систем контроля и мониторинга.

Самым распространенным подходом в моделировании является моделирование на основе подобия (SBM), в основе которого лежит составление поверхности в многомерном пространстве из исторических данных, которые описывают условно «нормальное» состояние оборудования. Размерность такого пространства равна количеству технологических параметров, используемых в модели. Состояние оборудования в определенный момент времени определяется многомерным вектором в полученном пространстве. Для математического описания полученной поверхности используются различные алгоритмы машинного обучения, например, линейная регрессия, метод опорных векторов, нейросетевая регрессия и т. д. С помощью этих алгоритмов и дополнительных вычислений определяется разница между моделью и текущими значениями технологических параметров. Наличие большого отклонения текущих значений от модели может говорить об аномалии в работе оборудования, которая, в свою очередь, может быть вызвана каким-либо дефектом.

Для интерпретации причин отклонений используются экспертные правила, которые формируются на основе опыта эксплуатации оборудования. Отсюда следует, что опыт специалистов становится существенным в использовании подобных Систем, поскольку точность выявления конкретных дефектов зависит в итоге от полноты и качества сформированных экспертных правил.

В настоящий момент филиалом ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожнего» ведется работа по апробации реализованной Системы и её верификации на архивных данных с известными дефектами оборудования.

[1] Аспирант, инженер по наладке и испытаниям СМО, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожнего»

[2] Ведущий инженер по наладке и испытаниям СМО, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожнего»

РАСЧЕТНЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОАГРЕГАТА САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

В.В. Елистратов[1], А.Н. Прокопенко[2], С.В. Лупуляк[3], Е.П. Петухов[4]

Эксплуатация гидроагрегатов с высоконапорными радиально-осевыми гидротурбинами осуществляется в ограниченном диапазоне эксплуатационных характеристик, в связи с наличием интенсивных пульсаций давления в камере рабочего колеса и отводящем тракте.

Для исследований природы и характеристик гидродинамических нагрузок, возникающих за рабочим колесом гидротурбины, и их распространения в проточной части гидроагрегата была выполнена НИОКР с разработкой математической модели водопроводящего тракта, включая цифровую модель рабочего колеса, и проведены расчеты в характерных режимах для агрегатного блока № 6 Саяно-Шушенской ГЭС. Работа выполнена предприятием АЦИА «Политехник» с привлечением соисполнителей: СПбПУ Петра Великого, НПО ЦКТИ, ООО «Промгеодезия».

Выполнены следующие исследования.

Проведены натурные исследования и определены режимы работы гидроагрегата, вызывающие пульсации давления за рабочим колесом гидротурбины с наибольшей интенсивностью.

Осуществлено лазерное сканирование рабочего колеса гидротурбины №7 Саяно-Шушенской ГЭС без демонтажа, построение фактической CAD-модели рабочего колеса, интеграция CAD-модели в геометрическую модель всего проточного тракта. Работа выполнена на высоком уровне силами организации ООО «Промгеодезия».

Построена цифровая модель геометрии проточной части агрегатного блока с использованием программного комплекса ANSYS Fluent, включая турбинный водовод, спиральную камеру, статор, направляющий аппарат, рабочее колесо с камерой, отсасывающую трубу. Общее число элементов расчётной сетки составляет 37 миллионов.

Построена расчетная математическая модель, позволяющая адекватно описывать гидродинамические явления в проточной части агрегатного блока (в том числе характеристики пульсаций давления на поверхности спиральной камеры, камеры рабочего колеса и отсасывающей трубы). На построенной расчётной сетке методами вычислительной гидродинамики решалась осреднённая по Рейнольдсу система уравнений Навье-Стокса (URANS – Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations). Для замыкания данной системы используется модель сдвиговых напряжений SST (Shear Stress Transport – перенос сдвиговых напряжений). Для моделирования двухфазного течения использовалась модель VOF (Volume Of Fluid – объем жидкости) для несмешивающихся жидкостей. Для расчёта режимных точек рассматривалось нестационарное течение с учётом сжимаемости жидкости (модель, основанная на уравнении Тейта). Вращение рабочего колеса моделируется движением соответствующих сеточных блоков.

---

[1] Доктор техн. наук, профессор, СПбПУ Петра Великого
[2] Канд. техн. наук, ОАО «НПО ЦКТИ» им. Ползунова
[3] Канд. ф-м. наук, СПбПУ Петра Великого
[4] СПбПУ Петра Великого

Проверена адекватность разработанной математической модели в трех характерных режимных точках с использованием результатов натурных испытаний гидроагрегата. Сравнение пульсаций давления в отсасывающей трубе, полученных расчётным и экспериментальным путями, показало хорошее совпадение экспериментальных и расчётных значений всех спектрограмм.

Выполнены расчеты характеристик пульсаций давления в спиральной камере, камере рабочего колеса и отсасывающей трубе в согласованных режимных точках (8 сценариев), включая мероприятия по снижению гидродинамических нагрузок: впуск воздуха и вариант без ребер в отсасывающей трубе. Проведена оценка влияния режимов на интенсивность гидродинамических нагрузок и на элементы проточной части агрегатного блока. Для расчётов было задействовано от 1060 до 1440 процессорных ядер вычислительной системы суперкомпьютерного центра «Политехнический».

Для режима 350 МВт проведен расчет гидродинамических воздействий на элементы проточного тракта в согласованных с Генеральным проектировщиком точках. Подготовлены наборы данных для задания нестационарных гидродинамических нагрузок на стационарные элементы проточного тракта гидроагрегата и строительную конструкцию здания ГЭС.

Проведены расчеты с целью оценки влияния принятых решений на интенсивность гидродинамических нагрузок, а также разработаны мероприятия по снижению гидродинамических нагрузок в проточной части агрегатного блока.

По итогам проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Во всех режимах, кроме мощности 200 МВт и 690 МВт, наблюдаются вихревые жгуты под рабочим колесом. Их структура и динамика определяют характер пульсаций в водопроводящем тракте: при большей выработке закрутки потока на колесе уменьшается прецессия жгута и сокращается его размер до полного исчезновения на режиме повышенной мощности, что соответствует результатам наблюдений на реальных объектах.

2. Удаление стабилизирующих рёбер приводит к кратному увеличению частоты пульсаций при сохранении их амплитуды, росту энергии пульсаций и динамических нагрузок при незначительном снижении КПД.

3. Подача воздуха под колесо на мощности 490 МВт приводит к раннему дроблению вихревого жгута, снижению его прецессии и частичному уменьшению амплитуд пульсаций, что в общем дает снижение энергии пульсаций. При этом снижается КПД гидроагрегата на 0,79 %.

4. По результатам исследований показана эффективность установки ребер в конусе отсасывающей трубы, и такое мероприятие может быть рекомендовано для РО турбин, эксплуатируемых на ГЭС ПАО «РусГидро» с целесообразностью проведения исследований с использованием разработанных подходов, методов и моделей с оптимизацией конструкций и геометрических размеров стабилизирующих ребер для конкретных агрегатов ГЭС.

ГЭС И ГАЭС КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

В.В. Елистратов[1], И.Г. Кудряшева[2]

Программа развития энергетики в России, изложенная в Генсхеме развития энергетики до 2042 г. и «Энергетической стратегии 2050», предусматривает увеличение доли АЭС и ВИЭ (возобновляемых источников энергии) и, как следствие, необходимость внедрения в энергосистемы Европейской и Дальневосточной зон ГЭС и . ГАЭС, обеспечивающих надежность их эксплуатации.

В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 30 декабря 2024 г. № 4153-р.12.2022 утверждены изменения в Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики, связанные с развитием гидроэнергетики, предусматривающие к 2042 году строительство ГЭС и ГАЭС в объеме 7,756 млн. кВт, в том числе Крапивинской ГЭС (345 МВТ), Ивановской ГЭС (210 МВт), Мокской ГЭС (1200 МВт), Тельмамской ГЭС (450 МВт), Нижне-Зейской ГЭС (400 МВт), Нижне-Ниманской ГЭС (360 МВт), Канкунской ГЭС (1000 МВт), ГАЭС в объеме Ленинградской ГАЭС (1 170/1784 МВт), Загорской ГАЭС-2 (840 /1000 МВт), Лабинской ГАЭС (600/660 МВт), Приморской ГАЭС (600/662 МВт), Балаклавской ГАЭС (330/400 МВт), объектов ВЭС и СЭС в объеме 16,587 млн. кВт.

ГАЭС является надежным источником энергии, обладающим высокой маневренностью и возможностью эффективной работы в переменной части суточного графика нагрузки, в том числе для компенсации неравномерной выработки солнечных и ветровых электростанций. Обеспечение этих режимов требует оптимальных управленческих решений в условиях функционирования современного электроэнергетического рынка на основе рыночного и режимного регулирования ГЭС и ГАЭС.

Увеличение доли ГАЭС и ГЭС в энергосистеме связано с увеличением в ряде зон ЕЭС России мощности маломаневренной тепловой, атомной и возобновляемой генерации, необходимостью сокращения теплового загрязнения и снижения эмиссии CO_2, а также оптимизацией регулирования тарифов на оптовом рынке энергии и мощности.

ГЭС и ГАЭС позволяет обеспечить энергобезопасность, системную надежность энергетической системы за счет регулирования баланса мощности (генерации и потребления в пиковой и базисной части графика), частотного регулирования (в дневной и вечерней части графика), оперативного резервирования мощности, использования в качестве аварийного резерва и послеаварийного восстановления ЕЭС. Работа ГАЭС позволяет улучшить режимы работы и безопасность АЭС за счет повышения базисной части графика, продлевает жизненный цикл ТЭС за счет снижения количества пусков/остановов генерирующего оборудования и снижает удельные показатели расхода топлива в полупиковой зоне. Работа ГЭС и ГАЭС снижает потери в энергосистеме за счет выработки реактивной мощности в режиме синхронного компенсатора, компенсирует недовыработку объектов ВИЭ вследствие неравномерного и случайного характе-

[1] Доктор техн. наук, профессор, СПбПУ Петра Великого
[2] Канд. техн. наук, доцент, СПбПУ Петра Великого

ра прихода возобновляемой энергии и позволяет создавать гарантированную отдачу объектов ВИЭ на предстоящий период.

Обеспечение рентабельности объектов, обладающих высокой маневренностью и обеспечивающих системную надежность энергосистемы требуют оптимальных решений и тарифного регулирования в условиях функционирования современного электроэнергетического рынка.

В России рынок услуг по обеспечению системной надежности начал действовать с 2010 года в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от № 117 «Правила отбора субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, оказывающих услуги по обеспечению системной надежности». Внедрение системы оплаты системных услуг, предназначенных для экономического стимулирования ГЭС и ГАЭС, обеспечит их функционирование как хозяйствующих субъектов.

Выбор рациональных режимов работы ГАЭС и ГЭС в энергосистеме осуществляется по критерию минимума суммарных дисконтированных затрат на энергоснабжение с учетом предоставления учета оплаты режимных и системных услуг на электроэнергетическом рынке, в том числе включения в тариф надбавок за работу в режимах, обеспечивающих системную надежность.

Такой подход к обоснованию эффективности ГАЭС позволит сделать их рентабельными, явится стимулом для их строительства и модернизации.

ТЕНЗОМЕТРИЯ СТАТОРНЫХ КОЛОНН ГИДРОАГРЕГАТОВ

М.С. Замараев[1], Д.В. Вишневский[2]

В докладе рассматриваются методы и результаты исследований механических напряжений в статорных колоннах гидроагрегатов с учетом многолетнего опыта, накопленного ОАО «НПО ЦКТИ». В результате многих подобных работ найдены: собственные частоты колебаний статорных колонн как в осушенном состоянии, так и при заполненной проточной части, статические и динамические нагрузки на колонны, возникающие на разных режимах работы гидротурбин. Установлено, что в некоторых случаях разные моды колебаний колонн проявляют себя на разных режимах работы гидроагрегата; сочетание динамических нагрузок с остаточными напряжениями (оставшимися от монтажа агрегата или после ремонта колонн) способно приводить к разрушению колонн статора. Кроме того, поскольку при реконструкции агрегатов статорные колонны не заменяются, все большее значение имеет контроль их состояния в ходе эксплуатации ГЭС.

[1] Инженер, отдел гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»
[2] Инженер, отдел гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ УДЛИНЕНИЙ ШПИЛЕК КРЫШКИ ГИДРОАГРЕГАТА

В.С. Игнатьев[1], В.А. Шубарев[2], В.Д. Лукьянов[3]

Предлагается к рассмотрению разработка ОАО «Авангард»: программно-технические комплексы «ПТК КМ-Дельта», предназначенные для контроля удлинений шпилек креплений крышек гидроагрегатов Саяно-Шушенской ГЭС.

Предпосылки разработки – авария, произошедшая на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г. Причина аварии – возникшие нерасчетные динамические нагрузки на гидроагрегат, вызвавшие, в том числе, разрушение шпилек крепления крышки гидроагрегата, что привело к ее отрыву и, как следствие, затоплению машинного зала.

Комплексы имеют в составе восемь датчиков, устанавливаемых на полые шпильки с калибровочным стержнем внутри, симметрично левому и правому берегу, верхнему и нижнему бьефу.

Комплексы решают задачи: измерение удлинений шпилек относительно калибровочного стержня, выдачу измерительной информации в АСУ ТП ГЭС, формирование сигналов аварийно-предупредительной сигнализации при выходе измеренных значений за пределы уставок, архивирование данных.

Комплексы имеют межповерочный интервал в четыре года.

О принципиальной возможности добиться межповерочного интервала в четыре года высказались специалисты ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, с которым ОАО «Авангард» заключал договор на проведение научно-технических и метрологических работ.

Была проведена работа по исследованию поведения удлинений шпилек при различных режимах работы гидроагрегатов, для выявления всех закономерностей.

Итогом стала реализация метода метрологического самоконтроля комплексов, основанного на качественной оценке показаний датчиков. Сличая динамические изменения показаний датчиков, комплекс выполняет непрерывную самодиагностику, позволяя выявить датчики, вышедшие за пределы метрологических характеристик или ставшие неработоспособными.

ПТК КМ-Дельта внесен в реестр средств измерений за номером 77721-20. Применение методов метрологического самоконтроля позволяет добиться надежности, обеспечивающей продолжительный межповерочный интервал.

[1] Начальник сектора, ведущий инженер, ОАО «Авангард»
[2] Доктор техн. наук, профессор, научный руководитель, ОАО «Авангард»
[3] Доктор физ.-матем. наук, профессор, ученый секретарь, ОАО «Авангард»

ОБЗОР МИРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ГИБКИХ СИСТЕМНЫХ УСЛУГ ГЭС

Ю.В. Казанцев[1]

В настоящее время возрастает значение гидроэлектростанций не только как экологически чистого и дешевого источника электроэнергии, но и мощного инструмента регулирования режима работы электроэнергетических систем (ЭЭС), в особенности при увеличении в них доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ), характеризуемых стохастическим характером выработки электроэнергии. Ожидается, что на пути к декарбонизации мировой экономики резкое увеличение производства энергии из возобновляемых источников приведет к значительно большей нестабильности в электроэнергетических системах. Системные операторы должны постоянно балансировать спрос и предложение, чтобы поддерживать стабильность системы, а растущий уровень производства электроэнергии за счет ветровых и солнечных источников усложнит задачу такого балансирования.

Во многих прогнозируемых сценариях возникнет огромная потребность в гибком и контролируемом электроснабжении от низкоуглеродистых источников энергии для поддержания безопасности системы. Именно в аспекте управляемости гидроэлектростанции (ГЭС) укрепляют свою традиционную специализацию ввиду растущих потребностей в гибкости системы в различных временных масштабах. Гидроэнергетика может обеспечить большие объемы как мощности (краткосрочная энергетическая гибкость), так и энергии (среднесрочная и долгосрочная энергетическая гибкость). Гидроэнергетика занимает уникальное положение с точки зрения гибкости выдачи мощности, поскольку она может накапливать первичную энергию (ГВт·ч) с высокой эффективностью в качестве потенциальной энергии воды. Кроме того, она может обеспечивать энергетические мощности с высоким коэффициентом готовности. Это приобретает еще большее значение, когда ожидается, что децентрализованные решения, такие как распределенная генерация, системы накопления электроэнергии, электромобили и системы управления спросом обеспечат краткосрочную гибкость, но менее предсказуемым образом.

Один из примеров передовых демонстраторов гибких технологий является европейский проект XFLEX HYDRO (гидроэнергетика, повышающая гибкость энергосистемы), предусматривающий уникальные возможности гидроэлектростанций во многих аспектах предоставления системных услуг, направлен на демонстрацию новых технологических решений в рамках парка гидроэлектростанций, которые будут поддерживать высокий уровень проникновения ВИЭ в систему электроснабжения. Целью XFLEX HYDRO является разработка новых и эффективных методов внедрения современных гидроэнергетических технологий, способных не только обеспечить повышенную гибкость обслуживания, но и оптимизировать графики технического обслуживания ГЭС, повысить эксплуатационную готовность ГЭС и максимизировать их производительность. В рамках данного доклада будут подробно рассмотрены технические и экономические преимущества и/или недостатки таких решений, как: переменная скорость вращения, гидравлический шунт, гибридизация с накопителем электрической энергии, адаптивные алгоритмы, автооператор (аналог РУСА).

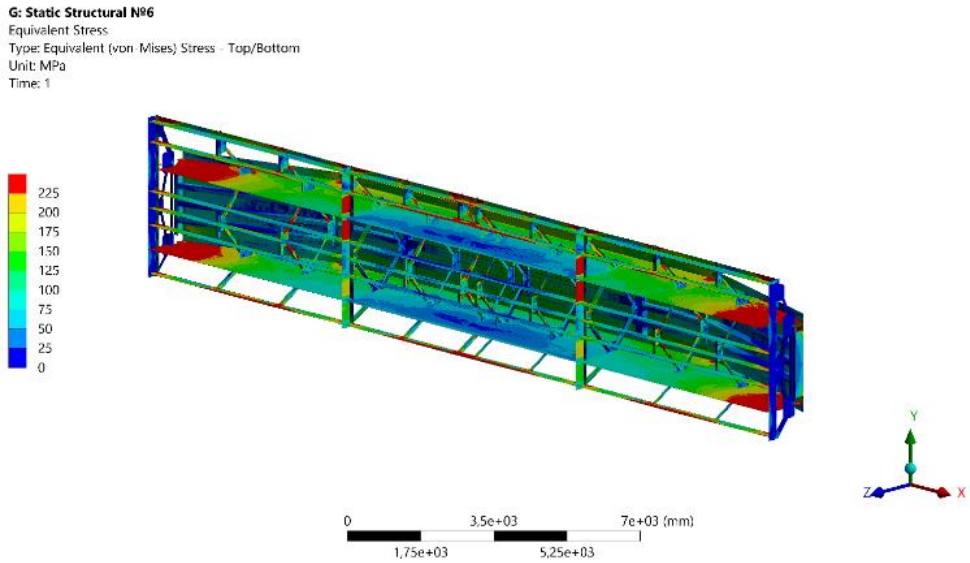
[1] Канд. техн. наук, зав. лабораторией «Автоматика энергосистем», ФГБОУ ВО «НГТУ»

КОМПЛЕКСНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ДОННЫХ ЗАТВОРОВ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ФАКТИЧЕСКОГО ИЗНОСА, РАЗРАБОТКА ПОРЯДКА ОЧЕРЕДНОСТИ ЗАМЕНЫ ЗАТВОРОВ

Н.П. Караблин[1], Д.В.Чаплыгин[2], А.Г. Будко[3], О.А. Юдин[4]

В соответствии с требованиями «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» (п.3.1.38) и СТО 17330282.27.140.017-2008 «Механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования» (п.5.6.9.) все затворы по истечению нормативного срока службы, входящие в состав объекта, должны подвергаться техническому диагностированию с целью продления срока дальнейшей эксплуатации.

Комплексное обследование донных затворов (ДЗ) водосливной плотины (ВСП) №№ 1–7 Угличской ГЭС проведено с целью определения технического состояния, остаточного ресурса, необходимого срока замены, очередности и порядка замены затворов с соответствующим обоснованием. Семь донных плоских колёсных затворов клёпаной конструкции спроектированы в конце 30-х гг. XX века и введены в эксплуатацию в 1939 г. За время эксплуатации ГЭС проектные решения по обследуемому механическому оборудованию не изменялись, реконструкции не проводились.



Эквивалентные напряжения в силовом каркасе обследованного затвора № 6, МПа

[1] Главный инженер по турбинному и гидромеханическому оборудованию, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[2] Начальник отдела неразрушающего контроля, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[3] Ведущий научный сотрудник отдела неразрушающего контроля, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[4] Ведущий инженер отдела неразрушающего контроля, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

Уникальность данной работы заключалась в комплексном подходе к техническому обследованию ДЗ ВСП, которое включало в себя:

планирование и проведение комплекса работ по подготовительным мероприятиям (подъем, осушение, строповка, очистка, наведение лесов/помостьев, использование плавсредств) для безопасного проведения инструментального обследования с полным доступом ко всей конструкции затворов, с определением степени механического и коррозионного износа элементов металлоконструкций, оценкой состояния опорно-ходовых устройств и уплотнений;

оценку прочности и общего технического состояния несущих металлоконструкций;

определение остаточного ресурса ДЗ № 1– № 7 ВСП Угличской ГЭС;

ранжирование затворов по их остаточному ресурсу;

определение очередности и порядка замены затворов.

По результатам работы, с учётом полученных данных инструментального обследования, проведены прочностные расчёты и расчёты остаточного ресурса. Представлено обоснование дальнейшей эксплуатации, ремонта, замены и очередность замены ДЗ.

Опыт проведения данного комплексного технического обследования донных затворов в совокупности с проведенным прочностным расчётом, определением остаточного ресурса и последующим формированием очередности замены уникален в своем объеме и применим для оценки остаточного ресурса и оценки возможности эксплуатации затворов на других ГЭС с гидромеханическим оборудованием, эксплуатирующимся свыше нормативного срока службы.

КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОАГРЕГАТА

Н.П. Караблин[1], Д.В.Чаплыгин[2], О.А. Юдин[3], Н.С. Бод[4]

По истечению срока службы гидротурбины, для принятия решения о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации оборудование должно подвергаться периодическому техническому освидетельствованию. В 2024 г. специалистами филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» (НИИЭС) выполнено комплексное обследование проточной части гидроагрегата (ГА) ст. № 4 ГЭС-2 Каскада Кубанских ГЭС (ККГЭС) в целях определения безопасной эксплуатации проточной части и бетона подводной части здания ГЭС, определения фактического состояния металла и оценки его остаточного ресурса, а также оценка возможности дальнейшей безопасной эксплуатации. Здание ГЭС-2 принято в постоянную эксплуатацию в 1967 г.

Уникальность данной работы заключалась в глубоком и комплексном подходе к исследованию, которое включало в себя:

определение наиболее нагруженных зон статора турбины, подверженных дефектообразованию, с составлением технологической карты вырезов проб металла;

оценку технического состояния металла проточной части и бетона за облицовкой спиральной камеры;

определение фактических механических свойств металла проточной части и заоблицовочного бетона, оценку их соответствия требованиям конструкторской и нормативно-технической документации;

оценку остаточного ресурса статора турбины;

оценку степени пригодности проточной части к дальнейшей безопасной эксплуатации.

Работа по определению соответствия химического состава, механических свойств металла, с отбором образцов (вырезов) металла из проточной части гидроагрегата, а также выполнение вышеуказанных пунктов в целом в настоящее время не имеет аналогов.

Комплексное обследование проточной части состояло из четырех этапов:

1. Анализ конструкторской и эксплуатационной документации с разработкой карты вырезов образцов металла.

2. Обследование металлоконструкций.

3. Определение химического состава, механических свойств, металлографический анализ макро- и микроструктуры образцов металла.

4. Определение прочностных и деформационных характеристик бетона.

На первом этапе работы сформировано описание оборудования с определением конструкторских особенностей. Установлен фактический срок эксплуатации проточной части, тип образования дефектов, зона возникновения и масштаб дефектообразования. Выявлено начало возникновения дефектов. Проведен анализ цикличности повреждаемости узла с учётом воздействия ремонтно-восстановительных работ. Составлена технологическая карта вырезов проб металла для проведения их испытаний. Места вырезов составлены с учетом сложности ремонтно-

[1] Главный инженер по турбинному и гидромеханическому оборудованию, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[2] Начальник отдела неразрушающего контроля, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[3] Ведущий инженер отдела неразрушающего контроля, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[4] Ведущий инженер отдела неразрушающего контроля, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

восстановительных работ и повреждаемости обследуемого изделия и согласованы с Генпроектировщиком «Мособлгидропроект».

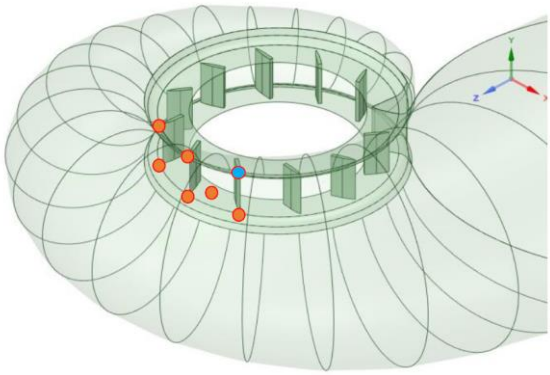
На втором этапе, с целью повышения достоверности оценки технического состояния проточной части ГА в дополнение к утвержденной программе работ выполнено визуальное и инструментальное обследование металла конструктивных элементов проточной части гидроагрегата, в соответствии с нормативными документами. По результатам контроля выявлены дефекты сварных швов колонн статора (КС). Количество дефектных КС составило 41% от общего числа грузонесущих элементов.

Третьим этапом отобрано 7 контрольных образцов металла статора турбины, в соответствии с технологической картой вырезов проб. По результатам лабораторных испытаний установлена деградация структуры металла образцов, зафиксировано общее снижение к нижним границам значений: предела текучести, относительного удлинения и относительного сужения, один из образцов признан не годным для дальнейшего применения как несоответствующий требованиям НТД.

На четвертом этапе отобрано 19 кернов для определения прочностных и деформационных характеристик бетона конструкций. По результатам лабораторных испытаний, состояние бетонных конструкций в местах отбора кернов оценивается как работоспособное.

Описанный состав работ позволил произвести комплексную оценку фактического технического состояния проточной части ГА ст. № 4 ГЭС-2 ККГЭС и выдать заключение о невозможности дальнейшей безаварийной эксплуатации данного узла с рекомендацией по дальнейшей замене металлической облицовки проточного тракта в ходе предстоящего технического перевооружения станции.

Опыт проведенного комплексного обследования проточной части ГА уникален в своем объеме и применим для оценки остаточного ресурса и возможности продления срока службы других ГА с целью обеспечения их безопасной эксплуатации и для определения объёмов технического перевооружения оборудования ГЭС, эксплуатирующегося свыше нормативного срока службы.



Расположение мест вырезов металла



Трещина на образце металла

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ СТАНЦИЙ НА ПРИМЕРЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ВОЛЖСКОЙ ГЭС

В.А. Комов[1], А.В. Галкин[2], Ю.В. Матвиенков[3]

В статье рассматривается практический опыт проектирования реконструкции Волжской ГЭС в условиях действующего предприятия.

Большинство гидроэлектростанций, введенных в эксплуатацию в 60–70-е гг. прошлого века, имеют существенный износ электротехнического оборудования выдачи мощности. Необходима четкая стратегия действий для реализации замены всего основного оборудования выдачи мощности.

«Комплексный план реконструкции Волжской ГЭС» был разбит на обособленные, но технически неразрывно связанные между собой части.

В результате реконструкции Волжской ГЭС решены следующие технические задачи:

увеличена установленная мощность станции;

обновлено оборудование распределительных устройств 220 и 500 кВ;

заменены кабельные линии 220 кВ;

проложены новые кабельные линии 500 кВ;

увеличена надежность схемы выдачи мощности 500 кВ;

решен вопрос с «запертой мощностью» на Волжской ГЭС;

заканчивается проектная подготовка замены блочных трансформаторов.

После реконструкции будут демонтированы крайне сложные в эксплуатации существующие воздушные переходы 500 кВ над зданием ГЭС и по аванкамере.

[1] Главный инженер проекта, АО «Институт Гидропроект»

[2] Заместитель главного инженера по технологическим системам, АО «Институт Гидропроект»

[3] Начальник отдела электроснабжения и связи, АО «Институт Гидропроект»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛ-ТУРБИНЫ ПРИ ЕЕ УХОДЕ С КОМБИНАТОРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

А.А. Конаков[1]

Доклад посвящен исследованию вибрационного состояния гидроагрегата, оснащённого поворотно-лопастной (ПЛ) турбиной, при ее уходе с комбинаторной зависимости. Натурные испытания подтверждают давно известный факт, что при работе на пропеллерных режимах вибрации гидротурбины возрастают по сравнению с работой на комбинаторных. В 1940-е гг. именно это наблюдение лежало в основе «метода наименьших вибраций», предложенного Л.А. Владиславлевым для простейшей настройки оптимальных комбинаторных зависимостей поворотно-лопастных турбин. При этом до сих пор не был экспериментально исследован вопрос, за счет каких нагрузок возрастает вибрация гидротурбины при ее уходе с комбинатора. Для ответа на этот вопрос сотрудниками ОАО «НПО ЦКТИ» был проведен анализ спектров, полученных в ходе натурных вибрационных испытаний поворотно-лопастной турбины с рассогласованной (при разном положении лопастей) комбинаторной зависимостью. Результаты анализа показывают, что вибрации происходят в основном на частотах собственных колебаний ротора гидроагрегата в осевом и поперечном направлениях. По всей видимости, возбуждение этих колебаний происходит вследствие ударных нагрузок от потока воды, возникающих из-за несогласованности входных углов лопастей рабочего колеса и выходных углов направляющего аппарата. Сегодня этот факт позволяет разработать методы вибрационной диагностики для определения отклонения существующей комбинаторной зависимости от оптимальной.

[1] Зав. лабораторией промышленных исследований и оценки технического состояния гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»

ЭНЕРГОКАВИТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЕЙ ГИДРОТУРБИН НА СТЕНДЕ ОБРАТИМЫХ ГИДРОМАШИН «НПО ЦКТИ»

А.В. Коструба[1], А.Н. Прокопенко[2]

Несмотря на совершенствование расчетов при проектировании новых гидротурбин и насос-турбин, подтверждение их энергокавитационных качеств всегда проверяется проведением модельных испытаний на специальных стендах.

В ОАО «НПО ЦКТИ» для этой цели еще в советские годы был создан стенд обратимых гидромашин, который в последние годы модернизировался, совершенствовался и в настоящее время соответствует всем требованиям международного стандарта IEK60193.

Стенд имеет возможность проведения испытаний моделей гидротурбин с радиально-осевыми и поворотно-лопастными рабочими колесами в широком диапазоне рабочих режимов.

За последние пятнадцать лет на стенде проведено множество экспериментальных работ в интересах крупных заказчиков, в том числе:

разработка и проведение модельных испытаний радиально-осевого рабочего колеса РО 250 по заказу ПАО «Силовые машины»;

проверка технических решений по расширению регулировочного диапазона высоконапорных радиально-осевых гидротурбин (выполнены по Госконтакту);

исследование впуска сжатого воздуха в проточную часть радиально-осевой гидротурбины для расширения диапазона регулирования мощности на частичных нагрузках для нужд АО «Тяжмаш»;

разработка и испытания насосных рабочих колес;

испытания центробежных насосов для нужд АО «ЛГМ».

Кроме турбинного и насосного оборудования, стенд может использоваться и для других видов испытаний. Проводились испытания генератора с переменной частотой вращения производства ООО «ЭКБ». Также на стенде регулярно проводятся различные виды испытаний трубопроводной арматуры в основном для атомной промышленности. Стенд оснащен современными цифровыми датчиками для измерения давления, расхода, частоты вращения и крутящего момента, позволяющими автоматизировано собирать экспериментальные данные с высокой точностью.

[1] Зав. лабораторией разработки гидроэнергетического оборудования для проектируемых и реконструируемых ГЭС и ГАЭС, ОАО «НПО ЦКТИ»

[2] Зав. отделом гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования, ОАО «НПО ЦКТИ»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ГЩУ ГЭС: ОТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДО РЕАЛИЗАЦИИ

К.А. Кравец[1]

Средний возраст главных щитов управления (ГЩУ) гидроэлектростанций составляет 40–60 лет. Это приводит к физическому и моральному износу оборудования, дефициту запасных частей, высоким эксплуатационным расходам и рискам аварийного отказа оборудования.

Цель доклада – показать комплексный подход к модернизации ГЩУ: от предпроектного обследования и проектирования до ввода в эксплуатацию. Важно учитывать специфику объекта: историческое наследие, климатические и географические условия, масштаб станции. Итог – обеспечение надежности, эргономики, безопасности персонала и соответствие современным требованиям цифровизации и Системного оператора.

Ключевой принцип.

Модернизация ГЩУ – это не просто «замена ключей и приборов». Она предполагает пересмотр всей архитектуры управления ГЭС с учетом новых технологий и стандартов. Обязательное условие – пошаговый ввод нового оборудования и «безударный переход» со старого ГЩУ на новый без остановки станции.

Основные вызовы:

интеграция нового оборудования с действующими системами при непрерывной работе;

ограниченные площади помещений и кабельные трассы;

обеспечение электромагнитной совместимости;

согласование решений со всеми подразделениями станции;

резервирование бюджета на логистику, форс-мажоры и дополнительные изыскания;

баланс между сохранением исторических элементов и внедрением современных решений;

доставка оборудования на удаленные объекты и работа в сложных климатических условиях;

минимизация социальных рисков: работа на действующем предприятии и взаимодействие с контролирующими органами.

Главный вызов – сочетать непрерывную работу станции, внедрение цифровых технологий и специфику объекта.

Практический опыт.

Для сравнительного анализа используются реальные примеры работ компании ООО «НПФ «Перспектива» по модернизации ГЩУ ГЭС. В качестве объектов исследования рассматриваются:

Светлинская ГЭС (АО «Вилюйская ГЭС-3», «Алроса») – проектирование и внедрение нового ГЩУ с модернизацией диспетчерского зала, смежных помещений и инженерных систем.

Братская ГЭС (ПАО «Эн+ Генерация») – проектные работы по модернизации ГЩУ и систем телемеханики с интеграцией в действующую инфраструктуру.

Эти проекты демонстрируют разнообразие задач и позволяют анализировать подходы к модернизации на реальном опыте, учитывающем технические и организационные сложности. Они подчеркивают необходимость индивидуального подхода к проектированию.

---

[1] Генеральный директор, ООО «НПФ «Перспектива»

Вывод

Единый шаблон модернизации невозможен: каждый объект требует индивидуальных решений. Однако комплексный подход – от предпроектного обследования и проектирования до пошагового ввода – обеспечивает надежность, эргономику, цифровую готовность и долгосрочную эффективность управления гидроэлектростанцией. Такой подход гарантирует устойчивость и развитие энергетической инфраструктуры страны.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГРУППЫ РУСГИДРО

В.А. Кузьмичев[1], А.А. Майоров[2], А.Ю. Захаренков[3], Н.В. Зайцев[4], З.А. Климов[4], М.А. Пашаев[5], А.В. Клименко[3]

Существовавшая в Группе РусГидро до 2023 г. Система оценки технического состояния силовых трансформаторов основывалась на проведении их испытаний в соответствии с РД 153.34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» и расчёте индексов технического состояния (ИТС) согласно Методике оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей. Испытания проводились силами филиалов ПАО «РусГидро» или подрядными организациями, расчет индексов выполнялся Аналитическим центром в филиале АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» (АЦ). Эта системы имела следующие существенные недостатки:

1. Отчеты АЦ выпускались два раза в год. Как результат заинтересованные стороны получали уже неактуальную информацию.
2. ИТС рассчитывались на основе данных, полученных по результатам испытаний после ремонта. При этом терялась информация об истории эксплуатации трансформатора.

В рамках реализации Дорожной карты Программы по развитию системы оценки технического состояния силовых трансформаторов Группы РусГидро на период до 2027 г. (утверждена Протоколом № 281 от 20.03.2023 г.) отделом электротехнического оборудования филиала АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» при поддержке Департамента эксплуатации ПАО «РусГидро» была создана новая Система оценки, лишенная указанных недостатков.

При ее внедрении были решены следующие задачи:

1. Определена Система оценки технического состояния трансформаторного оборудования, включающая подсистемы:

технического учета и анализа технического состояния;

комплексного диагностического обследования.

2. Сформирован новый порядок обмена информацией между участниками Системы.

3. Созданы:

центр технического учета и оценки технического состояния силовых трансформаторов филиалов;

базовая организация по проведению комплексных диагностических обследований силовых трансформаторов и внедрению новых методов их технического диагностирования.

4. Сформирована нормативная база для оценки технического состояния трансформаторного оборудования.

5. Создан Экспертно-аналитический модуль по техническому учету и анализу состояния трансформаторов Системы управления производственными активами сетевого комплекса ПАО «РусГидро».

Опыт применения Системы показал ее эффективность.

---

[1] Канд. техн. наук, доцент, заместитель главного инженера по ЭТО, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[2] Начальник отдела электротехнического оборудования, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[3] Главный эксперт отдела электротехнического оборудования, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[4] Инженер 1-го отдела электротехнического оборудования, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[5] Ведущий инженер отдела электротехнического оборудования, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

ПРАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ И МЕТОДОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ПРОЦЕССЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОАГРЕГАТОВ

В.М. Марьин[1], К.В. Мезинцев[2], А.С. Агасбеков[3]

Доклад сосредоточен на обсуждении современных подходов к системному развертыванию культуры бережливого производства на предприятиях России. В условиях быстро меняющейся технологической среды и растущих требований к надежности и эффективности, важно внедрять инновационные решения и улучшать существующие системы. В рамках доклада эксперты Департамента проектного инжиниринга представят результаты и статус текущих проектов по оптимизации сроков проведения капитальных ремонтов на Чиркейской ГЭС и на Жигулевской ГЭС, а также расскажут новые тренды по внедрению бережливого производства в ремонтную деятельность Группы РусГидро.

[1] Директор Департамента проектного инжиниринга, ПАО «РусГидро»
[2] Начальник Управления производственного инжиниринга Департамента проектного инжиниринга, ПАО «РусГидро»
[3] Ведущий специалист Департамента международного сотрудничества и устойчивого развития, ПАО «РусГидро»

ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА УСЛОВИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

О.А. Муравьев[1], А.М. Дудин[2]

Расход гидротурбины и мощность на валу в зависимости от открытия направляющего аппарата (НА), напора и частоты вращения полностью определяются ее главной универсальной характеристикой, показывающей положение изолиний открытия НА и КПД в поле координат приведенный расход - приведенная частота вращения. Главные универсальные и построенные по ним эксплуатационные характеристики турбины называют статическими в том смысле, что они отражают свойства гидротурбины в определенном статическом режиме, характеризуемом постоянными значениями открытия регулирующих органов, частоты вращения и напора.

Для анализа переходных режимов ГЭС используются динамические характеристики, учитывающие изменение напора от гидроудара и частоты вращения агрегата при регулировании изолированной нагрузки.

Динамические характеристики описывают поведение турбины вблизи данного режима и базируются на линеаризованных уравнениях, связывающих отклонения относительного расхода и относительного вращающего момента с отклонением открытия направляющего аппарата, напора вследствие гидроудара и частоты вращения. Свойства турбины определяются через четыре частные производные, характеризующие изменение расхода и вращающего момента по открытию и приведенной частоте вращения, определяемые по главной универсальной характеристике, и коэффициент передачи турбины, являющийся комплексным показателем, характеризующим изменение расхода турбины в функции изменения напора при сохранении постоянной мощности.

Для расчета гидроудара могут использоваться модели как в жесткой, так и в упругой постановках. Жесткая модель гидроудара дает более простые конечные соотношения.

Аналитические выражения динамических характеристик турбины удобно получить, используя уравнения турбины и уравнение жесткого гидроудара, записанные в преобразованиях Лапласса, через переход от функций времени к функциям комплексной переменной p.

При обратном переходе к оригиналам (переменным времени) и нулевых начальных условиях, что естественно для уравнений, записанных в отклонениях, динамическая характеристика турбины получена в виде

$$\left(k_{q-h}T_w\frac{dm}{dt}+\Delta m(t)\right)=k_{m\alpha}\left(\alpha(t)-K_{\mathrm{T}}T_w\frac{d\alpha}{dt}\right), \quad (1)$$

где $\Delta m(t)$ – отклонение относительного вращающего момента от начального равновесного; $\alpha(t)$ – изменение относительного открытия НА; Tw – постоянная инерции напорного водовода; $k_{q-\alpha}, k_{m-\alpha}, K_{\mathrm{T}}$ – коэффициенты, определяемые по характеристике турбины.

Решение (1) получено для двух характерных отрезков времени:

для зоны линейного изменения открытия НА на конечную величину Δα за время *Ts*;

---

[1] Доктор техн. наук, АО «ВНИИГ им Б.Е. Веденеева», НИУ МГСУ
[2] ПАО «РусГидро»

для зоны после достижения конечного положения открытия НА турбины, в которой происходит снижение гидроудара до нуля.

Полученные динамические характеристики турбины с учетом гидроудара позволяют выполнить оценку показателей качества регулирования мощности.

Решение позволяет выявить два важных показателя качества регулирования нагрузки, являющихся следствием инерционности напорного турбинного водовода.

1. За счет гидроудара вращающий момент сначала изменяется в сторону, противоположную направлению регулирования. Он возрастает, достигая максимума, и только затем начинает снижаться. Максимальное увеличение вращающего момента (мощности) и время запаздывания, в течение которого мощность превышает начальное значение, пропорциональны T_W.

2. После достижения конечного открытия вращающий момент турбины еще не достигает конечного значения и приходит к нему через некоторое время, определяемое согласно полученному решению, по экспоненте. Полученное аналитическое решение позволяет определить как значение вращающего момента (мощности) к концу закрытия направляющего аппарата, так и время прихода к конечному установившемуся режиму.

НОРМАТИВНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, КАСАЮЩИЕСЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ГЭС ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

О.А. Муравьев[1], А.М. Дудин[2], А.Н. Хмелев[2], Д.С. Савченков[3]

При проектировании установленная мощность ГЭС определяется на основании водно-энергетических расчетов и обосновывается экономически через значение дублируемой составляющей. В стандарте [1] установленная мощность определена как суммарная активная мощность генераторов станции.

Опыт проводимой на ГЭС реконструкции с заменой основного оборудования показывает, что она сопровождается увеличением мощности как турбин, так и гидрогенераторов. Увеличение мощности турбин достигается за счет роста КПД, в ряде случаев – максимального расхода и расчетного напора турбин. Результатом является увеличение установленной мощности ГЭС, что является важным, поскольку позволяет получить дополнительные выгоды от продаж на оптовом рынке.

В постановлениях правительства РФ [2] и ГОСТ [3] показатель установленная мощность относится к основному оборудованию – гидроагрегату ГЭС и определяется как электрическая мощность, с которой энергоустановка может работать длительное время. Величина этой мощности определяется по результатам испытаний генерирующего оборудования с максимальной возможной мощностью, но не более номинальной мощности генератора.

В практике эксплуатации максимальную мощность гидроагрегатов после реконструкции иногда ограничивают режимом номинальной мощности турбины при расчетном напоре. Однако, для поворотно-лопастных турбин, турбинными заводами предусматривается возможность работы с более высокими мощностями при напорах выше расчетного. В паспорте ПЛ турбины в этом случае указываются две мощности: номинальная и максимальная, которая может быть на 10–17 % выше. Номинальная мощность согласно ГОСТ [4] соответствует режиму наибольшей нагрузки при расчетном напоре, а максимальная мощность ограничена номинальной мощностью генератора и достигается при напоре выше расчетного. На эксплуатационной характеристике в этом случае наносятся три линии ограничения. Линия 1, в области напоров менее расчетного, является линией максимального открытия направляющего аппарата (НА). Линия 2, в области напоров выше расчетного, построена для условий уменьшения открытия по мере роста напора. При движении вдоль линии 2 расход снижается, но происходит увеличение мощности, как за счет роста напора, так и за счет увеличения КПД турбины. Линия ограничения 3 соответствует максимальной мощности турбины, определяемой номинальной мощностью генератора.

Режим номинальной мощности турбины при расчетном напоре, (точка перелома между линиями ограничения 1 и 2) является важным по нескольким критериям:

в этом режиме достигается максимальное открытие направляющего аппарата и максимальный (расчетный) расход турбины;

этот режим требует наибольшего заглубления РК под нижний бьеф по условиям отсутствия кавитации;

---

[1] АО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева», НИУ МГСУ
[2] ПАО «РусГидро»
[3] АО «Загорская ГАЭС-2»

в этом режиме достигается наибольшее повышение частоты вращения агрегата при сбросах нагрузки.

Недопустимо эксплуатировать турбину с максимальным открытием НА при напорах выше расчетного. Однако, сказанное не относится к линии ограничения 2, которая построена по условию уменьшения открытия НА с ростом напора. При движении вдоль этой линии кавитационные условия улучшаются и снижается значение максимальной частоты вращения при сбросах нагрузки. То же относится и к линии ограничения 3.

При оценке возможности достижения мощностей турбины, превышающих номинальную, следует иметь в виду, что расчетный напор имеет высокую обеспеченность в расчетном ряду лет. Обеспеченность напоров и соответственно мощностей на линии ограничения 2 будет убывать по мере их роста. Однако, при анализе важно учитывать длительность работы турбин с напорами, превышающими расчетный. Соответствующим статистическим показателем является плотность распределения, рассчитываемая по длительности фактической работы ГЭС с различными напорами. Пример 5-летнего периода фактической эксплуатации для крупной русловой ГЭС показал, что напоры в диапазоне (1,12–1,15)Нр, при обеспеченности 65 % имеют максимальное значение плотности распределения (на уровне 60 %). То есть, ГЭС работает с этими напорами 60 % времени периода эксплуатации. Потенциально, турбины в этот период могут нести нагрузку 110–112 % от номинальной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Опыт проводимой на ГЭС реконструкции с заменой основного оборудования показывает, что она сопровождается увеличением мощности как турбин, так и гидрогенераторов. Увеличение мощности турбин достигается за счет роста КПД, в ряде случаев – максимального расхода и расчетного напора турбин.

2. Согласно нормативным документам, номинальная мощность турбины соответствует режиму наибольшей нагрузки при расчетном напоре, тогда как номинальная мощность генератора может достигаться при напорах выше расчетного, что открывает возможности для турбины работать с мощностями выше номинальной.

3. Линии ограничения эксплуатационной характеристики турбины для напоров, превышающих расчетный, назначаются турбинными заводами с учетом необходимого кавитационного запаса и удовлетворения гарантиям регулирования при сбросах нагрузки.

4. Анализ фактических эксплуатационных режимов крупной русловой ГЭС показал, что турбины работают 60 % времени периода эксплуатации с напорами (1,12–1,15) Нр и имеют возможность нести нагрузку до 112 % от номинальной, в результате:

ГА работают на протяжении всего периода, не используя имеющиеся резервы своей мощности;

вложенные инвестиции не оправдываются полностью;

в дефицитных энергосистемах или в аварийных ситуация в целях обеспечения надежности, системный оператор не имеет возможности использовать в полной мере резервы ГА ГЭС;

использование имеющихся резервов ГЭС и положительный экономический эффект от увеличения установленной мощности, должны стимулировать замену (обновление) электротехнического оборудования, увеличение пропускной способности сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 17330282.27.140.011-2008 «Гидроэлектростанции. Условия создания. Нормы и требования».

2. Постановление правительства РФ № 937 «Правила технологического функционирования электроэнергетических систем».

3. ГОСТ Р 55260.2.1-2022. Гидроэлектростанции. Гидрогенераторы. Технические требования к поставке.

4. ГОСТ Р 55260.3.1-2022. Гидроэлектростанции. Гидротурбины. Технические требования к поставке.

КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ 35 И 220 КВ САРАТОВСКОЙ ГЭС

С.В. Нестеров[1], А.В. Косоруков[2]

В ходе мониторинга перенапряжений, выполненного в 2023 году подрядной организацией с помощью емкостных делителей, верхним плечом которых служила изоляция, был сделан вывод о наличии опасных по величине высокочастотных коммутационных перенапряжений (ВЧКП). Расчеты ВЧКП, проведенные с целью разработки проектных решений по их ограничению, показали отсутствие сходимости с результатами измерений.

Анализ распределения электрического поля в условиях ОРУ показал, что одновременное воздействие на датчики системы мониторинга, установленные у грунта, полей разных фаз приводит к увеличению регистрируемого уровня перенапряжений в 2–3 раза. В ходе экспериментальных работ наличие данного эффекта было подтверждено, были показаны способы размещения датчиков, снижающих погрешности измерений. Экспериментально установлено значительное влияние способа заземления измерительной цепи на результаты измерений на кабельных муфтах 220 кВ трансформаторов ГЭС.

Выполненные работы по измерению перенапряжений, анализу способов размещения измерительной аппаратуры и учету конструкций электроустановок показали отсутствие опасных для изоляции перенапряжений.

[1] Главный специалист отдела электротехнического оборудования, АО «Ленгидропроект»
[2] Начальник электролаборатории отдела электротехнического оборудования, АО «Ленгидропроект»

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ВЫСОКОДИСКРИТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

М.О. Перцевой[1], А.А. Ачитаев[2]

Применение технологии синхронизированных векторных измерений (СВИ) позволило проводить мониторинг режимов работы Единой энергетической системы (ЕЭС), переходных процессов в ЕЭС, а также точечно определять источники незатухающих колебаний: высокоамплитудные длительные низкочастотные колебания (НЧК) и синхронные качания. Кроме того, на основании данных СВИ инженерному центру «Энергосервис» стало возможным создать систему мониторинга силовых трансформаторов (СМСТ), которая позволяет: проводить непрерывное измерение, регистрацию, преобразование и отображение диагностических параметров силового трансформатора (СТ); определять техническое состояние СТ; прогнозировать остаточный ресурс СТ, оптимизировать проведение регламентных диагностических работ и обеспечить переход к ремонту по состоянию. СМСТ позволяет измерять фазные напряжения и токи в комплексном виде и частоту сети. Но ввиду недостаточной частоты дискретизации (50 кадров в секунду) технология СВИ не позволяет идентифицировать такие колебания, как высшие гармоники. Также технология СВИ не позволяет точно классифицировать повреждение. Кроме того, при разработке предиктивной модели на основе технологии СВИ необходимая точность модели может быть не достигнута. Помимо перечисленных проблем, необходимо производить расчёт параметров схемы замещения (СЗ) СТ в режиме реального времени. Именно поэтому была разработана технология continuous point on wave (CPOW), которая является производной технологии СВИ. На данный момент CPOW в России внедряется компанией «Энергосервис» в многофункциональное устройство ESM. Отличие между данными технологиями заключается в частоте дискретизации данных – частота дискретизации данных CPOW составляет 512-10000 измерений в секунду. Именно за счёт высокой дискретизации данных технология CPOW позволит расширить возможности СВИ. В статье описана значимость применения технологии CPOW для СМСТ.

Анализ проблематики

Поскольку при помощи СМСТ на базе СВИ невозможно четко классифицировать высшие гармоники, то возникновение дефекта изоляции СТ не может быть определено персоналом. Повреждение изоляции СТ приводит к пробою изоляции, коротким замыканиям (КЗ), пожару стали, несимметричному режиму работы сети. Также при эксплуатации СТ происходит изменение его параметров СЗ, которые необходимо уточнять. Изменение режимных параметров может привести к увеличению потерь на холостой ход (ХХ), изменению напряжения КЗ и, соответственно, нарушению условий параллельной работы СТ. Также стоит отметить, что при переходе к ремонту по состоянию для определения дефектов необходима точная модель, в про-

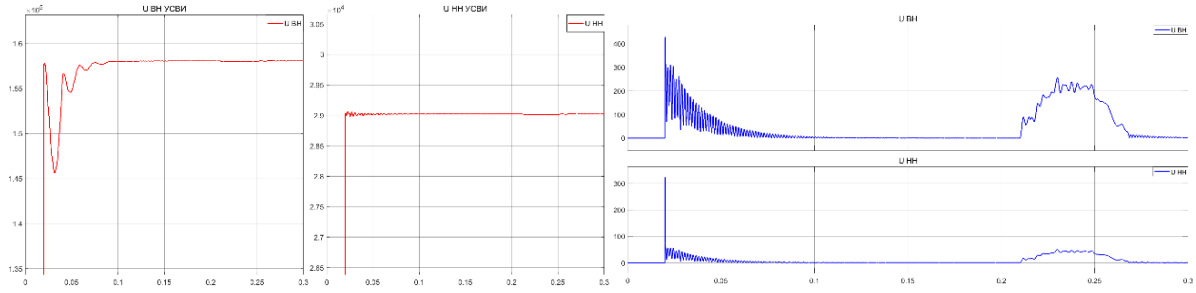
[1] Студент 4 курса, СШФ СФУ

[2] Канд. техн. наук, доцент кафедры ГГЭЭС, ведущий специалист управления развития гидроэнергетики Департамента инноваций ПАО «РусГидро»

тивном случае неточная модель может привести либо к ложному оповещению персонала о дефекте, либо к необнаружению дефекта, следовательно, к аварийному останову СТ и экономическим потерям. Система СРОW, безусловно, за счёт высокой частоты дискретизации позволяет решить данные проблемы. Но проблема СРОW заключается в том, что высокая частота дискретизация приводит к большим потокам данных, которые на данный момент передавать невозможно. Для исключения данного недостатка необходимо использовать математическую обработку цифровых сигналов. Стоит отметить, что необходимо разрабатывать нормативную документацию для внедрения технологии СРОW, а также проработать вопрос о внедрении данной технологии для АО «СО ЕЭС».

Анализ эффективности СРОW. Тесты, проводимые в математической модели Matlab

На рисунке представлены результаты измерения УСВИ и СРОW по напряжению со стороны высокого и низкого напряжений СТ.



Измерения УСВИ и СРОW по напряжению СТ

Исходя из рисунка, до момента 0,1 с УСВИ был зафиксирован бросок токонамагничивания (БТН), но при этом дефект изоляции не был обнаружен. Исходя из рисунка, измерения СРОW со стороны высокого и низкого напряжений СТ показали детализированный процесс БТН, а также был зафиксирован дефект изоляции в промежутки времени 0,21–0,26 с.

Выводы

В статье представлены результаты исследований внедрения технологии СРОW для СМСТ. Были исследованы характер БТН СТ и дефект изоляции, показаны возможности, благодаря которым технология СРОW позволяет дополнить СМСТ. Результаты исследований и проведённых тестов утверждают об эффективности расширения возможностей СМСТ при помощи технологии СРОW.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС

В.В. Плетнёв[1]

Богучанская ГЭС – станция с выработкой до 3ГВт, для которой с 2010 г. силами ООО «Ракурс-инжиниринг» производился и внедрялся целый ряд программно-технических комплексов от систем автоматического управления (САУ) всех гидроагрегатов и общестанционных систем до собственно верхнего уровня (ВУ), который объединил в себе функции централизованного контроля и управления ими всеми.

ВУ АСУТП – это совокупность программного обеспечения (ПО) и комплекса технических средств (КТС). Требования к ним определяются не только нормативными требованиями отрасли и технологическим процессом, но и индивидуальными особенностями объекта внедрения. Тщательное обследование – самый первый обязательный шаг для сбора актуальной информации о состоянии систем и потребностях эксплуатации, независимо от априорных знаний. Кроме того, станционный верхний уровень является неотъемлемой частью энергетического объекта. Даже кратковременная недоступность информации о ходе технологического процесса неприемлема. В связи с этим, внедрение совершенно новых КТС и ПО требует проектного подхода к самому процессу внедрения для бессбойного и успешного исполнения перехода.

Сегодня модернизация ВУ – это не просто замена морально устаревшей вычислительной техники. За последние годы на новый уровень вышли требования к информационной безопасности. Государственные требования по обеспечению технологической независимости приводят не просто к смене поставщиков, но к реинжинирингу КТС и к практически полной смене всего ПО.

Последнее оказывается областью наибольшей трудоёмкости и рисков. Необходимо не просто повторить и улучшить существующие реализации, но и освоить новые инструменты, преодолеть их незрелость и взаимную несовместимость, реинтегрировать предопределённые прежними решениями входные и выходные объёмы данных в принципиально отличные средства обработки. В зависимости от возможностей интегратора и условий проекта делается выбор между покупными продуктами и разработкой собственных. Мы выбрали второй путь – используем и развиваем программный комплекс «Раскада». Так удаётся обеспечить архитектурную преемственность и независимость от третьей стороны в решении возникающих сложностей и реализации новых потребностей заказчика. Заказчик получает систему, максимально адаптированную под его нужды, без лицензионных ограничений в рамках поставки, знакомую уже по отдельным компонентам и хорошо себя зарекомендовавшую.

---

[1] Архитектор программного обеспечения верхнего уровня, ООО «Ракурс-инжиниринг»

ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ГИДРОАГРЕГАТОВ

А.Н. Прокопенко[1]

Как показывает опыт, несмотря на улучшение энергетических характеристик турбин за счет совершенствования лопастных систем, улучшение технологии изготовления и применение новых материалов проблема повышенных вибраций опорных узлов и сегодня остается актуальной. Но особенно это актуально для оборудования, изготовленного еще в советские годы, которое продолжает эксплуатироваться, несмотря на его солидный возраст. Поэтому диагностирование технического состояния гидроагрегата на основе анализа вибрационного состояния его опорных узлов и выявление на ранней стадии зарождающихся дефектов является важнейшим условием обеспечения надежной работы оборудования.

Отмечается, что вибрации опорных узлов гидроагрегатов с радиально-осевой и осевой турбиной отличаются по частотному составу. Если для агрегатов с радиально-осевыми колесами наибольшее значение имеют колебания с оборотной, низкочастотной, «жгутового» происхождения, и колебания с собственными частотами, вызываемые ударными нагрузками на частичных мощностях, то для агрегата с поворотно-лопастной турбиной превалирующими являются колебания с оборотной, двойной оборотной, лопастной, а в ряде случаев, двойной лопастной частот.

Показано, что оценка вибрационного состояния опорных узлов гидроагрегата, а также установка предупредительной и аварийной уставок стационарных систем должны производиться с учетом частотного состава вибрации и не могут ограничиваться только величинами среднеквадратического отклонения или средним размахом виброперемещения.

Отмечается, что более высокочастотные колебания опорных узлов с лопаточной, частотой вихрей Бенара-Кармана имеют в виброперемещениях незначительный уровень и не оказывают влияния на общий уровень вибрации узлов, однако, учитывая их влияние на усталостную прочность элементов турбины, учет этих колебаний, несмотря на их незначительный уровень, обязательно должен производиться.

В общем случае вибрация опорных узлов гидроагрегата зависит от трех факторов: жесткости опорных узлов, конструктивной схемы агрегата и действующих в агрегате сил. Учитывая, что конструктивная схема агрегата и жесткости опорных узлов закладываются на стадии проектирования, изготовления и монтажа оборудования и, в большинстве случаев, не могут быть изменены при эксплуатации гидроагрегата, основное внимание должно быть уделено снижению действующих сил и вызываемых ими нагрузок, величины которых сильно зависят от мощности (расхода воды) и напоров на ГЭС. Причем наиболее актуальным в гидротурбинах являются вибрации, вызываемые силами гидравлического происхождения, которые сильно зависят от режима работы гидротурбины и проявляются в широком диапазоне частот: от частот менее 1,0 Гц до сотен Гц.

В то же время, часто при проведении испытаний регистрируется общий уровень вибрации и выделяются 2-3 частотных диапазона без выделения основных частотных составляющих вибраций, что явно недостаточно для диагностирования состояния агрегата.

Следует также подчеркнуть, что и установка аварийной и предупредительной уставки вибрации направляющих подшипников в стационарных системах также должна учитывать частотный состав вибрации, а не привязываться только к оборотной частоте, как это предписывает веденный недавно ГОСТ Р 70810-2023.

---

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ КРЫШКИ ТУРБИНЫ ВИЛЮЙСКОЙ ГЭС-1 «НПО ЦКТИ»

Н.В. Пуцын[1], А.В. Коструба[2]

Вилюйская ГЭС-1 введена в эксплуатацию в 1968 г. На ней было установлено 4 гидроагрегата с поворотно-лопастными турбинами типа ПЛ-70-В-410 мощностью 87 МВт. Начиная с 2014 г., на станции отмечались повреждения резьбовых отверстий под шпильки и самих шпилек крепления крышки турбины № 1 к фланцу верхнего статорного кольца. Во время капитального ремонта в 2024 г. было решено модернизировать узел крепления крышки турбины для обеспечения надежной работы гидроагрегата и снижения затрат на регулярные замены поврежденных шпилек.

В результате анализа технической и ремонтной документации по гидроагрегату ст. № 1, а также проведенного визуально-инструментального осмотра и контроля поврежденных частей гидротурбины, было установлено, что причиной разрушения узла крепления крышки турбины являлись не нагрузки со стороны проточного тракта, а допущенные в предыдущие капитальные ремонты повреждения резьбовых отверстий статорного кольца.

На основе собранных данных был проработан и предложен руководству Вилюйской ГЭС ряд возможных вариантов технологических решений по восстановлению узлов крепежа крышки турбины гидроагрегата ст. № 1. Все предложенные варианты допускали возможность реализации силами ремонтных организаций на месте без существенного увеличения сроков капитального ремонта. Они были оценены с точки зрения оптимальности конструкторско-технологического решения, исходя из условий обеспечения дальнейшей надежной работы оборудования, условий выполнения ремонтно-восстановительных работ в условиях ограниченности доступа в прочной части, а также наименьшей трудоемкости каждого решения и с учетом сжатых сроков выполнения ремонтных работ.

«НПО ЦКТИ» был обоснован оптимальный вариант конструкторско-технологического решения модернизации узла крепления крышки турбины к фланцу верхнего кольца статора, который был принят и утвержден руководством Вилюйской ГЭС-1 для реализации. В дальнейшем было проведено прочностное обоснование этого варианта с учетом внесенных изменений в конструкцию, которое показало обеспечение надёжности всего соединения.

На завершающем этапе была разработана конструкторская документация на изготовление нового узла крепления крышки турбины с фланцем верхнего статорного кольца, а также руководство по ремонту и монтажу. В результате работоспособность и ремонтопригодность узла была полностью восстановлена и обеспечена надежная работа гидротурбинного оборудования Вилюйской ГЭС.

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

[2] Зав. лабораторией разработки гидроэнергетического оборудования для проектируемых и реконструируемых ГЭС и ГАЭС, ОАО «НПО ЦКТИ»

БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ПАВ-ТЕРМО В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ШКАФАХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

К.А. Строганов[1], Б.Н. Люлин[2], В.А. Шубарев[3]

Растущая цифровизация, внедрение технологий IoT, Blockchain требуют использования новых технологий нано- и микросистемотехники, исключающих (или уменьшающих) влияние «человеческого фактора», обеспечивающих постоянный надёжный on-line мониторинг удалённого, труднодоступного электрооборудования. Одной из таких технологий является технология наноакустоэлектроники, в частности технология на эффекте поверхностных акустических волн (ПАВ). Постоянно увеличивается потребление электроэнергии и растёт необходимость обеспечения надёжного снабжения электроэнергией потребителей. По статистике, ≈27 % пожаров возникают из-за нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования и около 30 % приходится на нарушения в сельской местности, причем аварии в электросетях становятся здесь уже преобладающей причиной. Статистика фирмы Siemens показывает, что ежегодно в Германии регистрируется ≈600000 случаев повреждений, возникших по причине пожара. Создание беспроводных систем мониторинга температуры на базе пассивных радиоканальных контактных датчиков температуры с функцией радиочастотной идентификации (системы ПАВ-Термо) является актуальной задачей для энергетики.

Датчики температуры на ПАВ, входящие в состав системы, имеют следующие конкурентные преимущества:

датчики абсолютно пассивные (без источников питания);

опрос датчиков осуществляется по радиоканалу на расстоянии от 0,1 до 4 м, которое соответствует требованиям Правил устройства электроустановок;

точность определения температуры (±4ºС), что достаточно для определения аварийных ситуаций;

широкий диапазон контролируемых температур от –40 ºС до +120 ºС;

возможность идентификации точки измерения температуры по радиочастотному идентификационному коду датчика для определения местоположения точки измерения;

высокая радиационная стойкость. Датчики на ПАВ, в отличие от датчиков на основе полупроводников, невосприимчивы к ионизирующему излучению и поэтому могут постоянно использоваться в зоне облучения.

Системы ПАВ-Термо являются одним из элементов функционирования интеллектуальных электрических сетей (Smart Grids), предназначенных для обеспечения безопасности и энергоэффективности в электроэнергетике. Ряд систем прошли опытную эксплуатацию в ОАО «РЖД» (г. Волхов), Санкт-Петербургском метрополитене. С 2020 по 2023 гг. в ПАО «Россети Сибирь» (г. Омск) комплектами ПАВ-Термо-В были оборудованы контактные соединения (КС) выключателей ячеек 10 кВ двух фидеров. За время непрерывной работы проведены анализ

[1] Канд. техн. наук, начальник отдела микросистемотехники и РЧИД, ОАО «Авангард»
[2] Советник директора по развитию, ОАО «Авангард»
[3] Доктор техн. наук, научный руководитель, ОАО «Авангард»

нагревов КС в момент максимальных нагрузок и оценка состояния КС по полученным статистическим данным.

Результаты показывают возможность использования систем не только в целях обеспечения безопасности движения и работы оборудования метрополитена, железной дороги, но и online мониторинга потребления электроэнергии. Система позволяет контролировать температуру и перегревы КС в шкафах, хранить эту информацию на сервере, заблаговременно планировать ремонты для исключения аварий и пожаров.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫБОРА ОСНОВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОПУСКА И ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

И.В. Толмачев[1]

Задача выбора основного энергетического оборудования состоит в определении его типов и параметров, которые обеспечивали бы, при выполнении всех требуемых ограничений, развитие энергосистемы за счет проектируемой ГЭС с минимальными затратами на строительство и максимальной прибылью при эксплуатации.

Технико-экономическое обоснование оптимального варианта основного оборудования выполняется путем анализа всех возможных его вариантов. Выбранные параметры оборудования должны обеспечивать эксплуатацию агрегатов и станции в целом с наибольшим КПД.

Необходимо стремиться к выбору минимального числа агрегатов при возможно большей мощности каждого из них, что приводит к увеличению коэффициента полезного действия, уменьшению стоимости и сроков изготовления.

Также необходимо удовлетворение требований водохозяйственного комплекса (ВХК) по обеспечению минимального расхода воды в нижнем бьефе, что может привести к снижению мощности агрегата, увеличению их числа или установке дополнительного агрегата для обеспечения водохозяйственного попуска. Это вызывает, как правило, значительное увеличение затрат в рассматриваемом проекте ГЭС. В качестве альтернативного варианта для обеспечения водохозяйственного попуска целесообразно исследовать работу ГЭС в области главной универсальной характеристики с пониженным КПД. В этом случае возможно выполнить требования ВХК без установки дополнительных агрегатов.

Оптимальный вариант основного энергетического оборудования ГЭС должен быть выбран на основе технико-экономического обоснования.

[1] Главный эксперт, АО «УК ГидроОГК»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Гидравлика ГТС и гидрологические исследования

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ УСЛОВИЙ РАБОТЫ КРЕПЛЕНИЙ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ЗА ВОДОСБРОСНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

М.В. Алексеевская[1], А.М. Кудлаев[2], Г.А. Судольский[3], А.В. Шиляев[4]

В докладе обобщены результаты экспериментальных гидравлических исследований для обоснования условий отброса струи с носка-трамплина и конструкций креплений берегов русла. При проведении исследований рассматривались условия сопряжения бьефов для схемы работы с отбросом струи с носка-трамплина, определялись деформации русла и гидродинамическое воздействие потока на берега русла.

По результатам исследований разработаны рекомендации по обеспечению безопасных условий сопряжения бьефов при эксплуатации сооружений, а также по конструкции крепления береговых откосов отводящих каналов.

[1] Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Главный эксперт Управления по проектам НИОКР и энергоэффективности Департамента технического регулирования, ПАО «РусГидро»
[3] Канд. техн. наук, зав. лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[4] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ СОПРЯЖЕНИЯ БЬЕФОВ ПРИ ОТБРОСЕ СТРУИ

М.В. Алексеевская[1], Г.А. Судольский[2], А.В. Шиляев[3]

В докладе обобщены результаты экспериментальных гидравлических исследований для обоснования конструкций выходных участков туннельных водосбросов. При проведении исследований рассматривались условия течения на выходном участке и носке-трамплине, условия сопряжения бьефов при отбросе струи и гашении энергии потока в водобойном колодце в широком диапазоне сбросных расходов.

В результате исследований определены параметры потока на тракте быстротока и в нижнем бьефе, оценено гидродинамическое воздействие потока на дно водобойного колодца и крепления берегов реки. Дана оценка размывов русла и режима течения в нижнем бьефе.

[1] Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Канд. техн. наук, зав. лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[3] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТА ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ НИЖНЕ-ЗЕЙСКОЙ ГЭС

М.В. Алексеевская[1], А.Ш. Мусаев[2], О.А. Петров[3], Г.А. Судольский[4], А.В. Шиляев[5]

В докладе приведены результаты гидравлических исследований поверхностного и донного водосбросов проектируемой в настоящее время Нижне-Зейской ГЭС.

Исследования выполнялись на фрагментарной физической модели масштаба 1:40 (воспроизведен один пролет поверхностного и два пролета донного водосбросов) и на пространственной физической модели масштаба 1:100 (воспроизведены сооружения в створе гидроузла и подводящий и отводящий участки реки), а также на математической модели.

При проведении исследований были рассмотрены условия пропуска расходов через тракт поверхностного и донного водосбросов, а также работа поверхностного водосброса в строительный период при устройстве «гребенки».

В результате проведенных исследований определены: пропускная способность водосбросов, уровни воды и скорости течения в водобойном колодце, гидродинамическое воздействие потока на плиты колодца.

Результаты исследований будут реализованы при разработке проектной документации Нижне-Зейской ГЭС.

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

[2] Канд. техн. наук, зам. главного инженера, АО «Ленгидропроект»

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

[4] Канд. техн. наук, зав. лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

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

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ НОСКОВ-ТРАМПЛИНОВ НА ПАРАМЕТРЫ МЕСТНЫХ РАЗМЫВОВ

С.А. Анисимов[1]

Известно, что многие высоконапорные ГТС, расположенные на скальном основании, проектируются и строятся по так называемой схеме с отбросом струи и гашением энергии в яме размыва. Значительные увеличения габаритов воронки (ямы) размыва в нижнем бьефе сооружений могут привести к повреждениям ограждающих конструкций (таких как разделительные стенки и устои) в нижнем бьефе, также недопустимо расположение воронки близко к подножью водосброса. Габариты воронки напрямую зависят от траектории и структуры струи, отбрасываемой с носка водосброса или быстротока такого гидроузла. Проектирование сооружений нижнего бьефа гидроузла, за которым принято сопряжение бьефов с отбросом струи от плотины, требует определения места ее наибольшего воздействия на дно русла и берега. Прогнозируемое положение места падения отброшенной струи может определять длину ограждающих стен крепления берегов, положение концевой части раздельной стены между отводящими каналами водосбросной плотины и ГЭС.

Важным параметром при проектировании является расчет, выбор и обоснование оптимальной конструкции оконечного сооружения водосброса плотины или быстротока, так называемого носка-трамплина.

Работа по подбору и гидравлическому обоснованию таких трамплинов проводилась с помощью физических моделей с использованием теоретических расчетов и математического моделирования. Были рассмотрены варианты с цилиндрическим и рассеивающим носком-трамплином.

В процессе проведения экспериментальных работ оценивались, прежде всего, такие параметры:

струи: дальность отброса, ширина, траектория, поведение струи в воздухе;

нижнего бьефа: влияние струи на скорости и направления векторов течения;

дна и берегов: параметры образуемой воронки размыва, образование бара и его влияние на подпор здания ГЭС, оценка гидродинамических воздействий на дно и откосы берегов.

В процессе экспериментальной работы была проведена сравнительная оценка размыва дна в нижнем бьефе при отбросе потока с трамплинов с различными углами схода как цилиндрических, так и рассеивающих, определены осредненные и пульсационные составляющие мгновенного гидродинамического напора.

По результатам исследований разработаны рекомендации для оптимального проектирования водосбросных сооружений с отбросом струи.

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

ОЦЕНКА ДОСТАТОЧНОСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ Р. СЕЙМ, ВОДОЁМА-НАКОПИТЕЛЯ И ВОДОЁМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ АЭС

Н.С. Бакановичус[1]

Строительство Курской АЭС-2 предусмотрено в утверждённом в ноябре 2013 г. Правительством РФ документе – «Схема территориального планирования РФ в области энергетики». Целью строительства Курской АЭС-2 является замещение энергоблоков № 1 и № 2 Курской АЭС после окончания срока их эксплуатации. Система охлаждения основного оборудования энергоблоков Курской АЭС-2 оборотная с использованием в качестве охладителей башенных градирен. В качестве источника технического водоснабжения проектом предусмотрена организация системы водоёмов «водохранилище–охладитель–головной бьеф–водоём–накопитель», а восполнение потерь воды в системе водоёмов на испарение, унос и продувку градирен предусматривается системой технического водоснабжения с отбором воды из р. Сейм. Сброс продувочной воды при эксплуатации четырёхблочной Курской АЭС-2 предполагается осуществлять частично в р. Сейм (от трёх энергоблоков) и частично – в систему водоёмов (от одного энергоблока).

Ввод энергоблоков Курской АЭС-2 будет проходить поочерёдно, а именно:

ввод в эксплуатацию энергоблоков № 1 и № 2 Курской АЭС-2 и завершение работы энергоблоков № 1 и № 2 Курской АЭС;

последующий ввод в эксплуатацию энергоблоков № 3 и № 4 Курской АЭС-2 и завершение работы энергоблоков № 3 и № 4 Курской АЭС.

С учётом очерёдности ввода и вывода из эксплуатации энергоблоков Курской АЭС-2 и Курской АЭС в рамках исследований рассматривались 7 режимов работы станций.

При выполнении исследований были решены следующие задачи:

проведён сбор, систематизация и анализ актуальных исходных данных для выполнения работы;

проведены водохозяйственные расчёты для оценки достаточности водных ресурсов р. Сейм и системы водоёмов при эксплуатации Курской АЭС-2 (для всех 7-ми режимов работы станции) в различных гидрологических и метеорологических условиях;

разработана численная модель гидравлики потока, массо- и теплопереноса для системы водоёмов Курской АЭС-2 и участка канализированного русла р. Сейм;

проведён комплекс численных расчётов распространения гидрохимических примесей и термического загрязнения в р. Сейм при осуществлении сброса в него продувочной воды от энергоблоков №№ 1-3 Курской АЭС-2;

проведён комплекс численных расчётов распространения гидрохимических примесей и термического загрязнения в водоёме-охладителе при осуществлении сброса в него продувочной воды от энергоблока № 4 Курской АЭС-2;

проведены численные расчёты по прогнозу гидрохимического и термического режимов системы водоёмов станций;

---

[1] Канд. техн. наук, зав. лабораторией «Ледотермика и термика водоёмов», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

проведён количественный прогноз качества технологической воды в точке поступления её из водоёма-накопителя в открытый подводящий канал к насосной станции;

рассчитаны водно-химические балансы водоёма-охладителя и водоёма-накопителя для всех рассматриваемых режимов работы Курской АЭС-2;

разработаны проекты нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты (для р. Сейм и водоёма-охладителя) для всех рассматриваемых режимов работы Курской АЭС-2.

По результатам проведённых исследований:

разработаны принципы регулирования уровенного режима системы водоёмов как при их раздельной работе, так и при наличии гидравлической связи между всеми водоёмами системы;

определена достаточность водных ресурсов р. Сейм для поддержания как раздельной, так и совместной работы системы водоёмов в условиях эксплуатации станций на всех рассматриваемых режимах;

определены плановые местоположения точек сброса продувочной воды и подпиточной воды;

подтверждена эффективность рассеивающего водовыпуска в р. Сейм;

подтверждено соблюдение всех требований (технологических, рыбохозяйственных, гигиенических), предъявляемых к качеству воды в точках забора, сброса и 500-метровом контрольном створе (радиусе).

ГИБРИДНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ АЭС

Н.С. Бакановичус[1], А.А. Лялина[2]

Атомные электростанции (АЭС), строительство которых предусмотрено в рамках замещения мощностей действующих АЭС, проектируются с оборотной системой охлаждения основного оборудования каждого блока, в которой в качестве охладителя используются башенные испарительные градирни (БИГ). В качестве источника технического водоснабжения для проектируемых АЭС рассматриваются существующие водоёмы, служащие водохранилищами-охладителями для станций, энергоблоки которых выводятся из эксплуатации. При использовании в качестве охладителя БИГ появляется необходимость сброса в водные объекты продувочной воды БИГ, которая является источником не только термического, но и гидрохимического загрязнения. В связи с вышеуказанным при научном обосновании возможности размещения проектируемых АЭС на существующих водных объектах, помимо оценки прогнозного гидрологического, гидравлического, термического, ледотермического и литодинамического режимов, необходимо проведение работ по прогнозированию гидрохимического режима водоёма в условиях постоянного сброса в него продувочной воды БИГ энергоблоков проектируемой АЭС.

В рамках проведения научных исследований по прогнозированию гидрохимического режима водоёма в условиях сброса в него продувочной воды БИГ необходимо оценить качество продувочной воды, качество воды в водохранилище в 500-метровом контрольном радиусе от точки сброса продувочных вод, качество в точке забора технологической воды. Полученные результаты по качеству воды в контрольных точках водоёма необходимо сравнить с действующими экологическими нормативами и требованиями, предъявляемыми к качеству технологической воды и разработать рекомендации по вариантам расположения точек сброса продувочной воды и забора технологической воды, а также по конструкции водовыпуска для исключения нарушений экологических и технологических требований.

Для достижения поставленной цели при проведении научно-исследовательской работы (НИР) выполнялись: сбор и анализ исходной информации о гидрохимическом режиме водохранилища и впадающих в него водотоков, а также о технологических процессах, в результате которых формируется качество продувочной воды; определение всех статей водно-солевого баланса водохранилища в период эксплуатации проектируемой АЭС; проведение водно-солевых балансовых расчётов на перспективу работы проектируемой АЭС (70–80 лет работы станции в зависимости от требований проектировщика); выполнение численного моделирования распространения загрязняющих веществ при сбросе продувочной воды и качества воды в водохранилище для одного-двух выбранных химических элементов для характерных по водности лет (средний и маловодный годы); с использованием результатов водно-солевых балансов и математического моделирования (гибридный подход) определение качества технологической воды, сбросной продувочной воды и воды в водохранилище в 500-метровом контрольном створе;

[1] Канд. техн. наук, зав. лабораторий «Ледотермика и термика водоёмов», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Главный специалист группы «Водохозяйственные расчёты и разработка правил использования водохранилищ», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

оценка качества воды в контрольных точках на соответствие экологическим и технологическим требованиям; разработка проекта нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей (проект НДС).

В качестве исходных данных для выполнения работ служат: компоновочные решения по расположению точек забора и сброса (могут быть откорректированы по результатам выполнения работы для соблюдения предъявляемых к качеству воды требований); перечень рассматриваемых химических элементов (определяется проектировщиком); величины приходных и расходных статей водно-солевого баланса (принимаемые по результатам водохозяйственных расчётов); начальное качество воды в водном объекте (по данным гидрохимических наблюдений на водохранилище за последние годы); качество воды приходных и расходных статей водно-солевого баланса (по данным гидрохимических наблюдений на притоках к водохранилищу, а также по данным об изменении качества забираемой воды в результате технологических процессов).

Для водно-солевых балансов создавался расчётный файл, позволяющий пользователю выбирать любой из рассматриваемых химических элементов и в качестве результатов получать непрерывный ряд водно-солевых балансов на весь рассматриваемый период функционирования АЭС (70–80 лет), а также графическое представление о колебаниях качества воды в водохранилище за рассматриваемый период. По результатам водно-солевых балансовых расчётов возможно определение средней по водохранилищу концентрации для любого химического элемента в любой момент времени в рамках рассматриваемой дискретности вычислений, однако невозможно определение концентраций в конкретных точках водохранилища.

Математическое моделирование проводилось с использованием программного комплекса *Hancock-3D-OpenCL* (© В.А. Прокофьев, 2000–2025 гг.). Ввиду значительного машинного времени, затрачиваемого на проведение математических расчётов, численное моделирование выполнялось только для характерных по водности лет. Посредством математического моделирования были получены универсальные коэффициенты, позволяющие переходить от среднеобъёмной по водохранилищу концентрации к качеству в точке забора технологической воды, а также кратности общего разбавления и положения самой загрязнённой струи в контрольном 500-метровом радиусе от точки сброса продувочных вод.

С использованием одновременно результатов водно-солевых балансов и математического моделирования (гибридный подход) определялось качество воды по всем рассматриваемым химическим показателям на весь период работы станции и в характерные по водности годы для точки забора технологической воды, для сбросной продувочной воды и для воды в водохранилище в 500-метровом контрольном створе. Исходя из анализа сравнения полученных результатов с требованиями, предъявляемыми нормативными документами, совместно с проектировщиком принимались компоновочные решения. Кроме того, по результатам проведённой НИР разрабатывался проект НДС для дальнейшего включения его в состав проектной документации.

КОМПЛЕКС ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБВОДНЕНИЕ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ. ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ

П.С. Борщ[1]

После перекрытия р. Волги у г. Волгограда в октябре 1958 г. началось наполнение Волгоградского водохранилища, и с весны 1959 г. осуществлялся попусковый режим использования водных ресурсов волжских водохранилищ, в соответствии с предложениями Гидропроекта, изложенными в записке «О режиме временных попусков из волжских водохранилищ» (1959 г.).

В современных условиях рыбное и сельское хозяйство, а также администрация Волгоградской и Астраханской областей предъявляют к водному режиму Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги требование по обеспечению ежегодных специальных весенних попусков. Оптимальный гидрограф специального весеннего попуска в нижний бьеф Волгоградского гидроузла с максимальным расходом воды 25000–27000 $м^3/с$ в течение одной-полутора декад с плавным спадом требует объема не менее 120 $км^3$, что возможно лишь в средних по водности и многоводных условиях.

Проблема обводнения Волго-Ахтубинской поймы в условиях маловодья становится критически важной для Волгоградской и Астраханской областей.

В докладе рассмотрены проектные решения строительства комплекса гидротехнических сооружений, обеспечивающего обводнение Волго-Ахтубинской поймы в пределах Волгоградской области.

Проектом предусмотрено создание деривационного канала, который берет свое начало в Волгоградском водохранилище. Вода по открытому каналу длиной 31,63 км поступает к станционному узлу, а затем сбрасывается в р. Ахтубу. На р. Ахтубе предлагается строительство двух бетонных водопропускных плотин, что создаст зарегулированную емкость, заполненную до отметок, достаточных для автоматического обводнения системы ериков, питающих пойму. Создание данного комплекса сооружений позволит существенно оптимизировать режим работы Волгоградского водохранилища в течение всего года в сторону уменьшения сбросных расходов, требуемых для обводнения Волго-Ахтубинской поймы и прилегающих территорий. Особенности функционирования Комплекса гидротехнических сооружений позволят сохранить характерный для периода до зарегулирования Волги режим со значительными по амплитуде расходами и уровнями воды, к которым исторически приспособлены основные виды растений и животных, обитающих в пойме.

[1] Канд. техн. наук, заместитель главного инженера по общестроительным вопросам, АО «Институт Гидропроект»

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫХОДНОГО ТУННЕЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИХРЕВОГО ВОДОСБРОСА

И.Д. Бучнев[1]

Водосброс вихревой – водосброс, на тракте которого с помощью специальных устройств создается закрутка потока, способствующая снижению кавитационной опасности и интенсификации гашения его энергии.

В гашении энергии можно выделить три основных составляющих: воздействие потока на стены верхней части шахты, трение о стены шахты завихренного потока и образование кольцевого гидравлического прыжка в нижней части шахты.

Наполнение шахты играет важную роль в гашении энергии потока в гидравлическом прыжке. Установка регулируемого дроссельного отверстия (РДО) в выходном туннеле позволяет увеличить наполнение шахты.

В работе приведены результаты исследований на физической модели вертикального вихревого водосброса при установке РДО в виде затворов, частично перекрывающих выходное сечение дросселя.

В результате исследований разработаны рекомендации для проектирования вертикального вихревого водосброса и его выходного туннеля.

[1] Инженер 2 кат., АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСЧЁТНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS КАК АЛЬТЕРНАТИВЫ МОДЕЛИРОВАНИЮ В РАСЧЁТНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOW-3D

А.А. Гиргидов[1]

Использование расчётных (программных) комплексов в современном процессе проектирования гидротехнических сооружений становится всё более широким. Например, некоторые водопроводящие и водосбросные сооружения сейчас проектируются с использованием только численного моделирования (например, сооружения АЭС Эль-Дабаа, ряд водосбросных сооружений ГЭС в Средней Азии). Важным вопросом при численном моделировании является не только качество получаемых результатов, но и удобство графического интерфейса (GUI) расчётного программного комплекса (ПК). Это требуется, так как при проектировании сооружений программами пользуются инженеры, для которых необходимо быстро и с наименьшими теоретическими знаниями смоделировать ту или иную конструкцию.

Опыт использования различных программных комплексов показывает, что наиболее удобным интерфейсом пользователя являются ПК, разработанные под конкретные задачи пользователями (например, Hancock2D, 2.5D и 3D). В то же время, переход к более сложным моделям в расчётных программах (от 2D к 3D) и приведение их к большей универсальности существенно усложняет возможности их использования. С другой стороны, существующие бесплатные программы для 3D моделирования гидравлических явлений (например, OpenFOAM) требуют знаний как минимум трёх-четырёх программ, в которых необходимо создать геометрическую модель, расчётную сетку, численную модель (все эти программы составляют Preprocessor), после чего необходимо создать код для запуска решателя (Solver), для просмотра результатов необходимо использовать дополнительную программу (Postprocessor). Несмотря на то, что все эти программы бесплатные и находятся в открытом доступе, использование их затруднено их количеством и необходимостью адаптации при передаче данных от одного интерфейса к другому.

Коммерческие программные продукты для трёхмерного численного моделирования можно условно разделить на две группы. Первая – это расчётные программы, адаптированные для использования инженерами (необходим минимум теоретических знаний, а также знание ограничений, накладываемых на численные модели). К данной группе относится ПК FLOW-3D, т. к. в нём, несмотря на то, что большую часть расчётных параметров можно изменить, предустановленные характеристики удовлетворяют около 90–95 % всех задач, которые могут быть смоделированы. Вторая группа – это программные комплексы, в которых несмотря на развитый графический интерфейс необходимо указывать детально большую часть численных параметров (например, указание каждой границы геометрии с обозначением конкретных параметров). Классическим примером такого ПК является ANSYS Fluent (один из модулей, отвечающих за гидродинамику). Необходимо отметить, что в данном ПК также присутствуют предустановленные параметры, но необходимость их уточнения и знание теоретических основ вычислительной гидродинамики существенно ограничивают возможности использования ANSYS инженерами.

---

[1] Канд. техн. наук, доцент, ВШГиЭС ИСИ, СПбПУ Петра Великого

Следует отметить, что отличием ПК FLOW-3D и ANSYS Fluent является различие в конфигурации расчётной сетки, и, как следствие, в описании переменных. В первом из них используется сетка с кубическими элементами и гибридная Лагаранжево-Эйлеровая модель второго поколения (Tru Volume-of-Fluid), а во втором – конечно-элементная сетка и Эйлерова модель или гибридная Лагаранжево-Эйлеровая модель первого поколения. Каждая из моделей имеет свои преимущества и недостатки, однако время, затрачиваемое на формирование численной модели в FLOW-3D в разы меньше, чем в ANSYS Fluent. Это связано, в основном, с необходимостью строить сетку и детально указывать граничные условия на каждом участке взаимодействия жидкости и твёрдой границы или газа. В ПК FLOW-3D такой необходимости нет, однако там следует внимательно отслеживать описание геометрии расчётной сеткой, вследствие чего объём расчётного файла может существенно увеличиться.

В заключении следует указать, что оба рассматриваемых программных комплекса являются достаточно широко применяемыми в численном моделировании гидравлических процессов, тем не менее FLOW-3D является более дружелюбным для использования инженерами на производстве по сравнению с ANSYS Fluent, хотя последний имеет больше возможностей тонкой настройки модели и возможностей научного подхода к решению расчётных задач.

РАСЧЁТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА В СТВОРЕ ГИДРОУЗЛА ВОДОХРАНИЛИЩА И ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСЧЁТНЫХ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ И ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ

Е.Ю. Голованова[1], А.В. Пучкарюс[2]

Обоснование расчётных гидрологических характеристик максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков, а также их актуализация в створах существующих гидроузлов, должны основываться на гидрометеорологической информации за весь период наблюдений, включая данные последних лет. Значительное сокращение количества пунктов наблюдений гидрологической сети за режимом рек обуславливает актуальность применения методов расчёта максимального стока для случая отсутствия данных с использованием районных редукционных формул с привлечением сведений по постам-аналогам.

Объект исследования – Быструшинское водохранилище, расположенное вблизи г. Риддер Восточно-Казахстанской области, построено на р. Быструхе с целью резервного технического водоснабжения. Р. Быструха, длина и площадь водосбора которой составляют 25 км и 124 км^2 соответственно, принадлежит бассейну р. Иртыш. Целями исследований являлись проведение расчётного обоснования гидрологических характеристик максимального стока в створе плотины гидроузла Быструшинского водохранилища и трансформация расчётных гидрографов весеннего половодья и дождевых паводков.

Анализ актуальной гидрометеорологической изученности бассейна верхнего Иртыша позволил выбрать 24 опорных гидрологических поста-аналога с естественным или умеренно искажённым гидрологическим режимом. Первый этап расчётов включал в себя сбор данных по характеристикам максимального стока для рассматриваемых постов-аналогов, приведение коротких рядов к многолетнему периоду посредством регрессионных зависимостей, статистическую обработку полученных рядов и получение обеспеченных характеристик максимального стока.

Для расчёта максимального стока весеннего половодья по районной редукционной формуле, рекомендованной МСП 3.04-101-2005, проведена актуализация входящих в неё параметров: показателя степени редукции, коэффициента дружности и др., а также определён слой стока весеннего половодья для рассматриваемого створа путём построения зависимости слоя стока от средневзвешенной высоты водосбора. Анализ данной зависимости позволил выделить *два* гидрологически однородных района (р. Быструха отнесена ко II району).

Расчёт дождевого стока проводился по формуле предельной интенсивности, рекомендованной МСП 3.04-101-2005 для рек с площадями водосборов до 200 км^2. Входными параметрами данной формулы являются факторы подстилающей поверхности (в том числе рассчитанный с привлечением данных поста-аналога сборный коэффициент стока), характеристики русла реки и водосбора, данные по слоям осадков по ближайшей метеостанции и др.

---

[1] Научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Инженер 1 кат., АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Полученные в рамках настоящей работы характеристики максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков хорошо согласуются с результатами предыдущих исследований.

Форма расчётных гидрографов весеннего половодья и дождевых паводков принималась по опорному посту-аналогу, построение расчётных гидрографов производилось с учётом актуализированных гидрологических характеристик максимального стока, трансформация проводилась для гидрографов весеннего половодья и дождевых паводков вероятностей превышения 0,1; 0,5; 1 и 3 % при различных сочетаниях начального уровня наполнения водохранилища и отметок подпорных уровней воды, равных нормальному подпорному уровню (НПУ) и временно рекомендованному подпорному уровню воды (ВРПУ).

Полученные результаты расчётов трансформации расчётных гидрографов свидетельствуют о достаточности пропускной способности гидротехнических сооружений Быструшинского водохранилища для пропуска расчётных гидрографов весенних половодий и дождевых паводков даже в условиях с допущением отклонений от существующих условий регулирования: при отсутствии предполоводной сработки водохранилища и поддержании уровня воды на проектном НПУ.

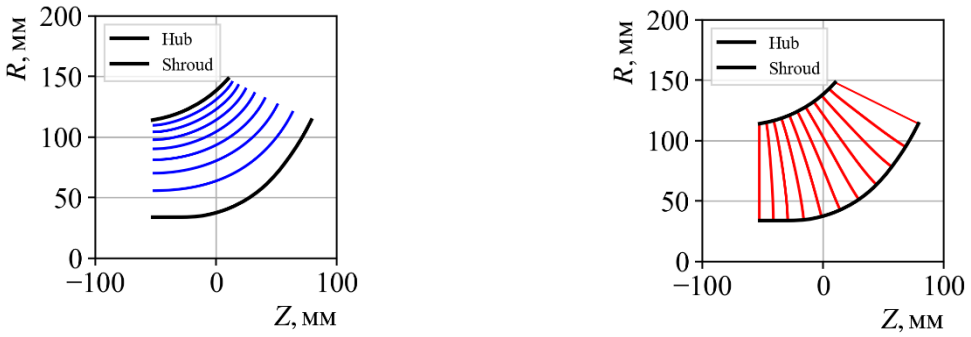
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИН ПРИМЕНЕНИЕМ NURBS-ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

А.А. Дружинин[1], М.О. Шейкин[2], А.В. Филатов[3]

Моделирование течений в проточных частях гидромашин (центробежных насосов, реактивных гидротурбин) требует точного описания распределения скоростей и давления в рабочем колесе. Распределение параметров потока определяется конфигурацией канала между ободом и втулкой рабочего колеса. Полноразмерное 3D-моделирование с использованием конечно-объемных и конечно-элементных методов решения уравнений Навье-Стокса обеспечивает высокую точность, однако на этапах предварительного проектирования целесообразно применение упрощенных моделей в меридианном сечении.

Функция тока Ψ является основным способом гидродинамического анализа осесимметричных и квазиосесимметричных течений, ее изолинии геометрически соответствуют линиям тока, а локальные градиенты непосредственно определяют распределение массового расхода и кинематические характеристики потока. Что позволяет обосновано описать течения в проточных частях сложной конфигурации при существенном сокращении вычислительных затрат по сравнению с полномасштабным 3D-моделированием.

Корректное математическое описание геометрии проточной части достигается применением NURBS-параметризации (Non-Uniform Rational B-Splines), обладающей высокой гибкостью представления произвольных сплайновых форм и обеспечивающей точную аппроксимацию классических кривых второго порядка, включая дуги окружностей. Использование NURBS-аппроксимации обеспечивает строгую геометрическую согласованность с CAD-описанием итоговых профилей и возможность параметрической оптимизации формы проточной части.



Линии тока и потенциала меридианного сечения рабочего колеса

[1] Канд. техн. наук, доцент, НИУ «МЭИ»
[2] Аспирант, НИУ «МЭИ»
[3] Аспирант, НИУ «МЭИ»

Целью данной работы является построение и численная реализация модели функции тока в меридианном сечении рабочего колеса между произвольными NURBS-кривыми, задающими втулочную и ободную границы проточного канала. В осесимметричной постановке функция тока Ψ подчиняется модифицированному эллиптическому уравнению, содержащему дополнительный член, учитывающий цилиндрическую систему координат. Граничные условия формулируются как $\Psi = \text{const}$ на твердых непроницаемых стенках, обеспечивающие условие непротекания, заданное распределение на входном сечении, согласованное с профилем осевой скорости и интегральным расходом, а также условием Неймана $\partial\Psi/\partial n = 0$ на входной и выходной границе. Полученное поле функции тока обеспечивает построение изолиний $\Psi = \text{const}$, соответствующих линиям тока, определение средней линии при $\Psi = \Psi_{\max}/2$ и количественную оценку геометрических параметров проточной части, создавая эффективный инструмент предварительного проектирования и верификации CFD-моделирования.

Благодарности. Материалы, вошедшие в данный тезис, 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-2025-0004. Соглашение №075-03-2025-457/10 от 06.06.2025 г.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ВОДОБОЙНЫХ КОЛОДЦЕВ

Н.В. Кабанов[1], Г.А. Судольский[2], А.В. Шиляев[3]

В докладе обобщены результаты экспериментальных и расчетных гидравлических исследований для обоснования конструкций водобойных колодцев, обеспечивающих затопление гидравлического прыжка, гашение энергии и снижения деформаций скального основания в нижнем бьефе. Рассмотрен ряд технических решений и подходов к расчетной оценке устойчивости плит водобойных колодцев для надежной эксплуатации сооружений.

По результатам исследований разработаны рекомендации по оптимизации условий пропуска расходов, регламентам маневрирования затворами водосбросных сооружений для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации.

[1] Главный инженер проекта, АО «Ленгидропроект»
[2] Канд. техн. наук, зав. лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[3] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ В ИРКУТСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В ОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ И ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЭС В БАССЕЙНЕ СЕЛЕНГИ

А.С. Калугин[1], В.М. Морейдо[2], В.В. Чуканов[3]

Вопросы влияния проектируемых ГЭС в Монголии на экосистемы Селенги в российской части и Байкала (Иркутское водохранилище) активно обсуждаются в РФ, однако без представления соответствующих детальных расчетов на будущий период. В данном исследовании проведена оценка влияния строительства ГЭС Эгийн-Гол и ГЭС Шурэн на территории Монголии на водный режим Селенги и притока воды в Байкал в XXI веке с учетом возможных климатических изменений. Результаты получены с использованием физико-математической модели формирования стока ECOMAG и имитационной модели функционирования водохранилищ VOLPOW. Для настройки модели формирования стока привлечены среднесуточные данные по расходам воды в замыкающих створах крупнейших притоков Байкала – рек Селенги, Верхней Ангары и Баргузина за период 2008–2022 гг. Верификация расчетов стока проведена с использованием критерия Клинга-Гупты и систематической погрешности расчета. Для учета будущих гидрологических последствий климатических изменений использованы данные ансамбля моделей CMIP6, которые были отобраны при анализе воспроизведения современного климата в Байкальском регионе относительно реанализа ERA5. Расчеты проведены с использованием климатических данных для горизонтов планирования к 2030 и 2050 г. при сценарии SSP2-4.5. Согласно проведенным гидрологическим и водохозяйственным расчетам прогнозируемые климатические изменения будут оказывать большее воздействие на режим стока Селенги и притока в Байкал в XXI веке на фоне общей тенденции к сокращению речного стока, чем регулирование стока проектируемыми ГЭС в монгольской части бассейна Селенги. Кроме того, была разработана система оперативного прогнозирования притока воды в Иркутское водохранилище с большей детализацией по времени и меньшим доверительным интервалом, чем у существующих прогнозов Росгидромета, с использованием открытых источников метеорологической информации как архивной, так и на период заблаговременности прогноза для теплого периода года. В качестве источника метеорологических прогнозов заблаговременностью 10 суток приоделировании стока использованы данные глобальной модели прогноза погоды GFS. Бесшовный прогноз притока воды в Байкал с заблаговременностью на 2 месяца (с 11 до 60 сут.) выпускался с использованием архивных данных реанализа ERA5-Land ансамблевым методом. Проведена верификация данной системы прогнозирования на ретроспективных данных с 2017 г. Исследование выполнено при поддержке ООО «ЭН+ ГИДРО».

[1] Канд. геогр. наук, зав. лабораторией региональной гидрологии, ведущий научный сотрудник, Институт водных проблем РАН
[2] Канд. геогр. наук, зав. лабораторией гидроинформатики, ведущий научный сотрудник, Институт водных проблем РАН
[3] Канд. техн. наук, научный сотрудник, Институт водных проблем РАН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК НА ВОЛНОЗАЩИТНУЮ СТЕНКУ ОГРАЖДАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ ОТКОСНОГО ТИПА

Д.А. Калязин[1], В.И. Климович[2], Р.О. Яковлев[3]

Выполненные экспериментальные исследования по заплеску волн через волнозащитную стенку показали, что при проектной высоте стенки 8,9 м и при расчётных воздействиях волн возможно перемещение через стенку небольшого количества водных масс и брызг, при этом массового перелива воды через волнозащитную стенку проектной высоты при расчетном воздействии волн зафиксировано не было (см. рис. 1).

а) *б*)



Рис. 1. Характерный момент перемещения водных масс и брызг через волнозащитную стенку при расчетном воздействии эксплуатационного периода на головном участке (*а*) и на поворотном участке (*б*) оградительных сооружений

Для определения трех проекций суммарной силы и суммарного момента сил, действующих на волнозащитную стенку, изготовлялась специальная балка подвеса участка волнозащитной стенки. Этот участок волнозащитной стенки выполнялся в виде коробчатой конструкции, которая жестко фиксировалась в пространстве с помощью 6 опорных точек и шарнирных связей. Каждая связь имела встроенный однокомпонентный датчик усилий. Коробчатая конструкция подвешивалась к датчикам вертикальных усилий с помощью талрепов и тросиков, которые крепились к ней и датчикам усилий с помощью металлических крючков. Вид точек подвеса показан на рис. 2.

Талрепы в точках подвеса коробчатой конструкции были необходимы для регулировки расстояния между ней и гребнем оградительного сооружения. Для фиксации подвешенной модели участка волнозащитной стенки в пространстве использовались также три горизонтальные

[1] Заместитель директора по проектированию, ООО «СтройПроект»
[2] Главный научный сотрудник, доктор физ.-мат. наук, профессор, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[3] Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

связи. Эти горизонтальные связи крепились на модели через шарнирные пальцы, а на балке подвеса – через шарнирные соединения. Горизонтальная связь состояла из датчика усилий и металлического стержня с резьбой. Вид горизонтальной связи показан на рис. 3.



Рис. 2. Вид точек подвеса с датчиками усилий



Рис. 3. Вид горизонтальной связи с датчиком усилий

Сама коробчатая конструкция не имела контактов с исследуемой моделью, при этом зазоры составляли 1–2 мм. Отметим, что с морской стороны для предотвращения контакта камней и тетраподов с коробчатой конструкцией устанавливалась сетка на расстоянии от нее ~2 мм (см. рис. 4). Для проведения экспериментальных исследований модель участка волнозащитной стенки дополнительно пригружалась таким образом, чтобы иметь суммарную вертикальную силу пригруза для модели ~10 кг.



Рис. 4. Устройство сетки для предотвращения контакта камней и тетраподов с коробчатой конструкцией

Экспериментальные исследования волновых нагрузок показали, что максимальная волновая нагрузка, перпендикулярная плоскости стенки, составляет 14,4 т на 1 м длины стенки на головном участке и 12,6 т на 1 м длины на поворотном участке оградительных сооружений. Приведены данные по трем проекциям суммарных сил и моментов сил, действующих на волнозащитную стенку, при расчетных волновых воздействиях и максимальной отметке моря на головном и поворотном участках оградительных сооружений. Показано, что данные по волновым нагрузкам, полученные в эксперименте, и данные расчетов по методике Jensen (1984) и Bradbury et al (1988) достаточно хорошо согласуются между собой, как по горизонтальной, так и по вертикальной проекциям нагрузки. Предложена расчетная схема пространственного приложения волновой нагрузки на волнозащитную стенку.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗМЫВОВ НЕСВЯЗНОГО ГРУНТА ДНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СТРУЙ ОТ РАБОТАЮЩИХ ВИНТОВ СУДНА

В.И. Климович[1], Р.О. Яковлев[2]

В данной работе на основе физического моделирования исследовались значения установившейся максимальной глубины размыва несвязного грунта дна в зависимости от характеристик воздействия струй работающих винтов судна и характеристик грунта дна. В качестве основного параметра в данной работе принято отношение максимальной придонной скорости струй к неразмывающей придонной скорости грунта. В качестве расчётного судна для всех тестов было принято судно ледового класса Arc6 проекта Р-70046 с двумя винтами.

Проведены модельные исследования максимальных придонных скоростей струй от работающих винтов в исследовательском бассейне в масштабе 1:25 на неразмываемом дне при различных положениях осей винтов относительно дна и при различных мощностях, подаваемых на движительные установки. Проведены тесты по определению максимальной глубины установившегося размыва дна под воздействием струй от работающих винтов при различных крупностях несвязого грунта и при различных значениях максимальных придонных скоростей от струй работающих винтов.

Каждый тест на размываемом дне проводился в несколько этапов, длительность которых определялась возможностями экспериментального оборудования и необходимостью недопущения искажений качества исследований при проведении тестов. На основе полученных экспериментальных данных проводилась аппроксимация полученных измерений с помощью подходящей функции $F(t)$, заданной с точностью до 3-х неизвестных параметров A, α, β

$$F(t)=A\left[1\text{-}\exp(-\alpha t^{\beta})\right]\cdot$$

На основе полученных экспериментальных данных по максимальным глубинам установившихся размывов дна проводилась аппроксимация полученных измерений с помощью подходящей функции $\Phi(x)$, заданной с точностью до двух неизвестных параметров C, γ

$$\Phi(x)=C(x-1)^{\gamma},\quad x>1\ .$$

В результате такого подхода был получен график (рис. 1), согласно которому, задавшись значением максимальной придонной скорости, можно определить величину установившегося размыва незащищённого морского дна.

---

[1] Доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

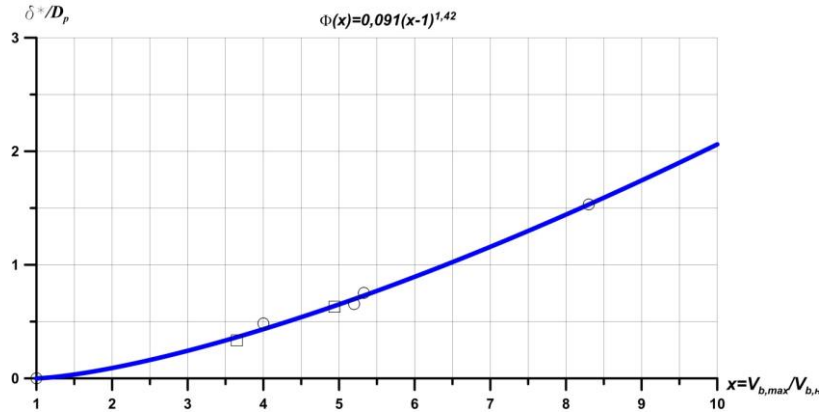


Рис. 1. Зависимость глубины установившегося размыва от относительной максимальной придонной скорости струй работающих винтов:
○, □ – эксперименты 1 и 2 серии, ——— – Φ(*x*)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОУЗЛОВ С ВНЕДРЕНИЕМ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ЭКРАНОВ НА ЭФФЕКТЕ КОАНДА

Д.В. Козлов[1], А.Е. Старков[2]

Применение самоочищающихся экранов, работающих на основе эффекта Коанда, представляет собой эффективное и перспективное решение для низконапорных гидроузлов. Данная технология позволяет повысить общую производительность водопропускных гидротехнических сооружений и их экологическую безопасность за счёт пассивного отделения мусора, наносов и рыбы от основного потока воды, направляемого, например, к гидротурбинам. Принцип действия основан на свойстве потока жидкости «прилипать» к изогнутой поверхности клиновидно-стержневой решётки, что обеспечивает разделение потока на очищенную воду и отводимые примеси.

Гидравлическое обоснование, выполненное с помощью специализированной вычислительной программы «Coanda», показало, что экранная решетка обладает предельной пропускной способностью. Эта характеристика является ключевым параметром при проектировании подобных конструкций. Расчеты для принятого экрана с длиной водослива 45 м показали, что при увеличении приходящего расхода объем воды, проходящий сквозь решетку в единицу времени, растет до определенного предела (61,35 м³/с), после чего дальнейшее увеличение приходящего потока не приводит к росту отбираемого расхода. Зависимость проходящего расхода от приходящего носит асимптотический характер, что свидетельствует о достижении конструкцией своей максимальной гидравлической производительности.

Разработанная на основе полученных данных конструктивная схема, интегрирующая разгонную панель огибающего профиля, сам экран и водосборный лоток, является технически реализуемой. Гидравлический расчет отводящего лотка, как канала с боковым притоком, подтвердил его способность обеспечить сбор и транспортировку всего объема отфильтрованной воды при оптимально подобранных габаритах и уклоне дна.

Результаты программного расчета подтверждают принципиальную возможность и целесообразность применения данных конструкций. Однако для окончательной верификации полученных гидравлических характеристик и их уточнения требуется проведение дополнительных исследований, включающих физическое и численное (CFD) моделирование пропускной способности водосбросного сооружения с самоочищающимся экраном, работающим на основе эффекта Коанда.

[1] Доктор техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, зав. кафедрой гидравлики и гидротехнического строительства, ФГБОУ ВО НИУ МГСУ

[2] Аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, ФГБОУ ВО НИУ МГСУ

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ДЕФИЦИТА ИСХОДНОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

А. Слейман[1], Д.В. Козлов[2]

Интегрированное управление водными ресурсами зависит, в том числе, от наличия полных и надежных гидрологических данных, а также эффективности моделирования речного стока. Проявление климатических изменений и усиление их воздействия на окружающую среду приводит к более сложным решениям водохозяйственных задач. Это указывает на важность моделирования речного стока, успешной оценки и прогнозирования различных элементов гидрологического цикла и климатических факторов, в первую очередь, поверхностного стока. Поэтому в данной области научно-практических знаний разрабатываются многочисленные модели и методы, а также проводятся различные исследования, что дополняет многочисленные достижения в области искусственного интеллекта, технологий и моделей в различных областях, включая управление водными ресурсами и инженерную гидрологию. Цель данного исследования – проверить способность и надежность искусственных нейронных сетей (FFBP-ANN, RBF), моделей нечетких выводов (FIS), ПК «Гидрорасчеты» и программы MIKE 11 NAM для оценки значения стока в условиях неопределенности и дефицита исходной гидрологической информации.

В качестве объекта исследования был выбран бассейн Верхнего течения р. Орентес в Сирии и данными на станциях Аль-Амири, расположенной на сирийско-ливанской границе, и Аль-Джавадия, расположенной у входа в озеро Катина. В работе использовались искусственные нейронные сети с прямой передачей с обратным распространением FFBP-ANN, а также искусственные нейронные сети с радиальной функцией RBF. Результаты сравнения показали, что модели FFBP-ANN являются более эффективными. Также были использованы модели нечеткой логики FIS. Результаты показали полное согласие с результатами, полученными с помощью моделей FFBP-ANN, но с некоторым предпочтением искусственных нейронных сетей FFBP-ANN, как с точки зрения критериев оценки эффективности модели, так и скорости получения оптимальной модели. Также выявлена достаточно хорошая способность программы «АНАЛОГ» в среде базы данных ПК «Гидрорасчеты» в оценке недостающих значений поверхностного стока на станциях Аль-Джавадия и Аль-Амири в речном бассейне Верхнего Оронтеса.

С другой стороны, результаты расчетов по программе MIKE 11 NAM не дали удовлетворительных результатов, несмотря на то, что использованный в ней объем данных был намного больше, чем в остальных моделях. Это связано с методом моделирования и используемыми уравнениями, а также с необходимостью большей точности и большего объема различных данных, влияющих на формирование поверхностного стока. В данном исследовании рекомендуется использовать аэрофотоснимки и данные дистанционного зондирования в качестве входных данных для моделей искусственного интеллекта с целью проверки возможностей этих моделей в рассматриваемой области знаний, поскольку включение фактора пространственного распределения данных способствует повышению точности гидрологических расчетов и эффективности мероприятий по управлению водными ресурсами в указанном районе Сирии.

[1] Доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ
[2] Зав. кафедрой гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ

СПОСОБ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ОРОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А.С Лебедев[1], А.Е. Хаджиди[2]

В современных природно-климатических условиях юга России, выражающихся в продолжительной летней засухе, недостатке водных ресурсов в вегетационный период выращивания растений и наличии большого числа склоновых земель особенно актуально стоит проблема получения гарантированных урожаев сельскохозяйственных культур при орошении. В данных условиях наиболее рациональным способом полива является внутрипочвенное орошение.

Для выращивания сельскохозяйственных культур на небольших участках склоновых земель при помощи подпочвенного полива разработан способ рационального использования оросительной воды, заключающийся в том, что в поливных трубопроводах по всей длине имеются отверстия, через которые поступает вода в почву. Причем трубопроводы уложены на наклонных участках почвы подземно, вдоль и поперек земельного участка. При прокладке труб под землей производят бурение наклонно-горизонтальных скважин, соблюдая при этом условие: гидравлическое сопротивление в затрубном пространстве при бурении скважины должно быть меньше, чем давление гидроразрыва вышерасположенных пород.

Для исследования закономерностей движения поливной воды в перфорированных трубопроводах в лабораторных условиях был выполнен эксперимент по рациональному водораспределению на склоновых землях. Создана лабораторная установка, на которой моделируется движение воды внутри перфорированных трубопроводов, в результате опытов на которой получены зависимости значений расстояния прохождения жидкости от объёма воды и угла наклона трубопроводов к горизонту, позволяющие определить необходимое количество горизонтальных скважин, пробуренных поперек склона.

Способ внутрипочвенного орошения склоновых земель открывает новые перспективы для сельского хозяйства, внедрение его позволит эффективно использовать ранее непригодные для земледелия склоны при экономии водных ресурсов, что будет способствовать обеспечению продовольственной безопасности Российской Федерации.

[1] Аспирант кафедры гидравлики и с.х. водоснабжения,
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»
[2] Доктор техн. наук, доцент, зав. кафедрой гидравлики и с.х. водоснабжения,
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОХОЖДЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В СИСТЕМЕ КАНАЛОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС

А.А. Максимова[1]

Работа посвящена научному исследованию гидравлических условий прохождения различных расходов воды в системе каналов технического водоснабжения Новочеркасской ГРЭС, а также разработке рекомендаций по защите станционной площадки, проектируемой Новочеркасской ГРЭС от затопления при проране разделительной дамбы.

В настоящее время предусматривается модернизация генерирующих объектов Новочеркасской ГРЭС путём строительства двух парогазовых установок ПГУ-170 ст. № 3 и ПГУ-324 ст. № 4 на новой площадке, расположенной между станицей Кривянской, г. Новочеркасском (мкр. Донской) и сбросным каналом № 1. Техническое водоснабжение вновь проектируемой Новочеркасской ГРЭС будет осуществляться по оборотной схеме с восполнением потерь путём подкачки воды из существующего подводящего канала. Площадка береговой насосной станции (БНС) проектируемой ГРЭС будет расположена в границах станционной площадки действующей ГРЭС.

После введения в эксплуатацию проектируемой Новочеркасской ГРЭС предусматривается период её совместной работы с действующей ГРЭС с учётом функционирования энергоблоков №№ 5, 6, 7, 9.

Особенностью естественного рельефа площадки проектируемой ГРЭС является её расположение на более низких отметках по сравнению с системой действующих подводящего и отводящих каналов. В этой связи актуальным является вопрос обеспечения не затопления станционной площадки проектируемой Новочеркасской ГРЭС при прохождении высоких расходов воды вероятности превышения 1 % в системе подводящего и отводящих каналов в условиях совместной эксплуатации энергоблоков действующей ГРЭС и проектируемых блоков новой станции. Кроме того, актуальным является вопрос оценки минимальных уровней воды в подводящем канале в районе расположения существующей БНС Новочеркасской ГРЭС и БНС проектируемой ГРЭС при прохождении в нём меженных расходов воды вероятности превышения 95 и 97 %.

В рамках выполнения работы:

произведено рекогносцировочное обследование разделительной дамбы между сбросными каналами № 1 и 2 Новочеркасской ГРЭС;

выполнена оценка отдельных параметров разделительной дамбы;

выполнено обоснование параметров возможного прорана разделительной дамбы (геометрические размеры и интенсивность развития во времени) при прохождении в подводящем канале расхода воды вероятности превышения 1 %;

разработана математическая модель гидравлики потока системы технического водоснабжения проектируемой Новочеркасской ГРЭС;

проведён комплекс численных расчётов с использованием математической модели;

разработаны рекомендации по защите станционной площадки проектируемой Новочеркасской ГРЭС от затопления при проране разделительной дамбы.

---

[1] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

СПЕЦИФИКА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ПОВТОРНОМ ВКЛЮЧЕНИИ

О.А. Муравьев[1], А.В. Голубев[2], И.С. Третьяков[3]

В докладе представлены результаты математического моделирования специфических переходных процессов, характерных для насосных систем охлаждения ответственных потребителей крупных энергетических объектов. Показаны инерционные показатели напорных систем и применяемого насосного оборудования. Показаны особенности протекания переходных процессов при быстром автоматическом повторном включении насосных агрегатов и аварийном вводе резерва с перерывом электропитания 25–30 с. Обобщены результаты расчетов переходных процессов, показано влияние режимных факторов и впуска воздуха на эпюры максимумов давления по трассе напорных водоводов.

В системах охлаждения ответственных потребителей, не допускающих длительного перерыва в энергоснабжении, применяются центробежные насосы с диапазоном расходов от 0,5 до 1 м^3/с и напоров 40–60 м, из которых статическая составляющая может занимать от 3 до 5 % в системах с брызгальными бассейнами до 15–20 % в системах с градирнями. Характерным является наличие длинных подводящей и отводящей магистралей с многочисленными ответвлениями между ними, образующими закольцованную гидравлическую систему. Конечное охлаждение технической воды осуществляется в брызгальном бассейне или бассейне градирни.

Амплитуда колебаний давления в напорных водоводах при переходных процессах существенным образом зависит от соотношения между постоянными инерции напорных водоводов T_W и насосных агрегатов T_a. Характерное для рассматриваемых насосных станций соотношение T_w/T_a=3–8 указывает на повышенную динамику протекания переходных процессов, высокую вероятность разрыва сплошности потока. В этих условиях в качестве защиты от прямого гидроудара является впуск воздуха в образующиеся полости.

Для максимального давления по трасе критериальными являются два переходных процесса: автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматический ввод резерва (АВР) с перерывом питания 25–30 с. В обоих процессах происходит резкое понижение давления по всей трассе с последующим повышением и выходом на первоначальный режим работы. При АПВ фаза понижения давления длится менее 1 с и без впуска воздуха. В режиме АВР в систему впускается воздух, обеспечивающий демпфирование роста давления после пуска насосного агрегата. Для режима АПВ существенно влияющим фактором является время перерыва питания, которое назначается по результатам расчетов переходных процессов и заводится в автоматику НС при эксплуатации.

Задачей расчетов процесса АПВ является определение допустимого перерыва электропитания двигателя по критериям максимально допустимого вакуума и максимума давления после повторного пуска.

Сравнительный анализ максимумов и минимумов давления при АПВ и АВР показал:

---

[1] Доктор техн. наук, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», НИУ МГСУ
[2] ООО «Белый уголь», НИУ МГСУ
[3] НИУ МГСУ

Переходные процессы имеют существенные отличия по характеру протекания. Особенностью процесса при АПВ является высокая колебательность и малая (менее 1 с) длительность пика минимума давления в сечениях водоводов по трассе.

Минимальное давление по трассе наблюдается в сливных трубопроводах от теплообменников и в магистральном сливном водоводе. Абсолютные минимумы давления по трассе при АВР на 2–3 м меньше, чем при АПВ.

Максимумы давления наблюдаются в подводящей магистрали, абсолютный максимум при АВР на 8–10 м превышает экстремум при АПВ.

ТИПОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ НИЖНИХ БЬЕФОВ ГИДРОУЗЛОВ, СВЯЗАННЫЕ С ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ИХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А.М. Кудлаев[1], О.А. Петров[2]

При проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений речных гидроузлов одной из приоритетных задач является обеспечение надежной и безаварийной работы сооружений, расположенных в нижних бьефах гидроэлектростанций.

В процессе эксплуатации гидроузлов, в частности их водопропускных сооружений, может возникать определенный ряд проблем, связанный с местными размывами неукрепленных участков отводящих русел нижнего бьефа и подмывами концевых креплений (рисберм, водобоев, ковшей и пр.) с размывами высокоскоростным потоком откосов берегов и повреждениями их креплений; с подмывами раздельных стен и устоев и т. д. Большинство указанных проблем может приводить к серьезным негативным последствиям для гидротехнических сооружений ГЭС, нарушая их нормальную эксплуатацию. Ликвидация этих последствий сопряжена с высокими финансовыми и трудозатрами, что существенно увеличивает эксплуатационные издержки и влияет на экономическую эффективность функционирования объекта.

В настоящем докладе приводятся примеры таких типовых проблем нижних бьефов гидроузлов, как для случая с отбросом потока от сооружения, так и при гашении избыточной энергии на креплении или в водобойном колодце.

Показаны последствия, связанные с такими проблемами, и возможные пути их решения как для эксплуатируемых в настоящее время станций и их водопропускных сооружений, так и для перспективных проектируемых ГЭС.

[1] Главный эксперт Управления по проектам НИОКР и энергоэффективности Департамента технического регулирования, ПАО «РусГидро»

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

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ В ВОДОЁМАХ И ВОДОТОКАХ ПРИ СБРОСЕ СТОЧНЫХ ВОД

В.А. Прокофьев[1], Д.Д. Тесленко[2]

Для проведения математического моделирования гидравлических и ледотермических условий, а также распространения примесей в водоёмах и водотоках применялся программный комплекс *Hancock-3D-OpenCL*, который многократно апробирован на ряде водных объектов и гидроузлов, включая водоёмы-охладители объектов атомной энергетики. Программный комплекс *Hancock-3D-OpenCL* позволяет решать задачу гидравлики для открытого потока в плановой постановке (2D), в многослойной постановке с гидростатическим распределением давления по глубине потока (2.5D) и в полной трёхмерной постановке (3D). Применённая в данной работе 2.5D модель в отличие от широко распространённых плановых моделей открытого потока позволяет корректно описать эффекты, связанные с возможным возникновением температурной стратификации водного объекта.

В работе показано, что на процесс переноса пассивной примеси, например при сбросе сточных вод в водоём, заметное влияние оказывает процесс переноса тепла и температурная стратификация жидкости. Дополнительные течения, вызванные возникновением силы Архимеда в стратифицированном водоёме, увлекают за собой не только тепловые потоки, но и пассивную примесь. Поэтому задачи переноса тепла и переноса пассивной примеси надо решать совместно, а не по отдельности. Указанный эффект может быть обнаружен только в нестационарной 2.5D или 3D постановке задачи, первая из которых применялась в данном исследовании. 2.5D модель в сравнении с 2D моделью открытого потока имеет и иные преимущества, влияющие на перенос примесей. Например, она позволяет симулировать режимы, когда скорость течения у свободной поверхности совпадает с направлением ветра, а в придонных слоях воды – противоположна ей. При моделировании переноса пассивной примеси обмен с дном и со свободной поверхностью отключается: её осаждение не учитывается, хотя программный код допускает учёт скорости осаждения частиц примеси (гидравлической крупности), как это делается, например, при моделировании переноса мелкой взвеси песка при моделировании донных деформаций.

Поскольку масштабы турбулентности по вертикали и в плане могут отличаться на порядок и более, использовалась комбинированная модель турбулентности. Иными словами, учитывалась анизотропия турбулентности. Подобные гибридные модели турбулентности сложнее, чем обычная k-ε модель турбулентности по всем трем направлениям, но для открытых потоков дают лучшее совпадение с экспериментальными данными. Коэффициент вязкости по вертикали определялся по формуле Монтгомери, а в горизонтальной плоскости – на основе k-ε модели турбулентности.

Учёт влияния устойчивого градиента плотности воды на вертикали на уменьшение скорости вертикального перемешивания построен в применяемой нами модели на основе числа Ричардсона Ri. Коэффициенты турбулентной вязкости N_Z (входит в уравнения переноса

[1] Канд. техн. наук, разработчик ПК *Hancock-3D-OpenCL*, начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

импульса) и турбулентной диффузии K_Z (входит в уравнение переноса тепла) уменьшаются с увеличением Ri, но K_Z уменьшается быстрее. Для N_Z и K_Z использовались эмпирические формулы Манка и Андерсона.

При записи уравнения теплового баланса для водоёмов и водотоков на основе имеющихся рекомендаций учитывались изменяющиеся во времени: радиационный теплообмен, теплообмен за счёт испарения, конвективный теплообмен, теплоотдача грунта дна. Кроме того, моделировалось образование/таяние ледового покрова на поверхности водоёмов и водотоков (определялась его толщина, форма и размер полыньи) с учётом наличия снежного покрова на льду. Ледовый покров опосредованно влияет на перенос пассивной примеси, которому в работе уделялось основное внимание.

Интересным для практики результатом работы является предложенная в ней конструкция «противопоточного» выпуска сточных вод на реках. Как показали численные эксперименты, такая компоновка позволяет добиться улучшения рассеивания примеси в поперечном сечении русла реки, а как следствие – выполнения экологических норм в 500-метровой зоне от точки сброса сточных вод: сопоставление с обычной компоновкой представлено в докладе.

Программный комплекс *Hancock-3D-OpenCL* полностью реализован на графическом акселераторе, что позволяет в разумные сроки симулировать тепловой режим и перенос загрязнений в реальных водоёмах и водотоках на период от одного года и более, причём на достаточно подробных – десять и более миллионов ячеек – расчётных сетках: прямоугольных, криволинейных. Тестирование алгоритма на сетках различного разрешения также приведено в докладе.

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ФОРМИРОВАНИЕ МЕСТНОГО РАЗМЫВА У ОСНОВАНИЙ МОРСКИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПЛАТФОРМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОЛН И ТЕЧЕНИЙ

Е.А. Птицын[1], И.Г. Кантаржи[2]

Доклад посвящён актуальной проблеме – местному размыву грунта у оснований морских гравитационных платформ под воздействием волн и течений на примере платформы «Приразломная».

Развитие морской инфраструктуры требует обеспечения надёжности сооружений, однако эрозионные процессы представляют серьёзную угрозу их устойчивости.

Актуальность проблемы обеспечения надёжности морской инфраструктуры в условиях эрозионных процессов рассматривается на примере местного размыва грунта у оснований гравитационных платформ. Разрушение донной поверхности инициируется усилением сдвигающих напряжений в придонном слое под совместным действием волн и течений, что порождает синергетический эффект.

Эмпирическим подтверждением служит случай платформы «Пильтун-Астохская-Б», где эрозия была катализирована наличием инородных тел. Исследования показывают, что существующие методы прогнозирования размыва имеют ограничения. Нормативные документы, в частности СП 38.13330.2012, не учитывают специфику массивных гравитационных платформ. При анализе используется критерий Шильдса для различных фаз движения частиц грунта (от редкого движения одиночных частиц грунта до движения всех частиц по дну).

Экспериментальные данные указывают, что наибольшие размывы возникают у углов опор квадратной формы при косом воздействии течения. Исследования на модели платформы «Приразломная» в масштабе 1:60 подтвердили важность учёта влияния постоянных и временных течений.

Численные расчёты, проведённые для платформы «Приразломная», продемонстрировали, что при увеличении глубины воды возможно увеличение высоты волн. Также приведен аналогичный расчёт для совместного действия волн и течений, при котором происходит трансформация волн на течении. Однако, согласно существующим нормативным расчётам, это не приводит к увеличению придонных касательных напряжений, что требует пересмотра методов расчёта, особенно для условий изменяющегося климата.

Выводы. Существующие модели прогнозирования размыва неадекватны современным вызовам. Для обеспечения устойчивости сооружений необходима разработка новых нормативных методов, учитывающих изменяющийся климат и специфику платформ, а также внедрение систем регулярного мониторинга и численного моделирования для оценки рисков и разработки защитных мер.

[1] Аспирант, НИУ МГСУ
[2] Доктор техн. наук, профессор, НИУ МГСУ

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОБОСНОВАНИИ ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС

Г.А. Судольский[1], А.В. Шиляев[2]

В докладе изложена концепция гибридного моделирования, которая заключается в параллельном использовании физических и математических моделей. Применение такого подхода позволяет сочетать достоинства каждого метода исследований. При разработке методики гибридного моделирования учитывались данные, полученные на физических моделях, особенно крупномасштабных, а также разработанные во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева рекомендации, обобщающие опыт проектирования, строительства и проведения гидравлических исследований в практике гидротехнического строительства в нашей стране и за рубежом.

[1] Канд. техн. наук, зав. лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ВЛИЯНИЕ НАЛИЧИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ, ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДАННЫХ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЭС

Д.С. Сычев[1], А.А. Сысоев[2], Н.В. Алиходжина[3]

Развитие электроэнергетики в настоящее время сопровождается повышенными требованиями к оптимизации и планированию режимов работы генерирующих объектов, включая гидроэлектростанции (ГЭС). В условиях функционирования оптового рынка электроэнергии возрастает необходимость точного прогноза выработки ГЭС и эффективного управления водными ресурсами. Одним из критически важных факторов является качество фактических гидрометеорологических, гидрологических и водохозяйственных данных, используемых при расчётах режимов работы ГЭС.

Представленный анализ влияния различных компонентов водного баланса, определяемых по фактическим данным наблюдений, на энергетические показатели работы ГЭС рассматривает современные подходы к учету притока, осадков, испарения, заборов воды и других статей баланса. Как итог предлагается актуализировать рекомендации по совершенствованию учёта водно-балансовых характеристик в моделях планирования режимов ГЭС.

На сегодняшний существует несколько проблем, которые не позволяют точно оценить приток воды в водохранилище и как следствие планировать выработку ГЭС:

1. Недостаточная плотность и надежность сети наблюдений, отсутствие единой системы сбора и обработки данных, а также сложность учета всех притоков по пути следования воды. Это приводит к неопределённости при расчете водного баланса водохранилища в части расходов, при этом отклонения могут достигать 5–25 % в любой период.

2. Отдельно стоит верифицировать боковой приток. В целом он должен определяться по данным УГМС и выноситься в отдельную статью расходов в балансе, однако нередко боковой приток рассчитывают как разность общего притока в водохранилище и расхода через ГЭС с учетом изменения уровня, что фактически представляет невязку баланса, распределяемую на неучтенные источники.

3. Пренебрежение осадками при расчетах водно-энергетического режима, считая их эффект незначительным в сравнении с речным притоком.

4. Учет тенденции изменения объема потерь на испарение в долгосрочной перспективе.

5. Недостаточная гидрометеорологическая сеть, т. к. существующая сеть метеопостов зачастую не покрывает равномерно водосбор.

6. Несвоевременный учет потерь на безвозвратное водопотребление (ирригационные и коммунальные заборы). Для оперативного планирования режимов ГЭС важно иметь актуальные данные о текущих отборах воды из водохранилища.

[1] Канд. техн. наук, доцент, кафедра Гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, «НИУ «МЭИ»
[2] Аспирант кафедры Гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, «НИУ «МЭИ»
[3] Ассистент кафедры Гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, «НИУ «МЭИ»

При расчетах водного баланса водохранилища всегда присутствует так называемая невязка – разность между суммарным приходом и расходом воды, которая не объясняется учтенными статьями. Невязка интегрирует все ошибки и неопределенности: погрешности измерения стока, непромеренный боковой приток, неточные данные об осадках/испарении, незарегистрированные заборы или фильтрационные потери. В настоящее время при планировании режимов работы ГЭС учет невязки обычно производится на основании данных о фактической величине невязки за предшествующие годы.

Анализ показывает, что невязка баланса в половодье может достигать 5% от годового стока. Поэтому важно стараться физически объяснить невязку, разложив ее по компонентам.

Для решения выявленных проблем предлагается рассмотреть следующие предложения:

1. Необходимость расширения сети наблюдений. Существующая сеть гидрологических постов и метеостанций недостаточна для полного контроля притока, осадков и испарения на водосборах ГЭС. Требуется увеличение числа автоматизированных постов и интеграция разрозненных данных в единую систему мониторинга в реальном времени.

2. Учет всех компонентов водного баланса. При расчете водно-энергетических режимов ГЭС необходимо отдельно учитывать основные составляющие: поверхностный приток, боковой приток, атмосферные осадки, испарение с поверхности, безвозвратные водозаборы и обязательные попуски.

3. Совершенствование методов оценки бокового притока. Точность расчета притока в водохранилище может быть повышена за счет внедрения современных методов моделирования, позволяющих оценивать неконтролируемый приток.

4. Актуализация характеристик бьефов. Для крупных водохранилищ, эксплуатируемых много десятилетий, необходимо регулярно уточнять кривые связи «уровень – площадь – объем» верхнего бьефа и зависимости уровня нижнего бьефа от расхода. Устаревшие характеристики приводят к систематической невязке баланса и ошибкам в оценке напора.

5. Снижение невязки водного баланса. Регулярный анализ невязки и ее компонентов должен стать частью планирования. Использование данных прошлых лет оправдано, но важно оперативно вносить коррективы, если наблюдаются новые тенденции (изменения климата, режимов водопользования). Снижение доли невязки с 5 % до, скажем, 2–3 % от годового стока за счет лучших данных и методов будет означать более полное использование водного ресурса – эквивалентное приросту генерации без строительства новых мощностей.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИКИ ПОТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСЧЁТНОЙ СЕТКИ ВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НА ПРИМЕРЕ КРАСНОГОРСКОГО ГИДРОУЗЛА

Д.Д. Тесленко[1]

Симуляция гидравлических условий на водотоках в настоящее время успешно реализуется во многих программных комплексах – точность таких вычислений достаточна высока. Главной проблемой подобных вычислений зачастую является их чрезмерная продолжительность, что может быть связано как с размерами расчётной области, так и с наличием в её пределах узких мест, для описания которых необходимы весьма малые размеры ячеек расчётной сетки. Тем не менее, грамотная реализация вычислений на графических акселераторах, а также ежегодное увеличение мощности последних, позволяет уже сегодня за приемлемое время обсчитывать гидроузлы сложной компоновки целиком, причём на бытовых компьютерах.

В данной работе показаны некоторые результаты математического моделирования гидравлических условий на р. Иртыш в районе расположения строящегося Красногорского гидроузла, который по проектным данным будет включать в себя две бетонные водосливные плотины с шестью пролётами на каждой и судоходный шлюз между ними.

Основа для цифровой модели местности была создана в геоинформационном программном комплексе, а все расчёты выполнены с использованием программного комплекса *Hancock-3D-OpenCL* (Разработчик ПК *Hancock-3D-OpenCL* В.А. Прокофьев, канд. техн. наук, начальник отдела АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»), который многократно апробирован на ряде водных объектов и гидроузлов. Для максимальной оптимизации временны́х затрат и возможности качественного описания узких мест была использована неравномерная криволинейная расчётная сетка, которая сгущалась в районе водосливных плотин и судоходного шлюза до размера ячеек 1×1 м. Созданная цифровая модель местности учитывала все сооружения гидроузла, как основные, так и второстепенные, а также участки реки до и после гидроузла: протяжённость модели по руслу составила почти 8,5 км, а общее количество ячеек расчётной сетки (контрольных объёмов) превысило 7 млн.

Так как все сооружения гидроузла влияют друг на друга, просчёт всего гидроузла целиком, а не его компонентов по отдельности, позволил оценить общую картину гидравлических условий с достаточной точностью, а именно: были получены максимальные уровни воды у гидроузла, кривые спада уровней воды перед водосливными плотинами, вычислены пропускная способность гидроузла, скорости течения воды на порогах водосливных плотин и откосах различных сооружений, выявлены отклонения потока воды от направляющих дамб, застойные и водоворотные зоны, а также неочевидные на первый взгляд явления и многое другое.

[1] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Бетонные и железобетонные конструкции ГТС. Новые разработки и методы исследований

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ КОРРОЗИИ БЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

В.И. Белан[1]

Известны способы оценки стойкости против коррозии, включающие воздействие на поверхность бетона агрессивной средой с заданными параметрами, с определением прочности представленных выборок. Недостатком метода является большой объём испытаний и неопределённость толщины слоя, в котором произошло снижение прочности, а значит и утверждать о начале коррозии нельзя.

Задачей этой работы является создание способов определения скорости коррозии бетона, включающих воздействие агрессивного потока на поверхность бетонного образца и наблюдение за изменением во времени характеристики чувствительной к деструкции.

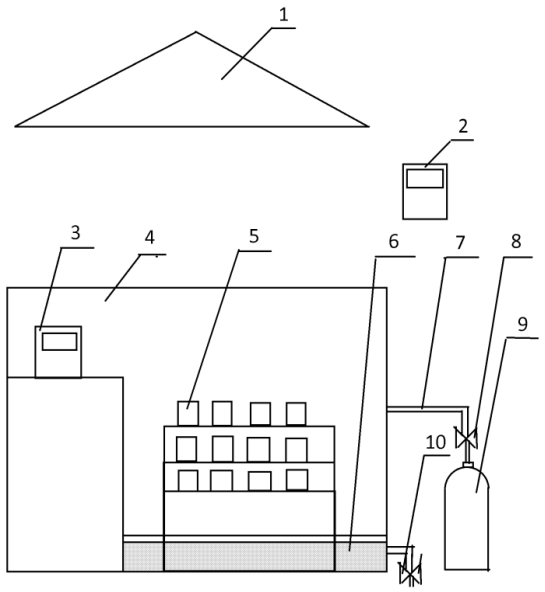


Рис. 1. Установка с поддержанием заданной концентрации сернистого газа:
1 – вытяжная вентиляция; *2* – прибор контроля концентрации сернистого газа помещения; *3* – прибор контроля концентрации сернистого газа камеры; *4* – испытательная камера установки; *5* – кассета с испытуемыми образцами; *6* – дистиллированная вода; *7* – шланг подвода сернистого газа; *8* – вентиль подачи сернистого газа; *9* – баллон сернистого газа; *10* – вентиль слива воды

Физико-химические процессы, происходящие с агрессивным газом, и моделирование их воздействия на бетон.

Концентрация агрессивного газового потока меняется от 10,0 до 2,0 мг/м$^{3.}$

Агрессивным газом является сернистый ангидрид, который в зависимости от концентрации газовоздушной среды делится на 4 группы: A, B, C, D.

Сернистый ангидрид (SO_2) до 0,5 мг/м^3 – A, от 0,5–10 мг/м^3 – B, от 10–200 мг/м^3 – C и свыше 200 мг/м^3 – D.

Указанный агрессивный газ – кислый, и при растворении его в воде образуется кислота.

---

[1] Доктор техн. наук, профессор, ООО «СибНИИстрой»

Процесс образования в цементном камне соединений сульфатов, имеющих больший объем, чем исходные продукты реакции, приводит к разрушению структурных элементов бетона, развитию внутренних напряжений и образованию трещин в бетоне.

Основным признаком служит накопление в значительных количествах в порах и капиллярах бетона данных соединений, то есть получена коррозия 3 вида.

Сульфат – класс минералов, представляющих природные соли серной кислоты

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4\downarrow + 2H_2O.$$

Образующиеся кристаллы гипса при воздействии агрессивного газа на основе SO_2 давлеют на цементный камень и разрушают его.

Как только образовались трещины в защитном слое арматуры, с этого момента можно считать, что начинается усиленная коррозия арматуры. Без защитных мероприятий коррозия арматуры будет проходить ускоренными темпами.

Опасность представляет загрязнение серой и ее соединениями, которые выбрасываются в атмосферу при сжигании угольного топлива, нефти и природного газа, а также при выплавке цветных металлов и др. В атмосферу ежегодно попадает десяток миллионов тонн серного ангидрида. Максимальная концентрация серной кислоты достигается на расстоянии 20–300 км от места выброса SO_2.

Классификация допустимой глубины (см) разрушения бетона за 50 лет

Степень агрессивности среды	Конструкции	
	железобетонные	бетонные
Неагрессивная	1	2
Слабоагрессивная	1–2	2–4
Среднеагрессивная	2–4	4–6
Сильноагрессивная	Более 4	Более 6

Оценка проницаемости бетона для сернистого газа

Характеристика проницаемости бетона	Эффективный коэффициент диффузии сернистого газа $D\ 10^4$, $см^2/с$
Бетон нормальной проницаемости	Свыше 0,2 до 1,0
Бетон пониженной проницаемости	От 0,04 до 0,2
Бетон особо низкой проницаемости	Менее 0,04

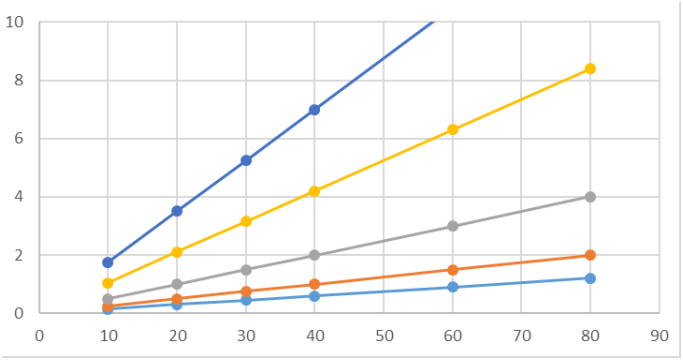


Рис. 2. Кинетическая зависимость продвижения агрессивного потока в глубь бетона в зависимости от концентрата и времени

Представленная номограмма (рис. 2) позволяет в зависимости от концентрации агрессивного газового сернистого потока и необходимого времени знать величину проникновения в бетон. А значит, зная конструкцию сооружений, в том числе слой бетона, расположение арматуры, определить начало коррозии и оценивать ее интенсивность и опасность.

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИНЪЕКЦИОННЫХ КОМПРЕССИОННО-ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ АКРИЛАТНЫХ СОСТАВОВ

Я.А. Белов[1], В.А. Черненко[2], В.В. Кабанова[3], П.А. Козырева[4]

В современных условиях возрастающих требований к долговечности строительных конструкций особую актуальность приобретает проблема обеспечения надежной гидроизоляции. Одним из эффективных решений данной проблемы является применение инъекционных компрессионно-герметизирующих акрилатных составов. Настоящий доклад посвящен анализу существующих методик оценки показателей качества акрилатных составов согласно ГОСТ 33762, изучению важности подбора инъекционного материала на основе физико-механических характеристик и обобщению опыта оценки качества данных материалов.

ГОСТ 33762 устанавливает единые требования к методикам оценки ключевых показателей качества инъекционных акрилатных составов. Стандартом регламентированы методы определения вязкости, водонепроницаемости, степени ограниченного набухания, жизнеспособности, а также совместимости с бетоном. Анализ положений стандарта показывает, что комплексная оценка этих параметров позволяет прогнозировать поведение материала в реальных эксплуатационных условиях.

Важность подбора инъекционного состава на основе показателей качества обусловлена необходимостью обеспечения долговечной гидроизоляции при различных типах нагрузок и деформаций. Реологические свойства, такие как вязкость и время гелеобразования, определяют технологичность применения и возможность заполнения трещин сложной конфигурации. Прочностные и деформационные характеристики влияют на способность материала воспринимать механические нагрузки и сохранять герметизирующие свойства при циклическом нагружении.

Опыт оценки акрилатных составов различных производителей выявил существенные различия в их физико-механических свойствах. В настоящем докладе рассматриваются различные показатель качества инъекционных компрессионно-герметизирующих акрилатных составов, их методики оценки и значение каждого из параметров для надежного и долговечного решения по герметизации конструкций.

[1] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»
[2] Специалист, руководитель отдела продуктового развития направления инфраструктурного и промышленного строительства, ООО «Эм-Си Баухеми»
[3] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»
[4] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»

ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ БУРЕЙСКОЙ ГЭС ПРИ ЭВОЛЮЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

В.А. Бормотов[1], Е.В. Кукушкина[2], Т.В. Сингатулина[3]

В соответствии с ГОСТ Р70811-2023 «Гидротехнические сооружения в сейсмических районах. Геодинамический мониторинг. Сейсмологические и сейсмометрические наблюдения» при сейсмомониторинге района расположения Бурейской ГЭС (БГЭС) необходимо проведение анализа сейсмологических данных для выявления изменений сейсмического режима и определения его характеристик, вызванных природными и техногенными причинами, в том числе с целью изучения влияния заполнения и сработки водохранилища на сейсмический режим территории, а также для выявления изменений характеристик сейсмичности (возрастание числа землетрясений, увеличение их магнитуды, локализации очагов вблизи гидроузла).

Одной из важнейших характеристик сейсмического режима является график повторяемости землетрясений. Величина наклона графика повторяемости отображает соотношение слабых и сильных землетрясений, которое зависит от отношения величин скоростей сейсмических потоков этих землетрясений. Выявление разнонаправленного изменения скоростей на графиках сейсмических потоков, с магнитудами менее 2, позволяет (с погрешностью в несколько месяцев) выявлять временные периоды функционирования стабильных сейсмических режимов. Для этих периодов определяются параметры графика повторяемости и другие характеристики сейсмичности. Следует отметить [Бугаев Е.Г., 2017 г.], что наклон графика повторяемости магнитуд определяется условиями деформирования среды: в условиях всестороннего деформирования наклон близок к –1, а в условиях одноосного деформирования он стремится к –0,5.

Для определения параметров сейсмического режима территории мониторинга необходимо иметь однородные данные по представительности магнитуд в диапазоне, позволяющем построить достоверные графики повторяемости. Данное требование реализуется при наблюдениях на локальной сейсмологической сети БГЭС на эпицентральных расстояниях до 150 км от центра сети. На этих расстояниях без пропусков регистрируются землетрясения с магнитудой $M \geq 1{,}5$. А по графику повторяемости землетрясений за несколько лет выявляется повторяемость магнитуд до $M=3$. Поэтому анализ локальной сейсмичности выполнен для территории, ограниченной окружностью радиусом 150 км из центра ЛСС с координатами 50,1°N и 130,2°E. Требуемая точность и однородность сейсмологических наблюдений на локальной сейсмологической сети (на уровне магнитуд $M \geq 1$) была достигнута в 2014 г.

По результатам анализа наблюдений установлено, что в 2014–2017 гг. на территории мониторинга сейсмический режим функционировал в условиях всестороннего деформирования (b=–1,35). В 2021–2025 гг. сейсмический режим функционировал в условиях, близких к одноосному деформированию геосреды (b=–0,77). А в течение 2018–2020 гг. происходил переход от

[1] Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Инженер группы сейсмологического и сейсмометрического контроля СМО и ГТС, филиал ПАО «РусГидро» – «Бурейская ГЭС»
[3] Ведущий инженер группы сейсмологического и сейсмометрического контроля СМО и ГТС, филиал ПАО «РусГидро» – «Бурейская ГЭС»

одного напряжённо-деформированного состояния геосреды к другому (b=−0,85). Эволюция сейсмического режима отображается возникновением, развитием и распадом локальных сейсмогенерирующих структур.

В 2014–2017 гг. сейсмоактивность, в основном, проявлялась сейсмоактивизацией протяжённых зон разломов в верхнем бьефе БГЭС и к северо-востоку от БГЭС. При этом в области водохранилища БГЭС на удалении от плотины существовала зависимость активности микроземлетрясений от величины водной нагрузки. В 2007 г. в этом районе наблюдалось землетрясение с магнитудой M=3. Анализ результатов наблюдений в 2014–2017 гг. сводился к оценкам уровня активности постоянно действующих сейсмогенерирующих зон и влияния техногенного воздействия. Исходили из того, что возможные сильные землетрясения, наиболее вероятно, могут произойти в этих зонах разломов. Но на фоне продолжающей активности выявленных зон произошла относительная кратковременная активизации в очаговой зоне к юго-западу от БГЭС, однако в ней не произошло ни одного землетрясения с магнитудой M≥3.

В интервале 2018–2020 гг. на территории сейсмомониторинга и в регионе в целом происходило изменение сейсмического режима с понижением уровня сейсмической активности. В области водохранилища произошла фрагментация сейсмоактивной зоны с кратковременной активизацией субмеридионального разлома. Техногенное воздействие на микросейсмичность в области водохранилища БГЭС прекратилось.

Установившийся сейсмический режим (2021 (июнь) –2025 гг.) начался с того, что в нижнем бьефе БГЭС, в русле реки Бурея без предварительной активизации произошло землетрясение M=3 с глубиной очага 5–6 км. Южнее и западнее от БГЭС произошло ещё несколько землетрясений с M=3–4 вне известных сейсмоактивных зон. В целом, распределение эпицентров на территории сейсмомониторинга приняло вид, характерный для сейсмотектонических доменов: «рассеянное» распределение локализованных очаговых зон.

Результаты наблюдений позволяют сделать выводы о том, что структурный план сейсмогенерирующих зон может изменяться за относительно короткие сроки 1–3 года. А активизация локализованных очаговых зон происходит в течение нескольких месяцев. Техногенное влияние возможно только при определённых сочетаниях характеристик зон разломов и напряжённо-деформированного состояния геосреды. Возникновение очагов сильных землетрясений не обязательно в местах, ранее обозначенных активностью микроземлетрясений.

КОНСТРУКЦИЯ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА С БЕТОННОЙ НА КАМЕННО-НАБРОСНУЮ ПЛОТИНУ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС. ПОВЕДЕНИЕ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ПРИ ОТСУТСТВИИ СТАБИЛИЗАЦИИ ОСАДКИ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ

В.А. Гебан[1], Д.О. Никишина [2], А.Н. Волынчиков[3]

Богучанская ГЭС – четвертая ступень каскада гидроэлектростанций на р. Ангаре. Строительство начато в 1980 г. В 1990 г. стройка была заморожена, и только в 2006 г. возобновлено строительство. Вывод ГЭС на полную мощность состоялся в июле 2015 г. В состав гидроузла входят бетонная плотина (БП) высотой 96 м и каменно-набросная плотина (КНП) с асфальтобетонной диафрагмой (АБД) максимальной высотой 77 м.

Наиболее ответственным узлом на гидроузле является сопряжение бетонной плотины и каменно-набросной плотины. Контроль за совместной работой БП, КНП и АБД ведётся с помощью датчиков взаимных перемещений. Оценка состояния данного узла ведётся путём сравнения показаний датчиков с критериями безопасности.

Согласно проекту, конструкция съезда с БП на КНП состоит из переходных плит в количестве шести штук, которые укладывались по ширине проезжей части, Плиты с одной стороны имеют опирание на консоль № 58 секции № 34 бетонной плотины, с другой стороны – на упорную призму каменно-набросной плотины. Осадки секции 34 бетонной плотины, имеющей основанием скальный массив, практически стабилизировались, в то время как осадки упорных призм КНП продолжаются в настоящее время с незначительной тенденцией к затуханию.

Через гребень плотины проходит автодорога, которая является единственной транспортной артерией, соединяющей левый и правый берег. Автодорога имеет социальное значения для данного региона, она необходима для жизнеобеспечения населенных пунктов, находящихся на правом берегу, а также служит для проезда к месту добычи леса в зоне правого берега. Мостовой переход с БП на КНП в зоне опирания на КНП при отсутствии стабилизации осадок упорных призм не позволяет обеспечить нормальную эксплуатацию автодороги. Поэтому для обеспечения эксплуатационной надежности институтом «Гидропроект» разработаны несколько вариантов для приведения в нормальное состояние мостового перехода. Выполнены расчётные обоснования прогнозных величин осадок во времени, по параметрам величин осадок подобраны конструктивные элементы мостового перехода.

[1] Ведущий инженер, АО «Институт Гидропроект»

[2] Инженер 1 кат., АО «Институт Гидропроект»

[3] Канд. техн. наук, заместитель главного инженера по основным сооружениям, АО «Институт Гидропроект»

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДИСТАНЦИО – ПРЕ- И ПОСТПРОЦЕССОР, РЕАЛИЗУЮЩИЙ И РАСШИРЯЮЩИЙ ВОЗМОЖНОСТИ «ТЯЖЕЛОГО» РАСЧЁТНОГО ПО В ЗАДАЧАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.Н. Горбунов[1], Д.С. Дмитриев[2], А.А. Камзолкин[3], А.А. Сысоев[4]

Многолетний опыт АО НИЦ СтаДиО показывает, что для формирования численных моделей наиболее сложных систем «основание-сооружение», к числу которых относятся и объекты гидротехнического строительства (ГТС), верификации моделей и их валидации по натурным данным, при проведении расчетных исследований с использованием этих моделей необходимо применять наиболее передовое, так называемое тяжелое инженерное программное обеспечение, - универсальные программные комплексы математического моделирования и инженерных расчётов (например, западные ANSYS или Abaqus). Практика показала: использование «тяжелого» ПО безальтернативно при численном моделировании работы уникальных сооружений, к которым относятся Саяно-Шушенская ГЭС и Загорская ГАЭС, а также высокоответственные сооружения других сегментов энергетики (АЭС, ТЭС/ГРЭС, ВЭС); мегасайенс-объекты NICA и СКИФ; десятки высотных зданий, в т. ч. высотой 200, 400 и более метров; большепролетные сооружения, включая наиболее протяженные вантовые мосты; крупнейшие футбольные стадионы и ледовые арены; новейшие театрально-концертные комплексы; другие объекты промышленно-гражданского и гидротехнического строительства. В НИЦ СтаДиО накоплен внушительный опыт работы с подобными объектами, имеется необходимый арсенал лицензированного программного обеспечения – и универсального, и специализированного.

Однако применение «тяжелого» инженерного ПО проектными и, в особенности, эксплуатирующими организациями связано с рядом затруднений, среди которых как добавившиеся в последние годы взаимные экономические ограничения (санкции, импортозамещение), так и объективные: универсальное ПО в большей степени адаптировано («заточено») под решение машиностроительных задач, в меньшей степени – строительных; его полнообъемное лицензирование обходится дорого; его освоение требует десятка и более лет активного использования; имеет место известный кадровый дефицит.

Для преодоления существенной части подобных ограничений в АО НИЦ СтаДиО разработан и активно развивается программный комплекс (ПК) ДиСтаНЦИО. В инструменте объединены функции пре- и постпроцессинга в таком объеме и формате, в котором они позволяют сотруднику проектной или эксплуатирующей организации проводить сценарный анализ на готовой модели без прямого доступа к расчётному ядру «тяжелого» ПО. При этом архитектура ПК снижает технические риски, защищая рабочую модель объекта от нежелательных изменений, как случайных, так и преднамеренных.

[1] Зам. генерального директора по развитию, АО НИЦ СтаДиО
[2] Канд. техн. наук, зам. генерального директора по расчетным исследованиям, АО НИЦ СтаДиО
[3] Ведущий инженер-расчетчик, АО НИЦ СтаДиО
[4] Ведущий программист, АО НИЦ СтаДиО

Вместе с тем, в ПК ДиСтаНЦИО добавлены специфические возможности, характерные для отраслевых (строительных) задач, что делает его удобным инструментом и для опытного инженера-расчетчика, и для исследователя, обладающих развитыми навыками работы с «тяжелым» расчетным ПО (и самим ПО).

В целом, использование ПК способствует эффективному импортосокращению – без ущерба для необходимого функционала и высокой производительности, критичных в высоконагруженных нелинейных задачах, в т. ч. при моделировании ГТС и сценарном анализе работы систем «основание–сооружение–водохранилище».

Разработчик планирует реализовать хороший образовательный потенциал ПК ДиСтаНЦИО – пре- и постпроцессор могут быть для использованы в качестве средства обучения студентов строительных и других технических вузов особенностям работы с современными мультифизическими математическими моделями сооружений, а также для повышения квалификации инженеров, эксплуатирующих уникальные объекты, ответственных за их мониторинг, диагностику, оценку и прогнозирование состояния и, в конечном счете, за их механическую безопасность.

В докладе представлено текущее состояние ПК, особенности его программной архитектуры для различных вариантов защищенного использования, примеры адаптации для знаковых объектов, перспектива верификации ПК ДиСтаНЦИО в системе Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) и видение направлений развития.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНОЛИТНОСТИ БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В.М. Давиденко[1]

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:

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

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 среднемноголетней температуре массива. При этом за контрольную температуру принимается среднеобъемная температура блоков, образующих шов.

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

---

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

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

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

а 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 (К), 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, позволяющих регулировать характеристики цементных растворов, а именно: их пластичность, вязкость, сроки схватывания, нерасслаиваемость, прочность цементного камня в раннем возрасте и т. п.

РАСЧЕТЫ И ОЦЕНКА ДОПУСТИМОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОТЕЧЕК В НИЖНИЕ ПОТЕРНЫ ЗДАНИЯ ВОТКИНСКОЙ ГЭС

И.И. Загрядский[1], А.Н. Бусаргин[2], А.В. Боченков[3]

В докладе дана оценка допустимости фильтрационных протечек в нижние потерны здания Воткинской ГЭС и описаны результаты:

визуального обследования очагов фильтрации в нижних потернах Воткинской ГЭС;

инструментального обследования прочности бетона как вблизи очагов фильтрации, так и на удалении от них;

учета химических анализов фильтрующейся воды;

многолетних натурных наблюдений за интенсивностью непроектной фильтрации в потерны;

фильтрационных расчетов нижних ярусов здания Воткинской ГЭС при помощи метода Монте-Карло.

Сделан практически важный вывод об отсутствии негативного влияния повышенной влажности и продуктов выщелачивания на прочность бетона, находящегося в постоянных температурно-влажностных условиях при положительных температурах. Исследования авторов показали, что фактическая прочность бетона здания Воткинской ГЭС превышает проектную. Дано заключение, что фильтрующаяся вода не агрессивна по отношению к бетону и железобетону здания ГЭС. Расчетами определены как наиболее вероятные, так и экстремальные значения фильтрационных протечек в нижние потерны ГЭС, а также маршруты и направление фильтрации. Путем сравнения расчетного раскрытия максимально фильтрующей трещины в потолке сухой потерны с предельно допустимым значением раскрытия, указанным в нормативных документах, наблюдаемые в последние годы непроектные протечки в потерны Воткинской ГЭС и водосливной плотины оценены как допустимые и не опасные для железобетона ГЭС.

[1] Доктор техн. наук, зав. лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Младший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[3] Инженер, филиал ПАО «РусГидро» – Воткинская ГЭС

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ УЗЛА СОПРЯЖЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМЫ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ С БЕТОННОЙ ПЛОТИНОЙ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС

В.И. Кобяков[1], В.В. Юдин[2], И.А. Киреев[3]

В докладе представлен опыт эксплуатации узла сопряжения бетонной плотины и каменно-набросной плотины с противофильтрационным элементом в виде асфальтобетонной диафрагмы. Конструктивные особенности сложного и ответственного участка гидротехнических сооружений в месте примыкания гидротехнических сооружений из разных материалов. Проектные и технические решения, направленные на обеспечение водонепроницаемости узла сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин. Техническое назначение и особенности шпоночного колодца в месте сопряжения асфальтобетонной диафрагмы и бетонной плотины.

В докладе отражается опыт эксплуатации системы прогрева шпоночного колодца и его назначение в период эксплуатации. Обеспечение нормального эксплуатационного состояния узла сопряжения в процессе эксплуатации гидротехнических сооружений. Опыт применения системы прогрева шпоночного колодца и результаты ее работы при действующих нагрузках на сооружение.

[1] Генеральный директор, АО «Богучанская ГЭС»

[2] Начальник лаборатории ГТС, АО «Богучанская ГЭС»

[3] Зам. начальника лаборатории ГТС, АО «Богучанская ГЭС»

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТАРЕЮЩИХ БЕТОННЫХ ПЛОТИН

Д.А. Крутов[1]

Изучение материалов комиссии по большим плотинам позволило установить важнейшие сценарии старения бетонных плотин и подземного контура. Старение тела плотин, как правило, связано с ослаблением структуры бетона как материала. Старение подземного контура обусловлено рядом причин:

потерей прочности скалы из-за циклических нагрузок;

деградацией цементационных завес и дренажей;

эрозионными процессами в трещиноватой скале.

Деградация скального основания вынуждает обращаться к наиболее требовательным стандартам и консервативным оценкам устойчивости плотин, но в разных странах существуют разные подходы в особенностях изыскательских работ (здесь подразумевается учет коэффициента надежности по грунту) и в назначении:

параметров сдвига;

допустимых коэффициентов запаса устойчивости;

противодавления.

Чтобы выявить наиболее требовательный стандарт, регламентирующий устойчивость бетонных плотин, рекомендовано сравнивать отечественные, европейские и американские нормы в виде отношения расчетного и допустимого коэффициентов запаса устойчивости.

На примере гравитационной плотины Шон Ла (Вьетнам) выполнены расчеты устойчивости по разнообразным нормам с использованием как пиковой, так и остаточной прочности на сдвиг. При этом, вклад сил трения и сцепления в расчетный коэффициент запаса устойчивости оценивался раздельно.

Оказалось, что по американским нормам, регламентирующим использование пиковой прочности на сдвиг, доля коэффициента запаса устойчивости бетонной плотины во многом обеспечивается за счет сил сцепления (около 50 %). Такая практика создает риски, поскольку сцепление скалы с бетоном может нарушаться со временем из-за плохо прогнозируемых факторов. Наиболее требовательными оказались американские и французские руководства, регламентирующие использование остаточной прочности и ряд уменьшающих коэффициентов.

Преимущество зарубежных стандартов над отечественными заключается в оценке противодавления: отечественная эпюра противодавления на 20 % меньше зарубежной для основного сочетания нагрузок (при закрытом контактном шве). Консерватизм отечественных норм заключается в практике определения параметров сдвига, соответствующих остаточной прочности на сдвиг, и в применении коэффициента надежности по грунту.

Оценку старения тела бетонных плотин предлагается производить по характеру изменения во времени коэффициента линейного расширения замороженного бетона (КЛР), который является одним из показателей качества/прочности бетона. Такая методика оправдана и в условиях вышедшей из строя контрольно-измерительной аппаратуры.

КЛР можно вычислить по деформации, измеряемой тензометром в так называемом ненапряженном образце (конусе), сопровождающем каждую тензометрическую розетку. Но КЛР как интегральную характеристику бетона плотины можно определить и по измеренному температурному перемещению и температурным градиентам.

По данным натурных наблюдений, полученных на Братской плотине, установлено:

КЛР=$1{,}63\times10^{-5}$ $1/^0$C (интегральная характеристика качества бетона);

КЛР=$1{,}62\times10^{-5}$ $1/^0$C (среднее значение по данным обработки в конусах).

---

[1] Канд. техн. наук, главный инженер, ООО «Тывагипрозем»

СПОСОБ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ПРОХОДОК ПРИ ПРОКЛАДКЕ КОММУНИКАЦИЙ ЧЕРЕЗ ГРЕБЕНЬ ПЛОТИНЫ

А.А. Муратов[1]

Проблема гидроизоляции железобетонных кабельных лотков на гребне плотины является актуальной задачей.

Необходимость прокладки кабельных линий обусловлена потребностью в обеспечении функционирования технологического оборудования, размещённого на гребне плотины.

Герметичность кабельных лотков, обеспечиваемая при строительстве плотины, со временем утрачивает эффективность под воздействием следующих факторов:

осадка и подвижка секций плотины;

износ гидроизоляционных покрытий и элементов;

агрессивное воздействие климатических факторов.

Проведение ремонтных работ в кабельных лотках существенно затруднено из-за их насыщенности кабельными коммуникациями. Перекладка и отключение кабелей, включая высоковольтные линии, недопустимы по условиям надёжности и безопасности ГЭС.

Опыт Зейской ГЭС показывает, что неоднократные попытки прокладки кабелей через гребень плотины не приводили к желаемому результату из-за:

вибрационных нагрузок;

температурных расширений;

не идентифицированных причин протечек.

Ранее предлагаемые решения, основанные на полной гидроизоляции поверхностей кабельного лотка, характеризовались высокой трудоёмкостью и затратами.

Анализ причин протечек позволил:

установить неэффективность предлагаемых методов;

выявить строительные дефекты, влияющие на герметичность кабельных проходок.

В рамках подготовки к организации автономного питания козловых кранов и новой прокладки кабелей через гребень плотины были:

разработана новая технология и подобраны материалы для гидроизоляции;

использованы недорогие материалы из сферы железнодорожного строительства;

внесены соответствующие изменения в рабочую документацию.

Практические результаты подтвердили эффективность и экономическую целесообразность предложенного метода гидроизоляции.

[1] Руководитель группы ГТС и производственных зданий, филиал ПАО «РусГидро» – «Зейская ГЭС

ФАКТОРЫ ДЕГРАДАЦИИ БЕТОНА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Г.В. Охапкин[1], Л.С. Дейнеко[2]

Гидротехнические сооружения (плотины, шлюзы, причалы) являются жизненно важными, но потенциально опасными объектами, от которых зависят энергетика, водоснабжение, транспорт и безопасность миллионов людей. Их разрушение может привести к катастрофе федерального масштаба. В Российской Федерации большинство мощных ГЭС эксплуатируются с 1950–1960-х гг. Эксплуатация в условиях постоянного воздействия агрессивных сред приводит к прогрессирующей деградации материалов и, как следствие, снижению долговечности бетона конструкций.

После длительной нормальной эксплуатации ГТС из-за медленного протекания деструктивных процессов иногда происходят аварии, приводящие в большинстве своем к быстрому разрушению бетонных конструкций. Возникает обеспокоенность в связи с тем, что не на всех ГТС должным образом проводится контроль текущего состояния конструкций. Ключевыми факторами, определяющими долговечность этого материала, являются свойства бетона, обоснованность проектных решений, качество реализации строительных работ, достаточность и своевременность последующих технических обслуживаний. При этом долговечности бетона могут угрожать разнообразные процессы, вызванные химическими, физическими или биологическими воздействиями (рисунок). Стоит отметить, что особую сложность представляет синергия этих факторов.



Деградация бетона ГТС – тема, активно обсуждаемая в мировой научной среде. Ключевые работы сосредоточены на изучении химических, физических и биологических механизмов разрушения, а также на разработке актуальных подходов к защите конструкций, способствующих повышению долговечности и обеспечению безопасности объектов.

---

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

[2] Канд. техн. наук, технический директор, ООО «Аспект»

УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ БЕТОННЫХ ПЛОТИН С УЧЕТОМ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Н.И. Павлюк[1], Б.В. Цейтлин[2]

Ранее авторами рассматривалась задача идентификации характеристик конечно-элементной модели гравитационной бетонной плотины на основании результатов вибрационного мониторинга. Неизвестными параметрами моделей являлись механические характеристики элементов плотины и основания. Для их определения использовался метод чувствительности, основанный на минимизации функционалов, характеризующих различие расчетных и определенных экспериментально комплексных частот и форм собственных колебаний.

Использование разработанных методов для идентификации параметров математических моделей арочных плотин позволило добиться соответствия расчетных и экспериментальных результатов в широком диапазоне частот. В то же время при формировании математических моделей гравитационных плотин возникают трудности, обусловленные необходимостью учета деформаций межблочных, межстолбчатых и межсекционных швов. В связи с этим значительно возрастает количество характеристик, которые необходимо определять.

Предлагается совместно с результатами мониторинга динамических характеристик использовать и результаты мониторинга квазистатического НДС. Это позволяет получить достаточное количество соотношений для определения характеристик конечно-элементной модели конструкции. При этом предполагается пропорциональность статических модулей упругости и динамических модулей, отвечающих одинаковым частотам.

В представленной работе в конечно-элементную модель гравитационной бетонной плотины были введены деформационные швы, а характеристики их податливости использовались как дополнительные параметры при калибровке модели. Полученные результаты сопоставлены с результатами калибровки расчетной модели без учета деформационных швов по данным вибрационного мониторинга.

[1] Инженер, АО «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева»
[2] Канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева»

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМЫ «СООРУЖЕНИЕ–ОСНОВАНИЕ»

П.В. Пичейкин[1], Д.С. Дмитриев[2], А.А. Камзолкин[3], С.О. Петряшев[4], Э.А. Сеньков[5]

Метод конечных элементов (МКЭ) является мощным инструментом для численного анализа бетонных сооружений, включая гидротехнические сооружения, подвергающиеся сложным нагрузкам. МКЭ позволяет моделировать нелинейное поведение бетона, учитывая различия в прочности на сжатие и растяжение, упрочнение, разупрочнение и дилатансию. Среди моделей, описывающих механическое поведение бетона, модель Ментри-Виллама (рис. 1), реализованная в программном комплексе ANSYS, выделяется своей способностью воспроизводить ключевые характеристики бетона.

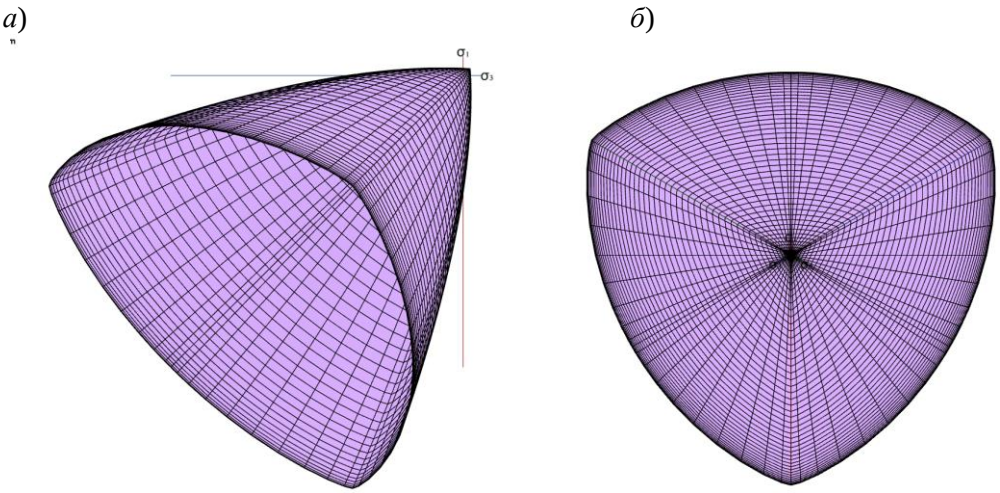


Рис. 1. Поверхность текучести Ментри-Виллама:
а – общий вид; *б* – девиаторная плоскость

Для её эффективного применения требуется определение параметров в соответствии с нормативными требованиями. В России проектирование и расчет железобетонных и бетонных конструкций, в т. ч. гидротехнических сооружений регламентируются СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» и СП 41.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений».

[1] Инженер службы мониторинга гидротехнических сооружений, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожнего»
[2] Канд. техн. наук, заместитель генерального директора по расчетным исследованиям, АО НИЦ «СтаДиО»
[3] Ведущий инженер расчетчик, АО НИЦ «СтаДиО»
[4] Ведущий инженер расчетчик, АО НИЦ «СтаДиО»
[5] Инженер расчетчик, АО НИЦ «СтаДиО»

В настоящем докладе представлены результаты определения входных параметров модели Ментри-Виллама для моделирования нелинейного поведения бетона.

Для определения оптимальных входных параметров модели Ментри-Виллама проведены численные эксперименты, включающие расчет бетонного куба (150×150×150 мм) на сжатие и бетонной призмы (150×150×600 мм) на сжатие и растяжение. В ходе расчетов варьировались параметры модели, что позволило оценить их влияние на диаграмму напряжений-деформаций. Полученные диаграммы сопоставлены с трилинейной диаграммой, регламентированной СП 63.13330.2018, для подтверждения соответствия нормативным требованиям (рис. 2).

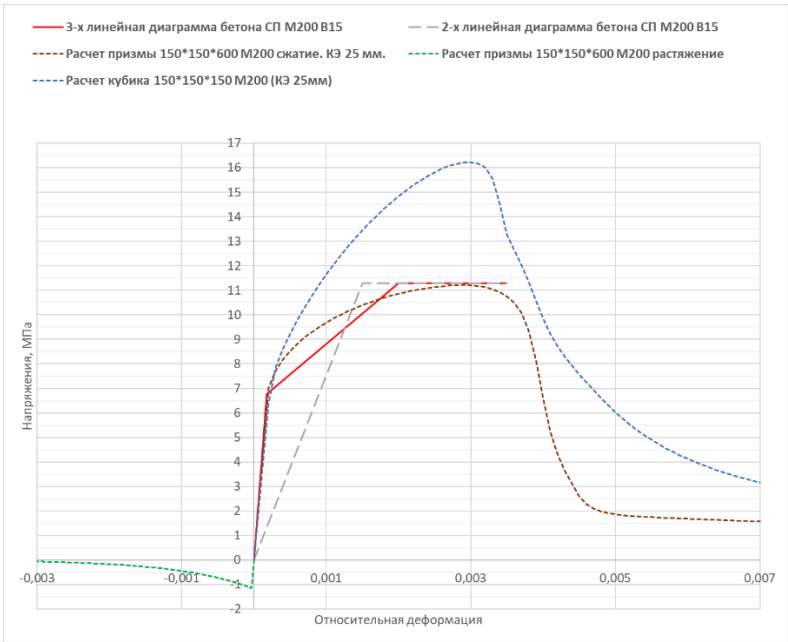


Рис. 2. Сравнение расчетных диаграмм бетона с 2-х и 3-х линейной диаграммами, регламентированными СП 63.13330.2018, для бетона В15

На основе анализа результатов подобраны параметры, обеспечивающие наилучшую сходимость расчетов и наиболее точное воспроизведение реального поведения бетона.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАССИВНО-КОНТРФОРСНОЙ ПЛОТИНЫ ЗЕЙСКОЙ ГЭС НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.А. Россихин[1]

Плотина Зейской ГЭС – уникальное сооружение для нашей страны, не имеющее аналогов. Массивно-контрфорсная плотина построена в суровых климатических условиях.

За 50 лет эксплуатации накоплен большой ряд данных натурных наблюдений по различным видам наблюдений и контрольно-измерительной аппаратуры:

геодезические наблюдения по отвесам, струнному створу, щелемерам;

фильтрационные наблюдения по пьезометрам и дренажным скважинам;

наблюдения по закладной КИА;

визуальные наблюдения за состоянием бетонных поверхностей.

Проведённая в 2020 г. модернизация контрольно-измерительной аппаратуры и автоматизация измерений позволила увеличить частоту получения показателей состояния плотины и дала возможность оперативно получать данные с датчиков.

Анализ результатов наблюдений позволяет выявить некоторые особенности:

более существенное влияние температурного режима плотины на её напряжённо-деформированное состояние в сравнении с уровнем верхнего бьефа и напором на сооружение;

благоприятный фильтрационный режим тела плотины и её основания;

сложность обнаружения дефектов визуальными методами ввиду большой площади поверхностей галерей и полостей плотины.

По результатам натурных наблюдений за состоянием плотины Зейской ГЭС состояние плотины однозначно оценивается как работоспособное и нет предпосылок к его ухудшению.

[1] Инженер участка диагностики ГТС СМОиГТС, филиал ПАО «РусГидро» – «Зейская ГЭС»

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАПИСЕЙ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

М.И. Саранцев[1]

Контроль динамических характеристик состояния плотины – один из способов оценки и диагностики технического состояния гидротехнических сооружений. Положения существующей нормативно-технической документации устанавливают необходимость определения собственных частот и логарифмических декрементов затухания колебаний плотины один раз в 5 лет при уровне мертвого объема и нормальном подпорном уровне воды в водохранилище в предположении о явном различии динамических характеристик сооружения при этих граничных условиях.

На плотине Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС) установлен и эксплуатируется автоматизированный сейсмокомплекс (АСК), регистрирующий реакцию сооружений и береговых примыканий на динамические воздействия. АСК записывает колебания плотины непрерывно. Накопление даёт возможность определять динамические характеристики сооружения в любой момент времени, при любом уровне ВБ.

В работе разработана методика определения собственных частот и логарифмических декрементов затухания колебаний плотины в режиме мониторинга по показаниям инженерно-сейсмометрической сети на примере арочно-гравитационной плотины СШГЭС. Методика основана на измерении характеристик фоновых колебаний, связанных с динамическими воздействиями от различных режимов работы гидроагрегатов.

В соответствии с разработанной методикой по определению динамических характеристик плотины СШГЭС, по данным инженерно-сейсмометрических наблюдений установлено изменение параметров в течение цикла наполнение–сработка водохранилища. Определены параметры сооружения, оказывающие влияние на изменение собственных частот и логарифмических декрементов затухания в годовом цикле водохранилища, установлен нелинейный характер зависимости динамических характеристик от УВБ. Значительное влияние на изменение декрементов оказывает раскрытие межсекционных швов плотины СШГЭС, а также влияние температуры воды в проточном тракте гидроагрегатов и консольных напряжений. Одной из особенностей, оказывающей влияние на изменение собственной частоты плотины, является влияние льда в водохранилище, что также раньше никогда не оценивалось.

Выявленные закономерности, особенности и возможность определения параметров по данным автоматизированного сейсмокомплекса дают основания для корректировки подходов к моделированию динамического состояния гидротехнических сооружений с возможностью использования динамических характеристик при калибровке расчетных моделей, а также в части применения при пересмотре динамического паспорта ГТС как альтернативы проведению сложных динамических тестовых испытаний по определению характеристик сооружения и оценки его динамической надежности. Контроль параметров в режиме мониторинга может быть поло-

[1] Ведущий инженер Службы мониторинга гидротехнических сооружений, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожнего»

жен в основу контроля и оценки технического состояния гидротехнических сооружений. Также расчёт динамических характеристик актуален при оценке динамического состояния и надежности плотины после землетрясений. В этом случае выполняется расчет собственных частот и логарифмических декрементов до землетрясения и аналогичный расчет после сейсмического события, далее результаты сравниваются и при отсутствии изменений величины декрементов можно заключить, что состояние сооружения, и соответственно, его динамическая надежность не претерпели каких-либо изменений, что исключает вероятность возникновения трещин и раскрытие швов. В части возможности определения раскрытия трещин в плотине выполнены модельные расчеты, которые показывают, что с применением разработанной методики можно выявлять изменение НДС плотины.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО УСТРАНЕНИЮ СТРУЙНЫХ ФИЛЬТРАЦИЙ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ В ГТС

К.А. Федосин[1]

Возникновение струйной фильтрации воды через железобетонные конструкции – нередкое явление на объектах гидротехнической инфраструктуры, наблюдаемое как при новом строительстве, так и на объектах, эксплуатирующихся продолжительное время.

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 инъектируемого материала и обеспечить полноценное заполнение дефектов.

Также подобный опыт применим для задач подавления активного водопритока при аварийном прорыве строительных котлованов. 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»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕПАРАТОВ С БИОЦИДНЫМ ЭФФЕКТОМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГТС ОТ БИООБРАСТАНИЙ

И.М. Царовцева[1], Л.Э. Беллендир[2], Е.Ю. Борисова[3], Д.Ю. Власов[4], И.Д. Беляева[5], В.А. Леонов[6]

Коррозия конструкционных материалов представляет собой комплексный электрохимический и физико-химический процесс с участием микроорганизмов и может приводить к быстрому износу конструкционных элементов и разрушению конструкций. Экономический ущерб от коррозионных процессов исчисляется миллиардами рублей.

Анализ современного состояния исследований в области биоповреждений и биокоррозии конструкционных материалов указывает на то, что этот процесс необходимо купировать на начальных стадиях, а именно на стадии образования биоплёнки на поверхности конструкционных элементов. В случае уже сформированных биообрастаний после их расчистки санирующими средствами (рекомендован препарат «АнтиМикроФлорин», разработанный специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева») необходимо закрепить и продлить биоцидный эффект на значительное время за счет использования второго компонента биоцидной защиты.

Применение двухступенчатой обработки поверхности конструкционных материалов (бетон, железобетон, камень и металл) позволит значительно снизить скорости коррозионных процессов, приводящих к повреждению конструкций ГТС, строительных объектов и уменьшить биологическую нагрузку на объекты.

Для двухступенчатой защитной обработки бетонных и железобетонных поверхностей гидротехнических сооружений был разработан новый продукт «АнтиМикроПротектин», который в настоящее время проходит государственную экспертизу. «АнтиМикроПротектин» обеспечивает эффективное предохранение предварительно очищенной поверхности бетонных сооружений от повреждений, вызванных неблагоприятными биологическими процессами.

Применение на объектах ГТС препаратов «АнтиМикроФлорин» и «АнтиМикроПротектин», соответствующих экологическим требованиям, позволит решить вопрос предписаний для ГТС от Ростехнодзора, который ссылается на ст. 8, 9 Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117-ФЗ от 21.07.1997 и п. 282 «Правил организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики», утвержденных приказом Минэнерго России от 25.10.2017 г. № 1013, а также даст возможность увеличить срок службы строительных объектов, сократить эксплуатационные расходы организаций, улучшить условия труда персонала организаций.

[1] Канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Зав. лабораторией, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[3] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[4] Доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», ведущий научный сотрудник БИН РАН
[5] Специалист, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[6] Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПРОЧНОСТИ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОУЗЛА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

А.Д. Червякова[1], А.С. Антонов[2]

В настоящее время в Российской Федерации 20 % выработки электроэнергии приходится на долю гидроэлектростанций, срок службы которых приближается к проектному. При этом для ряда сооружений существенно изменились как внешние условия эксплуатации, так и физико-механические характеристики материалов тела сооружений и их оснований. Также следует отметить, что в соответствии с государственными докладами в Российской Федерации эксплуатируется свыше 29500 ГТС II-IV классов, при этом 53 % из них имеют уровень безопасности ниже нормального, следовательно, требуют технических воздействий. Кроме того, за последние 10 лет зафиксировано значительное количество землетрясений интенсивностью более 7 баллов по шкале МСК-64. В связи с этим встаёт вопрос об обеспечении безопасности гидрогенерирующих объектов для регионов с повышенной сейсмичностью. Так, в период «большой стройки» в СССР действовали нормативные документы и устаревшие на сегодня карты микросейсморайонирования. Действующие сейчас нормы в соответствии со сводом правил (СП 14.13330.2018) устанавливают расчётную интенсивность сейсмических воздействий с учётом карт общего сейсмического районирования ОСР-2015, которые имеют уточнённую на 1–2 балла расчётную сейсмичность относительно проектных данных 1960–1970 гг.

Для обоснования безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений требуется выполнение расчётных исследований на основное и особое сочетание нагрузок с целью предварительной оценки необходимости технических воздействий, а также оценки фактического коэффициента надёжности при изменившихся условиях эксплуатации объектов. Действующая нормативная документация предписывает выполнение расчётов на сейсмическое воздействие на уровне проектного землетрясения (ПЗ) и максимального расчетного землетрясения (МРЗ) в сочетании с дополнительными воздействиями, которые оказывают наиболее неблагоприятное влияние на конструкции гидротехнического сооружения (ГТС) с точки зрения рассматриваемого предельного состояния.

Инженерные расчеты на действие сейсмических сил регламентируются нормативно-правовыми документами в сфере строительства РФ (СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах»), основанные на линейно-спектральной теории М. Био. В настоящее время для нахождения собственных форм колебаний сооружений с большим числом степеней свободы используются численные методы расчета. Во многих отечественных и зарубежных инженерных программных комплексах (ПК) реализован метод конечных элементов (МКЭ).

Для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) гидротехнических сооружений на статические и сейсмические нагрузки производится расчет в специализированных ПК в трехмерной постановке задачи. Расчетные сейсмические воздействия определены на основе сейсмического микрорайонирования зон для площадки ГТС (то есть локальная сейсмичность уточнена с учетом влияния местных особенностей участка).

[1] Инженер, АО «Атомэнергопроект»
[2] Канд. техн. наук, доцент, НИУ МГСУ

Полученные результаты показывают сложное НДС ГТС – распределение суммарных главных напряжений неравномерно и изменяется по высоте. Суммарные напряжения от статических и сейсмических воздействий на уровне МРЗ сравниваются со значением предела прочности бетона ГТС на сжатие. Если прочность бетона на сжатие не превышает значения суммарных напряжений, то прочностные требования рассчитываемых зданий и сооружений выполняются и безопасность ГТС обеспечена. Необходимость в принятии конструктивных мер по обеспечению устойчивости отсутствует.

ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЕЙСТВУЮЩИХ ГИДРОУЗЛОВ НА ПРИМЕРЕ ВОДОСБРОСА № 1 БОГУЧАНСКОЙ ГЭС С ПРОЕКТНЫМ РАСХОДОМ 7200 М^3/С

А.Ю. Шигаров[1], Ю.В. Пинчук[2], А.Н. Волынчиков[3]

Крупные гидроэлектростанции в составе сооружений напорного фронта должны иметь водосбросные сооружения, рассчитанные на пропуск паводкового расхода обеспеченностью 0,01 % (для сооружений I класса ответственности) с учетом гарантийной поправки. Как правило, в период эксплуатации данные водосбросные сооружения находятся в режиме ожидания, и должны быть готовы к пропуску расчетного паводка, который может случиться в любой (в том числе и ближайший) из сезонов.

Еще одной особенностью работы паводковых водосбросных сооружений является восприятие, пропуск и гашение энергии водного потока огромных значений. Так, водосброс №1 Богучанской ГЭС призван погасить энергию потока N=5000 МН. Поэтому бетонные сооружения водосброса испытывают значительные усилия при пропуске подобной энергии.

Водосбросные сооружения I класса ответственности рассчитываются на эксплуатацию в течение 100 лет. Однако, как правило, необходимы промежуточные ремонты в течение данного периода. Вывод же водосбросного сооружения из эксплуатации на период ремонта является проблематичным и связан с большими эксплуатационными, финансовыми рисками и безопасностью сооружения в целом. Поэтому в работе рассмотрены всевозможные варианты, позволяющие обеспечить капитальный ремонт сооружений с обеспечением безаварийной работы всего гидроузла и сохранением возможности пропуска расчетных паводковых расходов в ремонтный период. Рассмотрены варианты аккумуляции части стока в водохранилищах с учетом того, что Богучанская ГЭС является четвертой, нижней ступенью Ангарского каскада ГЭС.

В данной работе рассмотрены все аспекты ремонта объекта при работе гидроузла в штатном режиме, выбраны оптимальные методы производства работ, в том числе, с учетом требования минимальных капиталовложений.

Актуальность данной работы подчеркивает предписание Ростехнадзора о необходимости проведения ремонтных работ в нижнем бьефе водосброса № 1 Богучанской ГЭС.

[1] Главный специалист, АО «Институт Гидропроект»
[2] Техник, АО «Институт Гидропроект»
[3] Канд. техн. наук, заместитель главного инженера по основным сооружениям, АО «Институт Гидропроект»

ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ БЕТОННЫХ И Ж.Б. КОНСТРУКЦИЙ И КОНТАКТА БЕТОН-ГРУНТ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ И ИХ КОНТРОЛЯ

М.П. Широбоков[1], Л.Н. Юрина[2]

Развитие методов технической геофизики идет по пути создания технологий, направленных на решение отдельных узконаправленных задач. Зачатками подобных технологий в настоящее время являются акустические, ультразвуковые и термометрические методы исследования свай и «стен в грунте», георадарные и акустические методы исследования фундаментных плит, обделки тоннелей, крепи шахтных стволов, георадарные методы исследования дорожных покрытий и т. п.

Для обследования крупных железобетонных конструкций различных сооружений обычно применяется комплекс, состоящий из ультразвуковых, акустических и георадарных методов. Применение георадара позволяет оперативно провести съемку обследуемой конструкции по густой сети точек наблюдения. Ультразвуковые и акустические методы позволяют определить прочностные и деформационные характеристики конструкции, но уступают георадарным методам в производительности. Поэтому сочетание георадарных и акустических методов дает максимальный эффект.

Методика исследования наземной части бетонных конструкций достаточно неплохо отработана и в настоящее время широко применяется в практике. А вот исследования конструкций, находящихся под водой, до недавнего времени представляли серьезную проблему, заключающуюся в отсутствии аппаратурных решений для реализации этой задачи. В связи с этим, для обследования подобных конструкций для георадара «ОКО-3» были созданы подводные антенные блоки с центральной частотой 700 и 1200 МГц.

Благодаря новой аппаратурной разработке появляется возможность проведения исследований состояния бетонных конструкций непосредственно с поверхности конструкции, находящейся под водой, а не с поверхности воды. С одной стороны, это в разы увеличивает эффективность и результативность работ, но с другой стороны требует серьезного подхода при обработке и интерпретации данных, полученных в водной среде.

Применение атрибутного анализа при интерпретации георадарных данных, полученных при обследовании различных инженерных сооружений, позволяет существенно облегчить выделение аномальных участков повышенной влажности, областей разуплотнения, пустот в искусственных конструкциях при обработке данных, полученных с подводных антенных блоков.

В результате обследования искусственных монолитно-бетонных конструкций на предмет выделения дефектов, трещин, возможных пустот в твердом искусственном покрытии, выделения зон ослабления, разуплотнений, участков повышенной влажности и просадок в насыпных подстилающих грунтах, возникает необходимость поиска программных средств обработки, позволяющих повысить эффективность интерпретации полученных данных.

[1] Директор по развитию, ООО «НПЦ Геотех»
[2] Руководитель направления отраслевых решений, ООО «НПЦ Геотех»

ОБОСНОВАНИЕ ПЛОЩАДОК РАЗМЕЩЕНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГАЭС В УЗБЕКИСТАНЕ

С.В. Юрьев[1], Е.Г. Березовский[2]

АО «Институт Гидропроект» в рамках договоров с АО «Узбекгидроэнерго» разработал ТЭО проектов: «Строительство Каратереньской ГАЭС (гидроаккумулирующая электростанция) на озере Каратерень в Тахтакупырском районе Республики Каракалпакстан» и «Строительство Айдаркульской ГАЭС (гидроаккумулирующая электростанция) на озере Айдаркуль в Фаришском районе Джизакской области».

Целью проектов является использование гидроэнергетического потенциала озера и покрытие пиковой нагрузки энергетической системы Республики Узбекистан путём создания аккумулирующих мощностей и улучшения стабильной работы энергосистемы.

В рамках проектов были выполнены комплексные инженерные изыскания (инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические изыскания, геофизические исследования). В соответствии с природными условиями разработаны компоновка и конструкции основных сооружений с учётом вариантности по сооружениям.

В соответствии с КМК 2.06.01-97 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования сооружения» ГАЭС относятся к III классу.

Установленная мощность Каратереньской ГАЭС – 500 МВт (в турбинном режиме).

Установленная мощность Айдаркульской ГАЭС – 300 МВт (в турбинном режиме).

В состав основных сооружений ГАЭС входят: верхний бассейн, реверсивный водоприёмник с понуром, встроенный в тело ограждающей дамбы верхнего бассейна, напорные металлические водоводы, станционный узел (здание ГАЭС с монтажной площадкой), реверсивный канал, нижний аккумулирующий бассейн, служебно-производственный корпус (СПК), сооружения выдачи мощности, автодороги и служебные проезды на эксплуатационный период.

Осуществлен подбор основного и вспомогательного гидросилового оборудования, основного и вспомогательного электротехнического оборудования, вспомогательного технологического оборудования с учетом вариантности, а также определены финансовые затраты на оборудование.

Разработаны финансовые модели Айдаркульской ГАЭС и Каратереньской ГАЭС. Определены показатели экономической эффективности.

В рамках ТЭО проекта разработан проект воздействия на окружающую среду (ПЗВОС) и получено положительное заключение экологической экспертизы.

Определены и обоснованы параметры и режимы работы ГАЭС Айдаркуль в интересах энергосистемы Узбекистана.

[1] Директор по развитию и управлению проектами, АО «Институт Гидропроект»
[2] Главный инженер проекта, АО «Институт Гидропроект»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Основания и грунтовые ГТС объектов энергетики и промышленности

К РАСЧЕТУ ФИЛЬТРАЦИИ В ПЕРЕМЫЧКЕ С ПЛАСТОВЫМ ДРЕНАЖЕМ

К.Н. Анахаев[1]

Рассматривается одна из самых известных задач теории безнапорных фильтрационных потоков – фильтрация через прямоугольную перемычку с пластовым (горизонтальным) дренажем, различные решения которой (теоретические, гидравлические, численные на ЭВМ) были изложены в работах: Kozeni J., Павловского Н.Н., Нумерова С.Н., Нельсон-Скорнякова Ф.Б., Шанкина П.А., Kacimov A.R., Анахаева К.Н. и др. Полученные результаты относятся, как правило, к широким перемычкам ($L/H \geq 1$), а решения для более «узких» перемычек во многом остаются незавершенными. Кроме того, до настоящего времени не получено аналитических решений по определению внутренних скоростей фильтрации, необходимых как для инженерной практики, так и для тестирования программ для ЭВМ, что и предопределяет актуальность работы.

Для определения фильтрационного расхода (и величины захода потока в дренаж) на основе приведения заданной перемычки к эквивалентной (по расходу) перемычке на непроницаемом основании получены расчетные зависимости, достаточно близко (≤ 2 %) согласующиеся с результатами аналитических и численных решений для «узких» перемычек и практически полностью совпадающие с результатами точного решения Нумерова С.Н. для широких перемычек.

Рассмотрение задачи фильтрации в перемычке с пластовым дренажем в гидромеханической постановке с использованием метода последовательных (11-ти) конформных отображений позволило получить аналитическую взаимосвязь физической области течения с областью годографа скорости в элементарных функциях для прямого определения скоростей потока в любой точке области фильтрации.

Для частного случая (H =1; L=0,232) приведены очертания подсчитанных линий равных скоростей фильтрации (изотах), эпюр скоростей фильтрации вдоль верховой грани, подошве перемычки и депрессионной кривой. Показано, что скорости фильтрации в перемычке с пластовым дренажем получают относительно равномерное распределение во всей области фильтрации, в то время как в перемычках с участком высачивания они характеризуются крайней неравномерностью с резким увеличением выходных скоростей фильтрации, «затянутых» вглубь перемычки, что представляет значительную опасность для развития фильтрационно-суффозионных процессов.

Заключение. Впервые получено в гидромеханической постановке прямое аналитическое решение задачи фильтрации для перемычки с пластовым дренажем с определением в элементарных функциях скоростей фильтрации в любой заданной точке области фильтрации, приведены также усовершенствованные формулы для значений фильтрационного расхода и величины захода потока в дренаж.

[1] Доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, РАН (ИПМА КБНЦ РАН)

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ ГЕОМЕМБРАНЫ В СОСТАВЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

Н.А. Анискин [1], А.А. Кравченко[2]

В настоящее время в Российской Федерации при строительстве гидротехнических и специальных сооружений широко используются геосинтетические материалы. Наиболее часто они используются для создания противофильтрационных элементов (ПФЭ) – экранов или диафрагм грунтовых сооружений: плотин, защитных дамб, дамб накопителей вторичных материальных ресурсов (хвостохранилищ, шламохранилищ, золоотвалов).

Одним из вариантов подобных конструкций являются ПФЭ с использованием полиэтиленовой полимерной рулонной геомембраны, являющиеся достаточно надежными. Однако статистические данные натурных наблюдений за подобными возведенными сооружениями показывают случаи повреждений ПФЭ и возникновения фильтрации в теле грунтового сооружения. Это может быть обусловлено недостаточной защитой ПФЭ, отсутствием или ошибками при расчете толщин полимерных материалов, неполным учетом действующих нагрузок при проектировании. Также весьма важной задачей при проектировании является правильная оценка взаимодействия полимерного ПФЭ с грунтовым сооружением. Правильное решение данной задачи требует точного определения коэффициентов трения и сцепления по контактам полимерного элемента с сопрягающими слоями.

В докладе представлены результаты определения горизонтальных, вертикальных и суммарных перемещений ПФЭ в грунтовой плотине реального объекта энергетики. Противофильтрационный экран состоит из следующих элементов: защитный геотекстиль плотностью 500 (гр/м^2); полиэтиленовая полимерная рулонная геомембрана ГЕОПРУФ ПЭВП 1,00 (мм); защитный геотекстиль плотностью 500 (гр/м^2). Поверх противофильтрационного экрана предусматривается слой из щебня, фракцией 5–20 мм, толщиной 0,3 (м).

На предварительном этапе производился расчет и оптимизация толщины геомембраны. Использовались различные существующие методики определения толщины ПФЭ, определенные отраслевыми нормативными документами и рекомендациями. Задачи по определению напряженно-деформированного состояния сооружения решены численным методом конечных элементов с использованием программного комплекса PLAXIS 2D.

В результате численных исследований были получены перемещения, усилия и напряжения для рассмотренного варианта геомембраны. Максимальными получены вертикальные перемещения в зонах у гребня грунтовой плотины и бермы на уровне сработки водохранилища. Максимальные осевые усилия возникают на отметке УВБ, а суммарные максимальные напряжения ПФЭ – на уровне дна водохранилища. Особое внимание уделяется околошовной зоне геомембран при сварке. Практика строительства показывает наличие в этих зонах максимальных перемещений полотен геомембран.

Полученные результаты выявили особенности работы основных конструктивных элементов ПФЭ, которые нуждаются в усилении и более доскональном контроле качества монтажа на этапе строительства.

---

[1] Доктор техн. наук, профессор, директор института, ФГБОУ ВО НИУ МГСУ

[2] Аспирант кафедры Гидравлики и гидротехнического строительства, ФГБОУ ВО НИУ МГСУ

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОФИЛЯ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ В УСЛОВИЯХ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ

Н.А. Анискин[1], А.В. Ступивцев[2]

В современном проектировании зданий и сооружений стало недостаточно создать надёжную и долговечную конструкцию. В наше время для принятия решения о строительстве чаще решающим фактором является экономическая целесообразность этого строительства.

С целью принятия наиболее дешёвого конструктивного решения в то же время, устойчивого к заданным нагрузкам, производят технико-экономическое сравнение различных по конфигурации, материалу или другим признакам вариантов. Зачастую такое сравнение бывает трудозатратным из-за необходимости просчёта каждого варианта, и даже так, с условием того, что варианты принимаются с определённым шагом рассмотрения, не получается достичь оптимального по стоимости и устойчивости варианта.

Оптимизация – нахождение оптимального варианта. Основой оптимизации является перебор и анализ различных вариантов конструкции. Оптимизация в строительстве наиболее применима к серийным изделиям, где экономический эффект особо сказывается, когда небольшое удешевление приводит к удешевлению всей партии строительной продукции. В гидротехнике оптимизация также эффективна и влияет на конечную стоимость продукции. Для поиска наименее дорогостоящего решения конструкции гидротехнического сооружения оценивают его отдельные элементы или целиком. Факторы для поиска оптимального конструктивного решения подбираются таким образом, чтобы построить функции стоимости и надёжности, зависящие от этих факторов.

При проектировании всегда ведется поиск оптимальных конструкций или технологий, основанный на анализе ограниченного числа вариантов. В данном исследовании для оценки влияния геометрии сооружения на параметры фильтрационного потока использовался метод математического планирования экспериментов. Этот подход позволяет сократить количество необходимых расчетов. Метод дает возможность оценить влияние отдельных факторов и их взаимодействия на работу сооружения при небольшом числе варьируемых параметров. Такой подход эффективен, так как позволяет получить максимум информации при минимальном объеме расчетов.

В исследовании рассматривалась однородная глухая грунтовая плотина высотой от 10 до 40 м на непроницаемом основании. Заложение откоса изменялось от 1:2,0 до 1:4,0.

Моделировалась ситуация сработки водохранилища на величину от 0,1 до 1,0 от высоты плотины (для упрощения задачи уровень верхнего бьефа начинался на уровне гребня) со скоростями снижения уровня воды от 0,1 до 2,0 м/сут.

По результатам построены номограммы для определения устойчивости плотины в зависимости от выбранных факторов – скорости сработки водохранилища, заложения верхового откоса, величины сработки и высоты плотины.

[1] Доктор техн. наук, профессор, НИУ МГСУ
[2] Аспирант, НИУ МГСУ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ФИЛЬТРАЦИОННЫМ РЕЖИМОМ В ОБЛАСТИ БЕРЕГОВОГО ПРИМЫКАНИЯ КНП

А.С. Антонов[1], Е.А. Горохова[2], А.М Павлова[3], А.М. Стойнова[4]

Одной из проблем грунтовых гидротехнических сооружений является развитие фильтрационных процессов, в том числе развитие обходной фильтрации по береговым примыканиям. В слабых породах основания со сложным геологическим строением рост фильтрационных расходом может привести к развитию суффозионных процессов, что может привести к образованию сосредоточенной фильтрации и размыву грунтового основания. Поэтому для обеспечения безопасности гидротехнических сооружений важной задачей является изучение фильтрационного режима и контроль за его состоянием во времени. Геофизические методы позволяют изучить свойства пород, не оказывая при этом на них какого-либо воздействия. Кроме того, регулярные наблюдения в режиме мониторинга дают возможность отследить изменения этих свойств и выявить участки развития фильтрационных процессов для планирования работ по инъектированию различными методами.

Целью работы являлось исследование фильтрационных процессов и организация мониторинга за фильтрационным режимом в грунтах правого берега в области правобережного примыкания каменно-набросной плотины (КНП) комплексом геофизических методов.

Задачи работ:

1. Исследование фильтрационных процессов и организация мониторинга за фильтрационным режимом в грунтах правого берега в области правобережного примыкания.
2. Выявление участков разуплотнения, локальных обводнённых участков и путей сосредоточенной фильтрации в зоне пола цементационной галереи.
3. Анализ изменений фильтрационного режима за период многолетних исследований, составление рекомендаций по дальнейшему мониторингу.

На основе многолетних исследований за фильтрационным режимом на различных ГТС выбран состав методов геофизических исследований, позволяющий изучать физические характеристики пород с необходимой точностью. При работах в области правобережного примыкания КНП методика включала следующий комплекс геофизических методов: электротомография, сейсморазведка на преломленных волнах, сейсмотомография, сейсмическое просвечивание между галереями, георадиолокация, резистивиметрия и термометрия, метод естественного электрического поля. Исследования проводились параллельно на нескольких участках в три этапа (осенний цикл 2023 г., весенний цикл 2024 г., осенний цикл 2024 г.):

на правом берегу (на дневной поверхности) в области правобережного примыкания со стороны верхнего и нижнего бьефов,

в цементационной галерее (ЦГ) в области правобережного примыкания,

в правобережной цементационной штольне (ПЦШ).

[1] Главный инженер по оборудованию и гидротехническим сооружениям, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[2] Начальник отдела геофизических исследований и сейсмологии, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[3] Главный специалист отдела геофизических исследований и сейсмологии, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[4] Ведущий инженер отдела геофизических исследований и сейсмологии, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

В рамках выполненных исследований определены критерии выделения участков развития фильтрационных процессов. На их основе по значениям скоростей упругих волн (*Vp*), удельных электрических сопротивлений (УЭС) и величин естественного электрического поля (ЕП) в грунтах правого берега выделены актуальные участки, требующие дополнительного внимания, в пределах которых возможно развитие фильтрационных процессов.

В рамках мониторинга проведено сравнение полученных результатов трех этапов, описаны выявленные изменения. С учетом ранее определенных критериев в области правого берега вблизи правобережного примыкания КНП выделены участки, требующие дополнительного внимания, а также описаны изменения в пределах этих участков как сезонные, так и по годам.

Исследования позволили выявить и картировать участки развития фильтрационных процессов во вмещающем массиве и участки разуплотнения в зоне контакта бетон/грунтовый массив. В ходе работ возникла необходимость выполнения исследования пространства между ЦГ и ПЦШ. Полученный набор данных и результатов позволил комплексно оценить состояние массива правобережного примыкания как в плане, так и по глубине. Следует отметить, что благодаря сопоставлению с архивной геологической документацией установлено, что основные участки фильтрационных процессов, выявленных по геофизическим данным, приурочены к участкам субвертикальных трещин в массиве пород.

Основным результатом проведённых исследований является зонирование и локализация участков развития фильтрационных процессов в области правобережного примыкания КНП. Также на основании обобщенных результатов исследований и оценки изменений фильтрационного режима даны рекомендации по дальнейшему мониторингу.

В рамках работы выполнены дополнительные исследования, позволившие выявить зону разуплотнения и тектонических нарушений, которая требует проведения дополнительных работ по укрепительной цементации на данном участке.

Даны рекомендации по проведению цементационных работ в ПЦШ в рамках укрепительной цементации, определены первоочередные участки работ с пониженными упругими свойствами, положение которых соответствует локальным участкам с пониженными физико-механическими свойствами, так как геофизические характеристики имеют положительную корреляцию с физико-механическими свойствами грунтов.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРУБЧАТОГО ДРЕНАЖА И ТЕЛА ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ

А.С. Антонов[1], Е.А. Горохова[2], А.Б. Басова[3], Н.А. Коробкина[4]

Цель работы: оценка состояния гидротехнических сооружений, выполненная на основании обследования труб закрытого трубчатого дренажа и инженерно-геофизических исследований грунтов тела и основания земляной плотины.

Задачами работ являлись:

1. Обследование и оценка работоспособности трубчатого дренажа.
2. Исследования грунтов тела и основания плотины, включающие:

проверку наличия либо отсутствия суффозии грунтов тела правобережной земляной плотины;

картирование зон фильтрации в теле правобережной грунтовой плотины;

определение литологического строения основания плотины на участке;

выявление ослабленных просадочных грунтов.

Работы являются уникальными ввиду применения различных исследовательских методов, в том числе основанных на геофизических дистанционных методах контроля. В состав геофизических исследований вошла методика оценки состояния грунтов основания, основанная на комплексировании методов: сейсморазведка на преломлённых волнах в модификации сейсмической томографии, электротомография, георадиолокация. Применение ряда классических методов, привычных большинству исследователей, было невозможно к применению ввиду наличия наводок от линий электропередач.

В рамках исследований выявлено, что исследуемый участок длиной 980 м обводнён, при этом обводнение вызвано нарушениями в работе дренажной системы. Только 30 % от общей длины дренажа эксплуатировалось в проектном режиме, выявлены крупные скопления осадка в дренах, смещения стыков, повреждения труб. Кроме того, комплексирование геофизических и инструментальных методов позволило обнаружить зоны изменённых физико-механических характеристик в зоне обратных фильтров, выявить направления фильтрационных потока, уточнить проектное расположения ослабленных грунтов в основании.

Комплексные геофизические исследования позволили получить геолого-геофизические разрезы – 3 продольных и 10 поперечных по низовому откосу правобережной плотины. По каждому разрезу определены упругие, деформационные и геоэлектрические характеристики. Выявлены зоны с пониженными характеристиками грунтов, связанные с наличием фильтрационных и суффозионных процессов.

На основании исследований выделены участки, на которых возможно образование зон локального понижения грунта, даны рекомендации по организации мониторинга и выполнению

[1] Главный инженер по оборудованию и гидротехническим сооружениям, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[2] Начальник отдела геофизических исследований и сейсмологии, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[3] Главный специалист отдела геофизических исследований и сейсмологии, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[4] Главный специалист отдела геофизических исследований и сейсмологии, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

периодических осмотров. На текущий момент на основании результатов исследований выполняется мониторинг деформаций ГТС.

Проведённые исследования позволили оценить состояние трубчатого дренажа, которое оценивалось как частично неработоспособное. Даны рекомендации по прочистке дренажа в соответствии с состоянием дрен. В настоящее время завершена механическая прочистка, убраны основные дефекты, запланированы повторные исследования на 2026 г. с целью оценки работоспособности системы через один год после прочистки.

На основании данной работы выявлено, что ввиду длительной эксплуатации гидротехнических сооружений и их конструктивных элементов, срок службы которых приближается к нормативному, возникает необходимость контроля состояния дренажей грунтовых плотин для своевременного планирования технических воздействий. В перспективной программе НИОКР инициирована работа «Разработки единой методики по контролю состояния дренажей грунтовых плотин комплексом методов для обеспечения безопасной эксплуатации ГТС» со сроком реализации 2026–2028 гг.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИНЪЕКЦИОННОГО СОСТАВА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ РАСТЕПЛЕННОГО МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ ИНЪЕЦИРОВАНИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ СМОЛЫ

Я.А. Белов[1], В.А. Черненко[2], В.В. Кабанова[3], П.А. Козырева[4]

Обоснование выбора инъекционного состава для стабилизации растепленного многолетнемерзлого грунтового основания методом инъецирования расширяющейся полиуретановой смолы должно происходить на основании комплексного анализа критически важных параметров инъекционного состава для успешного проведения работ по стабилизации растепленного многолетнемерзлого грунтового основания методом инъецирования расширяющейся полиуретановой смолы. Технические и технологические характеристики состава должны наилучшим образом соответствовать поставленным задачам: эффективное повышение физико-механических характеристик растепленного многолетнемерзлого грунта основания, ликвидация пустот, повышение несущей способности и создание водонепроницаемого и теплоизоляционного барьера.

Ниже приведен анализ по ключевым параметрам, которыми должен обладать состав для стабилизации растепленного многолетнемерзлого грунтового основания методом инъецирования расширяющейся полиуретановой смолы.

1. Отсутствие усадки.

Состав после реакции полимеризации должен образовывать стабильный вспененный конгломерат, который не дает усадки со временем. Это гарантирует, что созданное уплотненное основание не потеряет свой объем и несущую способность, исключая риск образования новых пустот.

2. Контролируемое давление расширения.

Состав должен создавать значительное, но управляемое давление расширения. Это давление является основным механизмом стабилизации: оно уплотняет грунт, перераспределяет нагрузку и поднимает просевшие конструкции.

3. Взаимодействие с водой.

Вода не должна являться реагентом для вспенивания состава. Вспенивание должно происходить вне зависимости от контакта с водой за счет реакции компонентов А и В, что позволяет производить стабилизацию грунтового основания вне зависимости от степени обводненности массива грунта основания. Состав не должен расструктурироваться при контакте с влажным грунтом, должен быть инертен к контакту с водой. Это критически важно при работе в обводненных грунтах, где иные инъекционные составы неэффективны – контакт с водой приводит к деградации либо деструкции инъекционного состава.

[1] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»
[2] Специалист, руководитель отдела продуктового развития направления инфраструктурного и промышленного строительства, ООО «Эм-Си Баухеми»
[3] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»
[4] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»

4. Высокая водонепроницаемость.

Полимеризованный вспененный конгломерат должен представлять собой закрытоячеистую структуру, которая является гидроизоляционным барьером. Это не только стабилизирует основание, но и предотвращает дальнейшее проникновение воды, защищая его от дальнейшего растепления, эрозии и вымывания.

5. Высокий коэффициент расширения.

Коэффициент расширения состава должен составлять не менее 30 раз. Это позволяет из небольшого объема инъекционной смеси получить значительный объем прочного вспененного конгломерата, эффективно заполняя пустоты и трещины с высокой экономической и технологической эффективностью.

6. Низкая вязкость смеси и компонентов.

Исходные компоненты состава должны иметь низкую вязкость, а после смешивания должна начинаться реакция с контролируемой скоростью. Низкая начальная вязкость обеспечивает достаточную проникающую способность, позволяя составу легко распространяться в массиве растепленного многолетнемерзлого грунтового основания.

7. Прочность на одноосное сжатие вспененного конгломерата.

Вспененный конгломерат после затвердевания должен обладать высокой механической прочностью (может варьироваться в зависимости от плотности). Прочности на одноосное сжатие вспененного конгломерата должно быть достаточно для восприятия нагрузок от фундаментов и инженерных конструкций, обеспечивая их долговременную стабильность.

8. Оптимальная кинетика реакции (скорость начала реакции, гелеобразования, окончания реакции).

Состав должен позволять гибко управлять временем гелеобразования (от десятков секунд до нескольких минут) в зависимости от температуры в целях предотвращения утечки состава в сильно водонасыщенные зоны или крупные пустоты и обеспечивать широкое распространение в массиве грунта для создания обширной зоны уплотнения.

9. Контролируемый диаметр и зона влияния.

Благодаря сочетанию низкой вязкости и регулируемой скорости реакции должна быть предусмотрена возможность управления диаметром распространения инъекционного тела и формирования прогнозируемой зоны влияния в массиве грунта в виде прочных уплотненных сфер в разрушенных скальных грунтах и ламелей в дисперсных грунтах.

10. Плотность вспененного конгломерата и тип пористости.

Состав должен образовывать вспененный конгломерат с регулируемой плотностью и закрытоячеистой структурой. Это ключевая характеристика, обеспечивающая механическую прочность, водонепроницаемость и морозостойкость.

11. Температура реакции и тепловыделение.

Повышение температуры и тепловыделение в процессе реакции состава не должно оказывать разрушающего воздействия на окружающие материалы и конструкции, а также оказывать воздействие на растепление массива многолетнемерзлого грунта основания в процессе выполнения стабилизации массива растепленного многолетнемерзлого грунтового основания.

12. Химическая стойкость.

Затвердевший полиуретановый состав должен быть химически инертен, устойчив к воздействию щелочей, кислот, содержащихся в грунтовых водах, масел и других агрессивных сред, что гарантирует сохранение свойств в течение всего срока службы.

13. Отсутствие релаксации (ползучести).

Состав должен демонстрировать отсутствие склонности к релаксации под длительной нагрузкой. Это означает, что созданное им давление уплотнения и несущая способность грунтового основания не снижаются со временем, не происходит развитие вторичных осадок.

14. Долговечность.

Срок службы состава должен быть сопоставим со сроком службы самих строительных конструкций.

Инъекционный состав для стабилизации растепленного многолетнемерзлого грунтового основания методом инъецирования расширяющейся полиуретановой смолы должен представ-

лять собой материал, характеристики которого целенаправленно оптимизированы для задач инъекционной стабилизации грунтов. Состав должен соответствовать спектру технических и технологических характеристик для надежного и долговечного укрепления оснований. Использование состава, соответствующего параметрам для выполнения задачи по стабилизации растепленного многолетнемерзлого грунтового основания методом инъецирования расширяющейся полиуретановой смолы позволяет минимизировать риски, обеспечить прогнозируемый результат и высокую экономическую эффективность работ. Все технические и технологические характеристики должны быть подтверждены протоколами испытаний в независимых лабораториях на территории Российской Федерации.

ХИМИЧЕСКОЕ ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ ИНЪЕЦИРОВАНИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ СМОЛЫ

Я.А. Белов[1], В.А. Черненко[2], В.В. Кабанова[3], П.А. Козырева[4]

Технология химического закрепления грунтового основания MC-Montan Injekt LE повышает физико-механические характеристики грунтового основания путем инъецирования расширяющейся полиуретановой смолы на основе управляемого гидроразрыва.

В грунте формируется сеть армирующих ламелей из лёгкого, прочного материала с закрытой пористостью. 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.

Данная технология позволяет производить укрепления грунта за счет реакции расширения в грунте в 10 - 30 раз под давлением уплотняет грунт и создает контролируемые гидроразрывы в грунтовом массиве. Инъекция проводится с контролем давления, объёма и скорости, обеспечивая точное укрепление без усадки и релаксации. Смола реагирует быстро (около 30 секунд), стабильно действует независимо от влажности и свойств грунта, блокирует фильтрационные каналы и не требует времени на набор прочности.

Технология соответствует нормативам СП 22.13330.2016 и СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011.

[1] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»
[2] Специалист, руководитель отдела продуктового развития направления инфраструктурного и промышленного строительства, ООО «Эм-Си Баухеми»
[3] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»
[4] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАССЫ ВОДЫ

А.С. Бестужева[1], Г.П. Гоцiридзе[2]

Одним из основных критериев работоспособности грунтовых плотин является критерий устойчивости откосов. Разработка метода расчета устойчивости откосов грунтовой плотины с учетом сейсмических сил и гидродинамического давления воды, возникающего на напорной грани сооружения при землетрясении, ставит своей целью изучить влияние гидродинамического давления воды на параметры устойчивости откосов грунтовых плотин при землетрясениях. Динамические нагрузки, возникающие в грунтовой плотине при землетрясении, могут быть заменены квазистатическими нагрузками, рассчитанными на основе методов спектрального анализа с учетом форм собственных колебаний плотины, при этом сейсмическое давление воды, оказываемое на напорную грань плотины, может быть учтено в сейсмической силе в виде дополнительной «присоединенной» массы воды согласно рекомендациям норм проектирования. Для плотин откосного профиля авторами были получены функции изменения коэффициентов присоединенной массы воды по высоте напорной грани для откосов разного заложения на основе решения краевой задачи Дирихле для уравнения Лапласа с использованием ПК Matlab. Полученные коэффициенты были аппроксимированы степенными функциями $\mu(z,\alpha)$, что позволило их использовать в вычислительном алгоритме. Эпюры распределения коэффициентов представлены на рис. 1.

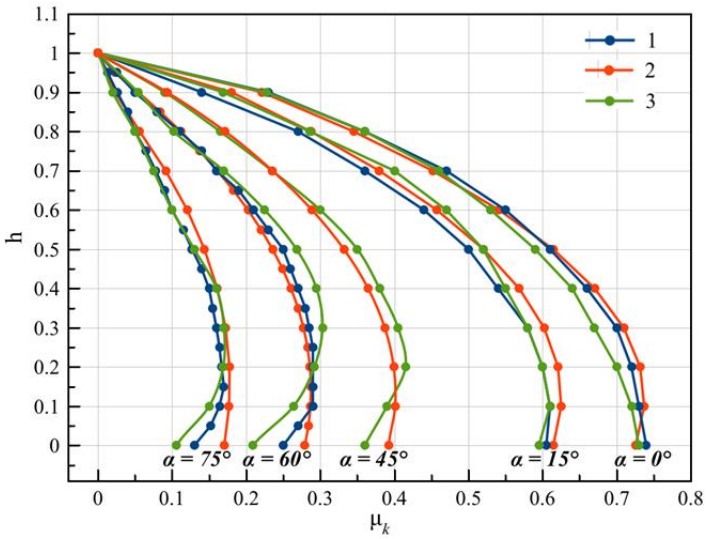


Рис.1. Коэффициенты «присоединенной» массы воды для напорной грани откосного профиля для методов расчета:
1 – графоаналитического; *2* – авторская аппроксимация $\mu(z,\alpha)$;
3 – экспериментального ЭГДА (Zangar)

[1] Канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ
[2] Аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ

Расчет устойчивости откосов выполнялся по двум программным комплексам, составленным авторами. Оба расчета выполнялись по круглоцилиндрической поверхности обрушения на основе метода К. Терцаги, но по разным схемам сбора нагрузки – с учетом и без учета напряженно-деформированного состояния плотины.

Выражения для коэффициентов устойчивости вдоль дуги обрушения для первой и второй схемы записывается

$$k_{\text{н}}^{R}=\frac{\sum_{j=1}^{N}\left[(\sum_{m=1}^{M}G_{j,m}-P_{j}^{e})\cos\alpha_{j}\ tg\varphi_{jm}+c_{jm}L_{j}\right]}{\sum_{j=1}^{N}(\sum_{m=1}^{M}G_{j,m})\sin\alpha_{j}+\sum_{k=1}^{K}S_{k}^{c}\frac{r_{k}}{R}+\sum_{l=1}^{L}F_{l}^{f}\frac{r_{l}}{R}} \qquad k=\frac{\sum_{j=1}^{N}\left[\left(\sigma_{zj}\cos^{2}\alpha+\tau_{xzj}\sin 2\alpha+\sigma_{xj}\sin^{2}\alpha\right)tg\varphi+c_{j}\right]}{\sum_{j=1}^{N}\left[(\sigma_{xj}+\sigma_{zj})\sin\alpha\cos\alpha+\tau_{xzj}\right]+\sum_{k=1}^{K}\frac{M_{k}}{RdS}},$$

где в первом случае на поверхность сдвига проецируются действующие нагрузки, а во втором случае – действующие напряжения из решения задачи напряженно-деформированного состояния. S_k^c, F_l^f – сейсмические и внешние силы, действующие внутри массива обрушения; M_k – момент сейсмических сил относительно центра вращения.

Расчеты по двум программам использовались для тестирования расчетов и показали в целом сходное изменение коэффициентов устойчивости при различном сочетании нагрузок.

Выводы

1. Расчеты устойчивости плотин симметричного профиля из однородного грунта показали, что учет сейсмических нагрузок ведет к смещению опасной области обрушения на гребень плотины. Учет присоединенной массы воды в сейсмических силах ведет к смещению наиболее опасной поверхности обрушения ближе к средней по высоте откосной части плотины.

2. Коэффициенты запаса устойчивости при расчете на максимальное сейсмическое ускорение 0,4g (9 баллов) при учете «присоединенной» массы воды снижаются, причем тем сильнее, чем круче напорная грань плотины.

3. Коэффициент влияния гидродинамического давления воды на устойчивость откоса можно выразить соотношением: $k_{\text{г/д}}=\frac{K_{\text{сейсм}}^{\text{г/д}}}{K_{\text{сейсм}}}$, где $K_{\text{сейсм}}^{\text{г/д}}$ – коэффициент устойчивости, полученный при расчете сейсмических сил с «присоединенной» массой воды, а $K_{\text{сейсм}}$ – коэффициент устойчивости, полученный при расчете сейсмических сил без учета «присоединенной» массы воды. Для плотин с разным заложением напорной грани и разной высоты значения коэффициентов $k_{\text{г/д}}=f(m,H)$ при расчетах по ПК ОТКОС-NDS представлены на рис. 2.

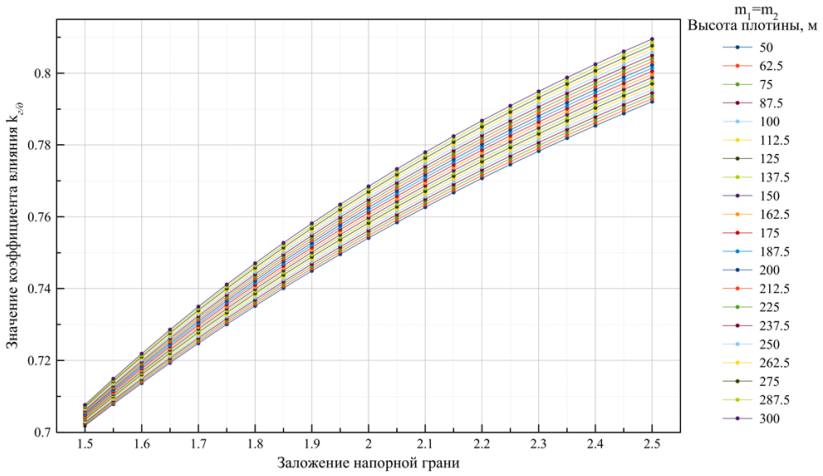


Рис. 2. Коэффициенты влияния учета гидродинамического давления воды на напорную грань плотины при 9-балльном землетрясении в зависимости от заложения откоса и высоты плотины

УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ» МОДЕЛИ ГРУНТА В РАСЧЕТАХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

А.С. Бестужева[1]

Энергетическая модель грунта была разработана Л.Н. Рассказовым в 70-х годах XX века в лаборатории грунтовых плотин ВОДГЕО, позже в МИСИ им. В.В. Куйбышева. Развитие идей Л.Н. Рассказова его учениками в НИУ МГСУ на протяжении нескольких десятилетий привело к совершенствованию модели, ее развитию, построению новых алгоритмов реализации вычислительных программ. Модель была дополнена фактором времени в работах П.В. Солдатова, методикой вероятностной оценки надежности каменно-земляных плотин в работах В.Г. Желанкина, использованием модели в расчетах сейсмостойкости грунтовых плотин в работах А.С. Бестужевой, учетом порового давления в материале грунтовой плотины при сейсмических воздействиях в работах Л.Н. Фыонга, использованием конечных элементов повышенной в работах М.П. Саинова и др.

Одной из основных особенностей «энергетической» модели грунта Л.Н. Рассказова является то, что расчет напряженно-деформированного состояния грунтового сооружения совмещен с расчетом прочностного состояния грунта согласно «энергетическому» условию прочности. Прочностное состояние грунта в каждой точке траектории нагружения определяется коэффициентом относительной прочности грунта $k\overline{(t)}$, который участвует в описании деформируемости грунта на девиаторном участке нагружения. Модель грунта представляет собой нелинейную зависимость между приращениями тензоров напряжений и приращениями тензоров деформаций в допредельном состоянии на участке активного нагружения, при разгрузке используется модель упругого деформирования. При приближении грунта в некоторой области сооружения к предельному состоянию имеет место рост пластических деформаций. В предельном состоянии модель характеризует начальное пластическое течение грунта.

Условие прочности в «энергетической» модели грунта представлено в виде безразмерного коэффициента надежности/запаса прочности грунта, который изменяется от ∞ (ограничено 1000) и до 1 (предельное состояние) и может быть записан в виде: $K_{\text{н}} = \dfrac{U_0 + \int\limits_L \sigma de}{\int\limits_L S_{ij} d\varepsilon_{ij}}$, где $U_0(\sigma)$ – параметр внутренней прочности грунта, связанный с условиями работы грунта в насыпи, $\int\limits_L \sigma de$ – энергия объемного сжатия грунта, $\int\limits_L S_{ij} d\varepsilon_{ij}$ – энергия сдвиговых деформаций, L – путь нагружения грунта. Энергия объемного сжатия, так же как и энергия формоизменения, накапливается на всем пути нагружения.

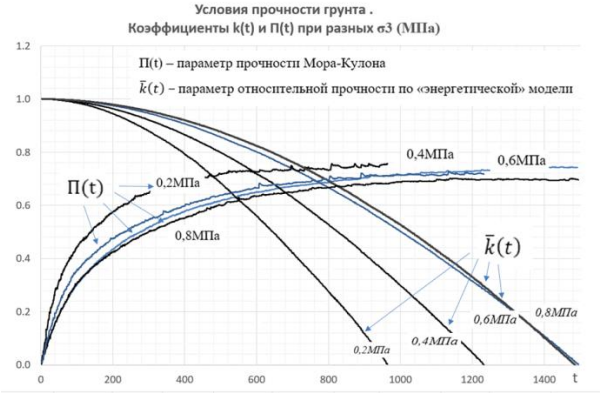
Для сопоставления условий прочности по разным моделям – «энергетической» модели и модели Мора–Кулона – были обработаны серии трехосных испытаний по стандартной схеме

[1] Канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ

(СТС) с доведением образца до разрушения после первоначального обжатия на уровне давления в рабочей камере для галечникового грунта 10–40 мм. На основе уравнений энергетического баланса по результатам экспериментов были построены функции изменения коэффициентов относительной прочности грунта $\bar{k}(t)=\frac{K_н(t)-1}{K_н(t)}$ и функция коэффициента «запаса» согласно условию прочности Мора–Кулона в виде $k_з=\frac{П_{пред}(t)}{П(t)}$, где $П_{пред}(t)=\sin\varphi$, а текущий параметр $П(t)=\frac{\sigma_1(t)-\sigma_3(t)}{\sigma_1(t)+\sigma_3(t)}$.

Диаграммы изменения параметров прочности грунта при разных уровнях бокового обжатия (рис. 1) позволяют констатировать, что энергетическая характеристика отражает запас прочности грунта на всем протяжении его деформирования, вплоть до полного разрушения, в то время как параметр Мора выходит на предельное значение уже в начале пластического деформирования грунта, что и отражает физический смысл этого параметра.

а)



б)

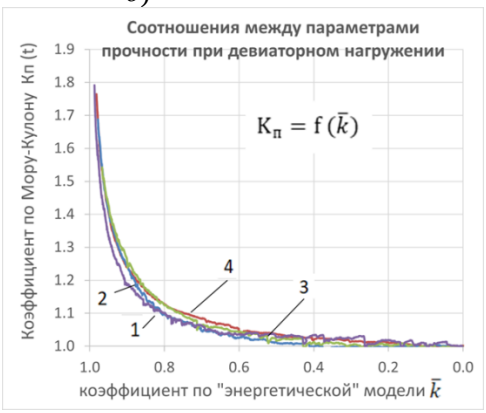


Рис. 1. Сопоставление параметров прочности грунта по энергетической модели и по модели Мора-Кулона: *а* – диаграммы изменения $\bar{k}(t)$ и $П(t)$ в процессе нагружения; б – соотношение между значениями коэффициентов в одной и той же точке напряженно-деформированного грунта в приборе трехосного сжатия

Выводы

Сопоставление параметров энергетической прочности грунта с параметром прочности по условию Кулона–Мора показало, что при значениях параметра относительной прочности грунта согласно «энергетической» модели $\bar{k}>0{,}9$ коэффициент запаса по условию прочности Кулона–Мора имеет значения не ниже 1,2, при этом деформирование грунта происходит в упругой стадии работы. Участок пластического деформирования грунта, при котором коэффициент прочности по Кулону–Мору стремится к единице ($K_п\to1$) характеризуется значениями коэффициента относительной прочности $\bar{k}=0{,}2\div0{,}4$ в зависимости от минимального главного напряжения σ_3. Участок пластического течения грунта характеризуется значениями параметра относительной прочности грунта $\bar{k}<0{,}2$.

ГЕОМЕМБРАНЫ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ. СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

О.И. Гладштейн[1]

Геомембраны по стандарту ASTM D4833 – это синтетические мембраны с очень низкой проницаемостью, которые в сочетании с любыми материалами применяются для создания надежного противофильтрационного барьера, исключающего миграцию жидкостей в искусственных сооружениях, конструкциях или системах.

Первые геомембраны представляли собой бутилкаучук – сополимер изобутилена с примерно 2 % изопрена. В 1960-х гг. в Германии начали использовать полиэтиленовые листы для изоляции водоемов.

Сегодня полиэтиленовые геомембраны стали обязательны во многих сферах, в первую очередь, связанных с охраной окружающей среды. Их рост стимулировался государственными постановлениями и национальными стандартами в этой области. Свойства геомембраны и методы испытаний, используемые для определения этих свойств, являются исходными данными для расчетных обоснований проектных решений конструкций гидротехнических сооружений с использованием геомембран.

Стандартные методы испытания материалов (на прочность, удлинение, сопротивление проколу и т. д.) для полиэтиленовых геомембран достаточно подробно описаны в GRI-GM13 «Стандартные технические условия. Свойства, частота проведения испытаний и рекомендуемые гарантии для гладких и текстурированных геомембран из полиэтилена высокой плотности», GRI-GM17 «Стандартные технические условия. Свойства, частота проведения испытаний и рекомендуемые гарантии для гладких и текстурированных геомембран из полиэтилена низкой плотности», а также в ГОСТ.Р 56586 «Геомембраны гидроизоляционные, полиэтиленовые рулонные. Технические условия». Однако они не в полной мере позволяют оценить работоспособность геомембран.

Для более точной идентификации существует другие методы исследования, применяемые для оценки качества геомембраны, оценки ее работоспособности в конструкции гидротехнического сооружения, прогнозирования ее срока службы.

Термогравиметрический анализ (ТГА), при котором масса образца геомембраны определяется как функция температуры, позволяет определить информацию о стабильности исходного полимерного сырья, оценить наличие добавок, влияющих на качество геомембраны, включая содержание и количество технического углерода, а также температуру его термического разложения.

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) используется для оценки фазовых переходов материала при нагревании, например, стеклование, плавление, кристаллизацию. Данный метод позволяет определить температурный диапазон, в котором происходит плавление полимера, что влияет на свариваемость геомембраны. ДСК можно легко адаптировать для определения времени окислительной индукции (OIT) образца полимера. Значение OIT указывает на время, необходимое для начала быстрой деструкции полимера в результате разрыва связей, и чем выше значение OIT, тем выше долговечность полимера, что противостоит

[1] Канд. техн. наук, директор по развитию ООО «СК «Гидрокор»

долговременной деградации. Результаты испытаний геомембраны при различных температурах могут дать четкое представление о сроке ее долговечности.

Термомеханический анализ (ТМА) позволяет оценивать изменение линейных размеров образца полимера при повышении температуры. Метод позволяет определить коэффициент теплового расширения полимера, который необходимо учитывать при использовании геомембран в условиях переменных температур. Зная коэффициент теплового расширения полимера, можно рассчитать величину провиса (слабины), который необходимо обеспечить при монтаже геомембраны для обеспечения надежности сооружения.

Динамический механический анализ (ДМА) позволяет оценить механические свойства материала в зависимости от напряжения, температуры, частоты и других параметров. Метод DMA позволяет оценить также вязкоупругие свойства материала, включая модули упругости, модуль потерь и ползучесть материала.

Инфракрасная спектроскопия (ИК) с преобразованием Фурье, или ИК-Фурье, позволяет определить добавки, наполнители и пластификаторы, использованные при производстве геомембраны. Метод позволяет оценить скорость реакции окисления материала.

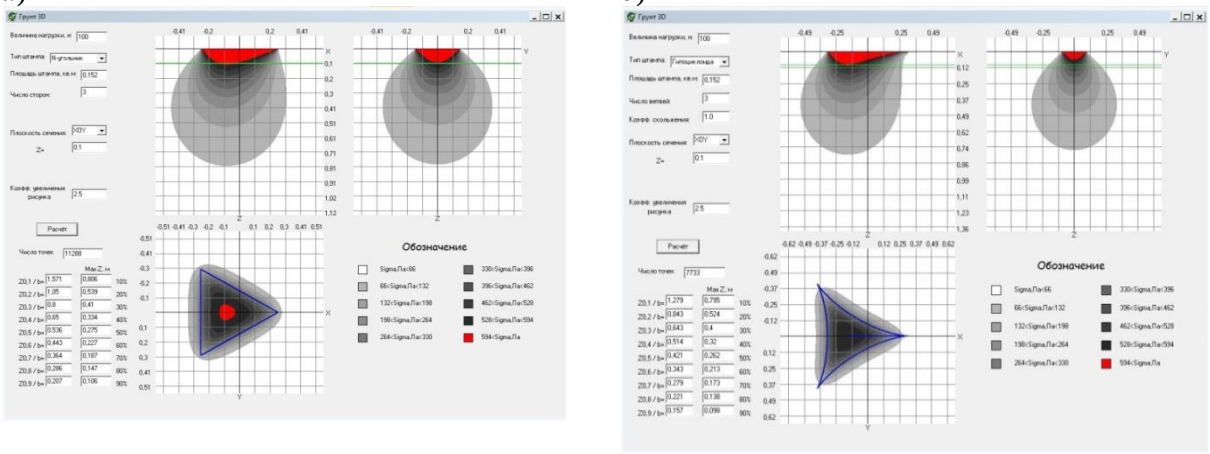
ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ НАГРУЖЕНИЯ ГРУНТА ОСНОВАНИЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

А.В. Грузин[1]

В практике строительной отрасли форма нагружения грунтов оснований, как правило, определяется конструкцией здания или сооружения. Традиционными формами нагружения для них являются прямоугольник и круг, а также их суперпозиции. Действующими нормативными документами в настоящее время формализованы методики расчёта напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтов оснований зданий и сооружений, обусловленного такими формами нагружения. Это, в свою очередь, позволило достаточно подробно изучить характер пространственного распределения вертикальных сжимающих напряжений (ВСН) от нагрузок таких форм. Однако для ряда инженерных задач представляют практический интерес нагрузки с формами, отличными от традиционных. В таких случаях расчёт НДС грунта основания по существующим методикам представляет определённую практическую трудность.

В рамках комплексных исследований технологического обеспечения жизненного цикла оснований и фундаментов зданий и сооружений было проанализировано влияние таких форм нагружения грунтов оснований, как равносторонний многоугольник, гипоциклоида, прямоугольник, на пространственное распределение ВСН. Примеры пространственного распределения ВСН представлены на рисунке.

а) *б*)



Распределение ВСН от нагрузки в форме:
а – равностороннего треугольника; *б* – гипоциклоиды с тремя ветвями

Анализ результатов выполненных исследований позволил уточнить характер пространственного распределения ВСН для различных форм нагружения грунтов оснований зданий и сооружений, разработать рекомендации по выбору рациональных параметров формы нагружения как для зданий и сооружений в общем случае, так и для рабочих органов технологических машин, предназначенных для подготовки грунтовых оснований.

---

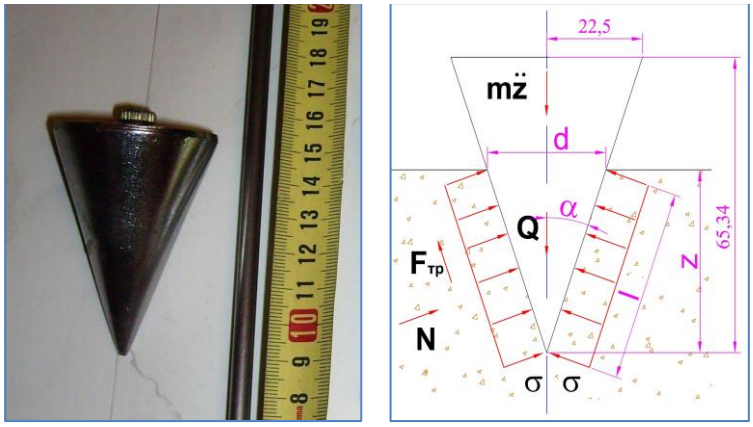
[1] Канд. техн. наук, доцент кафедры «НГДСиМ», ФГАОУ ВО «ОмГТУ»

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ КОНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ДИСПЕРСНОМ НЕСВЯЗНОМ ГРУНТЕ

А.В. Грузин[1]

Разработка прогрессивных технологий подготовки оснований и устройства фундаментов зданий и сооружений, в основу которых заложено динамическое воздействие рабочих органов (РО) строительных машин и механизмов на грунты основания, включает в себя поиск и обоснование новых конструкций самих РО, а также соответствующих им рациональных технологических режимов.

В рамках совершенствования технологического обеспечения жизненного цикла оснований и фундаментов зданий и сооружений были выполнены комплексные исследования динамического нагружения дисперсных несвязных грунтов. В качестве объекта исследований была выбрана модель РО конической формы, представленная на рисунке.



Модель рабочего органа и её расчётная схема (размеры даны в мм)

Предметом исследований стала её динамика в дисперсном несвязном грунте. Исследования включали в себя теоретический и лабораторный этапы. В ходе теоретических исследований было получено уравнение, описывающее изменение скорости V модели РО конической формы в грунте под действием гравитации, вида

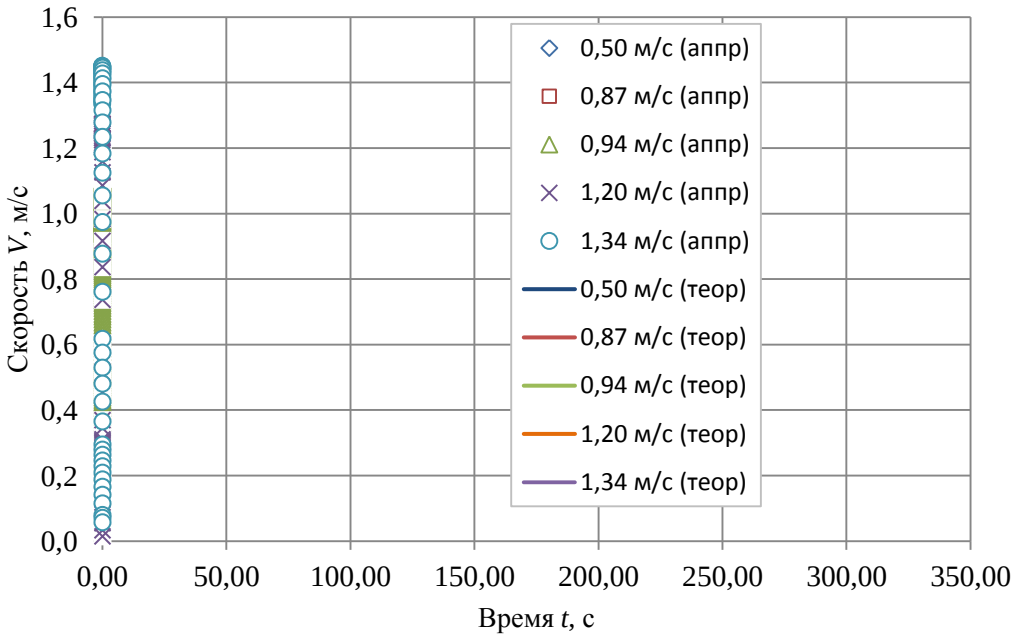
$$V = \sqrt{-\frac{2\pi\sigma}{3m}(\mathrm{tg}^2\alpha + \mu\mathrm{tg}\alpha)z^3 + 2gz + V_{\text{уд}}},$$

где σ – нормальное напряжение на боковой поверхности модели; m – масса модели; α – угол между образующей боковой поверхности и осью модели; μ – коэффициент трения скольжения пары «сталь – песчаный грунт»; g – ускорение свободного падения; z – глубина погружения модели в грунт; $V_{\text{уд}}$ – скорость удара модели в грунт.

Использование скоростной видеосъёмки на этапе лабораторных исследований позволило уточнить динамику модели в грунте. Результаты теоретических и лабораторных исследований изменения скорости V движения конической модели РО в грунте представлены на рисунке.

---

[1] Канд. техн. наук, доцент кафедры «НГДСиМ», ФГАОУ ВО «ОмГТУ»



Результаты теоретических и лабораторных исследований изменения скорости V конической модели РО в грунте для различных значений скорости удара $V_{уд}$

По результатам комплексных исследований динамического нагружения дисперсных несвязных грунтов установлены закономерности динамики модели конического РО в грунте, позволяющие в зависимости от её массогабаритных характеристик и скорости ударного воздействия рассчитывать изменение скорости движения модели в грунте с течением времени и определять максимальную глубину её погружения в грунт. Полученные данные также позволили уточнить требования к эксплуатационным характеристикам РО строительных машин.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СВАИ НА ЕЁ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

А.В. Грузин[1]

Промышленное освоение новых территорий, удалённых от баз материального и технического снабжения, как правило, сопряжено со сложными природными условиями. Комплексный характер данной проблемы актуализирует задачу рационального использования привлекаемых материалов. Одним из возможных перспективных направлений её решения является рациональное использование материалов для изготовления свай трения, как забивных, так и набивных. В настоящее время, в силу специфики грунтовых условий и применяемых технологий, использование свай трения для устройства фундаментов получили широкое распространение в ходе промышленного освоения новых территорий Крайнего Севера. Их несущая способность определяется известной зависимостью вида

$$F_d = \gamma_c\left(\gamma_{R,R} R A + u \sum_{i=1}^{n}\left(\gamma_{R,f} f_i h_i\right)\right),$$

где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте; R – расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа; A – площадь опирания на грунт сваи, м^2, принимаемая по площади поперечного сечения сваи брутто или по площади поперечного сечения камуфлетного уширения по его наибольшему диаметру, или по площади сваи-оболочки нетто; u – наружный периметр поперечного сечения ствола сваи, м; f_i – расчётное сопротивление i-го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, кПа; h_i – толщина i-го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м; $\gamma_{R,R}$, $\gamma_{R,f}$ – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчётные сопротивления грунта; n – количество инженерно-геологических элементов, контактирующих с боковой поверхностью сваи.

В рамках дальнейшего развития технологического обеспечения жизненного цикла оснований и фундаментов зданий и сооружений были выполнены комплексные исследования. Данные исследования были направлены, в том числе, и на поиск прогрессивных форм свай, удовлетворяющих требованиям рационального использования материалов при их изготовлении. В исследованиях были использованы сваи с поперечным сечением в форме круга, равностороннего многоугольника, гипоциклоиды и равностороннего многоугольника с сегментарными вырезами. В качестве целевого параметра, характеризующего влияние формы поперечного сечения сваи на её потенциальную несущую способность, предложен параметр формы $p_ф$, м$^{-1}$

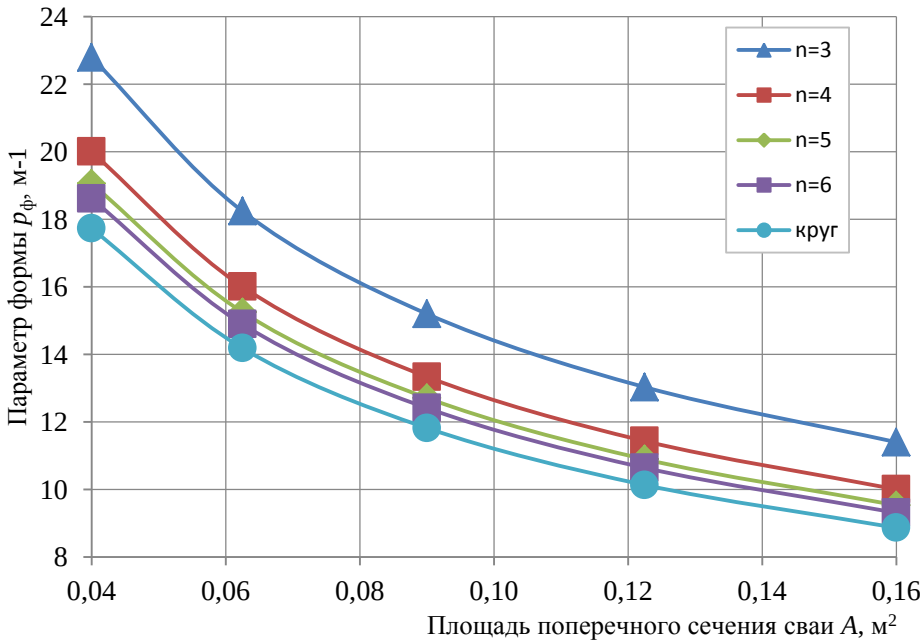
$$p_ф = \frac{u}{A},$$

где u – периметр поперечного сечения сваи, м; A – площадь поперечного сечения сваи, м^2.

Очевидно, что бóльшая величина параметра формы $p_ф$ способствует более эффективному использованию материала сваи, то есть повышению её несущей способности без дополнительных материальных затрат. На рисунке представлены результаты определения величины параметра формы $p_ф$ для равносторонних многоугольников и круга.

---

[1] Канд. техн. наук, доцент кафедры «НГДСиМ», ФГАОУ ВО «ОмГТУ»



Величина параметра формы $p_ф$ для равносторонних многоугольников и круга

Выполненные лабораторные исследования подтвердили корректность теоретических выводов. По результатам комплексных исследований влияния геометрии поперечного сечения сваи на её несущую способность:

определены рациональные диапазоны геометрических параметров поперечных сечений свай в форме равностороннего многоугольника, гипоциклоиды и равностороннего многоугольника с сегментарными вырезами;

установлен характер влияния площади поперечного сечения сваи на её удельную несущую способность.

ГЛОБАЛЬНАЯ БАЗА ДАННЫХ СЕЙСМОГЕННЫХ РАЗРЫВОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОПОЛНЕНИЯ

М.Н. Кирякова[1], А.Л. Стром[2], Лю Цзяо[3]

Глобальная База данных сейсмогенных разрывов (БДСР) содержит информацию о параметрах поверхностных разрывов, образовавшихся при исторических землетрясениях – их протяженности, величине подвижки, максимальной и средневзвешенной (при наличии данных, позволяющих рассчитать ее), кинематическом типе, отражающем механизм очага. Приведены данные о полном векторе смещения, а также о его горизонтальной и вертикальной компонентах. Для разрывообразующих землетрясений XX-XXI веков указаны значения магнитуд по поверхностным волнам (Ms) и моментной (Mw). Источниками информации являются публикации в рецензируемых журналах, трудах конференций, монографиях, сообщения национальных сейсмологических служб.

Всего БДСР, собранная к концу 1990-х годов, содержала данные о разрывах 302 землетрясений, произошедших с 180 г. н.э. по 1997 г. Для 245 землетрясений XX века, включенных в нее, имеются сведения о магнитудах. Более половины землетрясений произошло во второй половине XX века, из них 43-е и 44-е события произошли, соответственно, с 1970 по 1979 гг. и с 1980 по 1989 гг. В описаниях сейсмических событий до 1970-х годов сведения об образовании поверхностных разрывов и об их параметрах встречаются реже, а описания многих землетрясений, произошедших в 1990-х годах, еще не были опубликованы на момент завершения создания БДСР (1998 г.). Опираясь на эти данные, можно полагать, что за 10 лет в мире (на суше) в среднем происходит около 40 землетрясений, сопровождающихся образованием поверхностных тектонических разрывов, иными словами, выходом на дневную поверхность очагового разрыва. Соответственно, почти за 30 лет, прошедших после составления БДСР, в мире могло произойти около 120 таких землетрясений, сведения о разрывах которых могут быть найдены в литературе, что позволит существенно повысить представительность и надежность соотношений, связывающих параметры сейсмогенных разрывов между собой и их же с магнитудой землетрясений.

В последние годы, благодаря активному развитию методов дистанционного зондирования Земли, таких как GPS и INSAR, стало возможным определять и такие параметры поверхностных сейсмотектонических дислокаций, как ширину и площадь областей существенных деформаций дневной поверхности вблизи сейсмогенных разрывов.

Статистический анализ сведений, включенных в БДСР, позволяет, с одной стороны, оценивать магнитуды землетрясений прошлого по данным о протяженности разрывов и по величине подвижек по ним, что крайне важно для объективной и обоснованной оценки сейсмической опасности, в том числе площадок строительства гидротехнических сооружений. С другой, выявленные закономерности позволяют в первом приближении оперативно оценивать величины возможных смещений по активным разломам, если таковые обнаружены в основании или по трассам сооружений.

---

[1] Инженер, филиал АО «Институт Гидропроект – НИИЭС»
[2] Доктор геол.-мин. наук, главный специалист, филиал АО «Институт Гидропроект – НИИЭС»
[3] Канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник, Институт геологии Китайской администрации по землетрясениям

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ГРУНТОВАЯ ПЛОТИНА – ОСНОВАНИЕ» С ОЦЕНКОЙ ВЛИЯНИЯ НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО КОНТУРА НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ НИЗОВОЙ УПОРНОЙ ПРИЗМЫ

Е.М. Кобочкина[1], Т.С. Федорова[2], И.В. Баклыков[3]

Основная цель исследования – оценка напряжённо-деформированного состояния (НДС) грунтовой плотины при действующих эксплуатационных нагрузках, а также прогнозирование изменения фильтрационного режима низовой упорной призмы в случае нарушения сплошности противофильтрационного контура (ПФК).

Грунтовая плотина насыпная с противофильтрационным ядром из уплотнённого суглинка, либо смеси древнего аллювия с суглинком и боковыми призмами из современного аллювия. Основание плотины сложено аллювиальными гравийно-галечниковыми отложениями, отличающимися высокой водопроницаемостью (коэффициент фильтрации достигает 900 м/сут), и коренными породами – песчаниками и алевролитами, часть из которых подвержена выветриванию и размыву. ПФК представлен системой шпунтовых стен, цементационной завесой, бетонными и глиняными замками. Однако в процессе строительства допущены существенные отклонения от проекта: на отдельных участках плотина возводилась в условиях частично наполненного водохранилища, что привело к образованию прорана и некачественной укладке суглинка; имели место дефекты шпунтовых стенок, их неполная забивка до водоупора, искривления и отхождения от пригрузочных плит, отсутствие переходных слоёв в боковых призмах и нарушения технологии отсыпки. Перечисленные факторы сформировали потенциально опасные зоны, способные оказывать влияние на фильтрационный режим сооружения.

Для детального изучения работы ГТС разработана пространственная математическая модель участка ГТС, откалиброванная по данным натурных наблюдений, позволяющая учесть параметры и свойства таким образом, чтобы соответствовать реальным условиям и характеристикам, обеспечить точное воспроизведение поведения ГТС. Расчёты НДС и устойчивости откосов плотины выполнены методом конечных элементов с учётом фактических действующих нагрузок и условий эксплуатации. Также выполнены прогнозные расчёты при различных вариантах повреждения ПФК в теле плотины и основании.

Результаты расчётов показали, что в текущем состоянии общая и местная устойчивость откосов плотины соответствует требованиям нормативных документов. Фильтрационная прочность ядра, цементационной завесы и алевролитов основания обеспечена. Выявлено, что значительная часть фильтрационного потока проходит через коренные породы, минуя низовую призму, что требует особого внимания при контроле состояния основания.

---

[1] Главный инженер по гидротехническим сооружениям, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[2] Начальник отдела расчётных исследований гидротехнических сооружений, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»
[3] Главный специалист отдела расчётных исследований гидротехнических сооружений, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

Прогнозные расчёты сценариев с частичным и полным нарушением ПФК показали, что в случае дефектов шпунтового коридора или ядра происходит увеличение фильтрационных расходов и подъём депрессионной поверхности. Однако, эти изменения не приводят к критическому снижению устойчивости низового откоса. Ключевым условием сохранения безопасности является целостность шпунтовых стен; при их повреждении возможно локальное ухудшение фильтрационного режима.

На основе проведённых исследований сформулированы рекомендации по обеспечению безопасности и надёжности ГТС. В их числе – организация регулярного температурно-фильтрационного контроля состояния ПФК, в том числе шпунтового коридора; проведение геофизических исследований зон потенциальной повышенной фильтрации; уточнение фактических фильтрационных характеристик грунтов тела и основания плотины.

УСКОРЕННЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В.В. Конюшков[1]

При проектировании грунтовых сооружений требуется выполнить комплекс инженерных расчетов на устойчивость, допустимые напряжения и деформации, фильтрационную прочность и т. д. Ниже приведена упрощенная методика выполнения этих расчетов.

При расчетах устойчивости грунтового сооружения на сочетания нагрузок от собственного веса, фильтрационного давления воды, временной нагрузки и сейсмического воздействия коэффициент устойчивости откосов может быть вычислен по формуле

$$K_{st}^{\text{расч}} = \left(\frac{tg\psi_{ult}}{(\text{tg}\alpha_{\text{факт}}+\text{tg}w+\text{tg}\eta+\text{tg}\delta)}\right) \geq K_{st}^{\text{норм}},$$

где $K_{st}^{\text{расч}}$ – расчетное значение коэффициента устойчивости откоса грунтового сооружения; ψ_{ult} –предельно допустимый угол заложения грунтового сооружения, при котором обеспечивается устойчивость откоса от гравитационного нагружения собственным весом; $\alpha_{\text{факт}}$ – фактический (проектный) угол откоса грунтового сооружения; w – угол, учитывающий фильтрационное давление воды; η –угол, учитывающий временную нагрузку на гребне грунтового сооружения; δ –угол, учитывающий сейсмическое воздействие на грунтовое сооружение; $K_{st}^{\text{норм}}$ – нормативное значение коэффициента устойчивости по техническому регламенту.

$$\psi_{ult} = \text{arctg}\left(\text{tg}\varphi_1 + \frac{c_1}{\gamma_1 H_1}\right),$$

где φ_1 – средневзвешенное значение угла внутреннего трения грунтового сооружения, град.; c_1 – средневзвешенное значение сцепления грунтового сооружения, кПа; γ_1 – средневзвешенное значение удельного веса грунтового сооружения, кН/м^3; H_1 – высота грунтового сооружения, м.

$$w = \varphi - \text{arctg}\left(\frac{\gamma_w \text{tg}\varphi_1}{(\gamma_w n) + (\gamma_1 - \gamma_w)}\right),$$

где γ_w – удельный вес воды, кН/м^3; n – пористость грунта.

$$\eta = \arccos\left(\frac{l}{\sqrt{(H_1+h)^2+l^2}}\right) - \alpha,$$

где $h = \frac{q}{\gamma}$ – приведенная высота откоса, м; q – внешняя нагрузка, действующая на гребне откоса, кН/м^2; l – горизонтальная проекция заложения откоса, м.

$$\delta = \text{arctg}\left(\frac{a}{g}\right),$$

где g = 9,81 м/с^2 – ускорение свободного падения; a – сейсмическое ускорение, зависящее от интенсивности землетрясения, м/с^2.

---

[1] Канд. техн. наук, доцент, СПбПУ Петра Великого

При проверке действующих напряжений под подошвой грунтового сооружения предельно допустимое напряжение на основание может быть рассчитано по формуле

$$\sigma_{ult} = \left(\frac{\gamma_2 h_2 \mathrm{tg}\varphi_2 + c_2}{\beta}\right) \geq \sigma_{max}^{\text{факт}},$$

где γ_2 – средневзвешенное значение удельного веса грунта в основании сооружения, кН/м^3; h_2 – мощность сжимаемой толщи основания грунтового сооружения, м; φ_2, c_2 – прочностные характеристики грунтов в основании сооружения; $\beta = 0{,}1\ldots0{,}3$ – коэффициент безопасности, зависящий от геометрических параметров грунтового сооружения; $\sigma_{\max}^{\text{факт}} = \gamma_1 H_1$ – фактическое напряжение в основании грунтового сооружения от его собственного веса, кПа.

При проверке деформаций грунтового сооружения суммарная осадка его тела (S_1) и основания (S_2) может быть рассчитана по формуле

$$S_{\max} = S_1 + S_2 = \left(\frac{\gamma_1 H_1^2}{E_1}\right) + \left(\frac{\gamma_2 h_2^2}{E_2}\right) \leq S_{ult}^{\text{норм}},$$

E_1, E_2 – средневзвешенные значения модулей деформации тела и основания грунтового сооружения, кПа; $S_{ult}^{\text{норм}}$ – нормативное значение осадки сооружения по техническому регламенту, м.

Вычисление расхода, построение кривой депрессии и определение действующего градиента напора при фильтрации воды через тело грунтового сооружения может производиться по формулам

$$q_{\text{ф}} = \frac{k_{\text{ф}}(H_w - H_0)^2}{2L},$$

где $q_{\text{ф}}$ – удельный расход фильтрации на 1 погонный метр сооружения, м^3/сут; $k_{\text{ф}}$ – средневзвешенное значение коэффициента фильтрации грунтового сооружения, м/сут; H_w – расстояние от подошвы грунтового сооружения до уровня воды, м; H_0 – расстояние от подошвы грунтового сооружения до уровня высачивания воды, м; L – длина проекции кривой депрессии на горизонтальную ось, м;

$$y = \sqrt{H_w^2 - 2\frac{q_{\text{ф}}}{k_{\text{ф}}}x},$$

где y – вертикальная ордината кривой депрессии, м; x – горизонтальная ордината кривой депрессии, м;

$$I_{ult}^{\text{расч}} = \frac{H_w - H_0}{L} \leq I_{ult}^{\text{норм}},$$

где $I_{ult}^{\text{расч}}$ – максимальный расчетный градиент кривой депрессии; $I_{ult}^{\text{норм}}$ – предельное нормативное значение градиента по техническому регламенту.

Таким образом, по вышеприведенным формулам уже на предпроектной стадии можно установить основные геометрические параметры грунтовых сооружений. Далее на проектной и рабочей стадиях проектирования можно производить более точные и подробные аналитические и численные расчеты напряженно-деформированного состояния грунтовых сооружений.

РАСЧЕТ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТАХ

В.С. Королёва[1]

Для расчета давления дисперсных грунтов на криволинейные конструкции подземных сооружений предлагается использовать метод характеристик теории предельного равновесия (ТПР) грунтов. Хорошо известен вариант тривиального решения, когда вокруг выработки осуществляется построение первой краевой задачи, а сам контур выработки рассматривается как граница, с которой осуществляется решение. Возможность получения решения ТПР, помимо тривиального, впервые была рассмотрена К.В. Руппенейтом в его докторской диссертации. Однако построение поля предельного напряженного состояния им предлагалось осуществлять не в зоне, непосредственно примыкающей к подземному сооружению, а в зоне, примыкающей к своду обрушения с внешней стороны. С физической точки зрения решение означало существование области предельного напряженного состояния вне свода обрушения.

Следующим шагом в развитии этого направления стало решение Я.О. Стахнёва, который осуществлял рассмотрение данной задачи на базе аналогии горного давления и давления грунта на подпорные стенки. По существу, предложенное им решение представляло собой решение задачи об активном давлении для схемы, «повернутой» на 90°. Верхняя часть подземной конструкции, на которую и собиралась нагрузка, принималась плоской. Это предположение было введено в расчет Я.О. Стахнёвым, поскольку результаты предполагалось использовать в рамках расчетной схемы Протодьяконова-Цымбаревича, где вся нагрузка собирается в уровне нижней плоскости свода обрушения.

В данной работе предлагается адаптировать решение Я.О. Стахнёва к подземным сооружениям криволинейного очертания.

Построение решений в этом методе достигается интегрированием канонической системы уравнений статики сыпучей среды в рамках той или иной последовательности краевых задач. В данном случае последовательность краевых задач представлена на рис. 1, где римскими цифрами проставлены номера краевых задач.

На рис. 2 показан пример сетки линий скольжения (характеристик) в дисперсных грунтах над криволинейной конструкцией (калоттой) для следующих исходных данных (в относительных переменных): удельный вес грунта $\gamma = 1$; полуширина пролета свода обрушения $a = 1$; угол внутреннего трения $\varphi = 30°$; удельное сцепление $c = 0{,}4$; высота калотты $h_к = 0{,}3$. Там же изображены рассчитанные эпюры предельных напряжений σ_1, σ_x, σ_z, действующих по контуру конструкции подземного сооружения. При решении данной задачи предполагалось, что трение на контакте «конструкция-грунт» отсутствует.

На рис. 3 показаны графики зависимости силы P предельного давления от удельного сцепления c при $\varphi = 30°$ для калотт разной высоты, очертание которых принято по окружности. Приведенные данные позволяют говорить о том, что высота калотты в дисперсных грунтах незначительно влияет на величину предельного давления.

---

[1] Аспирант, преподаватель кафедры «Геотехника, тоннели и метрополитены», ФГБОУ ВО СГУПС

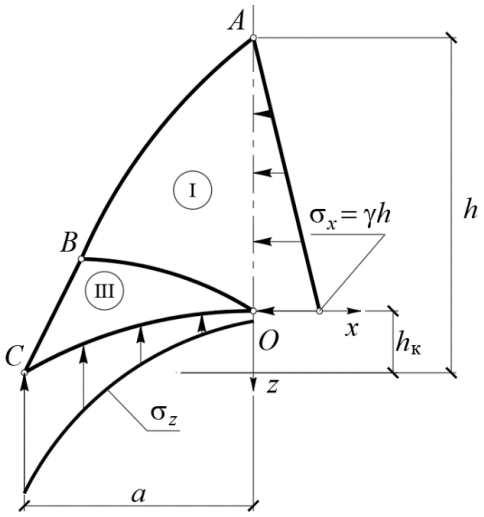


Рис. 1. Компоновка краевых задач

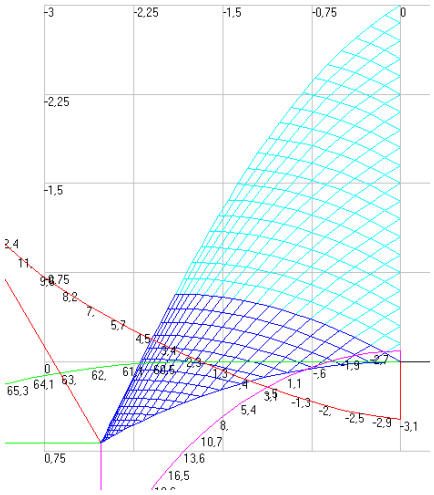


Рис. 2. Пример сетки линий скольжения и эпюры нормальных напряжений σ_1, σ_x, σ_z

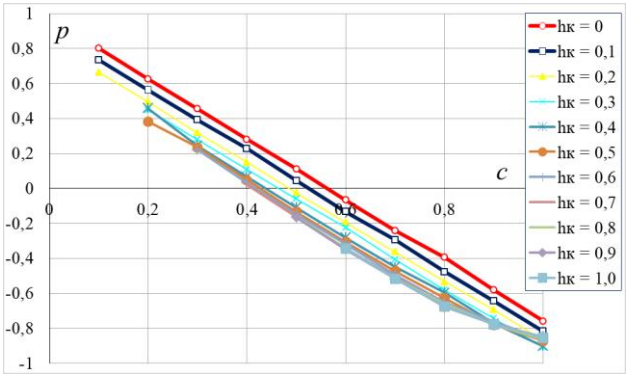


Рис. 3. Зависимости $P(c)$ при $\varphi = 30°$для калотт кругового очертания разной высоты

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ДЛЯ ПОДБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.С. Курочкин[1]

На ранних этапах проектирования хвостохранилища возникает необходимость определять основные параметры ограждающих дамб, конструкцию экранирования и месторасположение хранилища в целом. Как правило, список исходных данных на ранних этапах проектирования ограничивается рельефом местности в предполагаемой зоне размещения хвостохранилища и количеством хвостов, которое требуется складировать. В настоящее время все острее встает вопрос о более точной оценке стоимости и выборе наиболее оптимальных решений по объекту складирования отходов на ранних этапах проектирования, так как данные решения оказывают большое влияние на рентабельность всего проекта.

В процессе разработки основных решений на ранних стадиях проектирования выбор местоположения хвостохранилища и поиск его оптимальных (соответствующих минимальной стоимости) параметров, соответствующих исходным данным, выполняется в основном путем ручного подбора объема емкости хвостохранилища в зависимости от высоты ограждающей дамбы. При подходе, где используется ручной подбор параметров, во-первых, имеет место многократное повторение механических действий по перестроению ограждающих сооружений, а во-вторых, оценка стоимости происходит только после относительно полной проработки варианта посадки хвостохранилища. В связи с этим, вероятность выбора оптимальных с точки зрения стоимости решений стремится к вероятности случайного события.

В целях уменьшения количества итераций по подбору оптимальных параметров хвостохранилища и для оценки стоимости хвостохранилища при заданных или геометрических параметрах формируется упрощенная параметрическая модель хвостохранилища, которая служит для решения двух типов задач:

укрупненная оценка стоимости строительства по заданным геометрическим параметрам хвостохранилища (прямая задача);

выбор оптимальных геометрических параметров хвостохранилища по требуемому объему его заполнения и результатам оценки стоимости строительства (обратная задача).

Для решения прямой задачи в параметрической модели задаются основные габариты хвостохранилища в плане, а также параметры ограждающей дамбы. Для выбора оптимальных решений (обратная задача) задаются предполагаемые габариты хвостохранилища в плане, а также параметры дамбы, за исключением ее высоты, т. к. именно она определяется по результатам решения обратной задачи и влияет на сопутствующие параметры хвостохранилища.

Определение стоимости производится по единичным укрупненным расценкам, которые связаны с базовыми геометрическими параметрами хвостохранилища, получаемыми при решении прямой и обратной задачи. Таким образом, используя вышеперечисленные положения, разработаны параметрические модели для хвостохранилища косогорного, равнинного и овражного типов.

---

[1] Главный специалист по гидротехническим сооружениям, ООО «РТИ-Проект»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ БЕНТОНИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Д.С. Лундин[1]

Добывающая промышленность, являясь одной из ключевых отраслей мировой экономики, одновременно сталкивается с серьезными вызовами в области экологической безопасности и устойчивого природопользования. Особое место в этом ряду занимает проектирование и эксплуатация гидротехнических сооружений, таких как хвостохранилища, площадки кучного выщелачивания, пруды-отстойники и шламонакопители.

Ключевым требованием к этим объектам является обеспечение надежной гидроизоляции для предотвращения инфильтрации агрессивных промышленных стоков и загрязнения подземных вод и почв.

В последние десятилетия традиционные решения, основанные на уплотненных глиняных экранах, все чаще уступают место современным геосинтетическим материалам. Среди них особое внимание заслуживают бентонитовые маты, которые доказали свою эффективность и надежность при проектировании и строительстве гидротехнических объектов в горнодобывающем секторе.

Однако стоит отметить ряд особенностей данных материалов важных при проектировании и производстве работ.

Во-первых, конструктивные особенности бентонитовых матов, такие как: коэффициент фильтрации, прочность при продольном растяжении, прочность шитья и т. п.

Во-вторых, технологические особенности бентонитовых матов, такие как: температурные и климатические особенности выполнения работ, геометрия и уклоны изолируемых поверхностей, а также качество грунта засыпки и основания.

Бентонитовые маты BentIzol SB*5-ss были применены для гидроизоляции хвостохранилища в Белгородской области и в Забайкальском крае.

Коэффициент фильтрации материала зависит от содержания активного минерала монтмориллонита в бентонитовой глине, в соответствии с ГОСТ Р 70090-2022 минимальное содержание этого минерала в глине составляет 70 %.

Также на качество бентонитового мата влияет фракция бентонитового наполнителя, согласно протоколам ЦЛАТИ по УФО, при снижении фракции бентонитового наполнителя без изменения качества глины, коэффициент снижается на одну степень с 1×10^{-11} на 1×10^{-12} м/сек.

Для повышения надежности изоляции технологических швов на откосах, минимизации человеческого фактора при монтаже и увеличения его скорости, была разработана технология заводского наполнения краев бентонитовым порошком.

При выполнении изоляции откосов дамбы на первый план выходят такие параметры, как: прочность скрепления текстильного каркаса, а также коэффициенты трения материала о грунт.

Для этих целей были проведены испытания по ГОСТ Р 70037- 2022 в испытательной лаборатории НИИ ТСК, где были получены данные о величине угла влияния вложения геосинтетической прослойки на трение в системе «грунт–синтетика–грунт». Величина данного угла со-

[1] Технический директор, ООО «БентИзол»

ставила 29°, данные параметр показывает максимальный угол, при превышении которого поверхность геосинтетического материала начинает формировать критическую плоскость скольжения.



Общий вид испытательное установки по ГОСТ Р 70037- 2022

Однако при приложении больших сил трения на поверхности материала неминуемо происходит воздействие на сам каркас мата, было выявлено, что силы трения по поверхности могут приводить к полному расслоению материала, имеющему прочность скрепления менее 400 Н/м.

Также специалистами компании «БентИзол» для изоляции хвостохранища в Забайкальском крае разработан состав смеси бентонита и местного грунта для устройства подстилающего слоя бентонитового мата, что позволило значительно повысить надежность противофильтрационного экрана.

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ СОЧЕТАНИЯ МЕТОДОВ ПРОПИТКИ И ГИДРОРАЗРЫВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГРУНТОВЫХ ПЛОТИНАХ

М.Е. Михайлов[1]

Приводятся сведения о комбинированном способе сочетания методов пропитки и гидроразрыва для создания противофильтрационных элементов в грунтовой плотине.

Грунтовые плотины – это наиболее распространенные водоподпорные гидротехнические сооружения. По способу возведения грунтовые плотины подразделяются на насыпные, намывные и полунамывные. Они выполняются из мелкозернистых глинистых, песчаных и песчано-гравелистых грунтов с однородными и неоднородными типами конструкций. Однородные плотины строятся, как правило, без дополнительных противофильтрационных устройств. Неоднородные выполняются с противофильтрационными устройствами в виде центрального ядра или наклонного ядра из грунтовых материалов (глины, суглинков) и негрунтовых материалов (бетон, асфальтобетон, сталь, дерево, глиноцементобетон, грунтополимер). Они могут быть возведены в виде экранов со стороны верхового откоса и диафрагм, расположенных по оси плотины. Диафрагма для метода «стена в грунте» выполняется различными способами, к которым относятся шпунтовые, траншейные технологии, буросекущие сваи (БСС), струйная цементация и метод пропитки грунта гидроструктурной смолой на акрилатной основе.

Способ создания противофильтрационного элемента в теле грунтовой плотины из неоднородно-слоистых грунтов, включающий формирование противофильтрационной диафрагмы посредством нагнетания в грунт инъекционного закрепляющего материала, в виде сплошной стенки из взаимосекущихся акрилатных грунтополимерных колонн диаметром 400–450 мм.

Как тело грунтовой плотины, так и ее основание может иметь слоисто-неоднородное строение, обусловленное наличием переслаивающихся грунтов с различной проницаемостью: хорошо проницаемые – пески (мелкие, средние, крупные) и слабопроницаемые – супесь песчанистая, суглинки и глины.

К специальному способу относится комбинированный способ, суть которого заключается в объединении метода пропитки и метода гидроразрыва в одной инъекционной скважине. Нагнетание инъекционного закрепляющего материала осуществляют насосы высокого давления типа MC-I 700/710, спаренные в одну линию с учетом дисперсных свойств грунта в разных слоях грунтовой плотины, при этом в слое слабоводопроницаемых грунтов нагнетание осуществляют методом гидроразрыва с рабочим давлением, составляющим диапазон от 30 до 120 бар, и с расходом 15 л в минуту, а в слое сильноводопроницаемых грунтов нагнетание осуществляют методом пропитки с рабочим давлением, составляющим диапазон от 20 до 30 бар, и расходом 5 л в минуту. В качестве инъекционного закрепляющего материала используют инъекционный низковязкий раствор на акрилатной основе с вязкостью не более 3 мПа·с.

[1] Руководитель отдела технологий и проектов, ООО «Эм-Си Баухеми»

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МЕРЗЛОТНЫХ МАССИВОВ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Ю.Е. Назукина[1], С.В. Сольский[2]

Освоение природных ресурсов, связанное со строительством гидротехнических сооружений (ГТС), приводит к серьезным нарушениям природной среды осваиваемых территорий, которые особенно ощутимы в зонах развития многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Строительство и эксплуатация ГТС вызывают значительные изменения как термического, так и фильтрационного режимов, которые в свою очередь могут способствовать возникновению или развитию неблагоприятных инженерно-геологических и криогенных процессов и явлений.

Для построенных в зоне развития ММГ сооружений контроль, диагностирование и прогноз состояния и работы необходимы вследствие значительного влияния процессов деградации мерзлой толщи, которые обычно имеют неблагоприятное воздействие на сами сооружения. При оттаивании мерзлых грунтов происходят значительные изменения их физико-механических и фильтрационных свойств, которые могут привести как к значительным деформациям оснований и откосов грунтовых ГТС, так и к полному разрушению сооружений. В связи с этим, для обеспечения безопасной эксплуатации ГТС и рационального использования окружающей среды в северных районах особое внимание следует уделять проблемам оценки изменения и прогноза теплового состояния промерзающих и оттаивающих грунтов.

Геотехнический мониторинг является одним из основных способов оценки изменения инженерно-геокриологической среды территории размещения гидротехнических сооружений и зачастую позволяет обеспечивать эффективный контроль за состоянием сооружения и его основанием для обеспечения эксплуатационной надежности и безопасности ГТС.

Очевидно, что организация геотехнического мониторинга должна быть достаточной и комплексной для получения достоверных данных, необходимых для оценки актуального состояния инженерно-геокриологической среды.

Общая схема мониторинга в зоне ММГ включает режимные наблюдения за температурами грунтового массива, уровнями подземных вод; контроль вертикальных и плановых смещений сооружений и земной поверхности, в некоторых случаях напряженно-деформированного состояния сооружений и их оснований, а также систему организации, хранения, накопления и обработки информации режимных наблюдений.

По данным мониторинга возможно создание или актуализация/корректировка прогнозных математических моделей для описания наблюдаемых процессов и при необходимости разработка рекомендаций и обоснование мероприятий для предотвращения развития опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений, контроль за которыми, в случае реализации решений, также осуществляется режимными наблюдениями и системами обработки информации.

[1] Младший научный сотрудник отдела «Статика и динамика сооружений и оснований», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

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

Для прогнозирования состояния мерзлой зоны в теле плотин и/или их оснований, а также оценки скорости изменения положения нулевой изотермы рекомендуется использование специализированных программных комплексов для теплофизических и геофильтрационных расчетов.

Комплексная оценка и прогноз состояния инженерно-геологической среды необходимы и являются основой при разработке и обосновании управляющих воздействий на мерзлотные массивы в теле или/и основании ГТС, которые в свою очередь подразделяются на активные и пассивные методы, профилактические мероприятия, методы технической мелиорации грунтов и др.

Выполненный нами анализ показал, что действующая нормативно-методическая база не позволяет в достаточном объеме проектировать и создавать комплексные системы криомониторинга, так как не регламентирует необходимость совместного получения и анализа данных об актуальных инженерно-геокриологических и гидрогеологических условиях и результатов прогнозных теплофизических расчетов.

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОГО ПРОДУКТА «ЛОГОС ГИДРОГЕОЛОГИЯ»

М.Л. Сидоров[1]

В докладе представлен цифровой продукт «Логос Гидрогеология» для решения задач подземной гидродинамики. Показаны основные классы задач, которые можно готовить и решать в данном продукте. Показаны основные нововведения 2025 г., полученные в результате развития и доработки цифрового продукта «Логос Гидрогеология». Показано применение продукта к задачам фильтрации в основаниях гидротехнических сооружений: подготовка геологической модели на основании множества инженерно-геологических скважин, построение сеточной модели с выклиниванием геологических слоев, получение оценки коэффициента запаса устойчивости склонов, проведение профильных и трехмерных расчетов напорно-безнапорной фильтрации в обычной и многостадийной постановке с учетом изменяющихся со временем геометрии модели и геофильтрационных свойств, проведение связанных и сопряженных расчетов задач фильтрации и теплопереноса, а также полученные по ним результаты.

[1] Начальник научно-исследовательской группы, ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ»

НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НАКОПИТЕЛЕЙ НЕРАСТВОРИМЫХ (ГРУНТОВЫХ) МАТЕРИАЛОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С.В. Сольский[1], И.Г. Зеленский[2]

В настоящее время сложилась неоднозначная ситуация нормативного обеспечения изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений накопителей нерастворимых (грунтовых) материалов промышленных предприятий, использующих гидротранспорт складируемых материалов (накопителей). Актуальность рассмотрения данного вопроса вызвана тем, что нормированием функционирования рассматриваемых сооружений на всех стадиях жизненного цикла занимаются различные ведомства, каждое из которых регулирует свои аспекты работы данных объектов. Выпускаемые нормативные документы часто не имеют между собой единых идеологических, смысловых и терминологических связей и содержат противоречивые требования.

Это порождает у участников процесса всех уровней (инвесторов, заказчиков, изыскателей, проектировщиков, эксплуатирующих организаций, экспертных организаций, надзорных органов) большое количество недопониманий и разногласий.

У сложившейся ситуации с нормированием жизнедеятельности обозначенных объектов и сложностями в создании качественной нормативной базы имеется ряд объективных причин, из которых основными считаем следующие.

В отличие от «классических» гидротехнических сооружений (ГТС), процесс строительства (увеличение высоты ограждающих конструкций и объема удерживаемого в чаше материала) на накопителях грунтовых материалов продолжается весь срок эксплуатации. На первом этапе производится строительство сооружений, необходимых только для начала эксплуатации накопителя, – это пионерная дамба, системы оборотного водоснабжения и гидротранспорта, чаша накопителя, дренажные сооружения и т. п. После этого наступает следующий этап – накопление складируемого материала. Но поскольку накопители относятся к ГТС, на них в полном объеме распространяются требования нормативов по проектированию, эксплуатации и обеспечению безопасности гидротехнических сооружений.

Складируемые материалы могут быть отнесены к отходам производства, с присвоением соответствующих кодов Федерального классификационного каталога отходов (ФККО) и внесением в Государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО). В данном аспекте деятельность этих сооружений попадает под юрисдикцию Министерства природных ресурсов и экологии РФ (Минприроды России).

Данные объекты могут иметь признаки отнесения к опасным производственным объектам (ОПО), в этом случае они подлежат регистрации в регистре ОПО с последующим контро-

[1] Доктор техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского отдела «Основания, грунтовые и подземные сооружения», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

[2] Начальник отдела проектирования гидротехнических сооружений – главный гидротехник, ООО «АйДи Инжиниринг»

лем подразделением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), курирующим ОПО.

При этом однозначна лишь классификация накопителей как гидротехнических сооружений, а отнесение их к объектам размещения отходов и ОПО требует внимательного подхода и тщательного обоснования.

В связи с этим, предлагается пересмотреть подход к формированию нормативной базы, регулирующей деятельность рассматриваемых сооружений, для чего предлагается выполнить следующее.

Внести единую терминологию в документы, регулирующие деятельность гидротехнических сооружений накопителей нерастворимых материалов промышленных предприятий.

Ввести трехступенчатый подход к требованиям в нормативной документации, где на первой ступени будут обозначены требования к гидротехническим сооружениям, на второй – дополнительные требования к гидротехническим сооружениям накопителей нерастворимых материалов, на третьей – дополнительные требования по обращению с отходами, если складируемые материалы отнесены к отходам. Для определенных объектов (рапо-/рассолохранилища, пруды радиоактивных, биологически/химически загрязненных растворимых стоков) достаточно требований первой и третьей ступени нормативной документации.

Соответственно, потребуется корректировка всех существующих нормативных документов СП, ФНИП и т. д.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С ГЛИНОЦЕМЕНТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМОЙ ИЗ БУРОСЕКУЩИХСЯ СВАЙ

С.В. Сольский[1], Р.Ю. Лабойко[2], Е.А. Аксенов[3]

На сегодняшний день, по объективным причинам, характеристики состояния грунтовой плотины (ГП) с противофильтрационным элементом (ПФЭ) из глиноцементобетонной диафрагмы (ГЦБД) остаются недостаточно исследованными.

Это обусловлено как относительной новизной технологии, так и фактически единичными примерами возведения ГЦБД ГП в нашей стране. За последние годы можно отметить следующие примеры: Гоцатлинская ГЭС (только основание), Нижне-Бурейская ГЭС (перемычки строительного котлована и грунтовая плотина), Центр строительства крупнотоннажных морских сооружений в Белокаменке (перемычка), горно-металлургический комбинат «Удокан» (дамба хвостохранилища), Белопорожская МГЭС.

Действующей в РФ нормативной документацией не регламентируются требования по оснащению КИА ПФЭ из ГЦБД БСС. Однако ГОСТ Р 57793-2025 предписывает в грунтовых плотинах кроме фильтрационного, температурного режимов контролировать и напряженно-деформированное состояние (НДС) ПФЭ. Это обстоятельство в условиях постоянного совершенствования конструкций и материалов ПФЭ подчеркивает необходимость развития системы контроля за такими ПФЭ.

На сегодня грунтовая плотина Нижне-Бурейской ГЭС – единственный эксплуатируемый объект с ГЦБД из БСС, где КИА установлена в ПФЭ плотины для контроля НДС. Накопление рада данных инструментальных наблюдений, верная интерпретация и анализ полученных данных лежат в основе совершенствования принципов мониторинга. Важным аспектом при проектировании систем контроля за такими уникальными объектами является обеспечение резервирования систем измерений для повышения надежности контроля.

Проблемы мониторинга и оценки технического состояния на примере плотины Нижне-Бурейской ГЭС рассматриваются авторами на основе данных, полученных с КИА, установленной непосредственно в грунте и ПФЭ сооружения. Это обеспечивает более точное и оперативное представление о состоянии плотины в реальных условиях эксплуатации.

Разработанные технические решения закрывают некоторые упущения действующей нормативной документации и дополняют существующий комплекс мероприятий по оснащению ПФЭ КИА и ведению контроля за состоянием грунтовых плотин с ПФЭ из ГЦБД.

Опыт эксплуатации грунтовой плотины Нижне-Бурейской ГЭС следует использовать для совершенствования принципов контроля состояния подобных сооружений, сравнения расчетных моделей и результатов лабораторных исследований с данными натурных наблюдений, а также в ходе проектирования грунтовых плотин с ГЦБД из БСС. Такой подход способствует повышению точности оценки технического состояния сооружений, оптимизации проектных решений и повышению их эксплуатационной надежности.

---

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

[2] Научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

[3] Начальник СМОиГТС, филиал ПАО «РусГидро» – «Бурейская ГЭС»

ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА ГОКА АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД

С.В. Сольский[1], И.П. Веретельник[2], В.Р. Кузьмина[3], М. С. Кудряшова[4], М.Ю. Васильев[5]

Рассмотрены рациональные пути развития существующих хвостохранилищ с учетом возникающих проблем при дальнейшем наращивании и эксплуатации хвостовых хозяйств, предложены варианты дальнейшего развития на примере существующего хвостохранилища ГОКа апатит-нефелиновых руд.

На первом этапе проработок определена стратегия долгосрочного развития хвостохранилища (ХХ) с учетом фактического состояния хвостового хозяйства, в составе которой выполнено обоснование максимально возможной отметки наращивания дамб ХХ, исходя из прогноза продолжения эксплуатации существующего ХХ на период до 2074 г. Разработаны основные конструктивно-технологические показатели ХХ, учитывающие особенности ранее запроектированных, построенных и эксплуатирующихся элементов сооружений, продемонстрировавших свою работоспособность и эффективность.

По результатам второго этапа проработок представлен порядок обоснования параметров и конструкций конкретных элементов ГТС, удовлетворяющих требованиям изменяющихся условий эксплуатации ХХ с учетом обеспечения надежности и безопасной эксплуатации ГТС при повышении их класса, а именно:

проведен анализ действующих насосных агрегатов в существующих насосных станциях, выполнены гидравлические расчеты, для исключения переливов назначены требуемые параметры насосного оборудования для дальнейшего развития ХХ по представленным вариантам;

проработаны основные технические решения по реконструкции существующих сооружений, требующие изменений конструктивных параметров для возможной дальнейшей эксплуатации ХХ (организация дополнительной приточности вторичного отстойника для отведения воды на технические нужды фабрики, реконструкция точки сброса аварийного коллектора);

разработаны технические решения по усилению дамб намыва, мероприятия по сохранению устойчивости при наращивании дамб и фильтрационной прочности, выполнены необходимые для исследования расчеты устойчивости и фильтрационной прочности ограждающих дамб при дальнейшем наращивании ХХ.

Также выполнен анализ проблематики действующих хвостохранилищ в части природоохранных требований и необходимости устройства системы гидроизоляции основания в связи с фактическими фильтрационными характеристиками ранее намытых хвостов.

Выполнена оценка природоохранных мероприятий на существующем ХХ, приведен пример действующего хвостохранилища, в котором намытые хвосты обладают относительно водоупорными свойствами, даны рекомендации по дальнейшей оценке влияния хвостов обогащения на окружающую среду с учетом действующего законодательства об охране окружающей среды.

Представленный анализ по возможному развитию сооружений хвостового хозяйства на примере действующего ХХ может быть использован при выборе стратегии дальнейшей эксплуатации аналогичных существующих ХХ обогатительных фабрик.

---

[1] Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Директор Санкт-Петербургского филиала ООО «НПЦ «Акрон инжиниринг»
[3] Заместитель технического директора – начальник проектного отдела, ООО «НПК Проектводстрой»
[4] Заместитель технического директора по проектированию, ООО «НПК Проектводстрой»
[5] Начальник сектора «Безопасность гидротехнических сооружений», ООО «НПК Проектводстрой»

ПРОБЛЕМЫ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

С.В. Сольский[1], А.В. Гинц[2], И.Г. Зеленский[3], В.Р. Кузьмина[4], Е.Н. Филоненко[5], М.Ю. Васильев[6]

Создание надежного противофильтрационного экрана (ПФУ) в рассолонакопителях является сложной инженерной задачей в связи с тем, что требования к ПФУ недостаточно регламентированы нормативно для разработки качественной проектной документации; в период строительства зачастую отсутствует четкая увязка проектных решений с организацией производства работ (ПОС не увязан с ППР); на этапе эксплуатации ПФУ обладает низкой ремонтопригодностью, что требует максимальной надежности его устройства на этапе строительства; накопленный опыт применения геосинтетики в подобных сооружениях пока ограничен и мало систематизирован.

Таким образом, получение надежного, работоспособного ПФУ рассолонакопителя возможно только при комплексном подходе, включающем комплексные инженерные изыскания, продуманное проектирование, использование качественных строительных материалов и строгое соблюдение технологий при строительстве.

Проанализирован и обобщен опыт проектирования и строительства противофильтрационных экранов (ПФУ) гидротехнических сооружений (рассолонакопителей), выполненных с применением геосинтетических гидроизоляционных материалов (ГГСМ) в основании и бортах на больших площадях. Рассмотрены особенности, связанные с сезонностью выполнения работ, необходимостью технологических перерывов и пропуска паводковых расходов с водосборных площадей. Приведены примеры конструктивных решений и характерных нарушений в процессе строительства.

Даны рекомендации к разработке проектов организации строительства и проектов производства работ по устройству ПФУ рассолонакопителей.

[1] Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[3] Начальник отдела проектирования гидротехнических сооружений – главный гидротехник, ООО «АйДи Инжиниринг»
[4] Заместитель технического директора – начальник проектного отдела, ООО «НПК Проектводстрой»
[5] Ведущий инженер проектного отдела, ООО «НПК Проектводстрой»
[6] Начальник сектора «Безопасность гидротехнических сооружений», ООО «НПК Проектводстрой»

АНАЛИЗ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РИСКОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ СВЕРХВЫСОКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩА НА НЕКОНСОЛИДИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЯХ

С.В. Сольский[1], С.Х. Таскаева[2], В.Р. Кузьмина[3], Е.Н. Филоненко[4], Н.Г. Ревякина[5]

Ежегодно на сооружениях хвостохранилищ происходят различного рода аварии, в т. ч. незначительные «отказы». В большинстве случаев причинами зафиксированных «отказов» и «аварий» являются:

потери контроля над водным балансом;

отсутствие контроля за процессом строительства;

отсутствие понимания особенностей, определяющих безопасную эксплуатацию.

Объектом исследования является хвостохранилище I класса, расположенное в Хабаровском крае, аккумулирующее отходы золоизвлекательной фабрики. С момента ввода в эксплуатацию было реализовано несколько этапов наращивания высоты ограждающих сооружений. В настоящее время перед эксплуатирующей и проектной организациями стоит задача достижения предельной отметки высоты дамб, что сопровождается необходимостью учёта и оценки возрастающих геотехнических и экологических рисков, характерных для строительства сверхвысоких гидротехнических сооружений на основании из неконсолидированных хвостов.

Задачами исследования являются определение характера зависимости отдельных видов рисков от увеличения высоты ограждающих сооружений и разработка оптимальных методов мониторинга за сооружением.

В процессе исследования выполняется анализ инженерно-геологических и гидродинамических процессов при наращивании. Используется системный подход: увязка факторов устойчивости и эксплуатационной надежности.

Для ограждающей дамбы наиболее распространёнными аварийными ситуациями является потеря устойчивости откосов, которая может быть вызвана слабой консолидацией основания, ростом порового давления, перегрузкой при наращивании, недостаточным уплотнением грунтов и сейсмическими воздействиями. Дополнительно отмечается чрезмерная деформируемость конструкции, связанная с повышенной влажностью хвостов, неравномерной консолидацией, дефицитом инертных материалов и неоднородностью основания. Осадки гребня и откосов обусловлены медленной консолидацией хвостов, недостаточным дренажом и отсутствием преднагрузки.

В основании, сложенном хвостами, аварии проявляются в виде просадок и потери несущей способности, что связано с неконсолидированным состоянием массива, избыточным фильтрационным давлением и недостаточной эффективностью дренажной системы. Дополнительно

[1] Доктор техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Зам. тех. директора по производству, ООО «НПК Проектводстрой»
[3] Начальник проектного отдела, ООО «НПК Проектводстрой»
[4] Руководитель проектов, ООО «НПК Проектводстрой»
[5] Руководитель проектов, АО «ХАИЛЭНД ГОЛД»

возможны процессы фильтрации и прорыва фильтрата вследствие роста гидравлического градиента, образования фильтрационных каналов и локальных зон разжижения.

В ходе исследования установлено, что риски потери устойчивости, прорыва напорного фронта и фильтрации через основание имеют экспоненциальный характер роста, что делает их критическими при достижении предельных высот.

Увеличение высоты ограждающих конструкций хвостохранилища сопровождается ускоренным ростом критически значимых геотехнических и экологических рисков. Для минимизации вероятности аварийных ситуаций требуется комплексный подход к управлению безопасностью.

Наиболее эффективными мерами являются:

усиление контроля качества и обязательное документирование всех этапов строительства и эксплуатации посредством систематических записей о ходе работ;

совершенствование строительных процедур в соответствии с рекомендациями независимых экспертов и квалифицированных инженеров-геотехников;

регулярное проведение сторонних технических обзоров и аудитов;

применение контрольно-измерительной аппаратуры по патенту RU2822674C1, что обеспечит возможность оперативного прогнозирования потенциально опасных состояний и позволит существенно снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации хвостохранилищ.

устранение возможных конфликтов между краткосрочной экономической выгодой и долгосрочной целостностью ограждающих конструкций;

закрепление персональной ответственности за отказ или потерю устойчивости защитных сооружений на высшем корпоративном уровне, с установлением стандарта надёжности и безопасности руководством компании.

Реализация перечисленных мер позволит обеспечить своевременное прогнозирование критических состояний, повысить устойчивость и надёжность сооружения, а также снизить вероятность аварийных ситуаций при эксплуатации хвостохранилища в условиях сверхвысоких наращиваний.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЗАВЕСЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ В ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТАХ

В.В. Сорокин[1], В.В. Конюшков[2]

Строительство подземных сооружений в водонасыщенных грунтах представляет собой сложную инженерную задачу. Основные проблемы связаны с неконтролируемым водопритоком в котлован, который может привести к потере устойчивости откосов, развитию процессов механической суффозии, размыву грунта и, как следствие, к деформациям оснований существующих зданий и сооружений или даже к их обрушению.

При проектировании подземных сооружений ниже уровня подземных вод современные нормы требуют проведения расчетов на действие давления подземных вод, а также разработки мероприятий по исключению водопритоков в котлован, гидропрорывов водоупорных слоев грунта напорными водами, возникновения и развития суффозии, всплытия сооружения.

Для исключения возникновения аварийных ситуаций и обеспечения безопасности работ применяются различные инженерные мероприятия, в числе которых устройство противофильтрационных завес.

Противофильтрационная завеса представляет собой искусственный барьер, создаваемый в грунтовом массиве с целью предотвращения или существенного снижения фильтрации подземных вод. Зачастую традиционное решение по устройству завесы в виде заделки ограждающих конструкций в нижележащие водоупорные слои не представляется возможным вследствие большой глубины их залегания. В этом случае применяются такие методы, как инъецирование грунтов различными составами, устройство завес по технологии «стена в грунте» или же закрепление грунтового массива методом струйной цементации.

Эффективность применения противофильтрационной завесы может характеризоваться степенью снижения водопритока в подземную выработку. Данный показатель отражает фактическое уменьшение объема воды по сравнению с расчетным притоком без завесы.

В данной работе объектом исследования является котлован, сооружаемый открытым способом. Методом численного моделирования с учетом стадийности возведения котлована в трехмерной постановке определены водопритоки без проведения защитных мероприятий и с устройством завесы, выполненной методом струйной цементации грунтов в основании сооружения.

Анализ результатов расчета показал существенное снижение поступления объемов воды в котлован, что является показателем эффективности применяемого способа.

[1] Аспирант, СПбПУ (ИСИ)
[2] Канд. техн. наук, доцент, СПбПУ (ИСИ)

ДЕТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА КОМПЛЕКСОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

А.Д. Титкин[1], П.В. Кондратенко[2]

Горно-обогатительный комбинат (ГОК) – это крупный промышленный комплекс, предназначенный для добычи полезных ископаемых открытым или подземным способом с целью получения рудного сырья. Деятельность ГОКа преобразует инженерно-геологические условия территории его размещения относительно первоначальных. Основной эффект вносит антропогенная деятельность: возведение производственных зданий и сооружений, создание карьеров и отвалов пород и т. п. Изменение поверхностного стока в ходе масштабных земляных работ приводит к значительной трансформации гидрологического режима территории, а в условиях вечной мерзлоты это провоцирует деградацию многолетнемерзлых пород основания, что приводит к протаиванию и потере несущей способности.

Для избежания возможных аварий и экологических проблем необходима актуальная информация о состоянии грунта. Игнорирование динамических изменений и достоверной информации может привести к серьезным последствиям: деформации и разрушению фундаментов, оползням откосов и отвалов, повреждению целостности хвостохранилищ и подобных объектов. Последствия подобных аварий носят не только экономический, но и экологический характер: загрязнение поверхностных и подземных вод, просадка земной поверхности и нарушение ландшафтов. Таким образом, геотехнический контроль и мониторинг является обязательным условием безопасности и устойчивости эксплуатации любого горно-обогатительного комплекса.

В 2025 г. АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» выполнил комплексные геофизические исследования на территории ГОКа в Республике Саха (Якутия) с целью детального изучения современного инженерно-геологического строения территории комбината. Сложность исследования заключалась в геологическом строении района работ: в его основе залегают очень прочные, но сильнотрещиноватые архейские граниты и гранито-гнейсы. Они повсеместно перекрыты верхнеюрскими и нижнемеловыми сиенитами, также интенсивно трещиноватыми и выветрелыми. Поверхность сложена разнородными рыхлыми четвертичными отложениями – аллювиальными, элювиально-делювиальными и техногенными песками, супесями и щебенистыми грунтами. Мощность этого чехла крайне изменчива и варьируется от 1 до 20 м. Кроме того, кровля скальных пород имеет сложный, сильно расчлененный рельеф с перепадами высот более 200 м.

Комплекс методов включал следующие виды работ: сейсморазведку (МПВ), электроразведку (ВЭЗ, МЗТ) и георадиолокационное профилирование (ГРЛП), экспресс-анализ воды (ЭАВ) в местах выхода грунтовых вод на дневную поверхность.

Объектом исследования являлись участки вблизи основания дамбы хвостохранилища, территория завода кучного выщелачивания (ЗКВ), золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ) и область вокруг карт кучного выщелачивания.

---

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

[2] Зав. лабораторией «Инженерная геология», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

На основании геофизических данных была получена информация о строении верхней части разреза, определена мощность рыхлых отложений, уровень грунтовых вод в пределах территории обследования и на качественном уровне их минерализация, которая косвенно указывает на места возможного загрязнения территории.

Результаты выполненного комплекса методов геофизики позволят сформировать дальнейший путь гидрогеологических исследований: проведение буровых работ с опытно-фильтрационными наблюдениями, отбором проб и химическим анализом, а также при назначении граничных условий при построении геофильтрационной модели участка расположения сооружений горно-обогатительного комбината.

РАЗВИТИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И СНИЖЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СИСТЕМ ВОДОПОНИЖЕНИЯ

А.М. Тюрикова[1], О.Н. Котлов[2], Е.Е. Легина[3], А.Р. Гардиева[4]

Объектом исследования является основание сооружений строящегося гидроузла.

Строительство гидроузла началось в 2011 г., с 2014 г. работы ведутся со значительными перерывами. Проект 2019 г. не учитывал длительное нахождение оснований сооружений под техногенной нагрузкой, в частности работу систем водопонижения, неоднократное восстановление и понижение уровня воды на территории. В качестве средств водопонижения используются водопонизительные скважины, иглофильтровые установки, лучевой дренаж, зумпфы перекачки и открытый водоотлив. Вследствие длительной работы систем водопонижения развились негативные геологические процессы: оплывание откосов, непроектная фильтрация в котловане судоходного шлюза, водная эрозия откосов и проявления нарушений фильтрационной прочности грунтов. Интенсивные фильтрационные выходы из откосов с выносом пылеватых и глинистых частиц неоднократно были зафиксированы при высоком уровне воды в р. Иртыш.

Для уточнения характеристик основания сооружений, в том числе его неоднородности, проведены инженерно-геологические изыскания и гидрогеологические наблюдения в пьезометрических скважинах.

Особенностью геологического строения объекта является его расположение в пределах острова, сложенного аллювиальными, преимущественно песчаными отложениями. Долина р. Иртыш на участке строительства врезана в озерно-аллювиальные отложения и в пределах изучаемой глубины заполнена современным аллювием.

На территории площадки строительства, согласно построенным картам гидроизогипс, средние градиенты потока подземных вод составляют I = 0,02÷0,9.

Лабораторные исследования в вертикальной суффозионно-фильтрационной установке показали, что пески, залегающие в основании сооружений гидроузла, проявляют суффозионные свойства только при градиентах напора: I =5÷19, нехарактерных для средних значений градиентов потока подземных вод на объекте.

Тем не менее, зафиксированные проявления фильтрационных процессов на объекте свидетельствуют об уже происходящих негативных процессах в основании сооружений.

В лабораторных условиях было проведено моделирование фильтрационного выпора в горизонтальной фильтрационно-суффозионной установке. Испытание пылеватых песков показало возможность развития фильтрационного выпора при градиентах напора от I = 0,4 и выше.

---

[1] Инженер 2 кат. лаборатории «Инженерная геология», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Канд. геол.-мин. наук, начальник отдела «Основания, грунтовые и подземные сооружения», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[3] Старший научный сотрудник лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[4] Инженер 2 кат. лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Полученные результаты свидетельствуют о том, что действующие на территории градиенты напора и геологические условия площадки строительства обуславливают развитие негативных процессов деградации грунтов основания и бортовых примыканий. Для надежной и безопасной работы основных сооружений гидроузла необходимо разработать и реализовать мероприятия по снижению выходных градиентов напора путем устройства противофильтрационного элемента.

МЕТОДИКА УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ИНЪЕКЦИОННЫХ СОСТАВОВ

И.А. Чёлушкин[1]

Гидротехнические сооружения (ГТС) грунтового типа, включая различные типы плотин и защитных дамб, функционируют в широком спектре природно-климатических условий. Эти инженерные конструкции выполняют двойную функцию: они служат как средствами защиты от паводковых явлений, так и технологическими элементами, например, в качестве шламонакопителей на производственных объектах.

Факторы риска для грунтовых ГТС включают целый комплекс проблем: изменение погодных условий, возрастающие эксплуатационные нагрузки, недостаточное техническое обслуживание, а также превышение проектных сроков использования. Совокупность этих факторов может спровоцировать деградацию конструкций и привести к техногенным авариям.

Особую опасность для грунтовых ГТС представляют суффозионные явления. Они вызывают ослабление структурных связей в грунтовом массиве, формирование каналов усиленной фильтрации и образование промоин внутри конструкции, что существенно снижает эксплуатационную надежность сооружения.

Современные методы диагностики на основе геофизического мониторинга обеспечивают точную идентификацию проблемных зон в структуре плотин. Это позволяет максимально эффективно проводить инъекционные работы, направленные на снижение фильтрационных характеристик и восстановление прочностных параметров конструкции.

Традиционные методы укрепления с использованием цементных растворов и бентонитовых составов демонстрируют ограниченную эффективность, особенно при высоких скоростях водопритока. Существенными недостатками являются риск выноса инъекционного материала в нижний бьеф и загрязнение прилегающей акватории, что создает экологические проблемы и влечет экономические потери.

Инновационное решение, разработанное компанией СТРИМ®, представляет собой запатентованную технологию укрепления водонасыщенных оснований грунтовых ГТС. Этот метод выступает эффективной альтернативой классической цементации, демонстрируя превосходные результаты там, где традиционные способы оказываются недостаточно действенными.

По сравнению с полимерными инъекционными материалами, используемые гидрофильные смолы АКВИДУР® обеспечивают значительное преимущество в расходе – примерно в 20 раз меньший расход материала при сопоставимой эффективности.

Применение композитных инъекционных составов на основе смол АКВИДУР® обеспечивает быстрое восстановление эксплуатационных характеристик грунтовых гидротехнических сооружений.

Климатическая универсальность технологии подтверждена испытаниями, проведенными в Институте технической химии УрО РАН. Исследования продемонстрировали работоспособность материалов при экстремально низких температурах до –63°С, что делает технологию применимой в любых климатических зонах.

---

[1] Главный инженер, ООО «СТРИМ»

Особую значимость технология приобретает при работе с ГТС в зоне вечной мерзлоты, где наблюдается тенденция к деградации мерзлотного основания вследствие глобального потепления. Важным преимуществом метода является минимальное тепловое воздействие на мерзлотный массив при инъекционных работах.

Исследования, проведенные в Институте нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, подтвердили незначительность экзотермического эффекта при применении композитных материалов на основе смол АКВИДУР®. За десятилетний период наблюдений тепловой эффект от химических реакций составил всего 0,17 % от теплового воздействия оборотной воды, что делает технологию безопасной для эксплуатации в условиях вечной мерзлоты.

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Гидротехника для ТЭС, АЭС и промышленных предприятий

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ТРУБОПРОВОДОВ ТЭС: CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

В.В. Бирюков[1], С.А. Панкратов[2]

Актуальность исследования обусловлена жесткими требованиями к точности измерений расхода теплоносителя на ТЭС для оптимизации режимов работы оборудования и расчета технико-экономических показателей. Существующая инфраструктура зачастую не позволяет обеспечить длинные прямые участки до и после первичного преобразователя, что вынуждает искать решения для установки расходомеров в зонах с существенно искаженным профилем скорости. Целью исследования является оценка возможности применения ультразвуковых расходомеров при нестандартных гидравлических условиях и разработка практических рекомендаций по их корректной установке и настройке.

Теоретические основы

В основе работы большинства современных ультразвуковых расходомеров для жидкостей лежит времяимпульсный метод. Его принцип заключается в измерении разности времени прохождения ультразвукового импульса по потоку и против него. Эта разница времен линейно зависит от средней скорости потока вдоль пути луча. К основным преимуществам метода относятся: отсутствие гидравлического сопротивления, широкий диапазон измерений, высокая точность (при соблюдении условий установки), возможность измерения больших расходов и быстрая реакция на изменения.

Особенности применения ультразвуковых расходомеров на ТЭС

Специфика использования расходомерной аппаратуры на энергетических объектах предъявляет повышенные требования:

повышенная точность измерений необходима для коммерческого учета, расчета КПД турбоустановок и теплообменных аппаратов (например, конденсаторов);

тяжелые условия эксплуатации: высокие температуры и давления рабочей среды, вибрации;

надежность и долговечность являются критически важными факторами из-за высокой стоимости простоев основного оборудования;

решение основных технологических задач – оптимизация режимов работы оборудования, контроль расхода питательной и циркуляционной воды, расчет КПД, выявление утечек – напрямую зависит от достоверности данных о расходе.

Методология исследования

Для изучения гидродинамических процессов в трубопроводах сложной геометрии был выбран метод CFD-моделирования (Computational Fluid Dynamics).

В качестве основного инструмента использовались современные программные комплексы ANSYS Fluent и OpenFOAM.

[1] Технический директор, ООО НКФ «Волга»
[2] Заместитель директора, ООО НКФ «Волга»

Проведено построение подробных расчетных сеток (с применением призматических пограничных слоев и полигеральных ядер в области потока) для обеспечения высокой точности прогноза.

Для моделирования турбулентности применялась модель SST k-ω, демонстрирующая хорошие результаты для течений с отрывом и в криволинейных каналах.

Валидация математических моделей проводилась путем сопоставления результатов расчетов с данными натурных испытаний на аттестованных расходомерных стендах. На основе этого сравнения выполнялась корректировка алгоритмов расчета для максимального соответствия реальным физическим процессам.

Результаты исследования на примере колена 90 градусов

Геометрия трубопровода оказывает решающее влияние на формирование поля скоростей и, как следствие, на точность измерений.

Анализ эпюр скоростей после колена 90° показал формирование ярко выраженного асимметричного вихря с максимумом скорости на внешнем радиусе поворота. Стабилизация профиля до равномерного происходит на расстоянии, превышающем 50-70 диаметров трубопровода.

Была проведена оценка поперечных составляющих потока, наличие которых вносит систематическую погрешность в работу ультразвуковых расходомеров, измеряющих лишь аксиальную компоненту скорости.

В результате моделирования были определены оптимальные точки и углы установки преобразователей. Установлено, что даже в зоне нестабилизированного потока существует возможность минимизировать погрешность за счет выбора правильного угла ввода акустических лучей и их количества.

Практические рекомендации

На основе полученных данных сформулированы рекомендации по оптимизации применения УЗ расходомеров:

Оптимизация установки: для условий ограниченного пространства предпочтительно использование многолучевых (4-х и более лучей) конфигураций, которые нивелируют несимметричность профиля скорости. Требуется индивидуальная корректировка алгоритмов расчета расхода, заложенных в преобразователь, и внедрение поправочных коэффициентов, полученных в результате CFD-моделирования для конкретного места установки.

Перспективы развития метода связаны с разработкой интеллектуальных алгоритмов, адаптирующихся к изменяющимся условиям потока; использованием гибридных методов исследования (CFD + машинное обучение); созданием цифровых двойников трубопроводных систем ТЭС для прогнозирования погрешности и предиктивной калибровки.

Заключение

Основные выводы исследования:

1. Применение ультразвуковых расходомеров в условиях ограниченных прямых участков возможно, но требует индивидуального подхода для каждого места установки.

2. Для компенсации искаженного профиля скорости необходима индивидуальная настройка измерительных алгоритмов и применение поправочных коэффициентов.

3. Важность валидации CFD-моделей натурными экспериментами является ключевым условием получения достоверных результатов.

Рекомендации по внедрению включают:

обязательное проведение предварительного CFD-моделирования для анализа поля скоростей в конкретном узле трубопровода;

учет всех особенностей объекта: геометрии, параметров среды, материалов;

регулярный мониторинг точности измерений и, при необходимости, оперативная корректировка коэффициентов.

Таким образом, комплексный подход, сочетающий современные методы компьютерного моделирования и натурные испытания, позволяет успешно решать задачу высокоточного измерения расхода в сложных условиях трубопроводов ТЭС.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ГРАДИРЕН НА ТЭС И АЭС

В.А. Кислицына[1]

Градирни являются важнейшими сооружениями систем технического водоснабжения тепловых и атомных электростанций. Их надежная эксплуатация напрямую влияет на эффективность охлаждения и безопасность работы энергетических объектов. Традиционные методы контроля параметров работы градирен зачастую не позволяют своевременно выявлять отклонения в режимах и прогнозировать развитие аварийных ситуаций.

Современные тенденции развития энергетики связаны с цифровизацией технологических процессов. Наибольшее распространение получают технологии мониторинга, основанные на использовании датчиков и систем сбора данных (SCADA), а также концепция цифрового двойника, позволяющая формировать виртуальную модель градирни в режиме реального времени.

В работе рассматриваются основные направления внедрения цифровых технологий в эксплуатацию градирен ТЭС и АЭС, включая:

применение датчиков для контроля температуры, влажности, давления, уровня и химического состава воды;

использование систем SCADA для централизованного сбора и обработки данных;

создание цифровых двойников для прогнозирования состояния оборудования и оптимизации энергопотребления.

Примеры зарубежных и отечественных разработок подтверждают, что интеграция цифровых технологий в эксплуатацию градирен позволяет снизить вероятность отказов, повысить эффективность охлаждения и обеспечить экономию ресурсов. В частности, применение цифровых двойников открывает перспективы предиктивного обслуживания и интеллектуального управления режимами работы.

Выводы исследования подчеркивают, что цифровые технологии мониторинга являются перспективным инструментом повышения надежности и эффективности систем охлаждения на ТЭС и АЭС. Их внедрение обеспечивает переход к новым стандартам эксплуатации гидротехнических сооружений энергетики.

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

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ ВЛАДИВОСТОКСКОЙ ТЭЦ-2

С.Н. Котенков[1], А.О. Бариков[2], В.А. Котенкова[3]

Одной из фундаментальных проблем эксплуатации тепловых электростанций является организация эффективного водоотведения и очистки сточных вод, которые могут иметь различное происхождение и состав.

В последние годы наблюдается тенденция усиления природоохранного законодательства в области обращения со сточными водами, направленная на обеспечение устойчивого развития экосистем и минимизацию антропогенного влияния на окружающую среду.

В частности, можно выделить следующие категории сточных вод, характерных для ТЭС:

Стоки после подготовки питательной воды: образуются на станции химической водоочистки.

Объединённые промышленные и ливневые сточные воды: содержат загрязнения от производственных процессов и осадков.

Хозяйственно-бытовые сточные воды: формируются в результате жизнедеятельности персонала предприятия.

Данная проблема в настоящее время решается специалистами Красноярского филиала АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» на Владивостокской ТЭЦ-2 в рамках договора с ПАО «РусГидро»/

На площадке Владивостокской ТЭЦ-2 эксплуатируется несколько систем водоотведения:

хозяйственно-бытовая;

производственная;

объединенная промышленно-ливневая канализация.

В ходе выполнения работ были разработаны следующие основные мероприятия:

Реконструкция коллекторной сети.

Разделение потоков промышленно-ливневой канализации. Это позволило избежать смешивания загрязнённых промышленных и дождевых вод.

Объединение ливневых сточных вод.

Передача хозяйственно-бытовых сточных вод в городской коллектор. Данное решение позволит сэкономить территорию, необходимую для размещения очистных сооружений для хозяйственно-бытовых сточных вод.

Перевод помещения для мойки транспортных средств на установку по рекуперации воды для технических нужд. Это позволит повторно использовать до 80 % технической воды. Очистка воды будет производиться путем очистки от нефтепродуктов и взвешенных веществ.

Разработана система очистки сточных вод станции ХВО. Подрядной организацией ООО «Центр экологических технологий» (г. Красноярск) была предложена схема очистки с использованием сорбционных фильтров. Отработанный сорбент подвергается термическому разложению, а полученные продукты утилизации находят применение в строительстве.

Эти меры направлены на повышение экологической устойчивости и эффективности работы Владивостокской ТЭЦ-2, а также на обеспечение соответствия современным требованиям в области охраны окружающей среды и рационального использования водных ресурсов.

Результаты работы могут быть использованы и на других ТЭС.

---

[1] Инженер 1 кат., Красноярский филиал АО «ВНИИГ им. Веденеева»
[2] Инженер 1 кат., Красноярский филиал АО «ВНИИГ им. Веденеева»
[3] Инженер 1 кат., Красноярский филиал АО «ВНИИГ им. Веденеева»

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОРОСИТЕЛЕЙ БИГ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

А.С. Князев[1], И.Н. Анпилогова[2]

В настоящий момент одной из проблем при эксплуатации башенных испарительных градирен (БИГ) является образование карбонатных отложений на оросительных устройствах. Увеличение количества отложений на оросителях приводит к снижению охлаждающей способности БИГ, увеличению нагрузки на опорные конструкции и потере выработки электроэнергии.

В рамках инвестиционной программы АО «Концерн Росэнергоатом» была завершена работа по теме «Разработка методических рекомендаций по выбору технологии химической/механической очистки внутрикорпусных устройств и оросителей БИГ, выполняемая АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

В данной работе были проведены стендовые испытания химического способа очистки с помощью реагента «Антиржавин» компании ООО «Новохим».

Эффективность очистки оросительного устройства подтверждена результатами применения гидрохимической очистки средством «Антиржавин» на сегменте оросителя градирни энергоблока №1 Нововоронежской АЭС-2 в период проведения ППР-2023.

Были выделены два участка в зоне В 1.2 на границе внутренней периферийной и центральной зоны БИГ-1 НВАЭС-2, состоящие из 3 слоев оросителей площадью 25 м^3 каждый.

Для проведения работ по химической очистке были демонтированы блоки оросителей с двух участков в общем количестве 6 штук, по одному блоку с каждого слоя и произведено контрольное взвешивание каждого блока для определения количества отложений на очищаемом участке.

В процессе выполнения работ происходил процесс растворения отложений с поверхности оросителя, часть отложений перешло в растворенное состояние и циркулировало по системе, другая часть отложений накапливалась в емкости в виде мелкодисперсного порошка.

Средняя эффективность очистки 3-х слоев оросителя составила 84 %.

Общая масса карбонатных отложений на всём участке до очистки составляла 15725 кг. После очистки масса карбонатных отложений составила 2012 кг. Масса удаленных карбонатных отложений составила 13713 кг.

Расход средства «Антиржавин» для очистки всего участка составил 12 м^3 или, при плотности 1,17 кг/м^3, массой 14040 кг.

Для принятия решения о возможности применения химического способа очистки реагентом «Антиржавин» при проведении ППР – 2025 на НВАЭС была проведена оценка воздействия реагента «Антиржавин» на строительные конструкции в местах расположения оросителей и оценка времени, когда данное воздействие окажется ощутимым.

Компания ООО «Новохим» в 2024 г. выполнила указанные работы по определению степени воздействия реагента «Антиржавин» на бетонные образцы класса В 45, аналогичных по

[1] Директор, ООО «Новохим»
[2] Главный эксперт, филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов

классу прочности при сжатии, классу по водонепроницаемости и морозостойкости бетона строительных опорных конструкций БИГ НВАЭС-2.

Для образцов, находящихся под воздействием раствора средства «Антиржавин» концентрацией 1:10, потеря массы не превышает 1 %.

Для образцов, находящихся под воздействием раствора средства «Антиржавин» концентрацией 1:50, потеря массы не превышает 0,3 %.

Проникающая способность раствора средства «Антиржавин» ограничена поверхностным слоем и не превышает 3 мм, соответственно для того, чтобы оказать воздействие на арматуру потребуется не менее 20 обработок.

В период ППР-2025 была выполнена химическая очистка оросителей в промышленных масштабах на БИГ-1 НВАЭС-2.

Под промываемым участком был предусмотрен водосборный зонд для сбора циркуляционного раствора.

Одновременно промывались четыре сектора. Сектора 9,48–52 очистке не подвергались в связи со значительным загрязнением.

Эффективность процесса очистки контролировалась путем поддержания pH от 1 до 3. Время контакта раствора с одним сектором составило порядка 6–8 часов. По завершению очистки участок промывался артезианской водой.

Общее время очистки составило 21 день, удалось очистить порядка 6026 м^3 оросителей, объем реагента составил 532 м^3.

В среднем эффективность очистки составила 72 %. При загрязнении оросителя до 200 кг/м^3 эффективность составила 80 %, при загрязнении более 200 кг/м^3 – 70 %.

Для возможного тиражирования технологии на блоках действующих и проектируемых АЭС с БИГ, необходимо в дальнейшем проработать ряд вопросов.

Пути совершенствования технологии:

1. Для анализа образования отложений, их структуры и морфологического состава необходимо выполнить дополнительные исследования влияния ингибиторов коррозии на состав отложений. Был проведен элементный анализ образцов отложений, полученных с различных секторов БИГ, который показал, что химический состав отложений различный. Состав отложений влияет на эффективность очистки оросителей.

2. Выполнение работ по очистке в 2023 г. проходило в осенний период, при температурах окружающего воздуха +5 – +7°С, в период 2025 г. в летний период. Раствор реагента растворяет отложения при положительных температурах окружающего воздуха, с понижением температуры скорость растворения значительно падает. Для исследования работоспособности раствора и отработки технологии очистки в осенне–зимний период необходимо провести НИР.

3. Средний расход реагента составил 110 л на 1 м^3 оросителя, необходимо проанализировать возможность сокращения расхода реагента.

4. Среднее количество человек, занятых при проведении очистки составило 20, с учетом составления технологического регламента проведения работ и планируемого проведения очистки на БИГ-2 НВАЭС возможна оптимизация количества персонала и снижение общей стоимости работ.

Выполнение регулярной очистки оросителя позволит укладываться в короткие сроки проведения ППР, значительно продлить срок эксплуатации оросителя до его замены, сократить расход реагента для очистки и, следовательно, уменьшить в целом стоимость очистки.

Экономическая оценка затрат при замене и очистке оросителей представлена в таблице.

Вид работ	Объём оросителя, м^3	Продолжительность, дней	Количество персонала, чел	Стоимость работ, млн. руб.		
				материалы и оборудование	выполнение работ	всего
Химическая очистка	7500	21	20	233	10,64	243,64
Замена	5400	26	80	120	11,16	131,16

Наиболее приоритетным способом для строящихся и проектируемых АЭС с БИГ является применение в период ППР комбинированного способа поддержания нормативного состояния оросителей БИГ– замена оросителей, достигших критерия замены по весу (200 кг/м^3) на новые и удаление карбонатных отложений с блоков оросителей, подлежащих очистке (удельный вес отложений до 200 кг/м^3), что наиболее актуально для Курской АЭС-2, учитывая качество охлаждающей воды и высокий риск образования карбонатных отложений.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

В.М. Рудевский[1]

Добываемый в России природный газ поступает в Единую систему газоснабжения (ЕСГ) России, в которой объединены магистральные газопроводы. Система обеспечивает распределение газа по территории. Магистральные газопроводы (МГ) представляют собой систему, состоящую из различных элементов (линейные сооружения; компрессорные станции (КС), газораспределительные станции; пункты измерения расхода газа; станции охлаждения газа, подземные хранилища газа и др.).

Так как трассы газопроводов обладают большой протяженностью и проходят по различным ландшафтным, природно-климатическим и геологическим зонам, при проектировании и строительстве МГ необходимо решать множество задач: продольные и поперечные уклоны рельефа, превышающие предельно допустимые, пересечение трассой МГ различных водоток, поверхностного стока, высокий уровень грунтовых вод и т. д. Количество и разнообразие задач, возникающих при проектировании трасс МГ, требуют комплексных подходов к их решению.

Защита магистрального требует комплекса разнообразных мероприятий, каждое из которых необходимо для решения определенной задачи. Набор внешних воздействий на МГ напрямую зависит от природно-климатического района – некоторые воздействия могут проявляться в независимости от района, некоторые носят сугубо специализированный характер. С целью упрощения подбора элементов инженерной защиты МГ и его элементов в зависимости от внешних условий, воздействующих на МГ, было проведена систематизация потенциальных проблем, возникающих при прокладке трасс и их возможных решений. Результаты были сведены в таблицу.

Систематизация внешних возд ействий на МГ

Вид возможного внешнего воздействия на МГ	Возможность появления в природно-климатическом районе	Вид возможного повреждения трубы	Вариант возможного решения
Продольный уклон рельефа, превышающий допустимый	Может проявляться в любом районе, в основном проявляется в горных районах	Просадка, потенциальные разрывы	Выполнение планировки рельефа
Поперечный уклон рельефа, превышающий допустимый	Может проявляться в любом районе, в основном проявляется в горных районах	Горизонтальное смещение, потенциальные разрывы	Выполнение планировки рельефа
Поверхностный сток	Может проявляться в любом районе	Просадка газопровода, размыв основания газопровода	Выполнение планировки рельефа, организация сети для сбора поверхностного стока (канавы, каналы)

[1] Инженер-проектировщик 2 кат., ООО «НПК Проектводстрой»

Вид возможного внешнего воздействия на МГ	Возможность появления в природно-климатическом районе	Вид возможного повреждения трубы	Вариант возможного решения
Высокий уровень грунтовых вод	Может встречаться во всех районах, реже встречается на юге Европейской части РФ	Выпор газопровода, разрыв, размыв основания	Организация системы водопонижения
Оползневые процессы	В основном проявляется в горных районах	Разрыв, горизонтальное смещение газопровода	Организация подпорных стенок, закрепление откосов
Лавины	В основном проявляется в горных и снежных районах	Разрыв, горизонтальное смещение газопровода	Организация снегоудерживающих сооружений
Переход через водоток	Может проявляться в любом районе	Разрыв, размыв основания, смыв газопровода	Организация водного перехода
Пучение грунта	Может встречаться в районах переувлажнения грунта, таких как Север, Северо-Запад, Сибирь, Дальний Восток	Разрыв, выпор газопровода	Организация системы водопонижения, дополнительное утепление основания

Вывод

Была выполнена систематизация возможных внешних воздействий в зависимости от природно-климатического района дислокации МГ и обозначены потенциальные мероприятия для защиты газопровода. Результаты систематизации были сведены в таблицу, с помощью которой возможно подобрать элементы будущей системы решений по защите магистрального газопровода.

СРАВНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ГРАДИРЕН

Ю.Д. Матвеев[1]

Градирни являются ключевыми элементами систем оборотного водоснабжения на ТЭС, АЭС и промышленных объектах. Эффективность работы градирни во многом зависит от характеристик оросительных устройств, которые обеспечивают равномерное распределение воды и оптимальные условия для теплообмена с атмосферным воздухом. Современные тенденции требуют не только высоких теплотехнических характеристик, но и устойчивости к загрязнениям, минимальных гидравлических потерь и высокой эксплуатационной надежности.

В докладе проанализированы наиболее распространенные типы оросителей: пленочные (гладкие и структурированные), капельно-пленочные (решетчатые, ячеистые модули), а также сопловые и комбинированные системы. Оценка проводилась по следующим критериям:

коэффициент теплопередачи;

удельное гидравлическое сопротивление;

устойчивость к загрязнениям и обрастанию;

особенности монтажа, очистки и обслуживания.

Полученные данные свидетельствуют о том, что максимальную теплотехническую эффективность обеспечивают структурированные пленочные оросители, особенно при равномерной подаче воды и наличии качественных водоуловителей. Капельно-пленочные конструкции демонстрируют высокую стабильность при переменных режимах работы. С точки зрения гидравлики наименьшее сопротивление наблюдается у гладких пленочных систем. Однако их уязвимость к загрязнению требует регулярного обслуживания.

Оросители с простыми геометрическими формами оказались менее подвержены обрастанию и проще в очистке, что особенно важно в условиях высоких концентраций растворенных солей и органических соединений в оборотной воде. Конструкции с плотной и сложной решеткой (например, гофрированные оросители) при обрастании теряют до 30–40 % пропускной способности, что увеличивает нагрузку на всю систему охлаждения. Выводы исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода при выборе оросительных устройств, основанного на сочетании теплотехнических, гидравлических и эксплуатационных показателей.

[1] Инженер 1 кат., Красноярский филиал АО «ВНИИГ им. Веденеева»

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬТСВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРЕН БОЛЬШОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Б.Л. Свердлин[1], С.В. Еранкин[2]

Размеры вентиляторных градирен ограничены доступностью конструктивных элементов, из которых собирается градирня. Например, широко освоен выпуск семиметровых диффузоров, диффузоры большего размера являются уже единичным товаром и, соответственно, цена и срок изготовления такого диффузора получается выше (либо зарубежная поставка). Семиметровый диффузор подходит для установки на секции размером 10×12, 12×12, 12×16 м и обеспечивает достаточное количество воздуха для эффективной работы, для секции 16×16 м уже требуется диффузор большего размера. То есть с точки зрения обеспечения воздухом отечественный производитель градирен ограничен указанным размером секций.

С другой стороны, одна из проблем существующих промплощадок – это ограниченность места под установку градирен. Зачастую в наличии у заказчика есть очень небольшое «пятно» под размещение охладителя.

Один из вариантов решения проблемы размещения и размеров секций – это строительство секций градирен «спина к спине», при этом градирня начинает расти вверх (уменьшается размер пятна застройки) и появляется возможность обеспечить подачу достаточно большого количества воздуха для охлаждения воды.

ООО «ЭКОТЭП» один из немногих производителей, кто реализует такие варианты строительства градирен. Например, в 2024 г. на Ивановских ПГУ было закончено строительство новой вентиляторной градирни, которая заменила неэффективную брызгальную установку. Градирня выполнена из 14 секций, размер одной секции в плане 12×10 м. Каждая секция оснащена семиметровым вентиляторным агрегатом мощностью 90 кВт.

Опыт эксплуатации в летний период 2025 г. показал высокую эффективность новой градирни и позволил выработать энергоблоками максимальную мощность в жаркий период.

Стоит отметить, что вентиляторные градирни большой производительности производства ООО «ЭКОТЭП» успешно эксплуатируются на одном из энергоблоков АЭС в качестве допохладителей. Также принято решение к реализации вентиляторных градирен на еще нескольких энергоблоках АЭС.

[1] Канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «ЭКОТЭП»
[2] Начальник научно-исследовательского отдела, ООО «ЭКОТЭП»

КОМБИНИРОВАННЫЕ ГРАДИРНИ. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В РОССИИ

С.А. Толкачев[1]

В настоящее время существует проблема нехватки пресной воды для охлаждения циркуляционной воды и технического водоснабжения ТЭС и промышленных предприятий.

Доклад посвящен обзору существующих систем охлаждения, не требующих больших расходов пресной воды. Будет проведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков разных типов систем охлаждения (сухие градирни, испарительные градирни, воздушно-конденсационная установка) и рассмотрена экономическая эффективность: начальные и эксплуатационные затраты, а также способность систем к работе в различных режимах и условиях.

Выводом из данной работы является обоснование необходимости проведения научных исследований и разработка конструкторской документации на опытный образец комбинированной градирни. Проведение лабораторных испытаний для уточнения эксплуатационных характеристик и разработки новой расчетной методики.

[1] Начальник отдела «Техводоснабжение и охладители ТЭС и АЭС», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Расширенное заседание Экспертного совета Ассоциации «Гидроэнергетика России» в формате круглого стола на тему:

Экологические аспекты энергетики и гидротехники

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЭС НА ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И СРЕДУ ИХ ОБИТАНИЯ. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ, ОСНОВАННЫЕ НА НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Ю.В. Герасимов[1], С.Э. Болотов[2], А.Н. Шаров[3], Э.С. Борисенко[4]

Покатные миграции являются неотъемлемой частью миграционного цикла у рыб (Павлов и др., 1999, 2007). К сожалению, рыба, мигрирующая вниз по течению зарегулированной реки, проходя через гидроагрегаты ГЭС, подвергается риску травмирования различной степени тяжести (Павлов, Нездолий, 1981, Mueller et al., 2017; Algera et al., 2020; Pleizer, et al., 2020). Данное явление наиболее изучено на примере низконапорных Волжских ГЭС (Павлов и др., 1985, 1999, 2007 и др.), но процесс формирования ската гидробионтов через высоконапорные ГЭС имеет существенные отличия от низконапорных ГЭС.

Сток на низконапорных ГЭС с поверхностным водозабором формируется в поверхностном наиболее продуктивном слое воды, где обитает пелагический комплекс гидробионтов, представленный пелагическими хищниками, их жертвами (мелкими пелагическими видами и молодью, практически всех видов, обитающих в водохранилище) и кормовыми планктонными беспозвоночными. Если у рыб старших возрастных групп есть механизмы, препятствующие их скату (Поддубный и др., 2003), то вероятность массового ската молоди значительно выше. На ранних стадиях развития их физические возможности не позволяют им сопротивляться потоку. На более поздних стадиях у части особей появляется генетически обусловленная мотивация к покатной миграции, которая провоцирует их активный выход на течение (Павлов и др., 2007).

Основное отличие высоконапорных ГЭС заключается в том, что верхний свод водозаборных отверстий находится на значительной глубине. При весенне-летнем прогреве воды образуется температурная стратификация, которая в высоконапорных водохранилищах находится выше свода водозаборных отверстий. Слой температурного скачка в течение всего вегетативного периода располагается значительно выше водозаборных отверстий. Зона изъятия стока гидроузла формируется ниже, в слабозаселённых холодных водах пелагиали верхнего бьефа. Массовые виды, по данным гидроакустики, в период температурной стратификации обитают в слое воды над температурным скачком в теплом слое воды. Здесь же держится основная масса их покатной молоди, скат которой приходится на начало лета (июнь – июль), когда уже наблюдается выраженная температурная стратификация, вследствие чего её попадание в глубинные водозаборные отверстия маловероятно.

Результаты исследований подтверждают выдвинутое рядом исследователей мнение о том, что снижение численности и биомассы истинного зоопланктона вызывается не летальным воздействием ската через ГЭС, а изменением гидравлики водных масс в нижних бьефах ГЭС. Количественно богатые сообщества лимнического зоопланктона, попадающие в условия высокой скорости течения, довольно быстро трансформируются в типично речные, низкие по численно-

[1] Доктор биол. наук, заместитель директора, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
[2] Канд. биол. наук, младший научный сотрудник, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
[3] Доктор биол. наук, заместитель директора, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
[4] Канд. биол. наук, младший научный сотрудник, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

сти и биомассе, сообщества, причем точно такая же картина наблюдается при скате зоопланктона из естественных озер в реки.

За все время исследований ни на одном из водохранилищ не было получено подтверждений тому, что скат части зоопланктона хоть как-то ухудшает условия питания рыб, населяющих данные водохранилища. Более того, балансовые расчеты показывают наличие в водохранилищах значительного резерва организмов зоопланктона, который не используется в пищу рыбами и гибнет ввиду естественных причин. В то же время, скат зоопланктона приводит к существенному улучшению условий питания аборигенных видов рыб, обитающих в нижних бьефах ГЭС, как за счет прямого потребления зоопланктона, так и за счет потребления бентосных организмов, питающихся отмершим зоопланктоном.

Проведенный анализ говорит о необходимости внесения изменений в действующее законодательство в сфере сохранения водных биоресурсов и среды их обитания, так как его положения в части расчета ущерба от гибели организмов зоопланктона основаны на ошибочных представлениях.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ. ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЫБОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

Д.А. Давиденко[1]

Данная научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа (НИОКР) выполняется с целью обоснования возможности безопасного и эффективного использования гидроакустических сигналов (ИГАС) для снижения попадания рыб в водоприёмники гидроэнергетических объектов. Работы направлены на поиск оптимальных гидроакустических сигналов биологической и техногенной природы, оказывающих эффективное отпугивающее воздействие на рыб и их сравнительную оценку для получения эффективного рыбозащитного устройства (РЗУ), адаптированных для гидроэнергетических объектов.

В настоящее время РЗУ, содержащиеся в перечне рыбозащитных сооружений СП 101.13330.2023, разработаны для водозаборов и не учитывают особенностей эксплуатации гидроэнергетических объектов. В связи с этим есть необходимость в разработке такого типа рыбозащитного сооружения, которое, с одной стороны, будет отвечать требованиям безопасности гидротехнических сооружений, с другой – эффективно предотвращать попадание рыбы в водоприемники и гидроагрегаты ГЭС.

В рамках НИОКР выполнены следующие работы.

Разработка, изготовление и испытания экспериментальных образцов низкочастотного и высокочастотного ИГАС (Комплект ИГАС) для проведения лабораторных и натурных исследований.

Проведение исследовательских работ по возможному использованию ИГАС для предотвращения попадания рыб в водоприемники и водозаборные сооружения в лабораторных условиях на молоди рыб, половозрелой рыбе. Исследования влияния ИГАС на травматизм рыб.

Сравнение рыбозащитной эффективности Комплекта ИГАС и комплексного рыбозащитного устройства электрического воздействия (КРУЭВ), установленного на действующей Барсучковской МГЭС.

Проведение исследований в прибрежье портового канала ИБВВ РАН и в акватории Рыбинского водохранилища.

Проведение натурных исследований влияния Комплекта ИГАС на гонады рыб.

В лабораторных условиях проведены исследования влияния Комплекта ИГАС на поведение рыб в условиях разной освещенности, в отсутствие и при наличии течения.

Разрабатываемое в рамках НИОКР рыбозащитное устройство гидроакустического воздействия планируется апробировать при проектировании Нижне-Зейской ГЭС, Амурская область.

Отчетные материалы по данной НИОКР рассмотрены на совещании у руководителя Амурского территориального управления Росрыболовства, в рамках которого было одобрено применением опытного Комплекса ИГАС при проектировании Нижне-Зейской ГЭС, при условии согласования технического решения и рыбоводно-биологического обоснования в составе проектной документации с Амурским территориальным управлением Росрыболовства и проведения оценки эффективности РЗУ в период начальной эксплуатации Нижне-Зейской ГЭС.

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

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГЭС И ВОДОХРАНИЛИЩ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В.М. Иванов[1]

Энергетические объекты оказывают влияние на многие компоненты окружающей среды, как социальной, непосредственно определяющей условия жизни людей, так и природной.

Оценка значимости экологических ограничений и рисков для таких масштабных инвестиционных проектов, как строительство гидроэлектростанций и образуемых гидротехническими сооружениями водохранилищ, производится на начальных стадиях проектирования.

Методы предварительной оценки воздействия гидроэнергетического строительства на окружающую среду регулярно подвергаются пересмотру, по мере развития науки и практики расширяется номенклатура компонентов окружающей среды, по которым проводится оценка и мониторинг устойчивости их состояния.

Круг возможных оценок и исследований чрезмерно широк, а методики оценки зачастую формализованы и не связаны между собой.

Представляется целесообразным выделить ключевые экологические риски, в зависимости от степени и вероятности купирования которых может быть принято инвестиционное решение о возможности строительства ГЭС на Дальнем Востоке России, регионе с наиболее богатым и одним из наименее освоенным гидроэнергетическим потенциалом в мире.

В силу низкой плотности и крайне неравномерного распределения населения и объектов инфраструктуры российского Дальнего Востока определение возможности размещения объектов гидроэнергетики, включая водохранилища, осуществляется преимущественно исходя из оценки экологических рисков и ограничений, включая наличие и статус особо охраняемых природных территорий.

Именно последний фактор зачастую становится решающим аргументом при ранжировании перспективных проектов ГЭС по очередности их реализации. Такой формализованный подход позволяет снизить неопределенности в сроках выполнения разработки и экспертиз проектной документации, но отодвигает на неопределенный срок реализацию наиболее эффективных с социально-экономической точки зрения проектов.

В докладе представлен краткий ретроспективный анализ современного опыта управления экологическими рисками на примере проектирования Канкунской ГЭС в Республике Саха (Якутия) и, введенной в эксплуатацию в 2019 г. Нижне-Бурейской ГЭС на р. Бурее, а также предлагаемые, с учетом произошедших и планируемых изменений законодательства России, подходы к оценке и плану действий по управлению экологическими рисками перспективных объектов гидроэнергетики Дальнего Востока, определенных в рамках выполнения поручений Президента РФ от 27.08.2013 г. № Пр-2192 (п. 5б) и поручений Заместителя Председателя Правительства РФ от 25.09.2013 г. № АД-П9-6842 после прохождения паводка 2013 г. в бассейне р. Амур, затронувшего четыре региона Дальнего Востока России.

---

[1] Заместитель главного инженера, АО «Ленгидропроект»

МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ ВЫГОДЫ И ИЗДЕРЖКИ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА НА ДЕЙСТВУЮЩИХ И ПРОЕКТНЫХ ОТМЕТКАХ

Д.В. Козлов[1], Н.Н. Чернобровкин[2]

Выполнена оценка в денежном эквиваленте последствий эксплуатации отдельных ступеней Волжско-Камского каскада (Чебоксарского и Нижнекамского гидроузлов) на текущих отметках НПУ около 63 м вместо заложенных проектных НПУ 68 м. Проблема носит межотраслевой характер – неполное непроектное заполнение водохранилищ вызывает ежегодные потери выработки электроэнергии, требует масштабных расходов на дноуглубление и берегоукрепление, тормозит создание глубоководного судоходного пути «Север–Юг» и приводит к деградации экосистем водоемов и прибрежных территорий.

Цель проведения межотраслевой оценки выгод и издержек – сформировать оптимальное обоснование доведения уровней воды в водохранилищах до проектных отметок на основе отраслевого сравнения с последующим формированием оптимальной стратегии управления каскадом. Для этого проводится межотраслевая оценка выгод и издержек эксплуатации Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ. Охватываются сферы гидроэнергетики, судоходства, русловых работ (дноуглубления), гидротехнических работ (берегоукрепления) и экологии (вопросов охраны окружающей среды). Подход опирается на инженерно-экономический сравнительный анализ, выполненный по приведенным затратам и годовому экономическому эффекту. Он позволяет привести отраслевые показатели к общему знаменателю для сравнения сценариев и согласования интересов. Для учета природно-климатической изменчивости, в том числе, рассматриваются сценарии различных вариантов водности.

Структура расчетов включает последовательное рассмотрение влияния уровней НПУ 63 и 68 м на отдельные отрасли, количественную оценку соответствующих выгод и издержек, а также сравнение вариантов на единой основе. Предварительная оценка показывает, что подъем уровня воды в водохранилищах до проектных значений способствует обеспечению суммарного положительного эффекта и смягчению существующих проблем, тогда как сохранение действующих непроектных отметок ведет к дальнейшим потерям и упущенной выгоде.

[1] Доктор техн. наук, заведующий кафедрой гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ
[2] Аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И СРЕДУ ИХ ОБИТАНИЯ ОТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

М.М. Мельник[1], Д.Ф. Афанасьев[2]

В докладе рассматриваются актуальные проблемы оценки воздействия строительства и эксплуатации объектов гидроэнергетики на водные биоресурсы и возможные пути их решения.

Масштабы гидротехнического строительства в XX веке привели к тому, что более 70 % основных речных систем в России к началу XXI века подверглись регулированию или довольно мощному фрагментарному влиянию на них от зарегулированных участков.

До настоящего времени создание водохранилищ, главной целью которых является эффективное использование гидроэнергетического потенциала территорий, вызывает много споров о целесообразности их строительства. Однако не подлежит сомнению их необходимость для социально-экономического развития общества, с одной стороны, а также неоднозначность их воздействия на водные экосистемы и обитающих в них гидробионтов с другой.

В условиях роста энергетического потребления и возможного дальнейшего развития объектов гидростроительства особую актуальность приобретает изучение воздействия гидроэнергетики на водные экосистемы.

При этом создание и эксплуатация гидротехнических сооружений (ГТС) и каскадов плотин приводят к значительным антропогенным изменениям абиотических условий речных и морских экосистем, что наносит вред водным биологическим ресурсам (ВБР). Работа гидроэлектростанций (ГЭС) также оказывает прямое воздействие на ВБР, выражающееся в непосредственной гибели рыб, главным образом личинок и молоди, в результате их прохождения через турбины с током воды и при попадании в насосные установки систем технического водоснабжения.

Поскольку гидроэлектростанции представляют собой масштабные, уникальные с точки зрения трансформации водных экосистем объекты, оценка их воздействия должна носить комплексный характер, а оценка вреда для водных биоресурсов и среды их обитания учитывать все аспекты многофакторного воздействия.

К сожалению, не все эти эффекты могут быть однозначно оценены, а если и могут, то требуют масштабных многолетних исследований. Вынужденной альтернативой является подход к оценке воздействия, включающий доказуемые и непосредственно измеряемые эффекты строительства и эксплуатации ГЭС. Таким образом, разрабатываемые подходы к оценке наносимого вреда ВБР должны пройти между «Сциллой» максимально объективной оценки воздействия и «Харибдой» возможности их адекватного расчета.

Предлагаемые к обсуждению вопросы и предложения по совершенствованию Методики оценки воздействия на водные биоресурсы и среду их обитания хозяйственной деятельности, связанной с производством электрической энергии без забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов, основываются не только на данных широкомасштабных исследований ФГБНУ «ВНИРО», выполненных на гидротехнических объектах во всех регионах Российской Федерации, но и учитывают результаты государственного мониторинга водных биоресурсов и среды их обитания, систематически осуществляемого на протяжении десятилетий в рамках государственного задания.

---

[1] Канд. биол. наук, руководитель Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»)

[2] Канд. биол. наук, доцент, начальник отдела гидробиологии и оценки приемной емкости водоемов России ФГБНУ «ВНИРО»

СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕРЕСТИЛИЩ ДЛЯ ФИТОФИЛЬНЫХ ВИДОВ РЫБ КАК КОМПЕНСАЦИОННОЕ МЕРОПРИЯТИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Д.Д. Павлов[1]

Действующим законодательством в сфере сохранения водных биоресурсов и среды их обитания предусматривается проведение природоохранных мероприятий при любых видах работ, осуществляемых в акватории водного объекта и (или) его водоохранной зоне. При водопользовании на важных в рыбохозяйственном отношении водоемах, в том числе водохранилищах, должны применяться меры, исключающие или смягчающие негативное воздействие на состояние популяций рыб. Современные исследования показывают, что эксплуатация гидроэлектростанций (ГЭС) не оказывает значительного негативного воздействия на ихтиофауну ввиду того, что при скате через водопроводящий тракт гибнут и травмируются преимущественно личинки и мальки рыб, что компенсируется их высокой плодовитостью.

Основную массу травмирующихся рыб составляют фитофильные виды (окунь, плотва, лещ, щука и т. д.), наиболее представленные в водохранилищах ГЭС. Сложившаяся правоприменительная практика предписывает компенсировать такое воздействие выпуском ценных видов рыб в пределах рыбохозяйственного бассейна, что никак не влияет на популяции рыб, подвергающихся воздействию. В то же время, в рыбохозяйственной практике давно применяется создание искусственных нерестилищ как научно обоснованный и экономически целесообразный метод повышения рыбопродуктивности водохранилищ. Учитывая, что регулирование стока, изменение режима затопления пойм и уничтожение прибрежной растительности вследствие значительных колебаний уровня приводят к сокращению площадей естественных нерестилищ, именно создание искусственных нерестилищ представляется наиболее подходящим вариантом компенсационных мероприятий. Основная сложность при выполнении этих мероприятий состоит в том, что отсутствует методика пересчета ущерба водным биоресурсам в площадь (или протяженность) устанавливаемых искусственных нерестилищ. Требуется объединить усилия с представителями рыбохозяйственной науки для разработки такой методики и настаивать на выполнении этого мероприятия в качестве компенсационного.

[1] Руководитель направления, дирекция по устойчивому развитию МКООО «ЭН+ ХОЛДИНГ»

УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС И ПОГЛОЩАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОДОХРАНИЛИЩ ГЭС

И.А. Репина[1]

ГЭС в процессе производства электроэнергии не используют технологии сжигания ископаемого топлива. При этом единое мнение экспертных сообществ относительно выбросов и поглощений парниковых газов с поверхности речных водохранилищ отсутствует. В связи с этим, до настоящего момента отсутствует определенность и в отношении углеродной нейтральности ГЭС, использующих водные ресурсы водохранилищ для выработки электроэнергии.

На основе данных полевых измерений за трехлетний период на десяти водохранилищах (Колымское, Бурейское, Волгоградское, Богучанское, Зейское, Куйбышевское, Рыбинское, Чиркейское, Цимлянское, Саяно-Шушенское) была проведена оценка углеродного баланса водохранилищ и их вклада в глобальную эмиссию парниковых газов.

По результатам анализа полученных значений эмиссии метана с поверхности водохранилищ по 1 и 2 Уровням Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) следует, что национальные коэффициенты эмиссии метана в большинстве случаев показывают значения эмиссии ниже, чем в случае расчетов по методологии МГЭИК. Национальные коэффициенты эмиссии, в отличии от коэффициентов МГЭИК 2019, учитывают территориально-географические особенности страны, а также конкретные свойства отдельных водохранилищ, которые включают функционирование водохранилищ, размеры и глубины, относительное расположение кислородных/бескислородных водозаборов, их трофический статус, осаждение и улавливание углерода и другие факторы окружающей среды (например, сезонный ледяной покров), что позволяет дать более точные оценки.

Выполнена предварительная оценка антропогенного вклада в эмиссии и поглощения парниковых газов в водохранилищах ГЭС. Баланс потоков по углероду и в CO2-эквиваленте свидетельствует, что нисходящий поток (седиментация) превышает восходящий поток из экосистемы в атмосферу (эмиссии метана) в реке и в водохранилище. При этом нетто-поглощение парниковых газов увеличивается на водохранилище по сравнению с неуправляемой экосистемой реки.

В ходе проекта с помощью численной модели биогидрогеохимии водоёма LAKE 3.0 была получена оценка составляющих баланса парниковых газов (метана и углекислого газа) из исследованных 10 российских водохранилищ. Модель была откалибрована по результатам многочисленных натурных измерений на каждом водохранилище, благодаря чему удалось детально воспроизвести температурный, кислородный режим водоемов, а также суточный и годовой ход удельного потока метана из водохранилищ. Модельные данные подтвердили вывод о нетто-поглощении водохранилищ.

Работа проведена по заказу ПАО «Русгидро» (договор 1010-416-2021).

[1] Доктор физ.-мат. наук, заместитель директора, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

РЫБОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПАО «РУСГИДРО»

Н.Ю. Третьяк[1]

Согласно ст. 50 ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов»:

1. При территориальном планировании, градостроительном зонировании, планировке территории, архитектурно-строительном проектировании, строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности должны применяться меры по сохранению водных биоресурсов и среды их обитания.

2. Деятельность, указанная в части 1 настоящей статьи, осуществляется только по согласованию с федеральным органом исполнительной власти в области рыболовства в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

3. Меры по сохранению водных биоресурсов и среды их обитания, порядок их осуществления определяются Правительством Российской Федерации.

Указанные в подпункте 3 ст. 50 ФЗ меры выполняются на основании постановления Правительства РФ от 29.04.2013 № 380 «Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания» в составе подпункта 2 (б), в которых одной из мер является оценка воздействия планируемой деятельности на биоресурсы и среду их обитания.

Также требованием подпункта 2 (д) является установка эффективных рыбозащитных сооружений в целях предотвращения попадания биоресурсов в водозаборные сооружения и оборудование гидротехнических сооружений рыбопропускными сооружениями в случае, если планируемая деятельность связана с забором воды из водного объекта рыбохозяйственного значения и (или) строительством и эксплуатацией гидротехнических сооружений.

Пунктами 2 (ж) и 2 (з) указанного постановления предусматривается определение последствий негативного воздействия планируемой деятельности, разработка мероприятий по устранению последствий негативного воздействия, в случае невозможности предотвращения негативного воздействия и проведение мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние биоресурсов и среды их обитания посредством искусственного воспроизводства.

В процессе проектирования, при выполнении оценки воздействия планируемой деятельности на биоресурсы и среду их обитания объектов нового строительства ПАО «РусГидро» (Компании) проектными институтами Компании оцениваются мероприятия по предотвращению негативного воздействия объектов нового строительства, в том числе устройство рыбозащитных сооружений (РЗС).

В докладе представлен краткий ретроспективный анализ современного опыта выбора РЗС при строительстве новых ГЭС Компании за последние 10 лет – параметры выбора, в зависимости от эффективности РЗС, их конструктивных особенностей, мест установки, плюсы и минусы при их реализации и дальнейшей эксплуатации, а также перспективные направления научно-исследовательской деятельности Компании, направленной на разработку новых технологий защиты рыбы от попадания вводоприемные и водопропускные сооружения ГЭС.

---

[1] Главный эксперт, АО «УК ГидроОГК»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Экологические аспекты энергетики и гидротехники

ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ОБЪЕКТА

М.Ю. Белоусов[1], В.В. Конюшков[2]

Основными компонентами сточных вод на территории эксплуатации транспортного объекта являются нефтепродукты, противоморозные и противоледовые реагенты для обработки транспортных сооружений в зимний период.

Проектом разработано очистное сооружение поверхностных стоков, которое рассчитано на значительный объём: максимальный приток во время интенсивного ливня составляет до 2585 л/с. Очистное сооружение представляет собой два резервуара-накопителя объемами 5000 м³. Вода равномерно подаётся на всех этапах очистки с производительностью до 300 м³/ч.

Основные стадии очистки:

Механическая предварительная очистка. Сток сначала проходит через крупноячеистые решётки. Далее вода разделяется между двумя потоками и направляется в спиральные сепараторы первой ступени (вихревые отстойники) производительностью 2×1300 л/с.

Коагуляция и флотация. Система реагентной обработки и напорной флотации рассчитана на 300 $м^3$/ч. Вода сначала проходит через спиральные сепараторы второй ступени (4 параллельных модуля по 75 $м^3$/ч). После этого вода поступает на напорные флотационные установки с полной сатурацией потока воздухом. Отработанная пена и осадок собираются в отдельный резервуар для последующего обезвоживания.

Фильтрация и сорбция. Сначала осветлительные (песчаные) фильтры удаляют мелкодисперсные частицы, которые не успели выпасть в осадок. Затем вода поступает на сорбционные фильтры, заполненные активированным углём. Сорбционный этап адсорбирует растворённые органические вещества – остаточные гликоли и продукты их окисления, следы нефтепродуктов, дополнительно в сорбционных модулях применяется ионообменная загрузка.

Обеззараживание. Заключительным этапом очищенная вода подвергается ультрафиолетовому обеззараживанию. Пропуская поток через ультрафиолетовые установки, система уничтожает бактерии и вирусы, которые могут присутствовать в ливневых стоках.

Дополнительно система оснащена узлами для обращения с удалёнными загрязнителями. Накопленный нефтешлам от сепараторов и флотации направляется на обезвоживание в фильтр-прессе. Фильтрат возвращается в цикл очистки.

Зимой система рассчитана на повышенную органическую нагрузку от противообледенительных жидкостей. В таблице приведены расчетные показатели качества воды до и после очистки (для наиболее загрязняющих примесей).

Показатель	До очистки (макс., мг/л)	После очистки (мг/л)
Взвешенные вещества	до 100	≤ 5 (прозрачность достигнута)
Нефтепродукты (общие)	до 10	< 0,05
Этиленгликоль (зимний период)	до 500	< 0,25
БПК5	до 200	~3
pH (ед.)	6–7 (кислая реакция от реагентов)	7–8 (нейтральный)

Основной вывод: качество сточных вод после очистки приближается к природным показателям. Очищенные стоки могут транспортироваться в водоёмы рыбохозяйственного назначения, граничащие с территорией эксплуатации объекта.

[1] Аспирант ВШГиЭС, ИСИ СПбПУ Петра Великого
[2] Канд. техн. наук, доцент, ИСИ СПбПУ Петра Великого

ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ ФОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ (НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТОВ ООО «ГРУППА ЛСР»)

К. Зафарзода[1], А.Н. Чусов[2]

Процесс конструирования антропогенных ландшафтов методами гидронамыва представляет собой ресурсоемкую задачу, характеризующуюся значительным энергопотреблением и трансформацией прибрежно-аквальных комплексов. В условиях ужесточения экологического законодательства и климатической повестки, ключевой задачей для компаний, подобных ООО «Группа ЛСР», является оптимизация данных процессов через призму устойчивого развития. Целью данного исследования является анализ и обобщение применяемых компанией инновационных решений, обеспечивающих снижение карбонового следа и биосферной нагрузки.

Основной объем энергопотребления сосредоточен в работе земснарядового флота. В отличие от традиционных схем, на объектах ООО «Группа ЛСР» эксплуатируются земснаряды типа «ЛСР-3000» с гибридной дизель-электрической силовой установкой мощностью 1800 кВт. Ее отличительной особенностью является адаптивная система управления, динамически перераспределяющая нагрузку между дизель-генераторами и буферными накопителями энергии (литий-ионными АКБ). Это позволяет поддерживать работу двигателей в зоне максимального КПД, что обуславливает снижение удельного расхода топлива до 9,8 л/м³ извлекаемого грунта и, как следствие, сокращение эмиссии парниковых газов на 22–25 % в пересчете на CO_2-эквивалент. Для покрытия энергопотребления вспомогательных систем в периоды низкой нагрузки реализована система альтернативной энергетики на основе фотоэлектрических панелей суммарной мощностью 45 кВт·ч.

Основные стадии очистки.

Гидротехнический и экологический аспект: управление водными ресурсами и ремедиация. Намыв территорий сопряжен с образованием больших объемов осветляемой воды, представляющей собой суспензию с высоким содержанием тонкодисперсных взвешенных частиц (взвесей). Для предотвращения негативного воздействия на водные экосистемы внедрена многоступенчатая система очистки и замкнутого водооборота.

Первичная седиментация. Вода самотеком поступает в систему последовательно расположенных отстойников-осветлителей, где происходит гравитационное осаждение крупно- и среднедисперсных фракций.

Коагуляция и флокуляция. На втором этапе осуществляется дозирование реагентов-коагулянтов (на основе солей алюминия) и флокулянтов (полиакриламидных). Данная мера направлена на агрегацию коллоидных и тонкодисперсных частиц с образованием быстроосаждаемых хлопьев.

Тонкослойное отстаивание. Окончательное осветление происходит в модулях с тонкослойными блоками, что значительно увеличивает площадь осаждения и сокращает время пребывания воды в системе.

[1] Аспирант ВШГиЭС, ИСИ, СПбПУ Петра Великого
[2] Канд. техн. наук, доцент, ИСИ, СПбПУ Петра Великого

Мониторинг и сброс. Контроль качества осветленной воды ведется в онлайн-режиме (турбидиметры, pH-метры). Сброс в водный приемник осуществляется только при достижении нормативов для рыбохозяйственных водоемов (концентрация взвесей < 5,0 мг/л, pH в диапазоне 6,5–8,5).

Модель эколого-энергетической эффективности (ЭЭЭ). Авторами предлагается комплексный критерий оценки, интегрирующий энергетические и экологические показатели: ЭЭЭ = (Объем намытого грунта, м³) / [(Затраты энергии, кВт·ч) + (*Энергоэкв. затрат на ремедиацию,* кВт·ч)] где *Энергоэкв. затрат на ремедиацию* – это энергетический эквивалент затрат на весь цикл очистки воды и последующей биологической рекультивации территории.

Сравнительный анализ эффективности представлен в таблице.

Параметр	Технология усредненная (базовый сценарий)	Технология ООО «Группа ЛСР» (внедренное решение)
Удельное энергопотребление, кВт·ч/м³	4,8–5,2	3,5–3,8
Энергоемкость ремедиации, кВт·ч/м³	1,5–2,0	0,8–1,0 (за счет замкнутого цикла)
Интегральный показатель ЭЭЭ, у.е.	1,0 (база)	1,7–1,8
Период полной биоценотической сукцессии	5–7 лет	2–3 года

Реализуемый ООО «Группа ЛСР» комплексный подход демонстрирует высокую эффективность в области снижения антропогенной нагрузки. Внедрение гибридных энергокомплексов, систем реагентно-гравитационной очистки воды с замкнутым циклом и методов ускоренного экогенеза позволяет не только соблюсти природоохранные требования, но и существенно повысить общую ресурсоэффективность проекта. Предложенная модель ЭЭЭ является универсальным инструментом для сравнительного анализа и планирования подобных проектов, задавая новый стандарт в области устойчивого гидротехнического строительства.

ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА В БАССЕЙНАХ ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ РЕК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Т.В. Иванкова[1]

Прогнозируется, что к 2040 г. туристический поток на территорию Кавказских Минеральных Вод (КМВ) вырастет почти втрое, а количество мест размещения в гостиницах увеличится приблизительно на 3/4. Территория КМВ охватывает около 5,3 тыс. кв. км, средняя плотность постоянного населения достигает порядка 170 чел. км² (2025 г.). Ресурсный потенциал региона представлен 140 санаториями, однако повышенный интерес к внутренним курортам провоцирует устойчивый дефицит свободных номеров круглый год. Во времена Советского Союза население Кисловодска удерживалось ниже отметки в 70 тыс. чел. (сегодня – более 125 тыс.), ранее применялись жесткие ограничения строительства вблизи лечебно-профилактических зон, с целью охраны целебных минеральных вод. Чтобы обеспечить сохранение природных качеств водоносных горизонтов, создавались лесопосадки, одновременно существовал запрет на изменение природного ландшафта. Современная ситуация отличается стремительным расширением жилой зоны, как в пригородных секторах, так и в центральной части городов-курортов, увеличением плотности заселенности и роста нагрузки на инженерные сети, первоначально рассчитанные исключительно на потребности советских времен.

Согласно перспективному плану развития, до конца десятилетия на территории КМВ появится 54 оздоровительные учреждения и 35 отелей, размещенных преимущественно в экологически чистых регионах Кисловодска, Железноводска, Ессентуков и Лермонтова. Экологический мониторинг выявил значительное ухудшение обстановки в регионе, вследствие расширения хозяйственного освоения территории. Среди острых проблем – бесконтрольная миграция, хаотичная застройка природных заповедных зон, угрожающая качеству уникальной минеральной воды курорта, сокращение площади ледниковых покровов Кавказа из-за глобального потепления, которое негативно влияет на состояние водных бассейнов, снижает объемы питьевых запасов и повышает вероятность катастрофического затопления населенных пунктов. Период наблюдения (1995–2020 гг.) зафиксировал потерю половины всех ледниковых площадей, к середине столетия ожидается сокращение еще 1/6.

Президент РФ утвердил федеральный проект по восстановлению экосистемы водоемов региона, предполагающий проведение комплексного улучшения санитарного состояния малых рек, включая борьбу с загрязнением, износом инфраструктуры и нарушением мелиорационных систем. Срок реализации программы рассчитан до 2030 года.

Цель работы автора заключается в разработке методики предсказания рисков эксплуатации инженерных объектов водного хозяйства и транспортной инфраструктуры в условиях меняющегося климата. Исследование сосредоточено на изучении бассейна малой горной реки

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

Эшкакон, расположенной в зоне особой природоохранной значимости КМВ, с плотиной гидроаккумулирующего типа, питающей водой курорты.

Основные задачи:

1. Проведение обследования, выявление критически изношенных участков инфраструктуры и определение технического состояния конструктивных элементов.

2. Организация системы непрерывного мониторинга для оперативной диагностики и управления состоянием объектов.

3. Прогнозирование остаточного ресурса существующих сооружений и инфраструктурных комплексов вдоль речных долин.

Разработка многоцелевой программной среды представляет собой решение для мониторинга и оценки состояния гидротехнических сооружений в бассейне горных рек КМВ. Данный программный продукт предназначен для комплексного анализа данных, выявления потенциальных угроз и рисков, связанных с состоянием конструкций. Функциональные возможности программы:

1. Ранжирование объектов по классам опасности – позволяет классифицировать объекты в зависимости от уровня риска, обеспечивая приоритетность принятия мер по ремонту и реконструкции.

2. Расчет остаточного ресурс – реализован алгоритм определения срока эксплуатации сооружения, основанный на множестве факторов, включая конструкционные особенности и текущее техническое состояние.

3. Механизм пространственного запроса поиска сооружений – обеспечивает эффективный поиск сооружений по координатам, позволяя быстро находить проблемные участки.

4. Запрос на основе параметров классификации сооружений – возможность фильтрации объектов по типу конструкции, материалу, собственнику и другим критериям.

5. Формирование сводных отчетов – инструменты для составления аналитических документов с информацией о состоянии сооружений, доступностью экспорта данных в сторонние приложения.

6. Интеграция различных способов описания объектов – поддержка мультимедийных форматов (тексты, фотографии, видео).

7. Описание и хранение метаданных – механизмы управления позволяют эффективно структурировать базу данных.

8. Разграничение прав доступа пользователей (пользователи, редакторы, администраторы) обеспечивают безопасность и контроль над использованием базы данных.

Данный инструмент применяется в области охраны окружающей среды, защиты природных ресурсов и устойчивого развития территорий. Программный комплекс позволяет своевременно выявлять проблемы, снижать экологический ущерб и обеспечивать надежность функционирования гидротехнических сооружений.

АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ПРИЧИНЫ ПОИСКА НОВЫХ

А.Н. Кочетов[1]

Вечные возобновляемые источники энергии – это ветер, лучи Солнца, течения океанов и энергия падающей воды.

В чем достоинства и недостатки каждого?

Смогут ли они заменить природные органические ресурсы?

Основная деятельности общества – это удовлетворение потребностей человека за счет использования природных ресурсов, которая сопровождается выбросами (отходами) различных газов, жидкостей и твердых веществ, а также низкокачественного тепла, загрязняющими окружающую среду.

До тех пор, пока масштабы деятельности человечества были сравнительно невелики, эти выбросы не несли очевидной угрозы окружающей среде, и они были внесены в безмерно мощный круговорот Природы. Человечество вписывалось в этот круговорот.

Другое дело теперь. Масса отходов растет с увеличением по экспоненте численности и потребностей населения на Земле. Появилось много веществ, которые не «по зубам» Природе.

Исходя из закона взаимодействия массы и энергии, устранить отходы практически НЕвозможно. Реально возможно лишь перевести большую часть ресурсов в готовый продукт, когда отходы одного предприятия сделать сырьем другого. При этом расход энергии на единицу продукции растет, и общая энергетическая эффективность хозяйства неминуемо падает.

Этот естественно-исторический закон никому не удастся нарушить.

Его как гипотезу более 200 лет назад высказал английский монах экономист Т. Мальтус в своем трактате «Опыт о законе народонаселения с совершенствованием общества», где пришел к выводу, что экономика производства продукции не растет пропорционально затратам энергии.

Есть еще один аспект этой экологической проблемы, на которую не обращают внимание – это оказывается сама Энергия, точнее ее избыток. На энергии держится все величие современной цивилизации, обилие и обеспеченность человека.

Безусловно, развитие цивилизации требует возрастающие расходы энергии. Прирост энергетических затрат не может быть бесконечным. Наступает момент, когда перенасыщение и дальнейшее использование влечет разрушение экосферы.

Так в соответствии с законом, установленным С. Карно (Nicolas Léonard Sadi Carnot) в 1796–1832 гг., из каждых трех джоулей, полученных при сгорании топлива или ядерного горючего, в дело идет только один джоуль, два остальных безвозвратно рассеиваются в виде низкокачественной энергии, нагревая окружающую среду, согласно второму закону термодинамики.

---

[1] Начальник отдела по государственному надзору за обеспечением безопасности гидротехнических сооружений Северо-Западного управления Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор)

Существует так называемый «Закон одного процента», по которому мы не можем использовать более 1 % энергии, поступающей от Солнца к поверхности Земли.

Экспонентный рост численности и потребностей человечества на Земле и конечность природных ресурсов, а также негативное воздействие результатов деятельности на окружающую среду невольно ставят вопрос о поиске неисчерпаемой, дешевой, легко доступной и главное экологически безопасной энергии.

Как бы мало ни было сегодня уменьшение теплового баланса биосферы, оно с течением времени, в связи с ростом потребления энергии по экспоненте, неизбежно приведет к негативным последствиям в биосфере.

И здесь, вероятно, есть черта, через которую мы переходить не имеем права и необходимо знать, где она расположена.

ОПЫТ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ СОХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКЕ

Д.А. Кузнецов[1]

Российское государство имеет многовековую историю, которая богата многочисленными подвигами, великими открытиями и культурным разнообразием. Одной из главных задач современного человека является сохранение наследия, оставленного нашими предками.

Основной темой доклада является решение вопросов разработки проектной документации и строительства объектов гидроэнергетики на примере проектируемой в настоящее время Нижне-Зейской ГЭС, в сочетании с требованиями законодательства в области охраны объектов культурного (археологического) наследия.

Современные требования законодательства РФ в области обеспечения сохранности объектов культурного (археологического) наследия.

Назначение Нижне-Зейской ГЭС, местоположение и расположение основных сооружений и водохранилища, основные технико-экономические показатели Нижне-Зейского водохранилища.

История археологического изучения территории размещения Нижне-Зейского водохранилища, в т. ч. применительно к проектируемому объекту.

Результаты выполненных в рамках проектно-изыскательских работ и инженерно-экологических изысканий археологических обследований 2023 г. в рамках ОТР и 2024 г. в рамках ПД и историко-культурных экспертиз.

Основные проблемы и риски при планировании и организации археологических разведок в условиях разработки проектной документации – уточнений проектных решений и расширения границ производства работ с необходимостью в выполнении дополнительных работ – в увязке с полевыми сезонами и требованиями законодательства для прохождений ГГЭ.

Возможные методы оптимизации выполнения инженерно-экологических изысканий (в т. ч. археологических разведок) и связанные с ними риски при проектировании объектов гидроэнергетики в условиях ограниченных сроков разработки проектной документации.

[1] Инженер 3 кат., АО «Ленгидропроект»

ШИРОКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ НАРАСТАЮЩИХ ОПАСНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

В.В. Тетельмин[1]

Анализ происходящих в мире катастрофических природных стихийных бедствий (ПСБ) фиксирует их неуклонный рост, особенно усилившийся с середины XX века. Причиной активизации ПСБ является глобальное потепление. 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 катастроф.

В настоящее время взаимообусловленность выбросов антропогенных парниковых газов (ПГ) и глобального потепления является общепризнанной и, по сути, стала постулатом. В докладе приводятся основные эмпирические функции, входящие в состав алгоритма расчета параметров глобального потепления и его основных последствий [1]. В предлагаемых расчетных функциях в качестве независимой переменной используется концентрация антропогенных парниковых газов в атмосфере.

Расчеты показывают, что заявленные Парижским соглашением количественные цели не подкреплены конкретными климатическими расчетами, назначены без учета технологических возможностей цивилизации и потребностей мирового населения в энергии и продовольствии. При умеренном сценарии декарбонизации мировой энергетики, при котором к 2100 г. в атмосфере накопится 350 ppm-eq (миллионных долей в CO_2-экв), и условии обеспечения углеродной нейтральности современный мир будет идти по траектории повышения средней глобальной температуры до 2,6^{o}C к 2100 г. и до 5,8^{o}C к 2250 г., отчего будет снижаться пространство безопасного существования человечества. Самые срочные действия человечества по снижению выбросов парниковых газов не помогут остановить рост средней глобальной температуры с темпом 0,18^{o}C/год вплоть до 2100 г.

Анализ изменения уровня Мирового океана и накопленной парниковой тепловой энергии позволил получить функцию зависимости темпа роста его уровня от темпа роста глобальной температуры и темпа поглощения тепловой энергии климатической системой Земли. Расчеты роста уровня Мирового океана при умеренном сценарии декарбонизации мировой энергетики показали, что к концу XXI века его уровень поднимется с современного значения 240 мм до значения 790 мм.

Важной характеристикой наблюдаемого приращения частоты на ΔN является удельная тепловая энергия, необходимая для обеспечения приращения частоты повторяемости ПСБ на единицу: $E_i = \Delta Q_i/\Delta N_i$ кВт·ч/(ед·год). Отмечено, что на формирование каждого последующего ПСБ требуется примерно на 25 % большее количество накопленной тепловой энергии: $E_{i+1} = 1{,}25 \cdot E_i$. Подобный энергетический подход к анализу роста частоты отмеченных до 2020 г. ПСБ позволяет дать прогноз ожидаемой частоты их повторяемости в будущем и предложить соответствующую расчетную функцию зависимости роста частоты повторяемости ПСБ от накопленной КС Земли парниковой тепловой энергии. Для умеренного сценария декарбониза-

[1] Доктор техн. наук, главный специалист, Институт экологии Российского университета дружбы народов (РУДН)

ции выполнен расчет динамики роста до 2100 г. частоты экстремальных ПСБ. В частности, к концу XXI века частота повторяемости метеорологических бедствий увеличится с 260 до 510 (год$^{-1}$); гидрологических с 290 до 650 (год$^{-1}$); климатических с 80 до 160 (год$^{-1}$); геофизических с 54 до 98 (год$^{-1}$).

В таблице приводится расчетная динамика количественного роста некоторых видов последствий глобального потепления для умеренного сценария декарбонизации энергетики. Наблюдаемое увеличение сейсмической активности, проявляющееся в росте общего числа землетрясений и росте суммарной годовой магнитуды (энергии) землетрясений, вызвано нагреванием горных пород земной коры. Поглощение земной корой парниковой тепловой энергии формирует в её толще нисходящий тепловой поток, являющийся встречным по отношению к восходящему геотермическому потоку, чем затрудняет разгрузку идущего из земных недр потока глубинного тепла. Возникающие термоупругие напряжения способны вывести горный массив из состояния равновесия, оживить существующие разломы и сочленения тектонических плит и инициировать сейсмическое событие.

Динамика количественного роста основных последствий глобального потепления для умеренного сценария декарбонизации

Годы	Частота метеорологических бедствий, N Ед/год	Уровень Мирового океана, H мм	Рост осадков над сушей по сравнению с 1980 г., ΔW %	Площадь арктического морского льда, S %	Суммарная годовая магнитуда землетрясений, $M \geq 4$
2000	190	163	1,40	5,30	96
2020	280	240	2,80	3,60	144
2050	401	391	4,90	1,36	203
2070	461	523	5,97	0,24	233
2100	510	790	7,05	0	264

Усиление частоты и силы гидрометеорологических событий ускоряет круговорот воды в природе, приводит к увеличению осадков, перераспределяет залегание грунтовых вод, изменяет гидрологический режим рек. С начала XXI века содержание водяного пара в атмосфере увеличилось на 1,3 кг/м^2 воздушного столба. При увеличивающейся по мере потепления интенсивности круговорота воды на Земле будет возрастать востребованность противопаводкового гидротехнического строительства, а гидроэнергетике как отрасли будет обеспечено надежное будущее.

В настоящее время установленная мощность мировых ГЭС составляет более 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. км^3, в дальнейшем по мере потепления годовой сток сибирских рек будет увеличиваться.

Рассмотренные последствия глобального потепления усиливают необходимость развития гидротехнического строительства. Развитие гидроэнергетики органически вписывается в климатическую повестку, так как практически исключает выбросы ПГ в атмосферу и является оптимальной альтернативой «угольным проектам».

Декарбонизация мировой хозяйственной деятельности способна обеспечить лишь отдаленные позитивные климатические последствия, поэтому в XXI век приоритетным в борьбе за безопасное существование человечества на нагревающейся Земле должны стать меры по адаптации населения, экономики и жизненного пространства к более суровым погодно-климатическим явлениям и более частым природным стихийным бедствиям.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ГРАДИРНИ. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В РОССИИ. ПРОБЛЕМАТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ (ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЯМОТОЧНЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ, ОЧИСТКА ВОДЫ ПОСЛЕ ЗОЛООТВАЛОВ)

С.А. Толкачев[1]

Эксплуатация тепловых электрических станций связана с использованием большого количества воды, в основном пресной воды. Основная часть используется в системах охлаждения конденсаторов турбин, маслоохладителей, в системах химводоподготовки и в других механизмах и устройствах. Другая часть воды используется в системе золошлакоудаления тепловых электрических станций.

Доклад посвящен обзору существующих систем, использующих воду, и влияние их на экологию. Будет рассмотрена проблема взаимодействия теплоэнергетики и окружающей среды. Проблематика использования водных ресурсов в тепловой энергетике включает вопросы рационального водопотребления и загрязнения водных объектов, в том числе сбросными водами. Эти проблемы связаны с особенностями эксплуатации тепловой станции, которые требуют внедрения экологичных технологий и соблюдения законодательства.

Также будет рассмотрено существующее законодательство в области экологии, регламентирующее эксплуатацию тепловых электрических станций.

Выводом из данной работы является обоснование необходимости разрешения эксплуатации прямоточного водоснабжения, хотя бы в отношении морской воды.

[1] Начальник отдела «Техводоснабжение и охладители ТЭС и АЭС», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ НА ТЭС С ПОМОЩЬЮ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Д.В. Чугунков[1], Е.М. Каминская[2]

Возрастающие требования в области охраны окружающей среды определяют развитие современной энергетики. Поскольку доля угольных ТЭС в энергетике России составляет около 25 %, то одним из наиболее важных вопросов является снижение выбросов золы в атмосферу.

Большинство ТЭЦ, работающих на твердом топливе, были построены и введены в эксплуатацию в период 1930–1980-х гг., и в настоящее время многие из этих станций переведены на непроектное топливо.

В существующих условиях длительная эксплуатация электрофильтров сопровождается рядом неисправностей, вызванных особенностями конструкции электрофильтров и связанной с ними системы золоочистки, физико-химическими свойствами пылегазового потока или другими внешними факторами.

К основным неисправностям, возникающим в процессе длительной эксплуатации электрофильтров, относятся: понижение или резкое увеличение тока короны при нормальном рабочем напряжении электрофильтра, отсутствие показаний тока короны, снижение КПД электрофильтра с нарушением режима работы, срабатывание системы защиты при включении агрегатов питания, наросты пыли на осадительных (толщиной 10 – 15 мм) и коронирующих (толщиной 25–30 мм) электродах, усиленная коррозия корпуса электрофильтра.

Возникающие в настоящее время на ТЭС неисправности электрофильтров обнаруживаются персоналом станции по характерным признакам визуально и по показаниям небольшого числа датчиков тока и напряжения, в связи с чем скорость обнаружения и ликвидации неисправностей очень низкая.

Способом решения проблемы снижения эффективности работы электрофильтра в результате возникновения упомянутых выше неисправностей в реальных условиях эксплуатации является разработка инновационной системы управления электрофильтрами, оснащенной функцией самодиагностики. Инновационная система способна ускорить обнаружение неисправностей путём отображения информации об их локализации и возможных причинах возникновения в виде динамических мнемосхем, таблиц и списков событий.

В работе рассмотрены инновационные системы управления электрической и механической частью электрофильтров с функцией самодиагностики. Апробация данных систем на электрофильтре котла СП «Хабаровская ТЭЦ-3» (АО «ДГК») подтвердила их эффективность. Разработанные технические решения обеспечивают:

оперативное выявление и устранение неисправностей;

визуализацию технологических параметров в режиме реального времени;

минимизацию простоев оборудования;

повышение надежности эксплуатации;

оптимизацию эффективности золоулавливания.

Внедрение системы позволяет сократить время реакции на неисправности за счёт вывода предупреждающих сообщений на автоматизированное рабочее место оператора, что обеспечивает снижение эксплуатационных простоев и повышение общей эффективности работы электрофильтров.

---

[1] Канд. техн. наук, доцент кафедры ТЭС, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

[2] Ведущий специалист управления надёжности, промышленной безопасности и охраны труда отдела экологии, АО «ДГК»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Новые материалы и технологии в строительстве

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЕНСАЦИОННОГО НАГНЕТАНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПО ВЫРАВНИВАНИЮ ВЫСОКООТВЕТСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

В.А. Алексеев[1], М.И. Баженов[2]

Применение методов управляемого компенсационного нагнетания (УКН) для объектов ответственного назначения, к которым можно отнести массивные сооружения, а также объекты с высокой степенью ответственности, такие как сооружения метро, железнодорожной и автодорожной инфраструктуры, объекты энергетики, гидротехнические сооружения и объекты жилищного фонда, требует специальных подходов при проектировании мероприятий, производству работ и мониторингу результатов, а также регламентирует применение специальных материалов с прогнозируемым поведением и подтвержденной долговечностью.

Материалы для реализации мероприятий по УКН в общем смысле должны обладать технологичностью на стадии приготовления рабочих растворов и их нагнетания, нормированной проникающей способностью, специфическими сроками начала и конца схватывания, нормированной прочностью, а также гарантированной долговечностью (характеризуемой физико-механическими свойствами отвердевшего материала, плотностью, стойкостью к суффозионному размыву, коэффициентом фильтрации, водостойкостью).

Кроме того, для обеспечения максимальной сходимости данных моделирования процесса УКН с практическими результатами используемые материалы должны обладать рядом специфических характеристик, обеспечивающих прогнозируемость их поведения в процессе нагнетания в толщу грунта и в последующие периоды.

На стадии адаптации и оптимизации свойств базовых составов под требования проекта Загорской ГАЭС-2 была проведена научная работа с участием специалистов АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» и привлечением специалистов ООО «Синерго» для адаптации инъекционных смесей, в ходе которой были подтверждены все характеристики материалов, что в значительной части обусловило положительную динамику реализации проекта.

В настоящий момент при проектировании объектов, где реализуется технология УКН с целью предотвращения или компенсации осадок сооружений, применяется подход, включающий в себя предварительные изыскания свойств грунтов, на объекте, а также оптимизацию рецептуры инъекционного раствора и параметров его нагнетания с целью достижения максимальной эффективности и сходимости фактически достигаемых результатов с расчетными параметрами. В том числе в обязательном порядке рекомендуется натурное моделирование процесса нагнетания с использованием VIM-модели и линейных моделей, разработанных и адаптированных в геотехнической лаборатории СИНЕРГО.

[1] Директор, НОЦ «Подземное Строительство» НИИ Геотехники им. З.Г. Тер-Мартиросяна, НИУ МГСУ
[2] Канд. техн. наук, начальник службы технологического сервиса, ООО «Синерго»

ВНУТРЕННИЕ ДЕСТРУКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В БЕТОНАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А.С. Брыков[1]

К наиболее распространенным видам деструктивных процессов в бетонах гидротехнических сооружений, возведенных до начала широкого применения минеральных добавок, относятся щелоче-кремнеземная реакция и разнообразные виды сульфатной коррозии. Последствиями этих процессов являются необратимые вертикальные и горизонтальные смещения гребня плотин, заклинивание подвижных элементов металлоконструкций и их деформации, снижение устойчивости к циклам замерзаниями-оттаивания и другим факторам коррозии; кроме того, возрастает риск разрушения бетонной конструкции в случае стихийных бедствий.

Интенсивность химических процессов расширения бетона в гидротехническом сооружении зависит не только от состава бетона, но и от распределения в нем температурных полей и полей внутренних напряжений. Соответственно, характер и картина деструктивных проявлений этих процессов зависят от типа и габаритов гидротехнического сооружения, его географического положения и географической ориентации.

Не существует способов остановить или существенно замедлить деструктивные процессы, обусловленные уже начавшимися щелочно-кремнеземной реакцией и/или сульфатной коррозией. За редким исключением ремонтные работы имеют ограниченный и временный эффект. Основная задача исследований заключается в мониторинге и прогнозе развития деструктивных процессов, определения оставшегося срока безопасной эксплуатации с целью предупреждения катастрофических ситуаций.

[1] Главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ИННОВАЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ. МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

А.А. Бунак[1], К.Н. Макаров[2]

В связи с современной геополитической ситуацией российские туристы активно осваивают морские курорты нашей страны. В свете этого в рамках государственных программ осуществляется реконструкция и строительство морских берегозащитных сооружений. Современные технологии подразумевают активное применение в этом строительстве геосинтетических материалов.

Обозначены виды геосинтетических материалов, применяемых для строительства морских берегозащитных сооружений, и требования к ним. Показаны технические решения берегозащитных сооружений с использованием геосинтетиков, обоснованы их преимущества. Обозначены проблемы применения материалов в морском гидростроительстве и условия развития данного направления.

Ключевые слова: волнолом, обратный фильтр, технотуба (геотуба), гидротехнический геотекстиль, самотонущий геотекстиль, монтаж геосинтетиков в морских условиях.

К основным особенностям применения геосинтетических материалов в морских условиях можно отнести агрессивную среду, циклические нагрузки (волновое воздействие), сложность монтажа и контроля укладки материалов в проектное положение под водой, высокие требования к плотности, прочности и сроку эксплуатации материала.

Действующие нормативные документы на применение геосинтетики в морских условиях отсутствуют. Представлены основные виды геосинтетических материалов, применяемых при строительстве берегозащитных сооружений, и требования к ним.

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

[2] Доктор техн. наук, профессор, кафедра строительства и сервиса, Сочинский государственный университет

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА БЕТОННЫХ ОБЛИЦОВОК КАНАЛОВ ЖИДКОЙ РЕЗИНОЙ

А.Ю. Гарбуз[1], О.А. Баев[2], Д.В. Бакланова[3]

В Российской Федерации функционирует разветвленная сеть каналов межбассейнового и внутрибассейного перераспределения стока, посредством которой осуществляется переброска водных ресурсов в объеме до 17 км/год. Каналы различного назначения и порядка (магистральные, оросительные, распределительные) имеют значительную протяженность, которая составляет более 23 тыс. км, потери воды при транспортировке составляют до 6,8 км^3/год, при этом порядка 4,0 км/год теряется в орошаемом земледелии из-за низкого технического уровня и значительной степени износа мелиоративных систем и гидротехнических сооружений.

Подавляющее большинство каналов (в пределах 60–70 %) построены в земляном русле, часть водопроводящих сооружений устроены с использованием защитных устройств из бетонных и железобетонных элементов, которые, как правило, были выполнены при строительстве мелиоративных систем, а значит функционируют 30–50 лет и более.

По данным авторов, 12–15 % оросительных каналов выполнены в бетонной и железобетонной противофильтрационной облицовках, а соотношение применения полимерных материалов на каналах составляет всего 5–7 %. Такие защитные покрытия за период эксплуатации претерпели существенные изменения, наблюдаются локальные разрушения бетона, деформационных швов и др. Требуется проведение не только реконструкции, но и текущего капитального ремонта защитных бетонных покрытий, особенно находящихся в контакте с водой.

Проведенные авторами конструкторские проработки и лабораторные экспериментальные исследования позволили разработать и в последующем научно обосновать технологию ремонта бетонных облицовок каналов мелиоративного назначения с применением материала жидкой резины отечественного производства, которая может применяться при проведении текущего ремонта защитных бетонных покрытий.

Для оценки эффективности (водопроницаемости и срока службы) предлагаемой технологии выполнены экспериментальные исследования сквозных и закольматированных трещин, получены эмпирические зависимости для определения удельного расхода (q_w) от напора (h_0) и ширины раскрытия трещин ($\delta_{тр}$). Теоретически обоснована и решена задача водопроницаемости бетонопленочной облицовки с закольматированными швами при эксплуатации канала на примере Багаевского распределителя.

Выполнена расчетная оценка долговечности защитного бетонного покрытия канала с учетом ремонта поверхности полимерным материалом, которая составила 61,7 лет, что обеспечит продление срока службы на 11,7 лет и более в условиях текущей эксплуатации.

Разработанная технология ремонта бетонных покрытий после выполненной апробации внедрена и сопоставлена с традиционными технологиями текущего ремонта защитных покрытий бетонных элементов гидротехнических сооружений. Экономический эффект составляет 1,7 млн. руб. при выполнении ремонта без применения специального оборудования и 2,12 млн. руб. при использовании механизированной установки для нанесения ремонтного состава на основе жидких полимеров.

---

[1] Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «РосНИИПМ»
[2] Доктор техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «РосНИИПМ»
[3] Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «РосНИИПМ»

ИМИТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕМОНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОДОЙ И В ЗОНЕ ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ ПРИ ПОМОЩИ МАКЕТИРОВАНИЯ

И.А. Говорущенко[1]

Бетонные поверхности гидротехнических сооружений, находящиеся под водой, в большинстве случаев подвергаются механическому (кавитационному) и химическому агрессивному воздействию. Зона переменного уровня также уязвима из-за циклов переменного замораживания-оттаивания и воздействия льда. Проведение ремонтных работ данных зон конструкций традиционными методами затруднено или невозможно без дорогостоящего водоотвода. Необходимы технологии, позволяющие наносить материалы непосредственно в условиях постоянного воздействия воды.

В настоящее время на рынке представлено много ремонтных материалов, но большинство из производителей данных материалов не имеют информации по проведению ремонтных работ и отработанных методик их применения в уникальных условиях эксплуатации гидротехнических сооружений.

В лаборатории АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» проведены исследования для оценки эффективности ремонтных материалов под водой и в зоне переменного уровня, в условиях, максимально приближенных к производственным, на лабораторных макетах, в соответствии с уникальной методикой исследований, разработанной специалистами ВНИИГ.

[1] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУСТРОЙСТВА КАНАЛОВ ВОДООТВЕДЕНИЯ СКЛАДОВ ХРАНЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ

В.В. Грузин[1]

В настоящее время в Республике Казахстан на площадках открытого хранения находится значительное количество материальных средств. Несмотря на предпринимаемые меры по постоянному совершенствованию организационно-технических мероприятий, при таких условиях хранения на их техническое состояние негативное воздействие оказывают такие факторы окружающей среды, как чрезвычайные ситуации в весенне-осенние периоды из-за подтопления площадок открытого хранения талыми, дождевыми и грунтовыми водами. Эффективное обеспечение мер сохранности материальных средств неразрывно связано с обустройством в инфраструктуре площадок открытого хранения каналов водоотведения.

В процессе усиления грунтовых оснований и возведения фундаментов инженерных сооружений промышленного, гражданского и жилищного назначения одним из инновационных направлений являются технологии уплотнения грунта забивными рабочими органами. В связи с этим предлагается использовать в технологии обустройства каналов водоотведения формованием в грунте каналов водоотведения специальными забивными рабочими органами с требуемой геометрией их структурных элементов, обеспечивающими уплотнение грунта в дно, стенки и на дневной поверхности траншеи. Для обустройства каналов водоотведения предложена следующая технологическая последовательность выполнения операций на строительной площадке: I – планировка поверхности грунта; II – отрывка траншеи; III – вытрамбовывание профиля канала водоотведения; IV – уплотнение дневной поверхности грунта профиля канала водоотведения и укладка герметичной пленки в профиль канала водоотведения; V – установка железобетонных лотков в профиль канала водоотведения; VI – обратная отсыпка грунта; VII – уплотнение обратной отсыпки грунта.

На погружение рабочих органов в грунт под действием сил гравитации значительное влияние оказывает сила сопротивления внедрению, которая зависит от физико-механических свойств самого грунта, формы рабочего органа и его конструктивных параметров. Вытрамбовывающий рабочий орган представляет собой штамп длиной L, включающий корпус, наконечник, раструб, оголовок и захватное устройство. Наконечник, корпус и раструб вытрамбовывающего рабочего органа имеют форму усеченной пирамиды, в основаниях которых лежат 4-угольники, имеют, соответственно, высоты hHp, hKp, hpp и углы наклона апофем граней этих же элементов к оси штампа a, $в$ и y.

При выполнении аналитических исследований определения рациональных параметров вытрамбовывающего рабочего органа в процессе его погружения в грунт учитываем закон сохранения его массы. То есть исходная масса грунта, воспринимающая внешнюю нагрузку, равна массе грунта после его уплотнения. В результате выполненных аналитических исследований получены равенства, которые устанавливают зависимость между параметрами вытрамбовывающего рабочего органа и величиной зоны уплотнения слабого грунта с учетом следующих параметров грунта: начальной плотности грунта, максимальной плотности грунта, зоны уплотнения грунта и коэффициента уплотнения грунта $\kappa_{упл}$.

С целью обеспечения водоотведения воды с территорий площадок открытого хранения материальных средств разработана технология формования канала вытрамбовыванием. Аналитические исследования процесса погружения вытрамбовывающего рабочего органа в грунт позволили получить зависимости определения рациональных параметров его структурных элементов.

---

[1] Доктор техн. наук, профессор, заместитель директора по науке и технике, ТОО «SiC technology»

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ВОДНОЙ СРЕДЕ И В ЗОНЕ ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ ВОДЫ. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

С.И. Ермоленко[1]

В современной строительной практике при восстановлении железобетонных конструкций, расположенных под водой или в зоне периодического затопления, применяются специальные технологические решения. Ключевая задача заключается в минимизации размыва материала при его подаче в водную среду. Одним из распространённых методов является технология бетонирования с использованием подъёмной трубы. Однако даже при её применении потери связующих компонентов могут достигать критических значений – от 80 до 95 %. Такие потери негативно отражаются на прочностных характеристиках восстановленных конструкций, увеличивают стоимость работ и ухудшают экологическое состояние акватории.

Использование кессонов и других систем для создания сухой рабочей зоны существенно удорожает процесс восстановления конструкций, расположенных ниже уровня воды или в зоне переменного уровня. Дополнительную сложность при проведении работ в зоне переменного уровня создаёт постоянное чередование водной и воздушной среды, воздействие волн и брызг, что приводит к неравномерному затвердеванию материала и формированию неоднородных характеристик поверхности.

Революционным решением данных проблем стали инновационные материалы серии РЕМСТРИМ с индексом «П», разработанные для подводного применения. Их ключевое преимущество заключается в длительном рабочем времени (не менее 40 минут), что позволяет проводить работы без дорогостоящих методов осушения и с минимальным привлечением водолазного оборудования. В отличие от конкурентных материалов, ориентированных на быструю выработку (10–15 минут), смеси РЕМСТРИМ демонстрируют удобство применения и совместимость со стандартным оборудованием.

Важным преимуществом технологии является отсутствие температурных ограничений при работе в различных типах воды – пресной, морской и рассольной среде. Это делает возможным восстановление конструкций во всех климатических зонах. Применение технологий РЕМСТРИМ позволяет существенно повысить надёжность сооружений, сократить финансовые затраты и время на проведение работ.

[1] Заместитель генерального директора, ООО «СТРИМ»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ БЕТОНА С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭФФЕКТОВ ТВЕРДЕНИЯ

А.В. Жук[1]

Твердение бетона сопровождается экзотермическими реакциями, в результате которых массивные бетонные конструкции неравномерно разогреваются. Это приводит к возникновению температурных напряжений и риску образования трещин. Представленная методика математического моделирования тепловыделения бетона с учетом температурных условий твердения позволяет более точно рассчитывать температурные поля, а следовательно – достовернее оценивать трещиностойкость конструкций.

На основе данных испытаний бетона в адиабатическом калориметре рассчитываются ключевые параметры тепловыделения: кажущаяся энергия активации, максимальная мощность тепловыделения при 20 °C и нормализованная функция формы тепловыделения в зависимости от степени реакции.

Это позволяет определить мощность тепловыделения бетона как функцию степени реакции и температуры и использовать её при расчёте температурных полей методом конечных элементов.

[1] Научный сотрудник, АО « ВНИИГ им. Веденеева»

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА УГОЛЬНЫХ ТЭЦ

Е.Н. Зайцева[1], Р.А. Натынчик[2]

В настоящий момент актуальным вопросом является утилизация золы-уноса угольных ТЭЦ для снижения вредного воздействия на окружающую среду и повышения экологической безопасности производства.

Годовой объем ежегодной выработки золошлаковых отходов (ЗШО) в России оценивается в 22 млн тонн в год. На сегодняшний день в стране накоплено, по разным оценкам, от 1,4 до 1,8 млрд тонн угольных отходов. На 30 % угольных электростанций емкости существующих золошлаковых хранилищ практически исчерпаны. Под ЗШО отчуждено более 20 тыс. кв. км земельных участков. В настоящее время в России утилизируется (перерабатывается для дальнейшего использования в хозяйственной деятельности) не более 10–12 % таких отходов, в то время как в ряде стран утилизируется 70–95 % от выхода ЗШО, а в Нидерландах и Дании – до 100 %.

Повышение доли использования промышленных отходов в качестве вторичного сырья является важнейшей задачей государственного значения. В связи с этим цель работы заключалась в следующем:

1. Изучение и выбор эффективных сырьевых материалов для производства строительного (теплоизоляционного, конструкционно-теплоизоляционного) материала на основе отходов производства угольных ТЭЦ (золы-уноса).
2. Разработка оптимальной рецептуры смеси для изготовления строительного (теплоизоляционного, конструкционно-теплоизоляционного) материала на основе отходов производства угольных ТЭЦ (золы-уноса).
3. Изучение основных физико-механических свойств и оценка эксплуатационной стойкости строительного (теплоизоляционного, конструкционно-теплоизоляционного) материала на основе отходов производства угольных ТЭЦ (золы-уноса).

В настоящее время специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» проводится работа по подборам составов теплоизоляционного, конструкционно-теплоизоляционного материала с применением в качестве основного компонента (более 50 %) отхода производства угольных ТЭЦ (золы-уноса). Теплоизоляционный материал обладает уникальным сочетанием физико-технических свойств – низкая теплопроводность, высокая паропроницаемость, стойкость при пожаре и сравнительно низкая себестоимость.

В ближайшие годы ожидается продолжение роста производства строительного (теплоизоляционного, конструкционно-теплоизоляционного) материала на основе отходов производства угольных ТЭЦ (золы-уноса), связанного с большой востребованностью данного материала в сфере малоэтажного и промышленного строительства, а также с усовершенствованием технологий его производства и повышением эксплуатационных характеристик.

[1] Инженер 1 кат., АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Инженер 2 кат., АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

СИСТЕМЫ РЕМОНТА И ЗАЩИТЫ БЕТОНА ЭМ-СИ БАУХЕМИ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В.В. Кабанова[1], В.А. Черненко[2], Я.А. Белов[3], П.А. Козырева[4]

Бетонные конструкции гидротехнических сооружений подвергаются экстремальным эксплуатационным нагрузкам – постоянному воздействию воды, циклам замораживания-оттаивания, кавитации, абразивным частицам и химической агрессии, которые приводят к постепенному разрушению поверхностного слоя и снижению эксплуатационной надежности ГТС.

Одним из эффективных решений данной проблемы является комплексный подход к ремонту и защите бетона, включающий применение специализированных ремонтных составов, защиту арматуры и нанесение финишных защитных покрытий.

Компания Эм-Си Баухеми предлагает эффективный системный подход, основанный на комплексном применении специализированных материалов:

ремонтных смесей для восстановления геометрии и прочностных характеристик;

пассивирующих минеральных антикоррозионных составов для защиты конструкций от коррозии;

защитных покрытий (минеральных и полимерных), устойчивых к воде, химическим воздействиям и атмосферным факторам.

Применение системных решений РЗБ обеспечивает не только качественное восстановление поврежденных элементов, но и гарантирует долговременную защиту от последующего разрушения, существенно повышая срок службы объектов и минимизируя расходы на эксплуатацию и проведение капитальных ремонтов.

В настоящем докладе рассматриваются технические аспекты и преимущества системы материалов компании «Эм-Си Баухеми», предназначенных для выполнения ремонтно-восстановительных и защитных мероприятий бетонных и железобетонных сооружений, эксплуатируемых в условиях интенсивного воздействия гидродинамических, климатических и химических факторов, характерных для гидротехнической отрасли.

[1] Магистр, продакт-менеджер, отдел продуктового развития ИПС, ООО «Эм-Си Баухеми»
[2] Специалист, руководитель отдела продуктового развития ИПС, ООО «Эм-Си Баухеми»
[3] Магистр, продакт-менеджер, отдел продуктового развития ИПС, ООО «Эм-Си Баухеми»
[4] Магистр, продакт-менеджер, ООО «Эм-Си Баухеми»

ВЛИЯНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЗУЧЕСТИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ

С.С. Каприелов[1], П.Д. Арленинов[2], С.Б. Крылов[3], А.В. Шейнфельд[4], П.С. Калмакова[5]

В настоящее время высокопрочные бетоны из высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей широко применяются в гражданском и промышленном строительстве, причем как в составе железобетонных, так и сталежелезобетонных конструкций. При этом, если влияние различных технологических факторов на структуру и прочностные характеристики таких бетонов исследованы достаточно полно, то их длительные деформационные характеристики – изучены значительно хуже. Например, в СП 63.13330.2018 коэффициент ползучести высокопрочных бетонов классов от В60 до В100 принят по интерполяции за постоянную величину, в то время как важность его дифференциации отмечается многими специалистами. Зарубежные исследователи в этом вопросе продвинулись значительно дальше, причем часть результатов уже внедрена в положениях нормативных документов. Например, в Еврокоде ТКП EN 1922 коэффициенты ползучести бетонов можно определить по номограммам, при этом их значения отличаются не только для различных классов бетона по прочности, но и при использовании цементов разного класса.

К сожалению, практически все работы, в которых проводились испытания на ползучесть в условиях отличных от регламентируемых ГОСТ 24544, особенно в части влажности, являются больше прикладными и связанными с практической работой. В таких исследованиях обычно используется один класс бетона и какой-либо один переменный фактор – например, пониженная влажность (чаще всего моделируется строительство из бетона конкретного состава в сухом и жарком климате Средней Азии). Поэтому данная поисковая работа по сути будет первой научно-методической работой по исследованию ползучести высокопрочных бетонов, создаст базовый задел и определит направление для последующих экспериментальных исследований, которые позволят дать предложения по внесению изменений в СП 63.13330.2018 в части дифференциации коэффициентов ползучести высокопрочных бетонов при различной относительной влажности окружающей среды с учетом статистической обеспеченности, что позволит значительно повысить эффективность использования современных бетонов при строительстве уникальных зданий и сооружений.

[1] Доктор техн. наук, зав. лабораторией № 16 «Химических добавок и модифицированных бетонов», НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, академик РААСН, АО «НИЦ «Строительство»
[2] Канд. техн. наук, зам. заведующего лаборатории № 8 «Механики железобетона» НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство»
[3] Доктор техн. наук, зав. лабораторией № 8 «Механики железобетона» НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, академик РААСН, АО «НИЦ «Строительство»
[4] Доктор техн. наук, зам. заведующего лаборатории № 16 «Химических добавков и модифицированных бетонов», АО «НИЦ «Строительство»
[5] Научный сотрудник лаборатории № 8 «Механики железобетона» НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство»

Согласно цели эксперимента были проведены сравнительные параллельные длительные испытания по ГОСТ 24452 и ГОСТ 24544 высокопрочных бетонов разного класса (В70, В80, В100) с определением начального модуля упругости, деформаций усадки и ползучести, а также коэффициента ползучести при различной относительной влажности окружающей среды (20, 60 и 90 %). Полученные экспериментально коэффициенты ползучести высокопрочных бетонов классов В70-В100, характеризующие значение модуля деформаций бетона при продолжительном действии нагрузки, при одинаковой влажности окружающего воздуха находятся в узком диапазоне (0,32–0,38 при 90 %, 0,41–0,5 при 60 % и 0,63–0,71 при 20 %) и значительно (в 2 раза и более) ниже нормируемых значений по СП 63.13330.2018.

На основании полученных результатов рекомендуется внести в СП 63.13330.2018 и другие нормативно-технические документы положения о возможности экспериментального определения коэффициентов ползучести высокопрочных бетонов и возможности использования этих данных после соответствующей статистической обработки, что позволит значительно повысить эффективность использования современных высокопрочных бетонов при строительстве уникальных зданий и сооружений.

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИБКИХ ПЛАВУЧИХ ЗАГРАЖДЕНИЙ

В.В. Мищенко[1]

Гибкие плавучие заграждения – это гидротехнические сооружения, которые предназначены для локализации и сдерживания плавающих в воде твердых или жидких тел (например, нефти и нефтепродуктов). К таким заграждениям относятся и лесозадерживающие запани, широко применяемые на гидроузлах для защиты от плавающей древесной массы.

Расчет гибкого плавучего заграждения, в том числе и лесозадерживающей запани, можно разделить на несколько последовательных и относительно независимых этапов:

первый – определение значения действующих на заграждение нагрузок;

второй – составление расчетной схемы с целю определения усилий, возникающих в конструкциях заграждения (для запани – это тросовый лежень, береговые и русловые опоры, выносы и якорные крепления) при определенных на первом этапе нагрузках;

третий – окончательный выбор конструкции заграждения (для запани – это сечение тросов лежня; способ закрепления опор и т. д.) на основе прочностного расчета для возникающих в элементах усилий, найденных на основе принятой расчетной схемы сооружения.

В докладе на примере лесозадерживающих запаней показаны проблемы, возникающие при проектирование гибких плавучих заграждений, которые в первую очередь связаны с устаревшей нормативной базой.

Основа действующей методики расчета лесозадерживающих запаней – *Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации запаней*, утвержденная 15 апреля 1970 г., т. е. более 55 лет назад!

Современные усовершенствования методики расчета заключаются в более обоснованном и точном определении величины действующих на конструкцию нагрузок (*первый* этап согласно принятому выше разделению), но не касаются собственно расчета запани: расчетной схемы, полученных на ее основе усилиях в элементах, а также выбора конструкции заграждения.

Представлено решение обозначенных проблем и даны предложения по модернизации действующей методики, которые относятся ко *второму* и *третьему* этапам расчета гибких плавучих заграждений согласно принятому выше разделению.

[1] Зам. начальника отдела расчетных обоснований, АО «Ленгидропроект»

ОСОБЕННОСТИ, ЭТАПЫ И ОПЫТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ

А.Е. Огурцов[1]

Производство бетонных работ при возведении ответственных конструкций – сложный процесс, требующий максимально эффективного взаимодействия всех участников на каждом этапе технологического цикла, начиная от выбора сырьевых материалов для приготовления бетонной смеси и заканчивая приемкой законченных железобетонных конструкций. Учитывая сложность и уникальность ответственных конструкций, для получения качественного результата необходим дополнительный научно-технический контроль и надзор за соблюдением всех технологических операций при производстве бетонных работ.

Специалисты АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» имеют огромный опыт научно-технического сопровождения работ при строительстве объектов гидротехнической, атомной, нефтяной и других отраслей. Институт имеет уникальные компетенции в данном направлении.

В докладе будут рассмотрены основные этапы научно-технического сопровождения производства бетонных работ, особенности взаимодействия участников процесса на всех этапах технологического процесса, внедрение организационно-технической документации на практике, опыт специалистов института при проведении научно-технического сопровождения на различных объектах строительства, а также положительные и отрицательные стороны и проблемные вопросы, возникающие на строительной площадке в процессе проведения научно-технического сопровождения.

[1] Главный специалист, отдел «Технология строительства и ремонта железобетонных сооружений», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ, ИННОВАЦИИ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ БЕТОНА

К.О. Чугунова[1]

Современная строительная отрасль характеризуется активным развитием новых видов бетона, отвечающих запросам инновационных строительных технологий и решающих следующие основные задачи:

скорость (сокращение сроков реализации проектов);

сложность (уникальные архитектурные и инженерные решения);

условия (экстремальный климат и агрессивная среда);

устойчивость (экономическая и экологическая эффективность).

К современным видам гидротехнического бетона, решающим эти основные четыре задачи относятся:

бетон для технологии скользящей опалубки с регулируемыми сроками твердения;

высокопрочный бетон с использованием легкого заполнителя;

бетон для подводного бетонирования;

укатанный бетон;

вторичный бетон;

самоуплотняющийся бетон.

Существующая нормативная документация по проектированию составов бетона не учитывает особенности разработки новых современных видов бетона. Это создает определенный пробел в нормативном регулировании и может препятствовать внедрению передовых, эффективных и экономичных решений. В связи с этим, ПАО «РусГидро» инициирована работа по актуализации стандарта организации (СТО) по проектированию составов гидротехнических бетонов. Целью данной работы является:

актуализация существующих методов проектирования составов гидротехнического бетона;

включение новых разделов, посвященных принципам и алгоритмам подбора составов для современных видов бетона;

учет последних достижений в области бетоноведения, новых типов химических и минеральных добавок и модификаторов.

Результатом данной работы будет современный, практико-ориентированный стандарт, который будет способствовать повышению качества, долговечности и экономической эффективности строительства гидротехнических сооружений.

[1] Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Веденеева»

АМОРФНЫЙ ГИДРОКСИД АЛЮМИНИЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МОДИФИКАТОР БЕТОНА: ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗ ЗОЛЫ, СВОЙСТВА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

К.О. Чугунова[1]

Значительные объемы техногенных отходов, в частности золы-уноса ТЭЦ, представляют собой серьезную экологическую проблему, но в то же время служат источником ценных компонентов, таких как кремнезем и глинозем. Параллельно с этим строительная отрасль заинтересована в эффективных модификаторах, способных комплексно улучшать ключевые свойства бетона – прочность, долговечность, коррозионную стойкость – без существенного роста себестоимости.

Перспективным решением в этой области является гидроксид алюминия аморфной структуры, отличающийся высокой удельной поверхностью и реакционной способностью. Данный материал вступает во взаимодействие с гидроксидом кальция (Ca(OH)2), образующимся при гидратации цемента, с формированием дополнительных гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция. Кроме того, мелкодисперсные частицы аморфного гидроксида алюминия эффективно заполняют мельчайшие поры и межзерновое пространство, уплотняя структуру цементного камня, а также служат центрами кристаллизации для продуктов гидратации цемента, ускоряя процесс твердения и способствуя формированию более однородной и мелкокристаллической структуры.

Уникальный комплекс свойств аморфного гидроксида алюминия не только дополняет, а в ряде случаев и превосходит эффект от применения минеральных добавок на основе аморфного кремнезема. Несмотря на это, в России его применение в качестве модификатора бетона пока не получило широкого распространения по причине отсутствия коммерческих предложений по его продаже на рынке.

Во ВНИИГе была разработана и успешно опробована в лабораторных условиях технология получения аморфного гидроксида алюминия из золы-уноса методом выщелачивания с последующим гидролизом путем насыщения углекислым газом, осаждением целевого продукта и сушки в мягких условиях. Проведенные химические анализы, а также исследование с помощью метода СЭМ подтвердили высокую чистоту, аморфную структуру и повышенную пуццоланическую активность полученного материала.

Внедрение технологии переработки промышленных отходов в эффективные модификаторы представляет стратегический интерес для ресурсосберегающей и строительной индустрии, а также вносит свой вклад в решение проблемы утилизации отходов энергетики путем их преобразования в ценное сырье для строительной отрасли.

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

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ БЕТОНОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ

Ю.П. Федоренко[1], А.В. Донов, Н.В. Тютюнщиков, К.О. Чугунова, А.В. Жук

В последние десятилетия специалистами института успешно разрабатываются и внедряются скоростные технологии строительства с применением различных видов современных бетонов с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

Ключевыми факторами, определяющими выбор технологии и составов бетона, являются как проектные требования к бетону и условия эксплуатации сооружений, так и условия производства бетонных работ, в том числе климатические условия, наличие сырьевых материалов в регионе строительства, конструктивные особенности сооружений, ограничения сроков строительства, виды используемой опалубки и т.д.

В докладе будут рассмотрены вопросы применения современных бетонов для различных условий производства бетонных работ на примере различных объектов строительства, поставленные перед специалистами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» задачи и пути их решений.

[1] Зав. лабораторией «Технологии бетона и новых материалов», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ГЕОКОМПОЗИТНАЯ ДИАФРАГМА КАК СОВРЕМЕННОЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А.М. Шайтанов[1], Г.С. Коних[2]

1) Необходимость устройства противофильтрационного элемента. Статистика и причины аварий на грунтовых гидротехнических сооружениях, примеры аварий на грунтовых гидротехнических сооружениях.

2) Обзор нормативной документации Российской Федерации и стран СНГ, мировых стандартов, указывающих на необходимость устройства надежного и безопасного противофильтрационного элемента для проектов гидротехнических сооружений III – I классов, включая напорные сооружения энергетического назначения и ограждающие сооружения хвостохранилищ и золошлакоотвалов.

3) Обзор и сравнение традиционных и наиболее часто применяемых методов решения проблем с фильтрацией через тело грунтовых плотин, их преимущества и недостатки, с примерами и иллюстрациями. Краткая история создания геокомпозитных систем российского производства РАББЕРФЛЕКС и общая информация о них, свойства материала и опыт его применения в Российской Федерации.

4) Центральная геокомпозитная диафрагма как современное, надежное и экономически эффективное техническое решение для грунтовых гидротехнических сооружений. Область применения, причины выбора решения и его преимущества.

5) Пример технического решения и описание технологии поэтапной реализации подобных проектов, экономическая эффективность предлагаемой технологии.

6) Примеры реализованных проектов: перемычка плотины Gibe III, Эфиопия; плотина I очереди Рогунского гидроузла, Таджикистан. Анализ напряженно-деформированного состояния перемычки плотины Gibe III с центральной диафрагмой из геокомпозита на основе ПВХ-листов в сравнении с вариантом диафрагмы из полиэтиленовой геомембраны.

7) Примеры прочих мировых проектов по устройству противофильтрационного элемента с применением геокомпозитной системы на основе поливинилхлоридных листов.

8) Выводы и заключения.

[1] Канд. техн. наук, коммерческий директор, ООО «ГТС»
[2] Начальник гидротехнического отдела, АО «Механобр инжиниринг»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Обеспечение безопасности ГТС с учетом новых требований законодательства. Методы и средства контроля состояния ГТС

ПРОБЛЕМА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА НА ГЭС РФ

А.Н. Аверин[1]

В настоящее время на гидроагрегатах, эксплуатируемых на ГЭС РФ, применяется значительное количество систем вибромониторинга и защиты зарубежного производства (VibroSystM, Emerson, Bentley Nevada и др.), поставки которых были выполнены интеграторами АСУТП или установлены станциями в досанкционный период. Текущие реалии затрудняют покупку запасных частей/элементов к системам иностранного производства, их техническое обслуживание и метрологическое обеспечение. Резонным становится вопрос, а смогут ли отечественные производители обеспечить гидроэнергетику системами вибрационной диагностики (с достаточным объемом измерений) в случае полного запрета на ввоз/закупки компонентов систем иностранного производства?

В процессе анализа проблемы были выявлены следующие тенденции.

К положительным относится возможность отечественных поставщиков заместить большую часть системы вибромониторинга, включая программное обеспечение, модули/контроллеры, каналы абсолютной вибрации, частоты вращения ротора/фазы, воздушного зазора и биения зеркальной поверхности диска подпятника, обеспечивается возможность подключения датчиков иностранного производства, эксплуатируемых в составе систем вибромониторинга ГА, к отечественным контроллерам и выполнять качественный анализ в автоматическом режиме, включая прогнозирование.

К тревожным относится, то, что отечественный производитель не может предложить аналоги датчиков магнитного потока ротора MFP-100, емкостного датчика биения вала PCS-304 и инфракрасного бесконтактного датчика измерения температуры полюсов ротора TWR-100. Как отсутствие датчиков отразится на полноте информации о техническом состоянии агрегата и ведутся ли разработки отечественных аналогов?

Детальный анализ проблемы был выполнен компанией ООО «ВиКонт» в процессе формирования технического предложения на замену систем VibroSystM, эксплуатируемых на Богучанской ГЭС.

[1] Заместитель Генерального директора по перспективному развитию, ООО «ВиКонт»

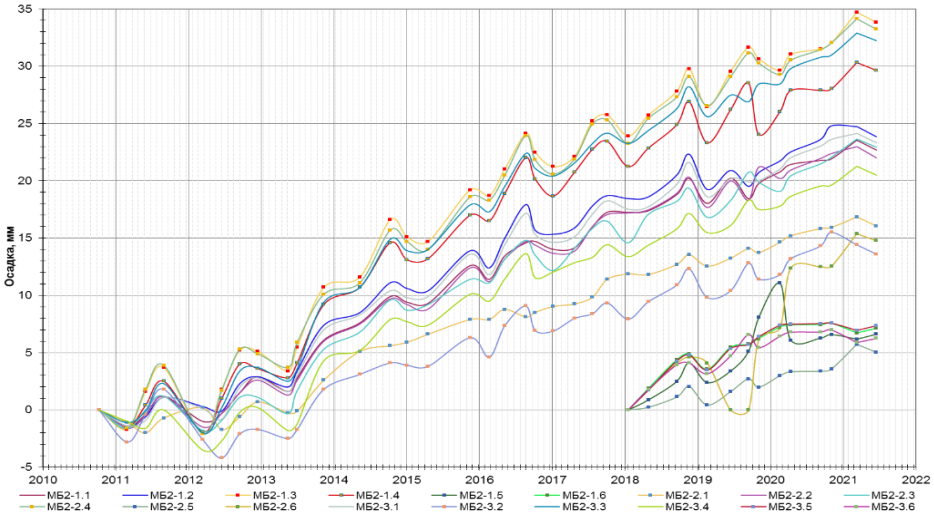
ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИЙ ГТС С УЧЁТОМ НЕСТАБИЛЬНЫХ ОПОРНЫХ ВЫСОТНЫХ РЕПЕРОВ

А.С. Антонов[1], А.А. Филиппова[2]

Целью работы является повышение качества мониторинга ГТС геодезическими методами для получения достоверных величин вертикальных деформаций ГТС.

В комплексе натурных наблюдений за гидротехническими сооружениями мониторинг деформаций геодезическими методами относят к числу наиболее важных. Суть его состоит в периодическом определении координат контрольных точек (марок) в сооружениях относительно опорных пунктов (исходных реперов), по изменениям координат точек оценивают деформации сооружений.

В настоящее время на ряде объектов по результатам геодезического мониторинга ежегодно фиксируется подъём бетонных и грунтовых ГТС. При этом локальные системы контроля, такие как гидронивелиры и щелемеры, показывают осадки конструкций. В связи с этим, вертикальные деформации со знаком «+» вызваны не физическими процессами в основаниях или теле сооружений, а осадкой исходных реперов.



Вертикальные деформации ГЭС, эксплуатируемой 15 лет, за период 2010–2021 гг.

Исходные реперы, как правило, располагаются в нижнем бьефе на обоих берегах и составляют опорную высотную геодезическую сеть. Опорная сеть существует на каждом гидроузле и чаще всего разрабатывается на стадии проектной документации без достаточного опыта проектировщиков в части требований к высокоточному геодезическому мониторингу за состоянием ГТС, что приводит к следующему.

---

[1] Главный инженер по оборудованию и гидротехническим сооружениям, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

[2] Начальник отдела исследования деформаций гидротехнических сооружений, филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»

1. Большинство реперов расположены вблизи сооружений, что, с одной стороны, является одним из важнейших источников повышения точности измерений деформаций за счёт сокращения длины линий нивелирования, а с другой – использование таких реперов для вычисления деформаций ГТС ведёт к недостоверным результатам геодезического мониторинга ввиду их нахождения в зоне влияния нагрузок от сооружений.

2. Многие реперы установлены исходя из удобства строительно-монтажных работ на этапе возведения объектов, а также расположения их на подконтрольной территории, в связи с чем часть реперов утрачивается или получает повреждения ещё на этапе строительства, а часть имеет вертикальные подвижки из-за наполнения водохранилища и перемещений грунтов и других строительных материалов ГТС.

3. Зачастую утеряны или не приведены в паспортах реперов чертежи конструкций с указанием глубин закладки якоря, что является одной из важнейших характеристик репера для оценки его надёжности.

4. Конструкция верхней части реперов на ряде объектов устарела и не подходит для установки современного оборудования. При нивелировании приходится использовать специальные переходники или самодельные приспособления, не подлежащие сертификации и поверкам, что приводит к дополнительным погрешностям измерений.

Работа по оценке стабильности высотных опорных сетей ГТС в настоящее время не выполняется или ведётся в недостаточном объёме вследствие отсутствия нормативных и методических материалов, высокой загруженности эксплуатационного персонала и недостаточной квалификации привлекаемого по субподрядным договорам геодезического мониторинга персонала.

На основании выполненного анализа можно сделать вывод о том, что вертикальные деформации на ряде ГТС недостоверны вследствие осадок исходных реперов и нестабильности опорных высотных геодезических сетей. Текущее состояние опорных геодезических высотных сетей требует оценки стабильности и корректировки в части количества и расположения реперов.

Объективную и надёжную картину вертикальных деформаций можно получить, приняв за исходный репер один из стабильных опорных реперов и вычислив относительно него отметки и деформации всех марок за весь период наблюдений.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ

А.Б. Веселов[1], А.И. Гусева[2], А.А. Метс[3], Г.В. Охапкин[4]

Мониторинг технического состояния критически важен для безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС). Современные системы мониторинга состояния различных сооружений всё чаще используют методы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) для автоматизации анализа данных, выявления дефектов и повреждений, прогнозирования состояния сооружений.

Эффективный мониторинг ГТС может достигаться за счёт синергетического подхода, комплексно интегрирующего большие данные из различных источников. Это позволяет преодолеть ограничения и недостатки отдельных методов и значительно повысить достоверность выводов. Технологическая цепочка от сбора данных и их обработки на периферии до углублённого анализа в облаке обеспечивает оперативное обнаружение аномалий/отклонений и служит основой для своевременного принятия управленческих решений по ремонту и обслуживанию.

В рамках данного доклада анализируется мировая практика применения нейронных сетей для оценки состояния сооружений. Центральными темами становятся как примеры успешной реализации, так и системные технические вызовы, среди которых на первый план выходит задача формирования репрезентативных обучающих выборок.

В завершающей части рассматриваются перспективы развития направления в АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» и отмечаются фундаментальные предпосылки эффективного внедрения ИИ:

обязательная валидация результатов автоматизированных измерений;

ключевая роль специалистов в трансформации процессов мониторинга;

необходимость привлечения экспертов для управления базами данных диагностических комплексов и пр.

[1] Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

[2] Канд. техн. наук, ведущий инженер-программист, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

[3] Инженер-программист 1 кат., АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

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

СТАЦИОНАРНЫЕ ВЫСОКОТОЧНЫЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ – НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А.Е. Войнаровский[1]

Наблюдения за деформациями являются одним из важнейших элементов решения задачи обеспечения безопасного функционирования инженерных сооружений. При строительстве и эксплуатации сложных инженерных объектов, таких как мосты, стадионы, гидротехнические сооружения и др. создаются целые системы мониторинга инженерных конструкций (СМИК), которые в автоматизированном режиме собирают самую разную информацию о текущем состоянии объекта и его конструктивных элементов, что позволяет судить как о штатной работе сооружения, так и своевременно реагировать на нештатные ситуации, предотвращая аварии и катастрофы.

Информацию, которую собирают СМИК, можно разделить на две большие группы:

информация физического характера (напряженность конструкций, частоты их колебаний и др.);

информация геометрического характера (деформации и перемещения, наклоны, крены и т. п.).

Информация об изменении геометрии объекта собирается как при помощи специальных датчиков (инклинометры, датчики угловых и линейных перемещений), так и при помощи геодезических приборов и технологий (высокоточное нивелирование, тахеометрические измерения, глобальные навигационные спутниковые системы – ГНСС). Первые с высокой точностью и в автоматизированном режиме отслеживают какие-то локальные изменения конструкций, а вторые позволяют охватывать объект целиком, определяя перемещения и деформации в общей системе координат объекта, хотя часто и не с такой высокой точностью, и не так оперативно.

Если говорить об автоматизированных средствах мониторинга, то в арсенале современной геодезии, по сути, присутствуют только два более-менее универсальных решения: на базе роботизированных тахеометров и на базе приемников сигналов ГНСС. Причем и у этих средств есть серьезные ограничения – роботизированные тахеометры могут работать только на стабильных, неподвижных платформах и должны быть защищены как от атмосферных явлений (дождь, снег и т. п.), так и от воздействия явлений техногенного характера (пыль, гарь, вибрации и т. п.). Приемники же сигналов ГНСС не всегда могут обеспечить требуемую точность координатных определений и не способны работать внутри помещений. Все это сужает сферу применения геодезических методов при разработке автоматизированных систем мониторинга.

В последние годы значительный прогресс был достигнут в сфере разработки и применения стационарных высокоточных систем мониторинга, основанных на методах фотограмметрии. Данные технологии существенно дополняют и расширяют возможности геодезических методов наблюдений и способны сделать мониторинг деформаций непрерывным и более информативным.

---

[1] Канд. техн. наук, технический директор, ООО «Архитектурная фотограмметрия»,
доцент кафедры картографии и геоинформатики СПбГУ

Стационарные фотограмметрические системы мониторинга (СФСМ), как правило, создаются на базе камер машинного зрения. Для обеспечения работы в разных погодных условиях камеры должны быть помещены в специальные гермобоксы, оборудованные высокоточной системой термостабилизации. Соблюдение постоянства температуры внутри гермобокса – необходимое условие для обеспечения стабильности оптической системы съемочного оборудования. Каждая такая система должна пройти фотограмметрическую калибровку с требуемой точностью определения параметров. При разработке высокоточных систем мониторинга необходимо использовать специальные марки. Фотограмметрические марки могут быть двух видов: светоотражающие (пассивные) и светоизлучающие (активные). У каждого из указанных видов марок есть свои достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать при разработке системы мониторинга для конкретного объекта. Геометрически марки чаще всего имеют круглую форму (круг или сфера). Современные автоматизированные алгоритмы позволяют измерять фотограмметрические координаты таких марок на цифровых фотоснимках с точностью на уровне 0,02–0,03 пикселя и выше. В зависимости от разрешения камеры и применяемой оптики при данной точности фотограмметрических измерений может быть обеспечена высочайшая точность определения текущих геодезических координат марок, часто недостижимая для самых точных геодезических приборов. В зависимости от применяемых методов съемки и обработки, это могут быть одномерные, двухмерные или трехмерные координатные определения.

В отличие от геодезических приборов, фотограмметрические съемочные системы могут успешно работать как на неподвижных, так и на подвижных платформах, могут быть установлены как снаружи, так и внутри помещений. Фотограмметрические наблюдения легко автоматизируются и управляются специальной программой с компьютера без участия человека.

И еще одно важное преимущество – при выполнении фотограмметрических наблюдений координаты множества деформационных марок объекта определяются одномоментно. Это важно как при мониторинге быстропротекающих процессов, так и вообще с точки зрения строгости решения задач мониторинга и упрощения анализа деформаций исследуемого объекта, поскольку при мониторинг, кроме самих координат марок, еще важно точно фиксировать и учитывать время, которому соответствуют эти координаты. И, конечно, если текущие координаты всех марок определены одновременно, то можно говорить о строгом решении задачи фиксации геометрии объекта на определенный момент времени. Это достаточно просто решается методами фотограмметрии и крайне сложно и практически недостижимо для большинства геодезических методов.

СИСТЕМА ФОТОМИКРОМЕТР – ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ТРЕЩИН И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МЕТОДАМИ ФОТОГРАММЕТРИИ

А.Е. Войнаровский[1]

Мониторинг трещин и деформационных швов является важной составляющей общего технического мониторинга зданий и сооружений, поскольку позволяет своевременно выявлять дефекты, отслеживать их развитие и своевременно принимать меры для предотвращения разрушения конструкций, обеспечивая их безопасность и долговечность.

Приборы и устройства, которые традиционно и много лет применяются для мониторинга трещин и деформационных швов, можно разделить на две группы: аналоговые (гипсовые и шкаловые маяки, штангенциркули) и электронные (датчики линейных перемещений различной конструкции). Аналоговые устройства стоят недорого, но имеют множество недостатков, главный из которых – ручной способ взятия отсчетов и невозможность выполнять дистанционные наблюдения: если маяк расположен в труднодоступном месте, например, на значительной высоте, то для выполнения наблюдений приходится использовать подъемные устройства, что сильно усложняет и удорожает процесс мониторинга. Электронные датчики лишены этих недостатков, но имеют другие: высокая стоимость, сложность монтажа в случае, когда используются кабельные способы управления, сложность и существенно большие затраты, если нужно организовать мониторинг по двум или трем координатным осям.

С появлением цифровой фотосъемки во многих странах ученные стали разрабатывать и внедрять в практику технологии мониторинга трещин на основе методов фотограмметрии. Данные технологии сочетают в себе достоинства перечисленных выше традиционных методов: стоят недорого, обладают высокой точностью, возможностью дистанционных наблюдений и автоматизации. Кроме того, для фотограмметрических методов не является проблемой организовать мониторинг по двум или трем координатным осям.

С появлением на рынке фотограмметрической системы Фотомикрометр (разрабатывается ООО «Архитектурная фотограмметрия» с 2016 г.) возможность использовать фотограмметрические методы мониторинга трещин появилась и в России.

Система Фотомикрометр состоит из специальных фотограмметрических марок, цифровой фотокамеры и специализированного программного обеспечения. Система существует в двух вариантах: Фотомикрометр 3D (рис. 1) и Фотомикрометр 1/2D (рис. 2). Первый вариант (3D) использует стереофотограмметрический метод наблюдений и предназначен для выполнения наблюдений по трем координатным осям.

Второй вариант системы (1/2D) предназначен для выполнения наблюдений по одной или двум координатным осям и для его реализации достаточно одиночных снимков.

[1] Канд. техн. наук, технический директор, ООО «Архитектурная фотограмметрия»,
доцент кафедры картографии и геоинформатики СПбГУ



Рис. 1.



Рис. 2.

Философия обеих систем заключается в том, что для съемки может применяться любая фотокамера (камера пользователя). При этом обеспечивается строгость решения фотограмметрических задач и высокая точность наблюдений – мы выпускаем марки нескольких классов точности: от 0,1 до 0,005 мм. Фотосъемка может выполняться на расстояниях до 50 м под разными углами наклона и поворота снимков. Весь процесс мониторинга за исключением фотосъемки автоматизирован и не зависит от человеческого фактора.

В настоящее время ведется разработка полностью автоматизированной версии системы Фотомикрометр на базе стационарно устанавливаемых поворотных программируемых камер видеонаблюдения.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГТС КАМСКОЙ ГЭС, ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КИА ДЛЯ ГТС

С.В. Двинянинов[1], Н.В. Карыпов[2], А.А. Палехов[3], З.А. Афанасьева[4]

Целью настоящей работы является предложение по разработке отечественной КИА для ГТС с учетом опыта реализованных проектных решений по оснащению гидротехнических сооружений Камской ГЭС автоматизированными системами контроля и практического опыта их применения.

Гидротехнические сооружения Камской ГЭС, возведенные в сложных геологических условиях и расположенные на площадке сейсмичностью 7 баллов, относятся к I классу – ГТС чрезвычайно высокой опасности. Основным инструментом обеспечения безопасной и эффективной работы гидротехнических сооружений, на протяжении всего периода жизненного цикла, является диагностика технического состояния, позволяющая осуществлять организацию процесса наблюдений, выявление отклонений от нормативных значений и их своевременное устранение.

Увеличение возраста ГТС, сложное геологическое основание, которое претерпевает изменения под воздействием измененного фильтрационного режима, совмещенное здание ГЭС с водосливной плотиной требуют повышенного внимания в части контроля состояния ГТС Камской ГЭС.

Камская гидроэлектростанция, оснащена более чем 1400 единицами контрольно-измерительной аппаратуры для мониторинга за состоянием гидротехнических сооружений и основания. С 2008 по 2023 гг. запроектированы и введены в промышленную эксплуатацию четыре автоматизированные системы опроса КИА для контроля:

фильтрационного режима основания бетонных ГТС;

фильтрационного режима грунтовых плотин и их основания;

реакции ГТС на сейсмические события;

деформаций и температурного режима бетонных ГТС.

Опыт реализации проектов и эксплуатации автоматизированных систем позволил оценить удобство эксплуатации КИА, качество выполняемого мониторинга, сопоставить плюсы и минусы от их создания и представить к рассмотрению предложения по разработке контрольно-измерительной аппаратуры отечественного производства.

[1] Директор, филиал ПАО «РусГидро» – «Камская ГЭС»
[2] Зам. 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»

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ОТ КОМПАНИИ ООО «МОНИТРОН»

А.В. Дейнеко[1], А.Н. Симутин[2], Г.М. Медведев[3]

Компания Монитрон, входящая в число пионеров автоматизированного мониторинга в России, специализируется на мониторинге вертикальных смещений (осадок) посредством аппаратуры собственного производства – датчиков гидростатического нивелирования цифровых ДГЦ-19 (№ 82892-21 в Госреестре СИ). Практика показывает, что именно гидростатическое нивелирование оптимально для автоматизации мониторинга ГТС в большинстве случаев.

Автоматизация нивелирования на ГТС имеет большой потенциал для развития системы мониторинга. Незакономерные вертикальные смещения являются сильным предвестником аварий и находятся в центре внимания специалистов по мониторингу. Однако традиционная цикличность нивелирования 1 раз в 3–4 месяца зачастую недостаточна для оперативного анализа.

Система гидростатического нивелирования устанавливается стационарно и работает в непрерывном телеметрическом режиме. Отработана практика быстрого внедрения ДГЦ-19 «под ключ» с использованием собственной автоматизированной системы диагностического контроля (АСДК). Датчики подключатся к личному кабинету пользователя на портале Монитрон, где результаты измерений доступны в режиме реального времени. Оперативный анализ результатов нивелирования (построение графиков, отображение осадок на плане сооружения в виде изополя и т. п.) осуществляется прямо в веб-интерфейсе. Реализован сервис тревожных уведомлений (электронная почта, СМС, телефонный автоинформатор).

Развитие экосистемы Монитрон направлено на сокращение разрыва между геодезической работой по нивелированию и анализом данных натурных наблюдений с инженерной оценкой состояния сооружения. Инновации внедрены сразу в нескольких направлениях.

Во-первых, это наличие у ДГЦ-19 собственной современной АСДК (обычно геодезические приборы не имеют подобного функционала).

Во-вторых, это интеграция АСДК с расчетными моделями ГТС, когда результаты мониторинга автоматически сопоставляются с соответствующими сценарными расчетами.

В-третьих, это создание системы анализа данных Monitron AI. В ее основе сопоставление измеренных вертикальных смещений с зарегистрированными нагрузками и воздействиями, включая метеоданные. Модель машинного обучения находит взаимосвязи между данными, запоминая нормальную работу сооружения, и отслеживает его дальнейшую работу.

[1] Канд. техн. наук, главный инженер, ООО «Сигма Тау»
[2] Канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «Монитрон»
[3] Технический директор, ООО «Монитрон»

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СОРОУДЕРЖИВАЮЩИХ РЕШЕТОК ГИДРОАГРЕГАТОВ МАЙНСКОЙ ГЭС

К.А. Демшин[1], А.М. Грек[2]

С целью технического обследования сороудерживающих решеток (СУР) на Майнской ГЭС силами АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» проведен визуально-измерительный контроль, по результату которого в 2024–2025 гг. были выявлены многочисленные дефекты элементов конструкции в секциях сороудерживающих полос.

Количество выявленных дефектов было несопоставимо с предыдущими результатами контроля за время эксплуатации СУР. Силами Филиала были проведены ремонтные работы по устранению выявленных дефектов, однако дальнейшая эксплуатация СУР без определения причин возникновения дефектов сопряжена с рисками и могла бы привести к снижению эксплуатационной надёжности ГТС.

В результате анализа полученной информации была инициирована научно-исследовательская работа по динамическим испытаниям сороудерживающих решеток гидроагрегатов Майнской ГЭС, в рамках которой предусматривались измерения вибрации и скорости потока на элементах конструкции сороудерживающих полос при различных режимах работы гидроагрегата.

Результаты динамических испытаний СУР позволили определить основные причины разрушения элементов конструкции СУР.

[1] Ведущий инженер по наладке и испытаниям СМО, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожнего»

[2] Аспирант, инженер по наладке и испытаниям СМО, филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожнего»

О МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОГО ВРЕДА, КОТОРЫЙ МОЖЕТ БЫТЬ ПРИЧИНЕН ФИЗИЧЕСКИМ И ЮРИДИЧЕСКИМ ЛИЦАМ

Г.Ю. Дмитриев[1], А.Н. Кочетов[2]

Актуальность доклада связана с анализом целесообразности переработки и изменения подхода к оценке размера максимального вреда, который может быть причинен жизни и здоровью физических лиц, окружающей среде, имуществу физических и юридических лиц при аварии гидротехнического сооружения.

Некачественный сбор исходных данных, а в случае контрактных отношений – непредоставление части исходных данных, как и возможность недобросовестного использования предусмотренных действующей методикой допущений, приводят к необоснованному занижению оцененного в рублях размера максимального вреда, который может быть причинен жизни и здоровью физических лиц, окружающей среде, имуществу физических и юридических лиц при аварии гидротехнического сооружения, и, соответственно, некорректному определению характера возможной чрезвычайной ситуации.

[1] Государственный инспектор ОНГТС, Северо-Западное управление Ростехнадзора
аспирант, ФГБУ «ААНИИ»
[2] Начальник ОНГТС, Северо-Западное управление Ростехнадзора

КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОННЫХ ПЛОТИН

П.С. Иванов[1], Н.А. Колобанов[2]

В данном докладе предлагается метод построения регрессионных моделей краткосрочного прогноза с горизонтом 7 дней. Метод применим для кинематических диагностических показателей плотин – горизонтальных перемещений и углов поворота.

К регрессионным моделям долгосрочного прогноза, разрабатываемым для определения критериев безопасности, предоставляются дополнительные требования к количеству входных параметров, статистической значимости и, следовательно, методам их построения. Они должны быть интерпретируемыми и стабильными на широком горизонте прогноза до 5 лет. При построении моделей краткосрочного прогноза часть этих требований допускается не применять, что позволяет значительно улучшить их предсказательную способность на коротком горизонте прогноза. Вместо традиционного подхода в моделировании, где внешние параметры принимаются условно не зависимыми от времени, здесь применятся методология прогнозирования временных рядов, широко используемая в эконометрике.

Работа проводилась на основе крупного корпуса суточных данных натурных наблюдений за 10 лет эксплуатации пилотного объекта. Он включает: климатические данные, показатели диагностической КИА (показания отвесов, гидронивелиров, температура бетона) и значения уровней бьефов. В ходе предварительной обработки были выделены наиболее значимые факторы и проведена импутация отсутствующих данных.

Разработаны модели на основе линейной регрессии и рекуррентной нейронной сети, адаптированные для работы с временными рядами. Проведено сравнение их работы с наивными и существующими моделями. Результаты работы позволяют сделать выводы о высокой предсказательной способности модели. Полученные модели применимы для использования эксплуатирующим персоналом в планировании работы ГЭС и разработке ВЭР.

[1] Научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Техник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ПОДБОР НОМЕНКЛАТУРЫ И КОЛИЧЕСТВА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ НАРАЩИВАНИИ НАКОПИТЕЛЯ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

О.Н. Котлов[1], М.Ю. Васильев[2]

Рассмотрена задача определения оптимального количества средств измерений (контрольно-измерительной аппаратуры), представлены методы обоснования их номенклатуры, конструктивных особенностей и мест размещения на действующем хвостохранилище горно-обогатительного комбината. Учтены условия постоянного заполнения накопителя методом намыва и скорого исчерпания емкости по действующему проекту. Анализ выполнен с учётом типа грунта дамб, свойств складируемых хвостов и инженерно-геологических характеристик основания сооружения, а также материалов мониторинга, полученных на этапе эксплуатации. Цель – подготовка сведений для раздела проектной документации, содержащего программу натурных наблюдений, в составе проектной документации по увеличению емкости существующего накопителя, путем наращивания ограждающих дамб, с учетом оценки фильтрационной прочности и устойчивости ограждающих конструкций на основе данных мониторинга фильтрационных процессов в теле грунтовых дамб и их основании, полученных на этапе эксплуатации.

Площадь, занимаемая рассматриваемым хвостохранилищем (ГОК «Олений ручей»), – 54,4 га, заполнение полезной емкости хвостохранилища производится по кольцевой схеме от ограждающих дамб с 2014 г. Возведение новых ярусов ограждающей дамбы выполняется путем отсыпки намытых хвостовых отложений с послойным уплотнением, высотой не более трех метров с пригрузкой низового откоса и гребня несортированным, крупнообломочным скальным грунтом слоем 1,0 м. На момент написания статьи максимальная высота ограждающей дамбы хвостохранилища ГОК «Олений ручей» составляла 39 м, при этом свободная емкость накопителя по существующему проекту практически исчерпана. После увеличения ёмкости по новому проекту высота ограждающей дамбы превысит 70 м.

Для контроля за фильтрацией в теле ограждающих дамб выполняются измерения положения депрессионной поверхности по установленным 9-ти скважинам в 6-ти пьезометрических створах.

Анализ геолого-гидрогеологических условий участка размещения хвостохранилища показал, что основными гидрогеологическими особенностями данного участка, определяющими фильтрационный режим в основании ограждающей дамбы, является наличие палеодолин, заполненных хорошо проницаемыми галечниками и песками, в которых вскрыты напорные воды.

Анализ размещения существующей пьезометрической сети показал, что отсутствуют пьезометры в наиболее важных для контроля, изучения и сбора данных местах – оборудованные на водообильные галечники и пески, обладающие местным напором, также в настоящее время отсутствует возможность определить естественные уровни подземных вод вне зоны влияния

[1] Канд. геол.-мин. наук, зав. отделом «Основания, фундаменты и грунтовые сооружения», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

[2] Начальник сектора «Безопасность гидротехнических сооружений», ООО «НПК Проектводстрой»

хвостохранилища. В связи с чем, указанные факторы подлежат обязательному учету при разработке новой проектной документации.

Для уточнения схемы размещения фильтрационной КИА с учетом наращивания и намыва нами выполнено геофильтрационное моделирование с воспроизведением на численной модели условий питания и разгрузки подземных вод.

По результатам анализа геолого-гидрогеологических условий участка расположения хвостохранилища и геофильтрационного моделирования разработаны рекомендации по реконструкции пьезометрической сети, которая в необходимом и достаточном объеме обеспечит контроль геофильтрационного режима.

Выводы

При достижении предельных отметок заполнения хвостохранилища ГОК «Олений ручей», предусмотренных имеющимся проектом, выявлена необходимость расширения сети контрольно-измерительной аппаратуры при подготовке новой проектной документации, предусматривающей увеличение емкости существующего накопителя, путем наращивания ограждающих дамб. При этом учтены геолого-гидрогеологические условия участка расположения хвостохранилища ГОК «Олений ручей» с применением геофильтрационного моделирования, выполненного по результатам мониторинга за состоянием сооружения в эксплуатационный период, а также требования действующего законодательства.

Разработана схема размещения и конструкция дополнительных пьезометров, которые в необходимом и достаточном объеме позволят обеспечить информативность режимных наблюдений за фильтрационным режимом хвостохранилища.

АРХИТЕКТУРА АССАМБЛЕИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ БПЛА В РАМКАХ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГТС

С.В. Кузнецов [1]

1. Гидротехническая отраслевая специфика ИИ решений в целом и решений по обнаружению дефектов, в частности.
2. Методологические аспекты обнаружения дефектов (ГТС) с помощью данных, полученных с помощь БПЛА.
3. Расширяемая архитектура программного комплекса, с использованием существующих моделей распознавания и классификации дефектов и созданием и добавлением новых моделей и алгоритмов.
4. Динамический набор (ассамблея) нейронных сетей для индивидуальных видов дефектов ГТС. Возможность добавления/замены моделей.
5. Архитектура первичной классификации видов дефектов, связь с динамически изменяемым классификатором.
6. Расширение архитектуры для проектов сбора и обработки дополнительных данных (фото, видео, лазерное сканирование, шумо-/тепловизоры и пр).

[1] Заместитель директора филиала по научно-проектному развитию, ООО «РусГидро ИТ сервис»

ДИСТАНЦИОННЫЙ ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Н.Г. Максимович[1], А.Д. Деменев[2], О.А. Березина[3], А.А. Мизев[4]

Оценка гидрохимических параметров водных объектов является важной задачей во многих отраслях, в том числе для обеспечения безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений. Существует множество подходов к ее решению. Так традиционный мониторинг, основанный на отборе проб воды вручную, является наиболее распространенным методом, но для наблюдения за быстро изменяющимися во времени геохимическими процессами или эпизодическими явлениями требуется его высокая частота, реализовать которую технически невозможно или экономически неэффективно. При этом подобный подход не всегда способен обеспечить оперативный доступ к актуальным данным из-за необходимости проведения цикла работ, который может занимать несколько дней или недель. Современные технологии позволяют перейти на более эффективные принципы контроля за объектами окружающей среды.

Для объектов повышенной ответственности, таких как гидротехнические сооружения, целесообразным является ведение оперативного мониторинга за параметрами водных объектов, обеспечивающего постоянный поток данных для пользователя в дистанционном режиме. Использование автоматизированных датчиков обеспечивает непрерывное получение информации о гидрохимических параметрах контролируемых объектов, например, подземных или поверхностных вод. Цифровая платформа, доступная пользователю и адаптируемая под конкретные задачи, аккумулирует поступающие данные, а внедренный аналитический модуль для ассистирования в контроле гидрохимических параметров позволяет свести к минимуму возможные ошибки при оценке данных в целях обеспечения безопасной эксплуатации сооружений или функционирования различных технологических процессов. Постоянный мониторинг гидрохимических параметров в подобном режиме обеспечивает поток достоверных данных, что минимизирует риски получения необъективной или неактуальной информации, позволяет своевременно фиксировать возможные критические изменения в ходе эксплуатации гидротехнических сооружений.

Выбор типов измерительных устройств определяется необходимостью измерения ключевых параметров для оперативной оценки состояния водных объектов: электропроводность, TDS, мутность (взвешенные вещества), pH, температура, растворенный кислород и другие показатели. Цифровая платформа для оперативного мониторинга с интегрированным картографическим веб-сервисом обеспечивает круглосуточный доступ к информации. При этом функциональный блок для визуализации данных включает и данные традиционного мониторинга,

[1] Канд. геол.-мин. наук, заслуженный эколог РФ, зам. директора по научной работе, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Естественнонаучный институт
[2] Канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Естественнонаучный институт
[3] Канд. географ. наук, старший научный сотрудник, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Естественнонаучный институт
[4] Инженер, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Естественнонаучный институт

что позволяет объединить в единую сеть все используемые гидрохимические датчики и результаты химических анализов отобранных проб воды вручную. Это обеспечивает подход к мониторингу состояния водных объектов в районе гидротехнических сооружений на принципиально новом уровне, с точки зрения достоверности, полноты данных и их оперативного использования.

Подобная система мониторинга водных объектов была внедрена на нескольких объектах и прошла успешные испытания при использовании как для подземных, так и для поверхностных вод. Стоит отметить, что архитектура платформы является универсальной и может быть адаптирована к различным контролируемым характеристикам в зависимости от задач на конкретном объекте.

О ПЛАНАХ ПО АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А.С. Маренков[1]

С 2015 г. Минстрой России активно развивает нормативную техническую базу строительства, в том числе в области гидротехнического строительства.

В конце 2023 г. был принят Федеральный закон от 25.12.2023 № 653-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и отдельные законодательные акты», которым предусматривается ряд знаковых для строительной отрасли следующих изменений.

В качестве альтернативы проектирования «по инструкции», четкому следованию всех строительных стандартов и сводов правил проектировщикам предоставляется альтернативный выбор обоснования принимаемых ими технических решений с помощью таких инструментов, как стандарты организаций и расчеты. Это даст возможность упрощенно внедрять инновационные материалы, применять неординарные решения, адаптивные технологии.

При проектировании у застройщика сохраняется право применения иных способов обоснования соответствия строящихся объектов требованиям техрегламента (помимо использования документов по стандартизации) – расчеты, испытания, исследования и т. д. Результаты применения таких способов обоснования утверждаются ГИПом.

Стандарт организации позволяет один раз доказать безопасность предлагаемых проектных решений, после чего уже нет необходимости доказывать их безопасность при экспертизе проектной документации.

При этом решение о необходимости применения стандартов организаций может быть обозначено в задании на проектирование.

При этом, в соответствии с разъяснением Минстроя России от 17.06.2024 № 33734/СМ-08, в стандартах организации возможно установление альтернативных требований и, при необходимости, компенсирующих мероприятий при дополнительном обосновании того, что они обеспечивают соблюдение требований Технического регламента.

Оценка возможности применения установленных альтернативных требований при предложенных компенсирующих мероприятиях, в том числе достаточности обоснования возможности применения и достаточности технических требований для устранения риска причинения вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям и соблюдения требований Технического регламента, также является предметом экспертизы ТК 465.

Следующим важнейшим аспектом, которому посвящен № 653-ФЗ, является развитие реестра требований.

Все требования, предъявляемые к объекту капитального строительства на всех этапах его жизненного цикла от проектирования и вплоть до сноса, теперь будут содержаться в едином цифровом реестре.

А это строительные требования, противопожарные нормативы, санитарные нормы и правила, радиационные нормы, нормы промышленной безопасности и другие требования.

---

[1] Главный специалист, ФАУ «ФЦС»

ОБ ОПЫТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНКЛИНОМЕТРОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЛЕВОБЕРЕЖНОМ СКЛОНЕ Р. КУНЬЯ

Д.П. Михайлец[1]

На водоразделе и левобережном склоне долины реки Кунья размещаются верхнее водохранилище, водоприемник и напорные водоводы Загорской ГАЭС. В их основании преимущественно развиты моренные суглинки. Они обеспечивают непроницаемость ложа верхнего водохранилища, а также устойчивость водоприемника, сопрягающих стен и ограждающих дамб в наиболее высокой их части. На устойчивость склона по трассе водоводов решающее влияние оказывает слой «зеленых глин», подстилающий моренную толщу. Низкие сдвиговые показатели этих грунтов и способность к ползучести обусловили оползневой характер склона. Для наблюдений за оползневыми процессами в массиве грунта на левом берегу р. Кунья используются три вида контрольно-измерительной аппаратуры: обратные отвесы с ручным и автоматизированным способами измерений, аналоговые одноосные и цифровые двухосные инклинометры.

Аналоговые инклинометры установлены в 2014 г. в трех скважинах и включают в себя цепь из 5 зондов каждый. Цифровые инклинометры установлены в 2015–2016 гг. также в трех скважинах цепочками зондов с 14, 8 и 12 датчиками. Зонды инклинометров представляют собой металлические стержни с датчиками-наклономерами внутри и направляющими колесами снаружи, устанавливаемые в инклинометрическую обсадную трубу с прорезями (пазами) для колес. Обратные отвесы вводились в эксплуатацию в 1992, 1995 и 2014 гг. и используются для наблюдений в 15 скважинах. Нижняя часть обратных отвесов – якорь, закрепленный в глубине массива грунта, верхняя часть расположена на поверхности грунта – резервуар с жидкостью и поплавком, к которому натянута инварная струна, образующая стабильную вертикаль, что позволяет контролировать перемещения поверхности грунта относительно закрепленного якоря.

При анализе работы инклинометров их показания сопоставлялись с показаниями обратных отвесов, погрешность которых при ручных и автоматизированных измерениях составляет 0,1 мм, в то время как у аналоговых и цифровых инклинометров, при пересчете из угла наклона в перемещения – 2,62 мм и 1,62 мм соответственно. Средняя интенсивность перемещений, измеряемых с помощью обратных отвесов, составила 0,6 мм/год для ручных и 0,7 мм/год для автоматизированных.

С начала наблюдений показания аналоговых инклинометров были крайне нестабильными. При анализе базы данных выявлены многочисленные выбросы показаний и перепадов (смещений) графика в несколько десятков миллиметров. В связи с чем невозможно было произвести анализ трендов перемещений по причине большого количества скачков. Для исключения воздействий на автоматизированные датчики при ежегодном техническом обслуживании было принято решение о переводе аналоговых инклинометров в приборы индикаторы и отказ от их периодических снятия и установки, после чего показания стабилизировались. За период статичного мониторинга, в период с 2019–2020 по 2023–2025 гг., в скважинах сформировались

[1] Канд. техн. наук, начальник службы мониторинга оборудования и гидротехнических сооружений, филиал ПАО «РусГидро» – «Загорская ГАЭС»

характерные направления смещений со среднегодовой интенсивностью около 0,1 мм/год. Таким образом, измеряемая величина получается на порядок меньше погрешности измерений, что вызывает сомнения в истинности значения измеренной физической величины.

При анализе графиков цифровых инклинометров не выявлено выраженных трендов перемещений. Отсутствие трендов может говорить о нулевых перемещениях или невосприимчивости датчиков в силу особенности конструкции и недостаточной точности приборов, что более вероятно. На протяжении всего времени наблюдений значения перемещений по всем датчикам в каждом инклинометре колеблются относительно средних вверх и вниз на 1,5–2 мм, что близко к заявленной погрешности. Причиной невосприимчивости подвижек может являться большая погрешность датчиков, жесткость трубы, а также «гашение» малых перемещений путём уплотнения грунта затрубного пространства.

При обследовании инклинометрических скважин с помощью телеинспекции были выявлены смещения и разрывы труб в нескольких отдельных стыках, а также в 5 из 6 скважин обнаружены спиральные следы от колёс, говорящие о повороте зондов вокруг оси и их выходе из направляющих пазов при снятии и установке, из-за чего контрольно-измерительная аппаратура после каждого цикла переустановки измеряет величины смещений по направлениям отличным от предыдущих. В связи с вышеуказанным данные приборы также были переведены в индикаторы.

Анализ данных наблюдений и результаты телеинспекционного обследования указывают на несовершенство используемых на Загорской ГАЭС конструкций инклинометрических скважин, что не позволяет сохранить преемственность наблюдений при снятии приборов для обслуживания и поверки, а также не позволяет фиксировать малые смещения грунтовых масс.

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Г.В. Охапкин[1], А.Б. Веселов[2], К.М. Воробьев[3], Р.Ю. Лабойко[4], Т.С. Ульященков[5], М.А. Майорова[6]

В течение всего жизненного цикла ГТС системы мониторинга должны обеспечивать стабильные и точные измерения параметров внешних воздействий, деформационного поведения, фильтрационного режима, температурно-влажностного состояния ГТС. Надежные данные мониторинга необходимы для своевременного выявления неблагоприятных изменений в состоянии ГТС и обеспечения его безопасности. Контрольно-измерительная аппаратура (КИА), контролирующая состояние ГТС, включает широкий спектр измерительных систем и устройств. Ключевую роль в процессе мониторинга играет дистанционная КИА, представляющая собой датчики различных типов.

Согласно действующей нормативной документации, в частности ГОСТ Р 57793-2025, при мониторинге технического состояния ГТС необходимо использовать измерительные устройства, прошедшие сертификацию и удовлетворяющие требованиям по точности, диапазону измерений и долговременной стабильности. Ряд национальных стандартов РФ, регламентирующих порядок оценки надежности технических устройств, гармонизирован с зарубежными: например, методы климатических испытаний по ГОСТ 16962.1-89 во многом соответствуют IEC 60068, общие требования надежности – стандартам серии ГОСТ 27 «Надежность в технике» и т. д.

Испытания на надежность состоят, в том числе, из специальных ресурсных (долговечностных) испытаний и относятся к числу важнейших составных частей работы по обеспечению и повышению надежности технических объектов. Специальные климатические испытания выполняют с целью доказательства надежности оборудования при заданном сроке службы.

В докладе рассмотрен ряд мер, обеспечивающих долговечность КИА:

тщательный выбор КИА с учетом условий эксплуатации;

стандартизация испытаний и сертификация КИА;

испытания оборудования на надежность и ресурс (методики HALT и ALT);

инспекция технического состояния и калибровка КИА в процессе эксплуатации;

дублирование и резервирование измерительных устройств.

Приведена методология проведения испытаний КИА, включающая классификацию видов испытаний, этапы подготовки и проведения, а также критерии оценки результатов испытаний.

В заключительной части доклада представлен опыт АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» по разработке специальных методик испытаний КИА для оценки долговечности и прогнозирования срока службы датчиков, а также приведены основные положения по организации Центра внутренней системы сертификации и разработки требований на КИА в Группе РусГидро.

---

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

[2] Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

[3] Ведущий инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

[4] Научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

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

[6] Старший научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА ГТС ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Б.В. Цейтлин[1], А.Е. Скворцова[2]

Разрабатываемая расчетно-экспериментальная методика основана на использовании результатов вибрационного мониторинга сооружений и реализующих этапы методики вычислительных программах. Методика включает следующие этапы:

1. С использованием результатов определения динамических характеристик и результатов мониторинга статического НДС сооружений гидроузла выполняется уточнение параметров их математических моделей – матриц масс, жесткости и демпфирования. Использование построенных математических моделей позволяет адекватно определять НДС при действии как статических, так и динамических нагрузок.

2. После построения уточненных математических моделей сооружений использование статистической обработки результатов мониторинга колебаний в различных режимах эксплуатации ГЭС (режимы работы агрегатов, водосброса и т. п.) позволяет определить динамические нагрузки, действующие на сооружения в различных режимах эксплуатации.

3. Выполняется расчет НДС для рассмотренных режимов работы оборудования.

4. Выполняются оценки усталостных повреждений и срока службы сооружений ГЭС.

5. В результате анализа НДС при действии эксплуатационных, сейсмических и тектонических воздействий определяются возможные траектории развития трещин.

6. Определяются зависимости параметров, характеризующих изменение частот и форм собственных колебаний (параметры MAC, COMAC, кривизны форм колебаний, матрицы отношений скоростей изменения частот колебаний) от положения и размеров повреждений с учетом таких характеристик, как время года и УВБ.

7. С учетом построенных зависимостей разрабатывается цифровой двойник сооружения, позволяющий объединить систему мониторинга с цифровыми прогнозными моделями напряжённо-деформированного состояния и оценки состояния сооружений, позволяющими контролировать и информировать персонал о наличие, положении, размерах и скорости изменения опасных повреждений.

[1] Канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Начальник отдела, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС

А.В. Шалатонов[1]

В современных условиях вопросы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) приобретают особую актуальность. Согласно официальной статистике Ростехнадзора, 98,7 % сооружений третьего и четвертого классов опасности, составляющих основу гидротехнического комплекса страны, были построены 30–70 лет назад и исчерпали от 60 до 100 % своего ресурса.

Анализ состояния отрасли показывает, что большинство гидротехнических объектов нуждается в срочной модернизации. Существующие сооружения сталкиваются с целым комплексом проблем: физическим износом конструкций, несоответствием современным техническим требованиям и несовершенством нормативно-технической базы.

Особую остроту проблеме придает текущая геополитическая ситуация. Санкционные ограничения существенно затрудняют доступ к импортным материалам и технологиям, необходимым для ремонта и модернизации ГТС. Колебания валютных курсов приводят к неоправданному удорожанию импортных материалов, что создает дополнительные сложности при планировании долгосрочных проектов.

Наблюдаются серьезные риски при использовании зарубежных материалов. Нерегулярность поставок, изменение рецептур производителями и возможное снижение качества продукции создают угрозу безопасности критически важных объектов. Возникают обоснованные опасения относительно намеренного занижения характеристик импортной продукции, предназначенной для объектов ключевой инфраструктуры.

В этих условиях переход на отечественные материалы становится не просто желательным, а необходимым. Российские производители предлагают комплексные решения, обеспечивающие технологический суверенитет в сфере гидротехнического строительства. Отечественные материалы обладают рядом существенных преимуществ: экономической эффективностью, стабильностью поставок, адаптацией к местным условиям эксплуатации и возможностью полного контроля качества.

Современные российские разработки охватывают все ключевые направления: от гидроизоляции и защиты от водопритоков до конструкционного ремонта бетонных конструкций. Особое внимание уделяется инновационным решениям для подводного бетонирования, инъекционным технологиям и укреплению грунтов.

Практическое применение отечественных материалов демонстрирует впечатляющие результаты. Современные технологии позволяют существенно сократить время выполнения работ, снизить затраты на обслуживание и повысить надежность сооружений.

Важным преимуществом российских разработок является их универсальность и эффективность в различных условиях эксплуатации. Материалы успешно применяются как в пресной, так и в морской воде, устойчивы к агрессивным средам и обеспечивают длительный срок службы конструкций.

---

[1] Коммерческий директор, ООО «СТРИМ»

Перспективы развития отрасли связаны с дальнейшим совершенствованием отечественных технологий, расширением ассортимента импортозамещающих материалов и повышением их качества. Это позволит не только обеспечить безопасность существующих гидротехнических сооружений, но и создать основу для развития отрасли в соответствии с принципами технологического суверенитета.

Таким образом, переход на отечественные материалы и технологии является необходимым условием обеспечения безопасности и эффективности гидротехнических сооружений в современных условиях. Это не только способствует решению текущих задач по модернизации отрасли, но и создает основу для достижения технологического суверенитета в критически важной сфере.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА СТАРЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДАМИ И СРЕДСТВАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В.Г. Штенгель[1]

Известно, что комплекс методов и средств неразрушающего контроля (НК) для оценки физико-механических характеристик бетона непосредственно в конструкциях создавался в основном на базе применения их для оперативного контроля бетона на начальных этапах производства сборных элементов и возведения сооружений. Однако при длительной эксплуатации в реальных условиях под влиянием многочисленных факторов вялотекущих деструктивных процессов, в основном, на не защищённый бетон и естественного старения материала, характеристики бетона значительно изменяются относительно исходных значений. Фактические характеристики необходимо учитывать при поверочных расчётах для оценки возможности дальнейшей надёжной эксплуатации конструкций в предполагаемых условиях. Соответственно, необходимо пересмотреть многие положения привычных принятых стандартных методик инструментального обследования, использования аппаратуры с учётом длительного локального негативного влияния внешней среды, особенностей реального доступа к контролируемым конструкциям и ограниченности объёма получаемой информации.

Доклад посвящён некоторым особенностям оценки фактических характеристик бетона старых конструкций с учётом коррекции результатов НК в зависимости от условий длительной эксплуатации контролируемых бетонных и железобетонных конструкций.

За долгие годы эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций под воздействием сочетания многочисленных внешних негативных факторов (возможно различных на отдельных участках сооружений) и естественного старения бетона произошли необратимые и часто разнозначные изменения характеристик бетона. Во многих случаях эти изменения сказываются на показаниях контрольной аппаратуры как в качественных, так и в количественных параметрах с нарушением связи и соотношений исходных и фактических данных измерений и характеристик бетона. Особенно необходимо отметить резкое сокращение объёма и качества получаемой информации в связи с сокращением возможности безопасного доступа к рекомендуемым участкам контроля и эксплуатационным условиям как самих конструкций, так и контролирующей аппаратуры. Соответственно, снижается достоверность получаемых результатов. Они, в основном, носят оценочный характер и определяют характер изменения локальных характеристик бетона в участках сооружений.

Характерным примером могут служить изменения локальных характеристик материала сборных элементов фундаментов турбоагрегатов, испытывающих разные по интенсивности сочетания температурных и вибрационных воздействий на разных отметках, а на отдельных участках к этому добавляется влияние промасливания участков балок и колонн. На открытых гидротехнических сооружениях активно влияние на бетон целого набора агрессивных внешних климатических факторов, карбонизации поверхностных слоёв, промораживания и оттаивания, деструкции наружного слоя бетона, который максимально используется в роли основного ис-

[1] Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник-консультант, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева.

точника информации о свойствах бетона при НК. Кроме того, необходимо учитывать, что характеристики бетона поверхностного и глубинного слоёв бетона массивных конструкций с течением времени могут значительно различаться.

В докладе приведены поправочные коэффициенты для учёта различных внешних и внутренних воздействий на бетон, которые рекомендуется использовать при коррекции окончательного результата НК. Также приведены некоторые рекомендации по корректному выбору и использованию в полевых условиях средств измерения при НК.

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Малая гидроэнергетика

МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА АФГАНИСТАНА: СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

С.С. Амини[1], В.В. Елистратов[2]

Афганистан, обладая высоким потенциалом возобновляемых источников энергии (ВИЭ), тем не менее, переживает глубокий энергетический кризис и характеризуется одним из самых низких в мире уровней электропотребления. Проведенный анализ демонстрирует парадоксальную ситуацию: при оценочном потенциале ВИЭ в 318 ГВт, включающем 23 ГВт гидроэнергетики, 222 ГВт солнечной и 67 ГВт ветровой энергии, страна остается критически зависимой от импорта, покрывая за его счет до 75 % потребления электроэнергии. Внутреннее производство, основу которого (85 %) составляет гидроэнергетика, нестабильно и недостаточно для обеспечения растущего спроса, что создает серьезные угрозы энергетической безопасности, экономическому развитию и социальной стабильности.

Сложившаяся ситуация обусловлена комплексом факторов. Исторически сложившаяся энергосистема страны фрагментирована и состоит из изолированных энергосистем, не объединенных в единую национальную сеть. Установленная мощность всех электростанций составляет лишь около 641 МВт, что катастрофически мало для населения свыше 32 млн человек. Наблюдается значительный дисбаланс в распределении энергии: в то время как доступ к электросетям в городах близок к 100 %, в сельской местности, где проживает 75 % населения, лишь около 10 % домохозяйств подключены к национальной сети. Это приводит к тому, что около 90 % всей электроэнергии потребляется населением, что свидетельствует о крайне слабом развитии промышленного сектора.

Ключевой проблемой является нереализованный потенциал гидроэнергетики. Несмотря на то, что она является основой национальной энергогенерации, крупнейшие станции (такие, как ГЭС Наглу мощностью 100 МВт и Каджаки мощностью 52,5 МВт) были построены десятилетия назад, требуют постоянной модернизации и их совокупной мощности недостаточно. В то же время существует проработанный план перспективных проектов на общую мощность около 7,5 ГВт. Отдельным важным направлением является малая гидроэнергетика (потенциал до 1,2 ГВт), которая видится ключевым решением для электроснабжения удаленных горных районов, однако ее реализованная мощность на сегодня не превышает 83 МВт.

Развитие малой гидроэнергетики сдерживается рядом барьеров: политическая и экономическая нестабильность, дефицит финансирования и инвестиций, изношенная инфраструктура, климатические риски (изменение режима осадков и таяние ледников), отсутствие методик проектирования МГЭС для условий Афганистана, а также дефицит квалифицированных кадров.

Несмотря на эти сложности, существуют пути решения. Необходимо сместить фокус энергетической политики с импорта на развитие национальной генерации на основе ВИЭ. Первоочередными мерами должны стать: поэтапная реализация наиболее подготовленных проектов средней и малой мощности для демонстрации эффективности; развитие сетевой инфраструктуры для объединения региональных энергосистем в единое национальное кольцо; актив-

[1] Аспирант, СПбПУ Петра Великого
[2] Доктор техн. наук, профессор, СПбПУ Петра Великого

ное привлечение международных финансовых институтов и технологической помощи; создание благоприятных условий для государственно-частного партнерства.

В работе рассмотрены особенности проектирования малых ГЭС в условиях горных районов Афганистана. Рассмотрены проблемы, требующие учета при проектировании и строительстве: большие сезонные колебания уровня воды в реках, высокая сейсмическая опасность и сложные климатические условия. Наиболее эффективным компоновочным решением является применения плотинно-деривационных схем с низконапорными головными водозаборными узлами, сочетающими водосливную плотину с промывным водосбросом для удаления наносов и безнапорную деривацию. В связи с развитием земледелия и скотоводства в горных районах Афганистана, важной особенностью комплексного использования водных ресурсов является необходимость сооружения по трассе деривации водоотводящих устройств для орошения и питьевого водоснабжения скота, что накладывает дополнительные особенности при проектировании малых ГЭС.

Для преобразования водной энергии рекомендовано строительство здания малой ГЭС модульного исполнения с использованием для строительства местных материалов с оборудованием российской разработки, адаптированное к переменным расходам. В зависимости от напора рекомендованы: ковшовые турбины (напор 100–450 м, расход 0,1–2,0 м³/с) и горизонтальные радиально-осевые турбины (напор 40–180 м, расход 0,4–4,0 м³/с), демонстрирующие высокий КПД и надежность. Подчеркнута необходимость проведения мероприятий по экологической минимизации ущерба. Для минимизации воздействия необходимы: обеспечение минимального санитарного стока (не менее 30 % от среднемесячного минимума), строительство рыбопропускных сооружений, рекультивация земель.

Афганистан стоит на энергетическом перекрестке. Успешное развитие гидроэнергетики, являющейся национальным стратегическим активом – это не просто вопрос экономической целесообразности, но и ключевое условие достижения энергетической независимости, национальной безопасности и устойчивого социально-экономического развития страны в долгосрочной перспективе.

Развитие малой гидроэнергетики на основе адаптированных к местным условиям технических решений является стратегически важным для энергетической безопасности и устойчивого развития удаленных горных регионов Афганистана. Комплексный учет гидрологических, сейсмических и экологических факторов позволит создавать надежные и эффективные малые ГЭС в Афганистане.

БАШЕННАЯ МГЭС НА РЕКЕ АРГУН. КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ

Р.З. Ахмедгароев[1], А.С. Терликов[2], А.Н. Волынчиков[3]

Башенная МГЭС расположена в Итум-Калинском районе Чеченской Республики в среднем течении р. Аргун между н.п. Ушкалой и Гучум-Кале. Река Аргун берёт начало на отрогах Главного Кавказского хребта на высоте 3265 м и впадает в р. Сунжу в районе г. Гудермес.

Компоновку и состав сооружений Башенной МГЭС определили следующие основные факторы:

большие уклоны реки (падение более 20 м/км);
топографические условия района строительства;
наличие в реке твердого стока;
повышенная селевая опасность района.

С учетом вышеперечисленных факторов для Башенной МГЭС выбрана деривационная схема использования гидроэнергетического потенциала участка р. Аргун длиной около 1,8 км с падением около 40 м. Режим работы МГЭС предполагается «по водотоку», без создания водохранилища и регулирования стока.

В состав основных сооружений МГЭС входят:
головной узел, состоящий из следующих сооружений:
бетонная плотина с автоматическим водосбросом;
двухпролетный водосброс с широким порогом,
отстойник;
подпорные стенки;
безнапорный деривационный туннель длиной 1446,212 м;

Напорно-станционный узел, состоящий из следующих сооружений:
напорный бассейн с водоприемником ГЭС;
два напорных металлических водовода ГЭС;
станционная площадка со зданием ГЭС и др. сооружениями.

Сооружения МГЭС расположены на правом берегу реки. Башенная МГЭС относится к ГЭС деривационного типа и использует падение участка р. Аргун длиной 1,8 км. МГЭС работает «по водотоку» без создания водохранилища и регулирования стока реки. Строительство Башенной МГЭС велось по программе ДПМ ВИЭ.

[1] Инженер 2 кат., АО «Институт Гидропроект»
[2] Начальник гидротехнического отдела, ГИП Башенной ГЭС, АО «Институт Гидропроект»
[3] Канд. техн. наук, заместитель главного инженера по основным сооружениям, АО «Институт Гидропроект»

О СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГАЭС НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

В.А. Волосухин[1]

Мировое производство электроэнергии за первую четверть XXI века удвоилось и составило по итогам 2024 г. – 31025 млрд. кВт час/год, а в расчете на одного человека рост произошел в 1,51 раза с 2,526 тыс. кВт час/год (2000 г.) до 3,804 тыс. кВт час/год (2024 г.)

Установленная мощность ГЭС в мире на 01.01.2024 г. составила, по данным МЭА N=1413 ГВт (за последние 50 лет она утроилась), а установленная мощность ГАЭС составила 12,67 %. За последние десять лет мощность ГАЭС в мире возросла на 27,9%. Они работают в комплексах совместно с ТЭС, АЭС, ВЭС, СЭС. Лидерами по установленной мощности ГАЭС являются Китай, Япония, США.

Согласно мировому опыту для достижения высоких показателей надежности и экономичности работы энергосистем в целом доля ГАЭС должна составлять не менее 10 %.

В России работает две ГАЭС: Кубанская (1969 г., N=15,9 МВт, Н=24,0 м), Загорская (2003 г., N=1,2 ГВт, Н=100,0 м) и Зеленчукская ГЭС-ГАЭС (2017 г., N=300 МВт, Н=234,0 м). Доля мощности ГАЭС в России значительно ниже мировых данных (12,67 %) и составляет 2,86 %. Минэнерго России неоднократно ставило задачу о повышении суммарной мощности ГАЭС, однако, пока эта цель не достигнута.

Объединенная энергетическая система (ОЭС) Юга России расположена на территории 19 субъектов РФ и включает 310 электростанций, их них 129 СЭС и ВЭС (41,6 %). Доля установленной мощности ВЭС (8,2 %) в ОЭС Юга, а СЭС (4,0 %) она незначительно выше, чем в целом по РФ на 01.01.2025 г. – ВЭС (1,5 %), СЭС (1,1 %).

Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) ВЭС ОЭС Юга составил 12,70 %, а СЭС – 14,91 %, он существенно ниже КИУМ ТЭС, ГЭС, АЭС.

ГЭС России в 2022 г. выработали 228 млрд кВт час/год (19,4 %). Выработка на ВЭС и СЭС России составила 7,7 млрд кВт час/год (0,7 % от РФ).

Первая ГАЭС в РСФСР построена в Карачаево-Черкесской АО Ставропольского края в составе энергетического участка Большого Ставропольского канала. Строительство началось в 1961 г. Последний (шестой) гидроагрегат пущен в 1969 г. Верхним бьефом Кубанской ГАЭС является БСК, а нижним бьефом – Кубанское водохранилище $W_{НПУ}$= 565,9 млн. м^3, $W_{УМО}$= 75,3 млн. м^3, $W_{полезн}$= 490,6 млн. м^3, $F_{НПУ}$= 49,8 км^2, $F_{УМО}$= 16,3 км^2, $H_{ср}$=11,4 м.

С мая по август Кубанская ГАЭС работает в турбинном режиме, заполняя Кубанское водохранилище. С сентября по апрель ГАЭС работает в насосном режиме, перекачивая воду из водохранилища в БСК. Кубанская ГАЭС является головной станцией в каскаде Кубанских ГЭС.

Строительство Зеленчукской ГЭС-ГАЭС в Карачаево-Черкесской Республике (N=300 МВт, Н=234,0 м) начато в 1976 г. и завершено в 2016 г.

Северный Кавказ обладает уникальными топографическими условиями для площадок формирования гидроэнергетических комплексов ГЭС, АЭС, ВЭС, СЭС совместно с ГАЭС с высокими напорами (ГАЭС Италии, 1982 г., Н=1260 м, N=1,02 ГВт; ГАЭС Франции, 1987 г. Н=955 м, N=1,80 ГВт).

---

[1] Доктор. техн. наук, профессор, директор Института безопасности гидротехнических сооружений

ГИБРИДНЫЕ МИКРОГАЭС С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МОДУЛЯМИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

А.А. Дружинин[1], А.В. Филатов[2], Д.В. Мылкин[3], А.М. Добренко[4]

В условиях удалённых территорий России поиск надёжных и экологичных решений автономного энергоснабжения приобретает стратегическое значение. В распределённой генерации прослеживается устойчивая тенденция к снижению единичной мощности установок при одновременном развитии модульных конструкций, что обеспечивает гибкость масштабирования, адаптацию к локальным условиям и упрощение эксплуатации в децентрализованных энергосистемах. В связи с этим, особый интерес представляют гибридные установки на основе микроГАЭС с интегрированными фотоэлектрическими модулями (ФЭМ) (рис. 1), сочетающие возможности резервного аккумулирования энергии и дополнительной генерации от солнечного излучения.

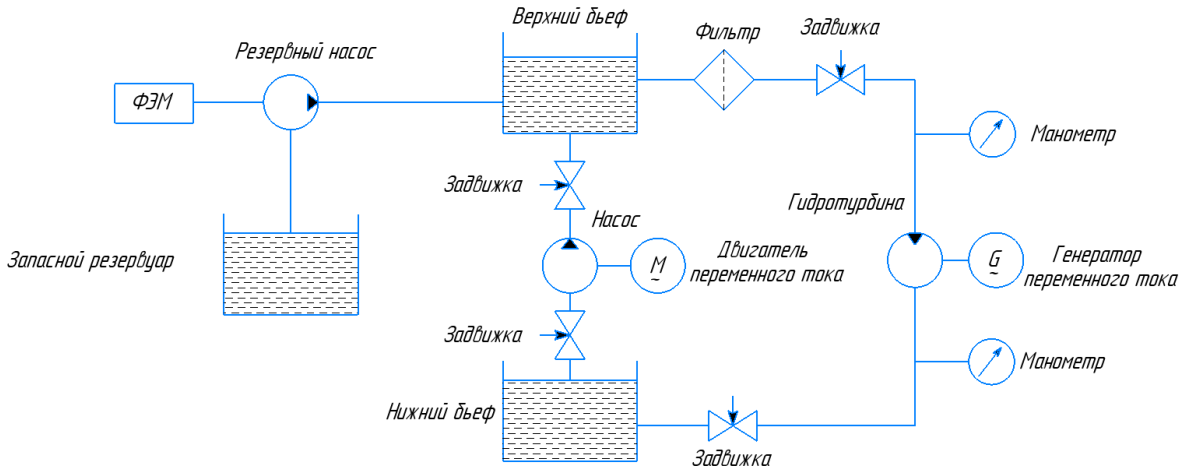


Рис. 1. Схема гибридной микроГАЭС с интегрированными ФЭМ-панелями

Ключевая конструктивная особенность подобных систем заключается в использовании готового напорного фронта, между которыми осуществляется перекачивание воды. ФЭМ, размещаемые на наружных поверхностях резервуаров и вспомогательных сооружений, вырабатывают электроэнергию для покрытия текущей нагрузки и подпитки вспомогательного насосного контура. Избыточная энергия аккумулируется в виде потенциальной энергии воды и может быть использована в вечерние и ночные часы на покрытие нагрузки локальных потребителей (рис. 2), что существенно повышает надёжность и предсказуемость энергоснабжения.

[1] Канд. техн.наук, доцент, НИУ «МЭИ»
[2] Аспирант, НИУ «МЭИ»
[3] Аспирант, НИУ «МЭИ»
[4] Инженер, НИУ «МЭИ»

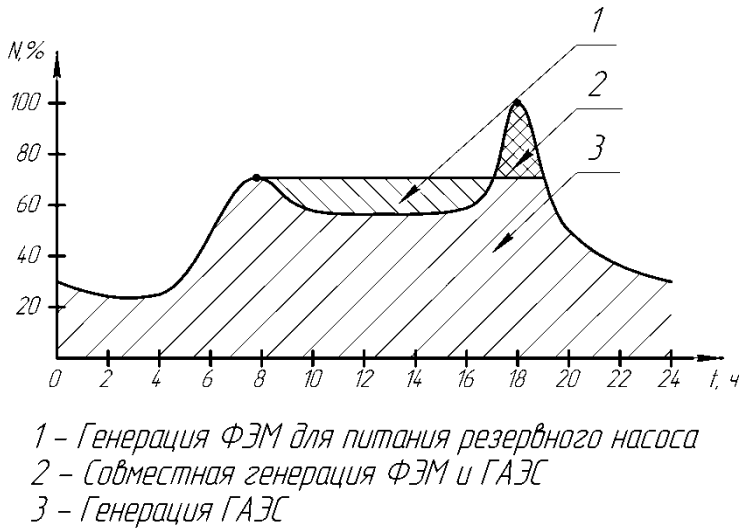


Рис. 2. Типовой суточный график энергопотребления

Днём избыток солнечной генерации используется для перекачки воды в верхний резервуар резервным насосом, а в утренние и вечерние пики микроГАЭС работает в генераторном режиме, комбинируя энергию гидротурбины и ФЭМ.

Сочетание гидравлического и фотоэлектрического контуров обеспечивает ряд преимуществ: снижение зависимости от сезонных колебаний речного стока, повышение коэффициента использования солнечной генерации за счёт её рекуперации, уменьшение потребности в резервных дизельных установках. Технология демонстрирует высокую адап тивность к природным условиям и возможность интеграции с существующей гидротехнической инфраструктурой, что снижает капитальные затраты.

В долгосрочной перспективе гибридные микроГАЭС могут занять ключевое место в структуре распределённой генерации, обеспечивая основу для формирования энергетически автономных поселений и промышленных объектов. Их применение не только способствует снижению углеродного следа, но и позволяет интегрировать локальные возобновляемые источники в единую интеллектуальную энергосистему, создавая технологический задел для перехода к углеродно-нейтральной энергетике.

Благодарности. Материалы, вошедшие в данные тезисы, 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-2025-0004. Соглашение №075-03-2025-457/10 от 06.06.2025 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕЖИМОВ ПРОЕКТИРУЕМЫХ МАЛЫХ ГЭС ДЛЯ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

О.И. Желяскова[1], М.М. Султанов[2]

В условиях глобального энергетического перехода и усиливающегося внимания к вопросам устойчивого развития малая гидроэнергетика (МГЭС) приобретает всё большее значение как локальный, экологически чистый и экономически эффективный источник электроэнергии. Особенно актуально развитие МГЭС в регионах с изношенной инфраструктурой и высокими потерями в распределительных сетях. В Российской Федерации, согласно государственной энергетической стратегии до 2035 г., предусматривается активное внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ), включая малые гидроэлектростанции мощностью до 25 МВт.

Однако эффективность внедрения МГЭС напрямую зависит от качества прогнозирования их режимов работы на этапе проектирования. Учёт гидрологических, климатических, сетевых и рыночных факторов позволяет минимизировать риски недоиспользования установленной мощности и обеспечить максимальный вклад в энергобаланс региона. В данном тезисе рассматриваются методические подходы к прогнозированию режимов МГЭС и анализируется их влияние на энергосистему на примере Волгоградской области.

Прогнозирование режимов работы малых ГЭС на этапе проектирования требует комплексного подхода, включающего следующие ключевые компоненты.

Гидрологический анализ – основой для расчёта гарантированной мощности МГЭС является анализ водных ресурсов реки. В частности, для р. Медведицы (Волгоградская область) установлено, что более 80 % годового стока приходится на весенний период, в то время как летний и осенний стоки составляют 13 и 6 % соответственно, а минимальный зимний расход может снижаться до 10 м³/с. На основе этих данных строятся сезонные графики выработки, позволяющие оценить реальную доступную мощность в разные периоды года.

На этапе проектирования необходимо моделировать не только выработку, но и интеграцию МГЭС в существующую энергосистему. Для этого применяются программные комплексы, такие как RastrWin.

Современные рыночные механизмы, в частности процедура ВСВГО, управляемая системным оператором, позволяют учитывать включение новых источников генерации при планировании работы энергосистемы.

Особенностью МГЭС является выраженная сезонность выработки. Поэтому прогнозирование должно включать построение сезонных графиков нагрузки и расчёт мультипликативного эффекта – сокращения потребления органического топлива на ТЭС за счёт замещения их выработки гидрогенерацией.

На основе моделирования были получены количественные оценки влияния двух восстанавливаемых МГЭС – Красноярской и Михайловской – на энергосистему Волгоградской области.

---

[1] Ассистент кафедры Энергетики, филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Волжском

[2] Доктор. техн. наук, заведующий кафедрой Энергетики, филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Внедрение Красноярской МГЭС (876 кВт) и Михайловской МГЭС позволяет сократить потери в сетях до 19,3 и до 18,2 % соответственно, в зависимости от схемы электроснабжения. Это соответствует снижению общих потерь в распределительных сетях региона (около 4,5 % от потребления) на 0,02–0,03 %, что особенно важно в условиях износа сетей до 70 %.

При подключении Красноярской МГЭС выработка на Волжской ТЭЦ-2 снижается на 896 кВт, что даёт экономию 966,4 т у.т. в год. Для Михайловской МГЭС экономия составляет 910–913 т у.т./год в зависимости от замещаемого источника.

Возможность совмещения МГЭС с рыборазводными хозяйствами (например, на Красноярской МГЭС планируется воспроизводство стерляди, судака и других видов).

Методические подходы к прогнозированию режимов малых ГЭС на этапе проектирования должны быть комплексными и включать гидрологический анализ, энергетическое моделирование, учёт рыночных механизмов и сезонную динамику. Применение таких подходов позволяет не только точно оценить потенциал МГЭС, но и количественно обосновать их вклад в энергобаланс региона.

Статистика по Волгоградской области демонстрирует, что даже небольшие МГЭС мощностью менее 1 МВт способны обеспечить значимый мультипликативный эффект: сокращение потерь, экономию топлива на ТЭС и снижение эксплуатационных затрат. Это подтверждает целесообразность дальнейшего развития малой гидроэнергетики.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБОЛОЧКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МИКРО- И МАЛЫХ ГЭС В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ

Д.В. Кашарин[1]

Согласно энергетической стратегии России до 2035 г. предусматривается доведение выработки малых ГЭС до 1,5–2,0 ТВт·ч/год. Одним из перспективных направлений является использование потенциала малых водотоков, включающих малые реки и каналы. Гидроэнергетический потенциал малых рек России достигает 500 млрд кВт·ч в год. Данный потенциал можно увеличить за счет использования самотечных каналов мелиоративных систем IV класса. В совокупности их применение позволит расширить использование местного стока для надёжного водо- и энергоснабжения сельскохозяйственных объектов и предприятий, в соответствии с требованиями экологической инфраструктуры России, снизить нагрузку на централизованные сети и укрепить энергетическую безопасность отдалённых регионов.

Развитие малой и микро-гидроэнергетики требует разработки оболочковых конструкций из композитных материалов для деривационных водоводов, подпорных и регулирующих сооружений, для которых можно задавать жизненный цикл функционирования в зависимости от необходимости модернизации систем водо- и энергоснабжения.

К преимуществам данных конструкций относятся:

для малых рек минимальное воздействие на экосистему водотока, возможность обеспечения сезонного действия конструкций;

капиталовложения в строительство мобильных малых и микро-ГЭС из композитных материалов на регулируемых участках оросительно-обводнительной системы оказываются в несколько раз ниже, чем возведение металлических и бетонных конструкций, также они не нарушают конструктивной целостности водопроводящих сооружений и могут быть в случае необходимости установлены и демонтированы в кратчайшие сроки;

Основным ограничением использования в горной и предгорной зоне объектов малой гидроэнергетики являются сложные условия их строительства, значительное негативное воздействие на окружающую среду в природоохранных зонах.

В условиях малых горных рек строительство деривационных малых микрогидроэлектростанций сопряжено со значительными трудностями, связанными с опасными геологическими и метеорологическими явлениями, отсутствием дорожной инфраструктуры в створах строительства водозаборных сооружений и по трассе водовода.

По руководством автора разработаны 10 патентов РФ по конструкциям мироГЭС на основе мембранно-вантовых плотин и водопроводящих сооружений с использованием композитных материалов.

На основе проведенных теоретических, экспериментальных и натурных исследований разработаны имитационные и оптимизационные программные комплексы, позволяющие на стадии проектирования разрабатывать оболочковые конструкции, адаптированные к конкретным условиям малых водотоков и отвечающие современным требованиям к экологической инфраструктуре.

[1] Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», кафедра «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»

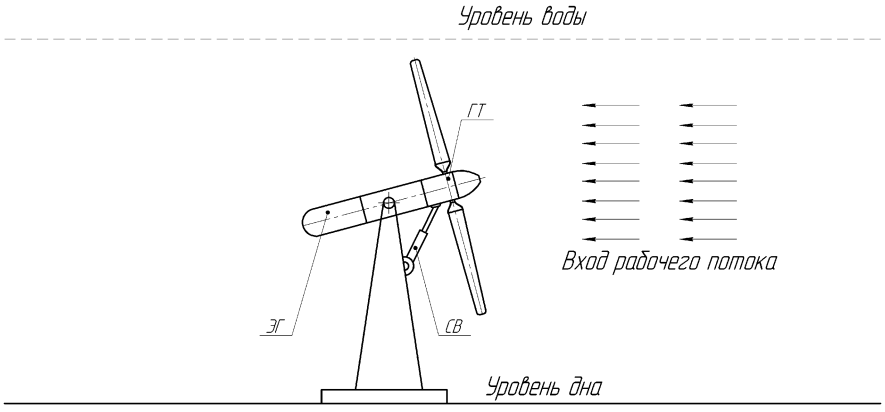
СВОБОДНОПОТОЧНАЯ ТУРБИНА С НАКЛОННЫМ ВАЛОМ С ДОННОЙ ОПОРНОЙ ПЛАТФОРМОЙ

А.К. Лямасов[1], А.В. Филатов[2], Е.А. Потапов[3], И.А. Бушуйкин[4]

Одним из направлений развития гидроэнергетики являются свободнопоточные станции, особенностью которых является работа за счет кинетической составляющей энергии водного потока. Использование таких гидроагрегатов, как правило, не требует строительства гидротехнических сооружений, что определяет интерес к таким системам со стороны участников сельскохозяйственного сектора, различных домохозяйств, а также потенциальных потребителей, для которых постройка плотин невозможна ввиду различных факторов. Такие установки особенно актуальны для удалённых регионов, малых рек с низким напором, а также зон с неравномерным профилем скоростей потока по глубине, где классические гидроагрегаты демонстрируют сниженную эффективность.

Современные исследования в данной области направлены на преодоление фундаментальных ограничений, включая низкий КПД из-за неполного использования энергии потока, чувствительность к изменению скоростных характеристик и сложность интеграции в существующие экосистемы без ущерба для их биоразнообразия.

Инновационность предлагаемого решения – использование неколлинеарной оси вращения ротора – обусловлена необходимостью адаптации к реальным условиям эксплуатации. Наклон оси относительно направления потока позволяет увеличить активную площадь рабочего колеса, компенсировать вертикальный градиент скорости воды и оптимизировать углы атаки лопастей вдоль их размаха с помощью системы поворота лопастей. Это принципиально отличает разработку от стандартных осевых конфигураций, где неравномерность потока приводит к потерям энергии и росту динамических нагрузок.



[1] Канд. техн. наук, доцент, НИУ «МЭИ»
[2] Аспирант, НИУ «МЭИ»
[3] Студент, НИУ «МЭИ»
[4] Студент, НИУ «МЭИ»

Гидравлическая мощность турбины была рассчитана в зависимости от угла наклона оси с помощью вычислительной гидродинамики. Моделирование показало, что при малых углах наклона вверх происходит рост вырабатываемой мощности на 5–10 % по сравнению с традиционными свободнопоточными осесимметричного натекания воды. При чрезмерном наклоне наблюдается увеличение нагрузок на опору и снижение энергетической целесообразности эксплуатации.

Благодарности: «Работа выполнена в рамках проекта «Свободнопоточная гидротурбина с неколлинеарной направлению потока осью вращения» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024–2026 гг.».

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ВОДОТОКАХ С МАЛЫМ РАСХОДОМ ВОДЫ

Н.С. Лукуц[1]

Актуальность

Растущий спрос на децентрализованное и возобновляемое энергоснабжение удаленных и изолированных объектов (фермы, хутора, туристические базы, малые поселения).

Низкая освоенность потенциала малых водотоков из-за специфических сложностей их использования по сравнению с крупными реками.

Ключевая проблема: получение достаточной мощности при ограниченном водном ресурсе (малом расходе) и часто невысоком напоре.

Ключевая проблема

Проектирование микроГЭС для малых водотоков сопряжено с необходимостью решения двуединой задачи: максимального использования ограниченного расхода воды и адаптации к сильной сезонной изменчивости режима водотока.

1. Анализ гидрологического режима малого водотока как основа проектирования.

Трудности: Отсутствие или недостаточность данных гидромониторинга для конкретного ручья/малой реки.

Методы решения

Использование методов косвенной оценки стока (картографические, гидроморфометрические методы, аналогии с изученными водотоками).

Построение графика продолжительности расходов (кривая продолжительности стока) для определения расчетной мощности и выбора типа турбины.

2. Выбор типа турбины.

3. Создание напора: особенности водозаборных сооружений.

Отказ от масштабных и дорогих плотин в пользу деривационных схем (канал, лоток, трубопровод) или использования энергии потока.

4. Обеспечение экологической безопасности.

5. Экономические аспекты проектирования.

Высокая доля капитальных затрат на начальном этапе (гидротехнические сооружения).

Оптимизация проекта по критерию «стоимость/выработанный кВт·ч».

Анализ окупаемости с учетом сезонности выработки и возможности использования в гибридных системах (микроГЭС + солнечные панели + аккумуляторы).

Выводы

1. Проектирование микроГЭС на маловодных водотоках требует глубокого предварительного анализа гидрологического режима.

2. Ключевым элементом, определяющим эффективность всей станции, является корректный выбор типа турбины, оптимально подходящей для конкретных значений напора и расхода.

[1] Саяно-Шушенский филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

3. Приоритетом при проектировании должны быть деривационные схемы водозабора, позволяющие создать достаточный напор при минимальном воздействии на окружающую среду.

4. Несмотря на технические сложности, грамотно спроектированная микроГЭС на малом водотоке является надежным, экономичным и экологичным источником энергии для автономных потребителей.

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКА НАИЛУЧШЕЙ КОМПОНОВКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МАЛЫХ ГЭС

Е.П. Федорова[1], Е.М. Мелехин[2], И.Н. Кузнецов[3], П.В. Федоров[4]

Компоновка гидроузла – один из ответственных этапов проектирования любого водохозяйственного объекта. В не меньшей степени принятие решений в гидротехнике зависит от природных и хозяйственных условий, в частности, от освоенности района, наличия путей сообщения, высоковольтных линий.

Следующей причиной вариации проектов является разнообразие комплексного назначения гидроузлов – потребности каких отраслей хозяйства региона они предназначены удовлетворять.

Компоновка гидроузла не является изолированным этапом проектирования, она неразрывно связана с выбором типа сооружений, решением принципиальных вопросов производства работ. С развитием современных методов обработки информации, технической возможности автоматизированных систем проектирования и развития направлений проектирования с использованием искусственного интеллекта, цифровизация процессов в проектировании становится актуальной.

В докладе рассматриваются разработки и предложения к создаваемой методике, позволяющей осуществлять многокритериальный интегральный анализ в среде цифровых систем с целью поддержки принятия управленческих решений по выбору компоновок перспективных малых ГЭС. А именно: 1) определен структурный последовательный список и алгоритм учета критериев, оказывающих влияние на выбор компоновки перспективных малых ГЭС; 2) разработан методический подход к оценке компоновок в соответствии с выбранными критериями; 3) поставлены задачи и определены технические требования для инструментария на базе ГИС, для осуществления многокритериального анализа; 4) составлен план/чек-лист апробации разработанных методов подбором водных объектов (рек).

Актуальность задачи по разработке методов выявления перспективных компоновок для строительства малых ГЭС обеспечивается востребованностью гидроэнергетики, возрастающими потребностями в электроэнергии, а также необходимостью эффективного освоения гидроэнергетического потенциала страны.

[1] Студент, СПбПУ Петра Великого
[2] Ассистент ВШПГ и ДС ИСИ, СПбПУ Петра Великого
[3] Студент, СПбПУ Петра Великого
[4] Начальник участка диагностики ГТС Службы МО и ГТС Филиала ПАО «РусГидро» – «Чебоксарская ГЭС»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Секция

Арктический центр: гидротехническое строительство в Арктике

К ВОПРОСУ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Г.Ю. Дмитриев[1]

Сведения об уровнях воды водотоков необходимы в целях безаварийной эксплуатации ГЭС, бесперебойной работы отрасли водного транспорта, подготовки органов государственной власти к паводкоопасному периоду.

Анализ имеющихся методик долгосрочного прогнозирования методами машинного обучения необходим для оценки возможности долгосрочного прогнозирования уровней воды рек Арктической зоны Западной Сибири в целях обеспечения заинтересованных органов и организаций результатами прогноза уровней воды водотоков для возможности заблаговременного планирования мероприятий, в том числе противопаводковых, и их учета при формировании бюджета на очередной плановый период.

[1] Государственный инспектор ОНГТС, Северо-Западное управление Ростехнадзора, аспирант, ФГБУ «ААНИИ»

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ АРКТИЧЕСКОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В.В. Елистратов[1], И.В. Ригель[2]

В настоящее время активно развивается инфраструктура Арктической зоны РФ, в том числе растет интерес к использованию энергии ветра и возводятся ветроэнергетические объекты как для сетевого, так и автономного энергоснабжения. Проектирование и эксплуатация ветроэнергетических установок (ВЭУ) в условиях Арктики осложняется наличием экстремальных ветровых нагрузок, многолетней мерзлоты и других особых условий. Динамические характеристики ВЭУ имеют важное значение и часто являются определяющим фактором при обосновании параметров их несущих конструкций.

В августе 2025 г. проведены натурные динамические исследования одной из ВЭУ Ghrepower FD25-120 (мощность 120 кВт, диаметр ветроколеса 25 м), работающей в составе системы энергоснабжения Западно-Хоседаюского нефтяного месторождения в Ненецком автономном округе, отличающемся типично арктическим климатом, сильными ветрами и наличием многолетнемерзлых грунтов. Несущая конструктивная система ВЭУ включает трехсекционную стальную трубчатую башню высотой 30 м, железобетонный трехлучевой ростверк с опорой каждого луча на 5 стальных свай.

Для исследований динамических характеристик ВЭУ использовалась измерительная система, включающая цифровой акселерометр АЦт90, тензостанцию УСД4 с 4 внешними тензометрическими полумостами, контроллер MS4812 с возможностью записи результатов на карту памяти. Для измерения температуры основания была изготовлена термокоса на основе термометрических датчиков DS18B20, применяемая с контроллером Arduino Uno и ПК для записи результатов. Для сопоставления результатов измерения с режимами работы ВЭУ использовались данные системы SCADA ВЭУ. Все устройства для записи данных синхронизировались по всемирному координированному времени, что обеспечило удобство их сопоставления.

Акселерометр АЦт90 размещался на технологической площадке в верхней части башни ВЭУ с ориентацией по сторонам света, рабочие тензорезисторы, подключаемые к УСД4 приклеивались в 4 точках в основании башни. Термокоса погружалась в термометрическую скважину глубиной 12,7 м. Информация о скорости и направлении ветра, частоте вращения ветроколеса и угле поворота гондолы в период измерений была получена из базы данных SCADA ВЭУ.

По результатам акселерометрии фиксировались ускорения верха башни во времени, по результатам тензометрии измерялись динамические напряжения в основании башни при различных режимах работы ВЭУ. Выделены частоты и амплитуды преобладающих динамических реакций несущей конструктивной системы. Проведены измерения распределения температуры по глубине скважины и определена отметка залегания мерзлого грунта.

Полученные динамические характеристики ВЭУ в различных режимах работы использованы для валидации результатов расчетов несущих конструкций с использованием методов аэросервоупругого и теплофизического моделирования с учетом влияния эксплуатационных и ветровых режимов, многолетнемерзлого основания.

---

[1] Доктор техн. наук, профессор ВШГиЭС, СПбПУ Петра Великого
[2] Аспирант, инженер НОЦ «ВИЭ», СПбПУ Петра Великого

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОРТА С ДНОУГЛУБЛЕНИЕМ АКВАТОРИЙ

И.Г. Кантаржи[1], А.С. Аншаков[2], А.Г. Гогин[3], Ж.И. Нагорнова[4]

Если геология акватории морского порта слагается подвижными грунтами основания, необходимо проводить прогноз перемещения наносов, т. к. это может привести к значительной заносимости критических участков. При часто проводимых дноуглубительных работах может значительно снизиться судооборот, что негативно скажется на грузообороте.

Особенно важен контроль литодинамических процессов для портов в арктической зоне, поскольку в данный момент на них приходится основная нагрузка, т. к. они составляют Северный морской путь – одну из важнейших водных международных магистралей России.

В настоящее время литодинамический режим можно спрогнозировать с помочью программных комплексов, а именно провести численное моделирование участка.

В данной работе для изучения транспорта наносов на некоторой акватории использовались спектральная модель для расчета ветровых волн SWAN, модель течений и уровней воды COASTAX-CUR и модель транспорта наносов COASTAX-SED в связке с COASTAX-MORPHO.

Алгоритм использования математических моделей предполагает первоначальное моделирование ветровых волн с помощью спектральной волновой модели с получением данных о волновых напряжениях в расчетной области. Затем инициализируется модель течений и уровней воды, в которую помимо прочего на вход задаются волновые напряжения. Следующим этапом является пересчет режима ветровых волн с учетом развивающихся на акватории течений. Затем с учетом динамически изменяющейся гидродинамической структуры водной циркуляции инициализируется модель транспорта наносов, позволяющая смоделировать литодинамические процессы на акватории.

Задачей было оценить влияние дноуглубительных работ на литодинамический режим акватории. В результате численно смоделированные поля ветровых волн, течений и связанных с ними литодинамических процессов производились в узлах расчетных сеток конечных элементов. Поля высот ветровых волн, скоростей течений и перепадов уровней воды описывают гидродинамический режим исследуемой акватории при выбранных расчетных сценариях. На основе полученных результатов по структуре течений и волновых напряжений в районе объекта были смоделированы литодинамические процессы в виде среднегодовых значений заносимости, с дальнейшим выводом о степени заносимости критически важных участков.

[1] Доктор техн. наук, профессор кафедры ГиГС, НИУ МГСУ
[2] Канд. техн. наук, доцент кафедры ГиГС, НИУ МГСУ
[3] Канд. техн. наук, ведущий специалист, АО «КИС Исток»
[4] Аспирант, 3 курс, НИУ МГСУ

ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛНОВОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОД ПРИПАЕМ У СООРУЖЕНИЯ

И.Г. Кантаржи[1], М.С. Афонюшкин[2]

Рассматривается взаимодействие гравитационных морских волн с ледяным полем, смерзшимся с опорными или береговыми сооружениями. Основной акцент сделан на исследовании волнового гидродинамического давления на подошву льда, которое определяет усилия в месте контакта «лед-сооружение» и потенциальные точки разрушения ледяного поля.

Актуальность работы обусловлена отсутствием в нормативных документах рекомендаций по определению данных нагрузок, что актуализирует задачу их анализа и расчета. На основании обзора литературы и разработки аналитической модели, основанной на уравнении Эйлера-Лагранжа для изгиба однородной гибкой пластины, выполнено исследование зависимости максимального гидродинамического давления от соотношений глубины воды, размеров ледяного покрова и длины волн. Особое внимание уделяется анализу изменения эпюры давления и соответствующих усилий при изменении указанных параметров.

Установлено, что существует закон сохранения формы эпюры максимального давления в зависимости от значений длин волн, ледяного покрова и глубины воды, а также найдены зависимости для определения усилий в точке контакта «лед-сооружение». В результате показано, что при определенных соотношениях параметров основная часть эпюры максимального гидродинамического давления приобретает форму самоаффинно эквивалентного прямоугольного треугольника, что позволяет использовать выявленные закономерности для инженерных расчетов ледовых и волновых нагрузок на сооружения в широком диапазоне параметров.

[1] Доктор техн. наук, профессор, НИУ МГСУ
[2] Аспирант, НИУ МГСУ

ЛЕДОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЛСП «ПРИРАЗЛОМНАЯ»

Е.Б. Карулин[1], М.А. Казанцев[2], М.М. Карулина[3]

Приразломное – первый в истории России проект по освоению ресурсов шельфа Арктики. Для освоения этого месторождения создана гравитационная ледостойкая платформа, установленная на точке в 2011 г., обеспечивает выполнение всех технологических операций на месторождении – бурение, добычу, хранение нефти, подготовку и отгрузку готовой продукции. Естественная глубина моря в месте постановки МЛСП «Приразломная» составляет 19,2 м фактическая глубина с учетом бермы вблизи платформы составляет 16,7 м. Платформа имеет квадратную в плане форму, ширина по ватерлинии 101 м. Вывоз нефти с МЛСП "Приразломная" производится круглогодично, в том числе в ледовый период. Поэтому на стадии проектирования и при эксплуатации платформы проводились масштабные исследования по работе всех элементов технологического комплекса Приразломное в ледовых условиях.

Основные направления ледовых исследований:

анализ природных условий в районе месторождения;

изучение процессов взаимодействия МЛСП «Приразломная» с ледяными образованиями и определение ледовых нагрузок;

изучение закономерностей формирования нагромождений льда перед платформой и их поведения при изменении ледовой обстановки;

разработка мероприятий по управлению ледовой обстановкой (УЛО) с целью снижения интенсивности процессов формирования ледяных нагромождений и их ликвидации.

Направление и сила дрейфа льда в точке установки платформы, обусловленные приливно-отливными процессами и ветром, изменчивый характер носят: всегда имеется вероятность дрейфа льда, направленного перпендикулярно широкой стороне платформы. Такое направление наиболее неблагоприятно как с точки зрения уровня ледовых нагрузок, так и с точки зрения образования нагромождений обломков льда перед платформой. Кроме того, понижение уровня моря в результате отливных и сгонных ветровых явлений, способствует стабилизации нагромождения у платформы.

На стадии проектирования платформы для определения глобальных ледовых нагрузок на МЛСП «Приразломная» была выполнена серия модельных исследований в ледовом опытовом бассейне Крыловского центра, в результате которых была получена физическая картина процессов, происходящих при взаимодействии ледяных образований с сооружением с наклонной боковой гранью. В эксперименте изучались воздействия ровного и торосистого льда на модель сооружения при различных направлениях его дрейфа, что не позволяют сделать теоретические расчетные схемы нормативных документов. В частности, экспериментально была получена оценка эксцентриситета приложения глобальной ледовой силы, и, соответственно, момент рыскания, что необходимо учитывать при расчете устойчивости сооружения на грунте.

Анализ международного опыта эксплуатации широких гравитационных платформ показал, что определяющим внешним фактором, ответственным за формирование опирающегося на

[1] Канд. техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
[2] И.о. начальника сектора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»
[3] Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

дно нагромождения льда у платформы, является глубина моря в районе платформы. При глубинах моря 16–20 м у платформы образуются стационарные нагромождения льда, прочно удерживаемые на грунте. Впоследствии натурные наблюдения с борта МЛСП «Приразломная», подтвердили адекватность этих оценок.

Формирование перед платформой нагромождений льда, помимо влияния на уровень глобальной ледовой нагрузки, имеет ряд негативных последствий:

невозможность проведения операций снабжения;

эвакуации персонала и проведения аварийно-спасательных работ;

опасность для находящегося под загрузкой танкера и других судов – возможность отрыва стамухи от грунта и навала ее на судно.

С целью исключения или минимизации негативных последствий этих явлений были сформулированы основные задачи операций УЛО для ледоколов и ледокольных судов обеспечения, работающих вблизи платформы «Приразломная», заключающиеся

в снижении интенсивности процесса формирования нагромождений льда перед платформой;

в уменьшении размеров или ликвидации уже сформировавшихся ледяных нагромождений.

Для решения этих задач были разработаны мероприятия по УЛО, эффективность и целесообразность которых оценивалась как в модельном эксперименте в ледовом опытовом бассейне, так и в натурных условиях. Положительный эффект – полное и достаточное быстрое удаление нагромождения обломков льда – был получен при использовании экскаватора.

Экспедиции, нацеленные на изучение проблем работы комплекса в зимний период, предоставили специалистам ценный материал для сопоставления результатов теоретических исследований и масштабного натурного эксперимента с данными натурных наблюдений.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ: ПРИМЕНЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

И.А. Кирсенков[1]

Эксплуатация гидротехнических объектов в арктическом регионе представляет собой сложную инженерную задачу, обусловленную экстремальными природными условиями. Низкие температуры, сложная ледовая обстановка и значительные колебания уровня воды при приливах и отливах создают особые требования к обслуживанию и ремонту сооружений.

Особую категорию составляют грунтовые гидротехнические конструкции, расположенные в районах вечной мерзлоты. Эти объекты требуют постоянного технического контроля и мониторинга состояния, поскольку глобальное потепление приводит к растеплению грунтов, на которых они построены, что негативно влияет на их устойчивость.

Существует множество факторов риска, способных привести к разрушению гидротехнических сооружений. К ним относятся климатические изменения, повышенная нагрузка на конструкции, недостаточное техническое обслуживание, а также эксплуатация объектов сверх установленного срока. Все эти факторы могут стать причиной серьёзных техногенных аварий.

Одной из наиболее серьёзных угроз для грунтовых гидротехнических сооружений являются суффозионные процессы. Они приводят к разрушению структурных связей между частицами грунта, формированию каналов интенсивной фильтрации и образованию внутренних промоин, что существенно снижает надёжность сооружений.

Для выявления проблемных участков в теле плотин применяются современные геофизические методы диагностики, позволяющие с высокой точностью определять места нарушений. Это даёт возможность эффективно планировать ремонтные работы и оптимизировать инъекционные мероприятия.

Традиционные методы укрепления, такие как использование цемента и бентонита, часто оказываются недостаточно эффективными, особенно при высокой скорости фильтрации воды через тело сооружения. Такие методы могут приводить к выносу инъекционных растворов и загрязнению акватории, что создаёт дополнительную нагрузку на экологию региона и влечёт за собой экономические потери.

В качестве инновационного решения компания СТРИМ® разработала и успешно внедрила уникальную технологию укрепления обводнённых оснований грунтовых гидротехнических сооружений. Эта методика представляет собой эффективную альтернативу традиционной цементации и демонстрирует значительно более высокую эффективность по сравнению с инъекционными полимерными материалами. Расход гидрофильных смол АКВИДУР® при этом примерно в 20 раз ниже.

Проведённые испытания в ведущих научных учреждениях подтвердили высокую эффективность новой технологии. В Институте технической химии Уральского отделения РАН были доказаны возможности эксплуатации композитных инъекционных материалов при температу-

[1] Заместитель коммерческого директора, ООО «СТРИМ»

рах до −63 °C. Исследования в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука показали минимальный экзотермический эффект при применении новых материалов, что особенно важно для сооружений в зоне вечной мерзлоты.

Повышение надёжности гидротехнических сооружений требует комплексного подхода, включающего внедрение современных технологий, постоянный мониторинг состояния объектов и адаптацию процессов эксплуатации. Производственные мощности компании «Стрим» и накопленный опыт позволяют эффективно решать задачи по повышению надёжности сооружений, продлению срока их эксплуатации и комплексной защите от различных негативных факторов, при этом существенно снижая затраты на строительные, ремонтно-восстановительные и эксплуатационные мероприятия.

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГАБИОНОВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ДОПУСКОВ ИХ УКЛАДКИ

В.И. Климович[1], Р.О. Яковлев[2]

Рассматривается защита от размыва для морского гидротехнического сооружения (МГТС), к которому могут швартоваться суда. Было установлено, что наибольшее воздействие на защиту от размыва оказывают струи от работающих винтов расчетного судна с с тремя движительными установками максимальной мощностью по 15 МВт. В связи с этим, при испытаниях модели защиты от размыва рассматривались только воздействия от струй работающих винтов расчетного судна. Другие модельные исследования (например, воздействие волн и течений на защиту от размыва) не рассматривались. Для защиты от размыва были выбраны габионы типа Реномак размерами 6×2×0,5 м и весом 10–12 т с выпуском геотекстиля снизу для предотвращения выноса грунта дна через зазор между габионами. Расчетное воздействие от струй работающих винтов на защиту от размыва соответствовало заданной мощности на каждом движителе расчетного судна 2 МВт. Все экспериментальные исследования проводились в масштабе 1:25.

Первоначально проводились комплексные экспериментальные исследования с допусками на укладку габионов 10 см (величина зазора между габионами в плане и величина ступеньки между соседними сторонами габионов по высоте для натурных данных), которые показали, что при данных допусках габионы устойчивы даже при воздействиях значительно превышающим расчетные в 2 и 4 раза. Выноса щебня из зазора между габионами и стенкой МГТС при расчетных воздействиях от струй работающих винтов не было обнаружено; небольшие деформации щебня в районе зазора порядка 0,4–0,5 м (для натурных условий) не являются критичными и не несут опасности для сооружения. В дальнейшем возникла необходимость увеличения допусков до 20 см, которые были обоснованы путем проведения дополнительных экспериментальных исслдедований. Однако при воздействии струй от работающих винтов при расчетном воздействии и наличии зазора 20 см наблюдался значительный подмыв под МГТС, что может привести к потере устойчивости сооружения. Таким образом, допуск на зазор между габионами и МГТС был принят 10 см.

На следующем этапе определялась возможность назначения предельных допусков укладки габионов защиты от размыва с допущением разницы отметок смежных сторон соседних габионов по вертикали 50 см и расстоянии между габионами в плане 30 см, при уклонах не более 1:3 при воздействии струй от работающих винтов расчетного судна. Экспериментальные исследования показали, что неустойчивости габионов под воздействием струй от винтов при мощности 4МВт (натурные данные) не обнаружено. Это означает, что габионы, расположенные в зоне, удаленной от МГТС на один (первый) ряд габионов, устойчивы не только к расчетным воздействиям, но и к воздействиям, превышающим расчетные. При этом длина выпусков габионов в зоне дополнительно увеличенных допусков должна составлять не менее 1 м. Для выполненного теста при дополнительно увеличенных допусках на укладку, которые были заданы одновременно, под воздействием струй от винтов при мощности 8МВт (натурные данные) была зафиксирована потеря устойчивости габионов. На основе консервативного подхода это означает, что для сохранения целостности габионного поля при предельных допусках недопустима подача мощности более 4 МВт на каждую движительную установку расчетного судна.

---

[1] Доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»
[2] Инженер, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НДС И УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ШЕЛЬФОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК

А.А. Мосягина[1], Б.В. Цейтлин[2]

При прогнозировании динамического напряженно-деформированного состояния (ДНДС) шельфовых сооружений возникают трудности, обусловленные недостатком данных о величинах и зависимостях от времени динамических ледовых нагрузок. При этом использование существующих нормативных документов, как правило, приводит к завышенным значениям динамических воздействий и, как следствие, – к завышенным оценкам усталостных повреждений. В представленном докладе предлагается для оценки ДНДС шельфовых сооружений при действии ледовых нагрузок использовать результаты вибрационного мониторинга верхнего строения сооружения. Использовались результаты записей ускорений в двух взаимно перпендикулярных горизонтальных направлениях в *N* контрольных точках, расположенных в верхней части колонн сооружения. Указанные записи представляли собой набор из нескольких сотен относительно коротких сигналов продолжительностью от 10 до 50 с, соответствующих уровню колебаний выше порогового значения. Таким образом, вектор контролируемых ускорений

$$W(t) = \left[w_1^x(t), w_1^y(t), \dots, w_i^x(t), w_i^y(t), \dots, w_N^x(t), w_N^y(t)\right]^T = [w_1(t), \dots w_i(t), \dots, w_{2N}(t)]^T. \quad (1)$$

Предполагалось, что к каждой колонне на уровне поверхности воды приложено воздействие: $F_i(t) = [a_i^x(t)f_i^x + a_i^y(t)f_i^y]^T = A_i(t)f_i^T$. Здесь f_i^x и f_i^y – системы нагрузок, моделирующих воздействие льда в двух взаимно перпендикулярных направлениях, $a_i^x(t)$ и $a_i^y(t)$ – зависящие от времени коэффициенты. Таким образом, система динамических ледовых нагрузок, приложенных к шельфовому сооружению, может быть описана соотношением

$$F(t) = [A_1(t), \dots, A_i(t), \dots A_{2M}(t)][f_1, \dots, f_i, \dots, f_{2M}]^T = A(t)f^T, \quad (2)$$

где $A(t)$ – вектор зависящих от времени амплитуд, f – вектор функций, моделирующих воздействие льда на колонны сооружения, M – количество колонн его опорного основания.

Пусть $S(t) = [s(t), \dots, s_i(t), \dots s_K(t)]$ – вектор усилий и напряжений, используемых при оценке усталостных повреждений. Для формирования зависящих от частоты комплексных матриц передаточных функций, связывающих компоненты ускорений в контрольных точках с требуемыми компонентами усилий и напряжений, было выполнено *2M* динамических расчетов сооружения на соответствующие (2) при $A_i(t) = \Delta(t)$ короткие импульсные воздействия $F_i(t) = \Delta(t)f_i$. Здесь $\Delta(t)$ – треугольный импульс продолжительностью 0,1с, дополненный соответствующими областями покоя. Расчеты на импульсные воздействия были выполнены с использованием комплекса программ ABAQUS методом пошагового интегрирования конечно-элементных уравнений движения. В результате выполненных расчетов для каждого из рассмотренных воздействий были определены как зависимости от времени ускорений в контрольных точках $w_i(t)$, так и зависимости от времени используемых при оценке усталостных повре-

---

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

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

ждений усилий и напряжений $s_i(t)$. Использование $F_i(t)$ совместно с $w_i(t)$ и $s_i(t)$ позволяет после выполнения преобразования Фурье указанных сигналов сформировать комплексные матрицы передаточных функций $\Pi^*_{FW}(\omega)$ и $\Pi^*_{FS}(\omega)$, связывающие комплексные амплитуды компонент Фурье векторов ледовых нагрузок $F^*(\omega)$, измеренных ускорений $W^*(\omega)$ и используемых при оценке усталостных повреждений усилий и напряжений $S^*(\omega)$

$$W^*(\omega) = \Pi^*_{FW} F^*(\omega), \qquad S^*(\omega) = \Pi^*_{FS} F^*(\omega). \tag{3}$$

После определения спектров Фурье сигналов, записанных в контрольных точках, применение первого из соотношений (3) позволяет определить соответствующие спектры Фурье ледовых нагрузок $F^*(\omega)$, а применение второго из соотношений (3) позволяет определить спектры Фурье усилий и напряжений $S^*(\omega)$. После этого выполнение обратного преобразования Фурье позволяет определить зависимости от времени используемых при оценке усталостных повреждений усилий и напряжений $S(t)$. Следует отметить, что хотя расчетных интервалов времени – сотни, но предъявляющие наиболее жесткие требования к памяти и быстродействию ЭВМ расчеты сооружения по программе ABAQUS выполняются на действие только *2M* коротких нагрузок $F_i(t) = \Delta(t) f_i$, где *M* – количество колонн его опорного основания. Разработанная методика была использована при выполнении оценки усталостной долговечности морской ледостойкой стационарной платформы.

УСКОРЕННОЕ ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ

О.М. Финагенов[1]

В настоящее время с учётом ледовых условий арктического шельфа организация поискового и разведочного бурения на месторождении возможна лишь в межледовый период. При этом бурение одной скважины проводится, как правило, за два сезона (за два года), что значительно удлиняет срок освоения месторождения.

Наиболее перспективным вариантом организации поисково-разведочного бурения в ледовый период является использование мобильной ледостойкой буровой установки стационарного типа. Пока таких установок нет, но они могут быть спроектированы и построены для существующих природно-климатических условий месторождений. Основными преимуществами мобильной ледостойкой буровой установки стационарного типа являются круглогодичное бурение и защита буровой колонны от воздействия льда; широкий диапазон инженерно-геологических (грунтовых) условий; возможность передислокации, в том числе в ледовых условиях; возможность бурения и испытания скважин; увеличенные объёмы хранения расходных материалов; диапазон глубин от 20 до 70 метров. Разработанные решения позволят обеспечить высокие технико-экономические показатели и низкие риски разведки и освоения ресурсов углеводородов.

Для ускоренного освоения месторождения на арктическом шельфе предлагается вариант конвертации буровой установки в добычную платформу.

Для этого буровой модуль размещается на двух (из четырёх) опорах железобетонного основания. Предлагаемое решение обеспечит высокие технико-экономические показатели и низкие риски разведки и освоения ресурсов углеводородов.

В случае отсутствия коммерческого открытия буровая установка может быть перемещена в заранее определённую точку для продолжения поисково-разведочного бурения.

В случае же коммерческого открытия буровая установка может быть конвертирована в добычную платформу. Для этого на свободные опоры основания устанавливается технологический модуль весом 8000–10000 тонн.

После установки технологического модуля начинается коммерческая добыча нефти. Буровой комплекс обеспечивает эксплуатационное бурение. В дальнейшем бурение и добыча могут быть перенесены на основную добычную платформу в оптимальной для разработки месторождения точке.

Для завершения процесса проектирования такой установки необходимо провести следующие основные работы.

Спецификация основного оборудования.

Разработка технологического процесса бурения.

Проведение расчётных исследований.

Разработка чертежей верхнего строения и опорного основания.

Разработка состава и плана модельных испытаний.

Проведение модельных испытаний в ледовых условиях:

буксировка платформы;

установка платформы на грунт и всплытие.

Разработка плана по аварийной эвакуации и спасению.

Все эти факторы определяют продолжительность последующих этапов: концептуальное и рабочее проектирование, строительство.

---

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

ОБ ОПРЕДЕЛЯЮЩЕМ СООТНОШЕНИИ ДЛЯ ЛЬДА В ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЕГО КОНТАКТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

В.Г. Цуприк[1]

В настоящее время известно множество «моделей взаимодействия» ледовых полей с сооружениями, в которых в разных количествах и сочетаниях используются скорость движения ледового поля, параметры прочности и упругости льда, тип (вид) механизма разрушения льда и многие другие виды таких моделей. В числе других предлагаются аналитические модели, основанные на отвлеченных от реального явления разрушения льда признаках, лишь «аналогичных» параметрам контактного взаимодействия ледового поля с опорами сооружения, но не имеющими ничего общего с физикой и механикой разрушения природного льда. К тому же, большая часть предлагавшихся моделей – это *не полные функциональные модели,* в которых не рассматривается процесс разрушения льда как материала с очень специфическими свойствами, а также материальной основы модели вообще, в них моделируется только «процесс взаимодействия». Но использование в моделях взаимодействия именно феноменологических физико-механических параметров этого сложнейшего явления разрушения морского льда и обеспечивают адекватность модели и достоверность получаемых при ее использовании расчетных величин, характеризующих этот процесс.

В тоже время часть опубликованных моделей взаимодействия льда с морскими объектами их авторами не валидировалась, т. е. не проверялась на адекватность экспериментально. Есть большое количество численных решений по МКЭ моделей разрушения льда, имеющих имитационный статус, с использованием различных определяющих (конститутивных) соотношений *физико-механических параметров льда,* полученных испытаниями малых образцов, но без привязки к *феноменологическим физическим процессам* его разрушения с учетом масштабов задачи. Основная часть таких моделей верифицировалась только по описанным в публикациях примерам физического моделирования в ледовых бассейнах на модельном льду и только некоторые – по данным малочисленных натурных измерений.

Представленное в публикациях последних десятилетий многообразие подходов к выбору моделей разрушения льда, их концепций и типов подчеркивает актуальность проблемы – с одной стороны, но порождает вопрос о необходимости и целесообразности этой деятельности в отрыве от собственно физики и механики изучаемого процесса, с другой. Процессы деформирования морского льда при его макронагружении, как показывает опыт, являются источником, движущей силой изменения его мезо- и микроструктуры с одной стороны, но с другой стороны, эволюция мезо- и микроструктуры является фактором, определяющим поведение льда на макроуровне.

Учитывая ретроспективный опыт моделирования явления воздействия ледовых полей на вертикальные поверхности морских объектов, в докладе обосновывается необходимость использования в численных моделях для имитации такого явления применять конститутивные соотношения, основанные на энергетическом подходе к математическому описанию явления разрушения льда.

---

[1] Доктор техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник департамента морских арктических технологий Политехнического института Дальневосточного политехнического университета

К ВЫБОРУ РАЗМЕРОВ И ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦА ЛЬДА ДЛЯ НАЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ ЕГО ПРОЧНОСТИ В ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЯХ ЕГО РАЗРУШЕНИЯ

В.Г. Цуприк[1]

Исследования в области определения расчетных значений контактного давления ледового поля на опору морского ледостойкого основания (МЛО) – одна из главных задач, разрабатываемых ледотехниками на протяжении более полувека. В последние десятилетия, с появлением мощных компьютеров в прогнозировании ледовых нагрузок как на стационарные, так и на плавучие морские ледостойкие объекты получило широкое развитие направление математического моделирования процесса прорезания ледовых полей конструкциями таких объектов, основой которого являются конститутивные модели (КМ) деформирования и разрушения льда, реализуемые одним из применяемых численных методов (ЧМ). Основная часть таких КМ разрабатываются в качестве гипотезы, претендующей на теорию как основание для разработки изменений в существующие нормы расчета ледовых нагрузок на МЛО.

Освещенные в печати модели льда разрабатывались с применением всех известных в теориях упругости/пластичности подходов: макромеханического, структурно – механического, термодинамического и физического, в рамках которых формулируются определяющие (конститутивные) соотношения, значительно отличающиеся своей математической структурой, существенным образом определяющей свойства каждой модели. Очевидно, что составление любой конститутивной математической модели является упрощением сложного физического поведения деформирования материала. Это особенно важно сделать для такого уникального природного материала, как морской лед. Важнейшим параметром, описывающим условие перехода от «прочного состояния» ледовой плиты как макрообъекта к началу разрушения льда в зоне ее контакта с сооружением на мезоуровне, является критерий разрушения льда, описывающий разрыв прочностных связей на микроуровне, т. е. внутрикристаллических связей. Несмотря на очевидность многоуровневости физических явлений разрушения льда при воздействии ледового поля на сооружение, моделирование его двух- или трехуровневого разрушения практически не исследуются.

В современной обычной практике при макроскопическом моделировании механического поведения морского льда, имеющего сложную гетерогенную структуру, априори используются методы гомогенизации (осреднения по объему), т. е. «приведения льда к сплошной среде», каковой морской лед не является. Такое осреднение (допущение первого порядка) производится по параметрам, получаемым в результате испытаний представительного объёма гетерогенного материала. Следствием гипотезы осреднения ячеек структуры льда является возможность формулирования определяющих соотношений в виде осредненных уравнений связи между осредненными компонентами тензоров напряжений и деформаций с помощью эффективных характеристик, вычисляемых различными методами. Понятно, что такая методология получения *критерия разрушения* значительно снижает сложность расчетов контактных сил с использованием конечных элементов, однако из-за чрезмерного упрощения свойств льда и механизмов

[1] Доктор техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник департамента морских арктических технологий Политехнического института Дальневосточного политехнического университета

взаимодействия существующие модели либо не могут адекватно предсказать силы взаимодействия, либо применимы к ограниченным ситуациям, например, когда лед хрупкий.

В текущих исследованиях напряженно-деформированного состояния морского льда, по аналогии с многими другими сплошными средами, выбор *критерия их разрушения* базируется на удобстве расчёта вычисляемых величин и доступности экспериментального определения разрушающего значения критериальной величины. Именно исходя из доступности традиционного метода экспериментального определения предела прочности льда, рассчитываемого на основе *прочности* испытываемых *небольших образцов*, критериями, характеризующими напряженное состояние льда как критическое, *практически всегда* принимаются силовые параметры: давление, комбинация напряжений, коэффициент интенсивности напряжений и пр., которыми руководствовались большинство исследователей, разрабатывавших модели взаимодействия льда на опоры сооружений. Однако известно, что критерии разрушения, основанные исключительно на напряжениях (допущение второго порядка), не могут охватить различие между упругими и пластическими деформациями, поскольку для напряжений не существует автоматического перехода к выбору критериев начала «упругого» или «пластического» деформирования.

В то же время, несмотря на обилие и большое разнообразие структурных дефектов различной физической природы, в «правильном» образце силы связи в структуре льда должны быть достаточно велики настолько, чтобы образец не потерял сдвиговую устойчивость сразу во всём сечении при его нагружении. Испытаниями образца необходимо моделировать развитие сдвиговой устойчивости в виде *последовательного процесса* потери локальной сдвиговой устойчивости на микро-, мезо- и макроуровнях: образование и движение дислокаций *на микроскопическом уровне* есть процесс локальной потери сдвиговой устойчивости кристаллической решеткой, потеря локальной *сдвиговой устойчивости на мезоуровне* приводит к образованию мезополос локализованной деформации и формированию блоков в зоне контакта торцевой грани ледовой плиты с опорой, и, наконец, образование макротрещины как факт потери глобальной сдвиговой устойчивости образцом в целом моделирует спонтанное развитие магистральной или расщепляющей трещины в плите льда. При этом формирование соответствующего одиночного макроскопического сдвига (разрыва) всегда специфично. Именно это обстоятельство не позволяет описать сложное нагружение, основываясь только на результатах опытов на простое нагружение (сдвиг и растяжение-сжатие), для которых реализуется иная комбинация сдвигов и поворотов, а следовательно, материал проявляет и другое сопротивление приложенной нагрузке.

Показанная природная фрактальность механизма разрушения структуры льда на разных масштабных уровнях может быть основанием для разработки единой, обобщённой *фрактальной природой* реальной трещины, *модели динамического разрушения* льда. Такая модель должна опираться на соответствующие ей критерий объемного разрушения льда сжатием и метод его тестирования, совокупность которых должна обеспечить *методологическую обоснованность* расчетной модели, ее адекватность реальным процессам деформирования льда в торце ЛП на контакте с МЛО. Поэтому при моделировании процессов контактного взаимодействия объектов с морским льдом его разрушение следует описывать как многостадийный многоуровневый процесс, который количественно может быть описан только суммой энергозатрат на разрушение единичного объема в натурном массиве ледовой плиты, также как и ее представительного объема, адекватного по строению и размерам натурному льду, причем с соблюдением ряда специфических параметров его испытания, в частности – скорости движения плиты испытательной машины.

Насколько известно, вопрос об определении репрезентативного объема льда (RVE - representative volume element) для описания механических процессов в морском ледовом покрове с научным обоснованием назначения размеров образца для испытаний не рассматривался, в отличие от речного льда, где этот вопрос детально рассмотрен на количественном уровне.

Учитывая, что существующие методики испытаний льда на прочность методологически недостаточно обеспечены, несмотря на наличие рекомендаций секции ледовых проблем МАГИ, автором продолжает рассматриваться задача выбора формы и размеров RVE для испытания

морского льда методом динамического сжатия. Пионерные исследования для рассматриваемой модели показывают, что описание процесса разрушения льда, адекватное реальным процессам, может обеспечить модель разрушения льда, основанную на использовании *энергетического критерия,* полученного при *испытаниях* RVE большого размера *на динамическое сжатие*, вызывающее его разрушение *сдвиговыми трещинами* и смятием. Полученный критерий можно принять за основу для дальнейших исследований данного вопроса и, возможно, именно он удовлетворит также и цели ряда ранее предлагавшихся «универсальных» многоуровневых моделей с отдельными критериями достижения предельных состояний льда на каждом уровне.

Настоящий доклад посвящен практической методологии получения энергетического критерия разрушения морского льда.

ТИПОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ НАПЛАВНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИЛИВНО-ВОДОРОДНЫХ СТАНЦИЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Б.Т. Юсупов[1], М.Г. Тягунов[2]

Рассматриваемый наплавной модуль (НМ) для арктических приливно-водородных станций (ПВС) выполнен на основе типового наплавного модуля Мезенской ПЭС, разработанного на кафедре использования водной энергии МГСУ (МИСИ им. В.В. Куйбышева), и решает две ключевые задачи: интеграцию полного цикла производства «зелёного» водорода и устойчивость к экстремальным природным условиям Крайнего Севера. Расчёты проводились на примере Тугурского залива (Охотское море), но могут быть адаптированы и для других районов с арктическим или субарктическим климатом.

Наплавной способ строительства был впервые предложен Л.Б. Бернштейном и апробирован при возведении Кислогубской ПЭС в 1968 г. Главное преимущество данного метода – перенос бетонных работ из труднодоступного створа в благоприятную обстановку промышленного центра, что позволяет значительно сократить стоимость и сроки реализации проекта.

Известны следующие ключевые технические решения: ячеистая структура (пространственный каркас из тонкостенных железобетонных элементов с заполнением тощим бетоном и песчаным балластом), арктическое исполнение (наличие горизонтальной плиты со стороны моря для защиты проточной части от битого льда, использование в зимнее время плавучей запани из понтонов с козырьками конструкции ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева).

Принципиальные отличия предлагаемой конструкции от упомянутых аналогов:

«шахматная» компоновка гидроагрегатов;

выделение внутри наплавного модуля специальных помещений справа и слева от машинного зала для размещения щелочных электролизёров;

устройство общестанционных водородопроводов, проходящих через состыкованные модули, для закачки полученного водорода в хранилище;

азотная система пожаротушения, деление галерей на секции огнеупорными стенками.

Статическая проверка показала, что НМ устойчив к плоскому сдвигу и к всплытию даже при расположении на супесчаных грунтах. Контактные напряжения в основании и неравномерность их распределения по подошве также находятся в допустимых пределах. При этом учитывался вывод в ремонт двух энергоблоков с полным осушением их проточных трактов.

Результаты исследования могут использоваться при предварительном проектировании крупных ПВС в Арктике (Лумбовской, Мезенской) для достижения целей, обозначенных в Концепции развития водородной энергетики Российской Федерации.

[1] Магистр прикладных наук, инженер 1 кат. филиал АО «Институт ГидроПроект» – «НИИЭС»

[2] Доктор техн. наук, профессор, НИУ «МЭИ»

XVII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ВНИИГ

Круглый стол

Подготовка кадров для гидроэнергетики и гидротехники

ПОДГОТОВКА ГИДРОЭНЕРГЕТИКОВ И ГИДРОСТРОИТЕЛЕЙ В ВУЗЕ. ТРУДОУСТРОЙСТВО И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С РАБОТОДАТЕЛЯМИ

А.И. Валецкая[1]

Подготовка кадров в гидроэнергетике – одной из ключевых отраслей в обеспечении чистой и устойчивой энергетики. Современный специалист в гидроэнергетике должен обладать глубокими техническими знаниями и навыками работы с новейшими технологиями. Важно также понимание вопросов экологической безопасности, поскольку гидрообъекты влияют на окружающую среду.

Образовательные программы строятся на трёх ключевых направлениях: инженерное образование, эксплуатация и управление гидростанциями, а также охрана окружающей среды для минимизации негативного воздействия гидроэнергетики. Высшие учебные заведения формируют прочную теоретическую базу и обеспечивают практическую подготовку через лаборатории и специализированные курсы. С учётом быстрых технологических изменений специалисты должны постоянно обновлять знания через курсы повышения квалификации и курсы профессиональной переподготовки. Непрерывное образование — залог успешной карьеры в гидроэнергетике.

Гидроэнергетическая отрасль сталкивается с нехваткой молодых квалифицированных кадров, вызванной демографическими изменениями, а также с необходимостью быстро осваивать новые технические решения. Для решения этих проблем требуется модернизация образовательных программ, внедрение цифровых технологий, увеличение количества практической подготовки над теоретической и улучшение систем контроля знаний, что повысит качество подготовки специалистов.

[1] Зам. директора по образовательной деятельности, «Сибирский федеральный университет», Саяно-Шушенский филиал

СОДЕРЖАНИЕ

	Секция 1	**Оборудование ГЭС и ГТС**	**3**
1.	Ю.В. Бабаченко В.Н. Селезнев	РАСШИРЕНИЕ ДИАПАЗОНА ПРИМЕНЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КАПСУЛЬНЫХ ТУРБИН	4
2.	А.М. Грек К.А. Демшин	РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ НА САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС	5
3.	В.В. Елистратов А.Н. Прокопенко С.В. Лупуляк Е.П. Петухов	РАСЧЕТНЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОАГРЕГАТА САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС	6
4.	В.В. Елистратов И.Г. Кудряшева	ГЭС И ГАЭС КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ	8
5.	М.С. Замараев Д.В. Вишневский	ТЕНЗОМЕТРИЯ СТАТОРНЫХ КОЛОНН ГИДРОАГРЕГАТОВ	10
6.	В.С. Игнатьев В.А. Шубарев В.Д. Лукьянов	ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ УДЛИНЕНИЙ ШПИЛЕК КРЫШКИ ГИДРОАГРЕГАТА	11
7.	Ю.В. Казанцев	ОБЗОР МИРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ГИБКИХ СИСТЕМНЫХ УСЛУГ ГЭС	12
8.	Н.П. Караблин Д.В. Чаплыгин А.Г. Будко О.А. Юдин	КОМПЛЕКСНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ДОННЫХ ЗАТВОРОВ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ФАКТИЧЕСКОГО ИЗНОСА, РАЗРАБОТКА ПОРЯДКА ОЧЕРЕДНОСТИ ЗАМЕНЫ ЗАТВОРОВ	13
9.	Н.П. Караблин Д.В. Чаплыгин О.А. Юдин Н.С. Бод	КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОАГРЕГАТА	15
10.	В.А. Комов А.В. Галкин Ю.В. Матвиенков	ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ РЕКОНСТРУКЦИ СТАНЦИЙ НА ПРИМЕРЕ МОДЕРНИ-ЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ВОЛЖСКОЙ ГЭС	17
11.	А.А. Конаков	ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛ-ТУРБИНЫ ПРИ ЕЕ УХОДЕ С КОМБИНАТОРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ	18
12.	А.В. Коструба А.Н. Прокопенко	ЭНЕРГОКАВИТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЕЙ ГИДРОТУРБИН НА СТЕНДЕ ОБРАТИМЫХ ГИДРОМАШИН «НПО ЦКТИ»	19
13.	К.А. Кравец	КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ГЩУ ГЭС: ОТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДО РЕАЛИЗАЦИИ	20

14.	В.А. Кузьмичев А.А. Майоров А.Ю. Захаренков Н.В. Зайцев З.А. Климов М.А. Пашаев А.В. Клименко	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГРУППЫ «РУСГИДРО»	22
15.	В.М. Марьин К.В. Мезинцев А.С. Агасбеков	ПРАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ И МЕТОДОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ПРОЦЕССЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОАГРЕГАТОВ	23
16.	О.А. Муравьев А.М. Дудин	ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА УСЛОВИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ГИДРОЭЛЕКТОСТАНЦИЙ	24
17.	О.А. Муравьев А.М. Дудин А.Н. Хмелев Д.С. Савченков	НОРМАТИВНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, КАСАЮЩИЕСЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ГЭС ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ	26
18.	С.В. Нестеров А.В. Косоруков	КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ 35 И 220 КВ САРАТОВСКОЙ ГЭС	28
19.	М.О. Перцевой А.А. Ачитаев	УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ВЫСОКОДИСКРИТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	29
20.	В.В. Плетнёв	МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС	31
21.	А.Н. Прокопенко	ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ГИДРОАГРЕГАТОВ	32
22.	Н.В. Пуцын А.В. Коструба	МОДЕРНИЗАЦИЯ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ КРЫШКИ ТУРБИНЫ ВИЛЮЙСКОЙ ГЭС-1 «НПО ЦКТИ»	33
23.	К.А. Строганов Б.Н. Люлин В.А. Шубарев	БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ПАВ-ТЕРМО В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ШКАФАХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ	34
24.	И.В. Толмачев	ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫБОРА ОСНОВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОПУСКА И ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА	36
	Секция 2	**Гидравлика ГТС и гидрологические исследования**	**37**
1.	М.В. Алексеевская А.М. Кудлаев Г.А. Судольский А.В. Шиляев	РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ УСЛОВИЙ РАБОТЫ КРЕПЛЕНИЙ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ЗА ВОДОСБРОСНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ	38
2.	М.В. Алексеевская Г.А. Судольский А.В. Шиляев	ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ СОПРЯЖЕНИЯ БЬЕФОВ ПРИ ОТБРОСЕ СТРУИ	39

3.	М.В. Алексеевская А.Ш. Мусаев О.А. Петров Г.А. Судольский А.В. Шиляев	ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТА ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ НИЖНЕ-ЗЕЙСКОЙ ГЭС	40
4.	С.А. Анисимов	ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ НОСКОВ-ТРАМПЛИНОВ НА ПАРАМЕТРЫ МЕСТНЫХ РАЗМЫВОВ	41
5.	Н.С. Бакановичус	ОЦЕНКА ДОСТАТОЧНОСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ Р. СЕЙМ, ВОДОЁМА-НАКОПИТЕЛЯ И ВОДОЁМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ АЭС	42
6.	Н.С. Бакановичус А.А. Лялина	ГИБРИДНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ АЭС	44
7.	П.С. Борщ	КОМПЛЕКС ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБВОДНЕНИЕ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ. ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ	46
8.	И.Д. Бучнев	ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫХОДНОГО ТУННЕЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИХРЕВОГО ВОДОСБРОСА	47
9.	А.А. Гиргидов	ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСЧЁТНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS КАК АЛЬТЕРНАТИВЫ МОДЕЛИРОВАНИЮ В РАСЧЁТНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOW-3D	48
10.	Е.Ю. Голованова А.В. Пучкарюс	РАСЧЁТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА В СТВОРЕ ГИДРОУЗЛА ВОДОХРАНИЛИЩА И ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСЧЁТНЫХ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ И ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ	50
11.	А.А. Дружинин М.О. Шейкин А.В. Филатов	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИН ПРИМЕНЕНИЕМ NURBS-ПАРАМЕТРИЗАЦИИ	52
12.	Н.В. Кабанов Г.А. Судольский А.В. Шиляев	АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ВОДОБОЙНЫХ КОЛОДЦЕВ	54
13.	А.С. Калугин В.М. Морейдо В.В. Чуканов	ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ В ИРКУТСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В ОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ И ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЭС В БАССЕЙНЕ СЕЛЕНГИ	55
14.	Д.А. Калязин В.И. Климович Р.О. Яковлев	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК НА ВОЛНОЗАЩИТНУЮ СТЕНКУ ОГРАЖДАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ ОТКОСНОГО ТИПА	56
15.	В.И. Климович Р.О. Яковлев	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗМЫВОВ НЕСВЯЗНОГО ГРУНТА ДНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СТРУЙ ОТ РАБОТАЮЩИХ ВИНТОВ СУДНА	58

16.	Д.В. Козлов А.Е. Старков	ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОУЗЛОВ С ВНЕДРЕНИЕМ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ЭКРАНОВ НА ЭФФЕКТЕ КОАНДА	60
17.	А. Слейман Д.В. Козлов	СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ДЕФИЦИТА ИСХОДНОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	61
18.	А.С Лебедев А.Е. Хаджиди	СПОСОБ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ОРОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	62
19.	А.А. Максимова	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОХОЖДЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В СИСТЕМЕ КАНАЛОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС	63
20.	О.А. Муравьев А.В. Голубев И.С. Третьяков	СПЕЦИФИКА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ПОВТОРНОМ ВКЛЮЧЕНИИ	64
21.	А.М. Кудлаев О.А. Петров	ТИПОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ НИЖНИХ БЬЕФОВ ГИДРОУЗЛОВ, СВЯЗАННЫЕ С ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ИХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ	66
22.	В.А. Прокофьев Д.Д. Тесленко	О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ В ВОДОЁМАХ И ВОДОТОКАХ ПРИ СБРОСЕ СТОЧНЫХ ВОД	67
23.	Е.А. Птицын И.Г. Кантаржи	ФОРМИРОВАНИЕ МЕСТНОГО РАЗМЫВА У ОСНОВАНИЙ МОРСКИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПЛАТФОРМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОЛН И ТЕЧЕНИЙ	69
24.	Г.А. Судольский А.В. Шиляев	РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОБОСНОВАНИИ ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС	70
25.	Д.С. Сычев А.А. Сысоев Н.В. Алиходжина	ВЛИЯНИЕ НАЛИЧИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ, ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДАННЫХ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЭС	71
26.	Д.Д. Тесленко	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИКИ ПОТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСЧЁТНОЙ СЕТКИ ВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НА ПРИМЕРЕ КРАСНОГОРСКОГО ГИДРОУЗЛА	73
	Секция 3	**Бетонные и железобетонные конструкции ГТС. Новые разработки и методы исследований**	**74**
1.	В.И. Белан	СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ КОРРОЗИИ БЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ	75

2.	Я.А. Белов В.А. Черненко В.В. Кабанова П.А. Козырева	МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИНЪЕКЦИОННЫХ КОМПРЕССИОННО-ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ АКРИЛАТНЫХ СОСТАВОВ	77
3.	В.А. Бормотов Е.В. Кукушкина Т.В. Сингатулина	ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ БУРЕЙСКОЙ ГЭС ПРИ ЭВОЛЮЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА	78
4.	В.А. Гебан Д.О. Никишина А.Н. Волынчиков	КОНСТРУКЦИЯ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА С БЕТОННОЙ НА КАМЕННО-НАБРОСНУЮ ПЛОТИНУ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС. ПОВЕДЕНИЕ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ПРИ ОТСУТСТВИИ СТАБИЛИЗАЦИИ ОСАДКИ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ	80
5.	В.Н. Горбунов Д.С. Дмитриев А.А. Камзолкин А.А. Сысоев	ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДИСТАНЦИО – ПРЕ- И ПОСТПРОЦЕССОР, РЕАЛИЗУЮЩИЙ И РАСШИРЯЮЩИЙ ВОЗМОЖНОСТИ «ТЯЖЕЛОГО» РАСЧЁТНОГО ПО В ЗАДАЧАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	81
6.	В.М. Давиденко	НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНОЛИТНОСТИ БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	83
7.	И.И. Загрядский А.Н. Бусаргин А.В. Боченков	РАСЧЕТЫ И ОЦЕНКА ДОПУСТИМОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОТЕЧЕК В НИЖНИЕ ПОТЕРНЫ ЗДАНИЯ ВОТКИНСКОЙ ГЭС	85
8.	В.И. Кобяков В.В. Юдин И.А. Киреев	ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ УЗЛА СОПРЯЖЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМЫ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ С БЕТОННОЙ ПЛОТИНОЙ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС	86
9.	Д.А. Крутов	ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТАРЕЮЩИХ БЕТОННЫХ ПЛОТИН	87
10.	А.А. Муратов	СПОСОБ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ПРОХОДОК ПРИ ПРОКЛАДКЕ КОММУНИКАЦИЙ ЧЕРЕЗ ГРЕБЕНЬ ПЛОТИНЫ	88
11.	Г.В. Охапкин Л.С. Дейнеко	ФАКТОРЫ ДЕГРАДАЦИИ БЕТОНА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	89
12.	Н.И. Павлюк Б.В. Цейтлин	УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ БЕТОННЫХ ПЛОТИН С УЧЕТОМ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ	90
13.	П.В. Пичейкин Д.С. Дмитриев А.А. Камзолкин С.О. Петряшев Э.А. Сеньков	ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМЫ «СООРУЖЕНИЕ–ОСНОВАНИЕ»	91
14.	А.А. Россихин	АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАССИВНО-КОНТРФОРСНОЙ ПЛОТИНЫ ЗЕЙСКОЙ ГЭС НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	93
15.	М.И. Саранцев	ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАПИСЕЙ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	94

16.	К.А. Федосин	КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО УСТРАНЕНИЮ СТРУЙНЫХ ФИЛЬТРАЦИЙ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ В ГТС	96
17.	И.М. Царовцева Л.Э. Беллендир Е.Ю. Борисова Д.Ю. Власов И.Д. Беляева В.А. Леонов	ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕПАРАТОВ С БИОЦИДНЫМ ЭФФЕКТОМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГТС ОТ БИООБРАСТАНИЙ	97
18.	А.Д. Червякова А.С. Антонов	ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПРОЧНОСТИ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОУЗЛА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	98
19.	А.Ю. Шигаров Ю.В. Пинчу А.Н. Волынчиков	ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЕЙСТВУЮЩИХ ГИДРОУЗЛОВ НА ПРИМЕРЕ ВОДОСБРОСА №1 БОГУЧАНСКОЙ ГЭС С ПРОЕКТНЫМ РАСХОДОМ 7200 $М^3/С$	100
20.	М.П. Широбоков Л.Н. Юрина	ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ БЕТОННЫХ И Ж.Б. КОНСТРУКЦИЙ И КОНТАКТА БЕТОН-ГРУНТ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ И ИХ КОНТРОЛЯ	101
21.	С.В. Юрьев Е.Г. Березовский	ОБОСНОВАНИЕ ПЛОЩАДОК РАЗМЕЩЕНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГАЭС В УЗБЕКИСТАНЕ	102
	Секция 4	**Основания и грунтовые ГТС объектов энергетики и промышленности**	**103**
1.	К.Н. Анахаев	К РАСЧЕТУ ФИЛЬТРАЦИИ В ПЕРЕМЫЧКЕ С ПЛАСТОВЫМ ДРЕНАЖЕМ	104
2.	Н.А. Анискин А.А. Кравченко	НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ ГЕОМЕМБРАНЫ В СОСТАВЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ	105
3.	Н.А. Анискин А.В. Ступивцев	РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОФИЛЯ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ В УСЛОВИЯХ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ	106
4.	А.С. Антонов Е.А. Горохова А.М Павлова А.М. Стойнова	ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ФИЛЬТРАЦИОННЫМ РЕЖИМОМ В ОБЛАСТИ БЕРЕГОВОГО ПРИМЫКАНИЯ КНП	107
5.	А.С. Антонов Е.А. Горохова А.Б. Басова Н.А. Коробкина	ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРУБЧАТОГО ДРЕНАЖА И ТЕЛА ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ	109
6.	Я.А. Белов В.А. Черненко В.В. Кабанова П.А. Козырева	ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИНЪЕКЦИОННОГО СОСТАВА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ РАСТЕПЛЕННОГО МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ ИНЪЕЦИРОВАНИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ СМОЛЫ	111

7.	Я.А. Белов В.А. Черненко В.В. Кабанова П.А. Козырева	ХИМИЧЕСКОЕ ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ ИНЪЕЦИРОВАНИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ СМОЛЫ	114
8.	А.С. Бестужева Г.П. Гоциридзе	ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАССЫ ВОДЫ	115
9.	А.С. Бестужева	УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ» МОДЕЛИ ГРУНТА В РАСЧЕТАХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН	117
10.	О.И. Гладштейн	ГЕОМЕМБРАНЫ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ. СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ	119
11.	А.В. Грузин	ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ НАГРУЖЕНИЯ ГРУНТА ОСНОВАНИЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ	121
12.	А.В. Грузин	КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ КОНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ДИСПЕРСНОМ НЕСВЯЗНОМ ГРУНТЕ	122
13.	А.В. Грузин	ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СВАИ НА ЕЁ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ	124
14.	М.Н. Кирякова А.Л. Стром Лю Цзяо	ГЛОБАЛЬНАЯ БАЗА ДАННЫХ СЕЙСМОГЕННЫХ РАЗРЫВОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОПОЛНЕНИЯ	126
15.	Е.М. Кобочкина Т.С. Федорова И.В. Баклыков	ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ГРУНТОВАЯ ПЛОТИНА — ОСНОВАНИЕ» С ОЦЕНКОЙ ВЛИЯНИЯ НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО КОНТУРА НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ НИЗОВОЙ УПОРНОЙ ПРИЗМЫ	127
16.	В.В. Конюшков	УСКОРЕННЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	129
17.	В.С. Королёва	РАСЧЕТ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТАХ	131
18.	А.С. Курочкин	ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ДЛЯ ПОДБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	133
19.	Д.С. Лундин	ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ БЕНТОНИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ООРУЖЕНИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	134
20.	М.Е. Михайлов	КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ СОЧЕАНИЯ МЕТОДОВ ПРОПИТКИ И ГИДРОРАЗРЫВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГРУНТОВЫХ ПЛОТИНАХ	136

21.	Ю.Е. Назукина С.В. Сольский	СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МЕРЗЛОТНЫХ МАССИВОВ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	137
22.	М.Л. Сидоров	РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОГО ПРОДУКТА «ЛОГОС ГИДРОГЕОЛОГИЯ»	139
23.	С.В. Сольский И.Г. Зеленский	НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НАКОПИТЕЛЕЙ НЕРАСТВОРИМЫХ (ГРУНТОВЫХ) МАТЕРИАЛОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	140
24.	С.В. Сольский, Р.Ю. Лабойко Е.А. Аксенов	СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ С ГЛИНОЦЕМЕНТОБЕТОННОЙ ДИАФРАГМОЙ ИЗ БУРОСЕКУЩИХСЯ СВАЙ	142
25.	С.В. Сольский И.П. Веретельник В.Р. Кузьмина М.С. Кудряшова М.Ю. Васильев	ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА ГОКА АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД	143
26.	С.В. Сольский А.В. Гинц И.Г. Зеленский В.Р. Кузьмина Е.Н. Филоненко М.Ю. Васильев	ПРОБЛЕМЫ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ	144
27.	С.В. Сольский С.Х. Таскаева В.Р. Кузьмина Е.Н. Филоненко Н.Г. Ревякина	АНАЛИЗ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РИСКОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ СВЕРХВЫСОКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩА НА НЕКОНСОЛИДИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЯХ	145
28.	В.В. Сорокин В.В. Конюшков	ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЗАВЕСЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ В ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТАХ	147
29.	А.Д. Титкин П.В. Кондратенко	ДЕТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА КОМПЛЕКСОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ	148
30.	А.М. Тюрикова О.Н. Котлов Е.Е. Легина А.Р. Гардиева	РАЗВИТИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И СНИЖЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СИСТЕМ ВОДОПОНИЖЕНИЯ	150
31.	И.А. Чёлушкин	МЕТОДИКА УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ИНЪЕКЦИОННЫХ СОСТАВОВ	152

	Секция 5	**Гидротехника для ТЭС, АЭС и промышленных предприятий**	**154**
1.	В.В. Бирюков С.А. Панкратов	ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ТРУБОПРОВОДОВ ТЭС: CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ	155
2.	В.А. Кислицына	ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ГРАДИРЕН НА ТЭС И АЭС	157
3.	С.Н. Котенков А.О. Бариков В.А. Котенкова	РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ ВЛАДИВОСТОКСКОЙ ТЭЦ-2	158
4.	А.С. Князев И.Н. Анпилогова	ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОРОСИТЕЛЕЙ БИГ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	159
5.	В.М. Рудевский	МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ	162
6.	Ю.Д. Матвеев	СРАВНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ТЕПЛОТЕХНИ-ЧЕСКИХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ГРАДИРЕН	164
7.	Б.Л. Свердлин С.В. Еранкин	ОПЫТ СТРОИТЕЛЬТСВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРЕН БОЛЬШОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ	165
8.	С.А. Толкачев	КОМБИНИРОВАННЫЕ ГРАДИРНИ. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В РОССИИ	166
	Секция 6.1	**Расширенное заседание Экспертного совета Ассоциации «Гидроэнергетика России» в формате круглого стола на тему:** **Экологические аспекты энергетики и гидротехники**	**167**
1.	Ю.В. Герасимов С.Э. Болотов А.Н. Шаров Э.С. Борисенко	ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЭС НА ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И СРЕДУ ИХ ОБИТАНИЯ. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ, ОСНОВАННЫЕ НА НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	168
2.	Д.А. Давиденко	ВЛИЯНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ. ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЫБОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ	170
3.	В.М. Иванов	ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГЭС И ВОДОХРАНИЛИЩ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	171
4.	Д.В. Козлов Н.Н. Чернобровкин	МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ ВЫГОДЫ И ИЗДЕРЖКИ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА НА ДЕЙСТВУЮЩИХ И ПРОЕКТНЫХ ОТМЕТКАХ	172

5.	М.М. Мельник Д.Ф. Афанасьев	ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И СРЕДУ ИХ ОБИТАНИЯ ОТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ	173
6.	Д.Д. Павлов	СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕРЕСТИЛИЩ ДЛЯ ФИТОФИЛЬНЫХ ВИДОВ РЫБ КАК КОМПЕНСАЦИОННОЕ МЕРОПРИЯТИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	174
7.	И.А. Репина	УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС И ПОГЛОЩАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОДОХРАНИЛИЩ ГЭС	175
8.	Н.Ю. Третьяк	РЫБОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПАО «РУСГИДРО»	176
	Секция 6.2	**Экологические аспекты энергетики и гидротехники**	**177**
9.	М.Ю. Белоусов В.В. Конюшков	ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ОБЪЕКТА	178
10.	К. Зафарзода А.Н. Чусов	ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ ФОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ (НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТОВ ООО «ГРУППА ЛСР»)	179
11.	Т.В. Иванкова	ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА В БАССЕЙНАХ ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ РЕК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ	181
12.	А.Н. Кочетов	АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ПРИЧИНЫ ПОИСКА НОВЫХ	183
13.	Д.А. Кузнецов	ОПЫТ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ СОХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКЕ	185
14.	В.В. Тетельмин	ШИРОКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ НАРАСТАЮЩИХ ОПАС-НЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ	186
15.	С.А. Толкачев	КОМБИНИРОВАННЫЕ ГРАДИРНИ. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В РОССИИ. ПРОБЛЕМАТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ (ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЯМОТОЧНЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРС-КОЙ ВОДЫ, ОЧИСТКА ВОДЫ ПОСЛЕ ЗОЛООТВАЛОВ)	188
16.	Д.В. Чугунков Е.М. Каминская	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ НА ТЭС С ПОМОЩЬЮ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	189

	Секция 7	**Новые материалы и технологии в строительстве**	**190**
1.	В.А. Алексеев М.И. Баженов	ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЕНСАЦИОННОГО НАГНЕТАНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПО ВЫРАВНИВАНИЮ ВЫСОКООТВЕТСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ	191
2.	А.С. Брыков	ВНУТРЕННИЕ ДЕСТРУКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В БЕТОНАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	192
3.	А.А. Бунак К.Н. Макаров	ИННОВАЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ. МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ	193
4.	А.Ю. Гарбуз О.А. Баев Д.В. Бакланова	РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА БЕТОННЫХ ОБЛИЦОВОК КАНАЛОВ ЖИДКОЙ РЕЗИНОЙ	194
5.	И.А. Говорущенко	ИМИТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕМОНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОДОЙ И В ЗОНЕ ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ ПРИ ПОМОЩИ МАКЕТИРОВАНИЯ	195
6.	В.В. Грузин	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУСТРОЙСТВА КАНАЛОВ ВОДООТВЕДЕНИЯ СКЛАДОВ ХРАНЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ	196
7.	С.И. Ермоленко	СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ВОДНОЙ СРЕДЕ И В ЗОНЕ ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ ВОДЫ. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ.	197
8.	А.В. Жук	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ БЕТОНА С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭФФЕКТОВ ТВЕРДЕНИЯ	198
9.	Е.Н. Зайцева Р.А. Натынчик	ОПЫТ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА УГОЛЬНЫХ ТЭЦ	199
10.	В.В. Кабанова В.А. Черненко Я.А. Белов П.А. Козырева	СИСТЕМЫ РЕМОНТА И ЗАЩИТЫ БЕТОНА ЭМ-СИ БАУХЕМИ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ	200
11.	С.С. Каприелов П.Д. Арленинов С.Б. Крылов А.В. Шейнфельд П.С. Калмакова	ВЛИЯНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЗУЧЕСТИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ	201
12.	В.В. Мищенко	НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИБКИХ ПЛАВУЧИХ ЗАГРАЖДЕНИЙ	203

13.	А.Е. Огурцов	ОСОБЕННОСТИ, ЭТАПЫ И ОПЫТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ	204
14.	К.О. Чугунова	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ, ИННОВАЦИИ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ БЕТОНА	205
15.	К.О. Чугунова	АМОРФНЫЙ ГИДРОКСИД АЛЮМИНИЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МОДИФИКАТОР БЕТОНА: ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗ ЗОЛЫ, СВОЙСТВА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ	206
16.	Ю.П. Федоренко А.В. Донов Н.В. Тютюнщиков К.О. Чугунов А.В. Жук	ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ БЕТОНОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ	207
17.	А.М. Шайтанов Г.С. Коних	ЦЕНТРАЛЬНАЯ ГЕОКОМПОЗИТНАЯ ДИАФРАГМА КАК СОВРЕМЕННОЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	208
	Секция 8	**Обеспечение безопасности ГТС с учетом новых требований законодательства. Методы и средства контроля состояния ГТС**	**209**
1.	А.Н. Аверин	ПРОБЛЕМА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА НА ГЭС РФ	210
2.	А.С. Антонов А.А. Филиппова	ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИЙ ГТС С УЧЁТОМ НЕСТАБИЛЬНЫХ ОПОРНЫХ ВЫСОТНЫХ РЕПЕРОВ	211
3.	А.Б. Веселов А.И. Гусева А.А. Метс Г.В. Охапкин	СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ	213
4.	А.Е. Войнаровский	СТАЦИОНАРНЫЕ ВЫСОКОТОЧНЫЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ – НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	214
5.	А.Е. Войнаровский	СИСТЕМА ФОТОМИКРОМЕТР – ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ТРЕЩИН И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МЕТОДАМИ ФОТОГРАММЕТРИИ	216
6.	С.В. Двинянинов Н.В. Карыпов А.А. Палехов З.А. Афанасьева	ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГТС КАМСКОЙ ГЭС, ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КИА ДЛЯ ГТС	218

7.	А.В. Дейнеко А.Н. Симутин Г.М. Медведев	АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ОТ КОМПАНИИ ООО «МОНИТРОН»	219
8.	К.А. Демшин А.М. Грек	ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СОРОУДЕРЖИВАЮЩИХ РЕШЕТОК ГИДРОАГРЕГАТОВ МАЙНСКОЙ ГЭС	220
9.	Г.Ю. Дмитриев А.Н. Кочетов	О МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОГО ВРЕДА, КОТОРЫЙ МОЖЕТ БЫТЬ ПРИЧИНЕН ФИЗИЧЕСКИМ И ЮРИДИЧЕСКИМ ЛИЦАМ	221
10.	П.С. Иванов Н.А. Колобанов	КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОННЫХ ПЛОТИН	222
11.	О.Н. Котлов М.Ю. Васильев	ПОДБОР НОМЕНКЛАТУРЫ И КОЛИЧЕСТВА КОНТРОЛЬНО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ НАРАЩИВАНИИ НАКОПИТЕЛЯ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ	223
12.	С.В. Кузнецов	АРХИТЕКТУРА АССАМБЛЕИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ БПЛА В РАМКАХ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГТС	225
13.	Н.Г. Максимович А.Д. Деменев О.А. Березина А.А. Мизев	ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	226
14.	А.С. Маренков	О ПЛАНАХ ПО АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	228
15.	Д.П. Михайлец	ОБ ОПЫТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНКЛИНОМЕТРОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЛЕВОБЕРЕЖНОМ СКЛОНЕ Р. КУНЬЯ	229
16.	Г.В. Охапкин А.Б. Веселов К.М. Воробьев Р.Ю. Лабойко Т.С. Ульященков М.А. Майорова	НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	231
17.	Б.В. Цейтлин А.Е. Скворцова	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА ГТС ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ	232
18.	А.В. Шалатонов	ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС	233
19.	В.Г. Штенгель	НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ФИЗИКО_МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА СТАРЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДАМИ И СРЕДСТВАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	235

	Секция 9	**Малая гидроэнергетика**	**237**
1.	С.С. Амини В.В. Елистратов	МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА АФГАНИСТАНА: СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ	238
2.	Р.З. Ахмедгароев А.С. Терликов, А.Н. Волынчиков	БАШЕННАЯ МГЭС НА РЕКЕ АРГУН КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ	240
3.	В.А. Волосухин	О СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГАЭС НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ	241
4.	А.А. Дружинин А.В. Филатов Д.В. Мылкин А.М. Добренко	ГИБРИДНЫЕ МИКРОГАЭС С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МОДУЛЯМИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ	242
5.	О.И. Желясков М.М. Султанов	МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕЖИМОВ ПРОЕКТИРУЕМЫХ МАЛЫХ ГЭС ДЛЯ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ	244
6.	Д.В. Кашарин	ПРИМЕНЕНИЕ ОБОЛОЧКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МИКРО- И МАЛЫХ ГЭС В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ	246
7.	А.К. Лямасов А.В. Филатов Е.А. Потапов И.А. Бушуйкин	СВОБОДНОПОТОЧНАЯ ТУРБИНА С НАКЛОННЫМ ВАЛОМ С ДОННОЙ ОПОРНОЙ ПЛАТФОРМОЙ	247
8.	Н.С. Лукуц	ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОГИДРО-ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ВОДОТОКАХ С МАЛЫМ РАСХОДОМ ВОДЫ	249
9.	Е.П. Федорова Е.М. Мелехин И.Н. Кузнецов П.В. Федоров	ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКА НАИЛУЧШЕЙ КОМПОНОВКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МАЛЫХ ГЭС	251
	Секция 10	**Арктический центр: гидротехническое строительство в Арктике**	**252**
1.	Г.Ю. Дмитриев	К ВОПРОСУ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕК АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	253
2.	В.В. Елистратов И.В. Ригель	НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ АРКТИЧЕСКОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	254
3.	И.Г. Кантаржи А.С. Аншаков А.Г. Гогин Ж.И. Нагорнова	ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОРТА С ДНОУГЛУБЛЕНИЕМ АКВАТОРИЙ	255

4.	И.Г. Кантаржи М.С. Афонюшкин	ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛНОВОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОД ПРИПАЕМ У СООРУЖЕНИЯ	256
5.	Е.Б. Карулин М.А. Казанцев М.М. Карулина	ЛЕДОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЛСП «ПРИРАЗЛОМНАЯ»	257
6.	И.А. Кирсенков	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ: ПРИМЕНЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СООРУЖЕНИЙ	259
7.	В.И. Климович Р.О. Яковлев	ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГАБИОНОВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ДОПУСКОВ ИХ УКЛАДКИ	261
8.	А.А. Мосягина Б.В. Цейтлин	РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НДС И УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ШЕЛЬФОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК	262
9.	О.М. Финагенов	УСКОРЕННОЕ ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ	264
10.	В.Г. Цуприк	ОБ ОПРЕДЕЛЯЮЩЕМ СООТНОШЕНИИ ДЛЯ ЛЬДА В ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЕГО КОНТАКТНОГО РАЗРУШЕНИЯ	265
11.	В.Г. Цуприк	К ВЫБОРУ РАЗМЕРОВ И ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦА ЛЬДА ДЛЯ НАЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ ЕГО ПРОЧНОСТИ В ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЯХ ЕГО РАЗРУШЕНИЯ	266
12.	Б.Т. Юсупов М.Г. Тягунов	ТИПОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ НАПЛАВНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИЛИВНО-ВОДОРОДНЫХ СТАНЦИЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	269
	Круглый стол	**Подготовка кадров для гидроэнергетики и гидротехники**	**270**
1.	А.И. Валецкая	ПОДГОТОВКА ГИДРОЭНЕРГЕТИКОВ И ГИДРОСТРОИТЕЛЕЙ В ВУЗЕ. ТРУДОУСТРОЙСТВО И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С РАБОТОДАТЕЛЯМИ.	271

СЕМНАДЦАТАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА
ГИДРОТЕХНИКА
Новые разработки и технологии

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Технический редактор *И.В. Кривошапка*
Верстальщик *Н.Н. Седова*

Дата подписания к использованию 08.10.2025.
Объем издания 4941 КБ. Заказ 69.

Издательство АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».
195220, Санкт-Петербург, Гжатская ул., 21